جهاد دانشگاهی

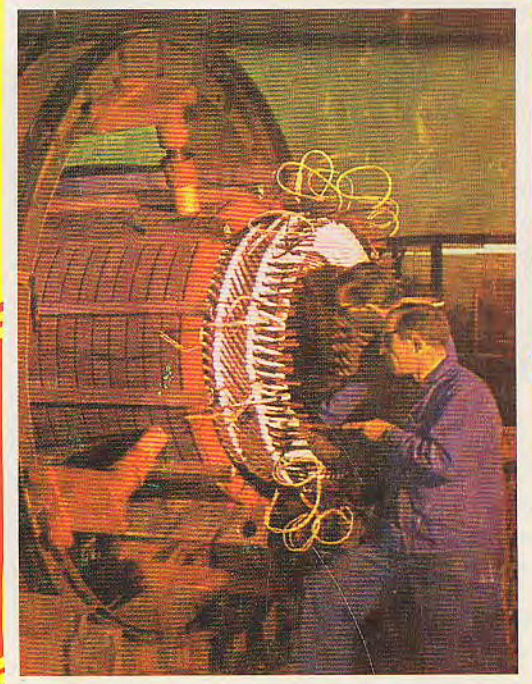
دانشگاه صنعتی امیرکبیر

مبانی ماشینهای الکتریکی

جلد اوّل و دوّم (AC)+(DC)

BASIC ELECTRICAL MACHINES

VOL. 1+2
(DC)+(AC)



POWEREN.IR

ترجمه :
دکتر مهرداد عابدی

Pericles Emanuel

بسم الله الرحمن الرحیم

مبانی ماشینهای الکتریکی

ماشینهای جریان مستقیم

ماشینهای جریان متناوب

تألیف Pericles Emanuel

ترجمه : دکتر مهرداد عابدی

استاد یار دانشکده برق دانشگاه صنعتی امیرکبیر

انتشارات جهاد دانشگاهی

دانشگاه صنعتی امیرکبیر

POWEREN.IR

عنوان	:	مبانی‌ماشینهای الکتریکی
نویسنده	:	Pericles Emanuel
مترجم	:	دکتر مهرداد عابدی
ناشر	:	انتشارات جهاددانشگاهی دانشگاه صنعتی امیرکبیر
چاپخانه	:	
تیراژ	:	۳۰۰۰ نسخه
تاریخ انتشار	:	بهار ۱۳۷۳ (پنجم)

بسم الله الرحمن الرحیم

پیشگفتار جهاد دانشگاهی

اکنون در دوران بازسازی مملکت اسلامیمان ایران، توجه به تقویت بنیه علمی دانشگاهها و دیگر نهادهای مقدس علمی یکی از وظایف همه آگاهان و دست اندرکاران امور می‌باشد. از این‌رو جهاد دانشگاهی با علم و آگاهی نسبت به این مهم تمامی نیرو و توان خود را صرف تجهیز علمی و اقتصادی هرچه بیشتر دانشجویان و آینده‌سازان جامعه، نموده است. و در این راه از هیچ کوششی و تلاشی دریغ نخواهد ورزید.

در این راستا انتشارات جهاد دانشگاهی با این باور که داشتن استقلال اقتصادی و عقیدتی، مستلزم دارا بودن قدرت بالای علمی و آشنایی با تکنولوژی مدرن، البته در کنار ایمان و اعتقاد به آرمانها، است. سعی می‌نماید با آماده‌سازی و انتشار متوهن متنوع و مختلفی علمی به هر دو زبان فارسی و لاتین که از سطح مطلوبی برخوردار باشند، به وظیفه انسانی و اعتقادی خویش جامهٔ عمل بپوشاند. و امیدوار است که توانسته باشد کمکی هرچند ناچیز به علاقمندان و دلسوزان میهن اسلامی و پویندگان راه علم انجام دهد.

با این باور و اعتقاد از همه عزیزان دانش پژوه جهت ارائه نظرات و پیشنهادات برای هرچه بهتر شدن سطح امور انتشارات این جهاد، یاری می‌طلبیم.

در انتها این کتاب را به روان پاک شهدای دانشگاهی بویژه شهدای دانشگاه صنعتی امیرکبیر تقدیم می‌نماییم. امید است کلیه داشنگاهیان استوار و ثابت‌قدم پویندهٔ راه شهیدان در محیط مقدس دانشگاه باشند.

السلام علی من اتبع الهدی

انتشارات جهاد دانشگاهی صنعتی امیرکبیر

بسمه تعالی

پیشگفتار مترجم

امروزه صنعت برق در تمامی رشته‌های مهندسی نقشی بس شگرف ایفا میکند . و تمامی مهندسین باید اطلاعات نسبی راجع به این صنعت داشته باشند . در دنیای امروزی هر مهندسی با انواع موتورها ، ژنراتورها ، ترانسفورماتورها سروکار دارد و باید با اصول کار این دستگاهها آشنائی نسبی داشته باشد . این کتاب ترجمه کتاب :

Motors, Generators, Transformers and Energy بوده‌که‌توسط آقای P.Emanuel استاد دانشگاه City University نیویورک برشته تحریر درآمده وتوسط کمپانی Printicehall در سال ۱۹۸۵ میلادی به طبع رسیده است با توجه باینکه درس مبانی برق جزء دروس اکثر رشته‌های مهندسی از قبیل نساجی ، معدن ، مکانیک ، شیمی ، صنایع میباشد و اینجانب چند ترمی مسئولیت تدریس آنرا داشته‌ام ، بر آن شدم کتاب فوق را در دو جلد ترجمه نمایم . جلد اول مربوط به ماشینهای جریان مستقیم (D.C) بوده که هم اکنون از نظر علاقمندان میگذرد و جلد دوم مربوط به ماشینهای جریان متناوب (A.C) میباشد که در آینده نزدیک در اختیار دانشجویان قرار خواهد گرفت . یکی از ویژه‌گیهای این کتاب ساده‌گی نگارش آن است وآقای امانوئل با بیان شیوا و بطرز استادانه‌ای مطالب را بصورت ساده بیان داشته‌اند . این کتاب حاوی مثالهای متعددی است و دانشجو میتواند بصورت خودآموز از آن استفاده کند .

همچنین یکی دیگر از خصوصیات این کتاب آن است که مثالهای خود را در دو سیستم احاد انگلیسی (English-System) و سیستم آحاد بین‌المللی (SI-System) بیان داشته است . اینجانب امیدوارم توانسته باشم حداقل زحمات آقای امانوئل را بهدر نداده باشم و دانشجویان محترم نیز بتوانند از این کتاب براحتی استفاده بنمایند . در خاتمه از زحمات افراد و ارگانهای زیر کمال تشکر را دارم :

۱ ـ کلیه‌دانشجویان رشته‌های مختلف مهندسی در دانشگاه صنعتی امیرکبیر که حین تدریس درس مبانی مهندسی برق دائما با پشتیبانی خود مرا در انجام این مهم تشویق مینمودند .

۲ ـ جهاد دانشگاهی دانشگاه صنعتی امیرکبیر که دائما " مشوق من در ترجمه این کتاب بوده‌اند .

۳ ـ انتشارات جهاد دانشگاهی دانشگاه صنعتی امیرکبیر که علیرغم [illegible] این کتاب را بعهده گرفتند .

دکتر مهرداد عابدی

GORETEX

فصل اوّل

آشنائی با مدارهای مغناطیسی

۳۰ صفحه

INTRODUCTION TO MAGNETISM

AND MAGNETIC CIRCUITS

POWEREN.IR

آشنائی با مدارهای مغناطیس

مقدمه:

امروزه دنیائی که در آن زندگی میکنیم ، دنیای الکترونیک نامیده میشود . در جهان امروزی بشر بطرز عجیبی به الکتریسیته (۱) وابسته شده است و بدون آن زندگی بشر متمدن تقریبا" غیر ممکن است. اما باید خاطر نشان ساخت که پدیده حادوئی مغناطیس نیز نقش بسیار عمده‌ای در زندگی بشر ایفا میکند . بدون پدیده مغناطیس لوازم الکتریکی متداول از قبیل رادیو ، تلویزیون ، یخچال ، تهویه مطبوع ، و موتورها قادر بکار نخواهند بود . بطور کلی میتوان گفت با آنکه بشر به الکتریسیته وابستگی شدید پیدا کرده است ولی بدون پدیده مغناطیس قادر باستفاده از الکتریسیته نخواهیم بود . بطور خلاصه میگوئیم که بدون پدیده مغناطیس زندگی بشر متمدن غیر ممکن خواهد شد .

۱ ـ ۱ تشابه بین مغناطیس و الکتریسیته:

1-1 SIMILARiTIES BETWEEN MAGNETISM AND ELECTRICITY

دستگاههائی (۲) که در این کتاب مورد مطالعه قرار میگیرند تحت عنوان لوازم الکترو مغناطیسی (۳) بررسی میشوند . بعبارت دیگر عملکرد این دستگاهها به خاصیتهای الکتریکی و مغناطیسی آنها بستگی دارد . علاوه بر این باید خاطر نشان ساخت که عملکرد این دستگاهها به تاثیرات متقابل خواص الکتریکی و مغناطیسی آنها نیز بستگی خواهد داشت .

در این فصل لازم است مدارهای مغناطیسی (۴) نسبتا" ساده‌ای را مطرح کنیم تا عملکرد دستگاههای الکترومغناطیسی را بهتر درک نمائیم . در این فصل درخواهیم یافت که مدارهای مغناطیسی بسیار شبیه مدارهای الکتریکی هستند .

۱ـ۱ـ۱ : شار (ϕ)

1-1.1 Flux (ϕ)

شار (۵) در یک مدار مغناطیسی مشابه جریان در یک مدار الکتریکی است . یک قانون کلی بشرح زیر موجود است و در بیان مسائل تکنیکی از آن استفاده میشود .

---

1) Electricity 2) Devices 3) Electromagnetic
4) Magnetic-Circuit 5) Flux

POWEREN.IR

$$\text{معلول (effect)} = \frac{\text{علت}}{\text{عکس‌العمل (مخالفت)}} = \frac{\text{cause}}{\text{opposition}}$$

طبق این قانون شار و جریان [۱] هر دو معلول هستند. شار را بوسیله خطوط فرضی وموهومی در مدار مغناطیسی نشان میدهند. مدارهای مغناطیسی از قسمتهای گوناگون تشکیل شده است و مواد مصرفی برای مدارهای مغناطیسی بگونه‌ای است که خطوط شار [۲] بسهولت شکل میگیرند. این مواد را مواد فرومغناطیسی [۳] مینامند. مواد فرو مغناطیسی در یک مدار مغناطیسی مشابه یک هادی [۴] خوب در یک مدار الکتریکی است.

واحد شار در سیستم احاد انگلیسی، خط [۵] (یا ماکسول) [۶] میباشد و واحد آن در سیستم آحاد بین‌المللی وبر [۷] می‌باشد (wb). منبعد در این کتاب سیستم آحاد بین‌المللی را با علامت اختصاری SI و سیستم آحاد انگلیسی را با علامت اختصاری ENG نشان میدهیم. باید دانست که:

$$1 \text{ weber} = 10^8 \text{ lines (or } 10^8 \text{ maxwells)} \qquad (۱-۱)$$

یکی از کمیت‌های مهم در مدارهای مغناطیسی، چگالی شار (B) میباشد. چگالی شار مقدار شاریست که از سطحی بمساحت A که عمود بر شار میباشد عبور میکند. در سیستم (ENG) داریم:

$$B = \frac{\phi}{A}\frac{\text{lines}}{\text{in}^2} \quad \left(\text{or } \frac{\text{maxwells}}{\text{in}^2}\right) \qquad (۱-۲a)$$

در سیستم (SI) داریم:

$$B = \frac{\phi}{A}\frac{\text{Wb}}{\text{m}^2} \quad [\text{or tesla (T)}] \qquad (۱-۲b)$$

---

1) Current 2) Lines of Flux 3) Ferromagnetic
4) Conductor 5) Line 6) Maxwell 7) Weber

POWEREN.IR

مثال ۱ ــ ۱ (سیستم ENG) : ***Example 1-1 (English)***

سطح مقطع یک هسته ۳ اینچ مربع میباشد ، اگر چگالی شار $80{,}000\ \text{lines/in}^2$. باشد مطلوبست محاسبه شار در این هسته .

حل :

از رابطه (a ۲ ــ ۱) داریم :

$$B = \frac{\phi}{A}$$

در نتیجه :

$$\phi = BA = 80{,}000\ \text{lines/in}^2 \times 3\ \text{in}^2$$
$$= 240{,}000\ \text{lines} \quad \text{(or maxwells)}$$

مثال ۲ ــ ۱ (سیستم , (SI)) : ***Example 1-2 (SI)***

سطح مقطع یک هسته ۴%. متر مربع میباشد اگر چگالی شار[۱] 1.5 T (تسلا)[۲] باشد ، شار در هسته را حساب کنید . تسلا معادل وبر بر متر مربع میباشد .

حل :

از رابطه (b ۲ ــ ۱) داریم :

$$B = \frac{\phi}{A}$$

در نتیجه :

$$\phi = BA$$
$$= 1.5\ \text{T} \times 0.04\ \text{m}^2$$
$$= 0.06\ \text{Wb}$$

۲ ــ ۱ ــ ۱ نیروی محرکه مغناطیسی : ***1-1.2 Magnetomotive Force, MMF(U)***

نیروی محرکه مغناطیسی[۳] که منبعد آنرا با MMF یا U نشان میدهیم مشابه نیروی محرکه الکتریکی[۴] (EMF) در مدارهای الکتریکی میباشد . همانطور که EMF باعث میگردد جریان در مدار الکتریکی برقرار شود ، نیروی محرکه مغناطیسی (MMF) نیز باعث میشود که شار در مدارهای مغناطیسی بوجود آید. با توجه به قانون کلی ذکر شده در قبل EMF و MMF هر دو "علت" محسوب میشوند .

Resistance

$\mathcal{E} = RI$

$\mathcal{F} = \phi\mathcal{R}$

Intensity

---

1) Flux-Density 2) Tesla

3) Magnetic-Motive-Force 4) Electromotive-Force

POWEREN.IR

در اینجا باید اختلاف بین مدارهای الکتریکی و مدارهای مغناطیسی توجه کرد.

الف: در مدارهای الکتریکی بدون وجود EMF ، جریان الکتریکی برقرار نمیشود.

ب: در مدارهای مغناطیسی بدون وجود MMF شار برقرار میشود.

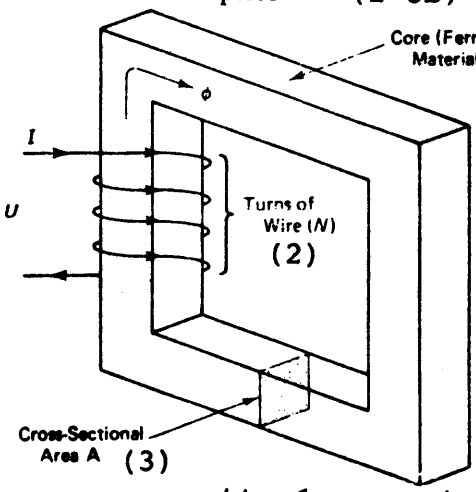
مثال ساده مربوط به بند "ب" همان آهن ربای دائمی (۱) (مغناطیس دائمی) خواهد بود. آهن ربای دائمی معمولا" بشکل U بوده و اکثر خوانندگان با آن آشنائی دارند.

ساده‌ترین EMF در مبحث الکتریسیته همان باطری است. در مدارهای مغناطیسی ساده‌ترین (U) MMF ، توسط سیمی (۲) که بدور هسته فرو مغناطیسی پیچیده شده و توسط جریان مستقیم (۳) تغذیه میگردد بوجود می‌آید. (بشکل ۱ ـ ۱ نگاه کنید).

(U) MMF از نظر عددی معادل حاصلضرب تعداد دورهای سیم (N) و جریان سیم (I) میباشد.

در سیستم (ENG) داریم: $U = NI$ ampere-turns (1-3a)

در سیستم (SI) داریم: $U = NI$ amperes (1-3b)



۱: هسته از جنس مواد فرومغناطیس

۲: تعداد دور سیم

۳: سطح مقطع

شکل ۱ ـ ۱: نمونه ساده‌ای از طرز ایجاد نیروی محرکه مغناطیسی MMF

1) Permanent-Magnet 2) Wire
3) Direct - Current

POWEREN.IR

در اینجا خاطر نشان میسازیم که MMF اعمال شده به مدار مغناطیسی در شکل (۱ – ۱) معادل مجموع افتهای MMF [1] در کل حلقه [2] میباشد. این قانون نظیر قانون ولتاژ کیرشف [3] است و در ادامه این فصل راجع به آن بیشتر توضیح میدهیم.

برای پیدا کردن جهت شار کافی است که دست راست خود را در جهت جریان به دور هسته قرار دهیم، در این صورت جهت شست دست راست، جهت شار در هسته را نشان میدهیم.

یکی دیگر از کمیت‌های مهم در مدارهای مغناطیسی، شدت میدان مغناطیسی [4] (H) است. از نظر عددی H اینچنین حساب میشود:

در سیستم (ENG) داریم:

$$H = \frac{NI}{l} \quad \frac{\text{ampere-turns}}{\text{inch}} \qquad \text{(1-4a)}$$

در سیستم (SI) داریم

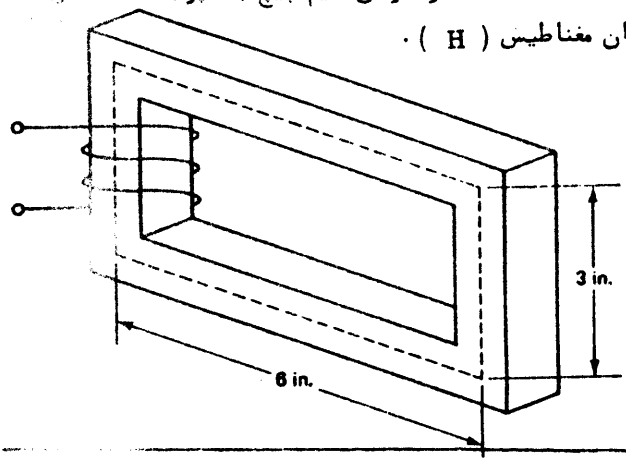
$$H = \frac{NI}{l} \quad \frac{\text{amperes}}{\text{meter}} \qquad \text{(1-4b)}$$

در روابط اخیر L، طول متوسط مدار مغناطیسی میباشد.

مثال ۳ – ۱ (سیستم ENG):

Example 1-3 (English)

یک هسته فرو مغناطیسی مطابق شکل (۲ – ۱) مفروض است و یک سیم پیچ ۱۰۰۰ دوری به دور آن پیچیده شده است. اگر جریان سیم پیچ ۲ امپر باشد، مطلوبست محاسبه MMF و شدت میدان مغناطیس (H).



شکل ۲ – ۱: هسته مربوط به مثال (۳ – ۱)

1) MMF-Drops 2) Loop 4) Magnetic-Field-Intensity
3) Kirchhoff's Voltage Law

POWEREN.IR

حل:

در اینجا فرض بر آن است که سطح مقطع وجنس هسته در کل مسیر یکسان میباشد.

از رابطه (a ۳ ـ ۱) داریم:

$$U = NI$$
$$= 1000(2) = 2000 \text{ A-turns}$$

H را از رابطه (a ۴ ـ ۱) بدست می‌آوریم. ابتدا باید طول متوسط مسیر را حساب بکنیم (L). طول متوسط مسیر با توجه به خط چین‌ها در شکل (۲ ـ ۱) بدست می‌آید.

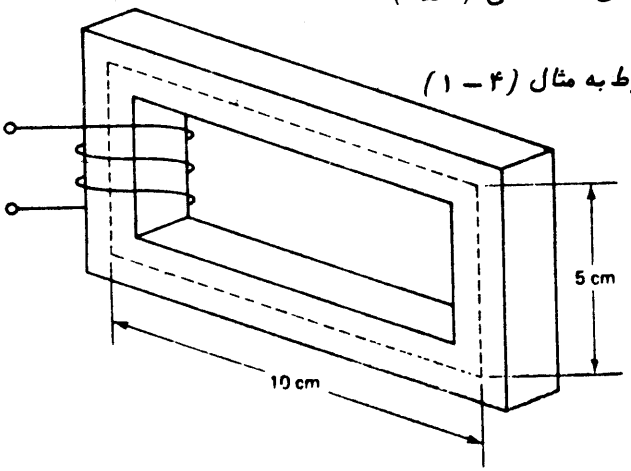
$$l = 3 \text{ in.} + 6 \text{ in.} + 3 \text{ in.} + 6 \text{ in.}$$
$$= 18 \text{ in.}$$

لذا:

$$H = \frac{NI}{l}$$
$$= 2000 \text{ A-turns/18 in.}$$
$$= 111.11 \text{ A-turns/in.}$$

مثال ۴ ـ ۱ (سیستم SI): ***Example 1-4 (SI)***

یک هسته فرو مغناطیسی مطابق شکل (۳ ـ ۱) مفروض است و یک سیم پیچ ۱۰۰۰ دوری به دور آن پیچیده شده است. اگر جریان سیم پیچ ۲ آمپر باشد، مطلوبست محاسبه MMF و شدت میدان مغناطیسی (H).



شکل ۳ ـ ۱: هسته مربوط به مثال (۴ ـ ۱)

حل:

در اینجا فرض بر آن است که سطح مقطع وجنس هسته در کل مسیر یکسان میباشد.

از رابطه (b ۳ ـ ۱) داریم:

POWEREN.IR

$$U = NI$$
$$= 1000(2) = 2000\ A$$

H را از رابطه (b ۴ – ۱) بدست می‌آوریم ولی ابتدا باید طول متوسط مسیر را حساب کنیم (L) . طول متوسط مسیر را میتوان با توجه به خط چین‌ها در شکل (۳ – ۱) بدست آورد .

$$l = 5\ cm + 10\ cm + 5\ cm + 10\ cm$$
$$= 30\ cm$$
$$l = 30(0.01) = 0.3\ m$$

لذا :

$$H = \frac{NI}{l} = \frac{2000\ A}{0.3\ m} = 6666.67\ A/m$$

۳–۱–۱ رلوکتانس : ($\mathcal{R}$)

1-1.3 Reluctance ($\mathcal{R}$)

رلوکتانس[1] ($\mathcal{R}$) در یک مدار مغناطیسی نظیر مقاومت[2] در یک مدار الکتریکی است . با توجه به قانون کلی ذکر شده در اوایل این فصل میتوان گفت که مقاومت ورلوکتانس هر دو عکس‌العمل (مخالفت) محسوب میشوند . فرمول مقاومت یک سیم مسی[3] را بخاطر می‌آوریم :

$$R = \frac{\rho l}{A} \qquad (۱ – ۵)$$

اگر بجای مقاومت ویژه[4] (ρ) از هدایت ویژه[5] (σ) استفاده شود داریم :

$$R = \frac{l}{\sigma A} \qquad (۱ – ۶)$$

از رابطه (۶ – ۱) درمییابیم که مقاومت یک سیم مسی با طول سیم نسبت مستقیم داشته ولی با هدایت ویژه و سطح مقطع نسبت معکوس دارد .

در مدار مغناطیسی ، رلوکتانس اینچنین تعریف میشود :

$$\mathcal{R} = \frac{l}{\mu A} \qquad (۱ – ۷)$$

هدایت ویژه یا تعرد پذیری مغناطیسی

در رابطه (۷ – ۱) ، (l) طول متوسط مدار مغناطیسی یا هسته مورد نظر میباشد .

همچنین در این رابطه A سطح مقطع موثر مدار مغناطیسی بوده و در این فصل

---

1) Reluctance 2) Resistance 3) Copper Wire
4) Resistivity 5) Conductivity

POWEREN.IR

فرض بر آن است که سطح مقطع در کل مسیر مدارهای مغناطیسی یکنواخت میباشد . در رابطه (۱ - ۱) ، μ نفوذ پذیری مغناطیسی (پرمابلیته) [۱] مدار مغناطیسی موردنظر نامیده میشود . پر مابلیته یک ماده بیانگر شدت و ضعف آن ماده در رابطه با بوجود آمدن شار در آن خواهد بود . بعبارت دیگر تحت MMF مفروضی اگر پرمابلیته ماده بزرگ باشد ، در این صورت شار بیشتری در آن ماده بوجود خواهد آمد و بالعکس اگر پر مابلیته ماده کوچک باشد در این صورت شار کمتری در آن ماده بوجود می‌آید . پرمابلیته هوا μ_0 نشان میدهند .

در سیستم (ENG) داریم :

$$\mu_0 = 3.19 \times 10^{-3} \frac{\text{kilolines/in}^2}{\text{A-turns/in.}} \qquad (۱-۸a)$$

در سیستم (SI) داریم :

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \frac{\text{T}}{\text{A/m}} \qquad (۱-۸b)$$

با آنکه پر مابلیته هوا عددی ثابت است ولی پر مابلیته مواد فرومغناطیسی عدد ثابتی نخواهد بود .

پرمابلیته باعث پیوند چگالی شار مغناطیسی و شدت میدان مغناطیسی نیز میگردد . این را رابطه زیر بیان می‌کند .

$$B = \mu H \qquad (۱-۹)$$

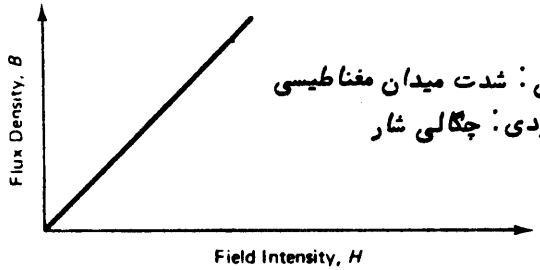
اگر μ عدد ثابتی باشد (هوا یا مواد غیر فرومغناطیسی [۲]) ، رابطه (۹ - ۱) را طبق ترسیمی نشان داد (شکل ۴ - ۱) . شیب [۳] خط نشان داده شده در شکل پرمابلیته ماده غیر فرومغناطیسی را نشان میدهد .

$$\text{slope} = \mu = \frac{\Delta B}{\Delta H} = \frac{B}{H}$$

توجه که در شکل (۴ - ۱) با افزایش H ، B نیز زیاد میشود و لذا این دو کمیت با یکدیگر رابطه خطی دارند . در اینجا یادآور میشویم که اگر در مواد غیر فرومغناطیسی باشند B را میتوان از رابطه (۹ - ۱) بدست آورد (و بالعکس) .

1) Permability 2) Non Ferromagnetic 3) Slope

POWEREN.IR



محور افقی: شدت میدان مغناطیسی
محور عمودی: چگالی شار

شکل ۴ ـ ۱: تغییرات B برحسب H برای مواد غیر فرومغناطیسی (هوا، چوب، پلاستیک و ...)

مثال ۵ ـ ۱ (سیستم ENG): ***Example 1-5 (English)***

در محفظه‌ای پر از هوا شدت میدان مغناطیسی (H) برابر 30 A-turns/in. میباشد مطلوبست محاسبه B (چگالی شار) در این محفظه.

حل:

از رابطه (۹ ـ ۱) استفاده میکنیم و میدانیم برای هوا $\mu = \mu_0$ است (رابطه a ۸ ـ ۱). لذا:

$$B = \mu_0 H$$

$$= 3.19 \times 10^{-3} \frac{\text{kilolines/in}^2}{\text{A-turns/in.}} (30 \text{ A-turns/in.})$$

$$= 95.7 \text{ lines/in}^2$$

مثال ۶ ـ ۱ (سیستم SI): ***Example 1-6 (SI)***

در محفظه‌ای پر از هوا، شدت میدان مغناطیسی (H) برابر 900 A/m میباشد، مطلوبست محاسبه B (چگالی شار) در این محفظه.

حل:

از رابطه (۹ ـ ۱) استفاده میکنیم و میدانیم برای هوا $\mu = \mu_0$ است (رابطه b ۸ ـ ۱). لذا:

$$B = \mu_0 H$$

$$= 4\pi \times 10^{-7} \frac{\text{T}}{\text{A/m}} (900 \text{ A/m})$$

$$= 0.113 \times 10^{-2} \text{ T}$$

POWEREN.IR

POWEREN.IR

مثال ۷ ـ ۱ (سیستم ENG ۱): ***Example 1-7 (English)***

درمحفظه‌ای پراز هوا به سطح مقطع ۴ اینچ مربع ، شار معادل 200 000 lines میباشد ، مطلوبست محاسبه H در این محفظه.

حل:

ابتدا از رابطه (۲a ـ ۱) استفاده کرده و B را بدست می‌آوریم:

$$B = \frac{\phi}{A}$$

$$= 200{,}000 \text{ lines}/4 \text{ in}^2$$

$$= 50{,}000 \text{ lines/in}^2 = 50 \text{ kilolines/in}^2$$

$$B = \mu_0 H$$

حال بسهولت میتوان گفت:

$$H = \frac{B}{\mu_0}$$

$$= \frac{50 \text{ kilolines/in}^2}{3.19 \times 10^{-3} \dfrac{\text{kilolines/in}^2}{\text{A-turns/in.}}} = 15{,}670 \text{ A-turns/in.}$$

مثال ۸ ـ ۱ (سیستم SI): ***Example 1-8 (SI)***

در محفظه‌ای پر از هوا به سطح مقطع ۰/۱ متر مربع شار معادل 0.002 Wb میباشد مطلوبست محاسبه H در این محفظه.

$P_1 = \frac{0.002}{0.1}$

حل:

ابتدا از رابطه (۲b ـ ۱) استفاده کرده و B را حساب میکنیم:

$$B = \frac{\phi}{A}$$

$$B = \frac{0.002 \text{ Wb}}{0.1 \text{ m}^2} = 0.02 \text{ Wb/m}^2 = 0.02 \text{ T}$$

$$B = \mu_0 H$$

حال بسهولت میتوان گفت:

$$H = \frac{B}{\mu_0}$$

$$= \frac{0.02 \text{ T}}{4\pi \times 10^{-7} \dfrac{\text{T}}{\text{A/m}}}$$

$$= 15.9 \times 10^3 \text{ A/m} = 15{,}900 \text{ A/m}$$

POWEREN.IR

POWEREN.IR

۲ – ۱ رابطه غیر خطی بین B و H در مواد فرومغناطیسی :

1-2 NONLINEAR EFFECTS OF FERROMAGNETIC MATERIALS

هرگاه با مدارهای مغناطیسی شامل مواد غیر فرومغناطیسی سروکار داشتیم حل این مسائل با توجه به مثالهای قبلی بسیار ساده میباشد . اما هرگاه با مدارهای مغناطیسی شامل مواد فرومغناطیسی برخوردنمودیم ، در این صورت وضعیت قدری پیچیده‌تر میشود ، زیرا پرمابلیته مواد فرو مغناطیسی عدد ثابتی نمیباشد . باید توجه داشت که در مواد فرو مغناطیسی اگر B افزایش یابد ، تحت شرایطی خاص پرمابلیته کاهش پیدا میکند ، علت این امر وجود پدیده اشباع (۱) میباشد . اگر به یک هسته فرومغناطیسی ، MMF اعمال کنیم در این صورت شار در هسته (۲) بوجود می‌آید . هرچه MMF را بیشتر کنیم ، شار نیز بیشتر میشود ، اما بالاخره به نقطه‌ای خواهیم رسید که با افزایش MMF (یا H) شار و بالنتیجه B آن افزایش چشمگیر اولیه را نخواهد داشت . در اینصورت میگوئیم که هسته اشباع شده است .

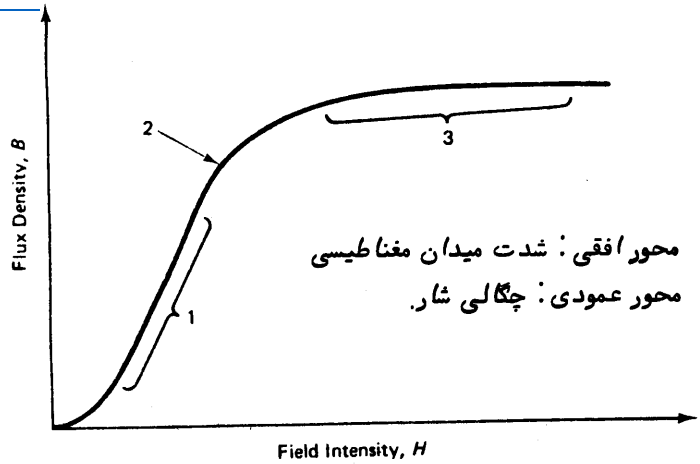
پدیده اشباع را میتوان با یک مثال ملموس بهتر توضیح داد . فرض کنید در ایستگاهی یک اتوبوس خالی وجود دارد . در ابتدا مسافران بسهولت وارد اتوبوس شده و هر مسافر یک جای خالی برای خود دست و پا میکند . هنگامی که اتوبوس پر از مسافر گردید سوار شدن مسافران بعدی خالی از اشکال نخواهد بود ، در اینصورت اتوبوس نیز اشباع گردیده است (درست مثل هسته فرو مغناطیسی) البته اگر مسافران قدری بهم فشار بیاورند و بصورت فشرده درون اتوبوس قرار گیرند ، همواره برای یک یا دو مسافر دیگر جای خالی باز خواهد شد (درست مثل هسته فرو مغناطیسی) یعنی اگر هسته فرو مغناطیسی ، بحالت اشباع برود و باز H را زیاد کنیم ، شار یا چگالی شار بمیزان ناچیزی افزایش خواهد یافت . شکل (۵– ۱) منحنی تغییرات B برحسب H را برای هسته‌های فرو مغناطیسی متداول نشان میدهد . به این منحنی‌ها ، منحنیهای B-H یا منحنیهای مغناطیس شوندگی (۳) اتلاق میگردد . واضح است که منحنیهای B-H برای مواد فرو مغناطیسی مختلف یکسان نخواهد بود .

با توجه بشکل (۵ – ۱) در مییابیم که منحنی B-H از سه ناحیه متمایز تشکیل شده است .

---

1) Saturation 2) Core 3) Magnetizing-Curve

POWEREN.IR



شکل ۵ – ۱: منحنی مغناطیس شوندگی یک ماده فرو مغناطیسی

الف: ناحیه شماره ۱:

در این ناحیه با افزایش H ، افزایش متناسبی از B خواهیم داشت.

ب: ناحیه شماره ۲:

با افزایش بیشتر H از ناحیه شماره ۱ وارد ناحیه شماره ۲ میشویم و معمولا" این ناحیه به پاشنه منحنی[1] B-H معروف است. در این ناحیه اشباع شدن هسته شروع میشود.

ج: ناحیه شماره ۳:

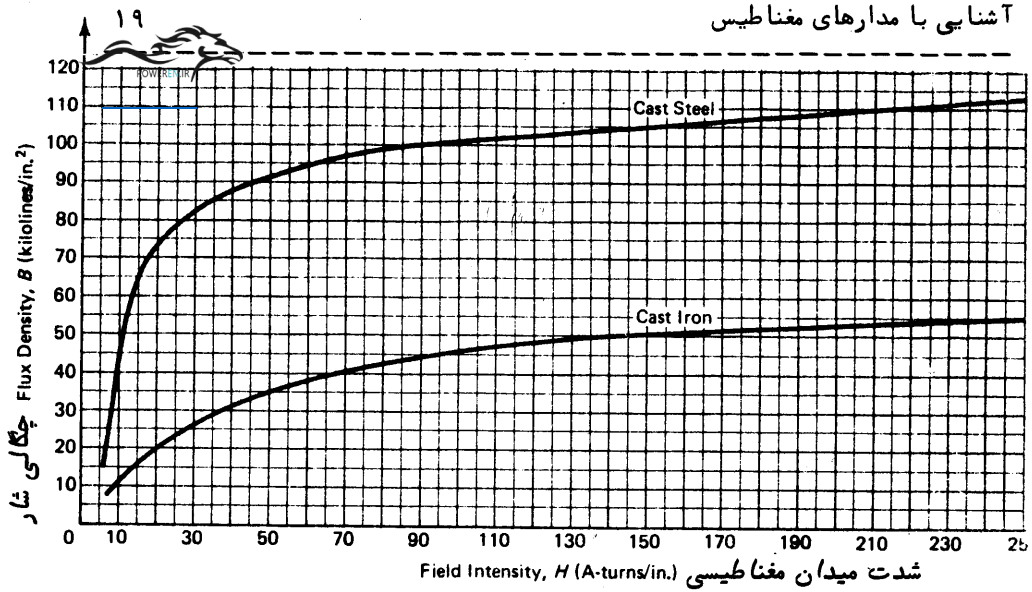
در این ناحیه هسته کاملا" اشباع شده است. توجه نمائید که با افزایش H ، B بمیزان ناچیزی زیاد میشود.

شکلهای (۶–۱) و (۷–۱) منحنیهای B-H را برای چدن[2] و فولاد ریخته‌گری[3] نشان میدهد.

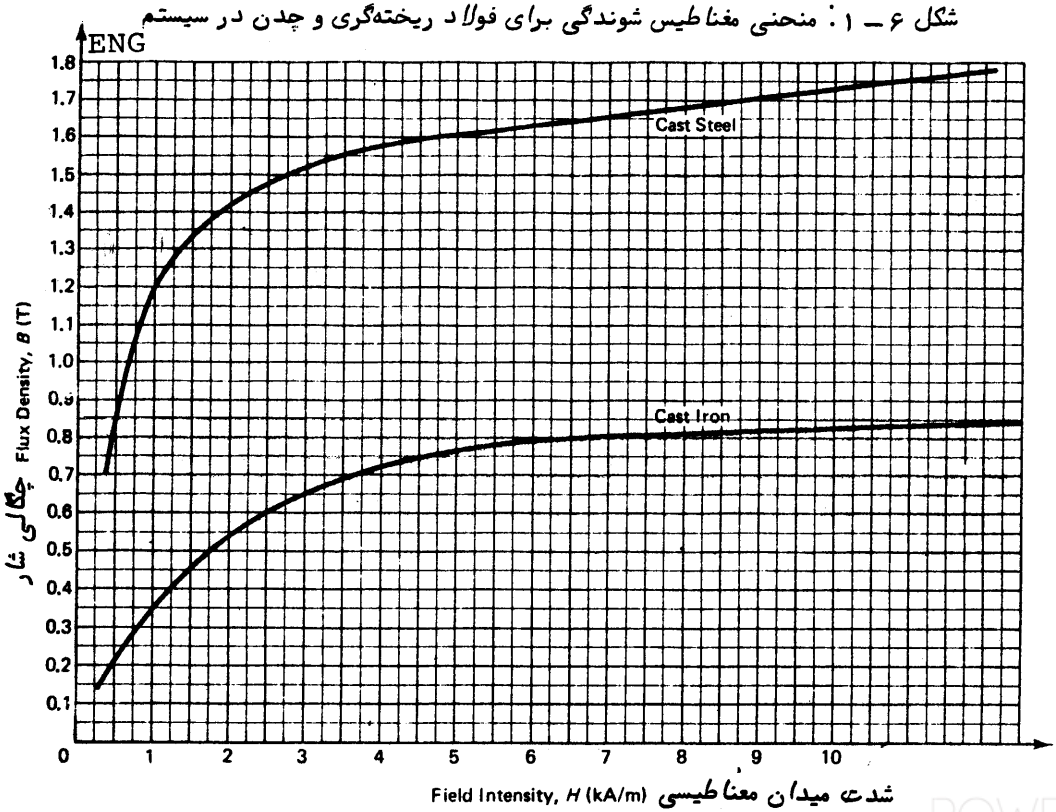
شکل (۶–۱) برای سیستم (ENG) رسم شده و شکل (۷–۱) برای سیستم (SI) ترسیم گردیده است.

1) Knee 2) Cast-Iron 3) Cast-Steel

POWEREN.IR



شکل ۶ ـ ۱: منحنی مغناطیس شوندگی برای فولاد ریخته‌گری و چدن در سیستم ENG



شکل ۷ ـ ۱: منحنی مغناطیس شوندگی برای فولاد ریخته‌گری و چدن در سیستم SI

POWEREN.IR

مثال ۹ ــ ۱ (سیستم ENG) : ***Example 1-9 (English)***

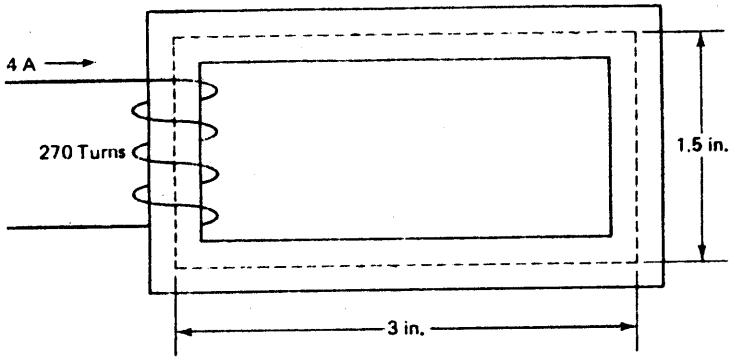
هسته‌ای مطابق شکل (۸ ــ ۱) مفروض است ، جنس هسته از چدن بوده وسطح مقطع آن در کل مسیر یکنواخت است . مطلوبست محاسبه چگالی شار (B) در این هسته :

حل :

$$l = 3 \text{ in.} + 1.5 \text{ in.} + 3 \text{ in.} + 1.5 \text{ in.}$$
$$= 9 \text{ in.}$$

از رابطه (۴a ــ ۱) داریم :

$$H = \frac{NI}{l}$$
$$= \frac{270(4)}{9} = 120 \text{ A-turns/in.}$$



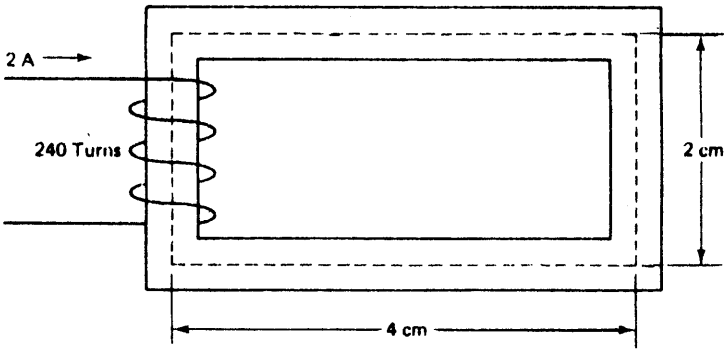
شکل ۸ ــ ۱ هسته مربوط به مثال ۹ ــ ۱

از منحنی B-H در شکل (۶ ــ ۱) استفاده میکنیم . در اینجا H معلوم بوده و B را از روی منحنی میخوانیم (منحنی B-H برای چدن) . در اینحال میبینیم که B معادله 49Kilolines/in^2 خواهد بود . در اینجا متذکر میشویم که دیگر نمیتوان از رابطه (۹ ــ ۱) استفاده کرد .

مثال ۱۰ ــ ۱ (سیستم SI) : ***Example 1-10 (SI)***

هسته‌ای مطابق شکل (۹ ــ ۱) مفروض است . جنس هسته از چدن بوده و سطح مقطع آن در کل مسیر یکنواخت است . مطلوبست محاسبه چگالی شار (B) در این هسته .

POWEREN.IR



شکل ۹ ــ ۱ : هسته مربوط به مثال ۱۰ ــ ۱

$$l = 4\text{ cm} + 2\text{ cm} + 4\text{ cm} + 2\text{ cm}$$
$$= 12\text{ cm}$$
$$= 12(0.01) = 0.12\text{ m}$$

از رابطه (۴b ــ ۱) داریم :

$$H = \frac{NI}{l}$$

$$H = \frac{240(2)}{0.12}$$
$$= 4000\text{ A/m} = 4\text{ kA/m}$$

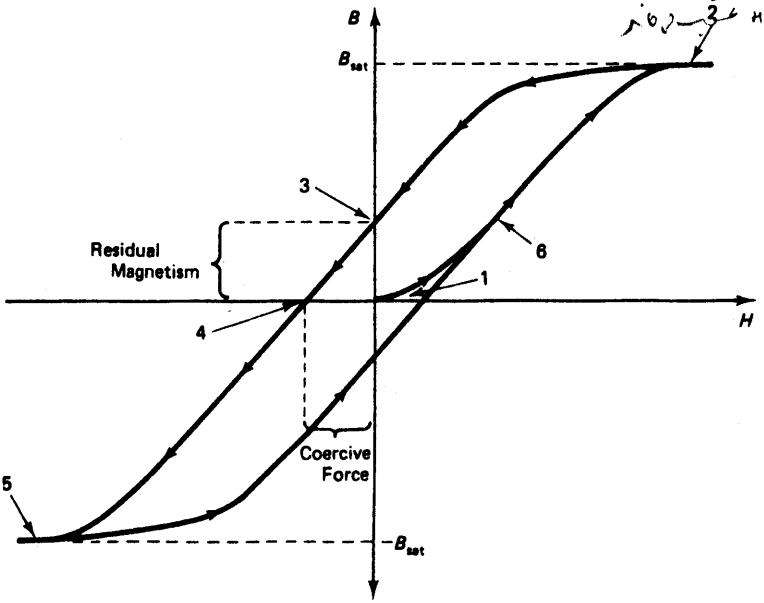
حال از منحنی B-H در شکل (۷ ــ ۱) استفاده کرده و با دانستن H ، B را میخوانیم ملاحظه میکنیم B معادل ۰/۷۱ تسلا خواهد بود . توجه کنید که در اینجا دیگر رابطه (۹ ــ ۱) کارساز نخواهد بود .

۱ ــ ۲ ــ ۱ هیسترزیس: 1-2.1 Hysteresis

یکی دیگر از پدیده‌های بسیارمهم و حالب که درمواد فرو مغناطیسی مشاهده میشود همان پدیده هیسترزیس است برای بیان این پدیده بهتر است از منحنی B-H مطابق شکل (۱۰ ــ ۱) کمک گرفت . فرض میکنیم به دور هسته فرو مغناطیسی سیم

POWEREN.IR

پیچی بسته شده باشد و از آن جریان عبور کند . با افزایش MMF (افزایش H) مقدار شار و B نیز افزایش مییابد تا اینکه هسته اشباع شود (نقطه ۱ تا ۲ در شکل ۱۰ ــ ۱) حال اگر جریان سیم پیچ را کاهش دهیم وآنرا به صفر برسانیم در اینصورت MMF و H صفر میشوند ولی B صفر نخواهد شد (نقطه ۲ تا ۳ در شکل ۱۰ ــ ۱) .



شکل ۱۰ ــ ۱ : منحنی مغناطیس شوندگی و حلقه هیستر زیس

بعبارت ساده‌تر هسته خاصیت مغناطیسی خود را حفظ میکند . این خاصیت مغناطیسی پدیدار شده در هسته را پسماند مغناطیسی (۱) مینامند .

حال اگر جهت جریان را عوض کنیم و بتدریج آنرا افزایش دهیم (در جهت منفی) در اینصورت B صفر خواهد شد . شدت میدان مغناطیسی منفی (H منفی) ، مورد نیاز جهت صفر نمودن B را نیروی Coercive یا نیروی خنثی‌کننده‌نامند. (نقطه ۴ در شکل ۱۰ ــ ۱) . اگر جریان بیشتر منفی گردد ، دوباره هسته اشباع خواهد شد . در اینصورت پلارتیه B مخالف پلارتیه‌اولیه‌خواهدبود (نقطه۵ در شکل ۱۰ ــ ۱) حال اگر دوباره‌جریان‌را بسمت‌صفر بیاوریم وآنرا مجددا " مثبت نمائیم منحنی

1) Residual-Magnetism 2) Coercive-Force

POWEREN.IR

در نقطه ۶ به منحنی اولیه‌ملحق‌خواهد شد . حلقه بسته حاصله از وصل نقاط ۲ ، ۳ ، ۴ ، ۵ ، ۶ ، ۲ ، را حلقه هیسترزیس(۱) مینامند و این پدیده را که هرگاه H صفر گردد ، B صفر نخواهد شد را نیز پدیده هیسترزیس مینامند .

باید توجه داشت که :

الف: حلقه هیسترزیس نسبت به مرکز مختصات منحنی B-H متقارن است . بعبارت ساده‌تراگر B1 مربوط‌به H_1 باشد دراینصورت $-B_1$ مربوط‌به $-H_1$ خواهد بود .

ب: برای شدت میدان مغناطیسی (H) مفروضی دو مقدار B از روی منحنی بدست خواهد آمد و این مورد بستگی به‌آن دارد که‌آیا در مرحله افزایش H هستیم و یا در مرحله کاهش آن :

ج: هرگاه یک ماده فرو مغناطیسی خاصیت مغناطیسی پیدا نمود تنها راه غیر مغناطیسی(۲) کردن آن ماده‌قراردادن آن ماده درون یک سیکل مغناطیس شوندگی(۳) است . بعبارت ساده‌تراگر بخواهیم B و H هر دو صفر شوند ماده فرو مغناطیسی باید درون یک سیکل مغناطیسی شوندگی قرار گیرد .

د: حداکثر چگالی شار (Bmax) (چگالی شار ماکزیمم) در یک ماده فرو مغناطیسی تابعی از درجه حرارت میباشد . با افزایش درجه حرارت ، حداکثر چگالی شار (چگالی شار مربوط‌به‌ناحیه‌اشباع) کاهش‌مییابد . باید توجه کرد که در زیر درجه حرارت معینی (موسوم به نقطه کوری(۴)) ماده خاصیت فرو مغناطیسی خود را از دست میدهد .

هـ: مواد مختلف دارای چگالی شارهای گوناگون در ناحیه اشباع خواهند بود . از این‌اختلاف چگالی شارها استفاده کرده‌واندازه‌هسته را در دستگاههای الکترو مغناطیسی طراحی میکنند . مثالهای زیر این موضوع را بیشتر روشن میکنند .

مثال ۱۱ ــ ۱ (سیستم ENG) : ***Example 1-11 (English)***

میخواهیم در یک هسته مفروضی ، ماکزیمم شاری (ϕ max) معادل 350,000 lines بوجود آوریم . مطلوبست محاسبه سطح مقطع مینیمم برای این

---

1) Hysteresis-Loop 2) Demagnetizing
3) Magnetization-Cycle 4) Curie-Point

POWEREN.IR

هسته. اگر:

الف: جنس هسته از چدن با حداکثر چگالی شار $50\ \text{kilolines/in}^2$ باشد.

ب: جنس هسته فولاد ریخته‌گری با حداکثر چگالی شار $100\ \text{kilolines/in}^2$ باشد.

حل:

الف: از رابطه (a ۲ ـ ۱) داریم:

$$B_{max} = \frac{\phi_{max}}{A_{min}}$$

$$A_{min} = \frac{\phi_{max}}{B_{max}}$$

لذا:

$$A_{min} = \frac{350\ \text{kilolines}}{50\ \text{kilolines/in}^2} = 7\ \text{in}^2$$

ب:

$$A_{min} = \frac{\phi_{max}}{B_{max}} = \frac{350\ \text{kilolines}}{100\ \text{kilolines/in}^2} = 3.5\ \text{in}^2$$

مثال ۱۲ ـ ۱ (سیستم SI): ***Example 1-12 (SI)***

میخواهیم در یک‌هسته مفروض ماکزیمم شاری (ϕ_{max}) معادل ۰/۰۰۳۵ وبر بوجود آوریم. مطلوبست محاسبه سطح مقطع مینیمم برای این هسته. اگر:

الف: جنس هسته از چدن با حداکثر چگالی شار ۰/۸ تسلا باشد.

(ب): جنس هسته فولاد ریخته‌گری با حداکثر چگالی شار ۱/۶ تسلا باشد.

حل:

(الف): از رابطه (b ۲ ـ ۱) داریم:

$$B_{max} = \frac{\phi_{max}}{A_{min}}$$

لذا:

$$A_{min} = \frac{\phi_{max}}{B_{max}} = \frac{3.5 \times 10^{-3}\ \text{Wb}}{0.8\ \text{T}} = 4.375 \times 10^{-3}\ \text{m}^2$$

(ب):

$$A_{min} = \frac{\phi_{max}}{B_{max}} = \frac{3.5 \times 10^{-3}\ \text{Wb}}{1.6\ \text{T}} = 2.1875 \times 10^{-3}\ \text{m}^2$$

POWEREN.IR

۳ ـ ۱ مدارهای مغناطیسی : 1-3 MAGNETIC CIRCUITS

در این بخش چند مثال ساده از مدارهای مغناطیسی سری وموازی را ذکر میکنیم و بیشتر مفاهیم اینگونه مدارها را با مثالهای عددی بیان میداریم . معمولا" مسائل مدارهای مغناطیس را به دو طریق مطرح میسازند .

الف: طریق اول:

"یک مدار مغناطیسی موجود است . اگر بخواهیم در آن شار مفروضی بوجود آید ، MMF مورد نیاز را بدست می‌آوریم .

اینگونه مسائل مشابه مدارهای الکتریکی سری هستند که میخواهیم جریان مفروضی از این مدارها بگذرد ومجهول مساله همان نیروی محرکه الکتریکی یا EmF خواهد بود .

همانطور که میدانیم حل اینگونه مدارهای الکتریکی بسیار ساده است ، یعنی تمامی افتهای RI را در کل مسیر حساب نموده و با یکدیگر جمع میکنیم تا (EMF) مورد نظر بدست آید . در مدارهای مغناطیسی باید عملیات زیر را انجام داد .

۱ ـ با دانستن شار (ϕ) و سطح مقطع باید B را حساب کرد .

۲ ـ با معلوم شدن B و دانستن جنس هسته از روی منحنیهای B-H ، H را حساب میکنیم .

۳ ـ حال افتهای HL (یا همان افتهای MMF [1]) را در دور حلقه حساب کرده و مجموع افتهای HL همان MMF مورد نیاز (MMF کل) خواهد بود .

ب: طریق دوم:

"یک مدار مغناطیسی موجود است . اگر MMF اعمال شده معلوم باشد ، شار در مدار مغناطیسی را بدست آورید .

این گونه مسایل قدری پیچیده است و ما در این کتاب از طرح اینگونه مسائل خودداری میکنیم ، زیراهدف این کتاب ساده نگری نسبت به مسائل مدارهای مغناطیسی است .

---

1) MMF – Drops

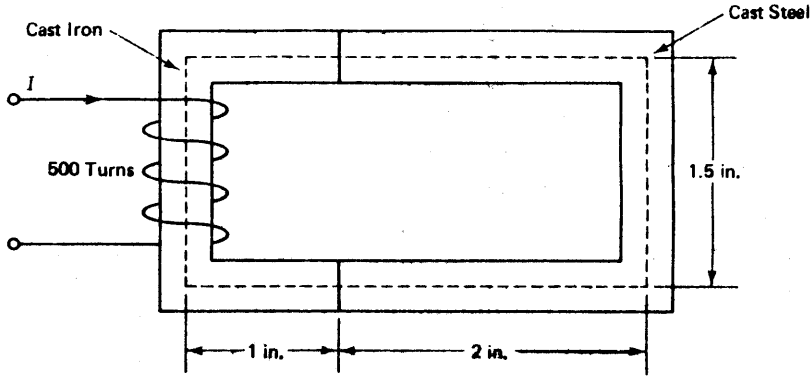
POWEREN.IR

مثال ۱۳ ــ ۱ (سیستم ENG) : ***Example 1-13 (English)***

هسته‌ای مطابق شکل (۱۱ ــ ۱) مفروض است سطح مقطع در کل هسته یکنواخت بوده و معادل ۱/۲۵ اینچ مربع است . اگر بخواهیم شار در هسته 50 kilolines, باشد ، مطلوبست :

(الف) : MMF مورد نیاز که باید توسط سیم پیچ بوجود آید .

(ب) : جریان در سیم پیچ .



شکل ۱۱ ــ ۱ : هسته مربوط به مثال ۱۳ ــ ۱

حل :

برای حل این مساله خدولی مطابق جدول (۱ ــ ۱) تشکیل میدهیم . هسته مورد نظر در این مساله از دو قسمت تشکیل شده است . قسمت اول از جنس چدن بوده و قسمت دیگر از جنس فولاد ریخته‌گری است .

جدول ۱ ــ ۱ ***Table 1-1***

Part	ϕ	A	B	H	l	Hl
Cast iron	50 k	1.25	40 k	68	3.5	238
Cast steel	50 k	1.25	40 k	10	5.5	55
Total MMF						293

حال ببینیم که اعداد این جدول چگونه پر شده است . برای هر دو قسمت هسته داریم :

$$B = \frac{\phi}{A} = \frac{50\text{ k}}{1.25} = 40 \text{ kilolines/in}^2$$

POWEREN.IR

با توجه به شکل (۶ ــ ۱) میتوان H را برای این دو قسمت پیدا کرد.

برای چدن داریم:

$$l = 1 \text{ in.} + 1.5 \text{ in.} + 1 \text{ in.}$$
$$= 3.5 \text{ in.}$$

برای فولاد ریخته‌گری داریم:

$$l = 2 \text{ in.} + 1.5 \text{ in.} + 2 \text{ in.}$$
$$= 5.5 \text{ in.}$$

حال میتوان HL را برای هر دو قسمت بدست آورد.

(الف): کل MMF مورد نیاز مجموع افتهای HL است.

$$\text{total MMF} = 238 + 55 = 293 \text{ A-turns}$$

ب:

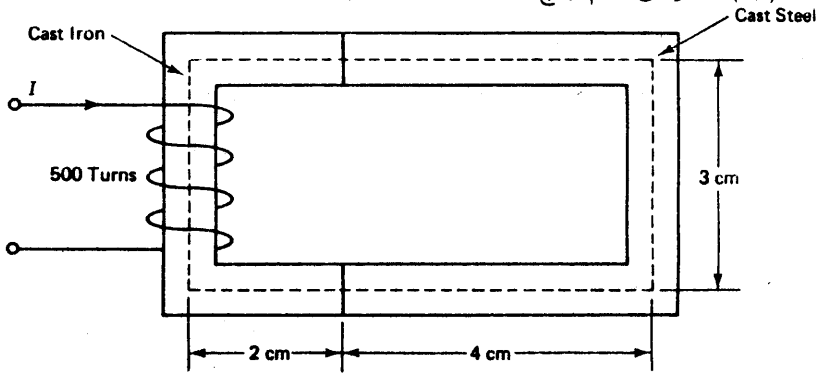
$$\text{Total MMF} = NI$$
$$293 = 500I$$
$$I = \frac{293}{500} = 0.586 \text{ A}$$

مثال ۱۴ ــ ۱ (سیستم SI): ***Example 1-14 (SI)***

هسته‌ای مطابق شکل (۱۲ــ ۱) مفروض است. سطح مقطع در کل هسته یکنواخت بوده و معادل ۰/۰۰۰۹ متر مربع میباشد. اگر بخواهیم شار در هسته ۰/۰۰۰۷۵ وبر باشد، مطلوبست:

(الف): MMF مورد نیاز که باید توسط سیم پیچ تولید شود.

(ب): جریان سیم پیچ.



شکل ۱۲ ــ ۱: هسته مربوط به مثال ۱۴ ــ ۱

POWEREN.IR

حل :

برای حل این مساله جدولی مطابق جدول (۲ ــ ۱) تشکیل میدهیم . هسته مورد نظر دراین مساله از دو قسمت تشکیل شده است . قسمت اول از جنس چدن بوده و قسمت دیگر از جنس فولاد ریخته‌گری است .

Table 1-2 جدول ۲ ــ ۱

Part	ϕ	A	B	H	l	Hl
Cast iron	0.75×10^{-3}	9×10^{-4}	0.83	9.4 k	0.07	658
Cast steel	0.75×10^{-3}	9×10^{-4}	0.83	0.5 k	0.11	55
Total MMF						713

حال ببینیم که اعداد این جدول چگونه پر شده است . برای هر دو قسمت هسته داریم :

$$B = \frac{\phi}{A} = \frac{0.75 \times 10^{-3}}{9 \times 10^{-4}} = 0.83 \text{ T}$$

از شکل (۷ ــ ۱) میتوان استفاده کرد و H را در هر دو قسمت حساب کرد .

برای چدن داریم :

$$l = 2 \text{ cm} + 3 \text{ cm} + 2 \text{ cm}$$
$$= 7 \text{ cm} = 0.07 \text{ m}$$

HL = ۰/۰۷ × ۹/٤ × ۱۰۰۰ = ٦٥٨

برای فولاد ریخته‌گری داریم :

$$l = 4 \text{ cm} + 3 \text{ cm} + 4 \text{ cm}$$
$$= 11 \text{ cm} = 0.11 \text{ m}$$

= ۰/۱۱ × ۰/۵ × ۱۰۰۰ = ۵۵

حال میتوان HL را برای هر دو قسمت بدست آورد .

(الف) : کل MMF مورد نیاز با مجموع افتهای HL برابر است .

$$\text{total MMF} = 658 + 55 = 713 \text{ A}$$

(ب) :

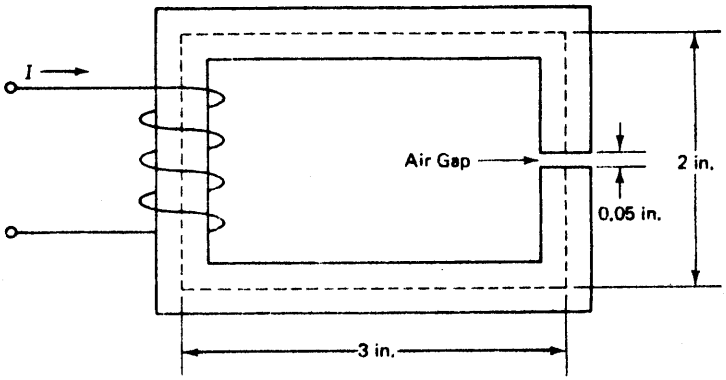
$$\text{Total MMF} = Nl$$
$$713 = 500I$$
$$I = \frac{713}{500} = 1.43 \text{ A}$$

مثال ۱۵ ــ ۱ (سیستم ENG) : *Example 1-15 (English)*

هسته‌ای مطابق شکل (۱۳ ــ ۱) مفروض بوده و از جنس چدن ساخته شده است . اگر بخوهیم شار در این مدار 150-kilolines. باشد ، مطلوبست محاسبه MMF

POWEREN.IR

مورد نیاز فرض بر آن است که سطح مقطع در کل هسته و نیز در فاصله هوائی (۱) یکسان بوده و معادل ۳ اینچ مربع میباشد .



شکل ۱۳ ــ ۱ : هسته مربوط به مثال ۱۵ ــ ۱

حل :

این مدار مغناطیسی نیز از دو قسمت تشکیل شده است . یک قسمت از جنس چدن بوده و قسمت دیگر همان فاصله هوائی است . برای حل این مساله نیز جدولی مطابق جدول (۳ ــ ۱) تشکیل میدهیم

Table 1-3 — جدول ۳ ــ ۱

Part	ϕ	A	B	H	l	Hl
Cast iron	150k	3	50k	130	10	1300
Air gap	150k	3	50k	15.67×10^3	0.05	783.5
Total MMF						2083.5

حال ببینیم اعداد این جدول چگونه بدست آمده‌اند . برای B داریم :

$$B = \frac{\phi}{A} = \frac{150k}{3} = 50k$$

H برای هوا اینچنین حساب میشود :

$$B = \mu_0 H$$

$$H = \frac{B}{\mu_0} = \frac{50 \text{ kilolines/in}^2}{3.19 \times 10^{-3} \dfrac{\text{kilolines/in}^2}{\text{A-turns/in}}}$$

$$= 15.67 \times 10^3 \text{ A-turns/in.}$$

1) Air-gap

POWEREN.IR

برای آن قسمتی که از جنس چدن است (غیر از فاصله هوائی) داریم:

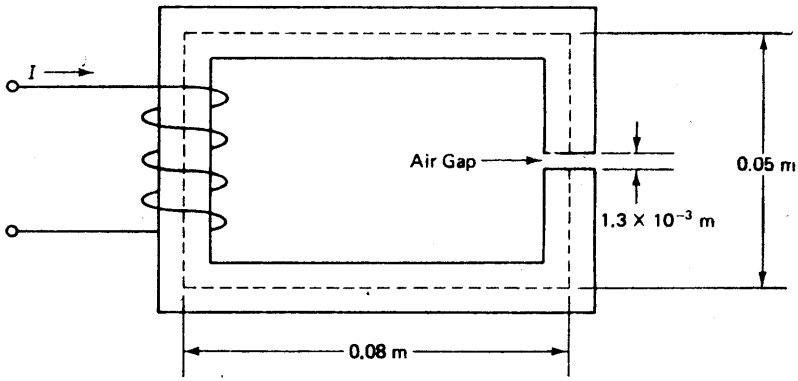
$$l = 3 \text{ in.} + 2 \text{ in.} + 3 \text{ in.} + 2 \text{ in.} = 10 \text{ in.}$$

از شکل (۶ ــ ۱) استفاده کرده و H را برای چدن بدست می‌آوریم (130 A-turns/in.)
کل MMF مورد نیاز مجموع افتهای HL است. لذا:

$$\text{total MMF} = 1300 + 783.5 = 2083.5 \text{ A-turns}$$

مثال ۱۶ ــ ۱ (سیستم SI): ***Example 1-16 (SI)***

هسته‌ای مطابق شکل (۱۴ ــ ۱) مفروض بوده و از جنس چدن ساخته شده است. اگر بخواهیم شار در این مدار ۰/۰۰۱۵ وبر باشد، مطلوبست محاسبه MMF مورد نیاز. فرض بر آن است که سطح مقطع در کل هسته و نیز در فاصله هوائی یکسان بوده و معادل ۰/۰۰۲ متر مربع باشد.



شکل ۱۴ ــ ۱: هسته مربوط به مثال ۱۶ ــ ۱

حل:

این مدار مغناطیسی از دو قسمت تشکیل شده است یک قسمت ازجنس چدن بوده و قسمت دیگر همان فاصله هوائی است. برای حل این مساله جدولی مطابق جدول (۴ ــ ۱) تشکیل میدهیم:

POWEREN.IR

POWEREN.IR

Table 1-4 جدول ۴ – ۱

Part	ϕ	A	B	H	l	Hl
Cast iron	15×10^{-4}	20×10^{-4}	0.75	4.5×10^{3}	0.26	1170
Air gap	15×10^{-4}	20×10^{-4}	0.75	5.97×10^{5}	1.3×10^{-3}	776.1
Total MMF						1946.1

حال ببینیم اعداد این‌جدول چگونه بدست آمده‌اند. برای B داریم:

$$B = \frac{\phi}{A} = \frac{15 \times 10^{-4}}{20 \times 10^{-4}} = 0.75\ \text{T}$$

H را در فاصله هوائی اینچنین حساب میکنیم:

$$B = \mu_0 H$$

$$H = \frac{B}{\mu_0} = \frac{0.75\ \text{T}}{4\pi \times 10^{-7}\ \frac{\text{T}}{\text{A/m}}}$$

$$= 5.97 \times 10^{5}\ \text{A/m}$$

$Hl = 1.3 \times 10^{-3} \times 5.97 \times 10^{5} = 776.1$

برای ان قسمت که از چدن ساخته شده داریم:

$$l = 0.08\ \text{m} + 0.05\ \text{m} + 0.08\ \text{m} + 0.05\ \text{m}$$

$$= 0.26\ \text{m}$$

$Hl = 4.5 \times 0.26 = 1170$

از شکل (۷ – ۱) استفاده کرده، H را بدست می‌آوریم (4.5 kA/m.) کل MMF مورد نیاز برابر مجموع افتهای Hl است. لذا:

$$\text{total MMF} = 1170 + 776.1 = 1946.1\ \text{A}$$

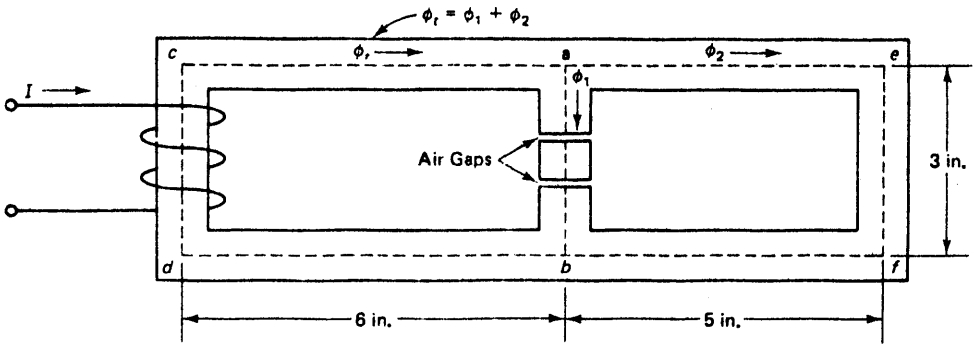
جالب توجه آن است که در مثالهای (۱۵ – ۱) و (۱۶ – ۱) با آنکه طول قسمت فلزی ۲۰۰ برابر طول فاصله هوائی است، اما ۴۰٪ از کل MMF در قسمت فاصله هوائی افت پیدا میکند. بهمین دلیل در دستگاههای الکترومغناطیسی فاصله هوائی را حتی‌الامکان کوچک انتخاب میکنند. بعبارت دیگر هرچه فاصله هوائی کمتر باشد، MMF کمتری جهت ایجاد شاری مفروض مورد نیاز خواهد بود. در نتیجه به جریان یا تعداد دور سیم کمتری احتیاج خواهیم داشت. اما نباید این موضوع را فراموش کرد که در موتورها یا ژنراتورها به فاصله هوائی نیاز داریم زیرا در غیر این صورت اصطکاک بین قسمتهای دوار و ساکن اینگونه ماشینها، فلسفه وجودی آنها را نفی خواهد کرد. معمولاً در ماشینهای الکتریکی فاصله هوائی $\frac{1}{20}$ اینچ یا ۱ تا ۲ میلیمتر است.

POWEREN.IR

POWEREN.IR

مثال ۱۷ ــ ۱ (سیستم ENG) : ***Example 1-17 (English)***

هسته‌ای مطابق شکل (۱۵ ــ ۱) مفروض بوده و از جنس فولاد ریخته‌گری ساخته شده است. اگر بخواهیم شار در فاصله هوائی (ϕ_1) معادل 240 kilolines. باشد، MMF مورد نیاز را حساب کنید. فرض بر آن است که سطح مقطع در پایه وسطی هسته (a تا b) و همچنین سطح مقطع فواصل هوائی ۴ اینچ مربع باشد. سطح مقطع قسمت سمت راست هسته ۶ اینچ مربع و سطح مقطع قسمت سمت چپ هسته ۸ اینچ مربع میباشد. طول هر کدام از فواصل هوائی ۰/۰۵ اینچ است.



شکل ۱۵ ــ ۱: هسته مربوط به مثال ۱۷ ــ ۱

حل:

این هسته از سه قسمت متمایز تشکیل شده است،

۱ ــ قسمت مرکزی که شامل دو فاصله هوائی است (a تا b).

۲ ــ قسمت سمت چپ (acdb).

۳ ــ قسمت سمت راست (aefb).

جدول ۱۵ ــ ۱ ***Table 1-5***

Part	ϕ	A	B	H	l	Hl
Left *acdb*	870k $(\phi_1 + \phi_2)$	8	109k	190	15	2850
Center *ab*	240k (ϕ_1)	4	60k	12	3	36
Two air gaps	240k (ϕ_1)	4	60k	18,810	0.1	1881
Right *aefb*	630k ϕ_2	6	105k	147.46	13	1917

sum of MMFs

POWEREN.IR

برای حل این مساله جدولی مطابق جدول (۵ ــ ۱) تشکیل میدهیم . حال ببینیم این جدول چگونه پر شده است .

در قسمت مرکزی هسته که شامل دو فاصله هوائی است داریم :

$$B = \frac{\phi}{A} = 60 \text{ kilolines/in}^2$$

از شکل (۶ ــ ۱) داریم :

$$H_{ab} = 12 \text{ A-turns/in.}$$

$$H_{\text{air gap}} = \frac{B}{\mu_0} = \frac{60}{3.19 \times 10^{-3}} = 18.81 \times 10^3 \text{ A-turns/in.}$$

حال افتهای HL را در قسمت مرکزی حساب کرده و مجموع آنها بمثابه MMF برای قسمت سمت راست (aefb) عمل میکند .

$$Hl = 36 + 1881 = 1917 \text{ A-turns}$$

$$H = \frac{Hl}{l} = \frac{1917}{13} = 147.46$$

از شکل (۶ ــ ۱) داریم :

$$B = 105 \text{ kilolines/in}^2$$

$$\phi_2 = B \times A = 105k(6) = 630 \text{ kilolines}$$

برای قسمت سمت چپ (acdb) داریم :

$$\phi_t = \phi_1 + \phi_2$$

$$= 240k + 630k = 870 \text{ kilolines}$$

$$B = \frac{870k}{8} \approx 109 \text{ kilolines/in}^2$$

از شکل (۶ ــ ۱) داریم :

$$H = 190 \text{ A-turns/in.}$$

$$Hl = 190 \times 15 = 2850 \text{ A-turns}$$

$$\text{total coil MMF} = 2850 + 1917$$

$$= 4767 \text{ A-turns}$$

یا :

$$2850 + 36 + 1881 = 4767 \text{ A-turns.}$$

مثال ۱۸ ــ ۱ (سیستم SI) : ***Example 1-18 (SI)***

هسته‌ای مطابق شکل (۱۶ ــ ۱) مفروض بوده و از جنس فولاد ریخته‌گری میباشد .

اگر بخواهیم شار در فاصله هوائی (ϕ_1) معادل ۰/۰۰۲۴ وبر باشد ، MMF مورد نیاز

POWEREN.IR

را حساب کنید . فرض برآن است که سطح مقطع در پایه وسطی هسته (a تا b) و همچنین سطح مقطع فواصل هوائی ۰/۰۰۲۸ متر مربع میباشد . سطح مقطع قسمت سمت راست هسته ۰/۰۰۳۵ متر مربع و سطح مقطع قسمت سمت چپ هسته ۰/۰۰۵ متر مربع میباشد . طول هر کدام از فواصل هوائی ۰/۰۰۱ متر است .

حل:

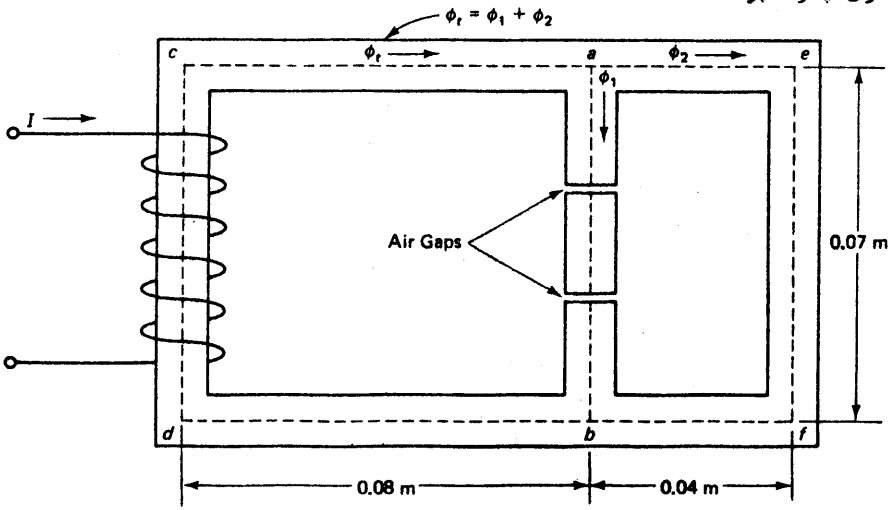
این هسته از سه قسمت متمایز ساخته شده است .

۱ ــ قسمت مرکزی که شامل دو فاصله هوائی است .

۲ ــ قسمت سمت چپ (acdb)

۳ ــ قسمت سمت راست (aefb)

برای حل این مساله جدولی مطابق جدول (۶ ــ ۱) تشکیل میدهیم حال ببینیم این جدول چگونه پر شده است .



شکل ۱۶ ــ ۱ هسته مربوط به مثال ۱۸ ــ ۱

در قسمت مرکز که شامل دو فاصله هوائی است داریم :

$$B = \frac{\phi}{A} = \frac{24 \times 10^{-4}}{28 \times 10^{-4}}$$
$$= 0.86 \text{ T}$$

POWEREN.IR

POWEREN.IR

Table 1-6 جدول ۶ — ۱

Part	ϕ	A	B	H	l	Hl
Left *acdb*	84.2×10^{-4} $(\phi_1 + \phi_2)$	50×10^{-4}	1.68	7.75k	0.23	1782.5
Center *ab*	24×10^{-4} (ϕ_1)	28×10^{-4}	0.86	500	0.07	35
Two air gaps	24×10^{-4} (ϕ_1)	28×10^{-4}	0.86	684k	0.002	1368
Right *aefb*	60.2×10^{-4} (ϕ_2)	35×10^{-4}	1.72	9.35k	0.15	1403

sum of MMFs

از شکل (۷ — ۱) داریم :

$$H_{ab} = 0.5 \text{ kA/m} = 500 \text{ A/m}$$

$$H_{\text{air gap}} = \frac{B}{\mu_0} = \frac{0\ 86}{4\pi \times 10^{-7}} = 684 \text{ kA/m}$$

حال افتهای HL را در بخش مرکزی هسته حساب کرده و مجموع این افتها بمثابه MMF برای قسمت سمت راست (aefb) عمل میکند .

$$Hl = 35 + 1368 = 1403 \text{ A}$$

$$H = \frac{Hl}{l} = \frac{1403}{0.15} = 9.353 \text{ kA/m}$$

از شکل (۷ — ۱) داریم :

$$B = 1.72 \text{ T}$$

$$\phi_2 = B \times A = 1.72 \times 35 \times 10^{-4} = 60.2 \times 10^{-4}$$

برای قسمت سمت چپ (acdb) داریم :

$$\phi_t = \phi_1 + \phi_2$$

$$= 24 \times 10^{-4} + 60.2 \times 10^{-4} = 84.2 \times 10^{-4}$$

$$B = \frac{84.2 \times 10^{-4}}{50 \times 10^{-4}} \approx 1.68 \text{ T}$$

از شکل (۷ — ۱) داریم :

$$H = 7.75 \text{ kA/m}$$

$$Hl = 7.75 \text{ k} \times 0.23 = 1782.5 \text{ A}$$

یا :

$$\text{Total coil MMF} = 1782.5 + 1403 = 3185.5 \text{ A}$$

$$1782.5 + 35 + 1368 = 3185.5 \text{ A.}$$

POWEREN.IR

SYMBOLS INTRODUCED IN CHAPTER 1

	Symbol	Definition	Units: English	Units: SI
۱	ϕ	Magnetic flux	lines (or maxwells)	webers (Wb)
۲	B	Flux density	lines/in^2	Wb/m^2 [or tesla (T)]
۳	A	Cross-sectional area	in^2	m^2
۴	U	Magnetomotive force	ampere-turns	amperes (A)
۵	H	Magnetic field intensity	A-turns/in.	A/m
۶	l	Mean length of magnetic circuit	inches	meters
۷	N	Number of turns of wire	turns	turns
۸	$\mathcal{R}$	Reluctance	$\frac{\text{A-turns}}{\text{lines/in}^2}$	A/T
۹	μ	Permeability of magnetic material	$\frac{\text{lines/in}^2}{\text{A-turns/in.}}$	$\frac{\text{T}}{\text{A/m}}$
۱۰	μ_0	Permeability of air	$3.19 \times 10^{-3} \frac{\text{kilolines/in}^2}{\text{A-turns/in.}}$	$4\pi \times 10^{-7} \frac{\text{T}}{\text{A/m}}$

علائم اختصاری بکار برده شده در فصل اول در دو سیستم آحادی انگلیسی و بین‌المللی .

۱ ــ شار مغناطیسی

۲ ــ چگالی شار

۳ ــ سطح مقطع

۴ ــ نیروی محرکه مغناطیسی (MMF)

۵ ــ شدت میدان مغناطیسی

۶ ــ طول متوسط مدار مغناطیسی

۷ ــ تعداد دور سیم پیچ

۸ ــ رلوکتانس (مقاومت مغناطیسی)

۹ ــ نفوذ پذیری مغناطیسی (پرمابلیته) ماده مغناطیسی

۱۰ ــ پرمابلیته (نفوذ پذیری مغناطیسی) هوا

POWEREN.IR

فصل دوم

چگونگی پیدایش ولتاژ و گشتاور

۳۲ صفحه

PRINCIPLES OF VOLTAGE AND TORQUE GENERATION

POWEREN.IR

PowerEn.ir

POWEREN.IR

چگونگی پیدایش ولتاژ و گشتاور

مقدمه:

دینامو [۱] وسیله‌ایست که انرژی مکانیکی را به انرژی الکتریکی و یا بالعکس انرژی الکتریکی را به انرژی مکانیکی تبدیل میکند. در حالتی که انرژی مکانیکی به انرژی الکتریکی تبدیل میشود، دینامو را ژنراتور [۲] نامند و در حالتی که انرژی الکتریکی به انرژی مکانیکی مبدل گردد، دینامو را موتور [۳] گویند. در فصل اول با مفاهیم شار، چگالی شار، فاصله هوائی و چگونگی پیدایش میدان مغناطیسی آشنا شدیم. در این فصل با اصول کار ژنراتورها و موتورها آشنائی پیدا میکنیم. در این فصل اثرات متقابل دو پدیده مهم مغناطیسی و الکتریسته بر یکدیگر را مورد توجه قرار میدهیم.

۱ ـ ۲ ـ ولتاژ القاء شده در یک هادی:

2-1 VOLTAGE INDUCED IN A CONDUCTOR

حدود ۱۵۰ سال پیش فاراده [۴] پدیده بسیار ارزنده‌ای را کشف نمود. او دریافت که اگر یک سیم [۵] (هادی) درون میدان مغناطیسی طوری حرکت کند که خطوط شار را قطع نماید، در اینصورت در سیم (هادی) [۶] ولتاژ القاء خواهد شد. بعبارت ساده‌تر در سیم ولتاژ تولید میگردد. همچنین فاراده دریافت‌که اگر سیم در مدت یک ثانیه، شاری معادل یک‌وبر یا 100 million lines را قطع نماید، ولتاژ القاء شده [۷] (ولتاژ تولید شده [۸]) معادل یک ولت خواهد بود. قانون فاراده در قالب ریاضی اینچنین بیان میگردد. درسیستم (ENG) داریم:

$$E = Blv(\sin\theta) \times 10^{-8} \qquad (2\text{-}1a)$$

در سیستم (SI) داریم:

$$E = Blv(\sin\theta) \qquad (2\text{-}1b)$$

برای استفاده صحیح از معادلات اخیر باید به آحاد مندرج در جدول (۱ـ ۲) توجه نمود.

---

1) Dynamo 2) Generator 3) Motor
4) Faraday 5) Wire 6) Conductor
7) Induced-Voltage 8) Generated-Voltage

POWEREN.IR

جدول ۱ ــ ۲ *Table 2-1*

English (Eq. 2-1a)		SI (Eq. 2-1b)	
B	lines/in^2	B	tesla or Wb/m^2
l	inches	l	meters
v	inches/s	v	meters/s

در دو معادله فوق داریم :

۱ ــ (E) ــ ولتاژ لحظه‌ای (۱) القاء شده درسیم

۲ ــ (B) ــ چگالی شار

۳ ــ (l) ــ طول موثر سیم متحرک در میدان مغناطیسی

۴ ــ (U) ــ سرعت (۲) حرکت سیم

۵ ــ (θ) زاویه (۳) بین سیم و خطوط شار

لازم به تذکر است :

الف : اگر سیم موازی (۴) میدان حرکت کند زاویه θ صفر خواهد بود .

ب : اگر سیم عمود (۵) بر میدان حرکت کند زاویه θ مساوی ۹۰ درجه خواهد بود .

برای روشن‌تر شدن مطلب شکل (۱ ــ ۲) را در نظر میگیریم . با توجه بشکل میتوان گفت که :

۱ ــ الف : هرگاه سیم در جهت پیکان a حرکت کند ، سیم خطوط شار را قطع نمیکند و لذا ولتاژ القاء شده (تولید شده) در سیم صفر خواهد بود . زیرا در این حالت θ نیز صفر است .

۲ ــ ب : اگر سیم در جهت پیکان b حرکت کند ، بیشترین خطوط شار توسط سیم قطع میگردد و لذا ولتاژ القاء شده (تولید شده) حداکثر یا ماکزیمم خواهد بود . زیرا در این حالت زاویه θ نیز ۹۰ درجه خواهد بود .

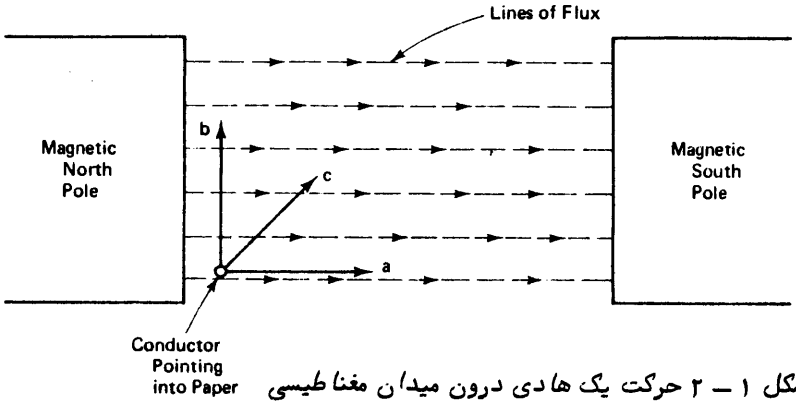
۳ ــ ج : در صورتیکه سیم در جهت پیکان c پیش برود ، برخی از خطوط شار توسط سیم قطع گردد در این حالت ولتاژ القا شده (تولید شده) صفر نخواهد بود ولی کمتر از حالت "۲ ــ ب" فوق‌الذکر خواهد بود .

---

1) Instantaneous-Voltage 2) Velocity
3) Angle 4) Parallel 5) Perpendicular

POWEREN.IR

۴ ــ د : اگر حرکت سیم طوری باشد که فی‌المثل بداخل کاغذ برود و یا از صفحه کاغذ خارج شود ، در این صورت سیم هیچگونه خطوط شاری را قطع نمیکند و ولتاژ القا شده در این حالت نیز صفر است .



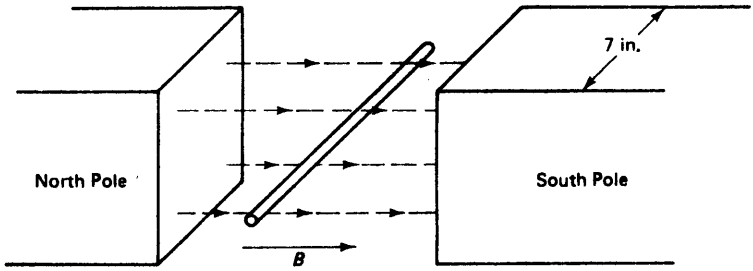
شکل ۱ ــ ۲ حرکت یک هادی درون میدان مغناطیسی

مثال ۱ ــ ۲ (سیستم ENG) . ***Example 2-1 (English)***

شکل (۲ ــ ۲) را در نظر میگیریم . اگر طول سیم ۱۰ اینچ بوده و چگالی شار $100{,}000\ \text{lines/in}^2$ باشد ، مطلوبست محاسبه ولتاژ القاء شده در سیم (هادی) مشروط بر آنکه سرعت حرکت‌هادی ۴۰ اینچ بر ثانیه باشد . این مثال را برای دو حالت زیر حساب کنید .

(a) $\theta = 35°$

(b) $\theta = 90°$ (maximum voltage)



شکل ۲ ــ ۲ دیاگرام مربوط به مثال ۱ ــ ۲

POWEREN.IR

حل:

از رابطه (a ۱ ــ ۲) استفاده میکنیم . باید توجه کرد با آنکه طول سیم ۱۰ اینچ میباشد ولی فقط ۷ اینچ آن درون میدان قرار دارد (چرا؟)

$$\text{(a)}\quad E = Blv(\sin\theta) \times 10^{-8}$$
$$= 100 \times 10^3(7)(40)(\sin 35°) \times 10^{-8}$$
$$= 16{,}060.2 \times 10^{-5}$$
$$= 0.16\ \text{V}$$

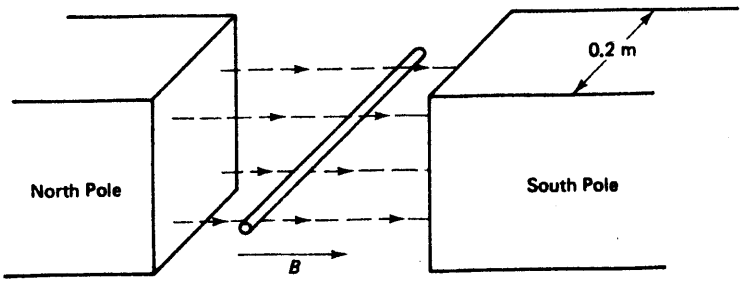
$$\text{(b)}\quad E = 100 \times 10^3(7)(40)(\sin 90°) \times 10^{-8}$$
$$= 28{,}000 \times 10^{-5}$$
$$= 0.28\ \text{V}$$

مثال ۲ ــ ۲ (سیستم SI): ***Example 2-2 (SI)***

شکل (۳ ــ ۲) را در نظر میگیریم . اگر طول سیم ۰/۵ متر باشد و چگالی شار ۱/۵ تسلا در نظرگرفته شود ، مطلوبست محاسبه ولتاژ القاء شده درسیم ، مشروط بر آنکه سرعت حرکت سیم ۱/۳ متر بر ثانیه باشد . این مثال را برای دو حالت زیر حساب کنید .

(a) $\theta = 35°$

(b) $\theta = 90°$ (maximum voltage)



شکل ۳ ــ ۲: دیاگرام مربوط به مثال ۲ ــ ۲

حل:

از رابطه (b ۱ ــ ۲) استفاده میکنیم . باید توجه کرد ، با آنکه طول سیم ۰/۵ متر است ولی فقط ۰/۲ متر (۲۰ سانتیمتر) آن درون میدان قرار دارد (چرا؟) .

POWEREN.IR

POWEREN.IR

(a) $E = Blv(\sin\theta)$

$= 1.5(0.2)(1.3)(\sin 35°)$

$= 0.22$ V

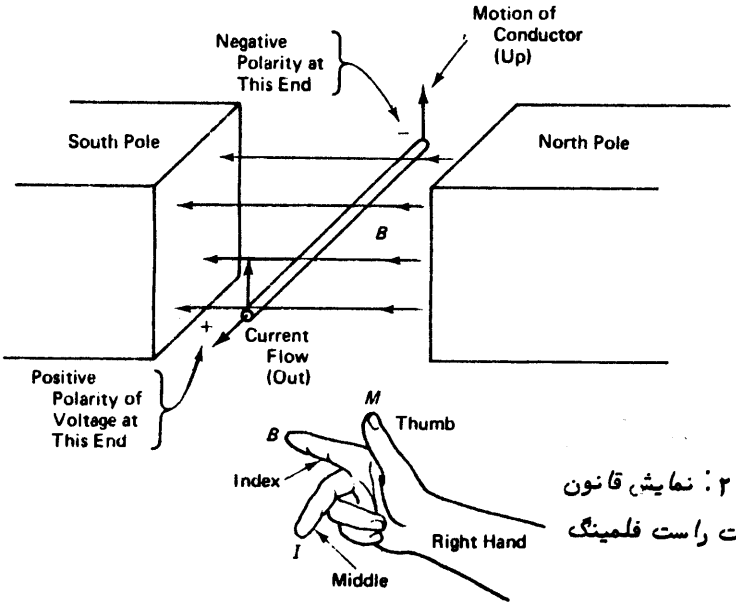
(b) $E = 1.5(0.2)(1.3)(\sin 90°)$

$= 0.39$ V

۱ ــ ۱ ــ ۲ پلارتیه[1] ولتاژ القاء شده (ولتاژ تولید شده) :

2-1.1 Polarity of the Induced Voltage

از بحث قبل دریافتیم که چگونه در یک سیم (هادی) ولتاژ القاء میگردد . اما باید به نکات مهمتری درباره این ولتاژ توجه کرد . فرض میکنیم که بدوسر سیم مورد بحث یک مدار بسته متصل میسازیم ، در اینصورت اگر در سیم ولتاژ القاء شود ، در این مدار بسته نیز جریان برقرار میگردد . همچنین باید متذکر شد که جهت این جریان به جهت شار و جهت حرکت سیم (هادی) بستگی دارد ، آقای فلمینگ توسط قانون خود مشهور به قانون دست راست فلمینگ[2] جهت این جریان را مشخص نمود .



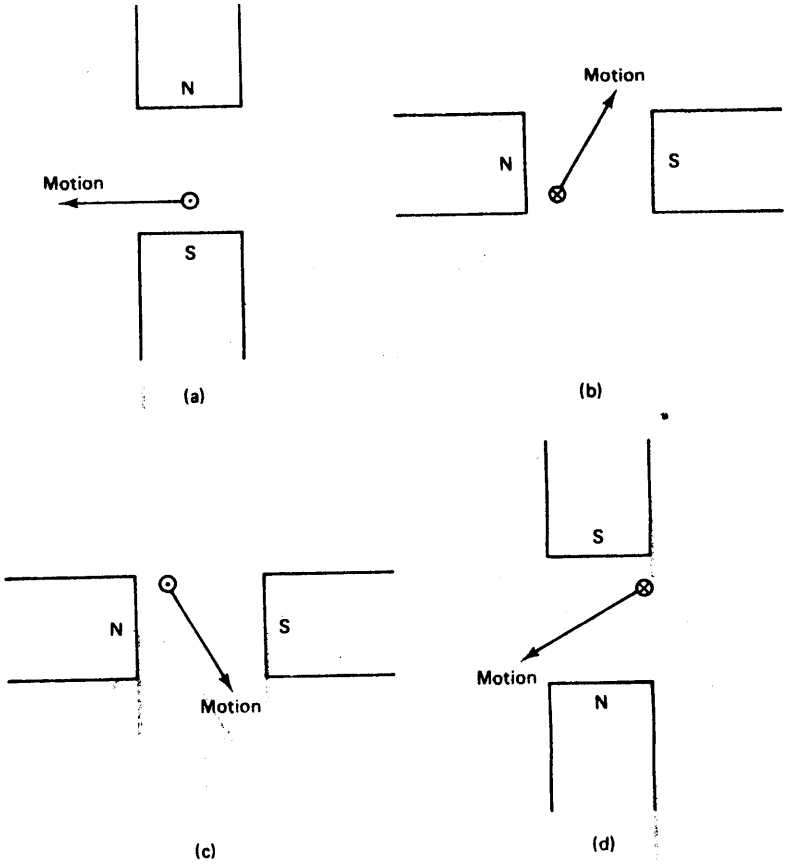
شکل ۴ ــ ۲ : نمایش قانون دست راست فلمینگ

1) Polarity 2) Fleming's-Right-Hand-Rule

POWEREN.IR

POWEREN.IR

شکل (۴ – ۲) را در نظر میگیریم . اگر انگشت سبابه دست راست خود را در جهت شار مغناطیسی قرار دهیم و انگشت شست همین دست را در جهت حرکت هادی (سیم) بگذاریم ، انگشت وسطی دست راست جهت **جریان** را در صورت بسته بودن مدار سیم (هادی) نشان میدهد . همچنین همین انگشت وسطی دست راست پلارتیه ولتاژ القاء شده در هادی (سیم) را بنمایش میگذارد . البته باید توجه داشت که پلارتیه مثبت ولتاژ در امتداد انگشت وسطی دست راست خواهد بود . در اینجا یادآوری میکنیم که اگر جهت شار یا جهت حرکت هادی عوض شود (نه جهت هر دو) در اینصورت جهت جریان و پلارتیه ولتاژالقاء شده نیز عوض میگردد . اما اگر جهت شار و جهت حرکت هادی هر دو با هم عوض شوند ، در اینصورت جهت جریان و پلارتیه ولتاژ القاء شده عوض نمیگردد .



شکل ۵ – ۲ : حالتهای مربوط به مثال ۳ – ۲

POWEREN.IR

مثال ۳ ــ ۲: ***Example 2-3***

شکل (۵ ــ ۲) را در نظر بگیرید. با استفاده از قانون دست راست فلمینگ پلارتیه ولتاژهای القاء شده را پیدا کنید.

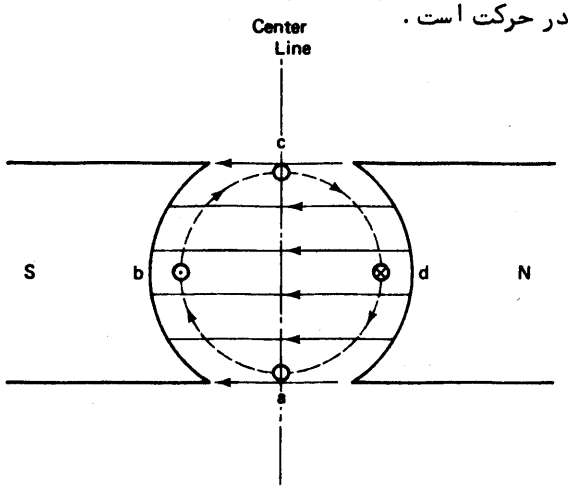
حل:

با توجه به قانون دست راست فلمینگ درمییابیم که جهت جریان در شکلهای a و c به طرف خارج صفحه کاغذ بوده و جهت جریان در شکلهای b و d بطرف داخل صفحه کاغذ خواهد بود.

۲ ــ ۱ ــ ۲ بررسی وضعیت یک سیم (هادی) در یک مسیر دایره‌ای

2-1.2 Single Conductor in a Circular Path

معمولا" در ژنراتورها و موتورها مسیر حرکت هادی (سیم) یک مسیر دایره‌ای است و هادی دائما" این مسیر را طی میکند. شکل (۶ ــ ۲) یک حالت بسیار ساده از این مسیر دایره‌ای را نشان میدهد که هادی دائما" بین‌قطبهای شمال (۱) و جنوب (۲) (مثبت و منفی) در حرکت است.



شکل ۶ ــ ۲: نمایش یک هادی که یک مسیر دایره‌ای را در جهت عقربه ساعت می‌پیماید

1) North Pole = Positive Pole
2) Negative Pole = South Pole

POWEREN.IR

POWEREN.IR

هرگاه هادی ۳۶۰ درجه کامل را طی کند ، در اینصورت یک سیکل کامل از ولتاژ القاء شده پدیدار خواهد شد . علت این امر بشرح ذیل است :

الف: در نقطه a هادی موازی خطوط شار حرکت کرده و لذا این خطوط را قطع نمیکند و بالنتیجه ولتاژ القاء شده نیز صفر خواهد بود .

ب: هرگاه هادی از نقطه a رهسپار نقطه b گردد در اینصورت در طول این سفر خطوط شار بیشتری را قطع میکند ولذا ولتاژ القاء شده در هر لحظه بیشتر میگردد ، تا بالاخره به نقطه b برسد که در اینجا حرکت هادی عمود بر خطوط شار بوده و در نتیجه حداکثر ولتاژ القاء شده حاصل میگردد (ولتاژ ماکزیمم) . با استفاده از قانون دست راست فلمینگ درمیابیم که پلارتیه این ولتاژ در نقطه b بطرف خارج صفحه کاغذ میباشد .

ج: هرگاه هادی از نقطه b بگذرد و بطرف c برود در اینصورت در طول این مسیر در هر لحظه خطوط شار کمتری را قطع میکند تا بالاخره به نقطه c برسد . لذا در طول مسیر b ولتاژ القاء شده سیر نزولی دارد تا بالاخره به نقطه c برود .

د: در نقطه c دوباره حرکت هادی موازی خطوط شار بوده و لذا خطوط شار قطع نمیگردد و در نتیجه ولتاژ القاء شده صفر خواهد بود .

هـ: اگر هادی از نقطه c بطرف نقطه d برود در اینصورت در هر لحظه خطوط شار بیشتری را قطع میکند و لذا ولتاژ القاء شده سیر صعودی خواهد داشت تا بالاخره به نقطه d برسیم که در اینجا ولتاژ القاء شده باز حداکثر (ماکزیمم) خواهد بود . باید توجه داشت که:

۱ ــ هـ: در طول مسیر cd پلارتیه ولتاژ عوض میشود ، زیرا دریافتیم که اگر جهت حرکت هادی عوض شود ولی جهت خطوط شار ثابت بماند ، در اینصورت پلارتیه ولتاژ نیز عوض خواهد شد .

۲ ــ هـ: با توجه به مطالب فوق ، ولتاژ القاء شده در نقطه d حداکثر (ماکزیمم) بوده ولی پلارتیه ولتاژ در این حالت بطرف داخل صفحه کاغذ است (عکس پلارتیه نقطه b) .

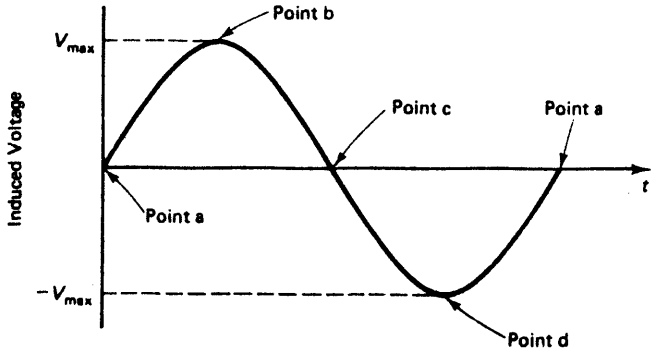
و: هرگاه هادی به دوران خود ادامه دهد (مسیر da) در اینصورت دائما " خطوط شار کمتری را قطع میکند تا بالاخره به مبداء اولیه (نقطه a) برسد . در اینجا باز ولتاژ القائی صفر خواهد شد . باید خاطر نشان ساخت که پلارتیه ولتاژ در مسیر da مطابق پلارتیه ولتاژ در مسیر cd بوده ولی مقدار ولتاژ القاء شده بر عکس مسیر c d

POWEREN.IR

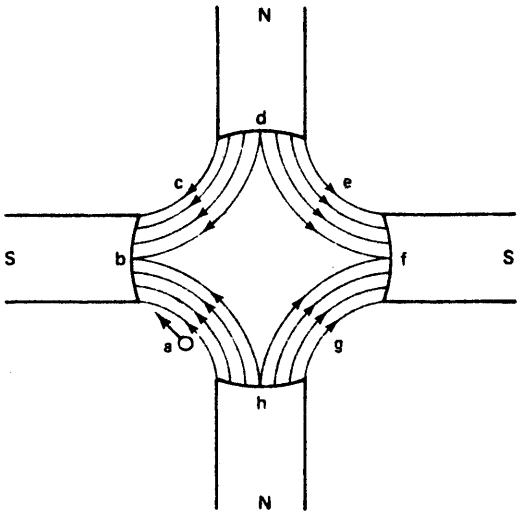
POWEREN.IR

که سیر صعودی داشت در اینحالت سیر نزولی پیدا میکند .

شکل (۷ ــ ۲) تغییرات ولتاژ القاء شده را بر حسب زمان نشان میدهد و نقاط مسیر حرکت (a ، b ، c ، d) نیز بر روی شکل مشخص شده است ، همانطور که از شکل پیداست پلارتیه ولتاژ در مسیر abc مثبت و در مسیر cda منفی خواهد بود .



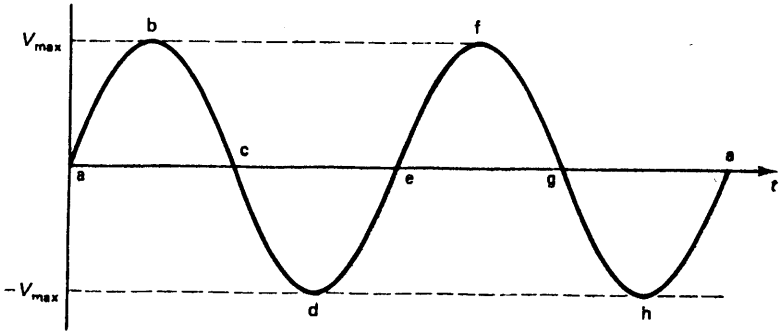
شکل ۷ ــ ۲ : تغییرات ولتاژ القاء شده در یک هادی برحسب زمان



شکل ۸ ــ ۲ : نمایش یک هادی که درون یک میدان ۴ قطبی در جهت عقربه ساعت می‌چرخد

POWEREN.IR

اگر بجای دو قطب شمال و جنوب (مثبت و منفی) از ۴ قطب شمال و جنوب (مثبت و منفی) استفاده شود (شکل ۸ ــ ۲) و دوباره هادی را بین این قطبها به دوران درآوریم، در اینصورت با اندکی تفکر در مییابیم که اگر هادی ۳۶۰ درجه کامل بچرخد در اینصورت ۲ سیکل کامل از ولتاژ القاء شده پدیدار میشود. همچنین باید خاطر نشان ساخت هرگاه هادی در مقابل هر یک از قطبها قرار گیرد ولتاژ القاء شده در هادی ماکزیمم (حداکثر) خواهد بود. البته در اینجا فرض بر آن است که سرعت دوران در حالت ۴ قطبی با سرعت دوران در حالت ۲ قطبی [۱] یکسان میباشد. شکل (۹ ــ ۲) تغییرات ولتاژ القاء شده را برای یک سیستم ۴ قطبی [۲] نشان میدهد. در اینجا تذکر میدهیم که اگر تعداد قطبها دو برابر شود، فرکانس [۳] ولتاژ القاء شده نیز دو برابر میگردد. مشروط بر آنکه سرعت دوران هادی تغییر ننماید.



شکل ۹ ــ ۲: تغییرات ولتاژ القاء شده در یک هادی برحسب زمان در یک سیستم چهار قطبی

۳ ــ ۱ ــ ۲ ولتاژ القاء شده متوسط در یک هادی

2-1.3 Average Voltage Induced by a Single Conductor

از رابطه (۱ ــ ۲) میتوان استفاده کرد و ولتاژ القاء شده لحظه‌ای [۴] را در یک هادی محاسبه نمود. اما باید قادر باشیم ولتاژ القاء شده متوسط [۵] را نیز برای یک هادی که مسیر دایره‌ای را طی میکند حساب کنیم. (شکل ۶ ــ ۲) را در نظر میگیریم. ولتاژ القاء شده متوسط برای این هادی در طول مسیر ab (ولتاژ صفر تا ولتاژ ماکزیمم)

1) Two-Pole 2) Four-pole 3) Frequency
4) Instantaneous-Voltage 5) Average-Voltage

POWEREN.IR

اینچنین بدست می‌آید .

در سیستم (ENG) داریم :

$$E_g = \frac{1}{2}\frac{\phi}{t} \times 10^{-8} \qquad (2\text{-}2a)$$

در سیستم (SI) داریم :

$$E_g = \frac{1}{2}\frac{\phi}{t} \qquad (2\text{-}2b)$$

در روابط اخیر ϕ مبین شار بوده و باید به واحد آن در سیستمهای آحادی مختلف توجه نمود . همچنین در روابط فوق‌الذکر t نشانگر زمان بر حسب ثانیه میباشد و البته t همان زمانی است که هادی مسیر ab را طی میکند .

مثال ۴ ــ ۲ (سیستم ENG) : ***Example 2-4 (English)***

شکل (۶ ــ ۲) را درنظر میگیریم که در آن هادی با سرعت ۱۲۰۰ دور دردقیقه دوران میکند ، اگر شار هر قطب (۱) 100 kilolines, باشد ، مطلوبست محاسبه ولتاژ القاء شده متوسط در هادی.

حل:

از رابطه (۲ a ــ ۲) استفاده میکنیم . در اینجا باید زمان t را حساب نمود . اگر سرعت ۱۲۰۰ دور در دقیقه باشد داریم

$$1200\,\frac{\text{rev}}{\cancel{\text{min}}} \times \frac{1}{60\,\frac{\text{s}}{\cancel{\text{min}}}} = 20 \text{ rev/s}$$

یعنی اگر هادی در هر ثانیه ۲۰ دور بچرخد ، در اینصورت هر دور دوران $\frac{1}{۲۰}$ ثانیه طول میکشد . برای سیستم دوقطبی t مدت‌زمان لازم برای $\frac{1}{۴}$ دور کامل خواهد بود (چرا ؟)

لذا :

$$t = \frac{1}{4} \times \frac{1}{20} = \frac{1}{80} = 0.0125 \text{ s}$$

در نتیجه :

$$E_g = \frac{1}{2}\frac{\phi}{t} \times 10^{-8}$$

$$= \frac{1}{2}\left(\frac{100 \times 10^3}{0.0125}\right) \times 10^{-8}$$

$$= 0.04 \text{ V}$$

مثال ۵ ــ ۲ (سیستم SI) : ***Example 2-5 (SI)***

شکل (۶ ــ ۲) را درنظرمیگیریم . اگر سرعت هادی ۱۲۵ رادیان بر ثانیه بوده و شار هر قطب ۰/۰۰۱ وبر باشد ، مطلوبست محاسبه ولتاژ القاء شده متوسط در هادی .

---

1) FLUX-PER-Pole

POWEREN.IR

حل:

از رابطه (۲ b ـ ۲) استفاده میکنیم. در اینجا باید زمان (t) را حساب کرد. اگر سرعت ۱۲۵ رادیان بر ثانیه باشد، در اینصورت زمان لازم برای اینکه هادی یک رادیان بچرخد $\frac{1}{125}$ ثانیه خواهد بود. در سیستم دو قطبی t زمان لازم برای دوران $\pi/2$ رادیان (۹۰ درجه) خواهد بود (چرا؟). لذا:

$$t = \frac{\pi}{2} \times \frac{1}{125} = 0.0126 \text{ s}$$

پس:

$$E_g = \frac{1}{2}\frac{\phi}{t}$$

$$= \frac{1}{2}\left(\frac{1 \times 10^{-3}}{0.0126}\right)$$

$$= 0.397 \text{ V}$$

از مثالهای فوق در میابیم که محاسبه زمان (t) قدری مشکل است. برای سهلتر کردن محاسبات، میتوان معادلات (۲ ـ ۲) را بر حسب تعداد قطبها اینچنین نوشت:

در سیستم (ENG) داریم:

$$E_g = \frac{\phi PS \times 10^{-8}}{60} \qquad (2\text{-}3a)$$

در سیستم (SI) داریم:

$$E_g = \frac{\phi P \omega}{2\pi} \qquad (2\text{-}3b)$$

در روابط اخیر p نشانگر تعداد قطبهاست فی‌المثل در شکل (۸ ـ ۲)، p مساوی ۴ میباشد. در روابط (۳ ـ ۲) ϕ شار هر قطب بوده و S یا ω سرعت زاویه‌ای هادی میباشند. البته باید به آحاد این کمیت‌ها در دو سیستم آحادی مورد نظر توجه کرد.

مثال ۶ ـ ۲ (سیستم ENG): ***Example 2-6 (English)***

یک هادی با سرعت ۴۰۰۰ دور در دقیقه بین دو قطب میچرخد، مطلوبست.

(الف): ولتاژ القاء شده متوسط در هادی اگر شار هر قطب 300 kilolines باشد.

(ب): اگر بخواهیم ولتاژ القاء شده متوسط یک ولت باشد، شار هر قطب چقدر است.

حل:

الف: از رابطه (۳ a ـ ۲) کمک میگیریم. لذا:

$$E_g = \frac{300k(2)(4000) \times 10^{-8}}{60}$$

$$= 0.4 \text{ V}$$

POWEREN.IR

ب: از رابطه (a ۳ ــ ۲) استفاده میکنیم و البته در اینحالت مجهول مورد نظر شار خواهد بود.

$$E_g = \frac{\phi PS \times 10^{-8}}{60}$$

$$\phi = \frac{60E_g}{PS \times 10^{-8}} \quad \phi = \frac{60(1)}{2(4000) \times 10^{-8}}$$

$$= 750{,}000 \text{ lines} = 750 \text{ kilolines}$$

مثال ۷ ــ ۲ (سیستم (SI)) : ***Example 2-7 (SI)***

یک هادی بین دو قطب با سرعت ۴۰۰ رادیان در ثانیه میچرخد، مطلوبست:

(a): ولتاژ القاء شده متوسط، مشروطبرآنکه شار هر قطب ۰/۰۰۳ وبر باشد.

(b): اگر بخواهیم ولتاژ القاء شده متوسط یک ولت باشد، شار هر قطب را حساب کنید.

حل:

(a): از رابطه (b ۳ ــ ۲) داریم:

$$E_g = \frac{3 \times 10^{-3} \times 2 \times 400}{2\pi}$$
$$= 0.38 \text{ V}$$

(b): از رابطه (b ۳ ــ ۲) استفاده میکنیم. البته در اینحالت مجهول مورد نظر شار است.

$$E_g = \frac{\phi P\omega}{2\pi}$$

$$\phi = \frac{2\pi E_g}{P\omega} \quad \phi = \frac{2\pi(1)}{2(400)}$$

$$= 7.9 \times 10^{-3} \text{ Wb}$$

۲ ــ ۲ ولتاژ القا شده در یک کلاف (۱) : 2-2 VOLTAGE INDUCED BY A COIL

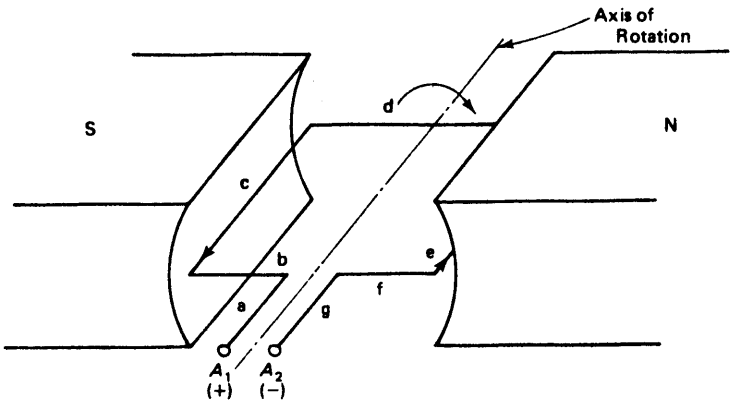
اگر مفهوم ولتاژ القاء شده در یک هادی را خوب درک کرده‌باشیم، میتوان اثرات چند هادی دوار را نیز مورد بررسی قرار دهیم. شکل (۱۰ ــ ۲) را در نظر میگیریم که‌درآن یک‌کلاف تک دوری (۲) بنمایش گذاشته شده است و این کلاف در جهت عقربه‌های ساعت (۳) بین دو قطب میچرخد. باید توجه داشت که فقط هادیهای C و

1) Coil 2) Single-turn-Coil
3) Clockwise=CW

POWEREN.IR

e خطوط شار را قطع میکنند و هادی‌های d ، b و f در صفحاتی موازی خطوط شار میچرخد و لذا خطوط شاررا قطع نمیکنند . هادیهای a و g نیز خارج میدان مغناطیسی بوده و در نتیجه ایندو نیز خطوط شار راقطع نخواهد کرد . از این بحث نتیجه میشود که در یک کلاف تک دوری فقط در دو هادی ولتاژ القاء میگردد . بطور کلی اگر یک کلاف N دوری داشته باشیم ، تعداد هادیهای موثر در ولتاژ القائی $2N$ خواهد بود .

$$z = 2N \qquad (2\text{-}4)$$



شکل ۱۰ ــ ۲ : نمایش دوران یک کلاف تک دوری درون یک میدان مغناطیسی

حال دوباره شکل (۱۰ ــ ۲) را در نظر میگیریم و قانون دست راست فلمینگ را اعمال میکنیم . در اینصورت‌در میبابیم که پلارتیه ولتاژ القاء شده در هادی c بطرف خارج صفحه‌کاغذ بوده‌و پلارتیه ولتاژ القاء شده در هادی e بطرف داخل صفحه کاغذ میباشد . نتیجه آنکه ولتاژ بین دو سر کلاف (A_1A_2) مجموع ولتاژ لحظه‌ای در هادیهای c و e میباشد . این‌واقعیت‌که این دو ولتاژ با هم جمع میشوند ، ما را قادر میسازد که ولتاژالقاء شده‌متوسط دریک‌کلاف تک دوری را حساب کنیم . این ولتاژ متوسط دو برابر ولتاژیست که برای یک هادی بدست آوریم . حال میتوان رابطه (۳ ــ ۲) را برای یک کلاف N دوری اینچنین نوشت :

در سیستم (ENG) داریم :

$$E_g = \frac{z\phi PS \times 10^{-8}}{60} \qquad (2\text{-}5a)$$

در سیستم (SI) داریم :

$$E_g = \frac{z\phi P\omega}{2\pi} \qquad (2\text{-}5b)$$

POWEREN.IR

در روابط اخیر Z تعداد هادیهای موثر در کلاف محسوب میشود ، همچنین براحتی میتوان روابط فوق را اینچنین نوشت :

در سیستم (ENG) داریم :

$$E_g = \frac{N\phi PS \times 10^{-8}}{30} \qquad (2\text{-}6a)$$

در سیستم (SI) داریم :

$$E_g = \frac{N\phi P\omega}{\pi} \qquad (2\text{-}6b)$$

در روابط (۶ ــ ۲) N تعداد دورهای کلاف خواهد بود .

مثال ۸ ــ ۲ (سیستم ENG) : ***Example 2-8 (English)***

یک کلاف ۲۰۰ دوری مفروض است و با سرعت ۱۸۰۰ دور در دقیقه درون یک سیستم ۴ قطبی میچرخد . اگرشار هر قطب 300 kilolines, باشد ، ولتاژ القاء شده متوسط در کلاف را حساب کنید .

حل :

میتوان از هر یک از روابط (۵ a ــ ۲) یا (۶ a ــ ۲) کمک گرفت . از رابطه (۵ a ــ ۲) داریم :

$$E_g = \frac{400(300k)(4)(1800) \times 10^{-8}}{60}$$
$$= 144 \text{ V}$$

مثال ۹ ــ ۲ (سیستم SI) : ***Example 2-9 (SI)***

یک کلاف ۲۰۰ دوری مفروض است و با سرعت ۱۹۰ رادیان در ثانیه درون یک سیستم ۴ قطبی میچرخد . اگر شار هر قطب ۰/۰۰۳ وبر باشد ، ولتاژ القاء شده متوسط در کلاف راحساب کنید .

حل :

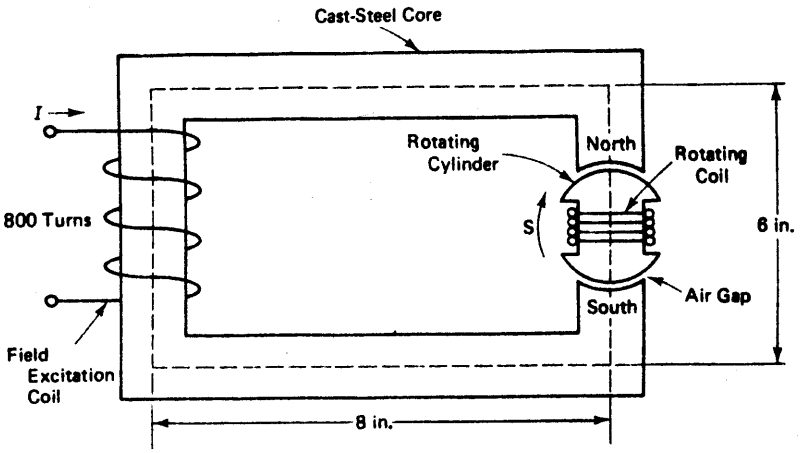
ازهریک ازروابط (۵ b ــ ۲) یا (۶ b ــ ۲) میتوان استفاده‌کرد . با استفاده از رابطه (۵ b ــ ۲) داریم :

$$E_g = \frac{400(3 \times 10^{-3})(4)(190)}{2\pi}$$
$$= 145.1 \text{ V}$$

POWEREN.IR

مثال ۱۰ ــ ۲ (سیستم ENG) : ***Example 2-10 (English)***

شکل (۱۱ ــ ۲) را در نظر میگیریم . در این سیستم یک کلاف ۵۰ دوری بدور استوانه‌ای از جنس فولاد ریخته‌گری پیچیده شده است و این استوانه باسرعت ۱۸۰۰ دور در دقیقه میچرخد . مطلوبست محاسبه جریان در سیم پیچ تحریک این سیستم ، مشروط بر آنکه بخواهیم ولتاژ القاء شده متوسط در کلاف دوار ۲۵ ولت باشد . سطح مقطع



شکل ۱۱ ــ ۲ : هسته مربوط به مثال ۱۰ ــ ۲

موثر هسته ساکن و استوانه را ۴ اینچ مربع در نظر بگیرید و فواصل هوائی را نیز ۰/۰۵ اینچ فرض کنید . جنس هسته ساکن نیز از نوع فولاد ریخته‌گری می‌باشد .

حل :

این مثال از دو قسمت تشکیل شده است .

الف : قسمت اول بر اساس مطالب فصل دوم (همین فصل) حل و فصل میگردد .

ب : قسمت دوم بر اساس مطالب فصل اول حلاجی میشود .

ابتدا شار مورد نظر جهت تولید ولتاژ را حساب میکنیم . برای این منظور از رابطه (a ۶ ــ ۲) کمک میگیریم . سپس بقیه مساله مشابه مثال (۱۵ ــ ۱) در فصل اول خواهد بود . یعنی با دانستن شار مورد نظر MMF سیم پیچ تحریک و جریان آنرا حساب میکنیم .

POWEREN.IR

قسمت اول :

با استفاده از رابطه (a ۶ ــ ۲) داریم :

$$\phi = \frac{30E_g}{NPS \times 10^{-8}}$$

لذا :

$$\phi = \frac{30(25)}{50(2)(1800)(10^{-8})}$$

$$= 416{,}667 \text{ lines} = 416.67 \text{ kilolines}$$

قسمت دوم :

با دانستن شار (ϕ) میتوان جدول (۲ ــ ۲) را تکمیل نمود تا با توجه به آن MMF مورد نیاز محاسبه گردد . در اینجا خاطر نشان میسازیم که قسمت اعظم این مدار مغناطیسی ازجنس فولاد ریخته‌گری بوده و دو فاصله هوائی بسیار کوچک نیز وجود دارد .

Table 2-2 جدول ۲ ــ ۲

Part	ϕ	A	B	H	l	$H \times l$
Cast steel	416.67k	4	104.2k	135	28	3780
Two air gaps	416.67k	4	104.2k	32,665	0.1	3267
Total MMF						7047

طرز پر کردن جدول‌فوق‌را بطورخلاصه شرح میدهیم . ابتدا چگالی‌شار را حساب میکنیم :

$$B = \frac{\phi}{A} = \frac{416.67k}{4} = 104.2 \text{ kilolines/in}^2$$

از شکل (۶ ــ ۱) استفاده کرده و H را برای قسمت فولاد ریخته‌گری بدست می‌آوریم (135 A-turns/in) برای دو فاصله هوائی H را اینچنین حساب میکنیم :

$$H = \frac{B}{\mu_0}$$

$$= \frac{104.2}{3.19 \times 10^{-3}}$$

$$= 32{,}665 \text{ A-turns/in.}$$

حال افتهای $H \times l$ را محاسبه میکنیم . در نتیجه :

$$\text{total MMF} = 3780 + 3267 = 7047 \text{ A-turns}$$

POWEREN.IR

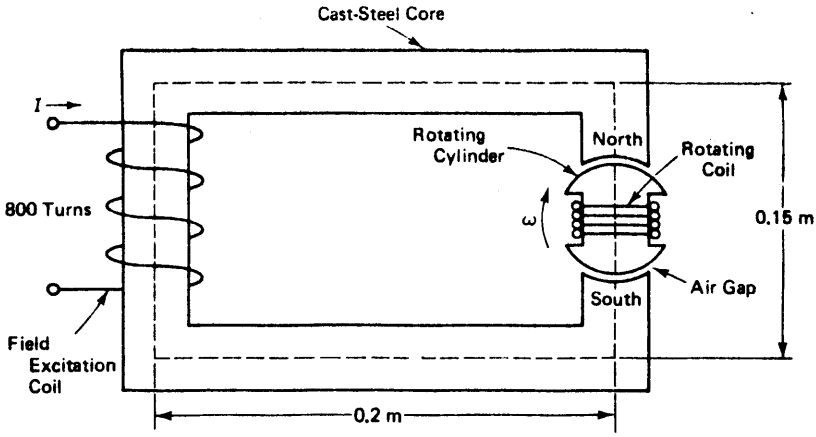
از رابطه (a ۳ ـ ۱) داریم :

$$7047 = NI = 800I$$

$$I = \frac{7047}{800} = 8.8 \text{ A}$$

مثال ۱۱ ـ ۲ (سیستم SI) : ***Example 2-11 (SI)***

شکل (۱۲ـ۲) را در نظر میگیریم . در این سیستم یک کلاف ۵۰ دوری بدور استوانه‌ای از جنس فولاد ریخته‌گری پیچیده شده است واین استوانه با سرعت ۱۸۸ رادیان بر ثانیه میچرخد . مطلوبست محاسبه جریان در سیم پیچ تحریک این سیستم مشروط بر آنکه بخواهیم ولتاژ القاء شده متوسط در کلاف دوار ۲۵ ولت گردد . سطح مقطع موثر هسته ساکن و استوانه را ۰/۰۰۲۵ متر مربع و فواصل هوائی را نیز ۰/۰۰۱۳ متر فرض کنید . جنس هسته ساکن نیز از نوع فولاد ریخته‌گری است .



شکل ۱۲ ـ ۲ : هسته مربوط به مثال ۱۱ ـ ۲ :

حل :

این مثال از دو قسمت تشکیل شده است .

الف : قسمت اول بر اساس مطالب فصل دوم (همین فصل) بررسی میشود .

ب : قسمت دوم بر اساس مطالب فصل اول حلاحی میگردد .

ابتدا شار مورد نظر جهت تولید ولتاژ را بدست می‌آوریم . برای این منظور از رابطه (b ۶ ـ ۲) استفاده میشود . سپس بقیه مساله مشابه مثال (۱۶ ـ ۱) خواهد بود ، یعنی با دانستن شار مورد نظر MMF سیم پیچ تحریک و جریان آنرا حساب مینمائیم .

POWEREN.IR

قسمت اول:

با استفاده از رابطه (۲ – ۶ b) داریم:

$$\phi = \frac{E_g \pi}{NP\omega}$$

$Z = ۲ \times ۵۰ = ۱۰۰$

لذا:

$$\phi = \frac{25\pi}{50(2)(188)}$$

$$= 4.178 \times 10^{-3}\ \text{Wb}$$

قسمت دوم:

با دانستن شار (ϕ) میتوان جدول (۳ – ۲) را پر نمود تا با توجه به آن MMF مورد نیاز حساب شود. در اینجا متذکر میشویم که قسمت اعظم این مدار مغناطیسی از جنس فولاد ریخته‌گری بوده و دو فاصله هوائی بسیار کوچک نیز وجود دارد.

ϕ در فاصله‌های هوائی بیشترین میباشد

جدول ۳ – ۲ *Table 2-3*

Part	ϕ	A	B	H	l	H × l
Cast steel	4.18×10^{-3}	2.5×10^{-3}	1.67	7.3k	0.7	5110
Two air gaps	4.18×10^{-3}	2.5×10^{-3}	1.67	1329k	2.6×10^{-3}	3455
Total MMF						8565

طرز پر کردن جدول فوق را بطور خلاصه شرح میدهیم. ابتدا چگالی شار را حساب میکنیم.

$$B = \frac{\phi}{A} = \frac{4.18 \times 10^{-3}}{2.5 \times 10^{-3}}$$

$$= 1.67\ \text{Wb/m}^2\text{(T)}$$

از شکل (۷ – ۱) استفاده کرده و H را برای قسمت فولاد ریخته‌گری حساب میکنیم (۷/۳ کیلو آمپر بر متر). برای دو فاصله هوائی، H اینچنین بدست می‌آید.

$$H = \frac{B}{\mu_0}$$

$$= \frac{1.67}{4\pi \times 10^{-7}}$$

$$= 1329\ \text{kA/m}$$

حال افتهای $H \times l$ را محاسبه مینمائیم. در نتیجه

total MMF = 5110 + 3455 = 8565

POWEREN.IR

از رابطه (b ۳ – ۱) داریم :

$$8565 = NI = 800I$$

$$I = \frac{8565}{800} = 10.7 \text{ A}$$

۳ – ۲ قانون لنز (۱) : 2-3 LENZ'S LAW

حال دوباره بشکل (۱۰ – ۲) برمیگردیم . اگر بخواهیم کلاف را در این شکل بدوران درآوریم در اینصورت با مشکل عمده‌ای مواجه نخواهیم بود . فقط تنها عوامل مخالفت کننده نسبت به این دوران بشرح زیراند :

الف : نیروی اصطکاک (۲) که همواره در هر حرکتی وجود دارد .

ب : مقاومت هوا (باد) (۳)

اما اگر به کلاف فوق‌الذکر مدار بسته‌ای متصل کنیم در اینصورت جریان در کلاف برقرار میگردد . حال اگر بخواهیم کلاف را بدوران درآوریم در این صورت عوامل مخالفت کننده نسبت به این دوران بشرح زیراند .

الف : نیروی اصطکاک که در فوق بشرح دادیم .

ب : مقاومت هوا (باد) که در بالا ذکر نمودیم .

ج : نیروی مغناطیسی (۴) که با افزایش جریان کلاف زیاد میگردد .

باید گفت که بخاطر همین پدیده نیروی مغناطیسی است‌که چرخش ژنراتور باردار مشکل میباشد . حال درباره پدیده نیروی مغناطیسی که به قانون لنز مشهور است بیشتر صحبت میکنیم . شکل (a ۱۳ – ۲) را در نظر میگیریم که در آن هادی درون میدان مغناطیسی قرار دارد و بسمت بالا حرکت میکند . اگر به این هادی یک مدار بسته‌ای متصل باشد بطوریکه از هادی جریان عبور نماید در این صورت جهت جریان هادی بطرف خارج صفحه کاغذ خواهد بود . حال بشکل (b ۱۳ – ۲) توجه میکنیم ، در این صورت جریان عبوری از هادی نیز خود میدان مغناطیسی بوجود می‌آورد . قانون لنز اینچنین میگوید که این میدان مغناطیسی تولید شده همواره با حرکتی که منجر به القاء ولتاژ در هادی میگردد مخالفت میکند . شکل (c ۱۳ – ۲) را در نظر میگیریم در این شکل منتجه برداری دو میدان بنمایش گذاشته شده است . با توجه به این شکل در مییابیم که میدان در بالای هادی بمراتب پرتراکم‌تر از میدان در زیر هادیست . بخاطر همین عدم تعادل در میدان

1) Lenz's -LAW 2) Friction
3) Wind-Resistance 4) Magnetic Force

POWEREN.IR

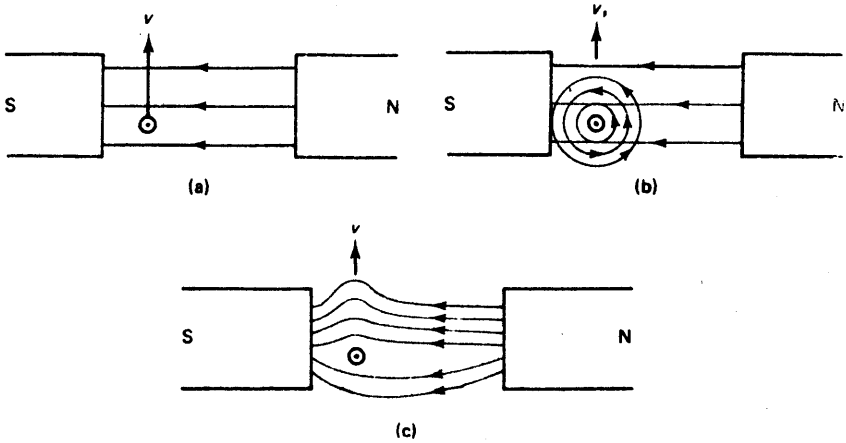
POWEREN.IR

است که نیروی مخالفت کننده (باز دارنده) در مقابل حرکت هادی پدیدار میشود . باید خاطر نشان ساخت که با افزایش جریان هادی عدم تعادل در میدان بیشتر شده و لذا نیروی باز دارنده نیز افزونتر میشود .

۴ ـ ۲ ـ نیروی (۱) تولید شده توسط یک هادی (سیم) :

2-4 FORCE PRODUCED BY A CONDUCTOR

در قسمتهای (۱ ـ ۲) تا (۳ ـ ۲) این فصل راجع به اصول ولتاژ القاء شده (تولید شده) صحبت کردیم . گفتیم که اگر بوسیله یک نیروی خارجی بتوانیم هادی را درون یک میدان مغناطیسی بدوران درآوریم ، در هادی ولتاژ القاء میشود . در ادامه این فصل راجع به اصول پیدایش گشتاور (۲) (کوپل) در موتورها صحبت میکنیم .



شکل ۱۳ ـ ۲ :

a : هادی متحرک درون میدان مغناطیسی . فقط میدان حاصله از قطبها نشان ـ داده شده است .

b : هادی متحرک درون میدان مغناطیسی ، هر دو میدان حاصله از قطبها و جریان هادی بنمایش گذاشته شده است .

c : هادی متحرک درون میدان مغناطیسی ، میدان منتجه رسم شده است .

---

1) Force 2) Torqve

POWEREN.IR

POWEREN.IR

۱ ــ ۴ ــ ۲ قانون بیوساوار: (۱)

2-4.1 Biot–Savart Law

قانون بیاساوار از نظر ریاضی مطابق روابط (۷ ــ ۲) است و میتوان با استفاده از این روابط نیروی حاصله (نیروی تولید شده) توسط سیمی که از آن جریان میگذرد و درون میدان مغناطیسی قرار دارد را حساب نمود. در سیستم ENG داریم:

$$F = 0.885BIl \times 10^{-7} \qquad \text{(2-7a)}$$

در سیستم (SI) داریم:

$$F = BIl \qquad \text{(2-7b)}$$

برای استفاده از روابط (۷ ــ ۲) باید به‌آحاد مندرجه در جدول (۴ ــ ۲) استفاده کرد. در روابط (۷ ــ ۲)، l طول موثر هادی در میدان مغناطیسی محسوب میشود.

جدول ۴ ــ ۲ — ***Table 2-4***

English (Eq. 2-7a)		SI (Eq. 2-7b)	
F	pounds	F	newtons
B	lines/in^2	B	webers/m^2 (tesla)
l	inches	l	meters
I	amperes	I	amperes

۲ــ ۴ ــ ۲ جهت نیرو:

2-4.2 Direction of Force,

برای پیدا کردن‌جهت (۲) نیروی تولید شده توسط یک هادی حامل جریان که درون میدان مغناطیسی قرار دارد از قانون دست چپ (۳) استفاده میشود (شکل ۱۴ ــ ۲). اگر انگشت سبابه‌دست‌چپ جهت شار را نشان دهد و انگشت وسط دست چپ جهت جریان هادی را بنمایش بگذارد، در اینصورت انگشت شست دست چپ جهت نیروی تولید شده توسط هادی را مشخص خواهد نمود.

مثال ۱۲ ــ ۲: *Example 2-12*

شکل (۱۵ ــ ۲) را در نظر میگیریم، جهت نیروی تولید شده توسط هادی برای هر شکل مشخص شده است. با توجه به قانون دست چپ بگوئید آیا این جهت‌ها صحیح هستند یا نه.

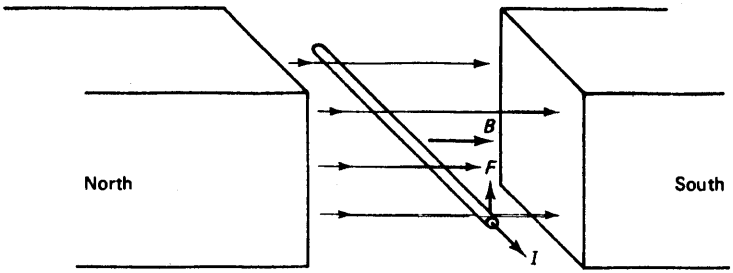
حل:

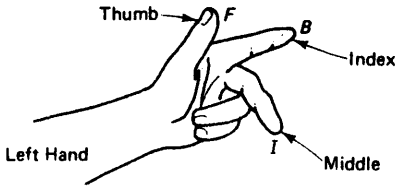
بلی همگی صحیح هستند.

---

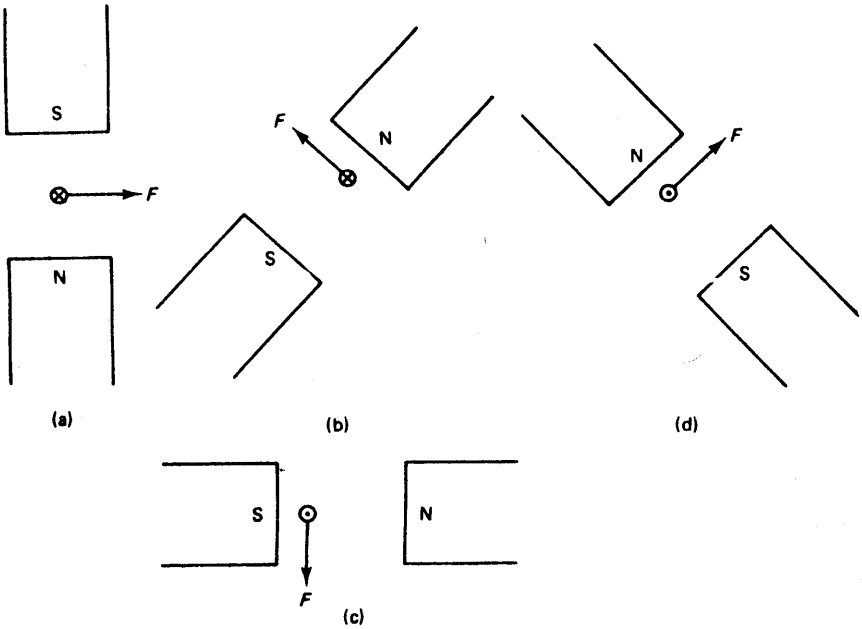
1) Biot-Savart-Law 2) Direction
3) Left-Hand-Rule

POWEREN.IR





شکل ۱۴ ــ ۲: نمایش قانون دست چپ



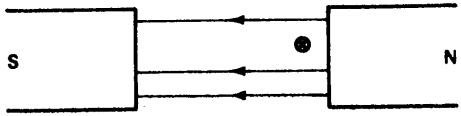
شکل ۱۵ ــ ۲: در دو شکل (a) و (b) جهت جریان بطرف داخل صفحه کاغذی می‌باشد در دو شکل (c) و (d) جهت جریان بطرف خارج صفحه کاغذ می‌باشد

POWEREN.IR

مثال ۱۳ ــ ۲ (سیستم ENG) : ***Example 2-13 (English)***

شکل (۱۶ ــ ۲) را در نظر میگیریم . طول هادی در این سیستم ۱۰ اینچ میباشد . مقطع قطبها مربع شکل و به ابعاد ۶ اینچ در نظر گرفته میشود . اگر شار 400,000 lines. در نظر گرفته شود ، مقدار و جهت نیروی تولید شده (نیروی حاصله) را پیدا کنید . فرض کنید که جریان هادی ۸ آمپر باشد وجهت آن بطرف داخل صفحه کاغذ در نظر گرفته شود .

شکل ۱۶ ــ ۲ **Figure 2-16**



حل:

از رابطه (۷a ــ ۲) استفاده میکنیم ولی باید توجه کرد که طول موثر هادی ۶ اینچ است (چرا؟) ابتدا از رابطه (۲a ــ ۱) استفاده کرده وچگالی شار (B) را حساب میکنیم . لذا

$$A = 6 \times 6 = 36 \text{ in}^2$$

$$B = \frac{\phi}{A} = \frac{400k}{36}$$

$$= 11.11 \text{ kilolines/in}^2$$

پس:

$$F = 0.885BIl \times 10^{-7}$$

$$= 0.885 \times 11.11 \times 10^3 \times 8 \times 6 \times 10^{-7}$$

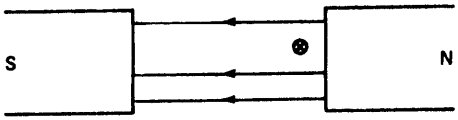
$$= 0.0472 \text{ lb}$$

با استفاده از قانون دست چپ‌درمی‌یابیم نیرو بسمت بالا خواهد بود .

مثال ۱۴ ــ ۲ (سیستم SI) : ***Example 2-14 (SI)***

شکل (۱۷ ــ ۲) را در نظر میگیریم . طول هادی در این سیستم ۳۰ سانتیمتر میباشد . مقطع قطب‌ها مربع شکل و به ابعاد ۲۰ سانتیمتر در نظر گرفته میشود . اگر شار ۰/۰۰۴ وبر باشد ، مقدار و جهت نیروی حاصله (تولید شده) را حساب کنید ، فرض بر آن است که‌جریان هادی ۸ آمپر باشد و جهت آن بطرف داخل کاغذ در نظر گرفته شود .

POWEREN.IR



شکل ۱۷ ــ ۲

حل:

از رابطه (۷b ــ ۲) استفاده میکنیم ولی باید توجه کرد که طول موثر هادی ۲۰ سانتیمتر است (چرا؟) ابتدا از رابطه (۲b ــ ۱) استفاده کرده و چگالی شار (B) را حساب میکنیم لذا:

$$A = 0.2 \times 0.2 = 0.04 \text{ m}^2$$

$$B = \frac{\phi}{A} = \frac{4 \times 10^{-3}}{0.04}$$

$$= 0.1 \text{ Wb/m}^2 \text{ (T)}$$

پس:

$$F = BIl$$

$$= 0.1 \times 8 \times 0.2$$

$$= 0\ 16 \text{ N (newtons)}$$

با استفاده از قانون دست چپ درمی‌یابیم که جهت نیرو بسمت بالا است.

۵ ــ ۲ گشتاور (کوپل) تولید شده توسط یک هادی (یک سیم)

2-5 TORQUE DEVELOPED BY A CONDUCTOR

یک هادی‌را بر روی یک استوانه سوار میکنیم و فرض مینمائیم که استوانه آزادانه بتواند دوران کند (شکل ۱۸ ــ ۲). اگر از این هادی جریان بگذرد نیروئی حاصل میشود (در قسمت قبل درباره اینموضوع صحبت کردیم). میدانیم اگر نیروئی بر بدنه جسمی اثر کند و آن جسم آزادانه بتواند حول محوری بحرکت درآید، در این صورت گشتاور (کوپل) حاصل خواهد شد. گشتاور (کوپل) از نظر مقدار این چنین حساب میشود:

در سیستم (ENG) داریم:

$$T = F \times r \qquad (2\text{-}8a)$$

در سیستم (SI) داریم:

$$T = F \times r \qquad (2\text{-}8b)$$

POWEREN.IR

در روابط اخیر F نیرو، r فاصله و T گشتاور (کوپل) میباشد. باید توجه کرد که:

الف: در سیستم (ENG) واحد F پوند بوده و در سیستم (SI) واحد F نیوتون است.

ب: در سیستم (ENG) واحد r فوت بوده و در سیستم (SI) واحد r متر است.

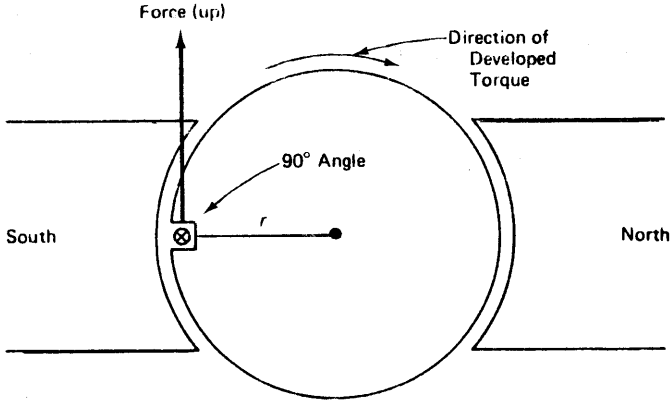
ج: در سیستم (ENG) واحد T پوند ـ فوت (Lb-Ft) بوده و در سیستم (SI) واحد T نیوتون متر (Nm) میباشد.

در اینجا یادآوری میکنیم که در روابط فوق r فاصله عمودی محل تاثیر نیرو تا محور دوران میباشد.

گشتاور حاصله در شکل (۱۸ ـ ۲) باعث میشود که استوانه بچرخد. با چرخش استوانه هادی وضعیتهای حدیدی اختیار میکند که بعنوان نمونه چند وضعیت در شکل (۱۹ ـ ۲) بنمایش گذاشته شده است.

با توجه به این شکل درمییابیم که با تغییر وضعیت هادی نسبت به وضعیت اولیه (شکل ۱۸ ـ ۲)، دائما" فاصله عمودی نیرو تا محور دوران کاهش مییابد. مثلا" میتوان گفت که r_2 از r_1 کوچکتر است.

هرگاه هادی در وضعیتی قرار گیرد که نیروی حاصله مطابق F_3 در شکل (۱۹ ـ ۲) باشد، در این صورت فاصله عمودی نیرو تا محور دوران صفر است وگشتاور حاصله



شکل ۱۸ ـ ۲ گشتاور حاصله توسط یک هادی که درون میدان مغناطیسی قرار دارد

POWEREN.IR

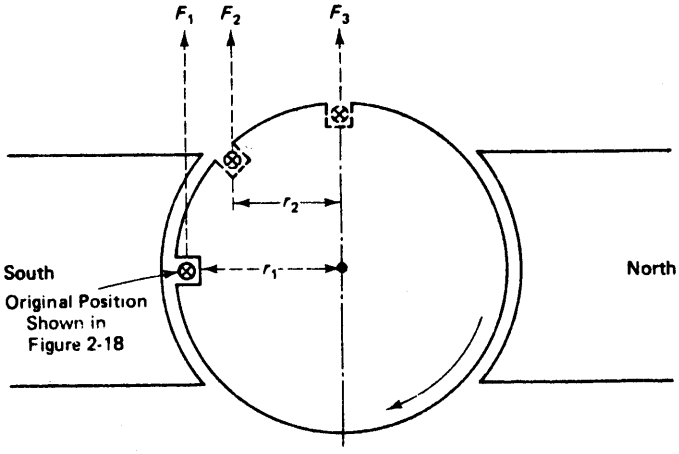
نیز در این مرحله صفر خواهد بود. خاطر نشان میسازیم که در تمامی مراحل دوران پارامترهای ذیل ثابت است.

الف: چگالی شار (B)

ب: جریان هادی (I)

ج: طول هادی (L)

لذا مقدار نیرو (F) نیز در تمامی مراحل دوران ثابت میماند (چرا؟) اما باید گفت در هنگام دوران فاصله r دائما" تغییر میکند، بالنتیجه گشتاور (کوپل) نیز در هنگام دوران متغیر بوده و ثابت نمیباشد. باید توجه داشت که هنگامیکه هادی درست مقابل قطب قرار دارد (شکل ۱۸ ــ ۲) در اینصورت گشتاور حاصله حداکثر (ماکزیمم) میباشد، همچنین هرگاه هادی ۹۰ از قطب فاصله پیدا نمود در اینصورت r صفر بوده و گشتاور حاصله نیز صفر میشود (وضعیت F_3 در شکل ۱۹ ــ ۲).



شکل ۱۹ ــ ۲: دوران یک هادی درون یک میدان مغناطیسی

میتوان اینچنین تعبیر کرد که تغییرات گشتاور مشابه تغییرات ولتاژ القاء شده است (بخش ۲ ــ ۱ ــ ۲ همین فصل) مثلا" هرگاه هادی در یک سیستم دو قطبی در مقابل قطب قرار گیرد ولتاژ القاء شده و گشتاور هر دو ماکزیمم بوده و هرگاه هادی در نقطه‌ای درست وسط دو قطب قرار گیرد در اینصورت ولتاژ القاء شده و گشتاور هر دو صفر خواهند بود.

با جایگزینی روابط (۷ ــ ۲) در روابط (۸ ــ ۲) میتوان گشتاور ماکزیمم حاصله

POWEREN.IR

توسط یک هادی را بدست آورد برای سیستم (ENG) داریم:

$$T = 0.885Bllr \times 10^{-7} \qquad (2\text{-}9a)$$

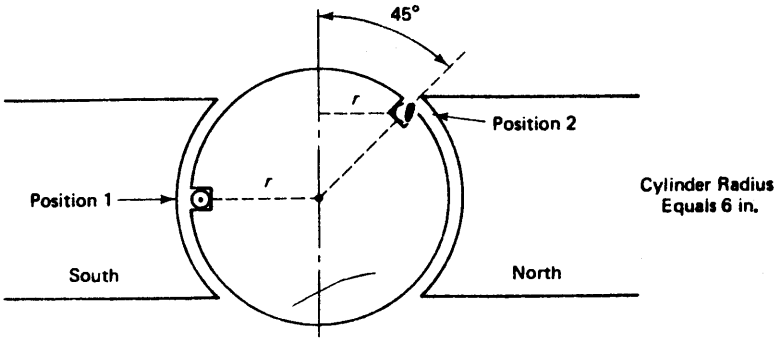
برای سیستم (SI) داریم:

$$T = Bllr \qquad (2\text{-}9b)$$

در روابط اخیر r شعاع استوانه میباشد. روابط (۹ ــ ۲) را نیز میتوان برای محاسبه گشتاور لحظه‌ای حاصله در هر نقطه از دوران بکار برد. برای محاسبه r در روابط لحظه‌ای باید از قوانین مثلثات و جبر استفاده کرد.

مثال ۱۵ ــ ۲ (سیستم ENG): ***Example 2-15 (English)***

شکل (۲۰ ــ ۲) را در نظر میگیریم. برای دو وضعیت نشان‌داده شده در شکل مقدار و جهت گشتاور حاصله را بدست آورید. در این سیستم چگالی شار 150 kilolines/in², L، معادل ۵ اینچ و جریان مساوی ۸ آمپر است. همچنین اگر بخواهیم گشتاورها را دو برابر کنیم، در جریان چه تغییری باید داد.



شکل ۲۰ ــ ۲: سیستم مربوط به مثال ۱۵ ــ ۲

حل:

در وضعیت (۱) با استفاده از قانون دست چپ درمییابیم که نیرو بطرف پائین بوده و لذا گشتاور در جهت خلاف عقربه ساعت [1] (CCW) عمل میکند. با استفاده از رابطه (۹a ــ ۲) میتوان گشتاور در وضعیت (۱) را بدست آورد و میدانیم گشتاور در این وضعیت ماکزیمم است. باید تذکر داد که r در اینحالت ۰/۵ فوت (۶ اینچ) میباشد. پس:

1) Counter-Clockwise = CCW

POWEREN.IR

$$T = 0.885(150k)(8)(5)(\tfrac{1}{2}) \times 10$$
$$= 0.2655 \text{ lb-ft}$$

در وضعیت (۲) با استفاده از قانون دست چپ در مییابیم که نیرو بطرف پائین بوده، اما در اینحالت گشتاور در جهت عقربه ساعت (CW) عمل میکند. در اینحالت فاصله r دیگر همان شعاع استوانه نیست و باید r حدید حساب گردد. لذا:

$$r = (\tfrac{1}{2} \text{ ft})(\sin 45°)$$
$$= 0.5(0.707) = 0.3535 \text{ ft}$$

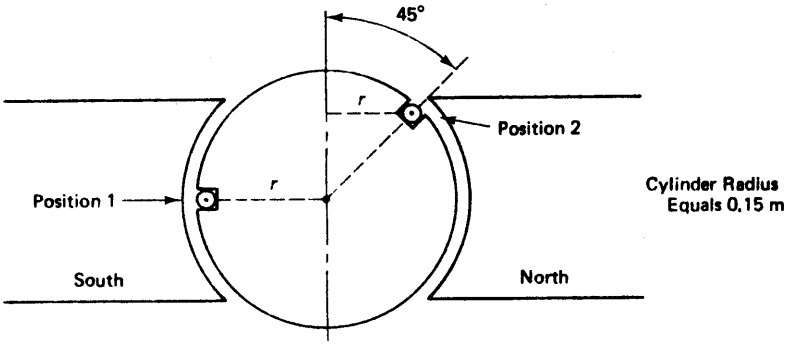
پس:

$$T = 0.885(150k)(8)(5)(0.3535) \times 10^{-7}$$
$$= 0.1877 \text{ lb-ft}$$

چون گشتاور متناسب با جریان میباشد، لذا اگربخواهیم گشتاور دو برابر شود، لذا باید جریان را دو برابر نمود (۱۶ آمپر).

مثال ۱۶ ــ ۲ (سیستم SI): ***Example 2-16 (SI)***

شکل (۲۱ ــ ۲) را در نظر میگیریم. مطلوبست محاسبه مقدار و جهت گشتاور حاصله در دو وضعیت نشان داده شده در شکل، در صورتیکه بدانیم چگالی شار ۱/۵ تسلا، l معادل ۱۲ سانتی متر و جریان ۸ آمپر باشد. همچنین اگر بخواهیم گشتاور دوبرابر شود جریان را چقدر باید تغییر داد.



شکل ۲۱ ــ ۲: سیستم مربوط به مثال ۱۶ ــ ۲

POWEREN.IR

حل:

در وضعیت (۱) با استفاده‌ازقانون دست چپ در مییابیم که نیرو بطرف پائین بوده و گشتاور در جهت خلاف عقربه ساعت (CCW) عمل میکند. از رابطه (۹b – ۲) استفاده میکنیم و میدانیم که در این وضعیت گشتاور ماکزیمم است. همچنین باید دانست که r معادل ۱۵ سانتیمتر میباشد. لذا:

$$T = 1.5 \times 8 \times 0.12 \times 0.15$$
$$= 0.216 \text{ N-m}$$

در وضعیت (۲) با استفاده از قانون دست چپ در مییابیم که نیرو بطرف پائین بوده و گشتاور در جهت عقربه ساعت (CW) عمل میکند. در اینحالت r دیگر مساوی شعاع استوانه نیست، بلکه باید آنرا حساب نمود.

$$r = (0.15 \text{ m})(\sin 45°)$$
$$= (0.15)(0.707) = 0.1061 \text{ m}$$

پس:

$$T = 1.5 \times 8 \times 0.12 \times 0.1061$$
$$= 0.1528 \text{ N-m}$$

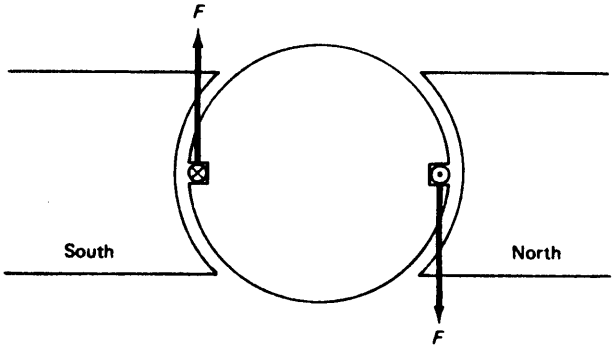
چون گشتاور با جریان متناسب است لذا برای دو برابر کردن گشتاور باید جریان را دو برابر نمود (۱۶ آمپر).

۱ – ۵ – ۲ گشتاور حاصله توسط یک کلاف: 2-5.1 Torque Developed by a Coil

اگر یک کلاف تک دوری[1] بسازیم و بر روی استوانه‌ای جا سازی کنیم سیستمی مطابق شکل (۲۲ – ۲) حاصل میشود. از آنجائیکه این کلاف یک حلقه را تشکیل میدهد اگر جریان از سمت چپ بدرون صفحه کاغذ برود از سمت راست از صفحه کاغذ خارج میگردد. در اینحالت یکی از نیروها بسمت بالا است و دیگری بسمت پائین خواهد بود (قانون دست چپ). هر دو نیرو گشتاوری در جهت عقربه ساعت (CW) تولید میکند و لذا گشتاور حاصله قوی‌تر از حالت تک سیمه بوده و استوانه بهتر میچرخد. تنها چیزی که در این بحث‌جای خالی دارد این است که باید به نحوی در سیم‌های سمت راست و سمت چپ کلاف دائما "جریان جاری سازیم و این موضوع را در فصول بعدی شرح میدهیم.

1) Single-Turn-Coil

POWEREN.IR



شکل ۲۲ ــ ۲

۶ ــ ۲ نیروی ضد محرکه: (BEMF)

2-6 BACK ELECTROMOTIVE FORCE (BACK EMF)

شکل (۱۹ ــ ۲) بازنگری میکنیم و میبینیم که هادی بر اثر جریانی که از آن میگذرد میچرخد (حالت موتوری) باید گفت که در اینحالت نیز در هادی ولتاژ القاء میگردد. پلارتیه این ولتاژ القائی همواره مخالف جریانی است‌که باعث میشود هادی بحرکت درآید. ازآنجائی که ولتاژ القائی با جریان مخالف است به‌آن نیروی ضد محرکه گفته میشود. نیروی ضد محرکه نقش مهمی در عملکرد موتورها ایفا میکند و در فصل ۵ بیشتر راجع به آن صحبت میکنیم.

خوانندگان محترم میتوانند با استفاده از قانون دست راست دریابند که چرا پلارتیه ولتاژ القاء شده با جهت جریان مخالف است.

POWEREN.IR

SYMBOLS INTRODUCED IN CHAPTER 2

	Symbol	Definition	Units English	Units SI
۱	v	Velocity of a conductor	in./s	m/s
۲	l	Length of conductor in magnetic field	inches	meters
۳	θ	Angle between wire's motion and lines of flux	degrees	degrees
۴	t	Time it takes for a conductor to go from zero flux to maximum flux cut	seconds	seconds
۵	z	Number of conductors	—	—
۶	E_g	Average induced voltage	volts	volts
۷	r	Radius	feet	meters
۸	$\mathbf{P}$	Number of poles	—	—
۹	S	Rotational speed (English)	rev/min	—
۱۰	ω	Rotational speed (SI)	—	rad/s
۱۱	F	Force produced by a conductor	pounds	newtons
۱۲	T	Torque	lb-ft	N-m

علائم اختصاری استفاده شده در فصل ۲:

۱ ــ سرعت یک هادی

۲ ــ طول هادی که درون میدان مغناطیسی قرار دارد

۳ ــ زاویه بین حرکت سیم و خطوط شار

۴ ــ زمان لازم برای حرکت هادی از موقعیکه شاری را قطع نمی‌کند تا موقعیکه حداکثر شار را قطع می‌کند

۵ ــ ولتاژ القاء شده متوسط

۶ ــ تعداد هادیها

۷ ــ شعاع

۸ ــ تعداد قطبها

۹ ــ سرعت دورانی در سیستم انگلیسی

۱۰ ــ سرعت دورانی در سیستم SI

۱۱ ــ نیروی تولید شده توسط یک هادی

۱۲ ــ گشتاور (کوپل)

POWEREN.IR

فصل سوّم

ساختمان ماشینهای DC

۲۳ صفحه

DC MACHINE CONSTRUCTION

POWEREN.IR

PowerEn.ir

POWEREN.IR

POWEREN.IR

ساختمان ماشینهای DC

مقدمه:

قبل از اینکه وارد جزئیات مربوط به ژنراتورها و موتورهای DC شویم درباره ساختمان و شکل ظاهری ماشینهای DC صحبت میکنیم. هدف از این فصل آشنائی با قسمتهای مهم ماشینهای DC است.

۱ ـ ۳ آرمیچر: 3-1 ARMATURE

در فصل قبل (فصل ۲) راجع به اصول تولید ولتاژ و گشتاور (کوپل) صحبت کردیم و دیدیم که:

الف: برای تولید ولتاژ باید کلاف درون یک میدان مغناطیسی بچرخد.

ب: برای تولید گشتاور (کوپل) باید از کلافی که آزادانه میتواند درون یک میدان مغناطیسی بچرخد، جریان عبور کند.

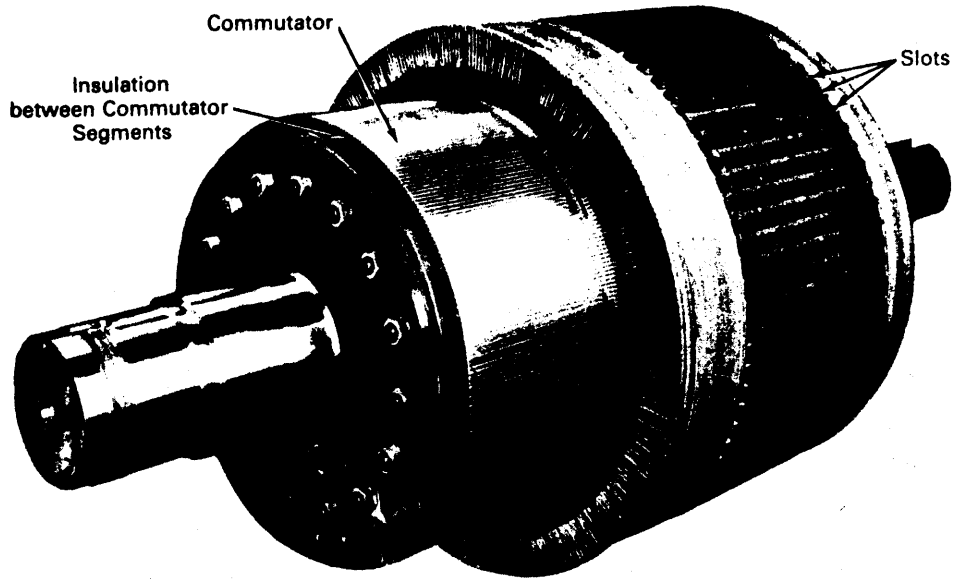
در ماشینهای DC کلافها بر روی قسمت دوار ماشین (رتور) جاسازی شده‌اند واصطلاحا" به‌رتور ماشینهای DC ارمیچر گفته می‌شود همچنین به‌کلافهای ارمیچر، سیم پیچ ارمیچر (۱) اتلاق میگردد.

آرمیچر دارای یک محور (۲) بوده که بر روی آن صفحات دایره‌ای کنار هم قرار میگیرند و یک‌هسته استوانه‌ای مورق (۳) را تشکیل میدهند. جنس این صفحات دایره‌ای الیاژ فولاد میباشد. علت اینکه هسته آرمیچر را مورق میسازند آن است که پدیده جریان گردابی (۴) تضعیف شود. درباره جریان گردابی در فصل ۴ صحبت خواهد شد. شکل (۱ ـ ۳) آرمیچر یک ماشین DC را نشان میدهد. با توجه به این شکل شیارهای (۵) آرمیچر کاملا" مشهود است و سیم پیچ آرمیچر درون این شیارها جاسازی میشود. معمولا" آرمیچر از چندین کلاف تشکیل شده است و نحوه سیم پیچی (سیم بندی) آرمیچر را در همین فصل (بخش ۶ ـ ۳) توضیح خواهیم داد.

---

1) Armature-Winding 2) Shaft 3) Laminated
4) Eddy-Current 5) Slots

POWEREN.IR



شکل ۱ ــ ۳: شمای ارمیچر یک ماشین DC

۱ ــ ۱ ــ ۳ کموتاسیون (یکسو سازی): 3-1.1 Commutation

در ماشینهای DC ترمینالهای سیم پیچها (ترمینالهای کلافهای آرمیچر) به کموتوتاتور [1] وصل میشود. باید گفت که کموتاتور از تیغه‌های مسی تشکیل شده که در امتداد محور آرمیچر قرارگرفته‌اند. این تیغه‌های مسی نسبت به هم عایق بوده و همچنین بین این تیغه‌ها و قسمتهای فلزی دیگر ارمیچر نیز عایق وجود دارد و باید خاطر نشان ساخت که از طریق همین کموتاتور است که ماشین DC با جهان خارج ارتباط پیدا میکند.

در حالت ژنراتوری جریان سیم پیچ آرمیچر (کلافها) از طریق کموتاتور به مصرف کننده [2] میرود و در حالت موتوری جریان از طریق کموتاتور به سیم پیچ آرمیچر (کلافها) میرسد.

در فصل قبل (فصل ۲) دیدیم که اگر یک هادی درون یک میدان مغناطیسی بچرخد، ولتاژ متناوب در هادی تولید میشود (ولتاژ القایی ــ شکل ۷ ــ ۲). یکی دیگر از وظایف کموتاتور تبدیل این ولتاژ متناوب (AC) به ولتاژ مستقیم (DC) خواهد بود.

---

1) Commutator 2) Load

POWEREN.IR

POWEREN.IR

در حقیقت کموتاتور یک نوع عمل یکسو سازی را انجام میدهد تا خروجی DC حاصل شود. شکل (۲ ــ ۳) یک کلاف تک دوری را نشان میدهد که درون یک میدان مغناطیسی دو قطبی میچرخد. هنگام دوران آرمیچر، یکی از ترمینالهای کلاف (A) همواره به تیغه مسی A در کموتاتور متصل است و ترمینال دیگر کلاف (B) همیشه به تیغه مسی B در کموتاتوروصل میباشد. باید گفت که ولتاژ القاء شده را میتوان توسط دو جاروبک[1] نشان داده شده در شکل (۲ ــ ۳) حس نمود.

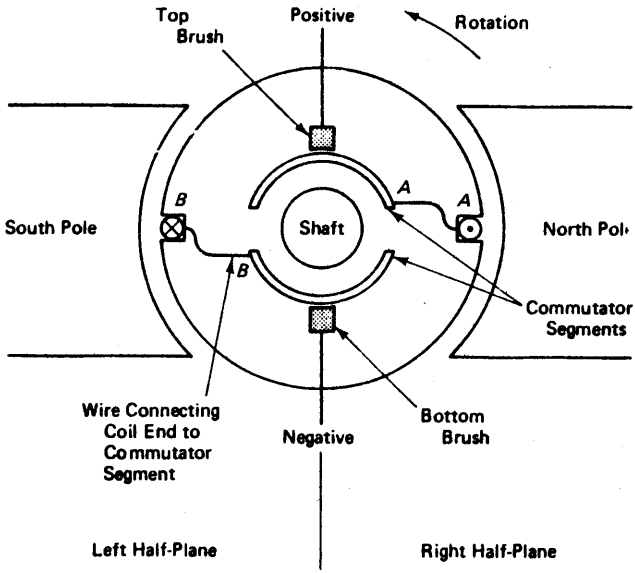
جاروبکها به قاب (بدنه)[2] ژنراتور DC متصل‌اند و دوران نمیکنند. لذا جاروبک‌های فوقانی و تحتانی دائما" به ترتیب با سیم پیچ‌های سمت راست و چپ کلاف سروکارخواهند داشت. در شکل (۲ ــ ۳) فرض بر آن است که قطب شمال (قطب مثبت) در سمت راست ماشین قرار دارد. با اندکی تفکر در مییابیم که عمل یکسو سازی بسهولت انجام میگیرد زیرا جهت جریان همواره طوریست که جریان از جاروبک فوقانی خارج و به جاروبک تحتانی وارد میگردد. باید گفت که هرگاه هادیهای A ، B در مقابل جاروبکها قرار گیرند (A در مقابل جاروبک فوقانی و B در مقابل جاروبک تحتانی) در این صورت عمل سوئیچینگ (کلید زنی) رخ میدهد. در اینحالت تماس جاروبک بالائی با تیغه مسی A قطع شده و همزمان با آن تماس این جاروبک با تیغه مسی B برقرار میشود. در اینجا متذکر میشویم که هنگام عمل سوئیچینگ (کلید زنی) ولتاژ القاء شده در هر یک از هادیهای A و B صفر میشود، زیرا در این لحظه هیچ شاری توسط کلاف قطع نمیگردد.

در ماشینهای DC پدیده‌ای بنام عکس‌العمل آرمیچر[3] وجود دارد و بخاطر همین پدیده است که هنگام عمل سوئیچینگ (کلید زنی) ولتاژ القاء شده در هادیهای A و B فوق‌الذکر کاملا" صفر نخواهد بود. درباره این پدیده در همین فصل صحبت خواهیم کرد. در اینجا متذکر می‌شویم که بخاطر همین صفر نبودن ولتاژ القاءشده، جرقه‌هائی[4] حین عمل سوئیچینگ در ماشین دیده میشود. علت بروز جرقه آن است که هنگام عمل سوئیچینگ، جاروبک دو تیغه کموتاتور را بهم وصل مینماید و در این لحظه بین دو تیغه مسی A ، B جریان برقرار شده و بصورت جرقه خودنمائی میکند. در حالت ایده‌آل هنگام عمل سوئیچینگ ولتاژ القاء شده در دو هادی A ، B صفر است و لذا جرقه پدیدار نمیشود، زیرا بین دو تیغه مسی اختلاف ولتاژ وجود ندارد. اما در عمل

---

1) Brush 2) Frame 3) Armature-Reaction
4) Sparks

POWEREN.IR



شکل ۲ ــ ۳: نمایش ساده کموتاتور در یک ژنراتور DC دو قطبی

اوضاع فرق میکند و ولتاژ القاء شده کاملا" صفر نیست .

۲ ــ ۱ ــ ۳ جاروبکها : 3-1.2 Brushes

برای اینکه عمل کموتاسیون (یکسوسازی) بنحو احسن صورت پذیرد ، جاروبکها باید دارای مزایای زیر باشند .

۱ ــ ازهادی خوب تهیه شوند .

۲ ــ جنس آنها خوب باشد و زود سائیده نشوند .

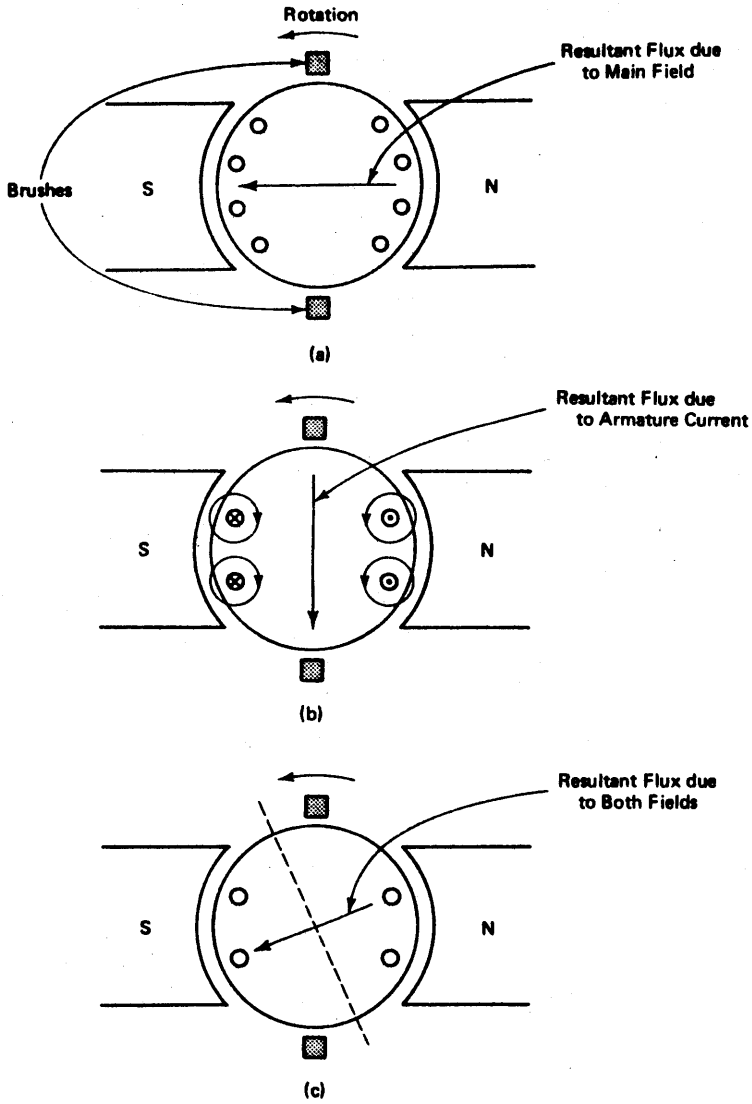
۳ ــ حتی‌الامکان نرم باشند تا با تیغه‌های مسی اصطکاک (۱) زیادی ایجاد نکنند .

بخاطر دلایل فوق جاروبکها را از کربن ، گرافیت و برخی اوقات از مخلوطی از مس و کربن میسازند. باید گفت که پس از آنکه ماشین مدت زیادی کار نمود جاروبکها سائیده میشوند و باید عوض شوند . جاروبکها توسط گیره مخصوصی بنام گیره جاروبک (۲) در وضعیت ثابتی قرار میگیرند و دائما" با تیغه‌های مسی کموتاتور در تماس هستند .

---

1) Friction 2) Brush Rigging

POWEREN.IR



شکل ۳ ــ ۳: میدان‌های مغناطیسی در یک ژنراتور DC دو قطبی

a : شار اصلی فقط نشان داده شده است

b : فقط شار کل ارمیچر نشان داده شده است

c : شار منتجه نشان داده شده است

POWEREN.IR

گیره‌های فوق‌الذکر توسط عایقی خاص به بدنه ماشین متصل است . این گیره‌ها حاوی فنر [۱] نیز هستند تا به جاروبکها فشار لازم جهت تماس خوب با کموتاتور اعمال شود .

۳ ـ ۱ ـ ۳ عکس‌العمل آرمیچر : 3-1.3 Armature Reaction

یک ژنراتور DC را در حالت بارداری در نظر میگیریم . واضح است که از سیم پیچهای ارمیچر جریان میگذرد (شکل ۳ ـ ۳) . در نتیجه جریان عبوری ازسیمهای ارمیچر ، شاری نیز حاصل میگردد که به آن شار آرمیچر گفته میشود . باید گفت که‌هرچه بار زیادتر شود ، جریان ارمیچر نیز افزونتر شده و لذا شار ارمیچر نیز زیادمیشود . همانطور که‌از شکل (۳ b ـ ۳) پیداست مسیر شارهای ارمیچر دایره‌ای بوده و هادی را دور میزند . همانطورکه از شکل پیداست این شارهای دایره‌ای با هم جمع شده و شار کل آرمیچر را تشکیل میدهند و جهت این شار کل بطرف پائین است . اما باید گفت که در ماشینهای DC شار حاصل از قطبهای ماشین نیز وجود دارد (شار مدار تحریک) . لذا درون ماشین DC دو نوع شار وجود خواهد داشت .

الف : شار حاصل از قطبهای ماشین (شار مدار تحریک) که به شار اصلی معروف است .

ب : شار کل آرمیچر

لذا در مییابیم که درون ماشین DC همواره منتجه دو شار فوق‌الذکر وجود دارد . این شار منتجه [۲] را میتوان در شکل (۳c ـ ۳) مشاهده کرد . در اینجا احساس می‌کنیم که با دوران ماشین ، هادیها موقعی موازی میدان مغناطیسی منتجه حرکت میکنند که محور خط چین نشان داده شده در شکل (۳c ـ ۳) را قطع نمایند (چرا ؟) . در این لحظه هادیها خطوط شار را قطع نمیکنند و لذا ولتاژ القاء شده در هادیها صفر است . پس بهتر است جاروبکها رادر امتداد این محور خط چین قرار دهیم . تا جرقه پدیدار نشود اما اگر جاروبکها مطابق شکل (۳a ـ ۳) قرار گیرند ، در اینصورت حتما " جرقه حین عمل کموتاسیون بوجود خواهد آمد .

از بحث فوق نتیجه میشود که عکس‌العمل آرمیچر ایجاب میکند که جاروبکها از وضعیت ایده آل‌خود تغییر مکان دهند ، بخاطر همین امر گاهی اوقات به عکس‌العمل آرمیچر ، پدیده جابجا کردن جاروبکها [۳] نیز گفته میشود .

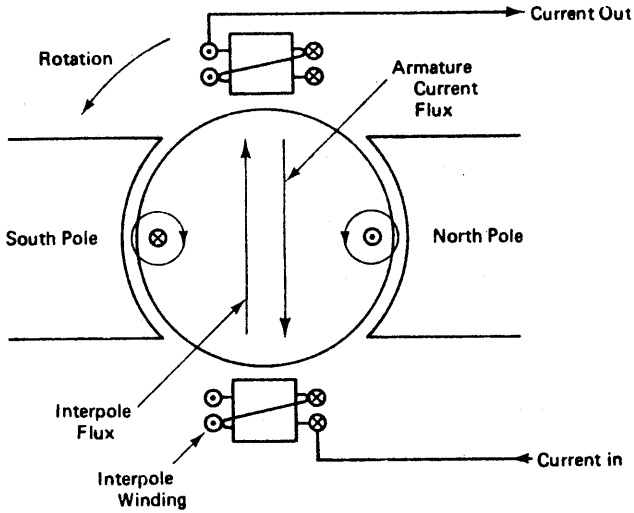
---

1) Spring 2) Resultant-Flux
3) Brush - Shifting

POWEREN.IR

۲ ــ ۳ قطبهای کمکی (قطبهای فرعی) : 3-2 INTERPOLES

یکی از روشهای موجود در جهت کاهش عکس‌العمل ارمیچر، نصب قطبهای فرعی (۱) در بین قطبهای اصلی است (شکل ۴ ــ ۳) :



شکل ۴ ــ ۳: ماشین DC دو قطبی با قطب‌های کمکی (فرعی)

قطبهای فرعی توسط سیم پیچ تغذیه میشوند و پلارتیه میدان حاصله طوریست که با شار کل آرمیچر (شکل b ۳ ــ ۳) در تضاد است. باید گفت که سیم پیچ قطبهای فرعی با سیمهای آرمیچر سری شده‌اند، لذا اگر شار آرمیچر افزایش یابد (بعلت افزایش جریان آرمیچر)، شار متضاد حاصله از قطبهای فرعی (کمکی) نیز متناسبا" افزون میگردد. باید گفت که چون سیمهای آرمیچر با سیمهای قطبهای فرعی (کمکی) سری شده‌اند، لذا :

مقاومت سیم پیچ قطبهای کمکی + مقاومت سیم پیچ‌ارمیچر = کل مقاومت مدار آرمیچر

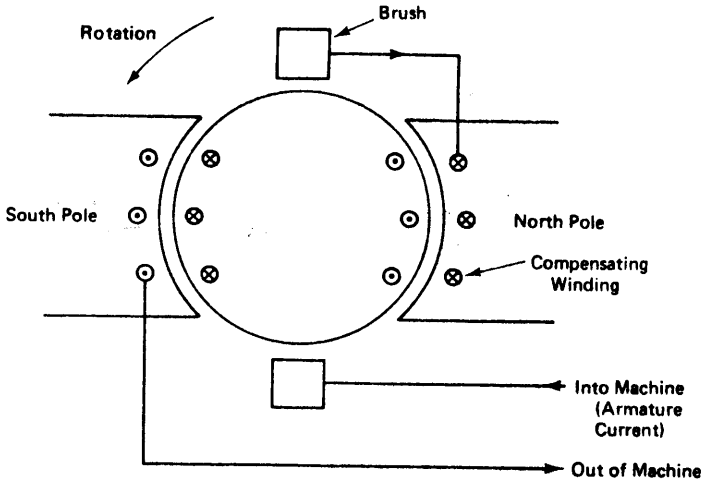
۳ ــ ۳ سیم پیچهای جبران کننده (ترمیم کننده) : 3-3 COMPENSATING WINDINGS

یکی دیگر از روشهای موجود جهت کاهش عکس‌العمل ارمیچر استفاده از سیم

---

1) Interpole

POWEREN.IR



شکل ۵ ـ ۳: ماشین DC دو قطبی با سیم پیچ جبران کننده

پیچهای جبران‌کننده [1] است. این سیمها بر روی قطبهای اصلی جاسازی می‌شوند. (شکل ۵ ـ ۳) و باید گفت که این سیمهای جبران کننده نیز با سیمهای آرمیچر از نظر الکتریکی سری شده‌اند. لذا با افزایش جریان در سیمهای آرمیچر (جریان بار) [2] شار سیمهای آرمیچر و شار سیمهای جبران کننده هر دو افزایش مییابد. اما طرز اتصال سیم پیچهای جبران کننده طوریست که شار حاصله از این سیمها با شار ارمیچر در تضاد خواهد بود. لذا اثرات یکدیگر را خنثی میکنند. در اینجا میتوان گفت:

مقاومت سیم پیچ جبران کننده + مقاومت سیم پیچ ارمیچر = کل مقاومت مدار آرمیچر

۴ ـ ۳ قطبهای اصلی ماشینهای DC (قطبهای تحریک) [3]: 3-4 FIELD POLES

تا بحال هرچه درباره ماشینهای DC گفته‌ایم مبتنی براین نکته بود که شار اصلی توسط قطبهای شمال وجنوب (مثبت ومنفی) تولید میگردد. به این قطبها معمولا" قطبهای اصلی یا قطبهای تحریک گفته میشود. قطبهای اصلی به دو طریق ساخته میشود.

۱ ـ در ماشینهای کوچک بویژه اسباب بازی‌ها، قطبهای اصلی از آهن ربای دائم ساخته میشود.

۲ ـ در اکثر ماشینهای DC متداول، میدان اصلی را توسط یک سیم پیچ‌که به دور قطبها

---

1) Compensating winding 2) LoadCurrent
3) Field-Pole

POWEREN.IR

پیچیده شده است تولید میکنند .

حال قدری راجع به میدان های مغناطیسی فوق‌الذکر بیشتر توضیح میدهیم . در بند یک فوق الذکر راجع به آهن ربای دائمی صحبت کردیم . آهن ربای دائمی ازجنس مواد فرومغناطیسی بوده که درابتدای امر بوسیله یک منبع خارجی تحریک میشود . این تحریک خارجی میتواند توسط جریان یک سیم پیچ که به دور هسته پیچیده شده است عملی گردد (شکل ۱ ــ ۱ در فصل ۱) ، یا میتوان هسته فرو مغناطیسی را در محاورت یک میدان مغناطیسی بسیار قوی قرار داد . در هر دو حالت هرگاه تحریک خارجی برداشته شود ، هسته خاصیت مغناطیسی خود را بخاطر پدیده هیسترزیس و پس ماند مغناطیسی (فصل ۱) حفظ میکند .

باید خاطر نشان ساخت که شدت و ضعف این آهن ربای دائم به تحریک خارجی و نوع تحریک بستگی دارد . یکی از موادی که امروزه برای تهیه آهن ربای دائم از آن استفاده میکنند النیکو (۱) میباشد که آلیاژیست از آلومینیم ، کبالت ، نیکل ، مس و آهن .

در بند "۲" فوق گفتیم که در اکثر ماشینهای DC میدان اصلی را توسط سیم پیچی که به دور قطبها پیچیده شده است ایجاد میکنند . باید گفت که شدت و ضعف این میدان به تعداد دور سیم پیچ و جریان آن بستگی دارد . در اینجا متذکر میشویم که همواره برای تحریک سیم پیچهای قطبهای اصلی به یک منبع ولتاژ DC نیاز داریم تا جریان سیم پیچهای قطبهای اصلی را تامین کند . البته باید گفت که هرگاه مدار تحریک قطبها قطع گردد ، پس ماند مغناطیسی کمی در ماشین باقی میماند . اگر در ماشینهای DC از قطبهای اخیر استفاده شود در اینصورت معمولا" با دو نوع سیم پیچی برای تحریک قطبها مواجه هستیم .

۱ ــ سیم پیچهای نازک ولی با تعداد دور زیاد که جریان کمی را تحمل میکنند .

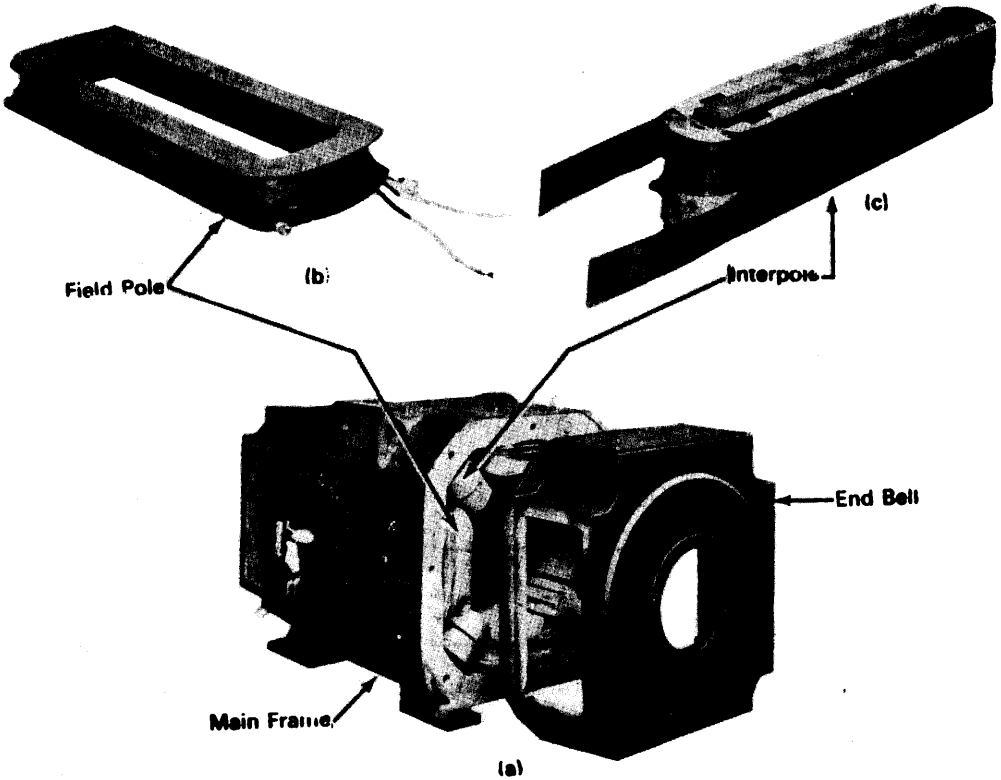
۲ ــ سیم پیچهای کلفت ولی با تعداد دور کم که جریان زیادی را از خود عبور میدهند .

در فصل بعد که با ماشینهای DC سری وشنت آشنائی پیدا میکنیم ، با این دو نوع سیم پیچ بیشتر آشنا میشویم . شکل (۶ ــ ۳) قطبهای اصلی (قطبهای تحریک) و قطبهای فرعی ماشینهای DC را نشان میدهد .

---

1) Alnico

POWEREN.IR



شکل ۶ ـ ۳:

a : ماشین DC با درپوش انتهائی

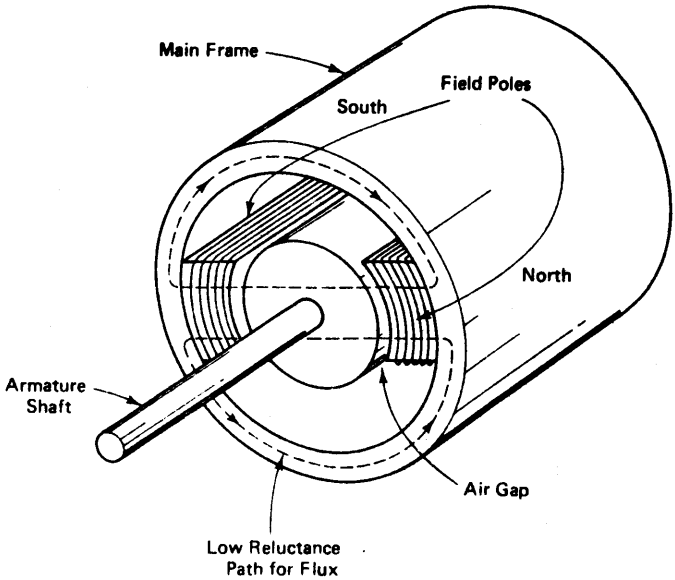
b : قطبهای اصلی (تحریک)

c : قطبهای کمکی (فرعی)

POWEREN.IR

۵ ــ ۳ ساختمان مکانیکی ماشینهای DC : ~~3-5~~ MECHANICAL STRUCTURE

از آنجائی که آرمیچر باید آزادانه و با اصطکاک کمی بچرخد ، محور آرمیچر را بر روی یاطاقانهائی (۱) در دو طرف ماشین قرار می‌دهند . یاطاقانها نیز بر روی صفحات مدوری بنام درپوش (۲) قرار دارند و درپوشها در دو انتهای ماشین نصب شده‌اند . باید گفت که درپوشها ماشین به بدنه یا قاب اصلی (۳) ماشین متصل میشوند . در اینجا متذکر میشویم که بدنه یا قاب اصلی ماشین علاوه براینکه درپوشها را تحمل میکند ، متحمل آرمیچر ، جاروبکها ، قطبهای اصلی و قطبهای کمکی نیز میگردد . همچنین بدنه یا قاب اصلی ماشین یک مسیر بارلوکتانس کم جهت برگشت شار میدان اصلی (میدان تحریک) بوجود می‌آورد . بخاطر همین امر ضخامت این قاب (بدنه اصلی) معمولا " بیش از حد نیاز میباشد (به شکلهای ۶ ــ ۳ و ۷ ــ ۳ رجوع شود)



شکل ۷ ــ ۳: دیاگرام ساده‌ای از یک ماشین DC دو قطبی

1) BEARING 2) END-Bell 3) Main-Frame

POWEREN.IR

۶ ـ ۳ سیم پیچ آرمیچر در ماشینهای DC : 3-6 ARMATURE WINDINGS

نحوه سیم پیچی آرمیچر در ماشینهای DC یکی از عوامل مهم و تعیین کننده مشخصه‌های ماشین است. معمولا" دو نوع سیم پیچی متداول برای آرمیچر ماشینهای DC وجود دارد.

۱ ـ سیم پیچی مجاور (۱) (LW)

۲ ـ سیم پیچی موجی (۲) (WW)

ابتدا سیم پیچی LW را شرح میدهیم (شکل ۸ ـ ۳). همانطور که از این شکل پیداست مشخصات ماشین بقرار زیر است:

الف: تعداد قطبهای اصلی (قطبهای تحریک) چهار میباشد.

ب: تعداد شیارهای آرمیچر هشت عدد است.

ج: تعداد تیغه‌های مسی کموتاتور هشت عدد میباشد (S_1 تا S_8).

د: تعداد جاروبکها چهار عدد است (B_1 تا B_4).

در شکل (۸ ـ ۳) مقطع آرمیچر نشان داده شده و فرض میکنیم ماشین در جهت خلاف عقربه ساعت (CCW) می‌چرخد. همانطور که از شکل پیداست، تعداد کلافهای آرمیچر هشت عدد است و با حروف A تا H کلافها را مشخص کرده‌ایم.

فرض میکنیم هر کلاف از N دور سیم تشکیل شده باشد و ابتدا و انتهای هر کلاف با حروف خاصی مشخص شده است، مثلا" ابتدا و انتهای کلاف B با حروف b و b′ متمایز گردیده‌اند (و غیره). برای وضعیت شکل (۸ ـ ۳) میتوان گفت:

۱ ـ کلافهای A ، C ، E ، G خطوط شار را قطع کرده و لذا در آنها ولتاژ القاء میشود.

۲ ـ کلافهای B ، D ، F ، H موازی خطوط شار حرکت میکنند و لذا در آنها ولتاژ القاء نمیشود.

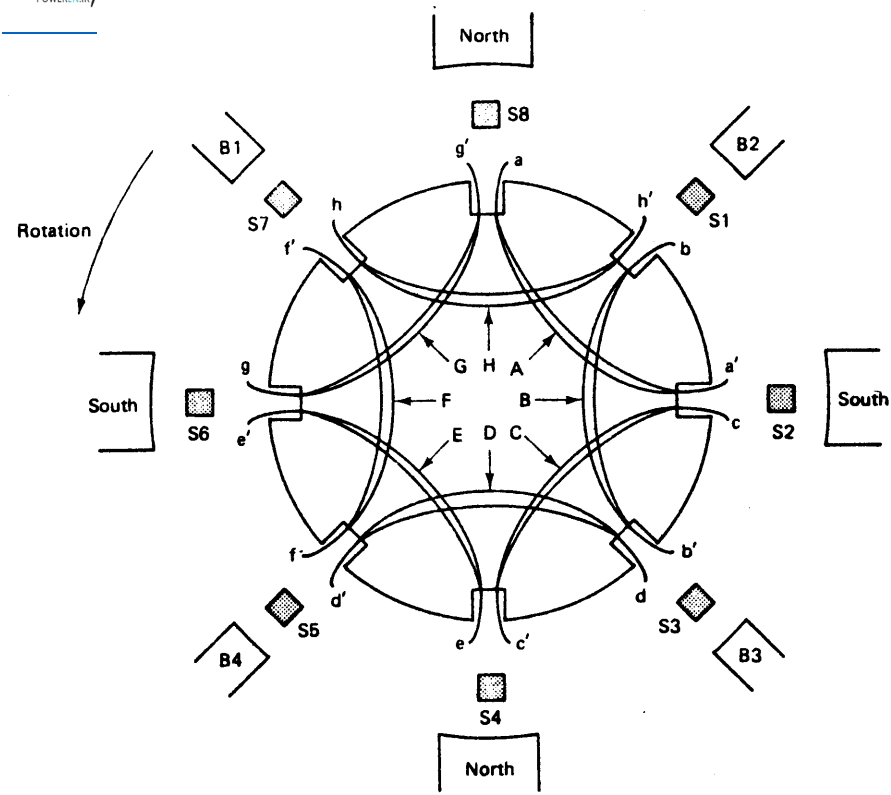
با توجه بشکل (۸ ـ ۳) میتوان بهتر به نحوه سیم پیچی LW پی برد.

البته باید توجه کرد که تفاوت بین سیم پیچی LW و WW به نحوه اتصال کلافها با تیغه‌های مسی و تعداد این تیغه‌ها بستگی دارد.

---

1) Lap-Winding 2) Wave-Winding

POWEREN.IR



شکل ۸ ــ ۳: شمای ساده یک ماشین DC ، ۴ قطبی که ارمیچر آن شامل ۸ کلاف می‌باشد

۱ ــ ۶ ــ ۳ سیم پیچی مجاور از نوع سیمپلکس SLW

3-6.1 Simplex Lap Singly Reentrant Winding

در این نحوه سیم پیچی باید توجه داشت که هرگاه یک، طرف کلاف در زیر قطب شمال (مثبت) قرار گیرد ، طرف دیگر کلاف در زیر قطب منفی (جنوب) قرار میگیرد . این امر با تئوری ذکر شده در فصل ۲ (بخش ۲ ــ ۲) تطابق دارد .

در سیم پیچی SLW انتهای کلاف اول (کلاف A) به ابتدای کلاف شیار مجاور وصل میشود (a' به b) و این اتصال بر روی تیغه مسی S_1 انجام میگیرد .

POWEREN.IR

حال انتهای کلاف B به‌ابتدای کلاف شیار محاور وصل میگردد (b' به c بر روی تیغه مسی S2) . این عمل را در کل محیط آرمیچر انجام میدهیم یعنی :

۱ – c' به d وصل میکنیم (بر روی تیغه مسی S3) .

۲ – d' را به e وصل میکنیم (بر روی تیغه مسی S4) .

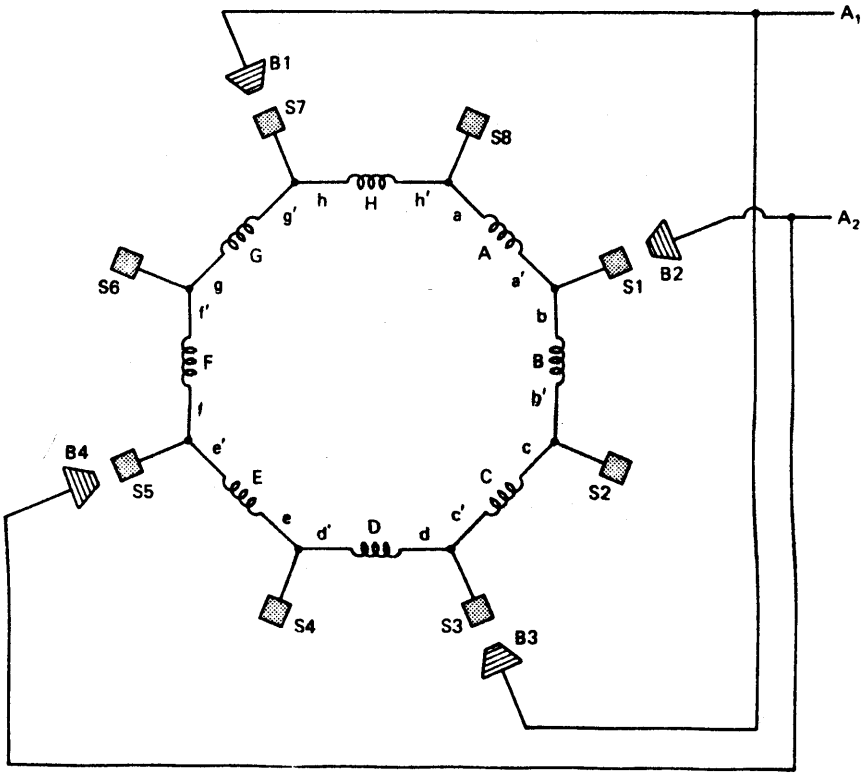
۳ – e' را به f وصل میکنیم (بر روی تیغه مسی S5) .

۴ – f' را به g وصل میکنیم (بر روی تیغه مسی S6) .

۵ – g' را به h وصل میکنیم (بر روی تیغه مسی S7) .

۶ – h' را به a وصل میکنیم (بر روی تیغه مسی S8) .

در اینجا خاطر نشان میسازیم که حاروبکهای B_1 و B_3 بهم متصل شده‌اند و ترمینال A_1 ماشین را میسازد و حاروبکهای B_2 و B_4 را بهم متصل میسازیم و ترمینال A_2 بدست می‌آید .



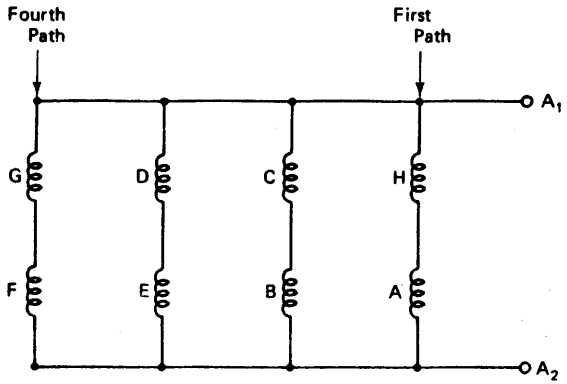
شکل ۹ – ۳: شمای ساده یک سیم پیچ از نوع SLW

POWEREN.IR

POWEREN.IR

با توجه به اتصالات فوق‌الذکر شمای ساده سیم پیچ آرمیچر مطابق شکل (۹ – ۳) حاصل میگردد . باید توجه داشت که وضعیت قرارگرفتن آرمیچر در دو شکل (۸ – ۳) و (۹ – ۳) مشابه یکدیگرند . حال میتوان شکل (۹ – ۳) را بصورت شکل (۱۰ – ۳) درآورد و تصویر ساده‌تری از سیم پیچی SLW ترسیم نمود .

همانطور که از شکل (۱۰ – ۳) پیداست ۴ مسیر موازی در این نوع سیم پیچی وجود دارد .
حال اگر آرمیچر ۴۵ درجه بچرخد ، مسیرهای چهارگانه موازی در شکل (۱۰ – ۳) برقرار خواهند بود ، فقط در اینحالت مسیر اول شامل کلافهای A و B مسیر دوم



شکل ۱۰ – ۳: شمای ساده شده یک سیم پیچ از نوع SLW

شامل کلافهای C و D مسیر سوم شامل کلافهای E و F و مسیر چهارم شامل کلافهای G و H خواهد بود . باید گفت که در هر حالت تعداد کلافها (تعداد دور کلافها و تعداد سیمها) برای هر مسیر یکسان خواهد بود . بطور خلاصه میتوان برای سیم پیچی SLW اینچنین گفت .

۱ – در سیم پیچی SLW تعداد مسیرهای موازی با تعداد قطبهای اصلی برابر است .

۲ – ولتاژ تولید شده توسط آرمیچر معادل ولتاژ مربوط به هر مسیر موازی میباشد .

۳ – جریان اسمی آرمیچر برابر حاصلضرب جریان هر مسیر در تعداد مسیرهاست .
البته جریان اسمی هر مسیر تابعی از ضخامت سیم‌ها می‌باشد .

POWEREN.IR

POWEREN.IR

مثال ۱ ــ ۳: *Example 3-1*

یک ژنراتور DC با مشخصات زیر مفروض است:

۶ = تعداد قطبها

SLW = نوع سیم پیچی آرمیچر

عدد ۶۰۰ = تعداد کل هادیها

اهم ۴% = مقاومت هر هادی

ولت ۰/۴۸ = ولتاژ القا شده متوسط برای هر هادی

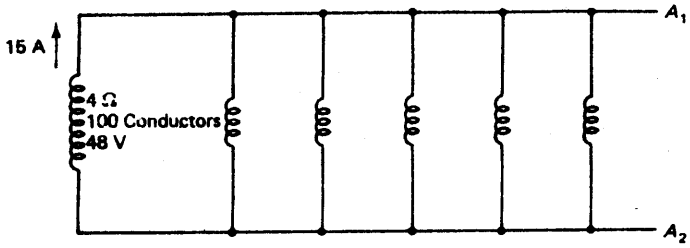
مطلوبست محاسبات زیر مشروط بر آنکه سیم بکار برده شده تحمل ۱۵ آمپر را بنماید.

(الف): مقاومت آرمیچر

(ب): ولتاژ آرمیچر

(ج): جریان اسمی آرمیچر

(د): توان خروجی آرمیچر هنگامیکه آرمیچر جریان اسمی خود راتحویل میدهد.



شکل ۱۱ ــ ۳: مدار مربوط به مثال ۱ ــ ۳

حل:

چون ژنراتور DC ، ۶ قطبی است، لذا شش مسیر موازی وجود دارد (شکل ۱۱ ــ ۳).

چون تعداد کل هادیها ۶۰۰ عدد است، لذا هر مسیر حاوی ۱۰۰ عدد هادی است. همانطور که از این شکل پیداست، هادیهای هر مسیر با هم سری شده‌اند، لذا مقاومت هر مسیر اینچنین حساب میشود:

$$(100\ \text{cond./path}) \times (0.04\ \Omega/\text{cond.}) = 4\ \Omega/\text{path}$$

POWEREN.IR

POWEREN.IR

ولتاژ مربوط به هر مسیر عبارتست از:

$$(100 \text{ cond./path}) \times (0.48 \text{ V/cond.}) = 48 \text{ V}$$

چون هر مسیر ۱۵ آمپر میتواند تامین کند لذا محاسبات مربوط اینچنین است.

(الف): مقاومت آرمیچر از موازی نمودن ۶ مقاومت ۴ اهمی بدست می‌آید.

$$R_a = \frac{4\ \Omega}{6} = 0.67\ \Omega$$

(ب): چون مسیرها موازیند، لذاولتاژ آرمیچر اینچنین است.

$$V_a = 48 \text{ V}$$

(ج): چون مسیرها موازیند جریان اسمی آرمیچر عبارتست از:

$$I_a = 6 \text{ paths} \times 15 \text{ A/path} = 90 \text{ A}$$

(د): هنگام تامین جریان اسمی توسط ژنراتور، توان خروجی اینچنین است:

$$P = V_a I_a$$
$$= 48 \text{ V} \times 90 \text{ A} = 4320 \text{ W}$$

۲ ــ ۶ ــ ۳ سیم پیچی موجی از نوع سیمپلکس (SWW):

3-6.2 Simplex Wave Singly Reentrant Winding

سیم پیچی موجی‌را میتوان همانند سیم پیچی مجاور تحلیل نمود، ما در اینجا نکات برجسته این نوع سیم پیچی را ذکر کرده و زیاد وارد جزئیات آن نمیشویم، زیرا این نوع سیم پیچی تا حدودی پیچیده وغامض است. مشخصات کلی سیم پیچی SWW عبارتست از:

۱ ــ در سیم پیچی SWW فقط دو مسیر موازی خواهیم داشت و تعداد مسیرهای موازی به تعداد قطبها بستگی ندارد.

۲ــ چون در سیم پیچی SWW فقط دو مسیر موازی داریم، لذا تعداد هادیهای هر مسیر نیمی از کل هادیهای آرمیچر خواهد بود.

۳ ــ ولتاژ تولید شده توسط سیم پیچی SWW معادل ولتاژ تولید شده توسط نیمی از هادیهای آرمیچر است (چرا؟)

۴ ــ در سیم پیچی SWW همواره به یک حفت جاروبک مثبت ومنفی نیاز داریم. این خود

POWEREN.IR

یکی از مزایای سیم پیچی SWW است که فقط به دو جاروبک نیاز میباشد. این امر ساختمان ماشین را سهلتر میکند.

۵ ــ جریان اسمی آرمیچر در سیم پیچی SWW دو برابر جریان اسمی هر مسیر است و همچنین جریان اسمی هر مسیر تابعی از سطح مقطع سیم مورد استفاده در هر کلاف میباشد.

مثال ۲ ــ ۳: ***Example 3-2***

یک ژنراتور DC با مشخصات زیر مفروض است:

۶ = تعداد قطبها

SWW = طرز سیم پیچی آرمیچر

عدد ۶۰۰ = تعداد کل هادیها

اهم ۴% = مقاومت در هادی

ولت ۰/۴۸ = ولتاژ متوسط القا شده درهر هادی

آمپر ۱۵ = جریان اسمی سیم مورد استفاده

مطلوبست:

(الف): مقاومت آرمیچر

(ب): ولتاژ آرمیچر

(ج): جریان اسمی آرمیچر

(د): توان خروجی آرمیچر هنگامیکه ژنراتور جریان اسمی را تغذیه میکند.

حل:

سیم پیچی SWW همواره دارای دو مسیر موازیست (شکل ۱۲ ــ ۳). چون تعداد هادیها ۶۰۰ عدد است، لذا هر مسیر حاوی ۳۰۰ عدد هادیست و هادیهای هر مسیر سری شده‌اند.

لذا مقاومت هر مسیر اینچنین است:

$$(300 \text{ cond./path}) \times (0.04\ \Omega/\text{cond.}) = 12\ \Omega/\text{path},$$

ولتاژ هر مسیر عبارت است از:

POWEREN.IR

POWEREN.IR

(300 cond./path) × (0.48 V/cond.) = 144 V/path

و میدانیم جریان هر مسیر ۱۵ آمپر است ، لذا :

(الف) : مقاومت آرمیچر اینچنین است :

$$R_a = \frac{12\ \Omega}{2} = 6\ \Omega$$

(ب) : ولتاژ آرمیچر اینچنین است :

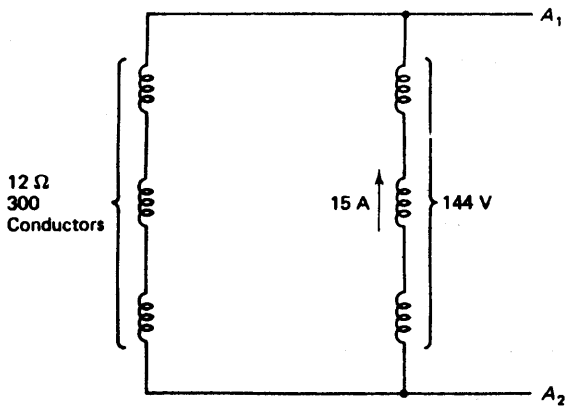
$$V_a = 144\ \text{V}$$

(ج) : جریان اسمی آرمیچر اینچنین است :

$$I_a = 2\ \text{paths} \times 15\ \text{A/path} = 30\ \text{A}$$

(د) : توان خروجی آرمیچر هنگامیکه ژنراتور جریان اسمی را تغذیه میکند اینچنین است :

$$P = V_a I_a$$
$$= 144\ \text{V} \times 30\ \text{A} = 4320\ \text{W}$$



شکل ۱۲ ــ ۳ : مدار مربوط به مثال ۲ ــ ۳

۳ ــ ۶ ــ ۳ مقایسه سیم پیچهای مجاور (SLW) و موجی (SWW)

3-6.3 Comparison of Lap and Wave Windings

در مثالهای (۱ ــ ۳) و (۲ ــ ۳) یک ژنراتور DC را یکبار با سیم پیچی موجی و یکبار با سیم پیچ مجاور مورد بررسی قرار دادیم و در هر دو حالت تعداد قطبها ، هادیها و مشخصات دیگر ماشین یکسان در نظر گرفته شد . حال میتوان گفت :

۱ ــ سیم پیچهای (SLW) ، (SWW) در مشخصه ماشین تاثیر بسزائی دارند .

۲ ــ ۱ : در سیم پیچی (SLW) جریان اسمی زیاد است ولی ولتاژ تولید شده کم میباشد .

POWEREN.IR

۳ ـ ۱ : در سیم پیچی (SWW) جریان اسمی کم است ولی ولتاژ تولید شده زیاد میباشد .

۴ ـ ۱ : توان اسمی در هر دو سیم پیچی یکسان است .

۱ ـ ۲ : در سیم پیچی (SLW) تعداد مسیرهای موازی مساوی تعداد قطبهاست .

۲ ـ ۲ : در سیم پیچی (SWW) تعداد مسیرهای موازی همواره معادل ۲ میباشد .

۳ ـ در یک ماشین DC دو قطبی اگر سیم پیچ از نوع (SLW) باشد ، مشخصه آن با هنگامیکه سیم پیچ از نوع (SWW) باشد یکسان است . (چرا ؟) .

۴ ـ در سیم پیچ (SWW) فقط به دو حاروبک نیاز است .

در اینجا میتوان معادلات اساسی دیگری تعریف نمود . این معادلات مشابه معادلات (۵ ـ ۲) در فصل ۲ است .

در سیستم (ENG) داریم :

$$E_g = \frac{z\phi PS \times 10^{-8}}{60a} \qquad (3\text{-}1a)$$

در سیستم (SI) داریم :

$$E_g = \frac{z\phi P\omega}{2\pi a} \qquad (3\text{-}1b)$$

همانطور که میدانیم معادلات (۵ ـ ۲) مبین ولتاژ تولید شده توسط یک آرمیچر تک کلافی بود که آن کلاف حاوی Z هادی میباشد . اما در اینجا باید تعداد مسیرهای موازی را نیز منظور نمود (a) . بقیه کمیت‌های ذکر شده در روابط بالا مشابه کمیتهای مندرج در روابط (۵ ـ ۲) است .

مثال ۲ ـ ۳ (سیستم ENG) : ***Example 3-3 (English)***

یک ژنراتور Dc با مشخصات زیر مفروض است :

۶ = تعداد قطبها

عدد ۳۰۰ = تعداد کل هادیها

دور در دقیقه ۱۸۰۰ = سرعت آرمیچر

شار هر قطب = 200 kilolines.

مطلوبست ولتاژ متوسط تولید شده توسط آرمیچر در دو حالت زیر :

POWEREN.IR

(الف) سیم پیچی از نوع SLW باشد .
(ب) سیم پیچی از نوع SWW باشد .

حل:

از رابطه (۱a ـ ۳) استفاده میکنیم :

(الف) : در حالتی که سیم پیچی از نوع SLW باشد داریم :

$$E_g = \frac{300(200k)(6)(1800) \times 10^{-8}}{60(6)} = 18 \text{ V}$$

(ب) : در حالتی که سیم پیچی از نوع (SWW) باشد داریم :

$$E_g = \frac{300(200k)(6)(1800) \times 10^{-8}}{60(2)} = 54 \text{ V}$$

مثال ۴ ـ ۳ (سیستم SI) : ***Example 3-4 (SI)***

یک ژنراتور DC با مشخصات زیر مفروض است :

۸ = تعداد کل قطبها

۳۰۰ عدد = تعداد کل هادیها

۱۸۰ رادیان بر ثانیه = سرعت آرمیچر

۰/۰۰۲ وبر = شار هر قطب

مطلوبست ولتاژ متوسط تولید شده توسط آرمیچر در دو حالت زیر :

(الف) : سیم پیچی از نوع SLW باشد .

(ب) : سیم پیچی از نوع SWW باشد .

حل:

از رابطه (۱b ـ ۳) استفاده میکنیم :

(الف) : در اینحالت داریم :

$$E_g = \frac{300(2 \times 10^{-3})(8)(180)}{2(\pi)(8)}$$

$$= 17.2 \text{ V}$$

(ب) : در اینحالت داریم :

$$E_g = \frac{300(2 \times 10^{-3})(8)(180)}{2(\pi)(2)} = 68.75 \text{ V}$$

POWEREN.IR

مثال ۵ ــ ۳ (سیستم ENG ٤): ***Example 3-5 (English)***

یک ژنراتور DC با مشخصات زیر مفروض است:

۳۲ = تعداد قطبها

SWW = نوع سیم پیچی آرمیچر

۸۰۰ = تعداد هادیها

دور در دقیقه ۶۰ = سرعت آرمیچر

مطلوبست محاسبه شار در قطب مشروط بر آنکه بخواهیم ولتاژ متوسط القاء شده در آرمیچر ۱۲۰ ولت باشد.

حل:

از رابطه (۱a ــ ۳) استفاده میکنیم لذا:

$$E_g = \frac{z\phi PS \times 10^{-8}}{60a}$$

$$\phi = \frac{60aE_g}{zPS \times 10^{-8}}$$

$$= \frac{60(2)(120)}{800(32)(60) \times 10^{-8}}$$

$$= 937.5 \text{ kilolines}$$

مثال ۶ ــ ۳ (سیستم SI) ***Example 3-6 (SI)***

یک ژنراتور DC با مشخصات زیر مفروض است:

۳۲ = تعداد قطبها

SWW = نوع سیم پیچی آرمیچر

عدد ۸۰۰= تعداد کل هادیها

رادیان بر ثانیه ۶ = سرعت آرمیچر

مطلوبست شار هر قطب مشروط بر آنکه بخواهیم ولتاژ متوسط القاء شده در آرمیچر ۱۲۰ ولت باشد.

POWEREN.IR

حل:

از رابطه (۳ – ۱b) استفاده میکنیم: لذا:

$$E_g = \frac{z\phi P\omega}{2\pi a}$$

$$\phi = \frac{2\pi a E_g}{zP\omega}$$

$$= \frac{2(\pi)(2)(120)}{800(32)(6)}$$

$$= 0.0098 = 9.8 \times 10^{-3}\ \text{Wb}$$

SYMBOLS INTRODUCED IN CHAPTER 3

Symbol	Definition	Units: English and SI
۱ a	Number of parallel paths	—
۲ z	Number of armature conductors	—
۳ V_a	Armature voltage	volts
۴ R_a	Armature resistance	ohms
۵ I_a	Full-load armature current	amperes
۶ E_g	Average (dc) generated voltage of a rotating armature (*Note:* Although neglected in this chapter, this is greater than V_a by an amount equal to the internal voltage drop across R_a)	volts

علائم اختصاری ذکر شده در فصل ۳:

۱ ــ تعداد مسیرهای موازی

۲ ــ تعداد هادیهای ارمیچر

۳ ــ ولتاژ ارمیچر

۴ ــ مقاومت ارمیچر

۵ ــ جریان ارمیچر در بار کامل (جریان اسمی ارمیچر)

۶ ــ ولتاژ متوسط تولید شده توسط ارمیچر.

این ولتاژ از Va بزرگتر است و درباره آن بعدا" صحبت می‌کنیم.

POWEREN.IR

PowerEn.ir

POWEREN.IR

POWEREN.IR

فصل چهارم

مشخصه های ژنراتور DC

۵۶ صفحه

DC GENERATOR CHARACTERISTICS

POWEREN.IR

PowerEn.ir

POWEREN.IR

POWEREN.IR

مشخصه‌های ژنراتور DC

مقدمه:

در این فصل راجع به مدار معادل ژنراتورهای DC صحبت میکنیم و معادلات ساده‌ای برای این ژنراتورها پیدا خواهیم کرد. تحلیل این مدارها مشابه مدارهای ساده DC در درس تئوری مدار است.

۱ ـ ۴ ـ معادلات اساسی ژنراتور DC 4-1 BASIC GENERATOR EQUATION

با توجه به معادلات (۱ ـ ۳) در میبابیم که اگر ژنراتوری طراحی و ساخته شده باشد، تنها در صورتی میتوان ولتاژ تولید شده را تغییر داد که شار تحریک یا سرعت ماشین تغییر نماید. اگر تعداد هادیها (Z)، تعداد قطبها (P) و تعداد مسیرهای موازی (a) را یک کاسه بصورت عدد ثابتی در نظربگیریم. در اینصورت روابط (۱ ـ ۳) اینچنین نوشته میشود.

برای سیستم (ENG) داریم:

$$E_g = K\phi S \qquad \text{(4-1a)}$$

برای سیستم (SI) داریم:

$$E_g = K'\phi\omega \qquad \text{(4-1b)}$$

در روابط فوق ضرایب بشرح زیراند:

$$K = \frac{zP \times 10^{-8}}{60a}$$

در روابط فوق آحاد بشرح زیراند:

$$K' = \frac{zP}{2\pi a}$$

الف: S بر حسب دور در دقیقه بیان میشود.

ب: ω بر حسب رادیان بر ثانیه خواهد بود.

ج: ϕ در سیستم (ENG) بر حسب lines میباشد.

د: ϕ در سیستم (SI) بر حسب وبر بیان گردد.

POWEREN.IR

در روابط (۱ ــ ۴) ولتاژ تولید شده با شار تحریک و سرعت [۱] دوران آرمیچر نسبت مستقیم دارد. لذا اگر سرعت یا شار دو برابر گردد، ولتاژ تولید شده نیز دو برابر میگردد. اگر هم سرعت و هم شار دو برابر گردد، در اینصورت ولتاژ تولید شده چهار برابر خواهد شد.

اگر شار را با ϕ و سرعت را با S_1 نشان دهیم در اینصورت ولتاژ تولید شده [۲] اینچنین نوشته میشود.

$$E_{g1} = K\phi S_1$$

اگر شار را ثابت نگهداریم و سرعت راتغییر دهیم (S_2) در اینحالت ولتاژ تولید شده اینچنین است:

$$E_{g2} = K\phi S_2$$

از تقسیم دو رابطه اخیر داریم:

$$\frac{E_{g1}}{E_{g2}} = \frac{\cancel{K}\,\cancel{\phi} S_1}{\cancel{K}\,\cancel{\phi} S_2}$$

در سیستم (ENG) داریم:

$$\frac{E_{g1}}{E_{g2}} = \frac{S_1}{S_2} \qquad \text{(4-2a)}$$

در سیستم (SI) داریم:

$$\frac{E_{g1}}{E_{g2}} = \frac{\omega_1}{\omega_2} \qquad \text{(4-2b)}$$

همچنین اگر سرعت ثابت نگهداشته شود و شار تغییر نماید در اینصورت بسهولت داریم:

$$\frac{E_{g1}}{E_{g2}} = \frac{\phi_1}{\phi_2} \qquad \text{(4-3)}$$

اگر هم شار و هم سرعت تغییر کند میتوان چنین گفت:

در سیستم (ENG) داریم:

$$\frac{E_{g1}}{E_{g2}} = \frac{\phi_1 S_1}{\phi_2 S_2} \qquad \text{(4-4a)}$$

---

1) Speed 2) GENERATED-VOLTAGE

POWEREN.IR

در سیستم (SI) داریم :

$$\frac{E_{g1}}{E_{g2}} = \frac{\phi_1 \omega_1}{\phi_2 \omega_2}$$

مثال ۱ ــ ۴ (سیستم ENG) : ***Example 4-1 (English)***

یک ژنراتور DC با سرعت ۱۸۰۰ دور در دقیقه میچرخد و ۱۴۰ ولت تولید میکند . اگر شار ثابت بماند و سرعت به ۱۶۵۰ دور در دقیقه تقلیل یابد ، ولتاژ تولید شده جدید چیست ، اگر بخواهیم به ولتاژ اولیه بر سیم شار را چقدر باید تغییر دهیم ؟

حل:

برای قسمت اول مساله از رابطه (4-2a) استفاده میکنیم لذا :

$$\frac{E_{g1}}{E_{g2}} = \frac{S_1}{S_2}$$

$$\frac{140\ \text{V}}{E_{g2}} = \frac{1800\ \text{rev/min}}{1650\ \text{rev/min}}$$

$$E_{g2} = \frac{1650}{1800}(140) = 128.33\ \text{V}$$

برای قسمت دوم مساله از رابطه (4-4a) استفاده میکنیم :

$$\frac{E_{g1}}{E_{g2}} = \frac{\phi_1 S_1}{\phi_2 S_2}$$

پس:

$$\frac{140\ \text{V}}{140\ \text{V}} = 1 = \frac{\phi_1(1800)}{\phi_2(1650)}$$

لذا :

$$\phi_2 = \frac{1800}{1650}\phi_1 = 1.091\phi_1$$

پس شار را باید بمیزان ۹/۱% اضافه کرد .

مثال ۲ ــ ۴ (سیستم SI) : ***Example 4-2 (SI)***

یک ژنراتور DC با سرعت ۲۰۰ رادیان بر ثانیه میچرخد و ۲۲۰ ولت تولید

POWEREN.IR

میکند . اگر شار ثابت بماند و سرعت به ۱۸۵ رادیان بر ثانیه تقلیل یابد ، ولتاژ تولید شده جدید چیست . اگر بخواهیم دوباره به ولتاژ اولیه برسیم شار را باید چقدر تغییر دهیم ؟

حل:

برای قسمت اول مساله از رابطه (4-2b) استفاده میکنیم .

$$\frac{E_{R1}}{E_{R2}} = \frac{\omega_1}{\omega_2}$$

$$\frac{220\ \text{V}}{E_{R2}} = \frac{200\ \text{rad/s}}{185\ \text{rad/s}}$$

$$E_{R2} = \frac{185}{200}(220) = 203.5\ \text{V}$$

برای قسمت دوم از رابطه (4-4b) استفاده میکنیم .

$$\frac{E_{R1}}{E_{R2}} = \frac{\phi_1\omega_1}{\phi_2\omega_2}$$

پس:

$$\frac{220\ \text{V}}{220\ \text{V}} = 1 = \frac{\phi_1(200)}{\phi_2(185)}$$

لذا:

$$\phi_2 = \frac{200}{185}(\phi_1) = 1.081\phi_1$$

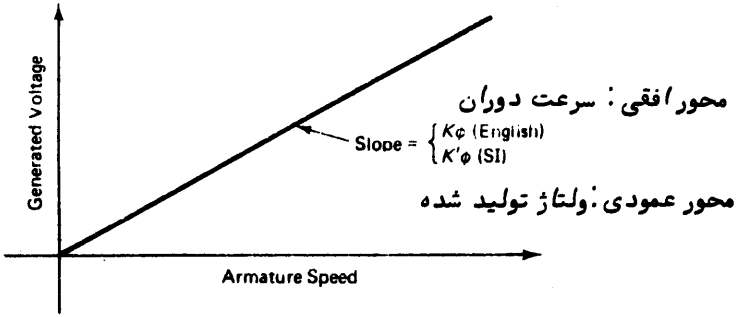
در نتیجه شار را باید بمیزان ۸/۱% افزایش داد .

۱ ــ ۱ ــ ۴ تحلیل ترسیمی معادله ژنراتور Dc

4-1.1 Graphical Analysis of the Generator Equation

اگر روابط (4-1a) یا (4-1b) راتحت شرایط شار ثابت رسم کنیم یک منحنی مطابق شکل (۱ ــ ۴) حاصل میشود . این منحنی تغییرات ولتاژ تولید شده را بر حسب سرعت ، تحت شار ثابت نشان میدهد و پر واضح است که خط مستقیم میباشد .

POWEREN.IR



شکل ۱ ــ ۴ : تغییرات ولتاژ تولید شده برحسب سرعت ، تحت شار ثابت

مثال ۳ ــ ۴ (سیستم ENG) : ***Example 4-3 (English)***

داده‌های[1] جدول (۱ ــ ۴) را در نظر میگیریم و این اعداد از آزمایشی در آزمایشگاه ماشین‌های الکتریکی دانشگاه گرفته شده و در طول آزمایش شار ثابت نگهداشته شده است .

Table 4-1 **جدول ۱ ــ ۴**

E_a (V)	115	120	124	126	130	137
S (rev/min)	1500	1550	1600	1650	1700	1750

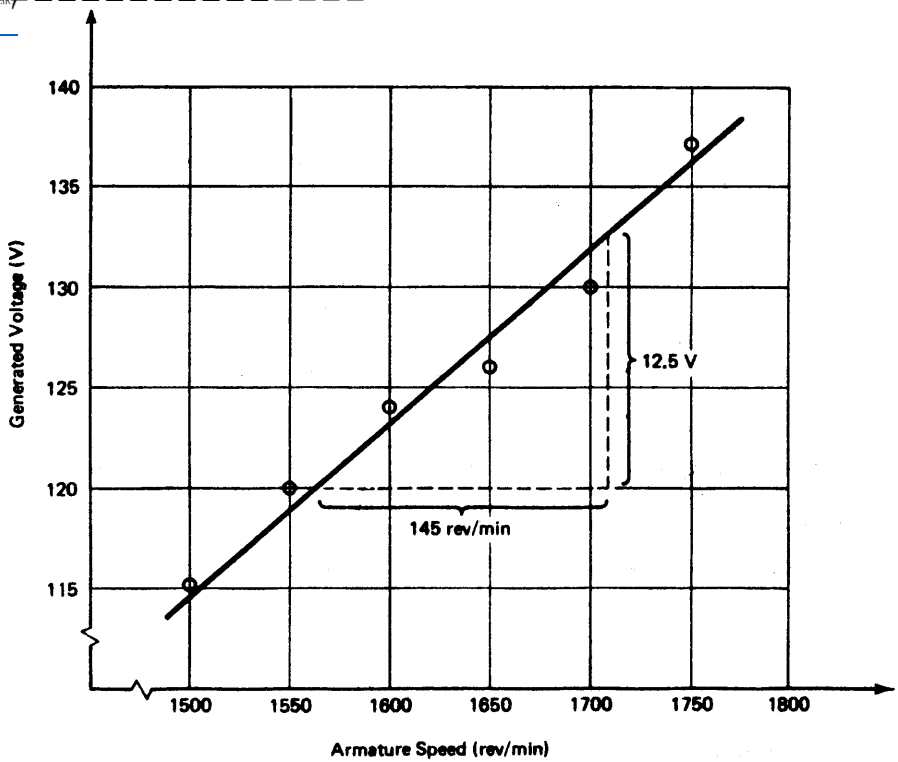
(الف) : تغییرات ولتاژ بر حسب سرعت را رسم کنید .
(ب) : شیب[2] خط $(K\phi)$ را بدست آورید .

حل :

(الف) : رسم داده‌های فوق بر روی کاغذ شطرنجی مطابق شکل (۲ ــ ۴) میباشد . باید توجه داشت که تمامی نقاط بر روی خط مستقیم قرار نمگیرند و خط طوری رسم شده است که حتی‌الامکان از نزدیک نقاط بگذرد . علت اینکه خط مستقیم رسم

1) DATA 2) Slope

POWEREN.IR



شکل ۲ ــ ۴: رسم داده‌های مربوط به مثال ۳ ــ ۴

نمودیم این است که با تئوری مطابقت نماید. داده‌ها در عمل بر روی خط مستقیم قرار نمیگیرند زیرا:

۱ ــ دقت (۱) ولتمتر (۲) آزمایشگاه کافی نیست.

۲ ــ دور سنج (۳) (سرعت سنج) آزمایشگاه دقیق نمیباشد.

۳ ــ خطای باصره اشخاص. مثلا" ممکن است ۱۲۸ ولت را ۱۲۶ ولت بخوانند.

(ب): با توجه بشکل (۲ ــ ۴) براحتی میتوان شیب خط را بدست آورد و الزاما" نباید از اعداد جدول (۱ ــ ۴) استفاده شود. لذا

$$K\phi = \text{slope} = \frac{\text{change in voltage}}{\text{change in speed}} = \frac{12.5\ \text{V}}{145\ \text{rev/min}} = 0.086\ \text{V/(rev/min)}$$

1) Accuracy 2) Voltmeter 3) Tachometer

POWEREN.IR

Example 4-4 (SI) مثال ۴ ــ ۴ (سیستم SI):

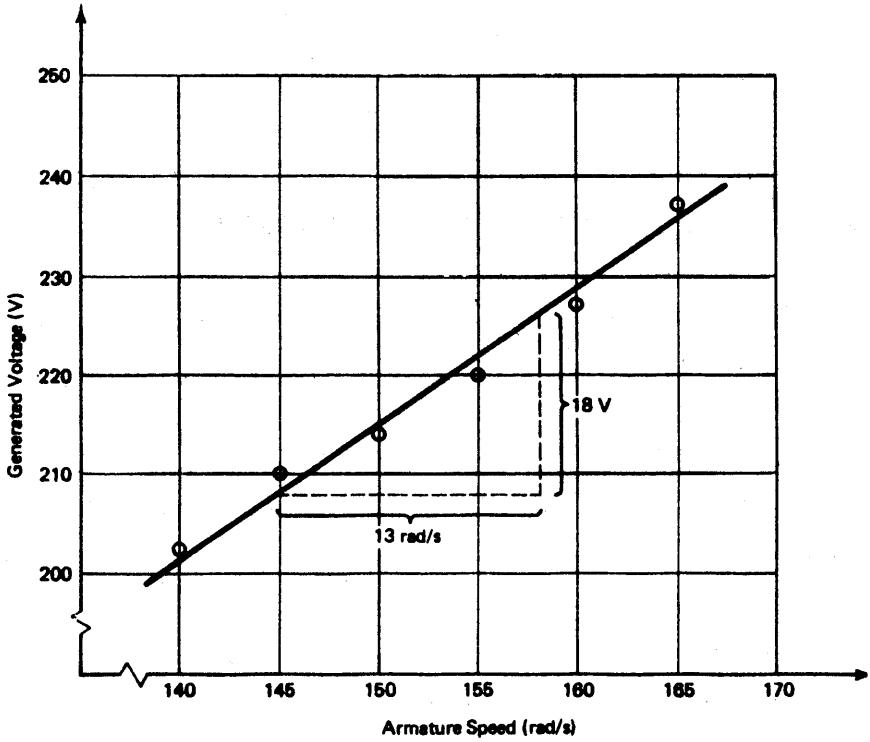
داده‌های جدول (۲ــ ۴) را در نظر میگیریم و این اعداد از آزمایشی در آزمایشگاه ماشین‌های الکتریکی دانشگاه برداشت شده و در طول آزمایش شار ثابت نگهداشته میشود .

Table 4-2 جدول ۲ ــ۴

E_g (V)	202	210	214	220	227	237
ω (rad/s)	140	145	150	155	160	165

(الف) : تغییرات ولتاژ بر حسب سرعت را رسم کنید .

(ب) : شیب خط $(K'\phi)$ را بدست آورید .



شکل ۳ ــ ۴ : رسم داده‌های مربوط به مثال ۴ ــ ۴

POWEREN.IR

حل

(الف): رسم داده‌های فوق بر روی کاغذ شطرنجی مطابق شکل (۳ ــ ۴) میباشد باید دقت کرد که تمامی نقاط بر روی خط مستقیم قرار نمیگیرند و خط طوری رسم شده که حتی‌الامکان از نزدیک نقاط عبور میکند. علت اینکه خط مستقیم رسم نموده‌ایم آن است که یا تئوری مطابقت نماید داده‌ها در عمل بر روی خط مستقیم قرار نمیگیرند زیرا:

۱) دقت ولتمتر آزمایشگاه کافی نیست.

۲) دور سنج (سرعت سنج) آزمایشگاه دقیق نمیباشد.

۳) خطای باصره اشخاص، مثلا" ممکن است ۲۲۹ را ۲۲۷ ولت بخوانند.

(ب): با توجه بشکل (۳ ــ ۴) براحتی میتوان شیب خط را بدست آورد. و الزاما" نباید از اعداد جدول (۲ ــ ۴) استفاده شود لذا

$$K'\phi = \text{slope} = \frac{\text{change in voltage}}{\text{change in speed}}$$

$$= \frac{18\ \text{V}}{13\ \text{rad/s}} = 1.38\ \text{V/(rad/s)}$$

۲ ــ ۴ مدار معادل ژنراتور DC

4-2 EQUIVALENT CIRCUIT OF A DC GENERATOR

در رشته‌های علوم و مهندسی تحلیل وسائل و فرایندها بوسیله پیدا کردن مدار معادل[1] ساده و دقیق، سهلتر انجام میگیرد. در ژنراتورهای DC نیز تحلیل آنها بوسیله مدار معادل راحت‌تر بوده و خواهیم دید که مدار معادل اینگونه ژنراتورها بسیار ساده است.

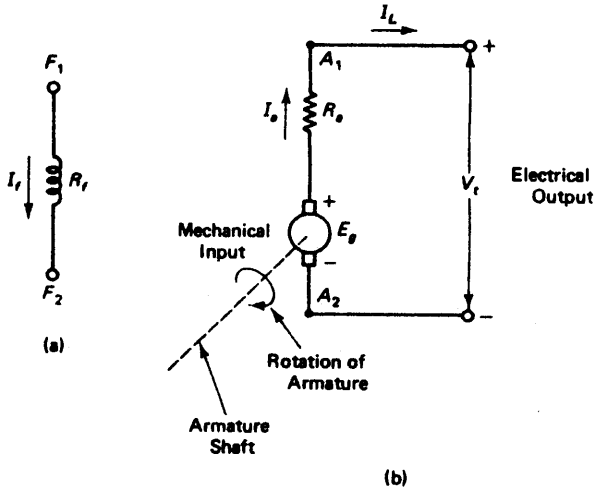
شکل (۴ ــ ۴) را در نظر میگیریم که در آن یک مدار معادل بسیار ساده برای ژنراتور DC بنمایش گذاشته شده است. با تعمیم دادن شکل (۴ ــ ۴) میتوان به مدلهای گوناگون برای انواع ژنراتورهای DC دست یافت. مدار تحریک[2]، نشان دهنده آن قسمت از ماشین است که شار (ϕ) را در هسته مغناطیسی تولید میکنند. کل مقاومت مدار تحریک را با R_f و جریان مدار تحریک را با I_f نشان میدهیم.

در مدار معادل، آرمیچر را توسط دوقسمت متمایز نشان میدهند.

---

1) Equivalent-Circuit 2) Field-Circuit

POWEREN.IR



شکل ۴ ــ ۴ : طرز نمایش ژنراتور Dc (حالت کلی)

a : مدار تحریک

b : مدار ارمیچر

الف ــ قسمت اول شامل ولتاژ تولید شده در اثر دوران آرمیچر میباشد (Eg)

ب ــ قسمت دوم شامل کل مقاومت آرمیچر میباشد (R_a)

بایدتوجه داشت که

۱ ــ الف ــ (Eg) توسط روابط (۱ ــ ۴) محاسبه میشود .

۱ ــ ب ــ Ra مطابق مطالب ذکر شده در مثالهای (۱ ــ ۳) و (۲ ــ ۳) محاسبه میگردد . (فصل ۳)

در شکل (۴ ــ ۴) ، Ia نیزجریان آرمیچر میباشد . جریان I_L مبین جریان تحویلی به مصرف کننده (بار) [1] بوده و Vt ولتاژ خروجی [2] (ولتاژ ترمینال) ژنراتور Dc است . از طریق همین ترمینال خروجی است که توان الکتریکی از طریق ژنراتور تحویل بار (مصرف کننده) میشود . در حالت خاصی که در شکل (۴ ــ ۴) نشان داده شده است ، جریان آرمیچر با جریان بار برابر است .

---

1) Load 2) OUTPUT-Voltage

POWEREN.IR

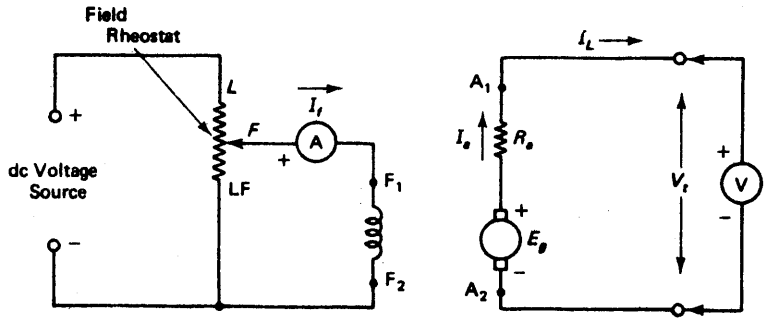
خطی که بصورت نقطه چین بر روی شکل (۴ ــ ۴) رسم شده مبین محور (۱) ژنراتور میباشد از طریق همین محوراست که توان مکانیکی به ژنراتور DC اعمال میشود. چرخش محور ژنراتور توسط محرک اولیه (۲) صورت میگیرد. ساده‌ترین نوع محرک اولیه همان توربین‌ها (۳) یا موتورها میباشند.

۳ ــ ۴ ژنراتورهای Dc از نوع تحریک جداگانه

4-3 SEPARATELY EXCITED GENERATOR

ساده‌ترین نوع ژنراتورهای DC همان ژنراتورهای با تحریک جداگانه (۴) میباشد ولی از مقبولیت کمی برخوردار است (شکل ۵ ــ ۴). علت کمی مقبولیت نیاز به منبع ولتاژ Dc جداگانه جهت تغذیه سیم پیچ تحریک میباشد. باید توجه کرد که مدار تحریک شامل یک رئوستا بوده که بوسیله آن میتوان جریان تحریک را تغییر داد. با تغییرات جریان تحریک، شار (ϕ) نیز تغییر میکند و بالنتیجه طبق روابط (۱ ــ ۴) میتوان ولتاژ تولید شده را تنظیم نمود.

آمپرمتر (A) و ولتمتر (V) به ترتیب در مدار تحریک و ولتاژ ترمینال قرار میگیرند تا هنگام آزمایش برروی ماشین بتوان داده‌ها را مشخص نمود. با توجه به شکل (۵ ــ ۴) در مییابیم که با تنظیم رئوستا میتوان جریان تحریک را صفر نمود (چرا؟).



شکل ۵ ــ ۴: ژنراتور Dc با تحریک جداگانه

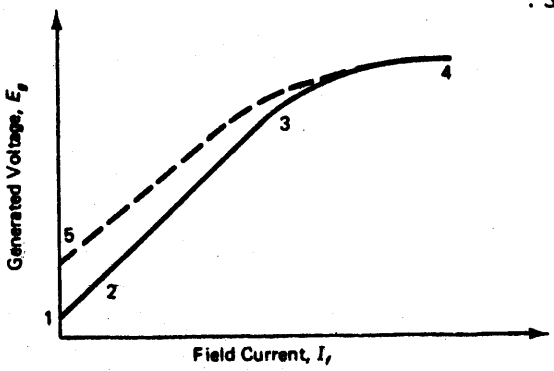
1) Shaft 2) Prime-mover 3) Turbines
4) SEPERATELY-Excited

POWEREN.IR

۱ ـ ۳ ـ ۴ منحنی مغناطیسی شوندگی در حالت بی‌باری در یک ژنراتور DC با تحریک جداگانه

4-3.1 No-Load Magnetization Curve

هنگامیکه یک مدار الکترونیکی طراحی میشود از مشخصه‌های ترانزیستورها برای تعیین رفتار مدار استفاده میکنند . همچنین از منحنیهای مغناطیس شوندگی برای تعیین مشخصه‌های داخلی (۱) ژنراتورهای DC استفاده میشود . منحنیهای مغناطیس شوندگی نشان دهنده تغییرات ولتاژ تولید شده (E_g) بر حسب جریان جریان تحریک (I_f) در تحت سرعت مفروض میباشد . با افزایش جریان تحریک ، شار نیز زیاد میگردد و در نتیجه ولتاژ تولید شده متعاقبا " افزونتر میشود . از روابط (۱ ـ ۴) در میبابیم که این تغییرات باید خطی باشد . اما اگر مطالب بخش (۱ ـ ۲) در فصل اول را بخاطر آوریم در میبابیم که رفتار مواد فرو مغناطیسی با مواد غیر فرو مغناطیسی متفاوت بوده و مشخصه‌هائی مانند شکل (۵ ـ ۱) برای مواد فرو مغناطیسی حاصل گردید . در نتیجه این انتظار نیز میرود که تغییرات ولتاژ تولید شده (E_g) بر حسب جریان تحریک مطابق شکل (۶ ـ ۴) میباشد .



شکل ۶ ـ ۴ : منحنی مغناطیس شوندگی در حالت بی‌باری

از مدار شکل (۵ ـ ۴) میتوان کمک گرفت و منحنی شکل (۶ ـ ۴) را رسم نمود . حالت بی‌باری ژنراتور DC موقعی است که جریان مصرفی بار صفر باشد $(I_L = 0)$. در این حالت خاص I_a و I_L که مساوی یکدیگرند هر دو صفر میگردند و در دو سر مقاومت آرمیچر افت ولتاژی (۲) پدیدار نمیشود . در نتیجه در حالت بی‌باری E_g و V_t با

1) Internal-Characteristic 2) Voltage-Drop

POWEREN.IR

هم مساوی خواهند بود . در حقیقت ولتمتر (V) که Vt را اندازه گیری میکند ، Eg را نیز میخواند .

حال آزمایش را آغاز میکنیم . با آنکه در ابتدای آزمایش جریان تحریک صفر است اما شار با مقدار اولیه‌ای ناشی از پس ماند مغناطیسی وارد عمل میشود . در نتیجه در هنگامیکه جریان تحریک صفر است ولتاژ کمی حاصل میگردد . (نقطه ۱ در شکل ۶ ــ ۴) . با افزایش جریان تحریک (If) ولتاژ تولید شده نیز بطور خطی افزایش مییابد (نقاط ۲ و ۳ در شکل ۶ ــ ۴) . در حوالی نقطه ۳ اشباع شدن هسته آغاز میگردد و در نتیجه افزایش چشمگیر جریان تحریک (If) باعث افزایش بسیار ناچیز شار و در نتیجه افزایش بسیار کم ولتاژ تولید شده (Eg) میشود . ژنراتور معمولا" در ناحیه اشباع کار میکند . حال اگر جریان تحریک را کاهش دهیم ، در اینصورت بر روی منحنی خط چین برمی‌گردیم (نقطه ۴ تا ۵ در شکل ۶ ــ ۴) . این امر بخاطر پدیده هیسترزیس میباشد (به فصل اول رجوع شود) . بدلیل پدیده هیستر زیس است که هنگام آزمایش جریان تحریک را دائما" زیاد کرده تا به حداکثر خود برسد و در حین آزمایش جریان تحریک را کم و زیاد نمیکنیم و اگر اتفاقا" چنین امری بوقوع پیوست ، منحنی از دقت کافی برخوردار نخواهد بود .

مثال ۵ ــ ۴ (سیستم ENG) ***Example 4-5 (English)***

جدول (۳ ــ ۴) را در نظر میگیریم که در آن داده‌هائی مربوط به آزمایش بی‌باری ژنراتور DC با تحریک جداگانه مندرج است مدار این آزمایش مطابق شکل (۵ ــ ۴) بوده و فرض میکنیم سرعت دوران ژنراتور در این آزمایش ۱۷۰۰ دور در دقیقه باشد .

(الف) : منحنی مغناطیسی شوندگی را در سرعت فوق‌الذکر رسم کنید .

(ب) : منحنی مغناطیس‌شوندگی را برای سرعت ۱۴۰۰ دور در دقیقه رسم کنید .

جدول ۳ ــ ۴ ***Table 4-3***

I_f (A)	0	0.1	0.16	0.22	0.3	0.35	0.45
E_{g1} (V)	5	22	40	50	80	88	91

حل

(الف) : منحنی مورد نظر در شکل (۷ ــ ۴) بصورت مشکی توپر رسم شده است .

(ب) : برای هر شار ذکر شده در جدول (۳ ــ ۴) میتوان ولتاژ تولید شده را

POWEREN.IR

در سرعت جدید حساب نمود . از رابطه (4-2a) داریم .

$$\frac{E_{g1}}{E_{g2}} = \frac{S_1}{S_2}$$

$$E_{g2} = \frac{S_2}{S_1}(E_{g1})$$

بعنوان مثال برای دو نقطه میتوان گفت

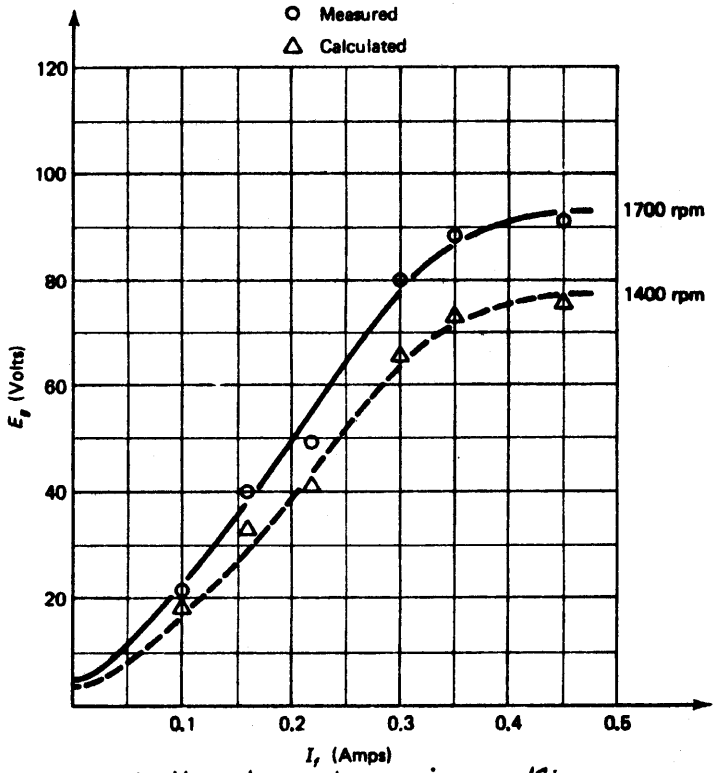
$$I_f = 0: \qquad E_{g2} = \frac{1400}{1700}(5) = 4.1 \text{ V}$$

$$I_f = 0.1: \qquad E_{g2} = \frac{1400}{1700}(22) = 18.1 \text{ V}$$

پس بسهولت قادریم جدول (۴ ــ ۴) را برای سرعت جدید بسازیم .

جدول ۴ ــ۴ *Table 4-4*

I_f (A)	0	0.1	0.16	0.22	0.3	0.35	0.45
E_{g2} (V)	4.1	18.1	32.9	41.2	65.9	72.5	74.9



شکل ۷ ــ ۴ : منحنی‌های مربوط به مثال ۵ ــ ۴

منحنی مربوط به جدول (۴ ــ ۴) در شکل (۷ ــ ۴) بصورت خط چین رسم شده است .

POWEREN.IR

POWEREN.IR

مثال ۶ ــ ۴ (سیستم SI) ***Example 4-6 (SI)***

مداری مطابق شکل (۵ ــ ۴) میبندیم . داده‌های مربوط به آزمایش بی‌باری در جدول (۵ ــ ۴) آمده است . فرض میکنیم این اعداد مربوط به سرعت ۲۰۰ رادیان بر ثانیه باشد .

(الف) : منحنی مغناطیسی شوندگی را در سرعت فوق‌الذکر رسم کنید .

(ب) : اگر سرعت ژنراتور به ۱۲۰ رادیان بر ثانیه تقلیل یابد منحنی مغناطیس شوندگی را رسم نمائید .

جدول ۵ ــ ۴ ***Table 4-5***

I_f (A)	0	0.2	0.36	0.5	0.65	0.82	1.0
E_{g1} (V)	8	30	65	102	118	132	137

حل :

(الف) : با استفاده از جدول (۵ ــ ۴) میتوان منحنی را مطابق شکل (۸ ــ ۴) رسم نمود . (منحنی توپر مشکی) .

(ب) : برای هر شار ذکر شده در جدول (۵ ــ ۴) میتوان ولتاژ تولید شده را در سرعت جدید حساب نمود . از رابطه (4-2b) داریم .

$$\frac{E_{g1}}{E_{g2}} = \frac{\omega_1}{\omega_2}$$

$$E_{g2} = \frac{\omega_2}{\omega_1}(E_{g1})$$

بعنوان مثال برای دو نقطه داریم

$$I_f = 0: \qquad E_{g2} = \frac{120}{200}(8) = 4.8 \text{ V}$$

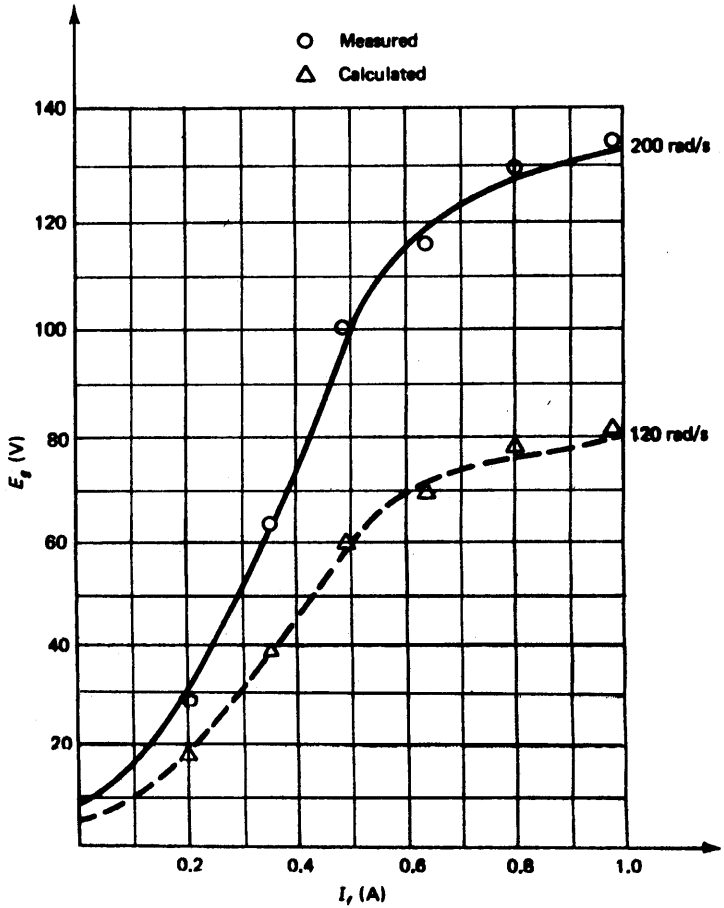
$$I_f = 0.2: \qquad E_{g2} = \frac{120}{200}(30) = 18 \text{ V}$$

پس بسهولت قادریم جدول (۶ ــ ۴) را برای سرعت جدید بسازیم

جدول ۶ ــ ۴ ***Table 4-6***

I_f (A)	0	0.2	0.36	0.5	0.65	0.82	1.0
E_{g2} (V)	4.8	18	39	61.2	70.8	79.2	82.2

POWEREN.IR



شکل ۸ ــ ۴ : منحنی‌های مربوط به مثال ۶ ــ ۴

منحنی مربوط به جدول (۶ ــ ۴) در شکل (۸ ــ ۴) بصورت خط‌چین رسم شده است .

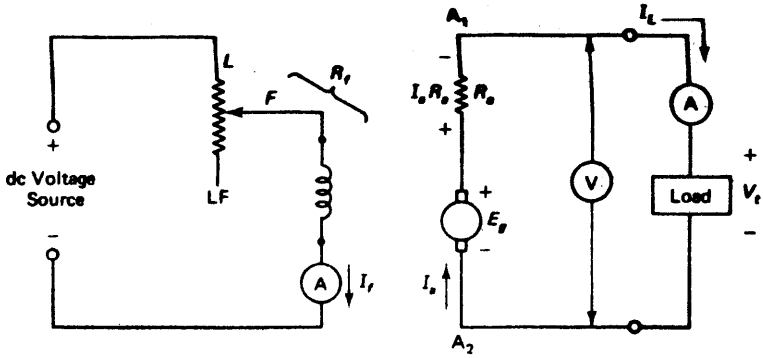
POWEREN.IR

POWEREN.IR

۴ ــ ۴ ــ تنظیم ولتاژ 4-4 VOLTAGE REGULATION

معمولا" ژنراتور DC در شرایط بارداری کار میکند . بعبارت دیگر ترمینال ژنراتور به مصرف کننده (بار) متصل است و این مصرف کننده به نوعی توان الکتریکی یا جریان از ژنراتور طلب میکند . اتصال بار به ژنراتور DC با تحریک جداگانه مطابق شکل (۹ ــ ۴) میباشد . اتصال رئوستا در این حالت با حالت بی‌باری (شکل ۵ ــ ۴) متفاوت است ، اما در این روش نیز شار قابل کنترل خواهد بود . در این مدار R_f مبین مجموع مقاومت مدار تحریک و آن قسمت از رئوستاست که در مدار قرار میگیرد چون در این حالت بار نیز به ژنراتور متصل است در این صورت جریان بار [1] (I_L) نیز برقرار میگردد . همانطور که میبینیم بار با آرمیچر نیز بطور سری قرار گرفته و در نتیجه I_L و Ia با هم برابرند . چون در این‌حالت جریان در آرمیچر برقرار میشود ،لذا در دو سر مقاومت آرمیچر افت ولتاژ خواهیم داشت ($I_a R_a$) . نتیجه آنکه ولتاژ ترمینال (Vt) همواره از ولتاژ تولید شده (Eg) کمتر خواهد بود . بعبارت ساده‌تر داریم

$$V_t = E_g - I_a R_a \qquad (4\text{-}5)$$



شکل ۹ ــ ۴: ژنراتور DC با تحریک جداگانه در تحت شرایط بارداری

تنظیم ولتاژ بمعنی تغییرات ولتاژ ترمینال در ازاء افزایش جریان بار (I_L) میباشد . با آنکه میتوان تنظیم ولتاژرا درتحت هر شرایطی از بار محاسبه کرد ، ولی معمولا" تنظیم ولتاژ در تحت شرایط اسمی ماشین محاسبه میگردد و به آن تنظیم ولتاژ در بار اسمی (بار کامل) [2] گفته میشود شرایط اسمی ماشین بر روی پلاک [3] آن نوشته شده است

---

1) Load-Current 2) Full-Load 3) nameplate

POWEREN.IR

POWEREN.IR

بعبارت ساده‌تر، توان اسمی [۱] ماشین، مقدار توانی است که ژنراتور میتواند بدون اینکه صدمه‌ای ببیند به بار تحویل دهد (برحسب کیلو وات). همچنین ولتاژ اسمی [۲] ماشین آن ولتاژیست که تحت آن توان اسمی میتواند بدون دردسر تحویل بار گردد. سرعت اسمی [۳] ماشین نیز معمولا" سرعتی است که باید ژنراتور مطابق آن چرخانده شود. تنظیم ولتاژ طبق رابطه (۶ ــ ۴) محاسبه میشود و معمولا" بر حسب درصد نوشته میگردد.

$$\text{\% voltage regulation} = \frac{V_{NL} - V_{FL}}{V_{FL}} \times 100 \qquad (4-6)$$

در رابطه اخیر داریم

۱ ــ V_{NL} ــ ولتاژ ترمینال در حالت بی‌باری میباشد.

۲ ــ V_{FL} ــ ولتاژ ترمینال در حالت بار اسمی (بار کامل) خواهد بود.

بعبارت ساده‌تر V_{FL} همان ولتاژ اسمی ماشین است.

باید گفت که از رابطه فوق می‌توان برای انواع ژنراتورهای DC استفاده نمود.

مثال ۷ ــ ۴ ***Example 4-7***

یک ژنراتور DC با تحریک جداگانه طبق مشخصات ذیل مفروض است

۱ ــ توان اسمی = ۵ کیلو وات

۲ ــ ولتاژ اسمی ترمینال = ۱۲۰ ولت

هرگاه بار از روی ژنراتور برداریم، ولتاژ ترمینال ۱۳۸ ولت میگردد، تنظیم ولتاژ را بدست آورید.

حل

با استفاده از رابطه (۶ ــ ۴) داریم

$$\text{\% V.R.} = \frac{138 - 120}{120} \times 100 = 15\%$$

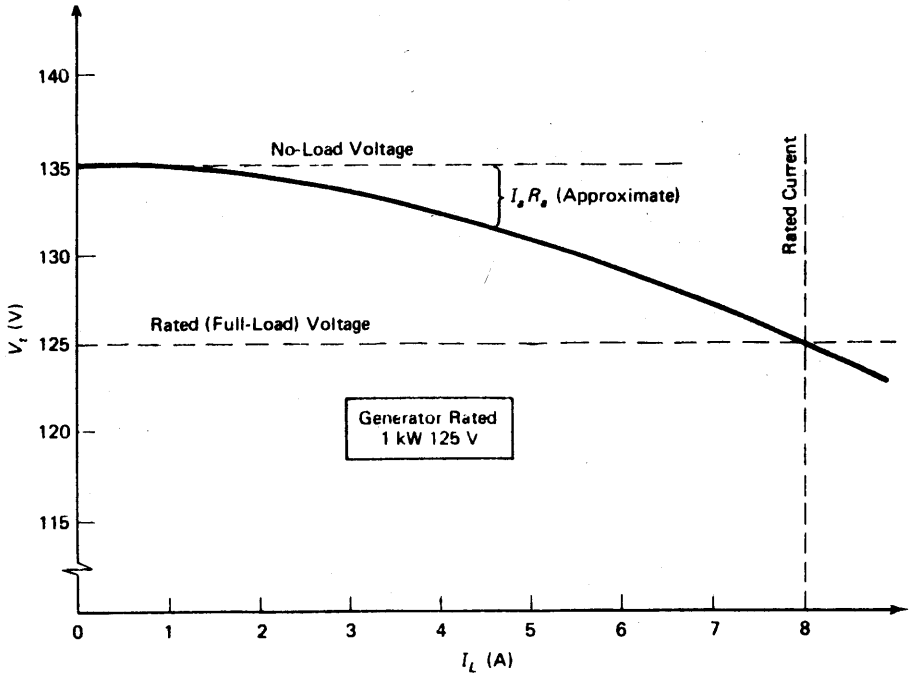
منحنی مغناطیس‌شوندگی تصویری از مشخصه‌های داخلی ژنراتور ترسیم میکند. اما منحنی دیگری نیز وجود دارد که برای تحلیل ژنراتورهای DC از نظر بار خارجی با اهمیت تلقی

---

1) Rated power 2) Rated Voltage
3) Rated-Speed

POWEREN.IR

میگردد . به این منحنی ، مشخصه بار (۱) گفته میشود . منحنی مشخصه بار تغییرات ولتاژ ترمینال را بر حسب جریان بار نشان میدهد . شکل (۱۰ ــ ۴) نشان دهنده یک منحنی مشخصه بار برای یک ژنراتور DC با تحریک جداگانه میباشد . توان اسمی این ژنراتور یک کیلو وات و ولتاژ اسمی ترمینال آن ۱۲۵ ولت است خط چین‌های افقی و عمودی در این شکل مشخص کننده شرایط اسمی ماشین است . اختلاف بین منحنی مشخصه بار و منحنی مربوط به حالت بی‌باری ، باید در حقیقت همان افت ولتاژ R_aI_a باشد (به رابطه ۵ ــ ۴ رجوع شود) . طبق این استدلال منحنی مشخصه بار باید بصورت خطی نزول نماید . اما باید گفت که بخاطر عکس‌العمل آرمیچر (فصل سوم) ، شار ثابت نمانده و با افزایش جریان آرمیچر بمیزان کمی کاهش مییابد . در نتیجه منحنی مشخصه بار در هنگام نزول انحناء خواهد داشت (شکل ۱۰ ــ ۴) .



شکل ۱۰ ــ ۴ : منحنی مشخصه بار برای یک ژنراتور DC با تحریک جداگانه

1) Load- Characteristic

POWEREN.IR

مثال ۸ ــ ۴ *Example 4-8*

مشخصه بار ژنراتوری در شکل (۱۰ ــ ۴) رسم شده است (ژنراتور DC با تحریک جداگانه)

(الف): درصد تنظیم این ژنراتور DC چیست.

(ب): ثابت کنید جریان اسمی ژنراتور ۸ آمپر است.

حل:

(الف): ولتاژ ترمینال در حالت بی‌باری موقعی حاصل میشود که $I_L = 0$ باشد. در نتیجه VNL مساوی ۱۳۵ ولت خواهد بود. ولتاژ اسمی (ولتاژ دربار کامل) موقعی بدست می‌آید که جریان بار، همان جریان اسمی ماشین باشد (۸ آمپر)، لذا VFL معادل ۱۲۵ ولت خواهد بود. با استفاده از رابطه (۶ ــ ۴) داریم

$$\% \text{ V.R.} = \frac{135 - 125}{125} \times 100 = 8\%$$

(ب): جریان اسمی را میتوان از روی پلاک ماشین نیز حساب کرد، لذا

$$\text{rated power output} = \text{rated voltage} \times \text{rated current}$$

$$1 \text{ kW} = 125 \text{ V} \times I_{\text{rated}}$$

$$I_{\text{rated}} = \frac{1000 \text{ W}}{125 \text{ V}} = 8 \text{ A}$$

۵ ــ ۴ راندمان ژنراتور DC — 4-5 GENERATOR EFFICIENCY

بطور کلی راندمان هر ژنراتور DC نسبت توان الکتریکی خروجی به توان مکانیکی ورودی میباشد. فرم ریاضی برای تعیین راندمان طبق معادله (۷ ــ ۴) خواهد بود.

$$\text{efficiency} = \eta(\%) = \frac{P_o}{P_i} \times 100 \qquad (4\text{-}7)$$

در رابطه اخیر P_o توان الکتریکی خروجی و P_i توان مکانیکی ورودی میباشد. این توانها رامیتوان بر حسب وات، کیلو وات، اسب بخار و غیره بیان نمود. البته هنگام استفاده از رابطه فوق آحاد هر دو توان باید یکسان باشد. معمولا" بخاطر تلفات درونی

POWEREN.IR

ژنراتور DC: توان ورودی همواره از توان خروجی بزرگتر است و در نتیجه راندمان نیز کمتر از ۱۰۰% خواهد بود .

مثال ۹ ــ ۴ ***Example 4-9***

یک ژنراتور DC با مشخصات زیر مفروض است

کیلو وات ۱ = توان اسمی

ولت ۱۲۵= ولتاژ اسمی ترمینال

اگر توان ورودی ۲ اسب بخار باشد ، راندمان ژنراتور DC را حساب کنید .

حل :

توان خروجی یک کیلو وات بوده و توان ورودی ۲ اسب بخار میباشد لذا هر دو را در یک سیستم آحادی بیان میداریم .

$$P_o = 1\ \text{kW} = 1000\ \text{W}$$

$$P_i = 2\ \text{hp} = 2\ \text{hp}(746\ \text{W/hp}) = 1492\ \text{W}$$

پس

$$\eta = \frac{1000}{1492} \times 100 = 67\%$$

۱ ــ ۵ ــ ۴ تلفات توان سرگردان *4-5.1 Stray Power Losses*

قبل از اینکه در ژنراتور DC انرژی مکانیکی به انرژی الکتریکی تبدیل شود ، قسمتی از انرژی مکانیکی ورودی به ژنراتور که از طرف محرک اولیه تامین میگردد ، تلف خواهد شد و به آن تلفات توان سرگردان (۱) یا تلفات چرخشی (۲) اتلاق میگردد . در زیر چند نوع تلفات را شرح میدهیم که همگی در زیر چتر تلفات توان سرگردان قرار میگیرند .

۱ ــ ۱ ــ ۵ ــ ۴ تلفات ناشی از اصطکاک

همانطور که میدانیم در ژنراتورهای DC حاروبکها با کموتاتور تماس دارند و در اثر چرخش رتور و کموتاتور ، بین حاروبکها و کموتاتور اصطکاک بوجود می‌آید . در نتیجه در اثر این اصطکاک تلفات انرژی بصورت گرما حاصل میشود .

---

1) Stray power losses 2) Rotational losses

POWEREN.IR

همچنین محور ژنراتورهای DC بر روی یاطاقانهایی قرار گرفته که بخوبی روغنکاری شده است . دراثر دوران رتور باز هم بین محور و یاطاقانهای روغنکاری شده (۱) اصطکاک بوجود می‌آید و این اصطکاک با سرعت متناسب می‌باشد . بایدتوجه داشت که این اصطکاک در سرعتهای پائین کمتر بوده ولی در سرعتهای بالا قابل ملاحظه خواهد بود .

۲ ـ ۱ ـ ۵ ـ ۴ تلفات ناشی از تهویه

در اثر دوران رتور مقاومت باد و هوای اطراف رتور نیز با حرکت رتور مخالفت میکند لذا باید مقدار انرژی بیشتری به ماشین وارد کرد تا بتواند این مخالفت را جبران کند . همچنین در ماشینهای بسیار بزرگ به محور ماشین پنکه‌هائی (۲) متصل است که برای خنک کردن ماشین مورد استفاده قرار میگیرند ، درنتیجه باد این پنکها نیز با حرکت رتور مخالفت میکند و باید انرژی بیشتری جهت خنثی کردن اصطکاک باد پنکه‌ها به ماشین اعمال نمود .

۳ ـ ۱ ـ ۵ ـ ۴ تلفات هیسرزیس

هنگامیکه ارمیچر دروضعیت مغروضی قرارگیرد ، خاصیت مغناطیسی پیدا می‌کند . هرگاه بخواهیم ارمیچر را بچرخانیم ، شار درون ارمیچر نیز باید وضعیت‌خود را تغییر دهد ، لذا جهت انجام این امر باید انرژی مصرف گردد . این مطلب شبیه حالتی است که دو قطب مثبت و منفی همدیگر را جذب کرده‌اند و مقداری انرژی لازم است تا آنها را از هم جدا سازیم . این تغییرات سیکلی شار در ارمیچر باعث تلفات هیسرزیس می‌شود و این تلفات با سرعت و شار متناسب است .

۴ ـ ۱ ـ ۵ ـ ۴ تلفات‌جریان گردابی

در فصل ۲ دریافتیم که اگر یک هادی درون میدان مغناطیسی طوری حرکت کند که خطوط شار راقطع کند ، در آن هادی ولتاژ القاء میگردد . (قانون فاراده) . هنگام دوران آرمیچر نه تنها سیمهای آرمیچر خطوط شار را قطع میکنند ، بلکه هسته آرمیچر نیز

---

1) Lubricated-Bearings 2) Fans

POWEREN.IR

خطوط شار را قطع خواهد نمود . از آنجائی که هسته‌ها نیز هادی محسوب میشوند ، لذا طبق قانون فاراده در آنها ولتاژ القاء شده و بالنتیجه در هسته‌ها نیز جریان بنام جریان گردابی (۱) بحرکت درمییاید . از آنجائیکه هسته‌ها نیز مقاومت نیز دارند ، لذا تلفات جریان گردابی بصورت RI^2 بوده و باعث گرم شدن آرمیچر میشود . برای کاهش تلفات ناشی ازجریان گردابی باید هسته آرمیچر را از ورقهای نازک بهم چسبیده بسازیم و از فلز یک تکه استفاده نکنیم . علت این امر آن است که مورق کردن آرمیچر مقاومت الکتریکی آنرا بالا برده ولذا جریان گردابی کاهش مییابد که غایت امر به کاهش تلفات منجر میگردد . باید گفت که مورق کردن فقط مقاومت الکتریکی هسته را افزایش میدهد و در رلوکتانس هسته تغییر چندانی ایجاد نمیکند ، لذا شار کاهش پیدا نخواهد کرد . لازم به تذکر است که تلفات ناشی از جریان گردابی با مجذور سرعت و شار متناسب است . از بحث فوق میتوان توان تلفات سرگردان فوق‌الذکر به دو گروه تقسیم کرد .

الف ــ گروه اول شامل تلفات ناشی از اصطکاک و تهویه که اصطلاحا " به تلفات مکانیکی (۲) معروفند .

ب ــ گروه دوم شامل تلفات ناشی از هیسرزیس و جریان گردابی که به تلفات هسته (۳) مشهور هستند .

۲ ــ ۵ ــ ۴ تلفات مسی — 4-5.2 Copper Losses

میدانیم اگر از یک مقاومت جریان I عبور کند ، تلفات توان بصورت RI^2 بوده و به فرم حرارت میباشد . شکل (۹ ــ ۴) را باز نگری میکنیم در اینصورت میبینیم که در مدار تحریک تلفات توان بصورت $R_f I_f^2$ بوده و در مدار آرمیچر تلفات بفرم $R_a I_a^2$ خواهد بود . چون سیمهای آرمیچر و مدار تحریک مسی هستند ، اصطلاحا " به تلفات فوق‌الذکر تلفات مسی نیز اتلاق میگردد .

۳ ــ ۵ ــ ۴ تلفات بار سرگردان — 4-5.3 Stray Load Loss

نحوه محاسبه تلفات بار سرگردان نسبتا" پیچیده و از حوصله این کتاب

---

1) Eddy Current 2) Mechanical losses
3) Core-losses

POWEREN.IR

خارج است فقط در اینجا ذکر میکنیم که :

الف ــ برای ماشینهای DC کوچک از این تلفات صرفنظر میکنیم

ب ــ برای ماشینهای DC ، ۱۵۰ کیلوواتی به بالا این تلفات را ۱% توان اسمی ماشین در نظر میگیریم

۴ ــ ۵ ــ ۴ نمودار (دیاگرام) پخش توان 4-5.4 Power Flow Diagram

برای درک بهتر پخش توان در ژنراتور DC بهتر است از نمودار (دیاگرام) شکل (۱۱ ــ ۴) استفاده شود . از طریق محور ماشین، توان مکانیکی به ژنراتور اعمال میشود . قبل از اینکه توان مکانیکی ورودی به توان تبدیل شود ، مقداری از توان مکانیکی ورودی بصورت تلفات توان سرگردان هدر میرود (به بخش قبل مراجعه شود) . لذا تفاضل توان مکانیکی ورودی و تلفات توان سرگردان به توان الکتریکی تبدیل خواهد شد (EgIa) . از این توان الکتریکی بدست آمده مقدار نیز بصورت تلفات مسی هدر میرود . لذا توان الکتریکی خالص خارج شده از ژنراتور معادل تفاضل توان الکتریکی EgIa . و تلفات مسی درون ماشین خواهد بود .

با توجه به نکات فوق میتوان رابطه زیر را نوشت

$$P_i = P_o + \text{losses} \qquad (4\text{-}8)$$

که در آن

pi = توان مکانیکی ورودی به ژنراتور

P. = توان خالص الکتریکی خارج شده از ژنراتور

Losses = کل تلفات اعم از تلفات مسی و تلفات توان سرگردان

با جایگزینی رابطه (۸ ــ ۴) در معادله (۷ ــ ۴) راندمان ژنراتور DC حاصل می‌شود .

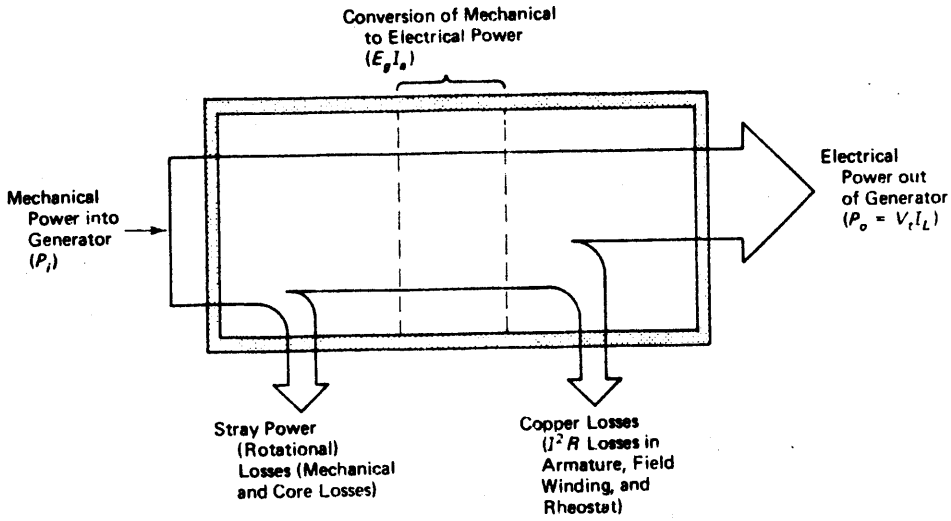
$$\text{efficiency} = \eta(\%) = \frac{P_o}{P_o + \text{losses}} \times 100 \qquad (4\text{-}9)$$

رابطه (۹ ــ ۴) بسیار با ارزش است زیرا میتوان بدون داشتن توان ورودی راندمان را حساب کرد . علت اینکه از توان ورودی در معادله راندمان پرهیز میکنیم آن است که توان ورودی یک توان مکانیکی بوده و اندازه‌گیری آن قدری مشکل است . البته

POWEREN.IR

باید خاطر نشان ساخت که توان خروجی و تلفات مس بسهولت قابل محاسبه و اندازه‌گیری هستند . همچنین برای محاسبه تلفات توان سرگردان میتوان ژنراتور را بحالت موتور بی‌بار درآورد . درباره‌این موضوع در فصل ۵ (بخش ۳ ــ ۵ ــ ۵) بیشتر صحبت میکنیم .

در اینجا متذکرمیشویم که هر ژنراتور میتواند بحالت موتوری درآید و همچنین هر موتوری را میتوان بصورت ژنراتوردرآوریم . بعنوان مثال اگر محور ماشین بوسیله محرک اولیه چرخانده شود ، در اینصورت در ترمینال ماشین توان الکتریکی خواهیم داشت (حالت ژنراتوری) و اگر به ترمینال ماشین ولتاژ DC اعمال گردد ، بر روی محور ماشین توان مکانیکی ظاهر خواهد شد و محور بچرخش در می‌آید (حالت‌موتوری) . در خاتمه متذکر می‌شویم که نمودار پخش توان فوق الذکر برای تمامی ژنراتورهای DC عمومیت دارد .



شکل ۱۱ ــ ۴ : دیاگرام پخش توان در ژنراتور DC

مثال ۱۰ ــ ۴

Example 4-10

یک ژنراتور DC با مشخصات زیر مفروض است :

کیلو وات ۲ = توان اسمی

ولت ۲۲۰ = ولتاژ اسمی ترمینال

POWEREN.IR

وات ۱۵۰ = مقدار ثابت = تلفات توان سرگردان

وات ۲۸۰ = تلفات مسی دربار اسمی

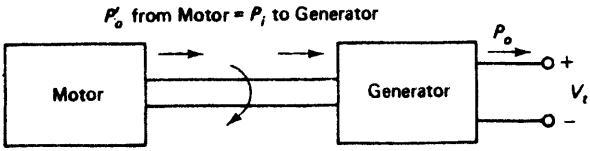
اگر این ژنراتور توسط موتوری بچرخش درآید . توانی را که موتور باید بر محور ژنراتور اعمال کند چقدر است و همچنین راندمان ژنراتور را حساب کنید (توجه کنید که تمام محاسبات باید در شرایط بار اسمی صورت گیرد) .

حل

توان ورودی به محور ژنراتور DC از طریق موتور که محرک اولیه محسوب می‌گردد تامین میشود (شکل ۱۲ ــ ۴) . با توجه به رابطه (۸ ــ ۴) داریم . $P_i = P_o + \text{losses}$ در رابطه اخیر P_o توان اسمی ژنراتور است لذا

$$P_i = 2000\ \text{W} + \underbrace{150\ \text{W} + 280\ \text{W}}_{\text{total losses}}$$

$$= 2430\ \text{W}$$



شکل ۱۲ ــ ۴ : دیاگرام مربوط به مثال ۱۰ ــ ۴

در نتیجه توانی که باید از طریق موتور بر محور ژنراتور اعمال شود این چنین حساب میشود :

$$\text{(from motor)} \qquad P'_o = \frac{2430\ \text{W}}{746\ \text{W/hp}} = 3.26\ \text{hp}$$

علت اینکه در رابطه اخیر توان را بر حسب اسب بخار (hp) بیان کرده‌ایم این است که توان ورودی به محور ژنراتور یک کمیت مکانیکی است . حال از رابطه (۷ ــ ۴) استفاده کرده و راندمان را بدست می‌آوریم .

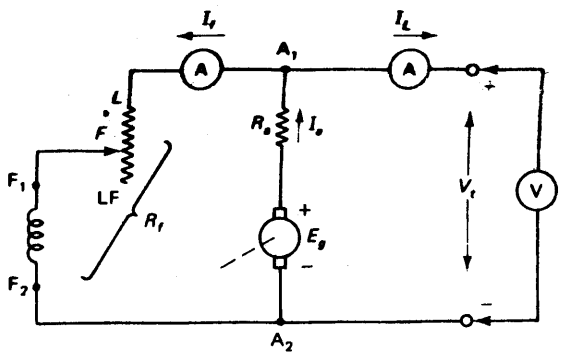
$$\eta = \frac{2000\ \text{W}}{2430\ \text{W}} \times 100 = 82.3\%$$

POWEREN.IR

۴-۶ ژنراتور DC موازی یا شنت — 4-6 SHUNT GENERATOR

امروزه ژنراتورهای DC با تحریک خودی [1] از مقبولیت بیشتری برخوردارند زیرا به یک منبع DC جداگانه برای مدار تحریک نیازی نمیباشد (بر عکس سیستم شکل ۹ ـ ۴ که یک ژنراتور با تحریک جداگانه است).

در ژنراتورهای DC با تحریک خودی، مدار تحریک توسط ولتاژ تولید شده توسط خود ژنراتور تغذیه میگردد. شاید این سوال برای شما مطرح شود که در ابتدای خلقت تخم مرغ بوجود آمد یا در ابتدا مرغ وجود داشت. علت اینکه این ضرب‌المثل را مطرح میسازیم این است که در ژنراتورهای DC با تحریک خودی نیز این سوال مطرح است‌که آیا در ابتدا جریان تحریک در مدار برقرار میگردد یا ابتدا ولتاژ در دو سر ژنراتور پدیدار میشود. در اینجا به این سوال اینچنین پاسخ میدهیم که همواره بخاطر اثر هیسترزیس (فصل اول) و پدیده پسماند همواره مقداری شار در هسته وجود دارد. یکی از متداولترین ژنراتورهای DC با تحریک خودی همان ژنراتور DC شنت (موازی‌میباشد (شکل ۱۳ـ۴)



شکل ۱۳ ـ ۴: ژنراتور DC شنت (موازی)

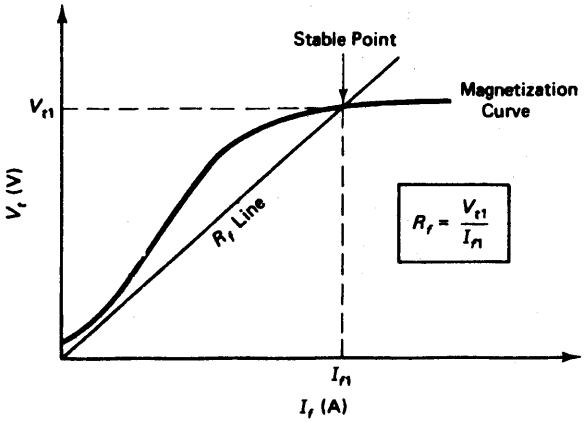
علت اینکه به این ژنراتورها صفت شنت یا موازی اضافه میگردد آنستکه سیم پیچ تحریک با سیم پیچ آرمیچر موازی میباشد. در این سیستم نیز میتوان در مدار تحریک یک رئوستا نصب نمود و به آن رئوستای تحریک موازی (رئوستای تحریک شنت) اتلاق میگردد. نقش این رئوستا کنترل جریان تحریک و بالنتیجه کنترل ولتاژ تولید شده توسط ماشین

1) Self-excited

POWEREN.IR

است . هرگاه ژنراتور DC شنت را از حالت سکوت در حالت بی‌باری بچرخش درآوریم ، پس‌ماند مغناطیسی در هسته برای تولید ولتاژ اولیه نسبتا" کم کافی میباشد . این ولتاژ باعث میشود که در سیم پیچ آرمیچر جریان برقرار گردد . این جریان آرمیچر وارد مدار تحریک شنت شده و بالنتیجه جریان تحریک افزایش مییابد که خود باعث افزونتر شدن ولتاژ تولید شده توسط ژنراتور میگردد (شکل ۱۳ ــ ۴) . با زیاد شدن ولتاژ دوباره جریان آرمیچر و بالمال جریان تحریک شنت بیشتر میگردد و این پروسس افزونتر شدن جریان تحریک شنت و ولتاژ تولید شده آنقدر ادامه مییابد تا بحالت پایدار برسیم . منظور از حالت پایدار آن است که به نقطه‌ای خواهیم رسید که جریان تحریک شنت (۱) (I_f) بتواند شاری تولید کند که در نتیجه آن ولتاژ مناسبی جهت بوجود آمدن I_f در ماشین ایجاد شود . نقطه پایدار بوسیله مقاومت مدار تحریک شنت مشخص میشود (R_f) . بسهولت میتوان نقطه پایدار را با رسم منحنی مقاومت مدار تحریک شنت که یک خط مستقیم میباشد بدست آورد .

البته باید این خط را بر روی محور مختصات مربوط به منحنی مغناطیس شوندگی رسم نمود . محل تلاقی دو منحنی (خط و منحنی مغناطیس شوندگی) نقطه پایدار را نشان میدهد (شکل ۱۴ ــ ۴) .



شکل ۱۴ ــ ۴ : رسم خط مربوط به مقاومت مدار تحریک شنت بر روی منحنی مغناطیس شوندگی ژنراتور DC شنت

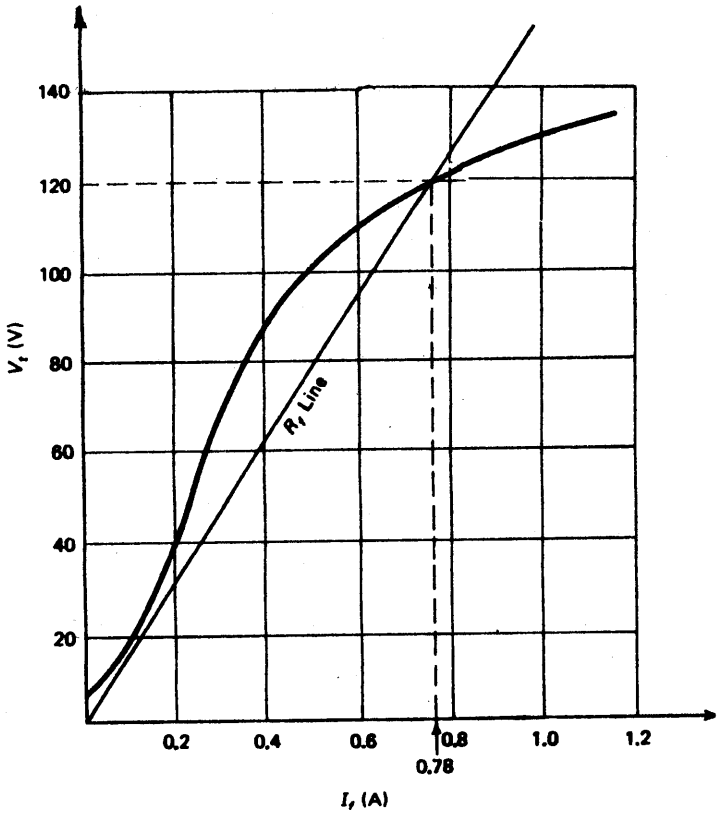
1) Shunt-Field-Current

POWEREN.IR

اگر بخواهیم در دو سر ژنراتور DC ولتاژی خاص حاصل شود ، در اینصورت با بازی کردن با مقاومت R_f' میتوان این ولتاژ مورد نظر را بدست‌آورد . پیدا کردن این مقاومت بسیار ساده است و میتوان اینچنین آنرا حساب نمود .

$$R_f = \frac{\text{ولتاژ مورد نظر}}{\text{جریان تحریک مورد نظر}}$$

البته در رابطه اخیر جریان تحریک مورد نظر را میتوان با استفاده از منحنی مغناطیس شوندگی بدست آورد (شکل ۱۴ ــ ۴) . در اینجا تذکر میدهیم هرچه مقاومت تحریک بیشتر باشد در اینصورت جریان تحریک کمتر بوده و بالنتیجه ولتاژ نیز کاهش مییابد .



شکل ۱۵ ــ ۴ : منحنی مربوط به مثال ۱۱ ــ ۴

POWEREN.IR

مثال ۱۱ ــ ۴ *Example 4-11*

منحنی مغناطیس شوندگی مربوط به یک ژنراتور DC شنت (موازی) در شکل ۱۵ ــ ۴ رسم شده است. منحنی مقاومت مدار تحریک شنت را رسم کنید مشروط بر اینکه بخواهیم ژنراتور DC ولتاژ ۱۲۰ ولت را تولید کند.

حل:

ابتدا بر روی منحنی مغناطیس شوندگی نقطه مربوط به ولتاژ مورد نظر (۱۲۰ ولت) را مشخص مینمائیم. اگر این نقطه را به مبداء مختصات وصل کنیم، خط مستقیم حاصله، منحنی مقاومت مدار تحریک شنت خواهد بود. مقاومت مدار تحریک (R_f) شیب این خط میباشد لذا

$$R_f = \text{slope} = \frac{120\ \text{V}}{0.78\ \text{A}} = 153.85\ \Omega \qquad R_f \approx 154\ \Omega$$

۱ ــ ۶ ــ ۴ عدم تولید ولتاژ در ژنراتور DC شنت

4-6.1 Failure of a Generator to Build Up

در برخی از شرایط موقعی که ژنراتور DC شنت با سرعت ثابتی میچرخد، قادر به تولید ولتاژ نمیباشد. دلایل متعددی ممکن است باعث این حالت گردد.

الف ــ گاهی اوقات در آزمایشگاه به این موضوع برخورد میکنیم که ولتاژ اولیه بخاطر پس ماند مغناطیسی شاری تولید میکند که با شار پس ماند در هسته مخالفت میورزد و تغییرات رئوستا در مدار تحریک نیز اثری نخواهد داشت. برای فائق آمدن بر این مساله دو راه وجود دارد.

۱ ــ الف ــ جهت چرخش ژنراتور را عوض میکنیم. طبق قانون فلمینگ در اینحالت پلارتیه ولتاژ عوض شده و لذا شار حاصله به شار پس ماند کمک میکند و ولتاژ در ژنراتور به نحو مطلوبی تولید میشود.

۲ ــ الف ــ اگر نخواهیم جهت چرخش ژنراتور را عوض کنیم، میتوان سرهای مدار تحریک را جابجا کنیم. بعنوان مثال میتوان در شکل (۱۳ ــ ۴) اتصال ترمینالهای F_1 و F_2 را عوض نمود.

ب ــ باز بودن مدار تحریک شنت مثلاً" ممکن است فیوز آمپر متر مدار تحریک سوخته باشد. یا ممکن است پاره‌گی در مدار تحریک وجود داشته باشد یا لحیم سیم پیچ تحریک باز شده باشد.

POWEREN.IR

ج ــ کثیف بودن کموتاتور.

د ــ سالم نبودن حاروبکها و سائیدگی حاروبکها

هـ ــ سوختگی سیم پیچ آرمیچر

و ــ مقاومت بیش از حد رئوستای مدار تحریک شنت

ز ــ اگر پسماند مغناطیسی هسته ناچیز باشد و یا اصلا" پس ماند مغناطیسی نداشته باشیم در اینصورت ولتاژ تولید نمیشود ، فی‌المثل اگر از ژنراتور مدت مدیدی استفاده نشود ، در این صورت پس ماند مغناطیسی یا از دست خواهد رفت یا بمیزان ناچیزی تقلیل مییابد . درچنین حالتی بایدابتدا برای چندین دفعه ژنراتور را بصورت تحریک جداگانه بکار بریم تا پس ماند مغناطیسی مجددا" قوت خود را بازیابد .

۲ ــ ۶ ــ ۴ مشخصه بار در ژنراتور DC شنت

4-6.2 Shunt Generator Load Characteristic

با بارگیری ژنراتور DC شنت ، جریان بیشتری‌از ژنراتور میگذرد ومشخصه باری همچون ژنراتور با تحریک جداگانه (شکل ۱۰ ــ ۴) خواهیم داشت . البته در ژنراتور شنت کاهش ولتاژ ترمینال در اثر افزایش جریان بار بمراتب چشمگیرتر از حالتی است که ماشین از نوع تحریک جداگانه باشد . در نتیجه تنظیم ولتاژ بدتری برای ژنراتور DC شنت حاصل میگردد . در ژنراتور DC شنت نه تنها افت ولتاژ ترمینال خروجی بخاطر افت آرمیچر I_aR_a و عکس‌العمل آرمیچر میباشد ، بلکه عامل دیگری نیز در این افت ولتاژ سهیم است همانطور که در بالا دیدیم هنگام افت ولتاژ ترمینال جریان تحریک شنت کمتر شده (چرا؟) و درنتیجه شار کاهش مییابد و ولتاژ تولید شده نیز کم میشود ، که خود باعث کم شدن ولتاژ ترمینال میگردد .

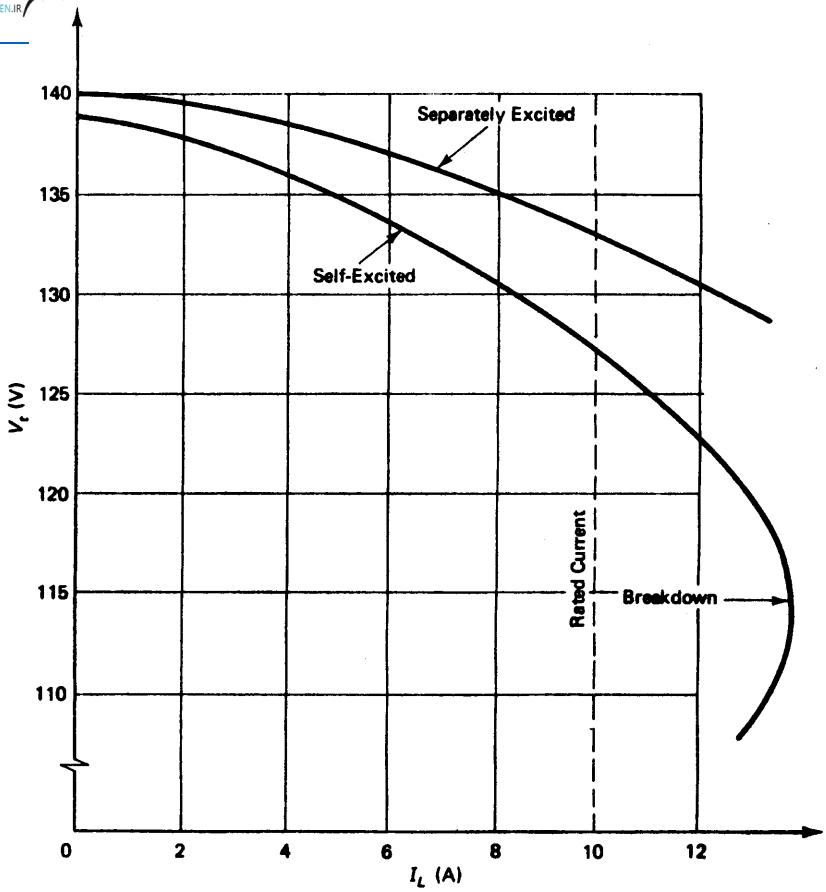
با ادامه کاهش ولتاژ، هسته ژنراتور از حالت اشباع در می‌آید . این نقطه را نقطه فرو پاشی (۱) گویند . در این حالت تغییرات ولتاژ باعث تغییرات متناسبی از شار شده و ولتاژ سریعا" بسمت صفر نزول میکند .

شکل (۱۶ ــ ۴) مشخصه بار ژنراتور DC را برای دو حالت تحریک جداگانه و تحریک خودی (شنت) نشان میدهد .

---

1) Breakdown-point

POWEREN.IR



شکل ۱۶ ــ ۴: مقایسه دو ژنراتور DC در دو حالت تحریک خودی (شنت) و تحریک جداگانه

مثال ۱۲ ــ ۴ **Example 4-12**

منحنی مشخصه باردو ژنراتور DC در شکل (۱۶ ــ ۴) نشان داده شده است. درصد تنظیم را برای این دو ژنراتور حساب کنید.

حل

برای ژنراتور DC با تحریک جداگانه داریم

POWEREN.IR

$$V_{NL} = 140 \text{ V} \quad \text{and} \quad V_{FL} \approx 133 \text{ V}$$

$$\% \text{ V.R.} = \frac{140 - 133}{133} \times 100$$

$$= 5.26\%$$

برای ژنراتور DC با تحریک خودی (شنت) نیز می‌توان از رابطه تنظیم ولتاژ فوق استفاده کرد.

$$V_{NL} = 139 \text{ V} \quad \text{and} \quad V_{FL} \approx 128 \text{ V}$$

$$\% \text{ V.R.} = \frac{139 - 128}{128} \times 100$$

$$= 8.59\%$$

میبینیم که ژنراتور DC با تحریک حداگانه وضع بهتری از جهت تنظیم ولتاژ دارد.

مثال ۱۳ ــ ۴ ***Example 4-13***

یک ژنراتور DC شنت با مشخصات زیر مفروض است

اهم ۱۴۰ = مقاومت مدار تحریک شنت

کیلو وات ۵/۵ = توان اسمی

وات ۲۲۰ = ولتاژ اسمی ترمینال

اهم ۰/۵ = مقاومت آرمیچر

وات ۹۵ = تلفات توان سرگردان در بار اسمی

مطلوبست محاسبات زیر در تحت شرایط بار اسمی

(الف): جریان تحریک

(ب): جریان بار

(ج): جریان آرمیچر

(د): ولتاژ تولید شده

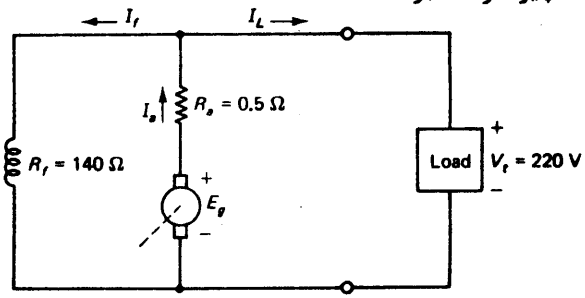
(هـ): کل تلفات مسی

(و): راندمان

(ز): تنظیم و ولتاژ در این قسمت فرض کنید که شار و در نتیجه E_g ثابت است زیرا ماشین در ناحیه اشباع کار میکند، لذا اگر تغییرات کوچکی در V_t پدیدار شود (از

POWEREN.IR

حالت بی‌باری تا بار کامل)، If نیز کمی تغییر میکند و اما بخاطر پدیده اشباع، تغییرات شار ناچیز خواهد بود.



شکل ۱۷ ــ ۴: مدار مربوط به مثال ۱۳ ــ ۴

حل

ابتدا مدار این مساله را رسم میکنیم (شکل ۱۷ ــ ۴). سپس پارامترهای معلوم را بر روی این مدار مینویسیم. برای سهولت رئوستای مدار تحریک شنت در شکل رسم نشده است.

(الف): ولتاژ ترمینال دربار کامل توسط ولتاژ اسمی ترمینال مشخص میشود.

از آنجائی که این ولتاژ در دو سر مدار تحریک شنت اعمال میشود، داریم.

$$I_f = \frac{V_t}{R_f} = \frac{220\ \text{V}}{140} = 1.57\ \text{A}$$

(ب): جریان بار در تحت شرایط اسمی از مقادیر اسمی حاصل میشود. پس:

$$\text{Current} = \frac{\text{power}}{\text{voltage}}$$

$$I_L = \frac{5.5\ \text{kW}}{220\ \text{V}} = 25\ \text{A}$$

(ج): جریان آرمیچر را با استفاده از قانون جریان کیرشف بدست می‌آوریم

$$I_a = I_L + I_f$$

$$= 25\ \text{A} + 1.57\ \text{A} = 26.57\ \text{A}$$

(د): ولتاژ تولید شده را با استفاده از قانون ولتاژ کیرشف حساب میکنیم.

$$E_g = I_a R_a + V_t$$

$$= 26.57\ \text{A} \times 0.5\ \Omega + 220\ \text{V}$$

$$= 13.3 + 220 = 233.3\ \text{V}$$

POWEREN.IR

(هـ): تلفات مسی از دو قسمت تشکیل شده است قسمت اول متعلق به سیمهای آرمیچر و قسمت دوم مربوط به سیم پیچ تحریک است، لذا کل تلفات مسی اینچنین حساب میشود.

$$P_{arm} = R_a I_a^2 = 0.5\ \Omega \times (26.57\ A)^2$$

$$P_{arm} \approx 353\ W$$

$$P_f = R_f I_f^2 = 140\ \Omega \times (1.57\ A)^2$$

$$P_f \approx 345\ W$$

$$\text{total } P_{Cu} = 353\ W + 345\ W = 698\ W$$

(و): طرز محاسبه راندمان مطابق مطالب بخش (۵ ــ ۴) انجام می‌گیرد و آن مطالب برای ژنراتور DC شنت نیز صادق است.

$$P_i = P_o + P_{Cu} + \text{stray power loss}$$

$$= 5.5\ kW + 698\ W + 95\ W$$

$$= 6293\ W$$

$$\text{efficiency} = \eta = \frac{P_o}{P_i} \times 100$$

$$= \frac{5500\ W}{6293\ W} \times 100$$

$$= 87.4\%$$

(ز) با فرض اینکه شار ثابت است، لذا مقدار E_g نیز از حالت بی‌باری تا بار کامل تغییر نمیکند. در حالت بی‌باری شکل (۱۷ ــ ۴) بشکل (۱۸ ــ ۴) تبدیل میگردد. لذا

$$I_a = I_f = \frac{E_g}{R_a + R_f}$$

$$= \frac{233.3\ V}{0.5\ \Omega + 140\ \Omega}$$

$$= 1.66\ A$$

پس

$$V_{NL} = I_f R_f = 1.66\ A \times 140\ \Omega$$

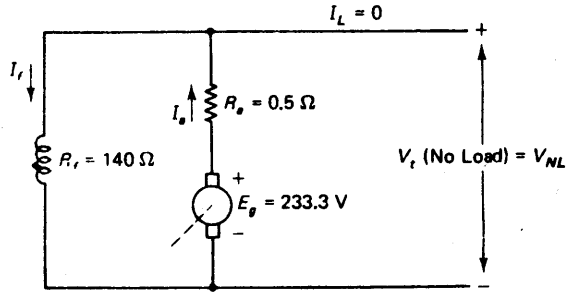
$$= 232.4\ V$$

$$\%\ V.R. = \frac{V_{NL} - V_{FL}}{V_{FL}} \times 100$$

POWEREN.IR

$$= \frac{232.4 - 220}{220} \times 100$$

$$= 5.64\%$$



شکل ۱۸ ــ ۴

۷ ــ ۴ ژنراتور DC سری 4-7 SERIES GENERATOR

اگر سیم پیچ تحریک با سیم پیچ آرمیچر سری بسته شود ، ژنراتور DC سری بدست می‌آید (شکل ۱۹ ــ ۴) . علاوه بر آنکه مشخصه‌های این ژنراتور با ژنراتورهای شنت متفاوت است ، ساختمان این ژنراتورها نیز با ژنراتورهای شنت متفاوت است . تفاوت در ساختمان این ژنراتورها از این قرار است .

الف ــ در ژنراتور DC شنت ، سیم پیچ تحریک از سیم نازک ساخته شده و تعداد دورهای این سیم پیچ بسیار زیاد است . (چرا ؟) .

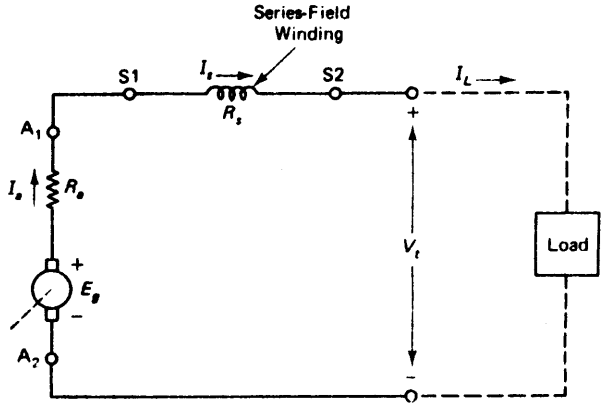
ب ــ در ژنراتور DC سری ، سیم پیچ تحریک از سیم کلفت ساخته شده وتعداد دورهای این سیم پیچ بسیار کم است (چرا ؟) .

لذا :

۱ ــ الف ــ در ژنراتور DC شنت چون تعداد دورهای سیم پیچ تحریک زیاد است پس اگر جریان کمی از مدار تحریک بگذرد شدت میدان (H) نسبتا " کافی حاصل میشود .

۲ ــ ب ــ در ژنراتور DC سری از آنجائی که جریان بار نسبتا " زیادی از ژنراتور کشیده میشود و این جریان از مدار تحریک نیز عبور میکند ، لذا سیم پیچ تحریک باید کلفت بوده و تعداد دورهای این سیم پیچ کم باشد .

POWEREN.IR



شکل ۱۹ ــ ۴: مدار معادل یک ژنراتور DC سری

با توجه بشکل (۱۹ ــ ۴) در مییابیم که هر سه جریان نشان داده شده در شکل مساوی هستند.

$$(I_a = I_s = I_L).$$

در تحت شرایط بی‌باری، جریانها صفر بوده و ولتاژ ترمینال V_t با E_g برابر است. باید گفت که ولتاژ تولید شده که در اثر پس ماند مغناطیسی ایجاد میشود بسیار کم خواهد بود. اگر ژنراتور را به بار وصل کنیم، در اینصورت جریان برقرار میشود و لذا شار شروع به زیاد شدن می‌کند. در نتیجه E_g نیز زیاد میگردد و لذا جریان نیز بیشتر خواهد شد و بالمال جریان تحریک سری نیز افزونتر خواهد شد. این پروسس آنقدر ادامه مییابد تا هسته بحالت اشباع درآید و شرایط پایدار حاصل گردد. اگر سعی شود جریان از جریان نقطه پایدار بازهم بیشتر گردد یا بعبارت دیگر اگر بار را بیش از بار نقطه پایدار نمائیم، ولتاژ ترمینال شدیدا" سقوط خواهد نمود زیرا ماشین در حالت اشباع بوده و شار را نمیتوانیم زیاد کنیم. مشخصه بار ژنراتورهای DC سری در شکل (۲۰ ــ ۴) رسم شده است.

اگر با افزایش بار درترمینال ژنراتور سری، ولتاژ حاصل نگردد، ممکن است نقص در اتصال مدار تحریک سری باشد. باید خاطر نشان ساخت اگر شار حاصله بوسیله جریان بار با پس ماند مغناطیسی مخالفت کند ولتاژ در ترمینال ژنراتور سری بدست نمی‌آید. لذا باید اتصال سرهای مدار تحریک سری عوض شوند (S_1 و S_2 در شکل ۱۹ ــ ۴).

همچنین اگر جهت چرخش ژنراتور صحیح نباشد میتوان جهت چرخش را عوض نمود. در نتیجه پلارتیه E_g عوض شده و بالمال جهت جریان در مدار تحریک سری نیز عوض

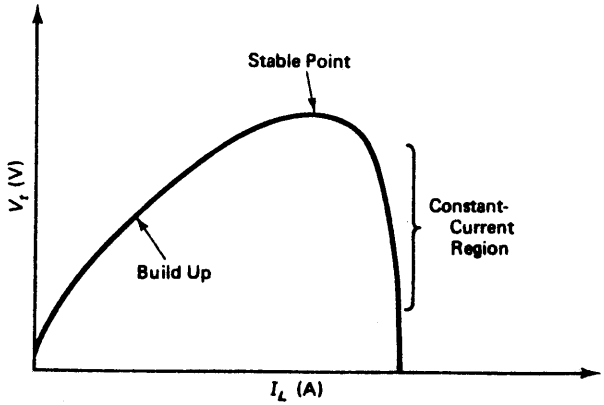
POWEREN.IR

POWEREN.IR

خواهد شد . لذا شار حاصله به پس ماند مغناطیسی حالت موافق نشان خواهد داد .

با توجه به مشخصه بار موتورهای DC سری (شکل ۲۰ ــ ۴) میتوان دریافت که تغییرات ولتاژ ترمینال نسبت به جریان بار بسیار جدی است و لذا تنظیم ولتاژ بسیار ضعیف است . بهمین خاطرژنراتورهای DC سری بعنوان منابع ولتاژ ثابت مورد استفاده قرار نمیگیرند بلکه بعنوان ژنراتور جریان ثابت مورد توجه قرار میگیرند . اگر به ناحیه نشان داده شده در شکل (۲۰ ــ ۴) توجه شود در مییابیم که جریان بار ، هنگامیکه ولتاژ بار تغییرات نسبتا" زیادی را شامل شود ، بالنسبه ثابت میماند . اگر بشکل (۲۰ ــ ۴) نگاه کنیم یکی دیگر از محسنات ژنراتورهای DC سری نمایان میشود در این ژنراتورها همانطور که میبینیم تا قبل از اینکه به نقطه پایدار برسند ولتاژ ترمینال نسبت به تغییرات بار سیر صعودی نسبتا" مطلوبی دارد لذا میتوان از آنها برای جبران یا تقویت ولتاژ DC استفاده کرد .

معمولا" در ژنراتورهای سری کنترل ولتاژ بوسیله رئوستائی که موازی سیم پیچ تحریک سری نصب میشود انجام میگیرد ، وبه آن رئوستای منحرف کننده (دیورتور) [1] گفته میشود . اما باید گفت که تغییرات بار آنچنان ولتاژ را تغییر میدهد که دیوتور کنترل چندانی بر آن نخواهد داشت .



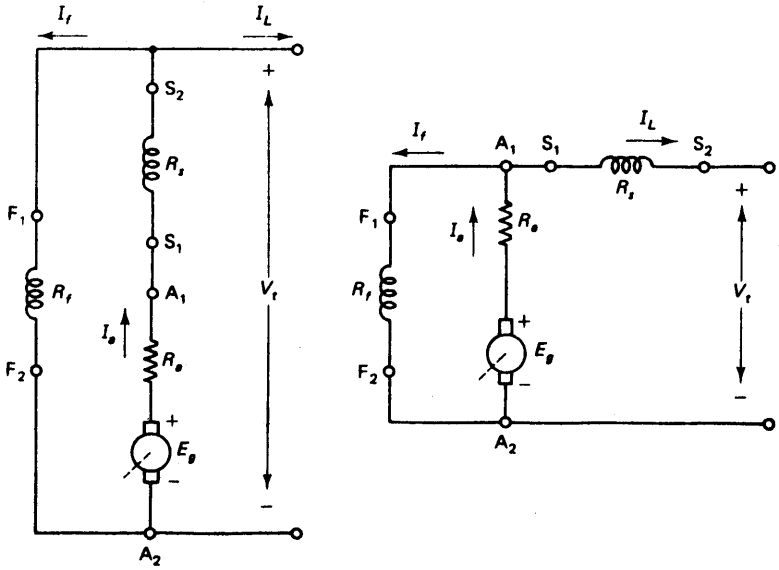
شکل ۲۰ ــ ۴ : مشخصه بار برای یک ژنراتور DC سری

1) Divertor

POWEREN.IR

۸ ــ ۴ ژنراتور DC کمپوند 4-8 COMPOUND GENERATOR

برای جبران و بهبود بخشیدن به مشخصه بار ژنراتور DC شنت و جلوگیری از نزول این مشخصه ، معمولا " یک سیم پیچ تحریک سری نیز به این ژنراتورها افزوده میگردد و بدین ترتیب ژنراتورهای DC کمپوند حاصل میشوند . بدینترتیب خاصیت جبران یا تقویت ولتاژ ژنراتورهای DC سری که در بخش قبل راجع به آن صحبت کردیم تا حد زیادی نزول منحنی مشخصه بار ژنراتور DC شنت را در اثر افزایش بار جبران میکند .



شکل ۲۱ ــ ۴ : ژنراتور DC کمپوند

a : شنت بلند

b : شنت کوتاه

معمولا دو نوع ژنراتور DC کمپوند وجود دارد (شکل ۲۱ ــ ۴) .

۱ ــ ژنراتور DC کمپوند با شنت بلند (۱)

۲ ــ ژنراتور DC کمپوند با شنت کوتاه (۲)

---

1) LONG-Shunt 2) Short-shunt

POWEREN.IR

POWEREN.IR

فرق این دو ژنراتور این است که

۱ ـ ۱ ـ در ژنراتور DC کمپوند با شنت بلند از سیم پیچ تحریک سری جریان آرمیچر (I_a) عبور میکند .

۱ ـ ۲ ـ در ژنراتور DC کمپوند با شنت کوتاه از سیم پیچ تحریک سری جریان بار (I_L) میگذرد .

۱ ـ ۳ ـ در حالت بی‌باری سیم پیچ تحریک سری در ژنراتور کمپوند با شنت بلند تحریک میگردد ولی در حالت بی‌باری سیم پیچ‌تحریک سری در شنت کوتاه تحریک نمی‌گردد .

در اینجا خاطرنشان میسازیم که مشخصه‌های این دو ژنراتور کمپوند اصولا " مشابه یکدیگرند .

در آزمایشگاه ابتدا سیم پیچ سری را بوسیله کلید یا رئوستای منحرف کننده با مقاومت صفر (دیورتور) از مدار خارج میکنیم . در این‌حالت فقط ژنراتور DC شنت خواهیم داشت . هنگامیکه پلارتیه صحیح در دو سر تحریک شنت برقرار شد و ولتاژ در ترمینال ماشین بدست آمد ، در اینحال سیم پیچ تحریک سری را برق دار مینمائیم . باید گفت در این مرحله پلارتیه صحیح سیم پیچ تحریک سری معلوم نیست . اگر میدان حاصله از سیم پیچ سری مخالف میدان سیم پیچ تحریک شنت باشد ، ژنراتور DC کمپوند را از نوع کمپوند نقصانی تلقی مینمایند بر عکس اگر میدان حاصله از سیم پیچ سری موافق میدان سیم پیچ تحریک شنت باشد به ژنراتور DC ، کمپوند اضافی گفته میشود .

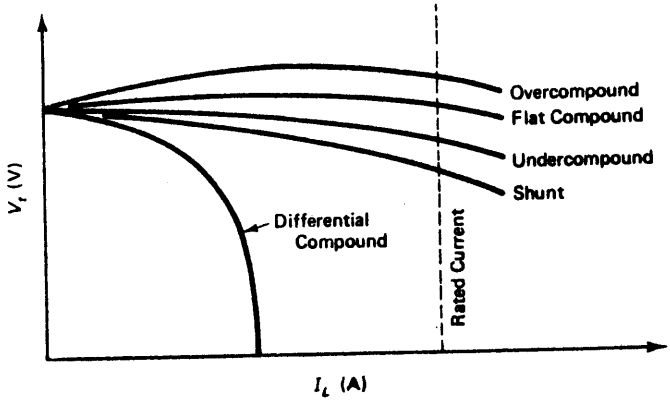
۱ ـ ۸ ـ ۴ ژنراتور DC کمپوند نقصانی

4-8.1 Differentially Compounded Generator

هرگاه‌از سیم پیچ تحریک سری این ژنراتورها جریان بگذرد شار منتجه که حاصل شار مدار تحریک سری‌و مدار تحریک شنت میباشد ، سیر نزولی خواهد داشت زیرا این دو شار با هم در تضاد هستند . بالنتیجه ولتاژ تولید شده نیز سیر نزولی دارد . با افزایش جریان کشیده شده از ژنراتور ، ولتاژ بشدت سقوط میکند زیرا همانگونه که گفتیم شار بشدت کم میگردد . مشخصه‌این ژنراتورها در شکل (۲۲ ـ ۴) رسم شده‌اند . با مقایسه این شکل با شکل (۲۰ ـ ۴) میبینیم که اینگونه ژنراتورها شباهتی باژنراتورهای سری دارند . لذا نتیجه میشود که از اینگونه ژنراتورها نیز در کاربردهائی که نیاز به جریان ثابت دارند ، استفاده میشود . از این ژنراتورها برای‌کاربردهائی که به منبع‌ولتاژ DC نیاز دارند

POWEREN.IR

استفاده نمیکنند .



شکل ۲۲ ــ ۴ : مقایسه مشخصه‌های ژنراتورهای DC

۲ ــ ۸ ــ ۴ ژنراتور DC کمپوند اضافی

4-8.2 Cumulatively Compounded Generator

هنگامیکه پلارتیه مدار تحریک سری کامل و صحیح باشد در اینصورت دو میدان سری و شنت باهم جمع شده و لذا ژنراتور DC کمپوند اضافی حاصل میشود . در اینحال منحنی مشخصه بار این ژنراتورهای دیگر مانند ژنراتورهای DC شنت خالص، نزول ناگهانی وسریع ندارد . در حقیقت باید گفت اگر میدان تحریک سری قوی باشد ، منحنی مشخصه بار سیر صعودی نیز پیدا میکند . بشرایطی که ولتاژ ترمینال در تحت بار کامل بیش از ولتاژ ترمینال در حالت بی‌باری باشد حالت فوق کمپوند (۱) گفته میشود .
همچنین میتوان گفت که

الف ــ اگر در شرایطی‌ولتاژ ترمینال تحت بار کامل حدودا " مساوی ولتاژ ترمینال در شرایط بی‌باری باشد ، در اینصورت این حالت راکمپوند افقی یا کمپوند مسطح (۲) مینامند .

ب ــ اگر در شرایطی ولتاژ ترمینال ژنراتور تحت بار کامل کمتر از ولتاژ ترمینال در بی‌باری باشد ، در اینصورت به حالت زیر کمپوند (۳) مشهور است . برای مشخص شدن

---

1) OVER-Compoud 2) Flat-Compound
3) Under-Compound

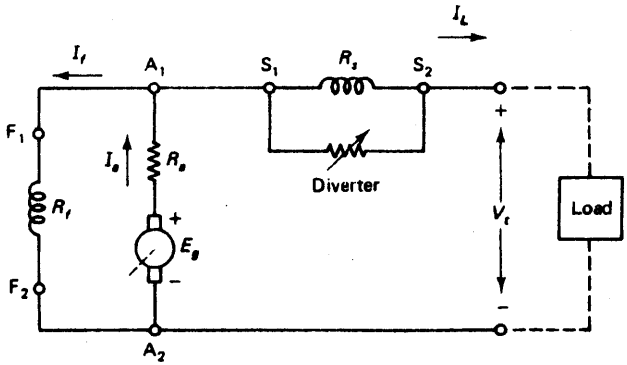
POWEREN.IR

POWEREN.IR

حالتهای ذکر شده در فوق و ارزیابی بهتر مشخصه‌های ژنراتورهای DC کمپوند اضافی میتوانید بشکل (۲۲ ـ ۴) نگاه کنید .

برای رسیدن به مشخصه‌های فوق میتوان MMF یا نیروی محرکه مغناطیسی سیم پیچ تحریک سری‌را تغییر داد . اما اگر ژنراتور ساخته شده باشد و نتوانیم تعداد دورهای سیم پیچ تحریک سری را تغییر دهیم در اینصورت از رئوستای منحرف کننده (دیورتور) کمک میگیریم . و شکل (۲۳ ـ ۴) .

با استفاده از دیورتور میتوان جریان سیم پیچ تحریک سری را کم و زیاد نمود و در نتیجه بر شدت ضعف میدان سری اثر خواهد گذاشت . لذا حالتهای سه گانه فوق به سهولت قابل دسترسی هستند . البته در مدار تحریک موازی نیز رئوستا قرارمیدهیم که در این شکل رسم نشده است .



شکل ۲۳ ـ ۴ : نصب (دیورتور) در مدار تحریک سری یک ژنراتور کمپوند با شنت کوتاه

مثال ۱۴ ـ ۴ ***Example 4-14***

یک ژنراتور DC کمپوند با شنت کوتاه با مشخصات زیر مفروض است

کیلو وات ۳ = توان اسمی

ولت ۲۰۰ = ولتاژ اسمی ترمینال

وات ۱۲۰ = تلفات توان سرگردان در بار کامل

اهم ۱۰۰ = Rf (مقاومت تحریک شنت)

اهم ۰/۹ = Ra (مقاومت ارمیچر)

اهم ۰/۲ = Rs (مقاومت تحریک سری)

POWEREN.IR

POWEREN.IR

اگر از دیورتور استفاده نشود ، محاسبات زیر را دربار کامل انجام دهید .

(الف) : جریان بار

(ب) : جریان مدار تحریک شنت

(ج) : جریان آرمیچر

(د) : ولتاژ تولید شده در درون ماشین

(هـ) : توان مکانیکی تبدیل شده به توان الکتریکی در ماشین

(و) : تلفات مسی

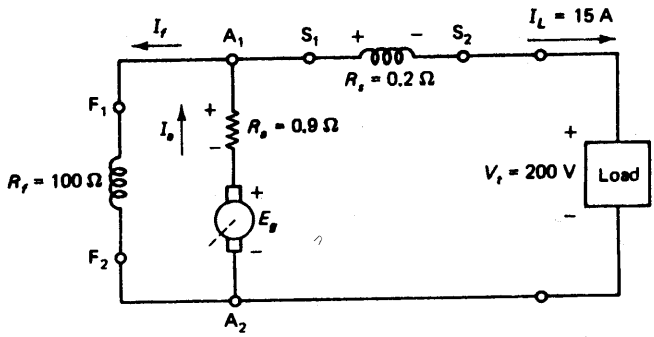
(ز) : راندمان

حل

(الف) : جریان بار در بار کامل از مقادیر اسمی بدست می‌آید ، لذا

$$I_L = \frac{3\ \text{kW}}{200\ \text{V}} = \frac{3000\ \text{W}}{200\ \text{V}} = 15\ \text{A}$$

برای سهولت درک بقیه مساله ، شکل (۲۴ ــ ۴) را در نظر میگیریم



شکل ۲۴ ــ ۴ : مدار مربوط به مثال ۱۴ ــ ۴

(ب) : برای محاسبه I_f ، ابتدا ولتاژ دو سر مدار تحریک شنت (V_f) را حساب میکنیم . با استفاده از قانون ولتاژ کیرشف داریم

$$V_f = 200\ \text{V} + R_s(I_L)$$
$$= 200\ \text{V} + (0.2\ \Omega \times 15\ \text{A})$$
$$= 200 + 3 = 203\ \text{V}$$

POWEREN.IR

پس

$$I_f = \frac{V_f}{R_f} = \frac{203\ \text{V}}{100\ \Omega} = 2.03\ \text{A}$$

(ج): با توجه به مقادیر فوق داریم

$$I_a = I_L + I_f = 15\ \text{A} + 2.03\ \text{A}$$
$$= 17.03\ \text{A}$$

(د): با استفاده از قانون ولتاژ کیرشف داریم

$$E_g = (17.03\ \text{A} \times 0.9\ \Omega) + (15\ \text{A} \times 0.2\ \Omega) + 200\ \text{V}$$
$$= 15.33\ \text{V} + 3\ \text{V} + 200\ \text{V} \quad = 218.33\ \text{V}$$

(هـ): توان مکانیکی ورودی تبدیل شده به توان الکتریکی با $E_g I_a$ معادل میباشد. لذا:

$$E_g I_a = 218.33\ \text{V} \times 17.03\ \text{A}$$
$$= 3718.2\ \text{W}$$

(و): تلفات مس در مدار تحریک شنت عبارتست از:

$$P_f = R_f I_f^2 = 100\ \Omega \times (2.03\ \text{A})^2 = 412\ \text{W}$$

تلفات مس در آرمیچر اینچنین است

$$P_a = R_a I_a^2 = 0.9\ \Omega \times (17.03\ \text{A})^2 = 261\ \text{W}$$

تلفات مس در سیم پیچ تحریک سری عبارتست از

$$P_s = R_s I_L^2 = 0.2\ \Omega \times (15)^2 = 45\ \text{W}$$

لذا

$$\text{total copper losses} = P_f + P_a + P_s = 718\ \text{W}$$

(ز): راندمان نیز در ژنراتورهای کمپوند مطابق مطالب بخش (۵ ــ ۴) بدست می‌آید.

$$P_i = P_o + \text{copper losses} + \text{stray power loss}$$
$$= 3\ \text{kW} + 718\ \text{W} + 120\ \text{W}$$
$$= 3000\ \text{W} + 718\ \text{W} + 120\ \text{W}$$
$$= 3838\ \text{W}$$

$$\eta = \frac{P_o}{P_i} \times 100 = \frac{3000}{3838} \times 100$$
$$= 78.2\%$$

POWEREN.IR

مثال ۱۵ ــ ۴ *Example 4-15*

یک ژنراتور DC کمپوند با شنت بلند مفروض بوده و دارای مشخصات زیر است

توان اسمی = ۵ کیلو وات

ولتاژ اسمی ترمینال = ۱۲۵ ولت

راندمان = ۸۰٪ (دربار اسمی)

R_f = ۱۲۵ اهم (مقاومت تحریک شنت)

R_a = ۰/۲ اهم (مقاومت آرمیچر)

R_s = ۵٪ اهم (مقاومت تحریک سری)

محاسبات زیر را در بار اسمی انجام دهید

(الف): جریان بار

(ب): جریان تحریک

(ج): جریان آرمیچر

(د): تلفات مسی

(هـ): تلفات توان سرگردان

حل

(الف): با استفاده از مقادیر اسمی داریم

$$I_L = \frac{5\ \text{kW}}{125\ \text{V}} = \frac{5000\ \text{W}}{125\ \text{V}}$$

$$= 40\ \text{A}$$

حال برای سهولت درک بقیه مساله بشکل (۲۵ ــ ۴) توجه میکنیم

(ب): ولتاژ دو سر مدار تحریک شنت همان V_t است. لذا

$$I_f = \frac{V_t}{R_f} = \frac{125\ \text{V}}{125\ \Omega} = 1\ \text{A}$$

(ج): با توجه به اعداد فوق داریم

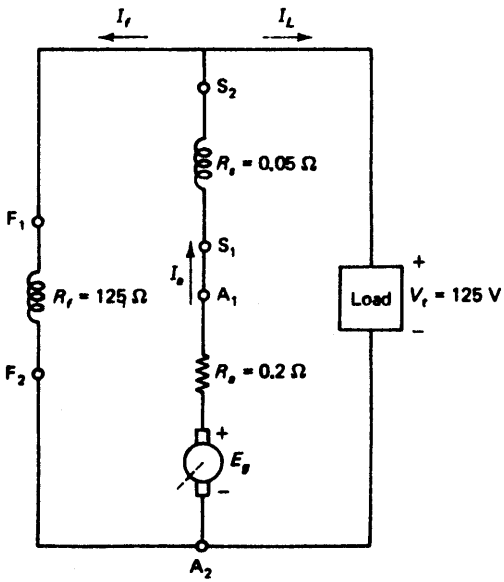
$$I_a = I_L + I_f$$

$$= 40\ \text{A} + 1\ \text{A} = 41\ \text{A}$$

(د): تلفات مس در مدار تحریک شنت عبارتست از

$$P_f = V_t I_f = 125\ \text{V} \times 1\ \text{A} = 125\ \text{W}$$

POWEREN.IR



شکل ۲۵ ــ ۴ : مدار مربوط به مثال ۱۵ ــ ۴

تلفات مس در آرمیچر عبارتست از

$$P_a = R_a I_a^2 = 0.2\ \Omega \times (41\ \text{A})^2 = 336.2\ \text{W}$$

تلفات مس در مدار تحریک سری عبارتست از

$$P_s = R_s I_a^2 = 0.05\ \Omega \times (41\ \text{A})^2 = 84.05\ \text{W}$$

پس

$$\text{total copper loss} = P_f + P_a + P_s = 545.25\ \text{W}$$

(هـ) : ابتدا توان ورودی را حساب میکنیم (با توجه به مطالب بخش ۵ ــ ۴)

$$\eta(\%) = \frac{P_o}{P_i} \times 100 \qquad 80 = \frac{5\ \text{kW}}{P_i} \times 100$$

پس

$$P_i = 5000 \times \frac{100}{80} = 6250\ \text{W}$$

از رابطه (۸ ــ ۴) داریم :

$$\text{total losses} = P_i - P_o = 6250\ \text{W} - 5000\ \text{W} = 1250\ \text{W}$$

POWEREN.IR

اما میدانیم :

تلفات توان سرگردان + تلفات مس = کل تلفات

لذا : stray power loss = 1250 W − 545.25 W = 704.75 W

۹ ــ ۴ موازی کردن (پارالل کردن) ژنراتورهای DC 4-9 PARALLEL OPERATION

معمولا " در صنعت رسم بر آنست که اگر یک ژنراتور DC بعلت نقص فنی از مدار خارج گردید ، بارهای DC موجود باید به عملکرد خود ادامه دهند . لذا معمولا " برای تغذیه بارهای DC چند ژنراتور DC را با هم موازی (پارالل) میسازند . در این حالت بار بین این ژنراتورها تقسیم شده واگر یکی از آنها بعللی از مدار خارج شود ، ژنراتورهای باقی مانده تمامی یا قسمتی از بار مربوط به ژنراتور معیوب را تامین خواهند نمود .

دلایل دیگر برای موازی کردن ژنراتورها وجود دارد که اهم آنها عبارتند از

الف ــ معمولا " تعمیرات (۱) سالیانه باید بر روی ژنراتورهای DC انجام گیرد . لذا باید به نوبت آنها را از مدار خارج کنیم . در نتیجه ژنراتورهای باقی مانده بار مربوط به ژنراتور تحت تعمیر را تامین خواهند کرد .

ب ــ معمولا " راندمان ژنراتور DC موقعی حداکثر است که در شرایط بار کامل کار کند در شرایطی که بار متغیر است از روش پارالل سازی استفاده میکنند . در هنگامیکه بار بسیار زیاد است چند ژنراتور موازی میشوند وهنگامیکه بار کم میشود ، برخی از آنها را از مدار خارج میکنند تا بقیه آنها بتوانند بار بیشتری را تامین کنند و بالنتیجه به بار کامل خود نزدیک شوند . لذا راندمان واحدهای باقی مانده بیشتر خواهد شد .

ج ــ اگر بار زیاد باشد ممکن است نتوانیم یک ژنراتور بزرگ برای تامین آن نصب کنیم ، بلکه شاید سهلتر آن باشد که چند ژنراتور کوچکتر بصورت موازی آن بار را تامین کنند .

هنگام موازی کردن ژنراتورهای DC باید به نکات ذیل توجه کرد .

۱ ــ ژنراتورها باید هم نوع انتخاب شوند (شنت یا کمپوند اضافی)

۲ ــ ولتاژ اسمی آنها باید یکسان باشد تا بتوان مطمئن بود که در تامین توان مورد نیاز مصرف کننده وار عمل خواهند شد

۳ ــ ترمینالهای هم نام ژنراتورها باید به یکدیگر متصل شوند .

---

1) maintenance

POWEREN.IR

در اینجا قدری درباره مفهوم شین (بـاس بار)[۱] صحبت میکنیم . شین‌ها معمولا " از میله‌های فلزی که هادی نیز هستند تشکیل شده و ولتاژ در طول شین‌ها یکسان میباشد . شین بینهایت (باس بار بینهایت)[۲] آنچنان شینی است که از نظر تئوری میتوان جریان نامحدودی را تامین کند بدون آنکه ولتاژ شین تغییر نماید . بعبارت دیگر در صد تنظیم ولتاژ شین بینهایت صفر درصد میباشد . در اینجا خاطر نشان میسازیم که اگر ولتاژ ژنراتور کمتر از ولتاژ شین باشد در اینصورت بعوض اینکه از طرف ژنراتور بطرف شین توان فرستاده شود ، ژنراتور از شین توان دریافت میکند (حالت موتوری) . اگر ولتاژ ژنراتور در حالت بی‌باری بیشتر از ولتاژ شین باشد ، توان از طرف ژنراتور بطرف شین فرستاده میشود .

۱ ــ ۹ ــ ۴ موازی کردن ژنراتورهای DC شنت

4-9.1 Shunt Generators in Parallel

موازی کردن ژنراتورهای شنت با یک شین یا بار مقاومتی بسیار پایدار بوده و تحلیل آن نیز بسیار ساده است . در هر دو حال تا آنجا که ولتاژ ترمینال ژنراتوری که میخواهیم وارد مدار سازیم مساوی یا قدری بیشتر از ژنراتورهای موجود باشد ، حالت پایدار حاصل می‌گردد و واحد جدید باردار میگردد . اگر دو ژنراتور که دارای مشخصه یکسان میباشند ، موازی گردند هر کدام‌نیمی از بار را تامین میکند . اگر مشخصه آنها متفاوت باشد هر کدام بخشی از بار را بر دوش میکشند . باید گفت‌که هنگامیکه ژنراتورها بحالت‌پایدار میرسند ، ولتاژ ترمینال آنها مساوی خواهد بود . علاوه بر این باید خاطر نشان ساخت که‌درسیستم موجود هیچگاه‌نباید ژنراتوری که ولتاژآن کمتر از ولتاژ سیستم فعلی باشد بصورت موازی وارد مدار گردد ،

اگر این کار را انجام دهیم ، در اینصورت ژنراتور فوق‌الذکر از سیستم توان میکشد و بمثابه یک بار تحمیلی خواهد بود (حالت موتوری) .

---

1) BUS-BAR 2) Infinite-bus-bar

POWEREN.IR

مثال ۱۶ ــ ۴ ***Example 4-16***

یک ژنراتور DC شنت با مشخصات زیر مفروض است

ولت ۲۳۰ = ولتاژ ترمینال ژنراتور در حالت بی‌باری

اهم ۰/۵ = مقاومت آرمیچر Ra

اهم ۱/۵ = مقاومت مدار تحریک شنت Rf

اگر این ژنراتور به شین ۲۱۰ ولتی وصل شود . محاسبات زیر را انجام دهید .

۱ ــ جریان ژنراتور پس از وصل شدن به شین

۲ ــ توان تحویل شده از طرف ژنراتور به شین

حل

برای سهولت امر ابتدا شکل سیستم را رسم میکنیم (شکل ۲۶ ــ ۴) حال E_g را قبل از وصل کردن ژنراتور به شین حساب میکنیم .

$$I_f = \frac{V_t}{R_f} = \frac{230\ \text{V}}{115\ \Omega} = 2\ \text{A}$$

$$I_a = I_f = 2\ \text{A}$$

پس

$$E_g = V_t + I_a R_a$$

$$E_g = 230\ \text{V} + 2\ \text{A} \times 0.5\ \Omega = 231\ \text{V}$$

پس ازاینکه کلید بسته شود (ژنراتور به شین وصل شود) در اینصورت ولتاژ ترمینال ژنراتور معادل ولتاژ شین میشود ، لذا

$$I_f = \frac{V_t}{R_f} = \frac{210\ \text{V}}{115\ \Omega} = 1.83\ \text{A}$$

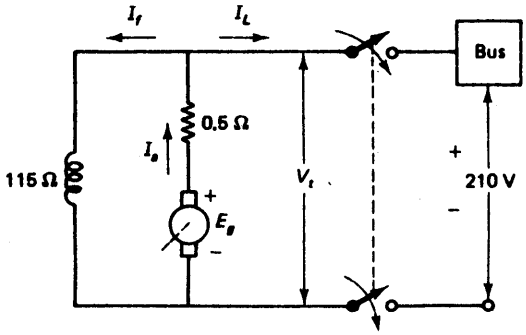
$$I_a = \frac{E_g - V_t}{R_a} = \frac{(231 - 210)\ \text{V}}{0.5\ \Omega}$$

$$= \frac{21\ \text{V}}{0.5\ \Omega} = 42\ \text{A}$$

$$I_L = I_a - I_f = 42\ \text{A} - 1.83\ \text{A} = 40.17\ \text{A}$$

$$P = V_t I_L = 210\ \text{V} \times 40.17\ \text{A} = 8435.7\ \text{W}$$

POWEREN.IR



شکل ۲۶ ــ ۴ : مدار مربوط به مثال ۱۶ ــ ۴

مثال ۱۷ ــ ۴ ***Example 4-17***

یک ژنراتور DC شنت مفروض است (ژنراتور شماره ۱) . این ژنراتور یک بار متغیر را تغذیه میکند . هنگامیکه بار تحت ولتاژ ۱۲۰ ولت به ۱۰ آمپر افزایش یابد ، ژنراتور شنت دیگری بصورت موازی با ژنراتور اولیه وارد مدار میشود تا قسمتی از بار را تامین نماید و بالنتیجه از گرم شدن ژنراتور اول بکاهد . مطلوبست محاسبه بار تامین شده از طرف هر ژنراتور . جدول (۷ ــ ۴) مشخصات سیستم را نشان میدهد .

Table 4-7 **جدول ۷ ــ ۴**

Generator 1	Generator 2
$R_f = 100\ \Omega$	$R_f = 100\ \Omega$
$R_a = 0.98\ \Omega$	$R_a = 1\ \Omega$
$E_g = 131$ V	$E_g = 128$ V

حل

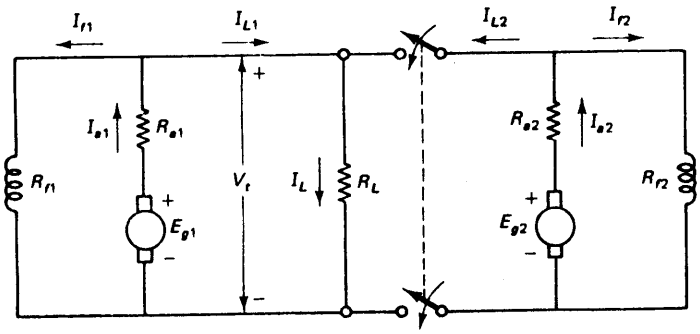
از آنجائیکه ژنراتورها به بار متصل اند و به شین متصل نمیشوند ، لذا ولتاژ ترمینال ثابت نبوده و تغییر میکند . برای حل این مساله باید مقاومت بار هنگامیکه ژنراتورها بهم وصل میشوند ، محاسبه گردد و با توجه بصورت مساله و شکل (۲۷ ــ ۴) داریم .

$$R_L = \frac{V_t}{I_L} = \frac{120\ \text{V}}{10\ \text{A}} = 12\ \Omega$$

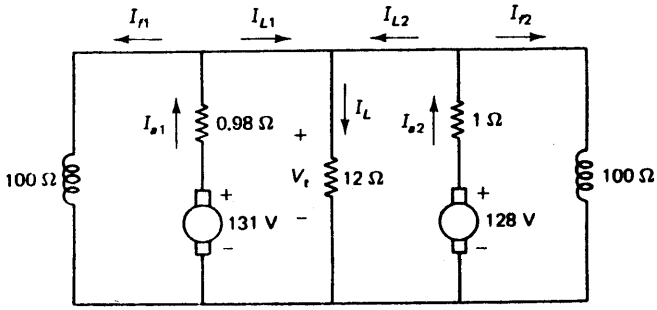
حال میتوان با دانستن پارامترهای سیستم (جدول ۷ ــ ۴) مدار معادل این سیستم را رسم نمود (شکل ۲۸ ــ ۴) می‌بینیم مساله به یک مدار ساده DC تبدیل شده است با

POWEREN.IR

روشهای متعددی می‌توان V_t و I_L را حساب کرد.



شکل ۲۷ ــ ۴: مدار مربوط به مثال ۱۷ ــ ۴



شکل ۲۸ ــ ۴: مدار معادل مربوط به مثال ۱۷ ــ ۴

ابتدا مدار معادل نورتن شکل (۲۸ ــ ۴) را رسم میکنیم (شکل a ۲۹ ــ ۴) حال شکل (a ۲۹ ــ ۴) را ساده کرده و بصورت (b ۲۹ ــ ۴) درمی‌آوریم. با توجه بشکل (b۲۹ ــ ۴) داریم:

$$I_L = \frac{261.67\ \text{A} \times 0.49\ \Omega}{12.49\ \Omega} = 10.266\ \text{A}$$

$$V_t = R_L I_L = 12\ \Omega \times 10.266\ \text{A} = 123.2\ \text{V}$$

حال دوباره بشکل (۲۸ ــ ۴) برمیگردیم و سایر جریانها را حساب میکنیم

$$I_{f1} = I_{f2} = \frac{V_t}{100\ \Omega} = 1.232\ \text{A}$$

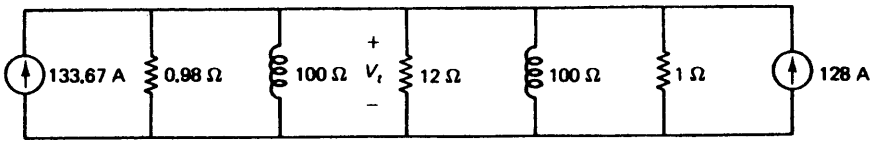
$$I_{a1} = \frac{131\ \text{V} - V_t}{0.98\ \Omega} = 7.96\ \text{A}$$

POWEREN.IR

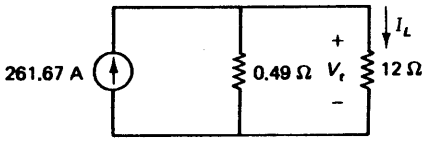
$$I_{L1} = I_{a1} - I_{f1} = 7.96\ \text{A} - 1.232\ \text{A} = 6.73\ \text{A}$$

$$I_{a2} = \frac{128\ \text{V} - V_t}{1\ \Omega} = 4.8\ \text{A}$$

$$I_{L2} = I_{a2} - I_{f2} = 4.8\ A - 1.232\ A = 3.57\ A$$



(a)



(b)

شکل ۲۹ ــ ۴:

a : مدار نورتن شکل ۲۸ ــ ۴

b : مدار نورتن ساده شده

POWEREN.IR

۲ ـ ۹ ـ ۴ موازی کردن ژنراتورهای DC کمپوند

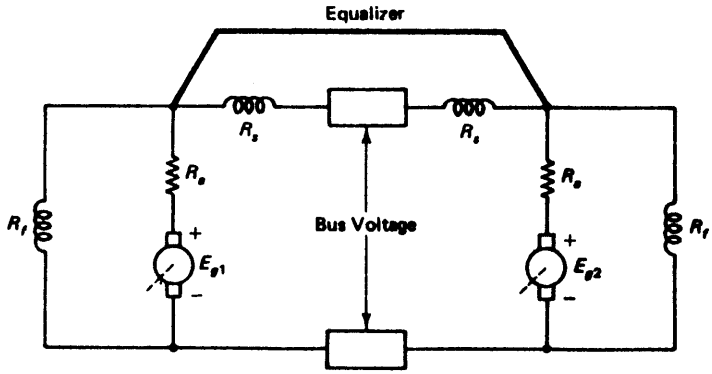
4-9.2 Compound Generators in Parallel

اگر نزول مشخصه‌های ژنراتورهای DC کمپوند مشابه ژنراتورهای DC شنت باشد، در اینصورت اتصال موازی اینگونه ژنراتورها نیز پایدار است. در اینصورت بار بین ژنراتورها تقسیم شده و از اضافه بار هر واحد جلوگیری خواهد شد. اما باید گفت در حالتی که ژنراتورها فوق کمپوند باشند، ممکن است شرایط ناپایداری حاصل گردد. دو ژنراتور موازی DC کمپوند را در نظر میگیریم و فرض میکنیم مشغول تامین بار هستند. اگر اختلال ناگهانی پدیدار شود و باعث گردد ولتاژ تولید شده در ژنراتور شماره ۱ زیاد شود، در اینصورت ژنراتور شماره ۱ مایلست بار بیشتری را تغذیه کند. در اثر این امر جریان سیم پیچ تحریک یک سری در واحد شماره ۱ زیادتر شده که خود ولتاژ تولید شده در ماشین را افزونتر میسازد و این پروسس دائما" تکرار میگردد. در این شرایط که واحد شماره ۱ بار بیشتری را دائما" "برعهده میگیرد، بار واحد شماره ۲ دائما" کاهش مییابد. با از دست رفتن بار واحد شماره۲ شار تحریک سری در واحد ۲ رو به کاهش میرود و در نتیجه ولتاژ تولید شده در ماشین شماره ۲ نیزکاهش‌پیدا میکند. باید گفت این کاهش ولتاژ باعث میگردد که ماشین شماره ۲ بار کمتری را تغذیه کند و در نتیجه شار بنحو چشمگیرتری پائین بیاید. اگر دو پروسس فوق‌الذکر شروع شد، بالاخره بجائی میرسیم که واحد شماره ۱ تمامی بار را تامین کرده و واحد شماره ۲ بی‌بار میشود. در حالت بحرانی که مدارهای حفاظتی مثل مدار شکن در مدار نباشد، واحد شماره ۲ ممکن است بصورت موتور عمل نماید. البته ممکن است قبل از اینکه حالت موتوری واحد ۲ پدیدار گردد، واحد ۱ بحالت اشباع برود و سیکل پروسس فوق‌الذکر متوقف شود. برای پایدار کردن شرایط فوق‌الذکر، از سیم متعادل کننده(۱) استفاده میشود که یک سیم نسبتا" کلفت با مقاومت ناچیز (حدود صفر) میباشد. عمل متعادل کننده آن است که اگر ولتاژ تولید شده در یک ژنراتور بالا رفت، شار مدار تحریک سری ژنراتور دیگر افزایش یابد. شکل (۳۰ ـ ۴) شمای متعادل کننده را نشان میدهد.

با وجود متعادل کننده ولتاژ آرمیچرها همواره یکسان میشود، لذا ولتاژ دو سر هر دو مدار تحریک سری‌نیز مشابه خواهد بود. در حالت عادی جریان در متعادل کننده صفر است.

1) Equilizer

POWEREN.IR



شکل ۳۰ ــ ۴ موازی کردن ژنراتورهای DC کمپوند

حال اگر اختلالی پیش آید و فی‌المثل E_{g_1} زیاد شود ، ولتاژ آرمیچر واحد شماره ۱ زیاد میشود . از آنجائیکه ولتاژ آرمیچر ژنراتور ۱ بیش از ولتاژ آرمیچر در ژنراتور شماره ۲ میگردد ، لذا از طریق متعادل کننده جریان بسمت مدار تحریک سری واحد شماره ۲ سرازیر میشود (چرا؟) . این امر باعث میشود که E_{g_2} نیز زیادتر شود تا بالاخره ولتاژ آرمیچر دو واحد ۱ و ۲ یکسان شوند .

مثال ۱۸ ــ ۴ ***Example 4-18***

دو ژنراتور DC کمپوند با شنت کوتاه مفروض است و در شرایط فوق کمپوند قرار دارند . مشخصات دو ژنراتور در جدول (۸ ــ ۴) آمده است . مشخصه‌های این دو ژنراتور قدری با هم متفاوت‌اند و متعادل کننده نیز در مدار قرار دارد و ولتاژهای آرمیچرها برابرند . اگر این دو ژنراتور به شین ۲۱۰ ولتی متصل باشند ، بار هر کدام را حساب کنید (شکل ۳۰ ــ ۴) .

Table 4-8 **جدول ۸ ــ ۴**

Unit 1	Unit 2
$R_f = 100\ \Omega$	$R_f = 100\ \Omega$
$R_a = 1\ \Omega$	$R_a = 1\ \Omega$
$R_s = 0.5\ \Omega$	$R_s = 0.4\ \Omega$
$E_g = 234$ V	$E_g = 234$ V

POWEREN.IR

حل

ابتدا شکل (۳۱ ــ ۴) را رسم میکنیم که مشابه شکل (۳۰ ــ ۴) میباشد . بر روی شکل جدید تمام مقادیر معلوم و مجهول را مشخص میسازیم . برای ژنراتور شماره ۱ داریم

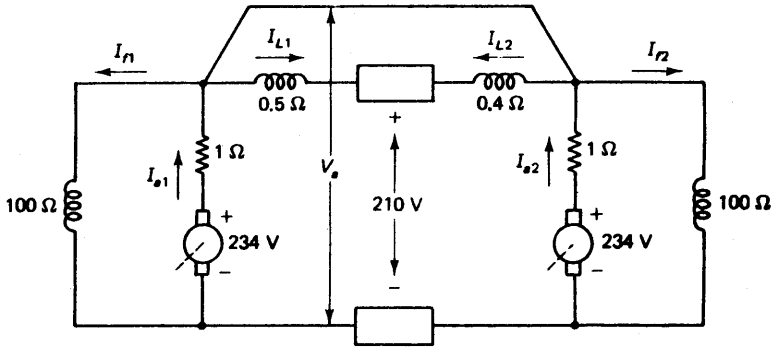
$$I_{f1} = \frac{V_a}{100\ \Omega} \qquad (4\text{-}10)$$

$$I_{L1} = \frac{V_a - 210\ \text{V}}{0.5\ \Omega} \qquad (4\text{-}11)$$

$$I_{a1} = \frac{234\ \text{V} - V_a}{1\ \Omega} \qquad (4\text{-}12)$$

چون جریان در متعادل کننده صفر است ، لذا

$$I_{a1} = I_{L1} + I_{f1} \qquad (4\text{-}13)$$



شکل ۳۱ ــ ۴ : مدار مربوط به مثال ۱۸ ــ ۴

با جایگزینی سه‌رابطه (۱۰ ــ ۴) ، (۱۱ ــ ۴) ، (۱۲ ــ ۴) در معادله (۱۳ ــ ۴) داریم

$$\frac{234 - V_a}{1} = \frac{V_a - 210}{0.5} + \frac{V_a}{100}$$

پس

$$234 - V_a = 2V_a - 420 + \frac{V_a}{100}$$

$$654 = 3V_a + \frac{V_a}{100}$$

$$65{,}400 = 300V_a + V_a$$

POWEREN.IR

$$65{,}400 = 301V_a$$

$$V_a = 217.28 \text{ V}$$

در نتیجه

$$I_{L1} = \frac{V_a - 210 \text{ V}}{0.5}$$

$$= \frac{217.28 - 210}{0.5}$$

$$= 14.56 \text{ A}$$

و

$$I_{L2} = \frac{V_a - 210 \text{ V}}{0.4}$$

$$= \frac{217.28 - 210}{0.4}$$

$$= 18.2 \text{ A}$$

با آنکه در عمل میتوان واحدهای مشابهی را انتخاب و موازی نمود ، اما همواره تفاوتهای کوچکی وجود دارد که باعث عدم توزیع یکنواخت بار بین دو واحد میگردد . برای جبران این عدم تعادل یک منحرف کننده سری (دیورتور) با سیم پیچهای تحریک سری موازی مینمایند . با تنظیم دقیق منحرف کننده‌ها (دیورتور) میتوان سیستم را طوری تنظیم کرد که هر دو واحد بار مشابهی را تغذیه نمایند .

POWEREN.IR

SYMBOLS INTRODUCED IN CHAPTER 4

	Symbol	Definition	Units: English and SI
۱	E_g	Generated voltage	volts
۲	V_t	Terminal voltage	volts
۳	V_{NL}	Terminal voltage at no load	volts
۴	V_{FL}	Terminal voltage at full (rated) load	volts
۵	V_a	Armature voltage	volts
۶	I_f	Shunt-field current	amperes
۷	I_a	Armature current	amperes
۸	I_s	Series-field current	amperes
۹	I_L	Load current	amperes
۱۰	R_f	Shunt-field resistance	ohms
۱۱	R_a	Armature resistance	ohms
۱۲	R_s	Series-field resistance	ohms
۱۳	P_f	Shunt-field power loss	watts
۱۴	P_{arm}	Armature power loss	watts
۱۵	P_{Cu}	Total copper losses	watts
۱۶	P_s	Series-field power loss	watts
۱۷	η	Efficiency	percent
۱۸	V.R.	Voltage regulation	percent
۱۹	P_i	Generator input power	hp or watts
۲۰	P_o	Generator output power	watts

علائم اختصاری بکار برده شده در فصل ۴

۱ ــ ولتاژ تولید شده در درون ژنراتور ۲ ــ ولتاژ ترمینال ۳ ــ ولتاژ ترمینال در حالت بی‌باری ۴ ــ ولتاژ ترمینال دربار کامل (بار اسمی) ۵ ــ ولتاژ ارمیچر ۶ ــ جریان تحریک شنت ۷ ــ جریان ارمیچر ۸ ــ جریان تحریک سری. ۹ ــ جریان بار ۱۰ ــ مقاومت تحریک شنت ۱۱ ــ مقاومت ارمیچر ۱۲ ــ مقاومت تحریک‌سری ۱۳ ــ تلفات مس در مدار تحریک شنت ۱۴ ــ تلفات مس در ارمیچر ۱۵ ــ کل تفات مسی در ژنراتور ۱۶ ــ تلفات مس در مدار تحریک سری ۱۷ ــ راندمان

۱۸ ــ تنظیم ولتاژ

۱۹ ــ نیروی ورودی ژنراتور

۲۰ ــ نیروی خروجی ژنراتور

POWEREN.IR

POWEREN.IR

فصل پنجم

موتورهای DC

۵۴ صفحه

DC MOTOR CHARACTERISTICS

POWEREN.IR

PowerEn.ir

POWEREN.IR

موتورهای DC

مقدمه

در بررسی موتورهای DC از همان روشهای فصل ۴ (ژنراتورهای DC) استفاده میکنیم . بعبارت ساده‌تر در این فصل نیز برای موتورهای DC مدارهای معادل ساده‌ای معرفی کرده و برای آنها روابط سهلی بدست می‌آوریم . اما باید خاطر نشان ساخت که موتورها با ژنراتورها از نظر عملکرد متفاوت‌اند . بعبارت ساده‌تر در ژنراتورها توان الکتریکی از ژنراتور تحویل مصرف کننده میشود ، اما در موتورها بر عکس توان الکتریکی از شبکه اخذ شده و به توان مکانیکی تبدیل میشود . چون توان مکانیکی حاصله بر روی محور برای ما مفید است لذا توان موتورها اکثرا" بر حسب اسب بخار (سیستم ENG) یا کیلو وات (سیستم SI) بیان میشود . هم چنین باید گفت که جهت جریان در موتورها بر عکس ژنراتورها میباشد . علت این امر آن است که همانطور که گفتیم موتورها توان از شبکه اخذ میکنند .

۱ ــ ۵ معادله موتور DC — 5-1 BASIC MOTOR EQUATION

در فصل ۱ اصول تولید گشتاور (کوپل) را مورد بحث قرار دادیم . همچنین دیدیم که طبق معادلات (۹ ــ ۲) میتوان گشتاور ماکزیمم [1] برای یک هادی در حال دوران بدست آورد . همچنین میتوان معادلات (۹ ــ ۲) را تعمیم داد و گشتاور (کوپل) متوسط [2] را برای یک دور کامل بدست آورد علاوه بر این میتوان تمامی پارامترهای ثابت در معادله گشتاور را از قبیل طول ، تعداد هادیها ، شعاع آرمیچر ، سطح مقطع هسته و غیره را یک کاسه نمود و بصورت پارامتر ثابتی نشان داد . در اینصورت معادله (۱ ــ ۵) حاصل میشود که گشتاور متوسط حاصله توسط دوران آرمیچر را نشان میدهد .

$$\boxed{T = K\phi I_a} \qquad (5\text{-}1)$$

در رابطه اخیر ، K عدد ثابتی است و به پارامترهای فیزیکی موتور بستگی دارد . باید گفت که مقدار K در دو سیستم ENG و SI متفاوت میباشد و همچنین

---

1) Maximum-Torque 2) Average-Torque

POWEREN.IR

در رابطه (۱ ــ ۵) باید به‌واحد شار (ϕ) در دو سیستم آحادی فوق‌الذکر توجه نمود .
در اینجا یادآور میشویم که در معادله (۱ ــ ۵) ، I_a آن جریان آرمیچر است .

رابطه (۱ ــ ۵) در درک رفتار موتور بسیار مهم است و در این فصل با این معادله بسیار سروکار داریم . از این رابطه در مییابیم که

الف ــ کوپل حاصله[1] توسط موتور DC با شار هسته نسبت مستقیم دارد

ب ــ کوپل حاصله توسط موتور DC با جریان آرمیچر نسبت مستقیم خواهد داشت .

در درس مکانیک اجسام دوار خواندیم که:

$$\alpha = \frac{T}{J} \qquad (5\text{-}2)$$

که در آن

(α) شتاب زاویه‌ای جسم دوار (مانند آرمیچر) میباشد . لذا درمییابیم که α با گشتاور اعمال شده T نسبت مستقیم داشته و با ممان اینرسی[2] (لنگر لختی) جسم دوار نسبت معکوس دارد (J ممان اینرسی میباشد) . رابطه (۲ ــ ۵) در دو سیستم آحادی ENG و SI معتبر است ولی فعلا" از ذکر آحاد مربوط به این معادله در این دو سیستم خودداری میکنیم .

۱ ــ ۱ ــ ۵ رابطه بین گشتاور (کوپل) و توان

5-1.1 Relationship between Torque and Power

هنگامیکه با موتورهای DC سروکار داریم ، کمیت خروجی آن گشتاور یا توان میباشد و البته مشخص‌کردن یکی از این دو کمیت به موارد استعمال موتور بستگی دارد . هنگامیکه یکی از این دوکمیت معلوم باشد ، باید قادر باشیم دیگری را محاسبه کنیم و باید دقت کرد که این دو کمیت ماهیتا" متفاوت هستند ، باید گفت که:

الف ــ توان ، میزان کار انجام شده در یک مدت زمان مشخص میباشد .

ب ــ گشتاور مقیاس برای اندازه‌گیری سرعت چرخش جسم دوار میباشد (رابطه ۲ ــ ۵)

رابطه گشتاور و توان اینچنین است

در سیستم (ENG) داریم

$$T = \frac{7.04P}{S} \qquad (5\text{-}3a)$$

1) Developed-Torque 2) Moment-of-Inertia

POWEREN.IR

در سیستم (SI) داریم

$$T = \frac{1000P}{\omega} \qquad (5\text{-}3b)$$

هنگام استفاده از روابط اخیر باید به آحاد ذکر شده در جدول (۱ ــ ۵) توجه نمود . باید خاطر نشان ساخت که در این روابط اگر P توان حاصله توسط موتور باشد ، T گشتاور حاصله بوده و اگر P توان خروجی موتور منظور شود ، T گشتاور خروجی خواهد بود در همین فصل (بخش ۵ ــ ۵) خواهیم دید که توان حاصله و توان خروجی با هم کاملا" متفاوت اند .

Table 5-1 جدول ۱ ــ ۵

English (Eq. 5-3a)	SI (Eq. 5-3b)
P watts	P kilowatts
S rev/min	ω rad/s
T ft-lb	T N-m

Example 5-1 (English) مثال ۱ ــ ۵ (سیستم ENG

اگر گشتاور خروجی (۱) موتوری دربار کامل (۲) ۵۰ فوت ــ پوند باشد ، توان اسمی موتور را در دو سرعت زیر بر حسب اسب بخار بدست آورید .

(الف) : ۱۸۰۰ دور در دقیقه

(ب) : ۶۰۰ دور در دقیقه

حل

از رابطه (۳a ــ ۵) داریم

$$P = T \times \frac{S}{7.04}$$

(الف) : لذا

$$P = 50 \text{ ft-lb} \times \frac{1800 \text{ rev/min}}{7.04}$$

$$= 12{,}784 \text{ W}$$

$$P = \frac{12{,}784 \text{ W}}{746 \text{ W/hp}} = 17.14 \text{ hp}$$

1) OUTPUT-TOrque 2) Full-load

POWEREN.IR

(ب) : همچنین

$$P = 50 \text{ ft-lb} \times \frac{600 \text{ rev/mir}}{7.04}$$

$$= 4261.4 \text{ W}$$

$$P = \frac{4261.4 \text{ W}}{746 \text{ W/hp}}$$

$$= 5.71 \text{ hp}$$

مثال ۲ ــ ۵ (سیستم SI) ***Example 5-2 (SI)***

اگر گشتاور خروجی موتوری دربار کامل ۷۰ نیــوتن ــ متر باشد توان اسمی موتور را در دو سرعت زیر بر حسب کیلو وات حساب کنید .

(الف) : ۲۱۰ رادیان بر ثانیه

(ب) : ۷۰ رادیان بر ثانیه

حل

از رابطه (۳b ــ ۵) داریم

$$P = T \times \frac{\omega}{1000}$$

(الف) : لذا

$$P = 70 \text{ N-m} \times \frac{210 \text{ rad/s}}{1000}$$

$$= 14.7 \text{ kW}$$

(ب) : همچنین

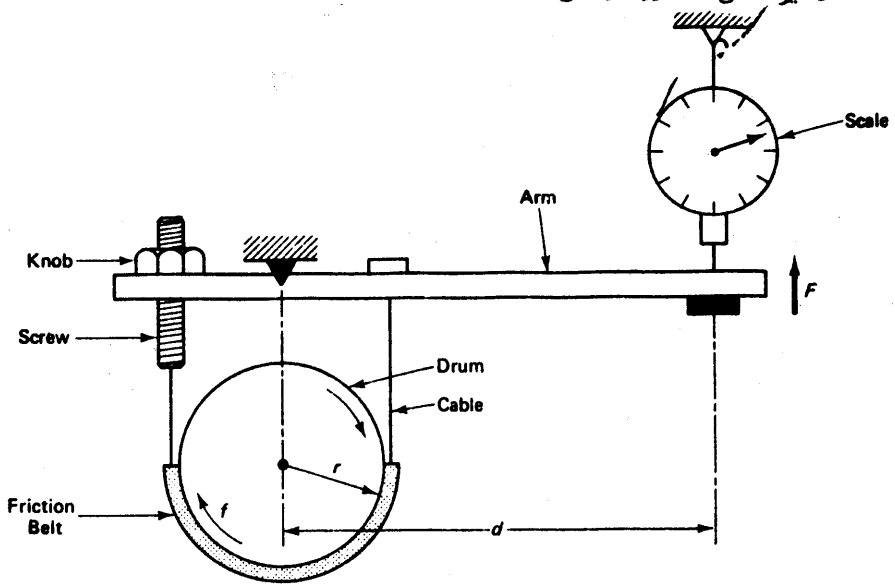
$$P = 70 \text{ N-m} \times \frac{70 \text{ rad/s}}{1000} = 4.9 \text{ kW}$$

۲ ــ ۱ ــ ۵ اندازه‌گیری گشتاور (کوپل) *5-1.2 Measurement of Torque*

هرگاه موتوری DC را مورد آزمایش قرار دهیم ، اولین نکته‌ای که توجه ما را بخود معطوف میکند همان توان خروجی موتور DC است . اما باید گفت‌که اندازه‌گیری توان قدری پیچیده است . اما اگر گشتاور خروجی را اندازه بگیریم در اینصورت میتوان با استفاده‌از روابط (۳ ــ ۵) ، توان مربوطه را بدست آورد . ساده‌ترین روش اندازه‌گیری گشتاور استفاده از سیستم ترمزی شکل (۱ ــ ۵) میباشد . موتور را در پشــت تــرمــز قــرار

POWEREN.IR

میدهیم (۱) و محور آن را به استوانه وصل میکنیم . برای وضعیت نشان داده شده در شکل ، موتور باید در جهت عقربه‌های ساعت (۲) (CW) بچرخد . هنگامیکه موتور استوانه را میچرخاند ، با بازی‌کردن با پیچ (۳) و مهره (۴) نشان داده شده ، کمر بند اصطکاک (۵) را بدور استوانه سفت‌تر مینمائیم . لذا باید گشتاور بیشتری در خروجی ماشین ظاهر شود تا بر گشتاور مخالف که همان گشتاور تولید شده توسط اصطکاک کمربند بدور استوانه میباشد فائق گردد . این گشتاور $(f \times r)$ بوسیله کابل به بازوی اهرم منتقل میشود . چون اهرم در تعادل قرار دارد ،لذا $f \times r$ باید با Fxd مساوی باشد (F نیروی نشان داده شده توسط ترازوست) . اما میدانیم $(f \times r)$ همان گشتاور خروجی موتور است . لذا $F \times d$ نیز همان گشتاور خروجی خواهد بود



شکل ۱ ــ ۵ : سیستم ترمز برای اندازه‌گیری گشتاور

مثال ۳ ــ ۵ (سیستم ENG) ***Example 5-3 (English)***

سیستم ترمزی مطابق شکل (۱ ــ ۵) مفروض است و برای اندازه‌گیری توان خروجی موتور DC بکار میرود . در تحت بار تنظیم شده‌ای سرعت ۱۲۰۰ دور دردقیقه میباشد و

---

1) Brake 2) Clockwise 3) Screw
4) Knob 5) Friction-belt

POWEREN.IR

ترازو نیروی ۱۶ پوند را نشان میدهد. مطلوبست محاسبه توان خروجی موتور بر حسب اسب بخار مشروط بر آنکه فاصله d معادل ۰/۵ فوت باشد.

حل

ابتدا گشتاور خروجی را حساب میکنیم

$$T_o = F \times d = 16 \text{ lb} \times 0.5 \text{ ft} = 8 \text{ ft-lb}$$

حال از رابطه (۵ – ۳a) داریم

$$P_o = T_o \times \frac{S}{7.04}$$

$$= 8 \text{ ft-lb} \times \frac{1200 \text{ rev/min}}{7.04}$$

$$= 1363.64 \text{ W}$$

$$= \frac{1363.64 \text{ W}}{746 \text{ W/hp}} = 1.83 \text{ hp}$$

مثال ۴ – ۵ (سیستم SI) ***Example 5-4 (SI)***

سیستم ترمزی مطابق شکل (۱ – ۵) مفروض است و برای اندازه‌گیری توان خروجی موتور DC بکار میرود. در تحت بار تنظیم شده‌ای سرعت ۱۰۰ رادیان بر ثانیه میباشد و ترازو و نیروی ۵۰ نیوتن را نشان میدهد. توان خروجی موتور را بر حسب کیلو وات حساب کنید مشروط بر آنکه فاصله d معادل ۲۰ سانتیمتر باشد.

حل

ابتدا گشتاور خروجی را بدست می‌آوریم

$$T_o = F \times d = 50 \text{ N} \times 0.2 \text{ m}$$

$$= 10 \text{ N-m}$$

حال از رابطه (۵ – ۳b) داریم

$$P_o = T_o \times \frac{\omega}{1000}$$

$$= 10 \text{ N-m} \times \frac{100 \text{ rad/s}}{1000}$$

$$= 1 \text{ kW}$$

POWEREN.IR

۲ ـ ۵ ـ نیروی ضد محرکه (BEMF)

5-2 BACK ELECTROMOTIVE FORCE (BACK EMF)

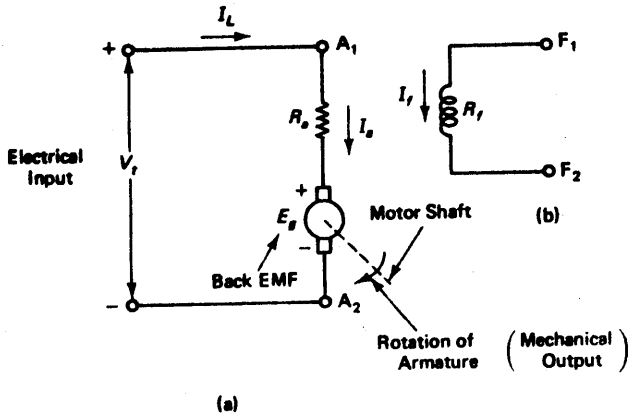
میدانیم که اگر به دو سر آرمیچر ولتاژ اعمال گردد ، از سیمهای آرمیچر جریان میگذرد . همچنین دریافتیم که اگر آرمیچر حاوی جریان درون یک میدان مغناطیس قرار گیرد ، گشتاور (کوپل) حاصل میشود (رابطه ۱ ـ ۵) . علاوه بر این دیدیم اگر گشتاور (کوپل) به یک جسم که قابلیت دوران دارد اعمال شود ، این جسم شتاب میگیرد و سرعت آن بالا می‌رود . (رابطه ۲ ـ ۵) ، تمام مطالب فوق الذکر برای موتورهای DC صادق است . یعنی هرگاه ولتاژ به دو سر ترمینال موتور اعمال شود جریان در موتور برقرار میگردد . این جریان باعث بوجود آمدن گشتاور شده که در اثر آن محور موتور به دوران می‌آید . اما در این تحلیل ما یک نکته را ذکر نکرده‌ایم و آن این است که آیا هنگام اعمال ولتاژ ، شتاب موتور دائمی است ؟ یعنی آیا سرعت موتور دائما " افزایش میابد ؟ اما این واقعیت وجود دارد که سرعت موتور بینهایت نمیشود و بالاخره موتور تحت سرعت معینی خواهد چرخید و شتاب موتور متوقف میگردد حال این مطلب را از جهت عکس مورد مطالعه قرار میدهیم . یعنی هنگامیکه سرعت معین و ثابت است . لذا شتاب صفر میباشد . با توجه به رابطه (۲ ـ ۵) در میابیم که در اینحال گشتاور نیز باید صفر باشد . اگر فرض کنیم که شار وجود داشته باشد ، لذا طبق رابطه (۱ ـ ۵) در میابیم که از نظر تئوری جریان آرمیچر نیز باید هنگامیکه موتور تحت سرعت ثابتی میچرخد صفر باشد . البته بعدا " در این فصل ثابت میکنیم که حتی موقعی که شتاب صفر است جریان آرمیچر برقرار خواهد بود . لذا از صفر شدن تئوریک جریان نتیجه میگیریم که باید ولتاژ دیگری مساوی ولی در جهت مخالف ولتاژ شبکه در بحث ما وارد گردد . این ولتاژ مخالف را نیروی ضد محرکه یا BEMF مینامند . در این مرحله ، تئوری ژنراتورهای DC را بخاطر می‌آوریم . دیدیم که اگر هادیها در میدان مغناطیسی بدوران درآیند ، ولتاژ تولید خواهد شد و اگر هادیها شار را سریعتر قطع کنند ، ولتاژ تولید شده نیز افزایش میابد .

از نظر تئوری در حالت موتوری ، ولتاژ اعمال شده باعث برقراری جریان در آرمیچر میشود و لذا گشتاور حاصل میگردد . این گشتاور باعث شتاب موتور خواهد شد . با سرعت گرفتن موتور نیروی ضد محرکه (BEMF) افزایش میابد تا بالاخره مساوی و

POWEREN.IR

مخالف ولتاژ شبکه تغذیه موتور شود . در این مرحله جریان آرمیچر و گشتاور صفر شده و شتاب موتور نیز متوقف میشود (شتاب صفر) در نتیجه موتور با سرعت ثابتی میچرخد . اما واقع امرآن است‌که جریان آرمیچر صفر نشده بلکه بسیار کم خواهد بود . و گشتاور کمی نیز برای جبران اصطکاک داخلی موتور باقی خواهد ماند در اینجا خاطر نشان می‌سازیم که با استفاده‌ازقانون‌دست راست فلمینگ درخواهیم یافت که این پلارتیه ولتاژ با جریان ارمیچر که باعث به دوران آمدن موتوری گردد مخالف است .

همچنین متذکرمی‌شویم که در عمل BEMF با ولتاژ ترمینال موتور هیچگاه مساوی نمی‌شود و حتی درحالت بی‌باری اختلاف جزئی وجود دارد تا جریان کمی برای ایجاد گردد گشتاور بدست آید تا محور ماشین به دوران خود ادامه دهد .



شکل ۲ – ۵ : طرز نمایش موتور

a : مدار ارمیچر

b : مدار تحریک

۳ – ۵ مدار معادل موتور 5-3 EQUIVALENT CIRCUIT OF A DC MOTOR

با دانستن مفهوم نیروی ضد محرکه (BEMF) میتوان مدار معادل موتور DC را بدست آورد . شکل (۲ – ۵) یک موتور DC با تحریک جداگانه را نشان میدهد . اگر

POWEREN.IR

POWEREN.IR

آنرا با مدار معادل ژنراتور مقایسه کنیم (شکل ۴ ـ ۴) مشاهده میشود که این دو مدار تقریبا" مشابه‌اند . فقط سه فرق عمده بین آنها وجود دارد .

الف: در ژنراتور Vt ولتاژ ترمینال بوده و به آن بار متصل میشود ولی در موتور Vt همان ولتاژ شبکه تغذیه موتور است . لذا جهت جریان در ژنراتور از طرف ژنراتور بطرف بار و در موتور از طرف شبکه بطرف موتور است .

ب: در ژنراتور به محور ماشین توان مکانیکی اعمال میشود ولی در موتورها توان مکانیکی بر روی محور موتور حاصل میگردد .

ج: در ژنراتور Eg بزرگتر از Vt بوده ولی در موتورها Vt بزرگتر از Eg است . البته در ژنراتور به Eg ولتاژ تولید شده و در موتور به E_g نیروی ضد محرکه (BEMF) گفته میشود . باید گفت که:

۱ ـ در ژنراتورها به I_L جریان بار میگویند .

۲ ـ در موتورها به I_L جریان خط گفته میشود .

همچنین خاطرنشان میسازیم که R_f ، Ra ، If ، Ia ، در موتورها همان معنی را دارندکه در ژنراتورها درباره آنها گفتیم یعنی:

۱ ـ Rf : مقاومت مدار تحریک

۲ ـ Ra : مقاومت آرمیچر

۳ ـ If : جریان تحریک

۴ ـ Ia : جریان آرمیچر

۱ ـ ۳ ـ ۵ رفتار موتور DC در تحت شرایط بارداری (موتور DC با تحریک جداگانه)

5-3.1 Behavior of the Motor under Load

فرض میکنیم به محور موتور نشان داده شده در شکل (۲ ـ ۵) هیچگونه باری متصل نباشد (حالت بی‌باری) [1] و موتور در حالت پایدار ومانا [2] تحت سرعت مشخصی بچرخد . در اینحالت Vt قدری بیشتر از Eg است و جریان آرمیچر عبارت است از:

$$I_a = \frac{V_t - E_g}{R_a} \qquad (5\text{-}4)$$

1) NO-Load 2) Steady-State

POWEREN.IR

POWEREN.IR

این جریان ناچیز گشتاور کمی را تولید میکند که بر اصطکاک داخلی موتور فائق میشود ، البته فرض بر آن است که شار ثابت باشد . حال اگر به محور موتور بار اعمال شود (بار موتور از نوع مکانیکی است) ، در اینصورت سرعت موتور کاهش پیدا میکند . چون نیروی ضد محرکه (Eg) تابعی از سرعت است (رابطه (۱ ــ ۴)) ، Eg نیز کم میشود . با توجه به رابطه (۴ ــ ۵) در مییابیم که با کاهش Eg ، جریان Ia زیاد میشود . با افزایش جریان آرمیچر گشتاور نیز افزوده میگردد . این پروسس آنقدر ادامه مییابد که موتور به سرعتی برسد تا در آن سرعت گشتاور موتور بتواند بار را ارضا کند . حال اگر یکباره بار را از روی موتور برداریم ، در اینصورت گشتاور نسبتا " قوی موجود در ماشین ، موتور را شتاب داده تا بسرعت اولیه (حالت بی‌باری) برسیم .

۲ ــ ۳ ــ ۵ منحنی گشتاور سرعت (منحنی TS) :

5-3.2 Torque–Speed Curve

برای اینکه بحث فوق را بصورت ترسیمی تشریح کنیم ، میتوان منحنی گشتاور سرعت (TS) موتور را رسم نمود . البته در این بحث موتور DC با تحریک جداگانه مورد تحلیل قرار گرفته است ولی این روش را می‌توان برای سایر موتورهای DC تعمیم داد .

اگر شار ثابت فرض شود ، لذا رابطه (۱ ــ ۵) را اینچنین مینویسیم :

$$T = K'I_a \qquad (5\text{-}5)$$

که در آن :

$$K' = K\phi$$

اگر ماشین تحت سرعت ثابتی بچرخد (شتاب صفر) در اینصورت گشتاور حاصله معادل گشتاور بار (۱) (T_L) خواهد بود . لذا رابطه (۵ ــ ۵) اینچنین میشود .

$$T_L = K'I_a \qquad (5\text{-}6)$$

با جایگزینی رابطه (۴ ــ ۵) در رابطه اخیر داریم :

$$T_L = \frac{K'(V_t - E_g)}{R_a} \qquad (5\text{-}7)$$

---

1) Load-Torque

POWEREN.IR

حال از روابط (۱ ــ۴) استفاده کرده و بجای Eg مقادیر مربوطه را قرار میدهیم (توجه کنید که شار ثابت فرض شده است) . لذا :

$$T_L = \frac{K'V_t}{R_a} - \frac{K'K''S}{R_a}$$

لذا رابطه اخیر در سیستم (ENG) اینچنین نوشته میشود .

$$T_L = K_m V_t - K_B S \qquad \text{(5-8a)}$$

و در سیستم (SI) داریم :

$$T_L = K_m V_t - K_B \omega \qquad \text{(5-8b)}$$

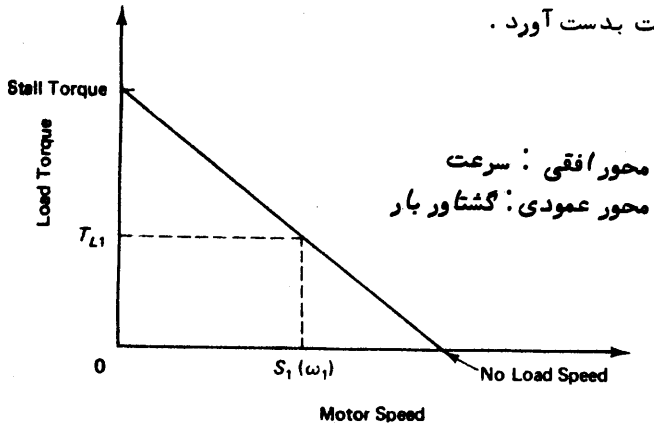
منحنیهای ذکر شده توسط معادلات (۸ ــ ۵) منحنیهای گشتاور ــ سرعت (TS) موتور نامیده میشود (شکل ۳ ــ ۵) . با توجه به این منحنی میتوان گفت :

الف : موقعی که گشتاور بار صفر است ، موتور تحت سرعت بی‌باری میچرخد .

ب : اگر گشتاور بار به (T_{L1}) افزایش یابد سرعت به S_1 یا ω_1 کاهش پیدا میکند .

ج : با افزایش هر چه بیشتر گشتاور بار ، سرعت موتور نیز دائما" کم میشود تا بالاخره موتور می‌ایستد .

در اینجا متذکر میشویم که به کمترین گشتاور باری که باعث سکون موتور میشود ، گشتاور سکون (۱) گفته میشود . ملاحظه میشود که با داشتن منحنی TS میتوان سرعت ماشین را در هر موقعیت بدست آورد .



شکل ۳ ــ ۵ : منحنی گشتاور ــ سرعت (TS) برای موتور DC

1) Stall Torque

POWEREN.IR

مثال ۵ ــ ۵ (سیستم ENG) ***Example 5-5 (English)***

یک موتور DC با تحریک حداگانه با مشخصات زیر مفروض است:

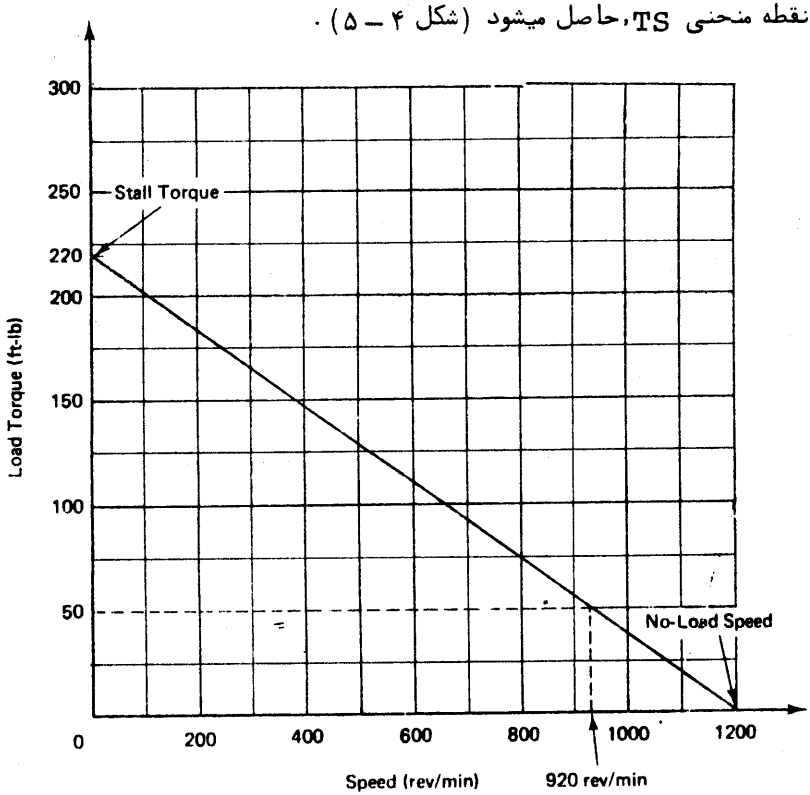
دور در دقیقه ۱۲۰۰ = سرعت در حالت بی‌باری

"فوت ــ پوند "۲۲۰ = گشتاور سکون

اگر گشتاور بار اعمال شده بر موتور ۵۰ فوت ــ پوند باشد سرعت موتور را بدست آورده و توان خروجی موتور را در حالت بارداری حساب کنید. شار را ثابت در نظر بگیرند.

حل:

ابتدا منحنی TS را رسم میکنیم. برای این منظور گشتاور سکون بر روی محور عمودی و سرعت در حالت بی‌باری بر روی محور افقی مشخص میگردد. با وصل کردن این دو نقطه منحنی TS، حاصل میشود (شکل ۴ ــ ۵).



شکل ۴ ــ ۵: منحنی گشتاور ــ سرعت برای مثال ۵ ــ ۵

POWEREN.IR

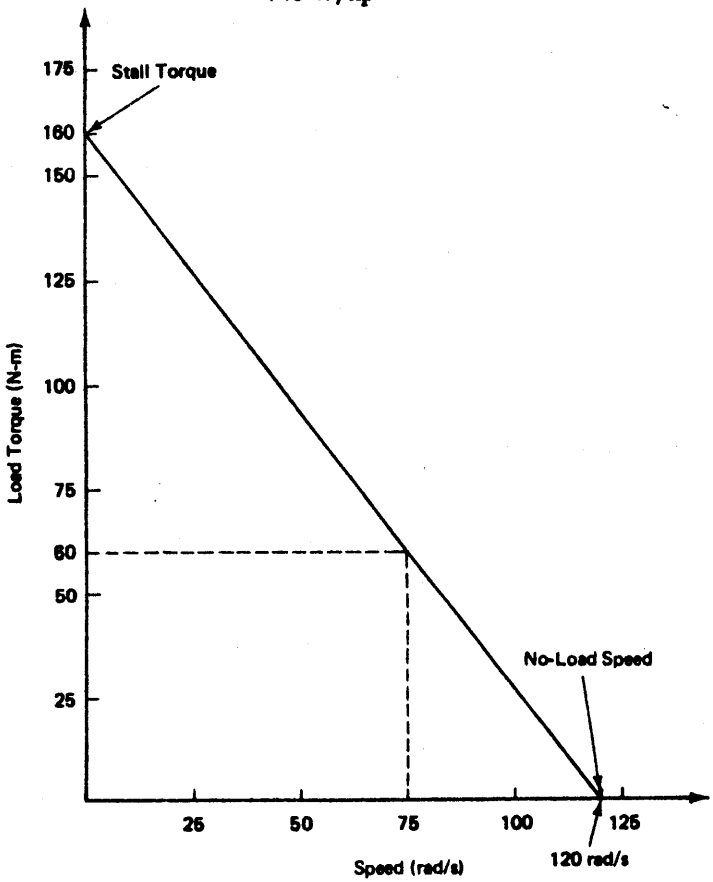
با توجه بشکل در مییابیم که در حالت بارداری ($T_L = ۵۰$) سرعت موتور ۹۲۰ دور در دقیقه میشود . برای محاسبه توان خروجی از رابطه (۳a – ۵) کمک میگیریم . لذا :

$$P_o = \frac{TS}{7.04}$$

$$= \frac{50 \text{ ft-lb} \times 920 \text{ rev/min}}{7.04}$$

$$= 6534 \ W$$

$$P_o = \frac{6534 \ W}{746 \text{ W/hp}} = 8.76 \text{ hp}$$



شکل ۵ – ۵ : منحنی گشتاور – سرعت برای مثال ۶ – ۵

POWEREN.IR

مثال ۶ ــ ۵ (سیستم SI) : ***Example 5-6 (SI)***

یک موتور DC با تحریک جداگانه با مشخصات زیر مفروض است :

رادیان بر ثانیه ۱۲۰ = سرعت در حالت بی‌باری

نیوتن ــ متر ۱۶۰ = گشتاور سکون

اگر بار موتور ۶۰ نیوتن متر باشد ، سرعت آنرا بدست آورید و توان خروجی موتور را تحت این بار حساب کنید . شار را ثابت در نظر بگیرید

حل :

ابتدا منحنی TS موتور را رسم میکنیم . روی محور عمودی گشتاور سکون و بر روی محور افقی سرعت بی‌باری را مشخص کرده و بهم متصل میسازیم (شکل ۵ ــ ۵) . با توجه بشکل در مییابیم که اگر گشتاور بار ۶۰ نیوتن متر باشد ، سرعت ۷۵ رادیان بر ثانیه خواهد شد . همچنین از رابطه (۳b ــ ۵) داریم :

$$P_o = \frac{T\omega}{1000}$$

$$= \frac{60 \text{ N-m} \times 75 \text{ rad/s}}{1000}$$

$$= 4.5 \text{ kW}$$

۴ ــ ۵ ــ تنظیم سرعت : 5-4 SPEED REGULATION

در فصل ۴ راجع به تنظیم ولتاژ ژنراتور DC صحبت کردیم . در موتورها باید راجع به تنظیم سرعت بحث کنیم . تنظیم سرعت به مفهوم آن است که سرعت محور موتور از حالت بی‌باری تا بار کامل چه میزان تغییر میکند . این تعریف برای انواع موتورها صادق بوده و لذا روابط زیر برای انواع موتورها DC بکار می‌روند .

در سیستم (ENG) درصد تنظیم سرعت اینچنین است :

$$\text{\% speed regulation} = \frac{S_{NL} - S_{FL}}{S_{FL}} \times 100 \qquad \text{(5-9a)}$$

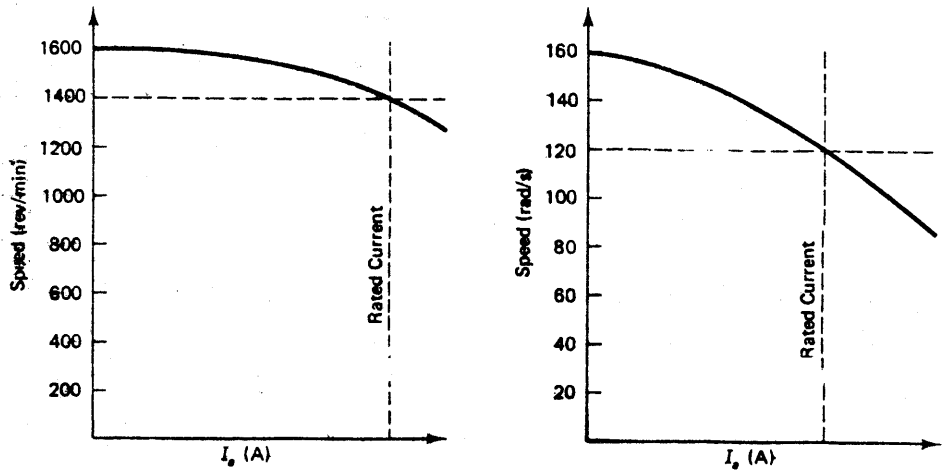
در سیستم (SI) درصد تنظیم سرعت عبارتست از :

$$\text{\% speed regulation} = \frac{\omega_{NL} - \omega_{FL}}{\omega_{FL}} \times 100 \qquad \text{(5-9b)}$$

POWEREN.IR

POWEREN.IR

هرچه درصد تنظیم کمتر باشد مشخصه موتور بهتر است . حالت ایده‌آل آن است که درصد تنظیم صفر درصد باشد . شکل (۶ ــ ۵) مشخصه‌های بار [1] موتورهای معمولی را نشان میدهد و این مشخصه‌ها تغییرات سرعت موتور نسبت‌به جریان آرمیچر خواهد بود . علت استفاده از جریان آرمیچر آن است که نشان دهنده میزان بار موتور بوده (بخش ۱ ــ ۳ ۵ در همین فصل) و بسیار آسان حاصل می‌گردد .



شکل ۶ ــ ۵: مشخصه‌های بار موتور

a : سیستم ENG

b : سیستم SI

مثال ۷ ــ ۵ (سیستم ENG): ***Example 5-7 (English)***

منحنی مشخصه سرعت یک موتور DC مطابق شکل (a ۶ ــ ۵) میباشد . درصد تنظیم سرعت این موتور را بدست آورید .

حل:

از روی منحنی سرعت در حالت بی‌باری و بار کامل را بدست‌می‌آوریم و سپس از رابطه (a ۹ ــ ۵) کمک میگیریم :

$$S.R. = \frac{1600 - 1400}{1400} \times 100 = 14.3\%$$

1) Load-Characteristic

POWEREN.IR

POWEREN.IR

مثال ۸ ــ ۵ (سیستم SI):

Example 5-8 (SI)

منحنی مشخصه سرعت یک موتور DC مطابق شکل (۶b ــ ۵) میباشد ، درصد تنظیم سرعت این موتور را بدست‌آورید .

حل:

ابتدا از روی منحنی سرعت در حالت بی‌باری و بار کامل را بدست می‌آوریم و سپس از رابطه (۹ b ــ ۵) کمک میگیریم .

$$\% \text{ S.R.} = \frac{160 - 120}{120} \times 100$$

$$= 33.3\%$$

۵ ــ ۵ راندمان موتور DC

5-5 MOTOR EFFICIENCY

در فصل ۴ راجع بهراندمان ژنراتور DC مفصلا" صحبت کردیم . در اینجا درباره راندمان موتورهای DC بطور مختصر بحث میکنیم . فقط چند فرق اساسی برای محاسبه راندمان موتورها نسبت به ژنراتورها وجود دارد .

در موتورها توان ورودی الکتریکی بوده و توان خروجی مکانیکی است . لذا تبدیل انرژی در آرمیچر از نوع الکتریکی به مکانیکی است (برخلاف ژنراتور) . رابطه (۷ ــ ۴) را برای موتورها اینچنین مینویسیم :

$$\text{efficiency} = \eta(\%) = \frac{P_o}{P_i} \times 100 \qquad (5\text{-}10)$$

از آنجائیکه توان ورودی موتورها الکتریکی است و سهلتر اندازه‌گیری میشود ، لذا توان خروجی موتور را اینچنین مینویسیم (چرا؟)

$$P_o = P_i - \text{losses} \qquad (5\text{-}11)$$

در نتیجه:

$$\text{efficiency} = \eta(\%) = \frac{P_i - \text{losses}}{P_i} \times 100 \qquad (5\text{-}12)$$

معمولا راندمان موتورها برروی پلاک بدنه آنها نوشته شده است و عبارت فوق برای انواع موتورهای DC صادق است .

POWEREN.IR

POWEREN.IR

مثال ۹ ــ ۵ (سیستم ENG) :

Example 5-9 (English)

یک موتور DC با مشخصات ذیل مفروض است :

اسب بخار ۲ = توان اسمی موتور

ولت ۱۲۰ = ولتاژ اسمی ترمینال

آمپر ۱۵ = جریان اسمی

راندمان نوشته شده بر روی پلاک موتور چیست .

حل :

با توجه به اعداد فوق توان الکتریکی ورودی عبارتست از :

$$P_i = V_i I_L = 120\ \text{V} \times 15\ \text{A} = 1800\ \text{W}$$

از طرفی توان خروجی اینچنین است :

$$P_o = 2\ \text{hp} \times 746\ \text{W/hp} = 1492\ \text{W}$$

پس:

$$\eta = \frac{1492\ \text{W}}{1800\ \text{W}} \times 100 = 82.9\%$$

مثال ۱۰ ــ ۵ (سیستم SI) :

Example 5-10 (SI)

یک موتور DC با مشخصات ذیل مفروض است ، راندمان نوشته شده بر روی پلاک موتور چیست .

کیلو وات ۲ = توان اسمی

ولت ۲۲۰ = ولتاژ اسمی ترمینال

آمپر ۱۲ = جریان اسمی

حل :

توان الکتریکی ورودی با استفاده از اعداد فوق حاصل میشود .

$$P_i = V_i I_L = 220\ \text{V} \times 12\ \text{A} = 2640\ \text{W}$$

از طرفی توان خروجی اینچنین است :

$$P_o = 2\ \text{kW} = 2000\ \text{W}$$

پس:

$$\eta = \frac{2000\ \text{W}}{2640\ \text{W}} \times 100 = 75.8\%$$

POWEREN.IR

۱ ـ ۵ ـ ۵ دیاگرام (نمودار) بخش توان: 5-5.1 Power Flow Diagram

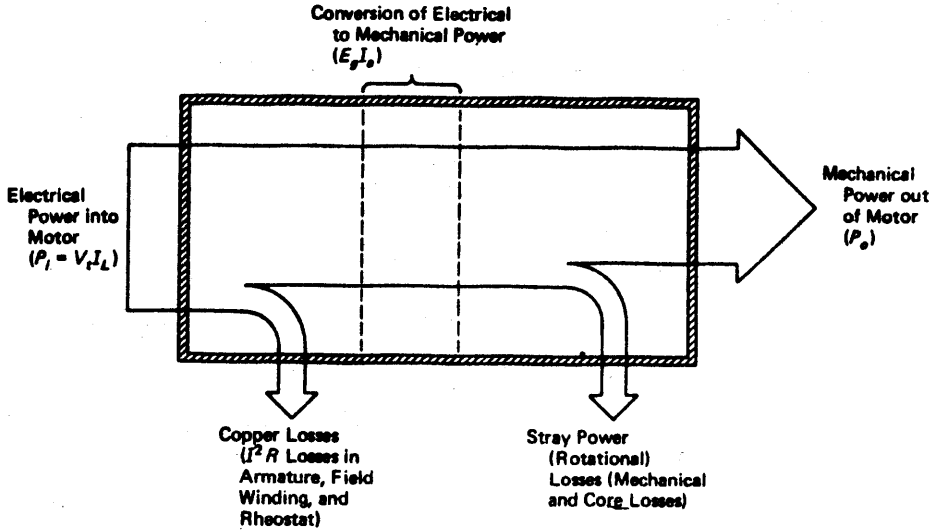
شکل (۷ ـ ۵) دیاگرام پخش توان در یک موتور DC را نشان میدهد. اگر این شکل را با شکل (۱۱ ـ ۴) مقایسه کنیم در مییابیم که فقط نوع توان در ورودی، خروجی و هنگام تبدیل با هم متفاوت است. باید گفت که شکل (۷ ـ ۵) و مطالب این بخش برای انواع موتورهای DC صادق میباشند.

در موتورها توان لکتریکی از طریق ترمینال ماشین وارد ماشین میگردد و اگر تمامی تلفات مسی را از آن بکاهیم، توان الکتریکی باقیمانده توسط آرمیچر موتور به توان مکانیکی تبدیل میشود

$$P_i - \text{copper losses} = E_g I_a \qquad (5\text{-}13)$$

توان تبدیل شده ($E_g I_a$) بهتوان حاصله (Developed-Power) معروف است که در موتورها نهایتا" از نوع مکانیکی است اما توانی نیست که بر روی محور موتور ظاهر میشود. برای محاسبه توان ظاهر شده بر روی محور موتور باید از $E_g I_a$ تلفات توان سرگردان (تلفات هسته بعلاوه تلفات مکانیکی) را کسرنمود. لذا:

$$P_o = P_i - \text{copper losses} - \text{stray power losses} \qquad (5\text{-}14)$$



شکل ۷ ـ ۵ پخش توان در موتور DC

POWEREN.IR

۲ ــ ۵ ــ ۵ اندازه‌گیری تلفات توان سرگردان در موتورهای DC

5-5.2 Measurement of Stray Power Losses

اگر موتور DC را در حالت بی‌باری بچرخانیم ($P_o=0$) ، رابطه (۱۴ ــ ۵) را میتوان بصورت زیر نوشت:

$$\text{stray power loss} = P_i - \text{copper losses} \qquad (5\text{-}15)$$

در رابطه اخیر توان ورودی و تلفات مسی کمیتهای الکتریکی هستند و بسهولت میتوان آنها را اندازه‌گرفت. باآنکه تلفات‌توان سرگردان فوق‌الذکر که از رابطه (۱۵ ــ ۵) بدست می‌آید ، درحالت بی‌باری محاسبه شده ولی بدلایل زیر مبین تلفات توان سرگردان دربار اسمی نیز خواهد بود:

۱ ــ تلفات مکانیکی با سرعت متناسب است ، لذا اگر در آزمایش بی‌باری موتور با سرعت اسمی بچرخد تلفات مکانیکی مشابه بار اسمی میباشد.

۲ ــ تلفات هسته متناسب با شار و سرعت است. لذا اگر شار را درحالت بی‌باری بمیزان شار دربار اسمی قرار دهیم و سرعت موتور نیز همان سرعت اسمی باشد ، تلفات هسته در این آزمایش خاص بی‌باری مشابه حالت بار اسمی خواهد بود.

مثال ۱۱ ــ ۵:

Example 5-11

یک موتور DC مطابق شکل (۲ــ۵) مفروض است و در حالت بی‌باری آنرا مورد آزمایش قرار میدهیم تلفات مسی از مقاومت‌ها وجریانها حاصل میگردد و ۲۱۰ وات است. ولتاژ ترمینال وجریان خط بترتیب ۱۲۰ ولت و ۲/۵ آمپر میباشد. اگر موتور تحت سرعت اسمی بچرخد ، تلفات توان سرگردان را بدست آورید.

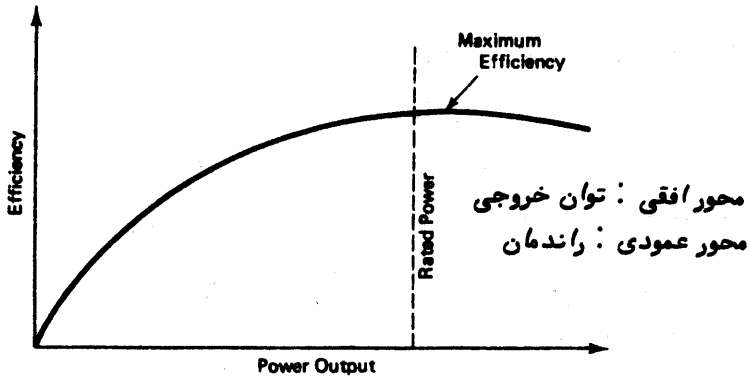
حل:

$$P_i = V_t I_L = 120\ \text{V} \times 2.5\ \text{A} = 300\ \text{W}$$

از رابطه (۱۵ ــ ۵) داریم:

$$\text{stray power} = P_i - \text{copper losses}$$
$$= 300\ \text{W} - 210\ \text{W}$$
$$\text{stray power loss} = 90\ \text{W}$$

POWEREN.IR



شکل ۸ ــ ۵ تغییرات راندمان بر حسب توان خروجی در موتور DC

۳ ــ ۵ ــ ۵ راندمان ماکزیمم : 5-5.3 Maximum Efficiency

معمولا منحنی راندمان انواع موتورهای DC مطابق شکل (۸ ــ ۵) است . این منحنی تغییرات راندمان را بر حسب توان خروجی موتور نشان میدهد . موتورها طوری طراحی میشوند که‌راندمان ماکزیمم موقعی بدست آید که توان خروجی نزدیک به توان اسمی خروجی‌باشد . البته این موضوع را میتوان بوسیله ریاضیات نیز اثبات نمود ولی ما در اینجا فقط‌نتیجه‌را بیان میکنیم . مثلا" اگر موتوری شنت با سرعت ثابتی بچرخد ، و توان خروجی تغییر کند ، تلفات توان سرگردان ثابت میماند . (البته در تحت شار ثابت) همچنین در موتور DC شنت تلفات‌تحریک نیز ثابت خواهد بود . تنها تلفاتی که متغیر میباشد همان تلفات مسی‌آرمیچر ($R_a I_a^2$) است‌که با افزایش بار زیاد میشود . راندمان ماکزیمم موقعی حاصل میشود که تلفات ثابت (سرگردان + تحریک شنت) مساوی تلفات متغیر (تلفات مسی آرمیچر) باشد .

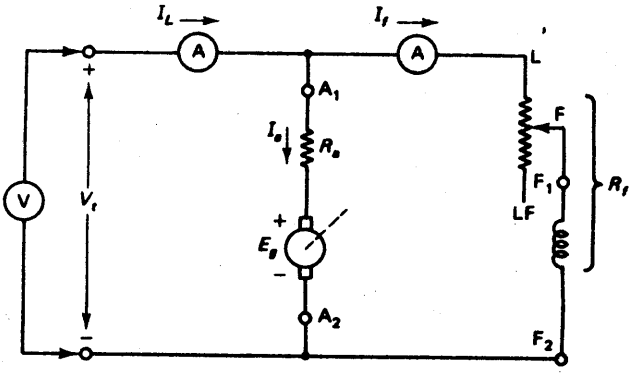
$$\overbrace{\text{stray power loss} + \text{shunt field loss}}^{\text{fixed losses}} = \overbrace{\text{armature loss}}^{\text{variable loss}} \qquad (5\text{-}16)$$

POWEREN.IR

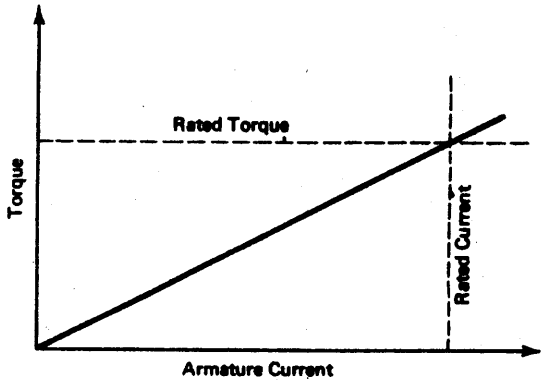
۶ ـ ۵ موتور DC شنت (موازی) : 5-6 SHUNT MOTOR

موتور DC شنت همانطورکه‌ازنامش‌پیداست دارای مدار تحریکی است که موازی آرمیچر نصب شده است (شکل ۹ ـ ۵) . این مدار معادل شبیه ژنراتور DC شنت بوده با این تفاوت که جهت جریانها درحالت موتوری‌با جهات ژنراتوری فرق دارد .

همانطور که از شکل (۹ ـ ۵) پیداست ، ولتاژ شبکه (V_t) باعث تغذیه مدار تحریک نیز میشود و چون ولتاژ شبکه ثابت است و مستقیما " به دو سر مدار تحریک شنت اعمال میشود ، لذا جریان تحریک شنت نیز ثابت میباشد . در نتیجه شار نیز ثابت بوده و مستقل از تغییرات بار موتور است . لذا از روابط (۱ ـ ۵) و (۵ ـ ۵) در مییابیم که در موتور DC شنت همواره گشتاور حاصله فقط با جریان آرمیچر متناسب است (شکل ۱۰ ـ ۵) .



شکل ۹ ـ ۵ : موتور DC شنت



شکل ۱۰ ـ ۵ : تغییرات گشتاور موتور DC شنت بر حسب جریان آرمیچر

POWEREN.IR

POWEREN.IR

۱ ــ ۶ ــ ۵ جهت چرخش موتور DC شنت :

5-6.1 Direction of Rotation

هرگاه موتور DC شنت به شبکه وصل شود ، جریان در مدار تحریک شنت برقرار میشود و میدان مغناطیسی حاصله درون موتور پلارتیه مشخصی خواهد داشت . در همین اثنا جریان از آرمیچر عبور میکند (شکل ۹ ــ ۵) . با توجه به جهت جریان آرمیچر و جهت شار مدار تحریک و اعمال قانون دست چپ در مییابیم که موتور در جهت معین خواهد چرخید .

شکل (۹ ــ ۵) را درنظر میگیریم . با توجه به جهت جریانها ، فرض کنید موتور در جهت عقربه ساعت (CW) میچرخد ، آزمایشهای زیر را میتوان انجام داد .

۱ ــ فرض میکنیم در ابتدا ماشین در جهت عقربه ساعت (CW') میچرخد اگر آنرا از شبکه جدا کنیم و سرهای مدار تحریک (F_1 و F_2) را جابجا سازیم ، در اینصورت جهت جریان تحریک و شار عوض شده و اگر دوباره موتور به شبکه وصل شود در اینحالت جهت چرخش خلاف عقربه ساعت (CCW') خواهد بود .

۲ ــ حال اگر موتور در جهت خلاف عقربه ساعت بچرخد (CCW) و آنرا از شبکه جدا کنیم و سرهای ارمیچر ($A_1 - A_2$) را جابجا میسازیم ، و دوباره ماشین را به شبکه وصل کنیم ، جهت جریان آرمیچر عوض شده و دوباره موتور در جهت عقربه ساعت (CW') میچرخد .

۳ ــ حال اگر موتور در جهت عقربه ساعت (CW') بچرخد و آنرا از شبکه جدا کنیم و پلارتیه ولتاژ شبکه را عوض نمائیم (پلارتیه ولتاژ ترمینال را تغییر دهیم) و دوباره ماشین را به شبکه وصل نمائیم ، در این صورت جهت چرخش فرقی نمیکند یعنی در همان جهت اولیه عقربه ساعت (CW') میچرخد . علت این امر واضح است . بشکل (۹ ــ ۵) نگاه میکنیم اگر پلارتیه ترمینال ماشین عوض شود ، جهت جریان آرمیچر و تحریک هر دو عوض میگردد . با توجه به بندهای ۱ و ۲ عوض شدن جهت جریان در هر یک از سیم های آرمیچر و تحریک به تنهائی جهت گردش را عوض خواهد کرد . در نتیجه تعویض جهت جریان در هر دو سیم پیچ تغییری در جهت گردش ماشین ایجاد نمیکند .

۲ ــ ۶ ــ ۵ اثر بار بر روی موتور DC شنت :

5-6.2 Effect of Load on the Shunt Motor

در بالا گفتیم که گشتاور موتور با بار تغییر میکند . یعنی با افزایش بار گشتاور

POWEREN.IR

حاصله در موتور نیز افزایش مییابد تا آنکه گشتاور خروجی در موتور با بار جدید مساوی و هم آهنگ گردد. همچنین دیدیم که جریان آرمیچر در موتور DC شنت متناسب با گشتاور موتور میباشد (شکل ۱۰ ـ ۵). لذا جریان آرمیچر با گشتاور بار نیز متناسب خواهد بود. با توجه بشکل (۹ ـ ۵) و استفاده از قانون ولتاژ کیرشف داریم:

$$V_t - I_a R_a = E_g \qquad (5\text{-}17)$$

اگر E_g در رابطه (۱ ـ ۴) را در رابطه اخیر جایگزین کنیم میتوان در سیستم (ENG) میتوان چنین نوشت:

$$S = \frac{V_t - I_a R_a}{K\phi} \qquad (5\text{-}18a)$$

در سیستم (SI) داریم:

$$\omega = \frac{V_t - I_a R_a}{K'\phi} \qquad (5\text{-}18b)$$

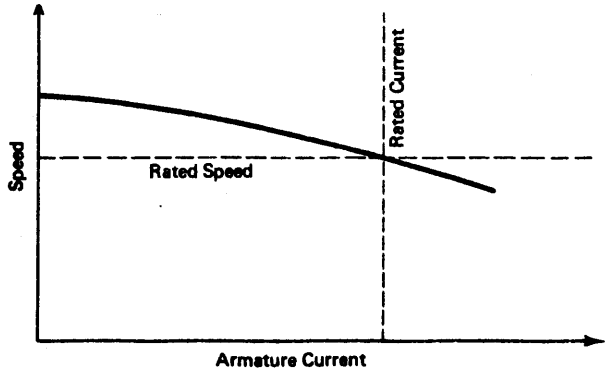
در روابط اخیر کمیتهای زیر بجز I_a ثابت هستند:

۱ ـ ولتاژ شبکه (ترمینال) یا V_t

۲ ـ مقاومت آرمیچر، یا R_a

۳ ـ شار یا ϕ

اگر بار افزایش یابد، در اینصورت I_a زیاد شده و صورت کسرهای ذکر شده در روابط (۱۸ ـ ۵) کم میشود. لذا سرعت کاهش مییابد. پس منحنی مشخصه سرعت برای موتورهای DC شنت مطابق شکل (۱۱ ـ ۵) میباشد.



شکل ۱۱ ـ ۵: تغییرات سرعت برحسب جریان آرمیچر در موتور DC شنت

POWEREN.IR

۳ – ۶ – ۵ اثر شار بر روی موتورهای DC شنت :

5-6.3 Effect of Flux on the Shunt Motor

اگر در رابطه (۱۸ – ۵) فرض شود که افت R_aI_a نسبت به V_t ناچیز است . در اینصورت بطور تقریب سرعت اینچنین حساب می‌شود .

$$\text{speed} \approx \frac{V_t}{K\phi} \qquad (5\text{-}19)$$

البته باید گفت که این فرضیه در بارهای کم صادق‌تر است . از رابطه اخیر در مییابیم که سرعت باشار نسبت معکوس دارد . یعنی با افزایش شار (یا I_f) سرعت کم میشود و با کاهش شار سرعت زیاد میگردد . بهمین دلیل است که در مدار تحریک شنت یک رئوستا قرار میدهند (شکل ۹ – ۵) . با افزایش مقاومت مدار تحریک ، جریان تحریک (شار) کم شده و سرعت بالا میرود و بالعکس باکاهش مقاومت مدار تحریک ، جریان تحریک (شار) زیاد شده و سرعت کم میگردد .

اثر شار بر سرعت ممکن است شرایط حادی را پدید آورد . هرگاه هنگام چرخش موتور مدار تحریک شنت باز شود ، جریان تحریک بسمت صفر میرود و شار بمیزان ناچیز پسماند موجود درهسته سقوط میکند . با توجه به رابطه (۱۹ – ۵) سرعت بطور وحشتناکی بالا میرود و ممکن است به اشیاء مجاور و خود ماشین صدماتی بزند . در آزمایشگاه ماشین ممکن است علت باز شدن مدار تحریک سوختن فیوز آمپرمتر مدار تحریک شنت باشد . زیرا هنگام آزمایش در مواقعی که بخواهیم سرعت را پائین بیاوریم با بازی کردن با رئوستا مجبور هستیم جریان تحریک شنت را افزایش دهیم و ممکن است فیوز آمپرمتر بسوزد ولذا مدار تحریک شنت باز شود .

مثال ۱۲ – ۵ (سیستم ENG) : ***Example 5-12 (English)***

یک موتور DC شنت مطابق شکل (۹ – ۵) مورد آزمایش قرار گرفته و جدول (۲ – ۵) در آزمایشگاه تحت بارهای گوناگون بدست آمده است .

جدول ۲ – ۵ ***Table 5-2***

I_L (A)	2.8	3.6	4.7	5.8	7.0	8.5
I_f (A)	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
S (rev/min)	1800	1780	1750	1720	1680	1650

POWEREN.IR

POWEREN.IR

مشخصات موتور بقرار زیر است :

اسب بخار ۱ = توان اسمی

اهم ۱/۵ = مقاومت آرمیچر (Ra)

وات ۵۰ = ثابت = تلفات توان سرگردان

ولت ۱۲۰ = ولتاژ ترمینال (شبکه)

منحنیهای زیر را بر روی یک محور مختصات رسم کنید :

الف : جریان خط بر حسب توان خروجی

ب : سرعت موتور بر حسب توان خروجی

ج : راندمان بر حسب توان خروجی

د : گشتاور خروجی بر حسب توان خروجی

همچنین راندمان ماکزیمم را بدست آورده و آنرا با منحنی رسم شده چک کنید :

Table 5-3 جدول ۳ – ۵

I_L (A)	2.8	3.6	4.7	5.8	7.0	8.5
I_a (A)	2.3	3.1	4.2	5.3	6.5	8.0
Armature loss (W)	7.9	14.4	26.5	42.1	63.4	96
Total losses (W)	117.9	124.4	136.5	152.1	173.4	206
P_i (W)	336	432	564	696	840	1020
P_o (W)	218.1	307.6	427.5	543.9	666.6	814
P_o (hp)	0.29	0.41	0.57	0.73	0.89	1.09
η (%)	65	71	76	78	79	80
T_o (ft-lb)	0.85	1.22	1.72	2.23	2.79	3.47
S (rev/min)	1800	1780	1750	1720	1680	1650

حل :

با توجه به‌جدول (۲ – ۵) جدول (۳ – ۵) را پر میکنیم . حال بطور مثال چند نمونه محاسبه را جهت پی بردن به اعداد جدول (۳ – ۵) ذکر مینمائیم .

POWEREN.IR

$$I_a = I_L - I_f = 8.5\ \text{A} - 0.5\ \text{A} = 8\ \text{A}$$

$$\text{field loss} = V_t I_f = 120\ \text{V} \times 0.5\ \text{A} = 60\ \text{W}$$

(constant at each point)

$$\text{armature loss} = R_a I_a^2 = 1.5\ \Omega \times (8\ \text{A})^2 = 96\ \text{W}$$

$$\text{total losses} = \text{field loss} + \text{armature loss} + \text{stray power}$$

$$= 60\ \text{W} + 96\ \text{W} + 50\ \text{W} = 206\ \text{W}$$

$$P_i = V_t I_L = 120\ \text{V} \times 8.5\ \text{A} = 1020\ \text{W}$$

$$P_o = P_i - \text{total losses} = 1020\ \text{W} - 206\ \text{W} = 814\ \text{W}$$

یا بر حسب اسب بخار داریم :

$$P_o = \frac{814\ \text{W}}{746\ \text{W/hp}} = 1.09\ \text{hp}$$

$$\eta = \frac{P_o}{P_i} \times 100 = \frac{814}{1020} \times 100 = 80\%$$

$$T_o = \frac{7.04 P_o}{S} = \frac{7.04 \times 814\ \text{W}}{1650\ \text{rev/min}} = 3.47\ \text{ft-lb}$$

با استفاده از جدول (۳ ــ ۵) منحنیهای خواسته شده را رسم میکنیم (شکل ۱۲ ــ ۵) . برای محاسبه راندمان ماکزیمم از رابطه (۱۶ ــ ۵) کمک میگیریم :

$$\text{S.P. loss} + \text{field loss} = \text{armature loss}$$

$$50\ \text{W} + 60\ \text{W} = R_a I_a^2$$

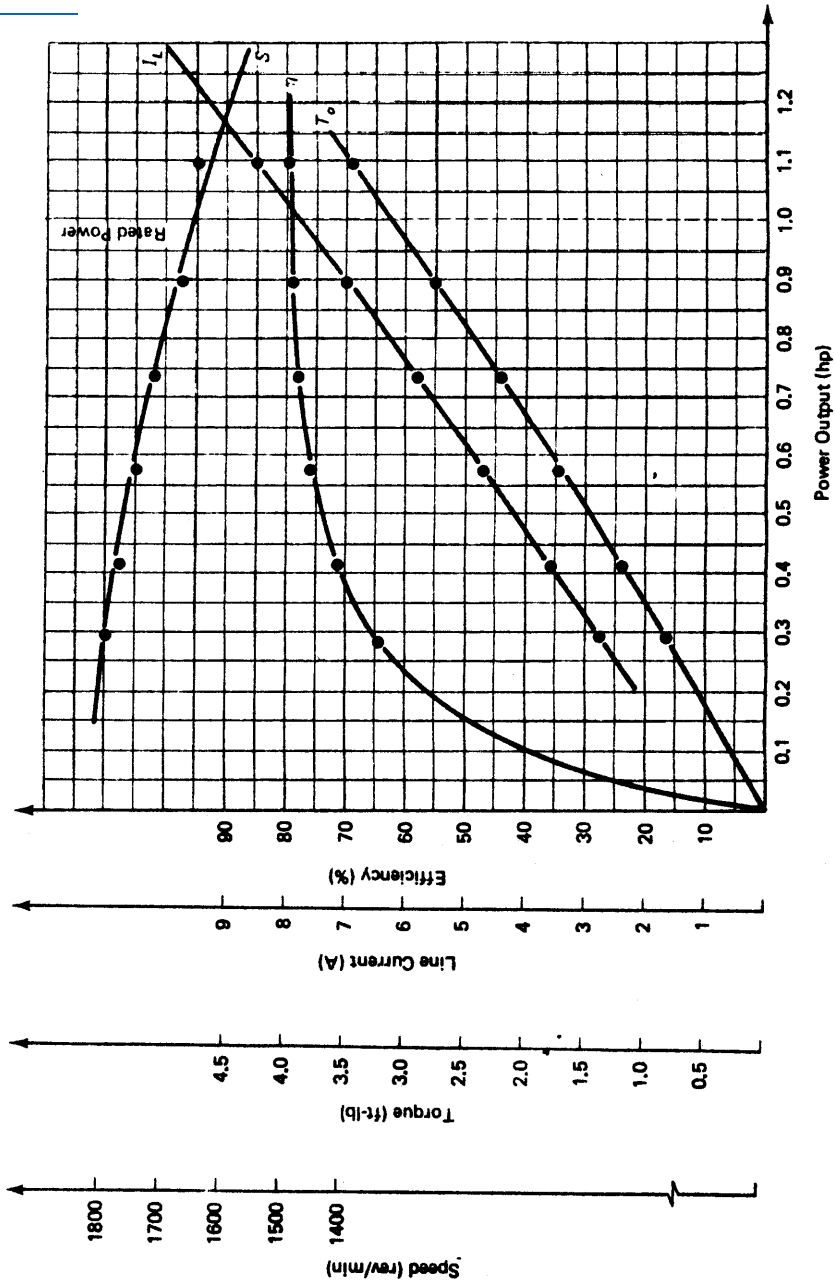
$$110\ \text{W} = 1.5\ \Omega \times I_a^2$$

$$I_a^2 = \frac{110\ \text{W}}{1.5\ \Omega} = 73.33$$

$$I_a = 8.5\ \text{A}$$

با آنکه محاسبت اخیر برای سرعت ثابت معتبر است ولی تغییرات سرعت ناچیز میباشد . از روی منحنی مربوطبه‌راندمان درمییابیم که راندمان ماکزیمم در ۱/۱ اسب بخار حاصل میشود که حدود ۸/۵ آمپر جریان آرمیچر را بدنبال خواهد داشت ، مشاهده میشود که با محاسبات اخیر نیز تقریبا" بهمین نتیجه رسیده بودیم .

POWEREN.IR



شکل ۱۲ – ۵: منحنی‌های مربوط به مثال ۱۲ – ۵

POWEREN.IR

POWEREN.IR

مثال ۱۳ ــ ۵ (سیستم SI): ***Example 5-13 (SI)***

یک موتور DC شنت مطابق شکل (۹ــ۵) مفروض بوده و بر روی آن آزمایشهای بارداری انجام شده‌است . جدول (۴ــ۵) اعداد مربوط به این آزمایشها را نشان میدهد . مشخصات این موتور بقرار زیر است :

توان اسمی =	۱	کیلو وات
مقاومت آرمیچر R_a =	۱/۸	اهم
ثابت= تلفات توان سرگردان =	۳۰	وات
ولتاژ ترمینال =	۲۳۰	ولت

مطلوبست رسم منحنیهای زیر :

۱ ــ منحنی جریان خط بر حسب توان خروجی

۲ ــ منحنی سرعت موتور بر حسب توان خروجی

۳ ــ منحنی راندمان بر حسب توان خروجی

۴ ــ منحنی گشتاور خروجی بر حسب توان خروجی

همچنین راندمان ماکزیمم را حساب کرده و آنرا با منحنی رسم شده چک کنید .

جدول ۴ ــ ۵ ***Table 5-4***

I_L (A)	1.1	1.9	2.8	4.0	5.1	6.2	7.2
I_f (A)	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
ω (rad/s)	200	197	194	190	187	183	180

حل :

با استفاده از جدول (۴ ــ ۵) جدول (۵ ــ ۵) را میسازیم . در زیر چند نمونه از طرز ساخت جدول (۵ ــ ۵) را ذکر میکنیم .

$$I_a = I_L - I_f = 7.2\text{ A} - 0.2\text{ A} = 7\text{ A}$$

$$\text{field loss} = V_t I_f = 230\text{ V} \times 0.2\text{ A} = 46\text{ W} \quad \text{(constant at each point)}$$

$$\text{armature loss} = R_a I_a^2 = 1.8\ \Omega \times (7\text{ A})^2 = 88.2\text{ W}$$

$$\text{total losses} = \text{field loss} + \text{armature loss} + \text{stray power}$$

$$= 46 + 88.2 + 30 = 164.2\text{ W}$$

POWEREN.IR

POWEREN.IR

$$P_i = V_i I_L = 230\ \text{V} \times 7.2\ \text{A} = 1656\ \text{W}$$

$$P_o = P_i - \text{total losses} = 1656\ \text{W} - 164.2\ \text{W} = 1491.8\ \text{W}$$

$$= 1.49\ \text{kW}$$

$$\eta = \frac{P_o}{P_i} \times 100 = \frac{1492}{1656} \times 100 = 90\%$$

$$T_o = 1000\frac{P}{\omega} = 1000 \times \frac{1.49}{180} = 8.3\ \text{N-m}$$

Table 5-5 جدول ۵ — ۵

I_L (A)	1.1	1.9	2.8	4.0	5.1	6.2	7.2
I_a (A)	0.9	1.7	2.6	3.8	4.9	6.0	7.0
Armature loss (W)	1.5	5.2	12.2	26	43.2	64.8	88.2
Total losses (W)	77.5	81.2	88.2	102	119.2	140.8	164.2
P_i (W)	253	437	644	920	1173	1426	1656
P_o (W)	176	356	556	818	1054	1285	1492
P_o (kW)	0.176	0.356	0.556	0.818	1.054	1.285	1.492
η (%)	69.5	81.5	86.3	88.9	89.8	90.1	90
T_o (N-m)	0.9	1.8	2.9	4.3	5.6	7.0	8.3
ω (rad/s)	200	197	194	190	187	183	180

با استفاده از جدول (۵ — ۵) منحنیهای خواسته شده را رسم میکنیم (شکل ۱۳ — ۵).

از نظر تئوری راندمان ماکزیمم اینچنین حساب میشود (رابطه ۱۶ — ۵).

با آنکه محاسبات زیر برای سرعت ثابت معتبر است ولی تغییرات سرعت تاثیر چشمگیری بر محاسبات ندارد.

$$\text{S.P. loss} + \text{field loss} = \text{armature loss}$$

$$30\ \text{W} + 46\ \text{W} = R_a I_a^2$$

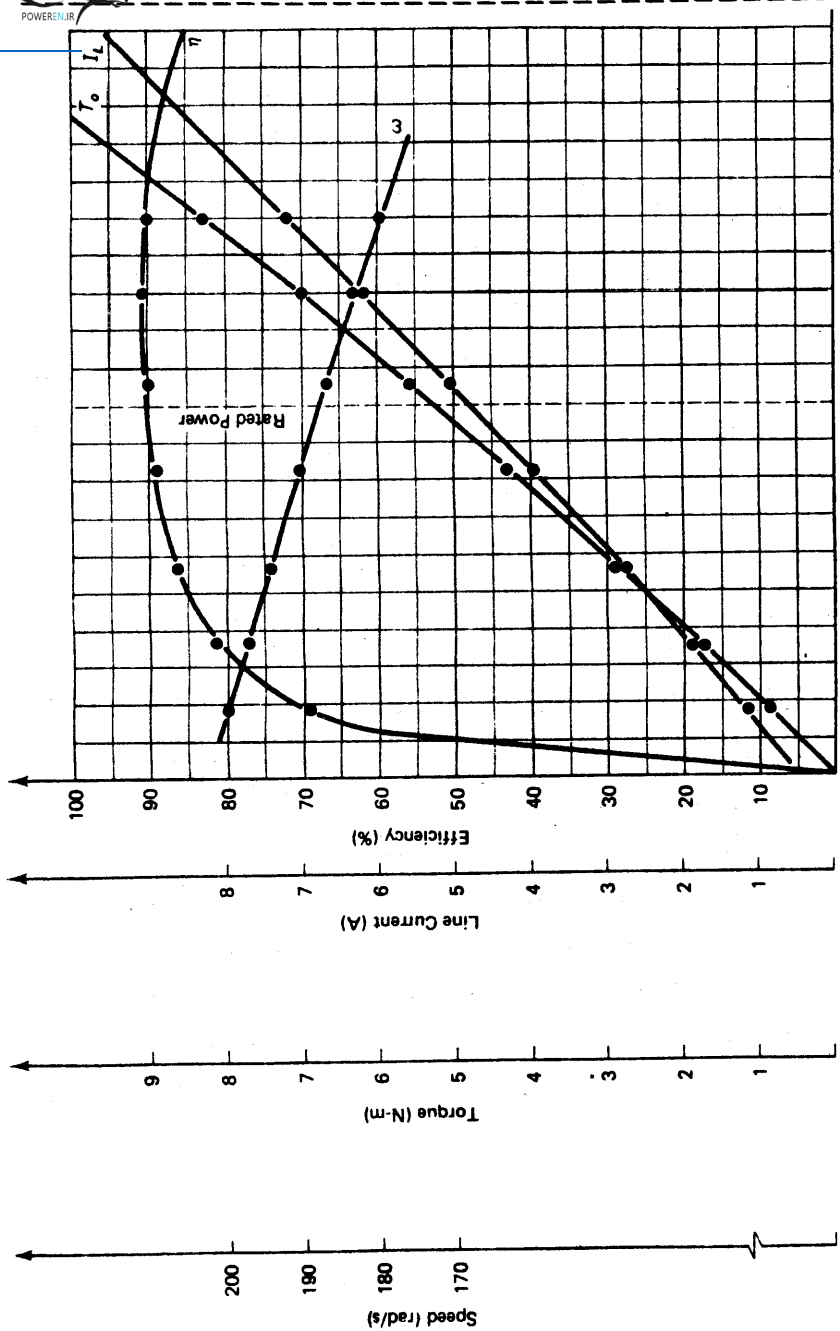
$$76\ \text{W} = 1.8\ \Omega \times I_a^2$$

$$I_a^2 = \frac{76\ \text{W}}{1.8\ \Omega} = 42.2$$

$$I_a = 6.5\ \text{A}$$

POWEREN.IR

POWEREN.IR



شکل ۱۳ — ۵: منحنی‌های مربوط به مثال ۱۳ — ۵

POWEREN.IR

از روی منحنی راندمان در مییابیم که راندمان ماکزیمم درتوان ۱/۳ کیلو وات رخ میدهد که به جریان ارمیچر معادل ۶/۲ آمپر مربوط است . مبینیم که محاسبات فوق با منحنی نسبتا" توافق دارد .

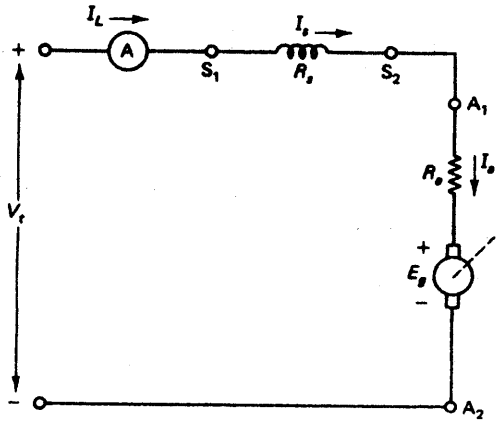
۵-۷ موتور DC سری: 5-7 SERIES MOTOR

همانطور که از نام این موتور پیداست سیم پیچ تحریک با آرمیچر سری بسته شده است . لذا جریان آرمیچر مساوی جریان تحریک است . همین امر باعث میشود که مشخصه‌های این موتور با موتور DC شنت متفاوت باشد . در این موتورها چون تغییر بار بر جریان موتور اثر میگذارد لذا شار نیز متاثر خواهد شد . بطور مثال میتوان گفت اگر جریان موتور سری دو برابر شود ، شار تحرک نیز دو برابر میگردد (وبالعکس) . مدار معادل موتورهای سری در شکل (۱۴ – ۵) رسم شده است.

اگر در رابطه (۱ – ۵) بجای شار (ϕ) جریان I_a را جایگزین کنیم داریم :

$$T = K'I_a \times I_a = K'I_a^2 \qquad (5\text{-}20)$$

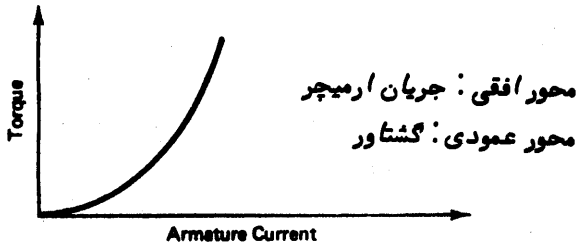
لذا منحنی مشخصه گشتاور در موتور سری سهمی خواهد بود (شکل ۱۵ – ۵) . البته این موضوع تا آن موقع صحیح است که مدار تحریک اشباع نشود .



Note: Although Labeled Differently I_L, I_s, and I_a Are the Same Current

شکل ۱۴ – ۵: موتور DC سری

POWEREN.IR



شکل ۱۵ ــ ۵ تغییرات گشتاور برحسب جریان ارمیچر در موتور DC سری

۱ ــ ۷ ــ ۵ جهت چرخش موتور DC سری: 5-7.1 Direction of Rotation

هرگاه یک موتور DC سری (شکل ۱۴ ــ ۵) به شبکه وصل شود ، جهت چرخش به پلارتیه شار، جهت جریان آرمیچر و قانون دست چپ بستگی دارد .

اگر سرهای مدار تحریک (S_1, S_2) جابجا شوند ، پلارتیه شار عوض شده و لذا جهت چرخش نیز عوض میشود . همچنین اگر سرهای آرمیچر (A_1 و A_2) جابجا شوند ، جهت جریان آرمیچر عوض شده و در نتیجه جهت چرخش عوض خواهد شد . اگر پلارتیه (شبکه) را عوض کنیم ، جهت چرخش تغییری نمیکند ، علت این امر آن است که با این عمل هم پلارتیه شار را عوض کرده و هم جهت جریان آرمیچر را تغییر داده‌ایم (دو تغییر) .

۲ ــ ۷ ــ ۵ اثر بار بر روی موتور DC سری: 5-7.2 Effect of Load on a Series Motor

با توجه به شکل (۱۴ ــ ۵) و قانون ولتاژ کیرشف داریم .

$$E_g = V_t - I_a R_s - I_a R_a \qquad (5\text{-}21)$$

حال از رابطه (۱ ــ ۴) کمک میگیریم و رابطه (۲۱ ــ ۵) را اینچنین مینویسیم :

در سیستم (ENG) داریم :

$$S = \frac{V_t - I_a(R_a + R_s)}{K\phi_s} \qquad (5\text{-}22a)$$

POWEREN.IR

در سیستم (SI) داریم :

$$\omega = \frac{V_t - I_a(R_a + R_s)}{K'\phi_s} \qquad (5\text{-}22b)$$

اندیس S در مقاومت مبین مقاومت مدار تحریک سری میباشد . چون شار (ϕ) با Ia متناسب است . لذا روابط اخیر را اینگونه مینویسیم :

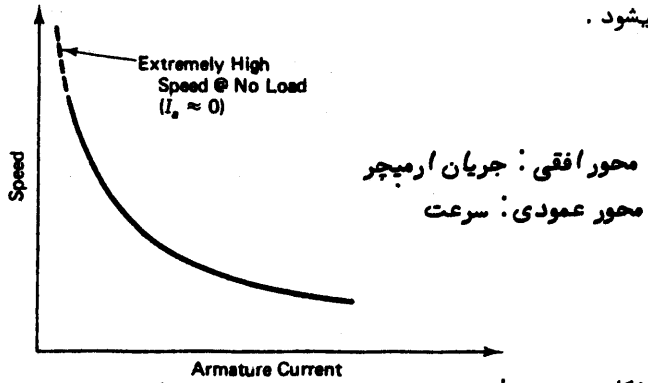
در سیستم (ENG) داریم :

$$S = \frac{V_t - I_a(R_a + R_s)}{KI_a} \qquad (5\text{-}23a)$$

در سیستم (SI) داریم :

$$\omega = \frac{V_t - I_a(R_a + R_s)}{K'I_a} \qquad (5\text{-}23b)$$

باید گفت که K و K' در معادلات (۲۲ ــ ۵) با K و K' در روابط (۲۳ــ۵) ماهیتا" متفاوت هستند . از روابط اخیر در مییابیم که فقط Ia بر سرعت موتور اثر میگذارد . اگر Ia خیلی کم باشد (مثلا" بی‌باری) در اینصورت سرعت بسیار زیاد است . اگر بار زیاد شود (Ia زیاد شود) مشاهده میکنیم که سرعت کاهش مییابد . منحنی مشخصه سرعت موتورهای DC سری در شکل (۱۶ ــ ۵) رسم شده است . با کاهش جریان (نزدیک شدن به حالت بی‌باری) سرعت شدت زیاد میشود و در شرایطی خطرناک نیز هست . لذا هیچوقت از موتورهای DC سری بدون بار استفاده نمیشود و یا هیچ موقع آنها را بدون بار راه اندازی نمیکنیم . از این موتورها در قطارهای برقی که موتورها بار زیادی را تحمل یکنند استفاده میشود .



شکل ۱۶ ــ ۵: تغییرات سرعت برحسب جریان ارمیچر در موتور DC سری

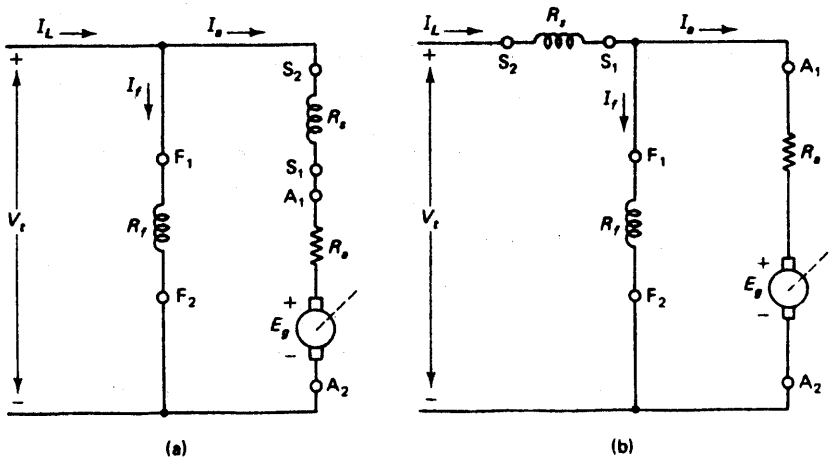
POWEREN.IR

در موتورهای سری مانند موتورهای شنت ، سرعت با شار نسبت معکوس دارد یعنی باکاهش شار درمدار تحریک سرعت بالا رفته و با زیاد شدن شار سرعت کم میشود . اما خطرناکی موتور شنت بمراتب بیش‌از موتورهای سری است علت این امر آن است‌که اگر بطور ناگهانی مدار تحریک سری باز شود . شار بسیار ناچیز میگردد وآرمیچر جریان خود را از دست میدهد . لذا موتور بجای اینکه سرعت چشمگیری پیدا کند ، بطرف حالت سکون میرود .

باید گفت که درموتورهای سری در شرایط بار زیاد ، شتاب بسیار جالبی پدیدار میشود . هم چنین دریافتیم که با افزایش بار سرعت پائین می‌آید . اگر مشخصه‌های سرعت و گشتاور را با هم ترکیب‌کنیم مشاهده میشود با تغییرات بار ، توان خروجی نسبتا" ثابت است . بعبارت ساده‌تر اگر حاصلضرب سرعت و گشتاور ثابت‌باشد ، توان نیز ثابت است (رابطه ۳ ــ ۵) .

۸ ــ ۵ موتور DC کمپوند : 5-8 COMPOUND MOTOR

موتورهای کمپوند نیز مشابه ژنراتورهای کمپوند هستند یعنی دارای دو مدار تحریک سری‌و شنت (موازی) میباشند . همچنین‌این موتورها را میتوان بصورت شنت بلند یا شنت کوتاه درآورد (شکل ۱۷ ــ ۵) .



شکل ۱۷ ــ ۵: موتور DC کمپوند

a : شنت بلند

b : شنت کوتاه

POWEREN.IR

در شرایط بی‌باری یا بار کم ، جریان مدار تحریک سری بسیار کوچک میباشد ، اما در عوض از مدار تحریک شنت جریان کامل تحریک عبور مینماید . در نتیجه موتورهای کمپوند در حالت بی‌باری مانند موتورهای شنت رفتار میکنند و سرعت آنها در حالت بی‌باری ، خطرناک نمیباشد .

۱ – ۸ – ۵ موتورهای DC کمپوند نقصانی : 5-8.1 Differential Compound Motor

اگر اتصال سیم پیچهای تحریک سری و تحریک شنت (موازی) طوری باشد که میدانهای آنها با هم مخالفت ورزند ، در اینصورت موتور کمپوند نقصانی حاصل میگردد . در اینحال روابط مربوط به گشتاور و سرعت (روابط ۱ – ۵ و ۱۹ – ۵) بصورت ذیل درمی‌آیند . در این روابط ϕ_f شار مدار تحریک شنت و ϕ_s شار تحریک مدار سری میباشد .

$$T = K(\phi_f - \phi_s)I_a \qquad (5\text{-}24)$$

$$\text{speed} \approx \frac{V_t}{K(\phi_f - \phi_s)} \qquad (5\text{-}25)$$

با افزایش بار هر دو کمیت I_a و ϕ_s زیاد میشوند و لذا $(\phi_f - \phi_s)$ کاهش میابد . از روابط اخیر در میابیم که اگر شار خالص $(\phi_f - \phi_s)$ کم شود ، گشتاور نیز پائین آمده اما سرعت بالا میرود این رفتار ماشین ماهیتا" خطرناک است یعنی در شرایطی از بار ممکن است به نقطه‌ای برسیم که جریان تحریک سری باعث شود که مخرج کسر ذکر شده در رابطه (۲۵ – ۵) به صفر نزدیک شود و سرعت بسیار خطرناکی حاصل میگردد . معمولا موتورهای کمپوند نقصانی در صنعت زیاد مورد استفاده قرار نمیگیرند .

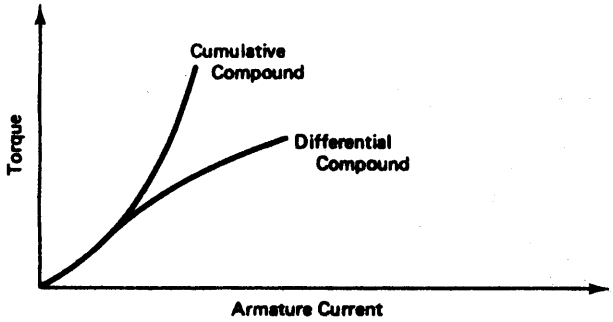
هنگامیکه در آزمایشگاه موتورهای کمپوند نقصانی را در حالت بارداری راه‌اندازی میکنیم ، در ابتدای امر میتوان مدار تحریک سری را با قراردادن یک کلید در دو سر s_1 و s_2 ، اتصال کوتاه نمائیم دلایل این کار عبارت است از :

۱ – با از مدار خارج کردن مدار تحریک سری بوسیله کلید دو سر s_1 و s_2 ، میتوان مطمئن بود که پلارتیه صحیح میدان شنت حاصل میشود تا ماشین را در جهت مطلوب بچرخاند .

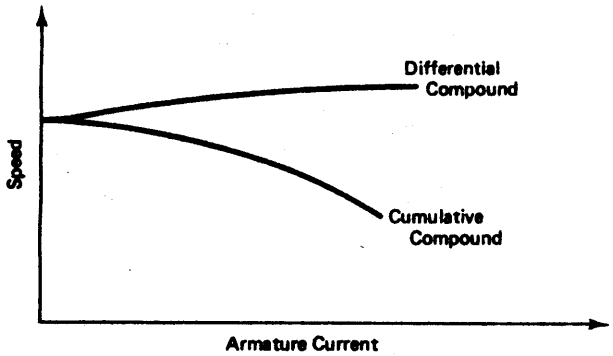
۲ – همچنین از کلید دو سر s_1 و s_2 میتوان برای اطمینان از صحت نحوه کمپوند شدن (کمپوند اضافی و نقصانی) مطمئن شد . هنگامیکه سیم پیچ تحریک سری ازمدار خارج است و ماشین در جهت صحیح میچرخد ، اگر کلید را باز کنیم و سرعت ماشین در

POWEREN.IR

حالت بارداری زیاد شود ، در اینصورت مطمئن هستیم که موتور از نوع نقصانی است . علت این امر آن است که شار به ناگهان نزول مینماید . اگر سرعت افت پیدا نمود ، در اینصورت حتما " شار زیاد شده و موتور کمپوند از نوع اضافی است ،



(a)



(b)

شکل ۱۸ ــ ۵ : مشخصه‌های موتورهای DC کمپوند اضافی و نقصانی
a : گشتاور بر حسب جریان ارمیچر
b : سرعت برحسب جریان ارمیچر

۲ ــ ۸ ــ ۵ موتور DC کمپوند اضافی : 5-8.2 Cumulative Compound Motor

هرگاه سیم پیچهای تحریک سری و تحریک شنت (موازی) طوری متصل شوند که میدانهای آنها به یکدیگر کمک نمایند ، در اینصورت موتور کمپوند اضافی حاصل میشود .

POWEREN.IR

روابط زیر را میتوان برای گشتاور و سرعت این موتورها نوشت (چرا؟):

$$T = K(\phi_f + \phi_s)I_a \qquad (5\text{-}26)$$

$$\text{speed} \approx \frac{V_t}{K(\phi_f + \phi_s)} \qquad (5\text{-}27)$$

با دقت کردن به این روابط در مییابیم که عملکرد این موتورها مشابه عملکرد موتورهای DC شنت (موازی) میباشد. با افزایش بار، Ia زیاد شده و گشتاور بیشتری حاصل میشود. نحوه افزایش گشتاور در موتورهای کمپوند اضافی بمراتب بیش از موتور DC شنت است، زیرا در موتورهای کمپوند اضافی شار خالص درون ماشین نیز با افزایش بار زیاد میشود (چرا؟).

با آنکه مشخصه گشتاور موتورهای کمپوند اضافی جالب توجه است، اما مشخصه سرعت آنها زیاد جالب نیست، زیرا با افزایش بار مخرج کسر ذکر شده در رابطه (۲۷ ۵) نیز زیاد میشود (چرا؟) ولذا سقوط سرعت بمراتب بیش از سقوط سرعت در موتورهای DC شنت خواهد بود. مشخصه سرعت و گشتاور موتورهای DC کمپوند اضافی و نقصانی در شکل (۱۸ ــ ۵) رسم شده‌اند.

در مواقعی که بار بطور ناگهان افزایش می‌یابد می‌توان از موتورهای DC کمپوند اضافی استفاده نمود.

مثال ۱۴ ــ ۵ (سیستم ENG): ***Example 5-14 (English)***

یک موتور DC کمپوند با شنت بلند که بصورت کمپوند اضافی عمل میکند مفروض است و در حالت بار کامل میچرخد. مشخصات این موتور بشرح زیر است:

ولت ۲۴۰ = ولتاژ اسمی ترمینال

آمپر ۱۰ = جریان اسمی

دور در دقیقه ۱۲۰۰ = سرعت اسمی

اهم ۱۸۰ = مقاومت تحریک شنت

اهم ۲ = مقاومت آرمیچر

اهم ۱/۲۲ = مقاومت تحریک سری

وات ۱۶۰ = تلفات توان سرگردان

POWEREN.IR

مطلوبست:

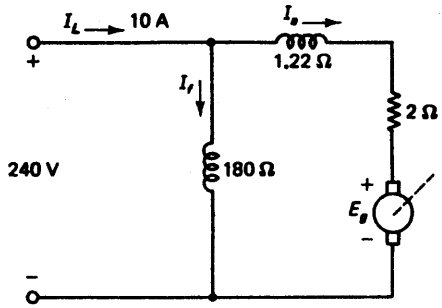
(الف): محاسبه نیروی ضد محرکه موتور (BEMF)

(ب): توان اسمی موتور

(ج): راندمان موتور

(د): گشتاور اسمی موتور

(هـ): گشتاور حاصله در موتور (Developed torque)



شکل ۱۹ ــ ۵: مدار معادل مربوط به مثال ۱۴ ــ ۵

حل:

ابتدا شکل مدار را رسم میکنیم و کمیت‌ها را بر روی آن مشخص میسازیم (شکل ۱۹ ــ ۵)، حال جریانهای مجهول در شکل را حساب میکنیم:

$$I_f = \frac{V_t}{R_f} = \frac{240\ \text{V}}{180\ \Omega} = 1.33\ \text{A}$$

$$I_a = I_L - I_f = 10\ \text{A} - 1.33\ \text{A} = 8.67\ \text{A}$$

(الف): با توجه بشکل و اعداد آن داریم:

$$E_g = V_t - I_a(R_a + R_s)$$
$$= 240\ \text{V} - 8.67\ \text{A}(2\ \Omega + 1.22\ \Omega)$$
$$= 240 - 27.92 = 212.08\ \text{V}$$

(ب): توان اسمی موتور همان توان خروجی در حالت بار کامل است. برای بدست آوردن آن باید از رابطه (۱۱ ــ ۵) استفاده کرد. ابتدا تلفات را حساب میکنیم:

$$\text{shunt loss} = V_t I_f = 240\ \text{V} \times 1.33\ \text{A} = 319.2\ \text{W}$$

$$\text{armature loss} = R_a I_a^2 = 2\ \Omega \times (8.67)^2 = 150.34\ \text{W}$$

POWEREN.IR

$$\text{series loss} = R_s I_a^2 = 1.22\ \Omega \times (8.67)^2 = 91.71\ \text{W}$$

$$\text{stray loss} = 160\ \text{W}$$

اما :

$$P_i = V_t I_L = 240\ \text{V} \times 10\ \text{A} = 2400\ \text{W}$$

$$P_o = P_i - \text{losses} = 2400\ \text{W} - 721.25\ \text{W}$$

$$= 1678.75\ \text{W}$$

پس :

$$P_o = \frac{1678.75\ \text{W}}{746\ \text{W/hp}} = 2.25\ \text{hp}$$

(ج) : بسهولت میتوان گفت که :

$$\eta = \frac{P_o}{P_i} \times 100$$

$$= \frac{1678.75}{2400} \times 100$$

$$= 70\%$$

(د) : برای محاسبه گشتاور اسمی از رابطه (۳ a – ۵) کمک گرفت و باید در این رابطه از توان اسمی نیز استفاده شود .

$$T = 7.04 \times \frac{P}{S}$$

$$= 7.04 \times \frac{1678.75}{1200}$$

$$= 9.85\ \text{ft-lb}$$

(هـ) : برای پیدا کردن گشتاور حاصله در ماشین باید از رابطه (۳ a – ۵) کمک گرفت و در این معادله از توان حاصله در ماشین نیز استفاده میشود . برای محاسبه توان حاصله در ماشین از دو روش استفاده میشود .

(1) $P_{dev} = P_o + \text{stray power loss}$

$$= 1678.75 + 160 = 1838.75\ \text{W}$$

(2) $P_{dev} = \text{converted power} = E_g I_a$ (see Eq. 5-13)

$$= 212.08\ \text{V} \times 8.67\ \text{A}$$

$$= 1838.73\ \text{W}$$

POWEREN.IR

$$T = 7.04 \times \frac{P}{S}$$

$$= 7.04 \times \frac{1838.75}{1200}$$

$$= 10.79 \text{ ft-lb}$$

مثال ۱۵ ــ ۵ (سیستم SI):

Example 5-15 (SI)

یک موتور DC کمپوند با شنت بلند که بصورت کمپوند اضافی عمل میکند مفروض است و درحالت بار کامل میچرخد . مشخصات این موتور بقرار زیر است :

ولت ۱۲۰ = ولتاژ اسمی ترمینال

آمپر ۱۵ = جریان اسمی

رادیان بر ثانیه ۱۴۰ = سرعت اسمی

اهم ۱۰۰ = مقاومت تحریک شنت

اهم ۰/۸ = مقاومت آرمیچر

اهم ۰/۲ = مقاومت تحریک سری

وات ۶۵ = تلفات توان سرگردان

مطلوبست :

(الف) : نیروی ضد محرکه (BEMF)

(ب) : توان اسمی

(ج) : راندمان

(د) : گشتاور اسمی

(هـ) : گشتاور حاصله در موتور

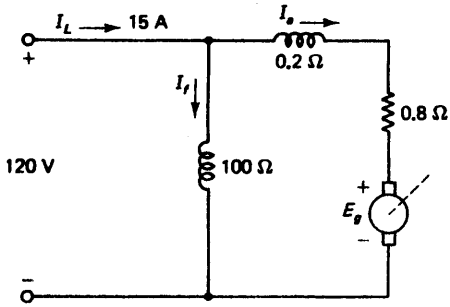
حل :

ابتدا شکل مدار را رسم میکنیم و اعداد مربوطه را بر روی آن مینویسیم (شکل ۲۰ ــ ۵) . حال جریانهای مجهول را حساب میکنیم :

$$I_f = \frac{V_t}{R_f} = \frac{120 \text{ V}}{100\ \Omega} = 1.2 \text{ A}$$

$$I_a = I_L - I_f = 15 \text{ A} - 1.2 \text{ A} = 13.8 \text{ A}$$

POWEREN.IR



شکل ۲۰ ـ ۵: مدار مربوط به مثال ۱۵ ـ ۵

(الف): با توجه به شکل و اعداد مربوطه داریم:

$$E_g = V_t - I_a(R_a + R_s)$$
$$= 120\text{ V} - 13.8\text{ A}(0.8\ \Omega + 0.2\ \Omega)$$
$$= 120 - 13.8 = 106.2\text{ V}$$

(ب): توان اسمی موتور همان توان خروجی دربار کامل است. برای این منظور از رابطه (۱۱ ـ ۵) استفاده میکنیم. اما باید ابتدا تلفات را حساب کرد:

$$\text{shunt loss} = V_tI_f = 120\text{ V} \times 1.2\text{ A} = 144\text{ W}$$
$$\text{armature loss} = R_aI_a^2 = 0.8\ \Omega \times (13.8\text{ A})^2 = 152.35\text{ W}$$
$$\text{series loss} = R_sI_a^2 = 0.2\ \Omega \times (13.8\text{ A})^2 = 38.1\text{ W}$$
$$\text{stray loss} = 65\text{ W}$$
$$P_i = V_tI_L = 120\text{ V} \times 15\text{ A} = 1800\text{ W}$$
$$P_o = P_i - \text{losses} = 1800\text{ W} - 399.45\text{ W}$$
$$= 1400.55\text{ W} = 1.4\text{ kW}$$

(ج): واضح است که:

$$\eta = \frac{P_o}{P_i} \times 100$$
$$= \frac{1400}{1800} \times 100$$
$$= 78\%$$

(د): گشتاور اسمی از رابطه (۳b ـ ۵) بدست می‌آید و باید در این روابط از توان اسمی استفاده شود.

POWEREN.IR

$$T = 1000 \times \frac{P}{\omega}$$

$$= 1000 \times \frac{1.4}{140}$$

$$= 10 \text{ N-m}$$

(هـ): برای پیدا کردن گشتاور حاصله در ماشین از رابطه (۳b ـ ۵) کمک میگیریم و باید در این رابطه از توان حاصله در ماشین استفاده شود. از دو روش میتوان این توان را بدست آورد.

(1) $P_{dev} = P_o$ + stray power loss

$= 1400.55 \text{ W} + 65 \text{ W} = 1465.55 \text{ W}$

(2) P_{dev} = converted power = $E_g I_a$ (see Eq. (5-13)

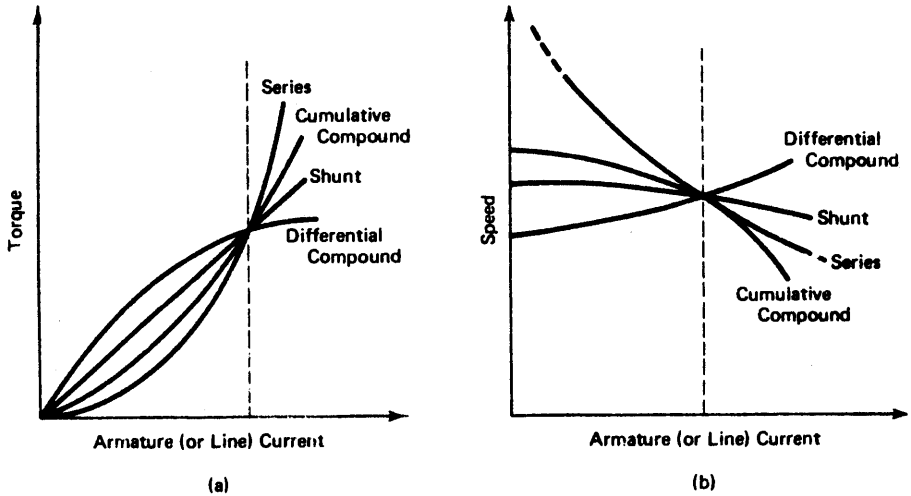
$= 106.2 \text{ V} \times 13.8 \text{ A}$

$= 1465.56 \text{ W}$

$$T = 1000 \times \frac{P}{\omega}$$

$$= 1000 \times \frac{1.465}{140}$$

$$= 10.46 \text{ N-m}$$



شکل ۲۱ ـ ۵: مقایسه موتورهای DC

a: مشخصه گشتاور b: مشخصه سرعت

POWEREN.IR

POWEREN.IR

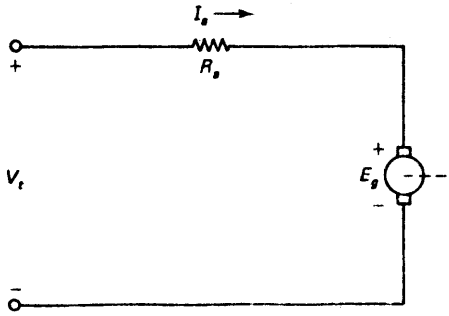
~~5-8.3~~ Comparison of Motors ۳ ــ ۸ ــ ۵ مقایسه موتورهای DC

برای آنکه بتوان دریافت که در چه مواقعی از کدام موتور DC باید استفاده نمود . میبایستی مشخصه‌های آنها را با هم مقایسه کرد . برای مقایسه کافی است که به مشخصه‌های گشتاور و سرعت انواع موتورها توجه کنیم (شکل ۲۱ ــ ۵) . اگر موتورهای مختلف DC اما با توان اسمی یکسان را با هم مقایسه کنیم ، در این صورت تمامی مشخصه‌ها در یک نقطه تلاقی خواهند داشت و این نقطه مربوط به مقادیر اسمی مشترک میباشد . با توجه به محدوده تغییرات باری که باید توسط موتور بچرخد ، میتوان موتور مناسبی را انتخاب نمود .

۹ ــ ۵ موتورهای DC که قسمت تحریک آنها از آهن ربای دائم ساخته شده است .

5-9 PERMANENT-MAGNET MOTORS

در این گونه موتورها به مدار تحریک نیاز نداریم . در این موتورها هسته از الیاژی ساخته شده است که دائما " خاصیت مغناطیسی خود را حفظ میکند (شکل ۲۲ ــ ۵) . از آنجائیکه در این موتورها مدار تحریک وجود ندارد ، لذا اینگونه موتورها بمراتب از موتورهای شنت و کمپوند با توان اسمی مشابه پر بازده‌تر میباشد . همچنین در این موتورها میتوان سرعت و جهت چرخش موتور را بسهولت کنترل نمود . در این رابطه کافی است فقط پلارتیه ولتاژ شبکه تغذیه را عوض کنیم . اگر پلارتیه V_t را عوض کنیم در این صورت جهت جریان آرمیچر عوض میشود ولی جهت شار تغییر نخواهد کرد . بهمین خاطر است که اینگونه موتورهای DC در اسباب بازی بچه‌ها و سیستمهای کنترل الکترومکانیکی (سرو مکانیسم) کاربرد وسیعی دارد . مشخصه اینگونه موتورها مشابه موتور شنت با شار ثابت میباشد .

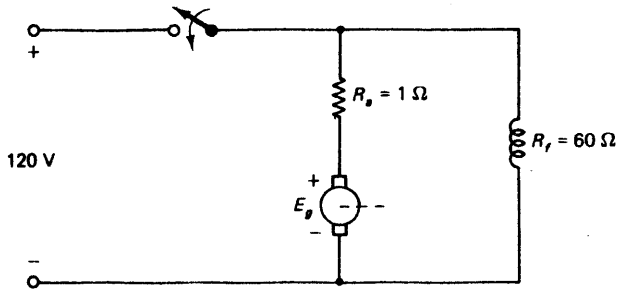


شکل ۲۲ ــ ۵ : شمای موتور DC که مدار تحریک آن از آهن‌ربای دائم ساخته شده است

POWEREN.IR

۱۰ ــ ۵ راه اندازی موتورهای DC 5-10 STARTING DC MOTORS

تا این لحظه درباره راه اندازی (۱) موتورهای DC صحبت نکرده‌ایم ، اگر بشکل (۲۳ ــ ۵) توجه شود و جریان در لحظه راه اندازی حساب شود (جریان راه اندازی) (۲) ، میتوان بخوبی دریافت که برای راه اندازی موتورهای DC بوسیله خاصی نیاز داریم :



شکل ۲۳ ــ ۵ : موتور DC شنت که بطور ناصحیحی راه‌اندازی می‌گردد

در لحظه شروع راه‌اندازی موتور هنوز نمیچرخد لذا نیروی ضد محرکه (BEMF) که همان (E_g) می‌باشد صفر بوده ، لذا در لحظه وصل کلید ، جریان اینچنین حساب میشود .

$$I_a = \frac{120\ \text{V}}{1\ \Omega} = 120\ \text{A}$$

$$I_f = \frac{120\ \text{V}}{60\ \Omega} = 2\ \text{A}$$

$$I_L = 120\ \text{A} + 2\ \text{A} = 122\ \text{A}$$

از محاسبات بالا در مییابیم اگر ۱۲۰ آمپر از آرمیچر بگذرد ، حالت خطرناکی پیش می‌آید و فاجعه آفرین خواهد بود و ممکن است لطمات جبران ناپذیری به سیستم وارد آید :

۱ ــ جاروبکها می‌سوزند

۲ ــ سیم پیچ آرمیچر میسوزد زیرا آرمیچرها معمولا "جریان ۱۰ تا ۲۰ آمپر راتحمل میکنند .

۳ــ به منبع تغذیه موتور نیز ممکن است صدمه وارد آید .

حال اگر فیوز (۳) یا مدار شکن (۴) در مدار نصب کنیم و این لوازم حفاظتی

---

1) Starting 2) Starting-Current
3) Fuse 4) Circuit-Breaker

POWEREN.IR

بخواهند موتور را نجات دهند در اینصورت موتور از شبکه جدا شده و فلسفه راه اندازی نقض میگردد .

لذا در مییابیم که برای راه اندازی موتورها باید از وسیله‌ای استفاده کنیم تا بتدریج ولتاژ را بر دو سرترمینال ماشین اعمال کند ، در نتیجه ولتاژ و نیروی ضد محرکه ماشین بتدریج افزایش مییابد .

۱ ــ ۱۰ ــ ۵ راه اندازی سه نقطه‌ای برای موتورهای DC *5-10.1 Three-Point Starter*

یکی از انواع راه اندازی‌های دستی در شکل (۲۴ ــ ۵) نشان داده شده است و بخصوص به دور وسیله راه انداز خط چین‌هائی رسم شده است . اینگونه راه اندازها را سه نقطه‌ای نامند ، زیرا حاوی ۳ ترمینال L ، A و F هستند . اگر دسته راه‌انداز را بکشیم و در جهت START آنرا حرکت دهیم در اینصورت عملیات زیر همزمان با هم در ماشین انجام میشود .

الف: مدار تحریک برق‌دار میشود .

ب: مدار آرمیچر نیز توسط یک مقاومت سری (مقاومت راه انداز)[1] به منبع تغذیه (V_t) وصل میشود .

باید گفت مقاومت راه انداز جریان آرمیچر را محدود میسازد .

با سرعت گرفتن ماشین ، دسته راه انداز بتدریج بطرف وضعیت ON میبریم . در طی این مرحله در هر لحظه ولتاژ زیادتری به آرمیچر اعمال میکنیم تا بالاخره به وضعیت ON برسیم . وقتی به‌وضعیت ON رسیدیم ، ولتاژ کامل بر دو سر آرمیچر اعمال میشود . در این مرحله سرعت موتور نیز به اندازه کافی بالا رفته و نیروی ضد محرکه کافی در ماشین وجود دارد که از ازدیاد بیش از حد جریان آرمیچر جلوگیری کند . دسته راه انداز توسط یک آهن ربای الکترو مغناطیسی که در مدار تحریک قرار دارد جذب میشود و در همین وضعیت میماند . اگر ماشین را از شبکه قطع کنیم ، تمام جریانها صفر شده و لذا آهن ربای الکترومغناطیسی دسته‌راه‌انداز را آزاد میکند و دسته دوباره سریعا " به وضعیت اولیه OFF برمیگردد .

باید گفت که در مرحله راه اندازی باید دسته به تدریج و به آرامی از وضعیت

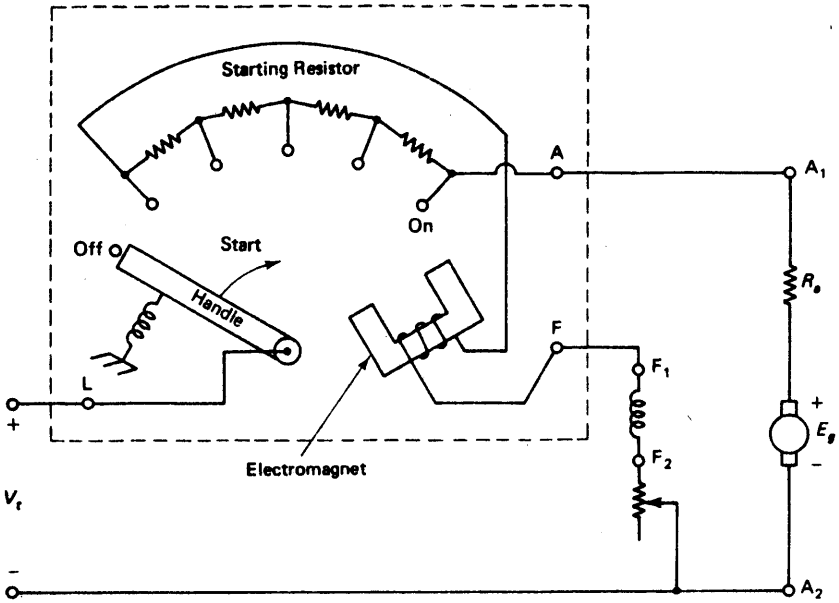
---

1) Starting-resistor

POWEREN.IR

OFF به وضعیت ON برود . اگراین عمل را سریع و شتابزده انجام دهیم ، در اینصورت فلسفه وجودی راه انداز نقض میشود . بعبارت دیگراگراین عمل را سریع انجام دهیم قبل از آنکه نیروی ضد محرکه قابل ملاحظه‌ای در ماشین بوجود آید ، ولتاژ نسبتا " زیادی بر دو سر آرمیچر اعمال نموده‌ایم .

در اینگونه راه اندازها جذب دسته راه انداز توسط آهن ربای الکترو مغناطیسی خالی از اشکال نیست . زیرا همانطور که میدانیم این آهن ربا توسط جریان مدار تحریک برق دار و تحریک میشود . حال اگر بخواهیم سرعت موتور را در مراحل راه اندازی زیاد کنیم ، باید شار را کم نمائیم . کم کردن شار مترادف با کم کردن جریان تحریک است . در نتیجه باید مقاومت مدار تحریک را بتدریج زیاد کنیم (با رئوستا) . اگر شرایطی حاصل شود که جریان مدار تحریک آنقدر کم شود که آهن ربای الکترو مغناطیسی خاصیت خود را از دست دهد ، دسته رها شده و موتور خاموش میگردد (دسته به وضعیت OFF میرود) . در نتیجه راه اندازهای سه نقطه‌ای زیاد مطلوب نیستند .



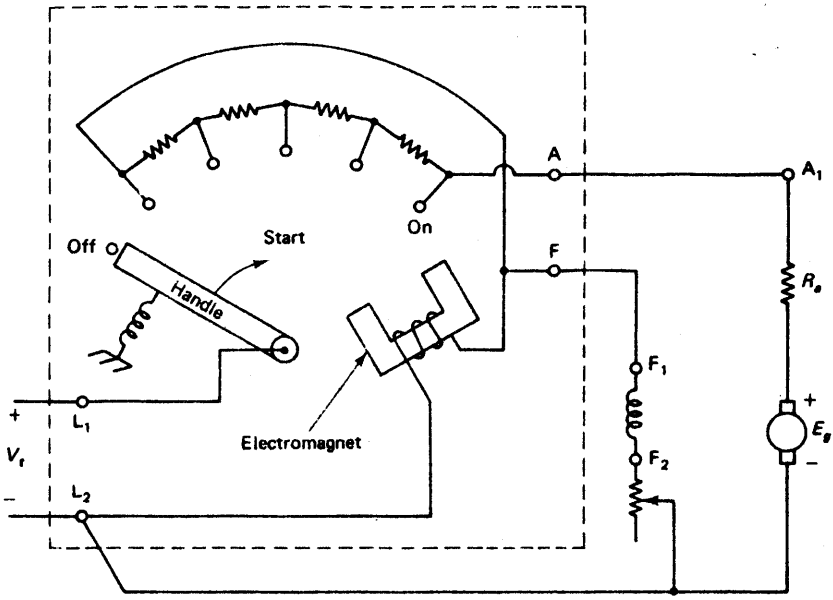
شکل ۲۴ ــ ۵ : شمای یک راه انداز سه نقطه‌ای

POWEREN.IR

۲ ــ ۱۰ ــ ۵ راه اندازی ۴ نقطه‌ای برای موتورهای DC

5-10.2 Four-Point Starter

اینگونه راه‌اندازها در شکل (۲۵ ــ ۵) نشان داده شده است . در این راه اندازها ۴ ترمینال (۴ سر) وجود دارد . در این راه اندازها دیگر آهن ربای الکترو مغناطیسی توسط جریان مدار تحریک تغذیه نمیشود . همچنین تغییرات جریان مدار تحریک در شدت و ضعف این آهن ربا اثری ندارد درنتیجه نا مطلوبی راه انداز از سه نقطه‌ای برطرف میگردد .



شکل ۲۵ ــ ۵: شمای یک راه‌انداز چهار نقطه‌ای

۳ ــ ۱۰ ــ ۵ راه اندازهای اتوماتیک (خودکار) برای موتورهای DC

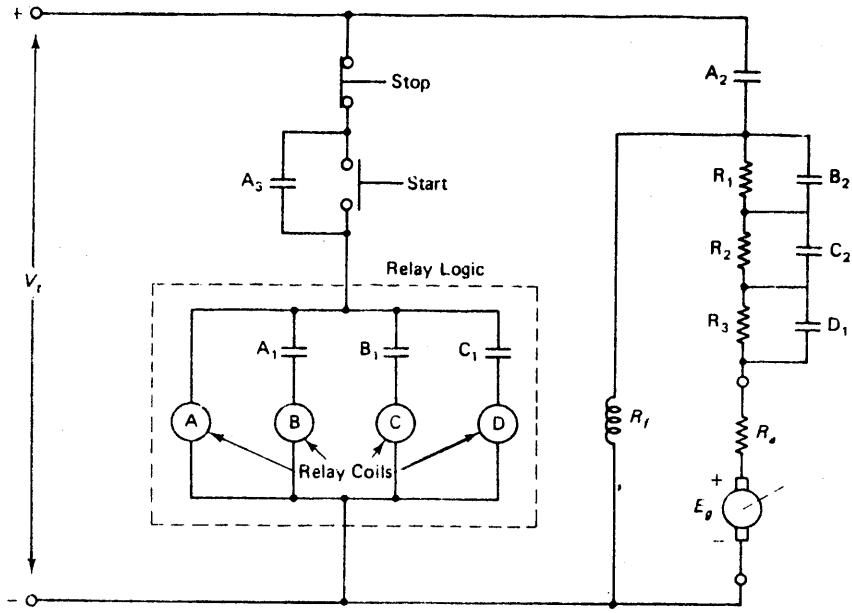
5-10.3 Automatic Starters

کار با اینگونه راه اندازها بسیار ساده است . فقط کافی است دکمه‌ای را فشار دهیم . دو طرح بسیار جالب برای اینگونه راه اندازها وجود دارد .

الف طرح اول:

این طرح در شکل (۲۶ ــ ۵) نشان داده شده است و شامل سه رله تاخیر زمانی

POWEREN.IR



شکل ۲۶ ـ ۵: شمای یک راه انداز اتوماتیک که از رله‌های با تاخیر زمانی استفاده می‌کند.

B ، C و D میباشد.

هرگاه دکمه START را فشار دهیم مراحل زیر طی میشود:

۱ ـ با فشار دادن دکمه START رله A برق دار میشود.

۲ ـ با برق دار شدن رله A ، کنتاکتهای آن (A_1 ، A_2 ، A_3) بسته میشوند.

۳ ـ کنتاکت A_1 رله تاخیر زمانی (۱) B را برق دار میکند.

۴ ـ کنتاکت A_2 مدار تحریک و مدار آرمیچر را برق دار میکند.

۵ ـ کنتاکت A_3 بقسمت RELAY-Logic برق میرساند.

۶ ـ پس از یک تاخیر زمانی معین رله B کنتاکتهای خود (B_1 و B_2) را میبندد.

۷ ـ کنتاکت B_1 ، رله C را برق دار میکند.

۸ ـ کنتاکت B_2 ، مقاومت R_1 را از مدار خارج میسازد.

۹ ـ پس از یک تاخیر زمانی معین رله C کنتاکتهای خود (C_1 و C_2) را میبندد.

---

1) Time-delay-Relay

POWEREN.IR

۱۰ ــ کنتاکت C_4 رله D را برق‌دار میکند .

۱۱ ــ کنتاکت C_2 مقاومت R_2 را از مدار خارج میسازد .

۱۲ ــ پس از یک تاخیر زمانی معین رله D کنتاکت خود (D_1) را میبندد .

۱۳ ــ کنتاکت D_2 مقاومت R_3 را از مدار خارج میکند .

پس از طی ۱۳ مرحله فوق‌ولتاژ کامل بدو سر آرمیچر اعمال میشود وراه اندازی موتور کامل گشته است .

باید گفت که رله‌های A ، B ، C ، D باید با ولتاژی کمتر از V_t تحریک شوند .

ب : طرح دوم

در این طرح از رله‌های تاخیر زمانی استفاده نمیشود ، بلکه با حس کردن نیروی ضد محرکه ، رله‌ها وارد عمل میشوند . بعبارت دیگر هر چه نیروی محرکه و سرعت ماشین بیشتر شود رله‌ها وارد عمل میشوند . شمای این طرح در شکل (۲۷ ــ ۵) نشان داده شده است . هرگاه دکمه START فشار داده شود ، مراحل زیر در ماشین طی میشود .

۱ ــ با فشار دادن دکمه START رله A برق‌دار میشود .

۲ ــ با برق‌دار شدن رله A کنتاکتهای آن (A_1 و A_2) بسته میشوند .

۳ ــ کنتاکت A_1 مدار تحریک را برق‌دار میکند .

۴ ــ کنتاکت A_2 ، باعث تداوم برق رله A میگردد .

با افزایش سرعت ماشین ، رله‌های B و C و D که بدو سرآرمیچر وصل شده‌اند ، افزایش ولتاژ دو سر آرمیچر ($E_g+R_aI_a$) را حس میکنند . هرگاه ولتاژ دو سر آرمیچر معادل ۳۰٪ مقدار V_t گردید ، رله B تحریک میشود .

۵ ــ با تحریک شدن رله B کنتاکت آن (B_1) بسته میشود .

۶ ــ با بسته شدن کنتاکت B ، مقاومت R_1 از مدارخارج میشود و در نتیجه سرعت موتور بالاتر میرود .

هرگاه ولتاژ دو سر آرمیچر حدود ۶۰٪ مقدار V_t شد ، رله C عمل میکند .

۷ ــ با عمل کردن رله C کنتاکت آن (C_1) بسته میشود .

۸ ــ با بسته شدن کنتاکت C_1 ، مقاومت R_2 از مدار خارج میشود و سرعت

POWEREN.IR

موتور بالاتر میرود .

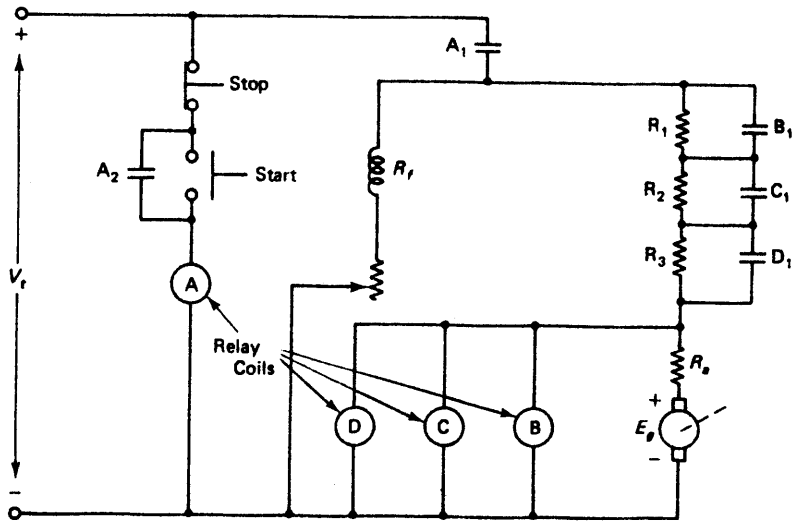
هرگاه ولتاژ دو سر آرمیچر حدود ۹۰% مقدار Vt شد ، رله D عمل میکند .

۹ ــ با عمل کردن رله D کنتاکت آن (D_1) بسته میشود .

۱۰ ــ با بسته شدن کنتاکت D_1 مقاومت R3 از مدار خارج میگردد .

پس از طی مراحل ۱۰ گانه فوق ولتاژ کامل بدو سر آرمیچر اعمال میشود . و موتور بسرعت نهائی خود رسیده است .

در دو طرح اتوماتیک فوق‌الذکر اگر دکمه STOP را فشار دهیم ، ماشین بحالت سکون (۱) باز خواهد گشت .



شکل ۲۷ ــ ۵: شمای یک راه‌انداز اتوماتیک که نیروی ضد محرکه (BEMF) را حس می‌کند

مثال ۱۶ ــ ۵ ***Example 5-16***

یک موتور DC شنت با مشخصات زیر مفروض است

ولتاژ اسمی ترمینال = ۱۲۰ ولت

نوع راه انداز = ۴ نقطه‌ای

جریان اسمی آرمیچر = ۵ آمپر

مقاومت آرمیچر = ۱ اهم

مقاومت راه انداز = ۱۵ اهم

1) Stall

POWEREN.IR

مطلوبست:

۱ ــ جریان آرمیچر در لحظه راه اندازی

۲ ــ جریان فرضی فوق چند درصد جریان اسمی است.

حل:

۱ ــ در لحظه راه اندازی کل مقاومت آرمیچر R_a+R_{start} میباشد، لذا:

$$R_{tot} = 1\ \Omega + 15\ \Omega = 16\ \Omega$$

$$I_a = \frac{V_t}{R_{tot}} = \frac{120\ V}{16\ \Omega} = 7.5\ A$$

۲ ــ با توجه به اعداد فوق داریم:

$$\frac{7.5\ A}{5\ A} \times 100 = 150\%$$

۱۱ ــ ۵ متوقف کردن موتورهای DC ۲ 5-11 STOPPING A DC MOTOR

همانطور که در بخش قبلی گفتیم اگر دکمه STOP فشار داده شود، ماشین مرحله متوقف شدن را طی میکند تا بالاخره می‌ایستد. باید گفت که در موتورهای بزرگ چون اینرسی ماشین‌زیاد است، لذا مدتی طول خواهد کشید تا توقف کامل موتور حاصل شود. باید توجه کرد که اگر دوران ماشین برای مدتی ادامه یابد و این دوران برای وسائل جنبی یا افراد خطراتی را بهمراه داشته باشد، در اینصورت دوران اضافی تا رسیدن به حالت سکون مجاز نیست. و باید از روشی استفاده شود که توقف رتور بسرعت و بطور ناگهانی رخ دهد.

یکی از روشهائی که میتوان برای این منظور از آن استفاده کرد روش ترمز کردن دینامیکی (۱) است. در این روش انرژی مکانیکی موتور را به انرژی الکتریکی تبدیل میکنیم و واضح است که این انرژی الکتریکی جدید رامیتوان بسرعت تلف نمود. یکی از راههای دیگر آن است که بر رؤی محور موتور یک ژنراتور نصب کنیم. در شرایط عادی این ژنراتور بار بسیار کمی برای موتور محسوب میشود، اما وقتی فرمان توقف (STOP) صادر شد، مقاومتی به ترمینالهای ژنراتور وصل میگردد. این مقاومت از ژنراتور انرژی

1) Dynamic Breaking

POWEREN.IR

دریافت میدارد ، درنتیجه این مقاومت بسرعت خروجی موتور را در حقیقت ورودی ژنراتور است مصرف میکند .

یکی دیگر از روشهای موجود برای توقف سریع موتورها همان روش plugging است . این روش را میتوان به اتومبیلی تشابه کرد که هنگام حرکت بجلو ناگهان راننده دنده عقب بگیرد . در این صورت گیر بکس ماشین از بین میرود ولی موتور ماشین سالم میماند .Plugging را اینطور انجام میدهند که در شرایطی که میخواهیم ماشین توقف پیدا کند . پلارتیه ولتاژ آرمیچر را عوض مینمایند . در حقیقت با تعویض پلارتیه ولتاژ ، ماشین را مجبور میسازیم که جهت چرخش خود را عوض میکند ، لذا سرعت دوران بشدت کاهش مییابد . در موقعی که ماشین به توقف کامل رسید ، قبل از آنکه در جهت مخالف شروع به گردش نماید ، آنرا از منبع تغذیه جدا میسازد .

تنها خطر روش plugging ، بوجود آمدن جریان شدید در آرمیچر است ، علت این امر آن است که بمحض تعویض پلارتیه ولتاژ آرمیچر ، ولتاژ ضد محرکه نیز با ولتاژ آرمیچر هم جهت شده و لذا مجموع این دو ولتاژ جریان زیادی را در آرمیچر بوجود می‌آورند . برای جلوگیری از این امر ، از یک مقاومت محدود کننده جریان ، که بطور سری با آرمیچر قرار میگیرد استفاده میکنند . البته باید توجه کرد که این مقاومت موقعی که پلارتیه ولتاژ آرمیچر عوض میشود ، وارد مدار میگردد .

مثال ۱۷ – ۵ :

Example 5-17

یک موتور DC شنت با مشخصات زیر مفروض است :

ولتاژ اسمی ترمینال = ۱۲۰ ولت

جریان اسمی آرمیچر = ۱۰ آمپر

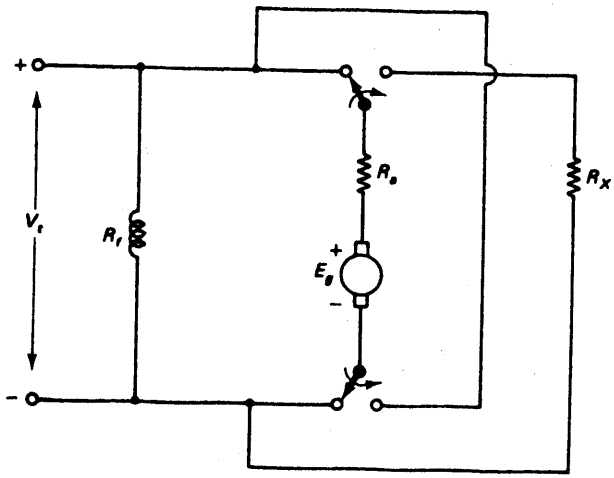
مقاومت آرمیچر = ۱ اهم

این ماشین تحت سرعت اسمی میچرخد و نیروی ضد محرکه آن ۱۱۰ ولت است . اگر از روش plugging برای توقف ماشین استفاده شود (شکل ۲۸ – ۵) ، مطلوبست محاسبه مقاومت محدود کننده جریان (R_x) ، برای آنکه جریان آرمیچر از ۱۵ آمپر تجاوز نکند .

حل :

وقتی فرمان توقف (STOP) صادر شد ، هر دو کلید نشان داده شده در شکل

POWEREN.IR



شکل ۲۸ ــ ۵: مدار مربوط به مثال ۱۷ ــ ۵

همزمان با هم تغییر وضعیت میدهند . لذا جریان آرمیچر اینچنین حساب میشود :

$$I_a = \frac{E_g + V_t}{R_a + R_x}$$

پس:

$$15\ \text{A} = \frac{110\ \text{V} + 120\ \text{V}}{1\ \Omega + R_x}$$

$$1 + R_x = \frac{330}{15} = 22$$

$$R_x = 21\ \Omega$$

POWEREN.IR

SYMBOLS INTRODUCED IN CHAPTER 5

	Symbol	Definition	Units English	Units SI
۱	T	Torque (developed or output)	lb-ft	N-m
۲	α	Angular acceleration	rad/s^2	rad/s^2
۳	J	Moment of inertia	$\frac{\text{ft-lb-s}^2}{\text{rad}}$	$\frac{\text{N-m-s}^2}{\text{rad}}$
۴	P	Power (developed or output)	hp	watts
۵	T_L	Load torque	lb-ft	N-m
۶	K_m	Motor torque constant	ft-lb/V	N-m/V
۷	K_B	Motor back EMF constant	$\frac{\text{ft-lb-min}}{\text{rev}}$	$\frac{\text{N-m-s}}{\text{rad}}$
۸	S.R.	Speed regulation	percent	percent
۹	ϕ_f	Shunt-field flux	lines	webers
۱۰	ϕ_s	Series-field flux	lines	webers
۱۱	R_x	External current-limiting resistor used in plugging	ohms	ohms

علائم استفاده شده در فصل ۵:

۱ ــ گشتاور (کویل) ۲ ــ شتاب زاویه‌ای ۳ ــ ممان اینرسی (کنگر سختی) ۴ ــ توان ۵ ــ گشتاور بار ۶ ــ ضریب ثابت گشتاور در موتور DC ۷ ــ ضریب ثابت نیروی ضد محرکه در موتور ۸ ــ تنظیم سرعت ۹ ــ شار مدار تحریک شنت ۱۰ ــ شار مدار تحریک سری ۱۱ ــ مقاومت محدود کننده جریان در روش Plugging

POWEREN.IR

POWEREN.IR

فصل ششم

مسائل فصل اوّل تا پنجم

۵۰ صفحه

POWEREN.IR

PowerEn.ir

POWEREN.IR

POWEREN.IR

۱ ــ ۶ سئوالات و مسائل فصل اول

سئوالات :

۱ ــ کمیتهای مغناطیس مشابه کمیتهای الکتریکی ذیل را نام ببرید .

(الف) : ولتاژ

(ب) : مقاومت

(ج) : یک هادی خوب

۲ ــ پرمابلیته (نفوذ ناپذیری مغناطیسی) را تعریف کنید و کمیت الکتریکی مشابه آنرا بنویسید .

۳ ــ منحنی B-H چیست .

۴ ــ چرا به منحنی B-H نیاز داریم .

۵ ــ پس ماند مغناطیسی چیست و چرا بوجود می‌آید .

مسائل (سیستم ENG) :

۱ ــ چگالی شار (B) در یک هسته معادل ۱۰۰۰۰۰ ماکسول بر اینچ مربع میباشد . مطلوبست محاسبه شار اگر سطح مقطع هسته بقرار زیر باشد .

(الف) : ۴ اینچ مربع

(ب) : دایره‌ای بقطر ۴ اینچ

(ج) : ۵% فوت مربع

۲ ــ بدور یک هسته مغناطیس یک سیم پیچ ۵۰۰ دوری پیچیده شده است و جریان سیم پیچ ۵ آمپر است . اگر طول متوسط هسته ۱۴ اینچ باشد مطلوبست MMF و شدت میدان مغناطیسی (H) .

۳ ــ یک هسته بطول متوسط ۱۲ اینچ مفروض است و بدور آن سیم پیچ ۲۵۰ دوری پیچیده شده است . اگر بخواهیم H معادل ۹۰ آمپر دور بر اینچ باشد ، جریان سیم پیچ را بدست آورید .

POWEREN.IR

۴ ــ اگر در محفظه‌ای پر از هوا H معادل ۵۰ آمپر دور بر اینچ باشد ، چگالی شار (B) را حساب کنید .

۵ ــ اگر در محفظه‌ای پر از هوا B معادل ۲۰۰۰۰ ماکسول بر اینچ مربع باشد ، شدت میدان مغناطیسی (H) را بدست آورید .

۶ ــ در محفظه‌ای پر از هوا شار معادل ۳۰۰۰۰۰ ماکسول میباشد . اگر سطح مقطع این محفظه ۸ اینچ مربع باشد ، H را بدست آورید .

۷ ــ یک هسته از جنس فولاد ریخته‌گری مفروض است (شکل ۱ ــ ۶) . مشخصات هسته بقرار زیر است :

A = ۸ اینچ مربع

L = ۲۰ اینچ

N = ۸۰ دور

شار = ۷۲۰۰۰۰ ماکسول

جریان سیم پیچ را بدست آورید .

۸ ــ یک هسته از جنس چدن مفروض است (شکل ۶ ــ ۱) مشخصات هسته بقرار زیر است .

A = ۶ اینچ مربع

N = ۱۰۰ دور

L = ۱۲ اینچ

اگر جریان سیم پیچ ۱۰ آمپر باشد ، شار در هسته را بدست آورید .

۹ ــ یک هسته از جنس فولاد ریخته‌گری مفروض است (شکل ۶ ــ ۱) . مشخصات هسته بقرار زیر است :

A = ۲ اینچ مربع

N = ۲۰۰ دور

L = ۱۰ اینچ

مطلوبست شار و چگالی شار (B) در این هسته . جریان در سیم پیچ را ۱۰ آمپر بگیرید .

۱۰ ــ در یک هسته میخواهیم ماکزیمم شاری معادل ۴۰۰۰۰۰ ماکسول بوجود آید مطلوبست سطح مقطع مینیمم این هسته اگر :

(الف) : جنس هسته از نوع چدن باشد .

POWEREN.IR

(ب) : جنس هسته از نوع فولاد ریخته‌گری باشد .

۱۱ ــ هسته‌ای مطابق شکل (۲ ــ ۶) مفروض است (toroid یا چنبره) .
مشخصات هسته بقرار زیر است :

N = ۱۰۰ دور　　r_1 = ۲ اینچ

I = ۴/۵ آمپر　　r_2 = ۳ اینچ

شار در هسته را حساب کنید مشروط بر آنکه جنس هسته از نوع فولاد ریخته‌گری باشد .

۱۲ ــ هسته‌ای مطابق شکل (۳ــ۶) مفروض است . سطح مقطع هسته ۲ اینچ مربع و سایر مشخصات آن بقرار زیر است :

N = ۲۰۰ دور　　A قسمت جنس = فولاد ریخته گری

B قسمت جنس = چدن

L_1 = ۳ اینچ

L_2 = ۴ اینچ

اگر بخواهیم شار معادل ۶۰۰۰۰ ماکسول باشد ، مطلوبست :

(الف) : MMF مورد نیاز که باید توسط سیم پیچ تامین شود .

(ب) : جریان سیم پیچ

۱۳ ــ مساله ۱۲ را تکرار کنید ، مشروط بر آنکه بدانیم قسمت A از جنس چدن و قسمت B از جنس فولاد ریخته‌گری است .

۱۴ ــ هسته‌ای مطابق شکل (۴ــ۶) مفروض است و جنس آن از نوع چدن میباشد .
مشخصات دیگر هسته بقرار زیر است :

طول متوسط هسته = ۱۴ اینچ

طول فاصله هوائی = ۰/۰۴ اینچ

سطح مقطع هسته و فاصله هوائی = ۲/۵ اینچ مربع

شار در هسته = ۱۰۰۰۰۰ ماکسول

مطلوبست محاسبه MMF مورد نیاز .

۱۵ ــ مساله ۱۴ را تکرار کنید اگر جنس هسته از نوع فولاد ریخته‌گری باشد .

۱۶ ــ هسته‌ای مطابق شکل (۵ ــ ۶) مفروض است و جنس آن از نوع چدن میباشد . مشخصات هسته بقرار زیر است :

L_1 = ۷ اینچ　　سطح مقطع قسمت وسط و فواصل هوائی = ۴ اینچ مربع

POWEREN.IR

L_2 = ۴ اینچ سطح مقطع قسمتهای قسمت راست و چپ = ۶ اینچ مربع

طول هر کدام از فواصل هوائی = ۰/۰۶ اینچ

مطلوبست محاسبه MMF مورد نیاز اگر بخواهیم شار در فاصله هوائی ۶۰۰۰۰ ماکسول باشد .

۱۷ ــ مساله ۱۶ را تکرار کنید مشروط بر آنکه جنس هسته از نوع فولاد ریخته‌گری باشد .

مسائل (سیستم SI):

۱۸ ــ چگالی شار در یک هسته ۱/۶ تسلا میباشد . مطلوبست محاسبه شار اگر سطح مقطع بقرار زیر باشد .

(الف) : ۰/۰۰۳ متر مربع

(ب) : دایره‌ای بقطر ۰/۱ متر

(ج) : ۲۵ سانتیمتر مربع .

۱۹ ــ بدور یک هسته مغناطیس یک سیم پیچ ۴۰۰ دوری پیچیده شده است و جریان سیم پیچ ۶ آمپر میباشد . اگر طول متوسط هسته ۰/۴ متر باشد ، MMF و H را بدست آورید .

۲۰ ــ بدور یک هسته سیم پیچ ۳۰۰ دوری پیچیده شده است . اگر طول متوسط هسته ۰/۳ متر باشد جریان سیم پیچ را حساب کنید ، مشروط برآنکه بخواهیم H معادل ۴۰۰۰ آمپر بر متر گردد .

۲۱ ــ در محفظه‌ای پر از هوا ، H معادل ۲۰۰۰ آمپر بر متر میباشد ، B را بدست آورید .

۲۲ ــ در محفظه‌ای پر از هوا ، B معادل ۰/۳ تسلا میباشد ، H را حساب کنید .

۲۳ ــ در محفظه‌ای پر از هوا ، شار معادل ۰/۰۰۳ وبراست . اگر سطح مقطع این محفظه ۰/۰۰۵ متر مربع باشد ، H را حساب کنید .

۲۴ ــ هسته‌ای از جنس فولاد ریخته‌گری مفروض است (شکل ۱ ــ ۶) . مشخصات هسته بقرار زیر است :

A = ۰/۰۰۵ متر مربع

POWEREN.IR

$L = ۰/۵$ متر

$N^{۱} = ۱۰۰$ دور

وبر ۰/۰۰۸ = شار در هسته

مطلوبست محاسبه جریان در سیم پیچ.

۲۵ ـ هسته‌ای از جنس چدن مفروض است (شکل ۱ ـ ۶). مشخصات هسته بقرار زیر است:

$A = ۰/۰۰۴$ متر مربع

$N = ۱۰۰$ دور

$L = ۰/۳$ متر

مطلوبست محاسبه شار در هسته. جریان سیم پیچ را ۸ آمپر بگیرید.

۲۶ ـ هسته‌ای از جنس فولاد ریخته‌گری مفروض است (شکل ۱ ـ ۶). مشخصات هسته بقرار زیر است:

$A = ۰/۰۰۲$ متر مربع

$L = ۲۵$ سانتیمتر

$N = ۲۰۰$ دور

$I = ۷/۵$ آمپر

مطلوبست محاسبه شار و چگالی شار (B).

۲۷ ـ میخواهیم در یک هسته ماکزیمم شاری معادل ۰/۰۰۴ وبر حاصل شود، مطلوبست محاسبه سطح مقطع مینیمم اگر:

(الف): هسته از جنس چدن باشد.

(ب): هسته از جنس فولاد ریخته‌گری باشد.

۲۸ ـ هسته‌ای مطابق شکل (۲ ـ ۶) مفروض است (toroid) مشخصات هسته بقرار زیر است:

$r_1 = ۰/۰۵$ متر $\qquad I = ۴/۵$ آمپر

$r_2 = ۰/۰۷۵$ متر

$N^{۱} = ۱۲۰$ دور

مطلوبست محاسبه شار در هسته اگر جنس هسته از نوع فولاد ریخته‌گری باشد.

۲۹ ـ هسته‌ای مطابق شکل (۳ـ۶) وجود دارد. مشخصات هسته بقرار زیر است:

POWEREN.IR

سطح مقطع هسته = ۰/۰۰۱۵ متر مربع

جنس قسمت A = فولاد ریخته‌گری

جنس قسمت B = چدن

L_1 = ۸ سانتیمتر

L_2 = ۱۰ سانتیمتر

N = ۱۸۰ دور

اگر بخواهیم شار معادل ۰/۰۰۰۸ وبر باشد مطلوبست:

(الف): MMF مورد نیاز که باید توسط سیم پیچ تامین شود.

(ب): جریان سیم پیچ

۳۰ ــ مساله ۲۹ را تکرار کنید اگر قسمت A از جنس چدن و قسمت B از جنس فولاد ریخته‌گری باشد.

۳۱ ــ هسته‌ای مطابق شکل (۴ ــ ۶) مفروض است و جنس آن از نوع چدن است مشخصات این هسته بقرار زیر است:

شار = ۰/۰۰۱ وبر

طول متوسط هسته = ۳۵ سانتیمتر

طول فاصله هوائی = ۰/۰۰۱ متر

سطح مقطع هسته وفاصله هوائی = ۰/۰۰۱۲۵ متر مربع

MMF مورد نیاز که باید توسط سیم پیچ تامین شود را حساب کنید.

۳۲ ــ مساله ۳۱ را تکرار کنید، مشروط بر آنکه جنس هسته از نوع فولاد ریخته‌گری باشد.

۳۳ ــ هسته‌ای مطابق شکل (۵ ــ ۶) مفروض است و جنس آن از نوع آهن چدن دار باشد. مشخصات هسته بقرار زیر است:

سطح مقطع قسمت وسطی و فواصل هوائی = ۰/۰۰۲۷ متر مربع

سطح مقطع قسمتهای سمت راست و چپ = ۰/۰۰۴ متر مربع

طول هرکدام از فواصل هوائی = ۰/۰۰۱۵ متر

L_1 = ۲۰ سانتیمتر

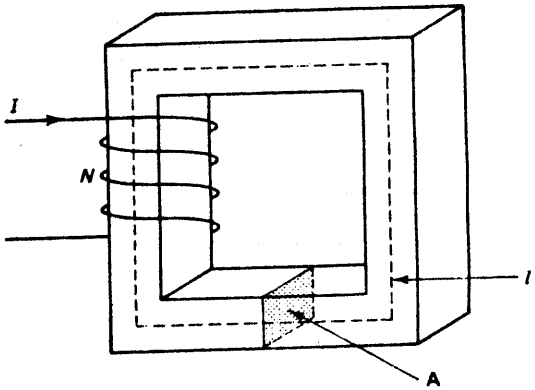
L_2 = ۱۰ سانتیمتر

MMF مورد نیاز که باید توسط سیم پیچ تامین شود را حساب کنید، اگر بخواهیم شار در

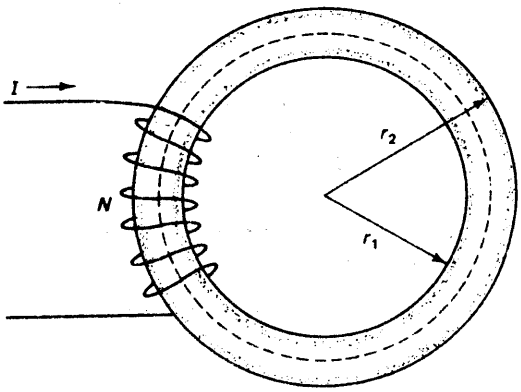
POWEREN.IR

فواصل هوائی ۰/۰۰۰۵ وبر باشد .

۳۴ ــ مساله ۳۳ را تکرار کنید مشروط بر آنکه جنس هسته فولاد ریخته‌گری باشد .

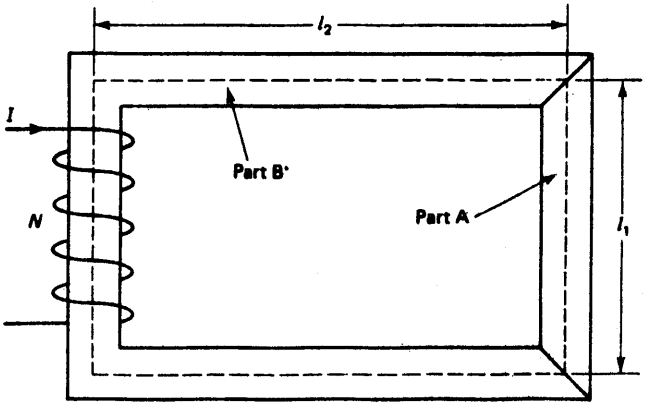


شکل ۱ ــ ۶

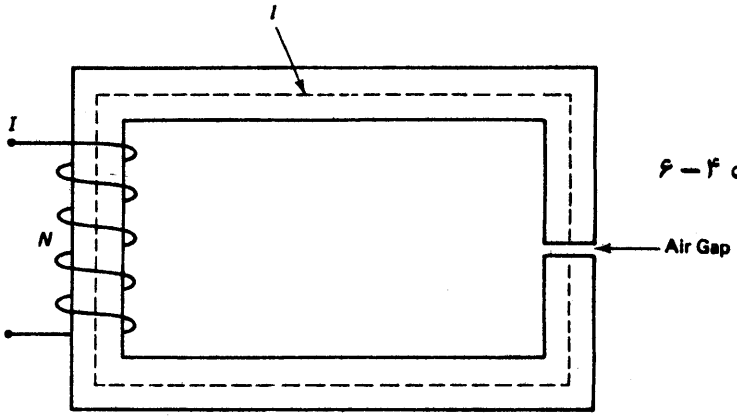


شکل ۲ ــ ۶

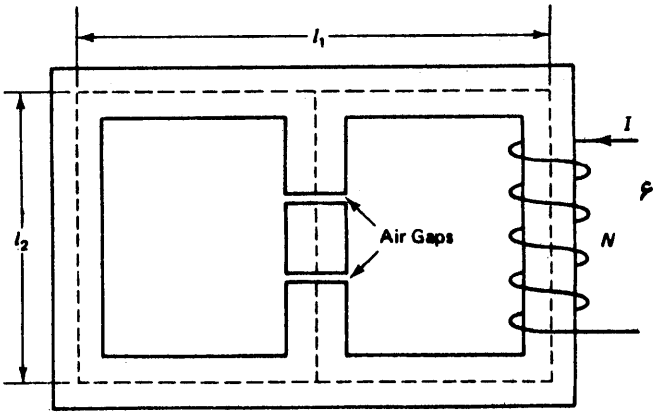
POWEREN.IR



شکل ۳ ــ ۶



شکل ۴ ــ ۶



شکل ۵ ــ ۶

POWEREN.IR

۲ ــ ۶ سئوالات و مسائل فصل دوم

سئوالات :

۱ ــ عبارات زیر را تعریف کنید .

(الف) : دینامو

(ب) : گشتاور (کوپل)

(ج) : نیروی ضد محرکه (BEMF)

۲ ــ قانون فاراده چیست ؟

۳ ــ قوانین دست راست و دست چپ را بیان کنید و برای چه منظوری بکار میروند ؟

۴ ــ قانون لنز چیست ؟

مسائل (سیستم ENG) :

۱ ــ در شکل (a ۶ ــ ۶) طول هادی درون میدان مغناطیسی ۸ اینچ میباشد . مطلوبست محاسبه ولتاژ القاء شده در هادی ،اگر :

اینچ بر ثانیه ۵۰ = سرعت حرکت هادی

ماکسول بر اینچ مربع ۲۰۰۰۰۰= چگالی شار

۲ ــ در شکل (b ۶ ــ ۶) طول هادی درون میدان مغناطیسی ۱/۵ فوت است . مطلوبست مجاسبه ولتاژ القاء شده اگر :

فوت بر ثانیه ۳ = سرعت حرکت هادی

ماکسول بر اینچ مربع ۱۵۰۰۰۰= چگالی شار

۳ ــ در شکل (c ۶ ــ ۶) طول هادی درون میدان مغناطیسی ۱ فوت است مطلوبست محاسبه ولتاژ القاء شده اگر :

اینچ بر ثانیه ۶۰ = سرعت حرکت هادی

ماکسول بر اینچ مربع ۳۰۰۰۰۰ = چگالی شار

POWEREN.IR

۴ ــ در شکلهای (a ۶ ــ ۶)، (b ۶ ــ ۶)، (c ۶ ــ ۶) پلارتیه‌ولتاژالقاء شده را بدست آورید و بگوئید جهت جریان‌ها چگونه است.

۵ ــ شکل ۷ ــ ۶ مفروض است. برای هادیهای a، b، c، d و e پلارتیه ولتاژ القاء شده را بدست آورید و بگوئید جهت جریان چگونه است.

۶ ــ یک هادی با سرعت ۱۸۰۰ دور در دقیقه درون یک میدان مغناطیسی دو قطبی میچرخد (شکل ۶ ــ ۲) در فصل دوم. ولتاژ متوسط القاء شده در هادی چیست اگر شار هر قطب ۳۰۰۰۰۰ ماکسول فرض شود.

۷ ــ یک هادی درون میدان مغناطیسی ۸ قطبی با سرعت ۱۲۰۰ دور در دقیقه میچرخد ولتاژ متوسط القاء شده درهادی چیست اگر شار هر قطب ۳۵۰۰۰۰ ماکسول باشد.

۸ ــ یک هادی درون میدان مغناطیسی ۶ قطبی با سرعت ۶۰۰ دور در دقیقه میچرخد. اگر بخواهیم ولتاژ متوسط القاء شده در هادی ۱/۵ ولت گردد شار هر قطب را بدست آورید.

۹ ــ مساله ۸ را تکرار کنید، اینبار تعداد قطبها را ۳۶ عدد بگیرید.

۱۰ ــ یک کلاف ۴۰۰ دوری درون میدان مغناطیسی ۸ قطبی با سرعت ۱۶۵۰ دور در دقیقه میچرخد. ولتاژ متوسط القاء شده در کلاف چیست، مشروط بر آنکه شار هر قطب ۲۰۰۰۰۰ ماکسول باشد.

۱۱ ــ مساله ۱۰ را تکرار کنید، اینبار سرعت را ۱۴۵۰ دور در دقیقه بگیرید.

۱۲ ــ یک کلاف ۳۰۰ دوری درون یک میدان مغناطیسی ۶ قطبی با سرعت ۱۶۰۰ دور در دقیقه میچرخد. اگر بخواهیم ولتاژ متوسط القاء شده در کلاف ۸۵ ولت گردد، شار هر قطب را بدست آورید.

۱۳ ــ مساله ۱۲ را تکرار کنید. اینبار سرعت را ۱۸۰۰ دور در دقیقه بگیرید.

۱۴ ــ بشکل (۱۱ ــ ۲ درفصل دوم) رجوع میکنیم و مشخصات آن بقرار زیر است:

دور	۱۲۰	= تعداد دور کلاف دوار
اینچ	۰/۰۴	= طول هر کدام از فواصل هوائی
اینچ مربع	۶	= سطح مقطع هسته و فواصل هوائی
دور دردقیقه	۱۷۵۰	= سرعت دوران کلاف دوار

مطلوبست محاسبه جریان سیم پیچ تحریک در صورتیکه بخواهیم ولتاژ متوسط تولید شده در کلاف دوار ۴۰ ولت گردد.

POWEREN.IR

۱۵ ــ شکل (۸ ــ ۶) را در نظر میگیریم . اگر جهت جریان همواره بطرف خارج صفحه کاغذ باشد ، جهت نیروی حاصله را مشخص کنید .

۱۶ ــ مساله ۱۵ را تکرارکنید . اینبار جهت جریانها را همواره‌بطرف داخل صفحه کاغذ در نظر بگیرید .

۱۷ ــ شکل (۷ ــ ۶) را در نظر بگیرید . اگر بخواهیم جهت چرخش هادیها مطابق شکل باشد ، جهت جریان آنها را مشخص کنید (راهنمائی هر هادی را جداگانه مورد بررسی قرار دهید) .

۱۸ ــ یک هادی‌بطول ۱۴ اینچ درون یک میدان مغناطیسی قرار داد . اگر چگالی شار میدان ۵۰۰۰۰ ماکسول بر اینچ مربع باشد ، نیروی حاصله چیست مشروط بر آنکه جریان هادی ۱۰ آمپر در نظر گرفته شود .

۱۹ ــ در مساله ۱۸ اگر بخواهیم نیروی حاصله ۱/۵ پوند باشد ، جریان هادی را حساب کنید .

۲۰ ــ بشکل (۲۰ــ۲ درفصل دوم) رجوع می‌کنیم . طول هادی ۸ اینچ و جریان آن ۱ آمپر است . اگر چگالی شار ۱۰۰۰۰۰ ماکسول بر اینچ مربع باشد ، گشتاور (کوپل) حاصله را در حالتهای زیر حساب کنید .

(الف) : وضعیت شماره ۱

(ب) : وضعیت شماره ۲

مسائل (سیستم SI) :

۲۱ ــ در شکل (a ۶ ــ ۶) طول هادی درون میدان مغناطیسی ۲۰ سانتیمتر است . مطلوبست محاسبه ولتاژ القاء شده در هادی اگر :

سرعت حرکت هادی = ۱/۲۵ متر بر ثانیه

چگالی شار = ۳ تسلا

۲۲ ــ در شکل (b ۶ ــ ۶) طول هادی درون میدان مغناطیسی ۴۵ سانتیمتر است . مطلوبست محاسبه ولتاژ القاء شده در هادی اگر :

سرعت حرکت هادی = ۹۰ سانتیمتر بر ثانیه

چگالی شار = ۲ تسلا

۲۳ ــ در شکل (c ۶ ــ ۶) طول هادی درون میدان مغناطیسی ۳۰ سانتیمتر

POWEREN.IR

است مطلوبست محاسبه ولتاژ القاء شده در هادی اگر:

متر بر ثانیه ۱/۵ = سرعت حرکت هادی

تسلا ۴/۵ = چگالی شار

۲۴ ــ هادیهای نشان داده شده در شکل ۶ ــ ۶ را در نظر بگیرید. پلارتیه ولتاژ القاء شده را مشخص کنید وجهت جریان هادیها را نیز تعیین نمائید.

۲۵ ــ شکل (۷ ــ ۶) را در نظر بگیرید. پلارتیه تمام هادیها را مشخص کنید و جهت جریان هادیها را نیز تعیین کنید (هادیهای a ، b ، c ، d ، e)

۲۶ ــ یک هادی درون میدان مغناطیسی دو قطبی با سرعت ۱۸۰ رادیان بر ثانیه میچرخد (شکل ۶ ــ ۲ در فصل دوم) ولتاژ متوسط القاء شده در هادی چیست، اگرشار هر قطب ۰/۰۰۳ وبر باشد.

۲۷ ــ یک هادی درون میدان مغناطیسی ۸ قطبی با سرعت ۱۲۰ رادیان بر ثانیه میچرخد. ولتاژ متوسط القاء شده در هادی چیست، اگر شار هر قطب ۰/۰۰۴ وبر باشد.

۲۸ ــ یک هادی درون میدان مغناطیسی ۶ قطبی با سرعت ۶۰ رادیان بر ثانیه میچرخد. اگر ولتاژ متوسط القاء شده در هادی ۲۴ ولت باشد، شار هر قطب را حساب کنید.

۲۹ ــ مساله ۲۸ را تکرار کنید، اینبار تعداد قطبها را ۳۶ عدد بگیرید.

۳۰ ــ یک کلاف ۴۰۰ دوری با سرعت ۱۶۰ رادیان بر ثانیه درون میدان مغناطیسی ۸ قطبی میچرخد. اگر شار هر قطب ۰/۰۰۲ وبر باشد ولتاژ متوسط القاء شده در کلاف ــ را بدست آورید.

۳۱ ــ مساله ۳۰ را تکرار کنید. اینبار سرعت را ۱۴۰ رادیان بر ثانیه بگیرید.

۳۲ ــ یک کلاف ۲۴۰ دوری با سرعت ۱۵۰ رادیان بر ثانیه درون میدان مغناطیسی ۶ قطبی میچرخد. اگر ولتاژ متوسط القاء شده در کلاف ۹۰ ولت باشد، شار هر قطب را بدست آورید.

۳۳ ــ مساله ۳۲ را تکرار کنید. اینبار سرعت را ۱۷۵ رادیان بر ثانیه بگیرید.

۳۴ ــ بشکل (۱۲ ــ ۲ در فصل دوم) رجوع میکنیم. کلاف دوار ۱۰۰ دوری است و مشخصات دیگر سیستم بقرار زیر است:

متر ۰/۰۰۱ = طول هر کدام از فواصل هوائی

متر مربع ۰/۰۰۴ = سطح مقطع هسته و فواصل هوائی

رادیان برثانیه ۱۷۰ = سرعت دوران کلاف دوار

POWEREN.IR

اگر بخواهیم ولتاژ متوسط تولید شده ۵۰ ولت باشد ، حریان سیم پیچ تحریک را بدست آورید .

۳۵ ــ شکل (۸ ــ ۶) را درنظر میگیریم ، جهت نیروی حاصله را بدست آورید . فرض میکنیم جهت همه جریانها بطرف خارج صفحه کاغذ باشد .

۳۶ ــ مساله ۳۵ راتکرارکنید . اینبار جهت همه جریانها را بطرف داخل صفحه کاغذ بگیرید .

۳۷ ــ شکل (۷ ــ ۶) را در نظر میگیریم . اگر بخواهیم جهت چرخش هادیها مطابق شکل باشد ، جهت جریانهای آنها را مشخص‌کنید (راهنمائی هر هادی را به تنهائی بررسی کنید) .

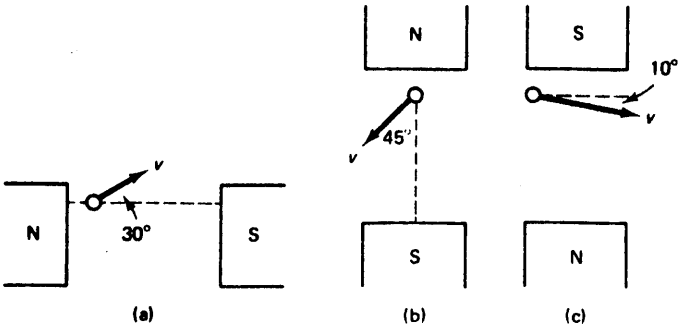
۳۸ ــ یک هادی بطول ۳۵ سانتیمتر درون میدان مغناطیسی با چگالی شار ۰/۸ تسلا قرار دارد . اگر جریان هادی ۱۱ آمپر باشد ، نیروی حاصله را حساب کنید .

۳۹ ــ در مساله ۳۸ اگر بخواهیم نیروی حاصله ۶ نیوتن باشد جریان هادی را بدست آورید .

۴۰ ــ بشکل (۲۱ ــ ۲ در فصل دوم) رجوع کنیم . اگرطول هادی ۲۰ سانتیمتر و جریان آن ۷آمپر باشد ، گشتاور را در دو حالت زیر بدست آورید . فرض میکنیم چگالی شار ۱/۵ تسلا باشد .

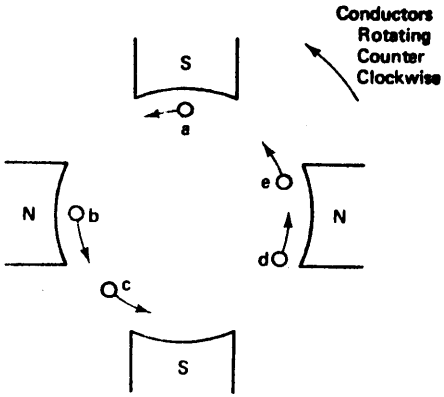
(الف) : در وضعیت شماره ۱

(ب) : در وضعیت شماره ۲

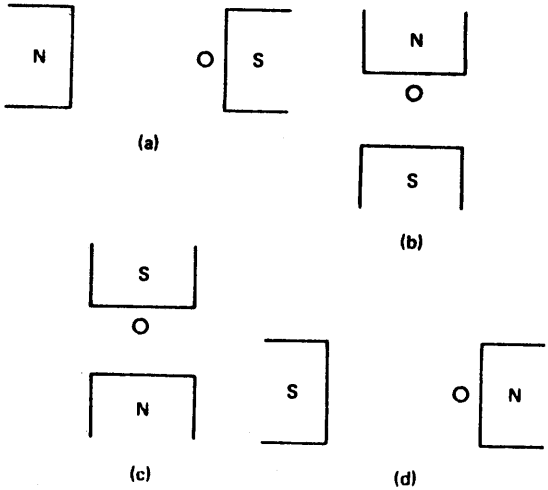


شکل ۶ ــ ۶

POWEREN.IR



شکل ۷ ــ ۶



شکل ۸ ــ ۶

POWEREN.IR

۳ ـ ۶ مسائل و سئوالات فصل سوم

سئوالات :

۱ـ عبارات زیر را تعریف کنید .

(الف) : آرمیچر

(ب) : کموتاسیون

(ج) : کموتاتور

(د) : قطبهای اصلی (قطبهای تحریک)

۲ـ چرا آرمیچر مورق ساخته میشود .

۳ـ عکس‌العمل آرمیچر چیست .

۴ـ جنس جاروبکها چیست .

۵ـ قطبهای فرعی (کمکی) را بچه منظور در ماشین قرار میدهند .

۶ـ سیم پیچهای جبران کننده چیست .

مسائل (سیستمهای ENG و SI) :

۱ ـ یک ژنراتور DC با مشخصات زیر مفروض است :

	۴	= تعداد قطبها
	SLW	= طرز سیم پیچی آرمیچر
	۴۸۰	= تعداد کل هادیها
اهم	۳%	= مقاومت هر هادی
ولت	۰/۵	= ولتاژ متوسط القاء شده برای هر هادی
آمپر	۱۵	= جریان اسمی سیم مورد استفاده

مطلوبست :

(الف) : مقاومت آرمیچر

(ب) : ولتاژ آرمیچر

(ج) : جریان اسمی آرمیچر

(د) : توان اسمی آرمیچر

POWEREN.IR

۲ ــ مساله ۱ را تکرار کنید مشروط بر آنکه سیم پیچی آرمیچر از نوع SWW در نظر گرفته شود .

۳ ــ یک ژنراتور DC با مشخصات زیر مفروض است .

۸ = تعداد قطبها

SLW = طرز سیم پیچی آرمیچر

عدد ۲۰۰ = تعداد کل هادیها

اهم ۳۵٪ = مقاومت هر هادی

ولت ۰/۵۶ = ولتاژ متوسط القاء شده برای هر هادی

آمپر ۱۵ = جریان اسمی سیم بکار برده شده

مطلوبست :

(الف) : مقاومت آرمیچر

(ب) : جریان اسمی آرمیچر

(ج) : ولتاژ ارمیچر

(د) : توان اسمی آرمیچر

۴ ــ مساله ۳ را حل کنید مشروط بر آنکه سیم پیچ از نوع SWW باشد .

۵ ــ یک ژنراتور DC با مشخصات زیر مفروض است :

۱۲ = تعداد قطبها

SLW = طرز سیم پیچی آرمیچر

۱۶۲۰ = تعداد کل هادیها

اهم ۰/۱ = مقاومت هر هادی

ولت ۰/۶۶ = ولتاژ متوسط القاء شده برای هر هادی

آمپر ۸ = جریان اسمی سیم بکار برده شده

مطلوبست :

(الف) : مقاومت آرمیچر

(ب) : ولتاژ آرمیچر

(ج) : جریان اسمی آرمیچر

(د) : توان اسمی آرمیچر

۶ ــ مساله ۵ را تکرار کنید ، اینبار سیم پیچی آرمیچر را از نوع SWW بگیرید

POWEREN.IR

POWEREN.IR

۷ ــ یک ژنراتور DC با مشخصات زیر مفروض است :

	۸	= تعداد قطبها
	SLW	= طرز سیم پیچی آرمیچر
ولت	۲۳۰	= ولتاژ اسمی ژنراتور
کیلو وات	۵	= توان اسمی ژنراتور
	۱۲۰۰	= تعداد کل هادیها
اهم	۰/۸	= مقاومت کل آرمیچر

مطلوبست :

(الف) : جریان اسمی هر هادی

(ب) : ولتاژ متوسط القاء شده برای هر هادی

(ج) : مقاومت هر هادی

۸ ــ مساله ۷ را تکرار کنید اگر سیم پیچی از نوع SWW در نظر گرفته شود .

۹ ــ یک ژنراتور DC با مشخصات زیر مفروض است :

	۶	= تعداد قطبها
	SLW	= طرز سیم پیچی آرمیچر
ولت	۱۲۰	= ولتاژ اسمی ژنراتور
کیلو وات	۱	= توان اسمی ژنراتور
	۷۲۰	= تعداد کل هادیها
اهم	۱	= مقاومت کل آرمیچر

مطلوبست :

(الف) : جریان اسمی هر هادی

(ب) : ولتاژ القاء شده برای هر هادی

(ج) : مقاومت هر هادی

۱۰ ــ مساله ۹ را تکرار کنید . اینبار سیم پیچی را از نوع SWW در نظر بگیرید .

مسائل (سیستم ENG) :

۱۱ ــ یک ژنراتور DC با مشخصات زیر مفروض است .

	۱۲	= تعداد قطبها

POWEREN.IR

۶۰۰ = تعداد کل هادیها

دوردردقیقه ۱۲۰۰ = سرعت

ماکسول ۳۵۰۰۰۰= شار هر قطب

مطلوبست محاسبه ولتاژ تولید شده توسط آرمیچر در دو حالت زیر:

(الف): سیم پیچی از نوع SLW باشد

(ب): سیم پیچی از نوع SWW باشد.

۱۲ ــ یک ژنراتور DC با مشخصات زیر مفروض است.

۴ = تعداد قطبها

۸۰۰ = تعداد کل هادیها

دور در دقیقه ۱۸۰۰ = سرعت

ولت ۴۰۰ = ولتاژ تولید شده توسط آرمیچر

مطلوبست شار هر قطب در دو حالت زیر:

(الف): سیم پیچی از نوع SLW باشد.

(ب): سیم پیچی از نوع SWW باشد.

۱۳ ــ یک ژنراتور DC با مشخصات زیر مفروض است.

۶ = تعداد قطبها

۴۲۰ = تعداد کل هادیها

ماکسول ۴۰۰۰۰۰= شار هر قطب

ولت ۱۲۰ = ولتاژ تولید شده توسط آرمیچر

مطلوبست سرعت ماشین در دو حالت زیر:

(الف): سیم پیچی از نوع SLW باشد.

(ج): سیم پیچی از نوع SWW باشد.

۱۴ ــ یک ژنراتور DC با مشخصات زیر مفروض است:

۴ = تعداد قطبها

۱۰۰۰ = تعداد کل هادیها

ماکسول ۵۰۰۰۰۰= شار هر قطب

دور در دقیقه ۱۲۰۰ = سرعت ماشین

ولت ۲۰۰ = ولتاژ تولید شده

POWEREN.IR

طرز سیم پیچی آرمیچر چیست؟

۱۵ ــ یک ژنراتور DC با مشخصات زیر مفروض است

۱۲ = تعداد قطبها

۱۸۰۰ = تعداد کل هادیها

۵۰۰۰۰۰ = شار هر قطب ماکسول

۱۰۰۰ = سرعت ماشین دور در دقیقه

مطلوبست محاسبه ولتاژ تولید شده در دو حال زیر

(الف): سیم پیچی از نوع SLW باشد.

(ب): سیم پیچی از نوع SWW باشد.

مسائل (سیستم SI

۱۶ ــ یک ژنراتور DC با مشخصات زیر مفروض است:

۱۶ = تعداد قطبها

۸۰۰ = تعداد کل هادیها

۱۲۰ = سرعت ماشین رادیان‌برثانیه

۰/۰۰۴ = شار هر قطب وبر

مطلوبست محاسبه ولتاژ تولید شده توسط آرمیچر در دو حالت زیر:

(الف): سیم پیچی از نوع SLW باشد.

(ب): سیم پیچی از نوع SWW باشد.

۱۷ ــ یک ژنراتور DC با مشخصات زیر مفروض است:

۶ = تعداد قطبها

۹۰۰ = تعداد کل هادیها

60π = سرعت ماشین رادیان‌برثانیه

۲۳۰ = ولتاژ تولید شده توسط آرمیچر ولت

شار هر قطب را در دو حالت زیر حساب کنید.

(الف): سیم پیچی از نوع SLW باشد.

(ب): سیم پیچی از نوع SWW باشد.

۱۸ ــ یک ژنراتور DC با مشخصات زیر مفروض است:

POWEREN.IR

۸ = تعداد قطبها

۶۴۰ = تعداد کل هادیها

وبر ۰/۰۰۵۵ = شار هر قطب

ولت ۴۶۰ = ولتاژ تولید شده توسط آرمیچر

مطلوبست محاسبه سرعت ماشین در دو حالت زیر:

(الف): سیم پیچی از نوع SLW باشد.

(ب): سیم پیچی از نوع SWW باشد.

۱۹ـ یک ژنراتور DC با مشخصات زیر مفروض است:

۴ = تعداد قطبها

۱۴۴۰ = تعداد کل هادیها

وبر ۰/۰۰۴۶ = شار هر قطب

رادیان برثانیه ۴۰π = سرعت ماشین

ولت ۲۶۵ = ولتاژ تولید شده توسط آرمیچر

طرز سیم پیچی آرمیچر چیست.

۲۰ـ یک ژنراتور DC با مشخصات زیر مفروض است:

۱۶ = تعداد قطبها

۲۴۴۰ = تعداد کل هادیها

وبر ۰/۰۰۵ = شار هر قطب

رادیان برثانیه ۱۰۰ = سرعت ماشین

ولتاژ تولید شده توسط آرمیچر را در دو حالت زیر حساب کنید.

(الف): سیم پیچی از نوع SLW باشد.

(ب): سیم پیچی از نوع SWW باشد.

POWEREN.IR

POWEREN.IR

۴ ــ ۶ سئوالات و مسائل فصل چهارم

سئوالات:

۱ـ چرا باید منحنی تغییرات ولتاژ تولید شده بر حسب سرعت در یک ژنراتور DC با تحریک جداگانه خط مستقیم باشد.

۲ـ عبارات زیر را تعریف کنید.

(الف): محرک اولیه

(ب): تحریک خودی

(ج) تحریک جداگانه

(د) بی‌باری

(هـ) بار کامل

(و) تنظیم ولتاژ

(ز) مشخصه بار

۳ـ چرا راندمان هرگز بیش از ۱۰۰٪ نمیباشد.

۴ـ عبارات زیر را تعریف کنید.

(الف) توان سرگردان

(ب) جریان گردابی

(ج) تلفات هسته

(هـ) تلفات مس

۵ـ در ژنراتور شنت منظور از مقاومت بحرانی تحریک چیست.

۶ـ چرا در ژنراتور شنت یا سری گاهی اوقات ولتاژ پدیدار نمیشود.

۷ـ عبارات زیر را تعریف کنید.

(الف) دیورتو یا مقاومت منحرف کننده در ژنراتور DC سری

(ب) ژنراتور کمپوند

(ج) ژنراتور کمپوند با شنت کوتاه

POWEREN.IR

POWEREN.IR

(د) ژنراتور کمپوند با شنت بلند

(هـ) ژنراتور کمپوند نقصانی

(و) ژنراتور کمپوند اضافی

۸ـ یک ژنراتور DC کمپوند مفروض است و درصد تنظیم ولتاژ آن منفی است این ژنراتور از کدامیک از انواع زیر است .

(الف) کمپوند مسطح

(ب) فوق کمپوند

(ج) زیر کمپوند

۹ـ عبارات زیر را تعریف کنید .

(الف) شین

(ب) شین بینهایت

(ج) سیم متعادل کننده

۱۰ـ چرا ژنراتورهای DC را موازی (پارالل) میسازیم .

۱۱ـ با استفاده از شکلهای (۱۱ ـ ۴) و (۱۳ ـ ۴) مربوط به فصل دوم ثابت کنید که توان مکانیکی تبدیل شده بتوان الکتریکی در ژنراتورهای DC برابر $E_g I_a$ میباشد .

مسائل (سیستم ENG):

۱ ـ یک ژنراتور DC مفروض است و ۱۳۵ ولت را تحت سرعت ۱۶۵۰ دور در دقیقه تولید میکنند . اگر شار ثابت بماند ، ولتاژ تولید شده را در سرعتهای زیر حساب کنید .

(الف) ۱۴۵۰ دور در دقیقه

(ب) ۱۰۰۰ " " "

(ج) ۱۸۰۰ " " "

(د) ۲۰۰۰ " " "

۲ ـ یک ژنراتور DC تحت سرعت ۱۸۰۰ دور در دقیقه میچرخد و ۱۲۸ ولت تولید میکند . در اثر اتصالی در مدار تحریک شار ۳۰% افت مینماید ودر نتیجه ولتاژ کاهش پیدا میکند . سرعت ماشین را به چه میزان بالا ببریم تا همان ولتاژ اولیه پدیدار

POWEREN.IR

گردد .

۳ ــ یک ژنراتور DC تحت سرعت اسمی میچرخد و ولتاژ اسمی تولید میکند . اگر سرعت بمیزان ۱۰% کاهش یابد ، ولتاژ نیز ۱۰% افت پیدا میکند . شار را به چه میزان افزایش دهیم تا همان ولتاژ اسمی اولیه حاصل گردد .

۴ ــ جدول (۱ ــ ۶) مربوط به‌آزمایش بر روی ژنراتور DC در آزمایشگاه ماشین میباشد و در این آزمایش شار ثابت نگهداشته شده است .

(الف) منحنی تغییرات ولتاژ بر حسب سرعت را رسم کنید .

(ب) شیب این منحنی را بدست آورید .

E_g (V)	315	375	450	525	600	675
S (rev/min)	900	1100	1400	1600	1800	2000

جدول ۱ ــ ۶

۵ ــ یک ژنراتور DC با تحریک جداگانه تحت سرعت ثابت ۱۲۰۰ دور در دقیقه میچرخد بتدریج جریان تحریک را زیاد میکنیم تا ولتاژ بوجود آید . مقادیر مربوط به این آزمایش در جدول (۲ ــ ۶) ذکر شده است .

(الف) منحنی مغناطیس شوندگی را در سرعت فوق‌الذکر رسم کنید .

(ب) اگر سرعت به ۹۰۰ دور در دقیقه کاهش یابد منحنی مغناطیس شوندگی را رسم کنید .

I_f (A)	0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5
E_g (V)	20	160	350	440	460	510

جدول ۲ ــ ۶

مسائل (سیستم SI):

۶ ــ یک ژنراتور DC تحت سرعت ۱۷۰ رادیان بر ثانیه میچرخد و ۲۴۸ ولت تولید میکند . اگر شار ثابت بماند ، ولتاژ تولید شده را در تحت سرعتهای زیر بدست آورید .

(الف) ۱۴۰ رادیان بر ثانیه

(ب) ۱۰۰ رادیان بر ثانیه

(ج) ۱۸۵ رادیان بر ثانیه

POWEREN.IR

(د) ۲۰۰ رادیان بر ثانیه

۷ـ یک ژنراتور DC تحت سرعت ۲۰۰ رادیان بر ثانیه میچرخد و ۲۵۲ ولت تولید میکند. اگر در مدار تحریک اتصالی رخ دهد شار بمیزان ۳۰٪ کاهش مییابد و در نتیجه ولتاژ افت مینماید. سرعت را به چه میزان تغییر دهیم تا ولتاژ اولیه پدیدار گردد.

۸ـ یک ژنراتور DC تحت سرعت اسمی میچرخد و ولتاژ اسمی تولید میکند. اگر سرعت ۱۲٪ کاهش یابد ولتاژ نیز ۱۲٪ افت میکند. شار را به چه میزان تغییر دهیم تا همان ولتاژ اسمی پدیدار گردد.

۹ـ جدول (۳ ـ ۶) ازآزمایش بر روی ژنراتور DC در آزمایشگاه بدست آمده است و در این آزمایش شار ثابت نگهداشته شده است.

الف: منحنی ولتاژ بر حسب سرعت را رسم کنید.

ب: شیب منحنی را بدست آورید.

جدول ۳ ـ ۶

E_g (V)	120	180	210	240	290
ω (rad/s)	80	110	130	150	180

۱۰ـ یک ژنراتور DC با تحریک جداگانه با سرعت ثابت 40π رادیان بر ثانیه میچرخد. بتدریج جریان تحریک را زیاد میکنیم تا ولتاژ پدیدار شود. نتایج این آزمایش جدول (۴ ـ ۶) ذکر شده است.

الف: منحنی مغناطیس شوندگی را در سرعت فوق‌الذکر رسم کنید.

ب: منحنی مغناطیس شوندگی را در سرعت 30π رادیان بر ثانیه رسم نمائید.

جدول ۴ ـ ۶

I_f (A)	0	0.4	0.7	1.0	1.3	1.9
E_g (V)	10	72	140	195	225	250

مسائل (سیستم SI ENG):

۱۱ـ ولتاژ ترمینال یک ژنراتور DC در حالت بی‌باری ۲۵۵ ولت است تنظیم ولتاژ این ژنراتور را بدست آورید مشروط بر آنکه مشخصات ژنراتور بقرار زیرباشد:

۱ ـ ولتاژ اسمی ترمینال = ۲۲۰ ولت

۲ ـ توان اسمی = ۱۰ کیلو وات

POWEREN.IR

۱۲ ــ یک ژنراتور DC با مشخصات زیر مفروض است ولتاژ ترمینال ژنراتور در حالت بی‌باری چیست.

کیلو وات	۱	= توان اسمی	ــ ۱
ولت	۱۲۰	= ولتاژ اسمی	ــ ۲
	%۱۸	= درصد تنظیم	ــ ۳

۱۳ ــ مشخصه بار ژنراتورهای DC در شکل (۹ ــ ۶) نشان داده شده است. برای هر ژنراتور تنظیم ولتاژ را بدست آورید، مشروط بر آنکه:

آمپر	۱۲	= جریان اسمی هر ژنراتور

۱۴ ــ یک ژنراتور DC هنگامیکه بار اسمی را تغذیه میکند نیاز به توان معادل ۹ اسب بخار بر روی محور خود دارد. راندمان را در بار کامل حساب کنید مشروط بر آنکه مشخصات ژنراتور بقرار زیر باشد.

کیلو وات	۵	= توان اسمی	ــ ۱
ولت	۳۰	= ولتاژ اسمی ترمینال	ــ ۲

۱۵ ــ یک ژنراتور DC با مشخصات زیر مفروض است.

وات	۷۵	= عددی ثابت = تلفات توان سرگردان
وات	۱۷۵	= تلفات مس دربار کامل
کیلو وات	۱	= توان اسمی ژنراتور
ولت	۱۲۰	= ولتاژ اسمی ترمینال

مطلوبست:

الف: توان مکانیکی ورودی به ماشین دربار کامل بر حسب اسب بخار

ب: راندمان ماشین در بار کامل

۱۶ ــ یک ژنراتور DC با مشخصات زیر مفروض است:

کیلو وات	۱۰	= توان اسمی	ــ ۱
ولت	۴۴۰	= ولتاژ اسمی ترمینال	ــ ۲
	%۸۰	= راندمان دربار اسمی	ــ ۳
وات	۱۵۵۰	= تلفات مس در بار کامل	ــ

تلفات توان سرگردان این ماشین را حساب کنید.

۱۷ ــ منحنی مغناطیس شوندگی ۴ ژنراتور شنت در شکل (۱۰ ــ ۶) رسم شده

POWEREN.IR

است . مقاومت تحریک هر ژنراتور را طوری حساب کنید مشروط بر آنکه بخواهیم هر ژنراتور ولتاژهای زیر را تولید کند .

الف: ۴۰۰ ولت برای ژنراتور شماره ۱

ب: ۳۳۰ ولت برای ژنراتور شماره ۲

ج: ۲۳۰ ولت برای ژنراتور شماره ۳

د: ۱۲۰ ولت برای ژنراتور شماره ۴

۱۸ ــ در مساله ۱۷ اگر مقاومت تحریک ژنراتور شماره ۱ معادل ۲۰۰ اهم باشد چه ولتاژی در این ماشین پدیدار میشود .

۱۹ ــ در مساله ۱۷ اگر مقاومت تحریک ژنراتور شماره ۲ معادل ۱۴۰ اهم باشد چه ولتاژی در این ماشین تولید میگردد .

۲۰ ــ در مساله ۱۷ اگر مقاومت تحریک ژنراتور شماره ۳ معادل ۹۲ اهم باشد چه ولتاژی در این ماشین تولید میشود .

۲۱ ــ در مساله ۱۷ اگر بخواهیم ولتاژ ژنراتور ۴ برابر ۱۶۰ ولت گردد مقاومت تحریک چقدر باید باشد .

۲۲ ــ یک ژنراتور DC شنت با مشخصات زیر مفروض است :

۱ ــ	= توان اسمی	۵	کیلو وات
۲ ــ	= ولتاژ اسمی ترمینال	۲۳۰	ولت
۳ ــ	= مقاومت تحریک شنت	۱۳۰	اهم
۴ ــ	= مقاومت آرمیچر	۰/۸	اهم
۵ ــ	= تلفات توان سرگردان دربار کامل	۱۵۰	وات

محاسبات زیر را در بار کامل انجام دهید :

الف: جریان تحریک شنت

ب: جریان بار

ج: جریان آرمیچر

د: ولتاژ تولید شده در ماشین

هـ: تلفات مدار تحریک شنت

و: تلفات آرمیچر

POWEREN.IR

POWEREN.IR

ز: راندمان

۲۳ــ یک ژنراتور DC شنت با مشخصات زیر مفروض است:

کیلو وات	۱۵	= توان اسمی	۱ ــ
ولت	۲۳۰	= ولتاژ اسمی ترمینال	
اهم	۱۱۵	= مقاومت تحریک شنت	۳ ــ
اهم	۱	= مقاومت آرمیچر	۴ ــ
وات	۱۳۰۰	= تلفات توان سرگردان	۵ ــ

محاسبات زیر را در بار اسمی انجام دهید:

الف: جریان تحریک شنت

ب: جریان بار

ج: جریان آرمیچر

د: ولتاژ تولید شده در ماشین

هـ: تلفات مدار تحریک شنت

و: تلفات آرمیچر

ز: راندمان

۲۴ــ یک ژنراتور DC شنت با مشخصات زیر مفروض است:

کیلو وات	۶	= توان اسمی	۱ ــ
ولت	۱۲۰	= ولتاژ اسمی ترمینال	۲ ــ
اهم	۱۰۰	= مقاومت تحریک شنت	۳ ــ
اهم	۱/۲	= مقاومت آرمیچر	۴ ــ
وات	۲۲۰	= تلفات توان سرگردان	۵ ــ

محاسبات زیر را در بار کامل انجام دهید:

الف: جریان تحریک شنت

ب: جریان بار

ج: جریان آرمیچر

د: ولتاژ تولید شده در ماشین

هـ: تلفات مدار تحریک شنت

و: تلفات آرمیچر

POWEREN.IR

ز : راندمان

ک : تنظیم ولتاژ (فرض میکنیم ولتاژ تولید شده ثابت باقی بماند)

۲۵ ــ یک ژنراتور DC شنت با مشخصات زیر مفروض است :

کیلو وات	۲۰	= توان اسمی	ــ ۱
ولت	۲۳۰	= ولتاژ اسمی ترمینال	ــ ۲

هنگامیکه ژنراتور بار اسمی را تغذیه میکند ولتاژ تولید شده درون ماشین ۲۵۰ ولت بوده و جریان تحریک در این حالت ۲/۸ آمپر است مقاومت آرمیچر ماشین را حساب کنید .

۲۶ ــ یک ژنراتور DC شنت با مشخصات زیر مفروض است :

کیلو وات	۱۰	= توان اسمی	ــ ۱
ولت	۴۴۰	= ولتاژ اسمی ترمینال	ــ ۲
	٪۸۲	= راندمان در بار کامل	ــ ۳
اهم	۲۰۰	= مقاومت تحریک شنت	ــ ۴
اهم	۰/۹	= مقاومت آرمیچر	ــ ۵

تلفات توان سرگردان در این ماشین را بدست آورید .

۲۷ ــ یک ژنراتور DC سری با مشخصات زیر مفروض است .

کیلو وات	۱	= توان اسمی	ــ ۱
ولت	۱۰۰	= ولتاژ اسمی ترمینال	ــ ۲

اگر ژنراتور بار اسمی را تغذیه کند مقاومت این بار را پیدا کنید .

۲۸ ــ یک ژنراتور DC سری با مشخصات زیر مفروض است :

کیلو وات	۲	= توان اسمی	ــ ۱
ولت	۲۳۰	= ولتاژ اسمی ترمینال	ــ ۲
اهم	۰/۱	= مقاومت تحریک سری	ــ ۳
اهم	۰/۶	= مقاومت آرمیچر	ــ ۴
وات	۱۱۰	= تلفات توان گردان	ــ ۵

محاسبات زیر را در بار کامل انجام دهید .

الف : جریان تحریک سری

ب : جریان بار

ج : جریان آرمیچر

POWEREN.IR

د : تلفات مدار تحریک سری

هـ : تلفات آرمیچر

و : ولتاژ تولید شده در ماشین

ز : راندمان

۲۹ ــ یک ژنراتور DC کمپوند از نوع شنت کوتاه با مشخصات زیر مفروض است :

کیلو وات	۴	= توان اسمی	۱ ــ
ولت	۲۰۰	= ولتاژ اسمی ترمینال	۲ ــ
وات	۱۵۰	= تلفات توان سرگردان	۳ ــ
اهم	۱۱۰	= مقاومت تحریک شنت	۴ ــ
اهم	۱/۲	= مقاومت آرمیچر	۵ ــ
اهم	۰/۱	= مقاومت تحریک سری	۶ ــ

محاسبات زیر را در بار اسمی انجام دهید :

الف : جریان بار

ب : جریان تحریک شنت

ج : جریان تحریک سری

د : جریان آرمیچر

هـ : ولتاژ تولید شده در ماشین

و : تلفات آرمیچر ، تحریک سری ، تحریک شنت

ز : راندمان

۳۰ ــ در مساله ۲۹ اگر ژنراتور نیمی از بار اسمی خود را تغذیه کند تمامی فرضهای مساله ۲۹ را تکرار کنید .

در این مساله فرض بر آن است که ولتاژ تولید شده درون ماشین با مساله ۲۹ یکسان میباشد .

۳۱ ــ یک ژنراتور DC کمپوند از نوع شنت بلند با مشخصات زیر مفروض است :

کیلو وات	۴/۸	= توان اسمی	۱ ــ
ولت	۱۲۰	= ولتاژ اسمی ترمینال	۲ ــ
اهم	۹۰	= مقاومت تحریک شنت	۳ ــ
اهم	۰/۴	= مقاومت آرمیچر	۴ ــ
اهم	٪۸	= مقاومت تحریک سری	۵ ــ

POWEREN.IR

POWEREN.IR

۶ــ تلفات توان سرگردان = ۲۰۰ وات

محاسبات زیر را در بار اسمی انجام دهید:

الف: جریان بار

ب: جریان شنت

ج: جریان آرمیچر

د: ولتاژ تولید شده در ماشین

هـ: تلفات مدارهای تحریک شنت، سری و آرمیچر

و: راندمان

۳۲ ــ در مساله (۳۱) چه مقدار از توان مکانیکی ورودی به توان الکتریکی تبدیل میشود.

۳۳ ــ یک ژنراتور DC کمپوند از نوع شنت کوتاه با مشخصات زیر مفروض است:

۱ــ توان اسمی = ۱۰۰ کیلو وات

۲ــ ولتاژ اسمی ترمینال = ۶۰۰ ولت

۳ــ مقاومت تحریک شنت = ۳۰۰ اهم

۴ــ مقاومت آرمیچر = ۰/۱ اهم

۶ــ مقاومت تحریک سری = ۵٪ اهم

تلفات توان سرگردان = عددی ثابت = ۲۴۰۰ وات

محاسبات زیر را در بار اسمی انجام دهید:

الف: جریان بار

ب: جریان تحریک شنت

ج: جریان آرمیچر

د: ولتاژ تولید شده در ماشین

هـ: تلفات مدارهای شنت، سری و آرمیچر

و: راندمان

۳۴ ــ در مساله ۳۳ تنظیم ولتاژ را محاسبه کنید. فرض بر آن است که ولتاژ ــ تولید شده درون ماشین در تمامی مراحل از بی‌باری تا بار کامل ثابت باقی بماند.

۳۵ ــ مساله ۳۳ تکرار کنید. اینبار کمپوند را از نوع شنت بلند در نظر بگیرید.

۳۶ ــ یک ژنراتور DC کمپوند از نوع شنت بلند مفروض است و مشخصات آن به

POWEREN.IR

قرار زیر است:

۱ —	= توان اسمی	۱۲	کیلو وات
۲ —	= ولتاژ اسمی ترمینال	۱۲۰	ولت
۳ —	= راندمان در بار اسمی	٪۷۵	
۴ —	= مقاومت تحریک شنت	۱۰۰	اهم
۵ —	= مقاومت آرمیچر	٪۱۶	اهم
۶ —	= مقاومت تحریک سری	٪۴	اهم

محاسبات زیر را در بار اسمی انجام دهید:

الف: جریان بار

ب: جریان تحریک شنت

ج: جریان آرمیچر

د: تلفات مسی

هـ: تلفات توان سرگردان

۳۷ — مساله ۳۶ را تکرار کنید اینبار ژنراتور را از نوع شنت کوتاه در نظر بگیرید

۳۸ — یک ژنراتور DC شنت مفروض است و ولتاژ ترمینال آن در حالت بی‌باری ۱۴۰ ولت می‌باشد. اگر این ژنراتور به شین ۱۲۰ ولتی وصل گردد و مقاومت آرمیچر معادل ۱۰/۸ اهم و مقاومت تحریک شنت معادل ۶۰ اهم باشد محاسبات زیر را انجام دهید.

الف: ولتاژ تولید شده در ماشین

ب: جریان تحریک شنت

ج: جریان آرمیچر

د: جریان بار

هـ: توان خروجی

۳۹ — یک ژنراتور DC شنت با مشخصات زیر مفروض است:

۱ —	= مقاومت تحریک شنت	۱۶۵	اهم
۲ —	= مقاومت آرمیچر	۰/۶	اهم
۳ —	= ولتاژ ترمینال در حالت باری	۴۸۰	ولت

اگر این ژنراتور به شین ۴۴۰ ولتی وصل شود توان تحویل به این شین چقدر خواهد بود

۴۰ — یک ژنراتور DC شنت ۴/۶ کیلو واتی و ۲۳۰ ولتی که واحد شماره ۱ به

POWEREN.IR

آن اتلاق میکنیم باری را تغذیه میکند . بمحض آنکه خروجی واحد شماره ۱ معادل توان اسمی این واحد شد واحد شماره ۲ وارد مدار میگردد و با واحد شماره ۱ موازی میشود . بار به چه نحوی بین این دو واحد تقسیم میگردد .

توان اسمی واحد شماره ۲ نیز معادل ۴/۶ کیلو وات است و بقیه مشخصات این دو واحد در جدول (۵ ــ ۶) ذکر شده است .

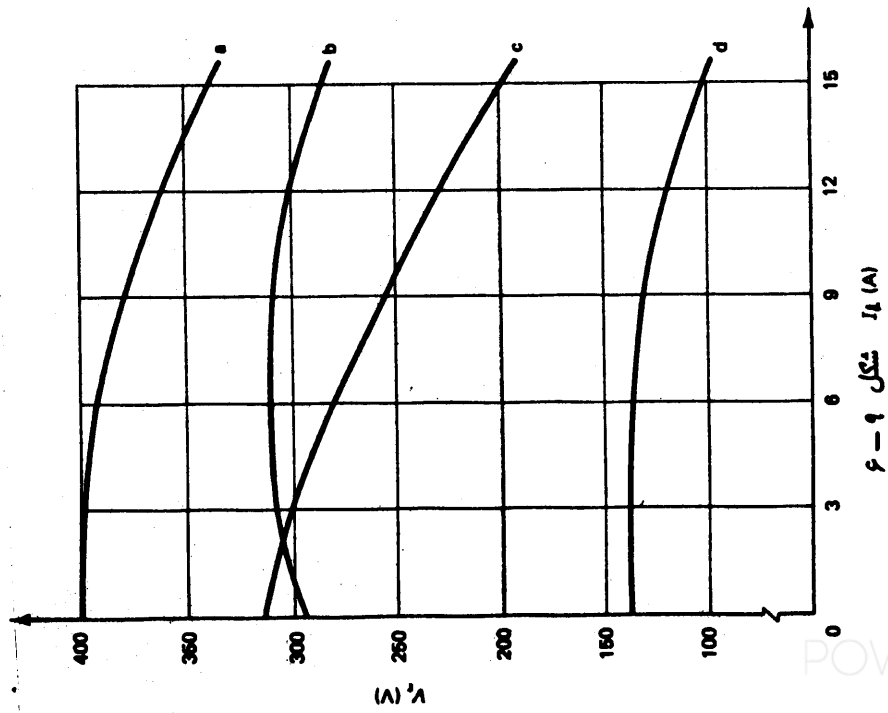
۴۱ــ دو ژنراتور DC کمپوند از نوع شنت کوتاه وفوق کمپوند مفروض‌اند و مطابق شکل (۳۰ ــ ۴) فصل چهارم به یک شین ۳۳۰ ولتی متصل شده‌اند . جدول (۶ ــ ۶) مشخصات دو واحد را نشان میدهد . بار به چه نحوی بین این دو ژنراتور تقسیم میشود . سیم متعادل کننده نیز در مدار قرار دارد .

	Unit 1	Unit 2
R_f (Ω)	120	118
R_a (Ω)	1.15	1.1
E_g (V)	248	252

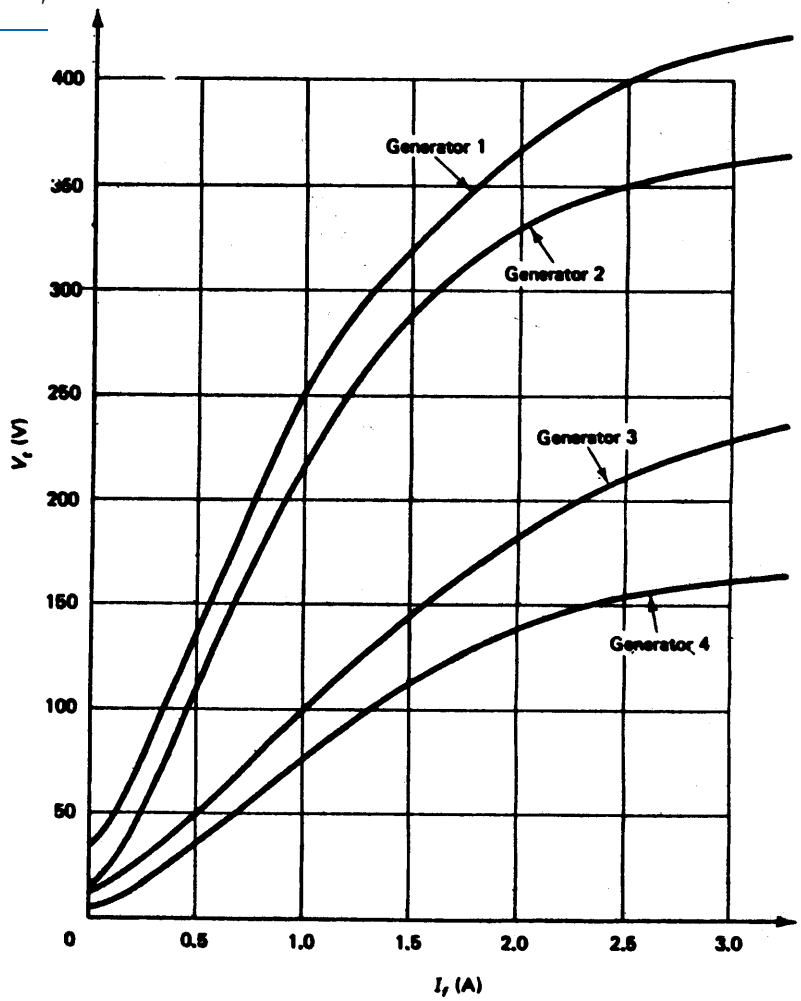
جدول ۵ ــ ۶

	Unit 1	Unit 2
R_f (Ω)	110	110
R_a (Ω)	1.0	1.0
R_s (Ω)	0.12	0.15
E_g (V)	350	350

جدول ۶ ــ ۶



شکل ۶ ــ ۶



شکل ۱۰ ــ ۶

POWEREN.IR

۵ ـ ۶ سئوالات و مسائل فصل پنجم

سئوالات:

۱ـ رابطه بین گشتاور، توان و سرعت چیست.

۲ـ عبارات زیر را تعریف کنید.

الف: نیروی ضد محرکه (BEMF)

ب: گشتاور سکون

ج: سرعت در حالت بی‌باری

۳ـ راندمان موتور DC را تعریف کنید و تنظیم سرعت موتور را تشریح کنید.

۴ـ فرق بین توان خروجی و توان حاصله در موتور چیست.

۵ـ چه زمانی راندمان موتور DC ماکزیمم است.

۶ـ اثر تغییرات زیر را بر روی سرعت موتور DC شنت بیان دارید.

الف: اگر جهت جریان تحریک موتور عوض شود

ب: اگر جهت جریان آرمیچر موتور عوض شود

ج: اگر ولتاژ منبع تغذیه موتور تغییر پلارتیه دهد

۷ـ سئوال ۶ را برای موتور DC سری تکرار کنید.

۸ـ یک موتور DC شنت مشغول کار است اگر مدار تحریک باز شود (پاره شود) چه واقعه‌ای رخ میدهد.

۹ـ سئوال ۸ را برای موتور DC سری تکرار کنید.

۱۰ـ فرق بین حالت کمپوند اضافی و کمپوند نقصانی را در موتورهای DC بیان دارید.

۱۱ـ اگر جریان آرمیچر در موتور DC بیش از حد اسمی شود، کدامیک از موتورهای DC بیشترین افزایش در گشتاور را خواهند داشت.

۱۲ـ اگر جریانی که موتور DC از شبکه میکشد افزایش یابد سرعت موتور چه تغییری میکند.

POWEREN.IR

۱۳ــ چرا برای راه‌اندازی موتورهای DC به راه‌اندازی‌های مخصوص نیاز داریم .

۱۴ــ دو روش جهت توقف سریع موتورهای DC بیان کنید .

۱۵ــ مدار مربوط به یک راه انداز ۴ نقطه‌ای را رسم کنید .

مسائل (سیستم ENG) :

۱ ــ یک موتور DC ۵ اسب بخاری تحت بار اسمی در سرعتهای زیر میچرخد گشتاور موتور را در سرعتهای ذیل بیابید .

الف: ۹۰۰ دور در دقیقه

ب: ۱۲۰۰ دور در دقیقه

ج: ۲۰۰۰ دور در دقیقه

۲ ــ یک موتور DC باید گشتاوری معادل ۳۵۰۰ "فوت ــ پوند" را تحت سرعت ۳۰ دور در دقیقه ایجاد میکند تا آسانسوری را که معادل بار اسمی آن میباشد جابجا نماید . توان اسمی ماشین را بیابید .

۳ ــ یک موتور DC با مشخصات زیر مفروض است .

۱ ــ اسب بخار ۲ = توان اسمی

۲ ــ دور در دقیقه ۱۸۰۰ = سرعت اسمی

۳ ــ وات ۱۳۰ = تلفات توان سرگردان

مطلوبست :

الف: گشتاور اسمی

ب: گشتاور حاصله در ماشین

۴ ــ اگر موتور مساله ۳ نصف بار اسمی خود را تحت سرعت ۲۲۰۰ دور در دقیقه تغذیه کند ، گشتاور خروجی موتور را پیدا کنید .

۵ ــ سیستمی مطابق شکل (۱ ــ ۵) در فصل پنجم در نظر میگیریم تا توان خروجی موتور DC را اندازه‌گیری‌کنیم . سرعت موتور در اینحالت ۱۲۰۰ دور در دقیقه است و ترازو ۲۷ پوند را میخواند . مطلوبست توان خروجی موتور (اینچ ۱۵ = d)

۶ ــ یک موتور DC مفروض است و قطبهای اصلی تحریک از نوع آهن ربای دائمی است مشخصات دیگر موتور بقرار زیر است :

۱ ــ دور در دقیقه ۹۰۰ = سرعت در حالت بی‌باری

POWEREN.IR

۲ــ "فوت ــ پوند" ۳۵۰ = گشتاور سکون

منحنی "گشتاور ــ سرعت" یا TS آنرا رسم کنید و محاسبات زیر را انجام دهید.

الف: اگر بخواهیم موتور با سرعت ۴۰۰ دور در دقیقه بچرخد گشتاور بار چگونه باید باشد.

ب: اگر موتور با سرعت ۷۵۰ دور در دقیقه بچرخد توان خروجی موتور را بیابید.

۷ ــ شکل (۱۱ــ ۶) را درنظر میگیریم که در آن منحنیهای "گشتاور ــ سرعت" ۴ موتور DC مختلف رسم شده است.

الف: گشتاور سکون موتور ۲ را پیدا کنید.

ب: سرعت موتور ۱ در حالت بی‌باری چیست

ج: اگر بخواهیم باری با گشتاور ۱۰۰ "فوت ــ پوند" را با سرعت ۹۰ دور در دقیقه بچرخانیم کدام موتور مناسب‌تر است.

د: موتوری را بیابید که دارای مشخصه اسمی ۲ اسب بخار و سرعت اسمی ۶۰ دور در دقیقه باشد.

۸ ــ یک موتور DC با مشخصات زیر مفروض است:

اسب بخار	۱	= توان اسمی	ــ ۱
دور دردقیقه	۱۸۰۰	= سرعت اسمی	ــ ۲
دوردر دقیقه	۲۱۰۰	= سرعت در حالت بی‌باری	ــ ۳

درصد تنظیم سرعت موتور را پیدا کنید.

۹ ــ مشخصه سرعت ۴ موتور DC مختلف در شکل (۱۲ ــ ۶) رسم شده است و همگی در بار اسمی ۱۰ آمپر میکشند، درصد تنظیم سرعت را برای موتورهای فوق پیدا کنید.

۱۰ ــ یک موتور DC شنت با مشخصات زیر مفروض است:

ولت	۱۲۰	= ولتاژ اسمی ترمینال	ــ ۱
اسب بخار	۲	= توان اسمی	ــ ۲
آمپر	۱۷	= جریان کشیده شده از شبکه در شرایط اسمی (بار کامل)	ــ ۳
اهم	۰/۷	= مقاومت آرمیچر R_a	ــ ۴
اهم	۹۰	= مقاومت تحریک شنت R_f	ــ ۵

POWEREN.IR

۶ ــ دوردر دقیقه ۱۶۰۰ = سرعت اسمی

مطلوبست:

الف: تلفات توان سرگردان

ب: توان حاصله در ماشین

ج: گشتاور حاصله توسط ماشین

۱۱ ــ یک موتور DC شنت با مشخصات زیر مفروض است:

۱ ــ ولتاژ اسمی ترمینال = ۱۴۰ ولت

۲ ــ سرعت اسمی = ۱۶۰۰ دور دردقیقه

۳ ــ جریان کشیده شده از شبکه‌دربارکامل = ۱۴ آمپر

۴ ــ مقاومت آرمیچر (R_a) = ۰/۸ اهم

۵ ــ مقاومت مدار تحریک شنت (R_f) = ۱۰۰ اهم

۶ ــ تلفات توان سرگردان = ۴۳۸ وات

مطلوبست:

الف: نیروی ضد محرکه (BEMF)

ب: توان اسمی

ج: گشتاور اسمی

د: راندمان

هـ: توان حاصله در ماشین

۱۲ ــ یک موتور DC شنت با مشخصات زیر مفروض است:

۱ ــ ولتاژ اسمی ترمینال = ۳۰۰ ولت

۲ ــ سرعت اسمی = ۱۴۵۰ دوردر دقیقه

۳ ــ جریان کشیده‌شده‌ازشبکه‌دربارکامل = ۱۵/۵ آمپر

۴ ــ مقاومت (آرمیچر) = ۰/۵ اهم

۵ ــ مقاومت تحریک شنت = ۲۰۰ اهم

۶ ــ تلفات توان سرگردان = ۵۰۰ وات

مطلوبست:

الف: نیروی ضد محرکه (BEMF)

ب: توان اسمی

POWEREN.IR

ج : راندمان

۱۳ ــ یک موتور DC شنت ۰/۵ اسب بخاری مفروض است و سرعت اسمی آن ۶۰۰ دور در دقیقه است. سرعت آنرا در حالت بی‌باری بیابید در صورتیکه درصد تنظیم سرعت موتور ۳۰ % باشد.

۱۴ ــ سه موتور با مشخصات اسمی زیر مفروض است راندمان سه موتور را بیابید.

الف: موتور اول، ۱۰ اسب بخار، ۶۰۰ ولت، ۱۵ آمپر

ب : موتور دوم، ۴ اسب بخار، ۴۴۰ ولت، ۸ آمپر

ج : موتور سوم، ۵۰ اسب بخار، ۶۰۰ ولت، ۷۵ آمپر

۱۵ ــ بر روی پلاک سه موتور DC اعداد ۲ اسب بخار و ۱۲۰ ولت بچشم میخورد، جریانی که این موتورها از شبکه میکشند را در شرایط زیر حساب کنید.

الف: موتور اول دارای راندمان ۷۵% است.

ب : راندمان موتور دوم ۸۰% میباشد.

ج : راندمان موتور سوم ۹۰% است.

۱۶ ــ یک موتور DC ، ۱۲۰ ولتی مفروض است و در بی‌باری ۵ آمپر میکشد. اگر تلفات مسی آن ۳۴۰ وات باشد، تلفات توان سرگردان آنرا بیابید.

۱۷ ــ بر روی پلاک یک موتور DC شنت اعداد ۴۴۰ ولت و ۱۰ اسب بخار به چشم میخورد و مطابق شکل (۹ ــ ۵) در فصل پنجم مورد آزمایش قرار میگیرد. اعداد مربوط به این آزمایش در جدول (۷ ــ ۶) داده شده است.

الف: منحنی تغییرات جریان خط، سرعت راندمان و گشتاور خروجی بر حسب توان خروجی را بر روی یک گراف رسم کنید.

ب: راندمان ماکزیمم چه موقعی رخ میدهد و آنرا با مقدار بدست آمده در فرض اول مقایسه کنید.

راهنمائی: مقاومت آرمیچر ۱/۴ اهم و تلفات توان سرگردان ۲۲۰ وات میباشد.

I_L (A)	3	8	13	16	20	22
I_f (A)	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
S (rev/min)	1100	1040	980	940	900	870

جدول ۷ ــ ۶

POWEREN.IR

POWEREN.IR

۱۸ ــ یک موتور DC کمپوند اضافی از نوع شنت بلند مفروض است و بر روی پلاک آن اعداد ۱۱۵ ولت ، ۱۴ آمپر و ۶۰۰ دور در دقیقه بچشم میخورد وتحت بار کامل مشغول کار است . مشخصات دیگر موتور بقرار زیر است :

۱ ــ	R_a	=	۰/۹	اهم
۲ ــ	R_s	=	۰/۵	اهم
۳ ــ	R_f	=	۹۲	اهم
۴ ــ	تلفات توان سرگردان	=	۱۴۰	وات

مطلوبست :

الف : نیروی ضد محرکه BEMF

ب : توان اسمی

ج : راندمان

د : گشتاور اسمی

هـ : گشتاور حاصله توسط ماشین

و : توان حاصله در ماشین (توان الکتریکی تبدیل شده به توان مکانیکی) .

۱۹ ــ یک موتور DC کمپوند اضافی از نوع شنت کوتاه مفروض است . مشخصات موتور بقرار زیر است :

۱ ــ	ولتاژ اسمی ترمینال	=	۳۰۰	ولت
۲ ــ	جریان اسمی موتور	=	۱۰	آمپر
۳ ــ	سرعت اسمی	=	۹۰۰	دور در دقیقه
۴ ــ	Rf	=	۲۰۰	اهم
۵ ــ	Ra	=	۰/۸	اهم
۶ ــ	Rs	=	۰/۴	اهم
۷ ــ	تلفات توان سرگردان	=	۲۰۰	وات

محاسبات زیر را در شرایط اسمی (بار کامل) انجام دهید :

الف : نیروی ضد محرکه BEMF

ب : توان اسمی

ج : راندمان

د : گشتاور اسمی

POWEREN.IR

POWEREN.IR

هـ : گشتاور حاصله توسط ماشین

۲۰ ــ یک موتور DC کمپوند از نوع شنت کوتاه مفروض است ومشخصات آن بقرار زیر است :

اسب بخار	۵	=	توان اسمی	۱ ــ
ولت	۱۲۰	=	ولتاژ اسمی ترمینال	۲ ــ
آمپر	۴۰	=	جریان اسمی	۳ ــ
اهم	۱۱۰	=	Rf	۴ ــ
اهم	۰/۴	=	Rs	۵ ــ
اهم	۰/۱	=	Ra	۶ ــ

محاسبات زیر را در شرایط اسمی (بار کامل) انجام دهید .

الف : کل تلفات مس ماشین

ب : تلفات سرگردان موتور

ج : راندمان

۲۱ ــ مساله ۲۰ را تکرار کنید ولی اینبار موتور را از نوع شنت بلند در نظر بگیرید .

۲۲ ــ یک موتور DC سری مفروض است و مشخصات آن بقرار زیر است :

ولت	۱۲۰	=	ولتاژ اسمی ترمینال	۱ ــ
دور در دقیقه	۲۰۰۰	=	سرعت اسمی	۲ ــ
آمپر	۶۰	=	جریان اسمی	۳ ــ
اهم	۰/۱	=	Ra	۴ ــ
اهم	۵%	=	Rs	۵ ــ
ولت	۶۹۲	=	تلفات توان سرگردان	۶ ــ

محاسبات زیر را در شرایط اسمی انجام دهید .

الف : کل تلفات مسی در ماشین

ب : توان حاصله در ماشین (توان الکتریکی تبدیل شده به توان مکانیکی)

ج : توان اسمی موتور

د : گشتاور اسمی ماشین

هـ : راندمان

۲۳ ــ یک موتور DC سری با مشخصات زیر مفروض است :

POWEREN.IR

۱ –	ولتاژ اسمی ترمینال =	۱۴۰	ولت
۲ –	جریان اسمی =	۱۲	آمپر
۳ –	سرعت اسمی =	۳۰۰۰	دور در دقیقه
۴ –	Ra =	۰/۸	اهم
۵ –	Rs =	۵%	اهم

اگر بار موتور کم گردد جریان موتور به ۳ آمپر تقلیل مییابد . سرعت موتور را در شرایط جدید (بار کم) بدست آورید .

مسائل (سیستم SI):

۲۴ – یک موتور DC ، ۱۰ کیلوواتی مفروض است و بار اسمی‌را تحت سرعتهای زیر تغذیه میکند . گشتاور موتور را در سرعتهای زیر بیابید .

الف: ۳۰ رادیان بر ثانیه

ب : ۴۰ رادیان بر ثانیه

ج : ۷۰ رادیان بر ثانیه

۲۵ – یک موتور DC باید گشتاوری معادل ۵۰۰۰ نیوتن متر را تحت سرعت ۳ رادیان بر ثانیه ایجاد کند تاآسانسوری را که معادل بار اسمی آن است جابجا نماید . توان اسمی موتور را بیابید .

۲۶ – یک موتور DC با مشخصات زیر مفروض است :

۱ –	توان اسمی =	۱/۵	کیلووات
۲ –	سرعت اسمی =	۱۸۰	رادیان برثانیه
۳ –	تلفات توان سرگردان =	۱۵۰	وات

محاسبات زیر را در بار اسمی انجام دهید .

الف: گشتاور خروجی ماشین

ب: گشتاور حاصله توسط موتور

۲۷ – اگر موتور DC مساله ۲۶ نصف بار اسمی‌خودرا تحت سرعت ۲۲۰ رادیان بر ثانیه تغذیه کند . گشتاور خروجی موتور را در اینحالت پیدا کنید .

۲۸ – سیستمی مطابق شکل (۱ – ۵) در فصل پنجم در نظر میگیریم تا توسط آن توان خروجی موتور را اندازه‌گیری کنیم . اگر موتور تحت سرعت ۱۰ رادیان بر ثانیه

POWEREN.IR

POWEREN.IR

بچرخد ، ترازو ۱۰۰ نیوتن را نشان میدهد . توان خروجی موتور را پیدا کنید (متر d = ۰/۵)

۲۹ ــ یک موتور DC که قطبهای تحریک آن از آهن ربای دائمی ساخته شده دارای مشخصات زیر است :

۱ ــ سرعت در حالت بی‌باری = ۹۰ رادیان بر ثانیه

۲ ــ گشتاور سکون = ۵۰۰ نیوتن متر

منحنی تغییرات گشتاور سرعت (Ts) این‌موتور را رسم کنید و محاسبات زیر را انجام دهید .

الف : اگر بخواهیم موتور با سرعت ۴۰ رادیان بر ثانیه بچرخد گشتاور بار چه مقدار باید انتخاب گردد .

ب : اگر موتور با سرعت ۷۵ رادیان بر ثانیه بچرخد توان خروجی موتور چیست .

۳۰ ــ شکل (۱۳ ــ ۶) منحنی " گشتاور سرعت " (Ts) چهار موتور DC مختلف میباشد

الف : گشتاور سکون در موتور ۱ چه مقدار است .

ب : سرعت بی‌باری موتور ۲ چیست

ج : اگر بخواهیم باری با گشتاور ۱۵۰ نیوتن متر را با سرعت ۱۲/۵ رادیان بر ثانیه بچرخانیم کدام موتور مناسب‌تر است .

د : کدامیک از موتورها دارای توان اسمی ۱/۵ کیلو وات و سرعت اسمی ۵ رادیان بر ثانیه است .

۳۱ ــ یک موتور DC یک کیلو واتی مفروض‌است و در بار کامل با سرعت ۱۸۰ رادیان بر ثانیه میچرخد اگر سرعت موتور در حالت بی‌باری ۲۰۰ رادیان بر ثانیه باشد درصد تنظیم سرعت موتور را پیدا کنید .

۳۲ ــ شکل (۱۴ــ۶) مشخصه‌های سرعت ۴ موتور DC مختلف را نشان میدهد و همگی در بار اسمی ۶ آمپر میکشند درصد تنظیم سرعت در موتورهای فوق را بدست آورید .

۳۳ ــ یک موتور ۰/۵ کیلو واتی دارای سرعت اسمی ۶۰ رادیان بر ثانیه است و درصد تنظیم سرعت آن ۲۵% میباشد . سرعت موتور در حالت بی‌باری چیست .

۳۴ ــ یک موتور DC شنت با مشخصات زیر مفروض است :

۱ ــ ولتاژ اسمی ترمینال = ۲۳۰ ولت

POWEREN.IR

POWEREN.IR

۲ – توان اسمی = ۱/۵ کیلو وات

۳ – جریان اسمی = ۸/۲ آمپر

۴ – Ra = ۱/۱ اهم

۵ – Rf = ۲۰۰ اهم

۶ – سرعت اسمی = ۱۵۶ رادیان‌برثانیه

مطلوبست:

الف: تلفات توان سرگردان

ب: توان حاصله در ماشین

ج: گشتاور حاصله توسط ماشین

۳۵ – یک موتور DC شنت با مشخصات زیر مفروض است:

۱ – ولتاژ اسمی ترمینال = ۴۶۰ ولت

۲ – سرعت اسمی = ۸۳ رادیان‌برثانیه

جریان اسمی = ۷/۵ آمپر

۳ – Ra = ۱/۲ اهم

۴ – Rf = ۳۰۵ اهم

۵ – تلفات توان سرگردان = ۲۱۵ وات

مطلوبست:

الف: نیروی ضد محرکه (BEMF)

ب: توان اسمی

ج: گشتاور اسمی

د: راندمان

هـ: توان حاصله در ماشین

۳۶ – یک موتور DC شنت با مشخصات زیر مفروض است.

ولتاژ اسمی ترمینال = ۳۳۰ ولت

۲ – سرعت اسمی = ۹۰ رادیان برثانیه

۳ – جریان اسمی = ۱۴/۵ آمپر

۴ – R_a = ۰/۶ اهم

۵ – Rf = ۲۲۰ اهم

POWEREN.IR

وات ۶۹۰ = تلفات توان سرگردان ← ۶

مطلوبست محاسبات زیر

الف: نیروی ضد محرکه (BEMF)

ب : توان اسمی

ج : راندمان

۳۷ ــ سه موتور DC با مشخصات زیر مفروض است راندمان آنها را بیابید .

الف: موتور اول: ۳ کیلو وات ، ۲۳۰ ولت ، ۱۵ آمپر

ب: موتور دوم : ۴۰ کیلو وات ، ۶۰۰ ولت ، ۸۰ آمپر

ج : موتور سوم: ۵ کیلو وات ، ۳۳۰ ولت ، ۲۰ آمپر

۳۸ ــ سه موتور DC ، ۱/۵ کیلو واتی و ۲۲۰ ولتی مفروض‌اند و راندمان آنها در بار اسمی بقرار زیر است . جریانهای اسمی آنها را بیابید .

الف: راندمان موتور اول ۹۲٪ است

ب : راندمان موتور دوم ۸۵٪ است

ج : راندمان موتور سوم ۷۷٪ است

۳۹ ــ یک موتور DC ، ۲۳۰ ولتی مفروض است و در بی‌باری ۳ آمپر میکشد . اگر تلفات مس موتور ۳۷۰ وات باشد تلفات توان سرگردان ماشین را بدست آورید .

۴۰ ــ یک موتور DC . شنت ، ۳۳۰ ولتی و ۷/۵ کیلو واتی مفروض است و مطابق شکل (۹ ــ ۵) در فصل پنجم مورد آزمایش قرار گرفته است . اگر نتایج آزمایش مطابق جدول (۸ ــ ۶) باشد . مطلوبست .

الف: رسم منحنی تغییرات جریان خط، سرعت ، راندمان ، گشتاور خروجی بر حسب توان خروجی بر روی یک گراف مشترک .

ب: در چه نقطه‌ای راندمان ماکزیمم رخ میدهد و آنرا با نتایج فرض " الف " چک کنید .

راهنمائی: مقاومت آرمیچر ۲ را اهم وتلفات توان سرگردان در این موتور ۳۲۰ وات است :

I_L (A)	4	10.5	17	21	26	30
I_f (A)	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
ω (rad/s)	120	112	104	99	93	85

جدول ۸ ــ ۶

POWEREN.IR

۴۱ ــ یک موتور DC کمپوند اضافی از نوع شنت بلند مفروض بوده و مشخصات آن بقرار زیر است :

۱ ــ	ولتاژ اسمی ترمینال =	۲۲۰	ولت
۲ ــ	جریان اسمی =	۷/۵	آمپر
۳ ــ	سرعت اسمی =	۶۰	رادیان بر ثانیه
۴ ــ	Rf =	۱۶۹	اهم
۵ ــ	Ra =	۱	اهم
۶ ــ	Rs =	%۳	اهم
۷ ــ	تلفات توان سرگردان =	۳۱۴	وات

مطلوبست :

الف. نیروی ضد محرکه

ب : توان اسمی

ج : راندمان

د : گشتاور اسمی

هـ : گشتاور حاصله توسط ماشین

و : توان حاصله در ماشین (توان الکتریکی تبدیل شده به توان مکانیکی)

۴۲ ــ یک موتور DC کمپوند اضافی از نوع شنت کوتاه مفروض بوده و مشخصات آن بقرار زیر است :

۱ ــ	ولتاژ اسمی ترمینال =	۳۳۰	ولت
۲ ــ	جریان اسمی =	۱۰	آمپر
۳ ــ	سرعت اسمی =	۹۰۰	رادیان‌برثانیه
۴ ــ	Rf =	۱۶۴	اهم
۵ ــ	Ra =	۱/۵	اهم
۶ ــ	Rs =	۰/۲	اهم
۷ ــ	تلفات توان سرگردان =	۵۲۸	وات

مطلوبست :

الف : نیروی ضد محرکه (BEMF)

ب : توان اسمی

POWEREN.IR

ج : راندمان

د : گشتاور اسمی

هـ : گشتاور حاصله توسط ماشین

۴۳ ــ یک موتور DC کمپوند از نوع شنت کوتاه مفروض است و مشخصات آن بقرار زیر است :

۱ ــ	توان اسمی =	۵	کیلو وات	
۲ ــ	ولتاژ اسمی ترمینال =	۲۴۰	ولت	
۳ ــ	جریان اسمی =	۲۴	آمپر	
۴ ــ	Rs =	۵%	اهم	
۵ ــ	Rf =	۲۰۰	اهم	
۶ ــ	Ra =	۰/۴	اهم	

مطلوبست :

الف : کل تلفات مسی

ب : تلفات توان سرگردان

ج . راندمان

۴۴ ــ مساله ۴۳را تکرار کنید ولی اینبار موتور DC کمپوند را از نوع شنت بلند در نظر بگیرید .

۴۵ ــ یک موتور DC سری با مشخصات زیر مفروض است .

۱ ــ	ولتاژ اسمی ترمینال =	۲۳۰	ولت	
۲ ــ	سرعت اسمی =	۲۰۰	رادیان‌برثانیه	
۳ ــ	جریان اسمی =	۳۰	آمپر	
۴	Ra =	۰/۲	اهم	
۵ ــ	Rs =	%۷	اهم	
۶ ــ	تلفات توان سرگردان =	۶۵۷	وات	

و

مطلوبست :

الف : کل تلفات مس در ماشین

ب : توان حاصله در ماشین (توان الکتریکی تبدیل شده به توان مکانیکی)

POWEREN.IR

ج : توان اسمی

د : گشتاور اسمی

هـ : راندمان

۴۶ ــ یک موتور سری ۲۵۰ ولتی و ۸ آمپری مفروض است و در بار کامل با سرعت ۳۰۰ رادیان بر ثانیه میچرخد . در شرایطی که بار موتور کم است جریان ماشین ۲ آمپر میگردد . سرعت موتور در اینحالت را بیابید (اهم R_a = ۱/۱ و اهم ۶% = Rs)

مسائل (سیستم SI و ENG) :

۴۷ ــ یک موتور شنت را مطابق شکل (۲۵ ــ ۵) در فصل پنجم توسط یک راه‌انداز ۴ نقطه‌ای راه اندازی میکنیم . جریان آرمیچر در شرایط اسمی ۸ آمپر است اگر مقاومت آرمیچر ۰/۸ اهم و مقاومت راه انداز ۲۰/۵ اهم باشد . مطلوبست .

الف : جریان آرمیچر در لحظه راه اندازی

ب : جریان فرض الف چند درصد جریان اسمی ارمیچر میباشد .

۴۸ ــ یک موتور DC شنت ، ۶۰۰ ولتی و ۲۲ آمپری را با راه اندازی ۴ نقطه‌ای راه‌اندازی میکنیم (شکل ۲۵ ــ ۵) در فصل پنجم . اگر بخواهیم جریان آرمیچر در لحظه راه اندازی از ۱۴۵% درصد جریان اسمی آن فراتر نرود ، مقاومت راه انداز چقدر باید باشد . پارامترهای ماشین بقرار زیر است :

Ra	=	۰/۷ اهم
R_f	=	۳۰۰ اهم

۴۹ ــ یک موتور DC شنت با مشخصات زیر مفروض است :

ولتاژ اسمی ترمینال	=	۲۳۰	ولت
حریان اسمی آرمیچر	=	۸	آمپر
R_a	=	۲	اهم

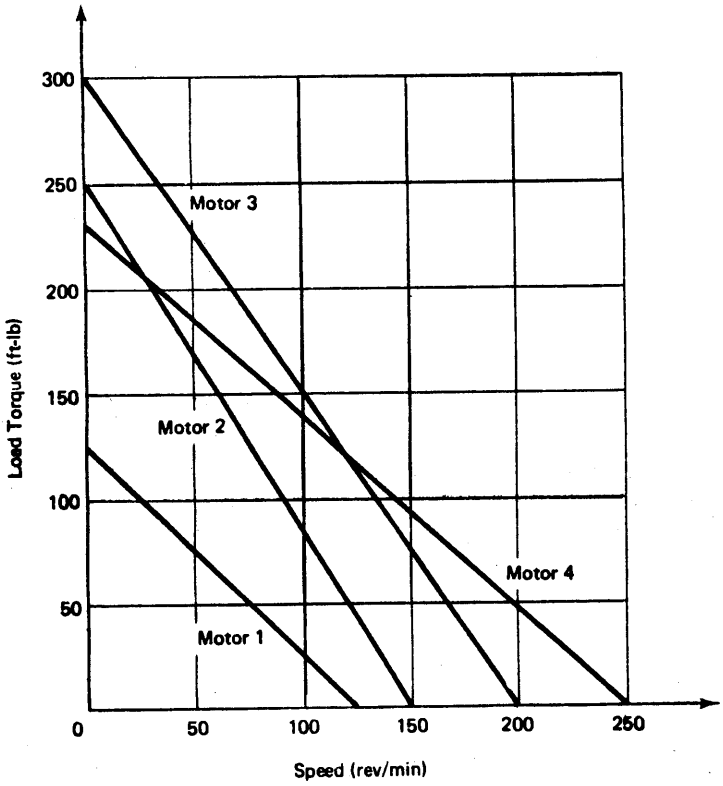
۱ ــ

۳ ــ

این موتور در شرایط اسمی مشغول کار است و برای توقف آن از روش Pluggin استفاده میشود (شکل ۲۸ ــ ۵) در فصل پنجم، اگر بخواهیم جریان آرمیچر از ۱۴ آمپر فراتر نرود ، مقاومت محدود کننده جریان (Rx) را محاسبه کنید .

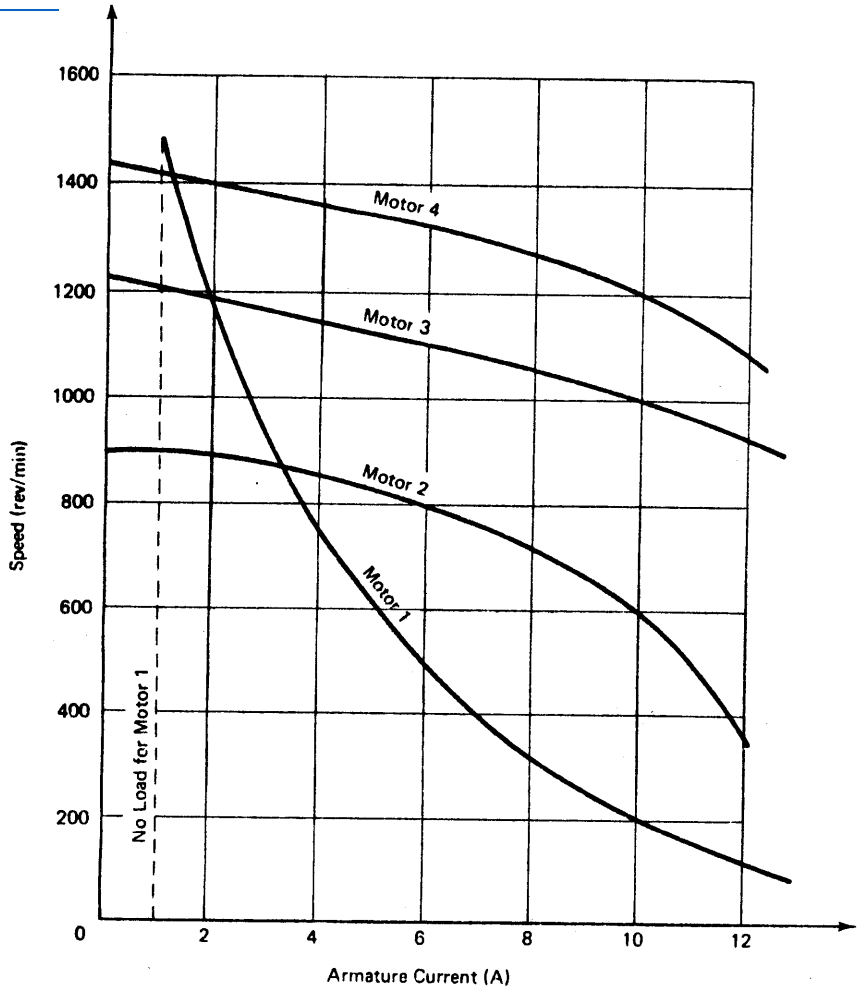
POWEREN.IR

۵۰ ــ در مساله ۴۹ اگر از مقاومت R_x استفاده نکنیم جریان آرمیچر را هنگام پروسس plugging پیدا کنید.



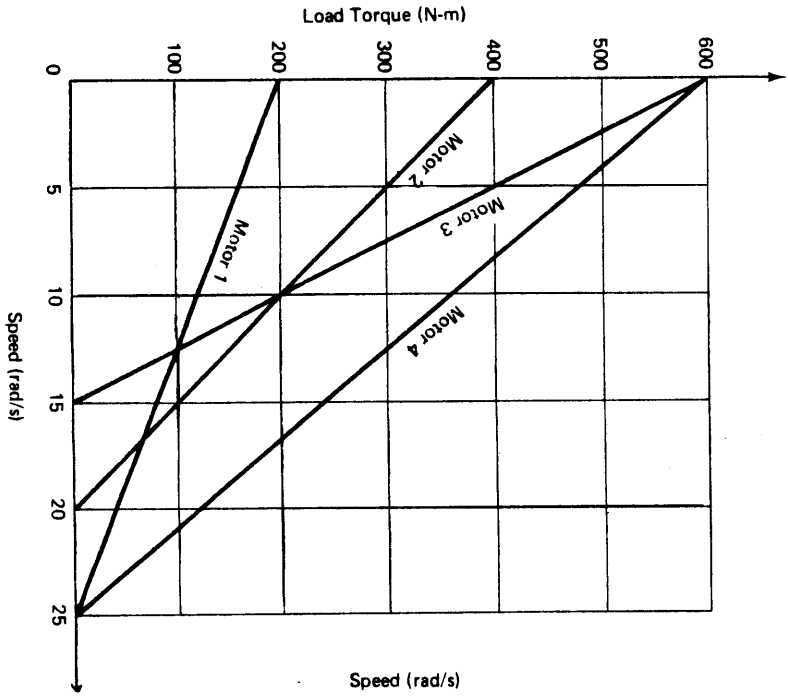
شکل ۱۱ ــ ۶

POWEREN.IR

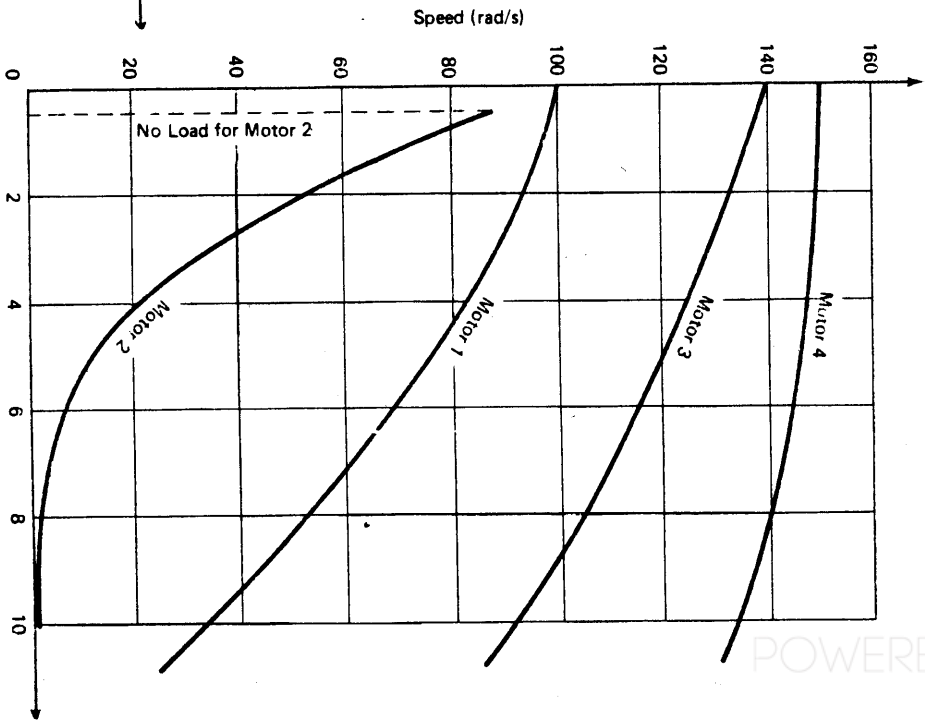


شکل ۱۲ – ۶

POWEREN.IR



شکل ۱۳ — ۶



شکل ۱۴ — ۶

POWEREN.IR

POWEREN.IR

فصل هفتم

ترانسفورماتورها

TRANSFORMERS

۷٤ صفحه

POWEREN.IR

POWEREN.IR

PowerEn.ir

POWEREN.IR

POWEREN.IR

فصل هفتم
ترانسفورماتورها

مقدمه:

امروزه تقریبا" ترانسفورماتورها [۱] در تمامی وسایل برقی یافت میشوند زیرا از آنها برای مقاصد زیر استفاده میشود.

۱ ـ تطبیق امپدانس [۲]

۲ ـ عایق بندی الکتریکی [۳]

۳ ـ کوپلاژ

۴ ـ کاهش یا افزایش ولتاژ

در این فصل فقط راجع به نقش ترانسفور ماتورها در کاهش یا افزایش ولتاژ صحبت میکنیم ولی قبل از اینکه وارد بحث اصلی ترانسفورماتورها شویم، قدری راجع به تئوری مدارهای جریان متناوب (AC). بحث مینمائیم.

۱ ـ ۷ مدارهای تک فاز AC: 7-1 REVIEW OF SINGLE-PHASE AC CIRCUITS

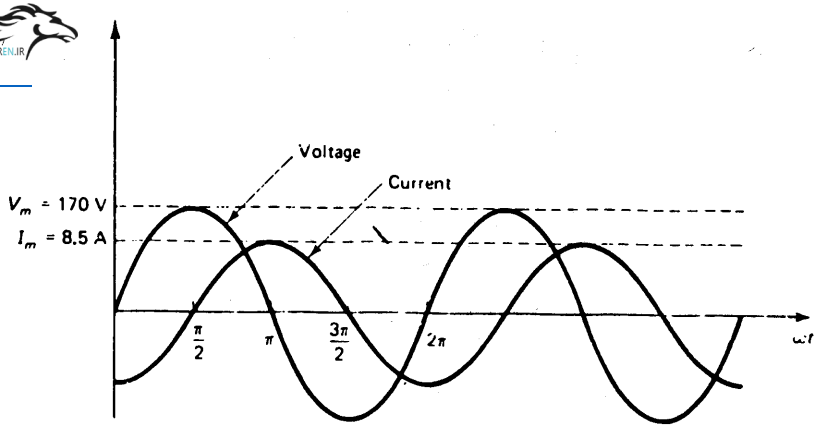
امروزه در صنعت برق و الکترونیک زیگنالهای متناوب متعددی وجود دارد ولی ما فقط به زیگنالهای سینوسی توجه مینمائیم (شکل ۱ ـ ۷). در فصل دوم (جلد اول کتاب) مشاهده کردیم که اصولا" در ماشینهای DC ولتاژ متناوب سینوسی تولید میشود (شکلهای ۷ ـ ۲ و ۹ ـ ۲ در جلد اول). سپس با استفاده از کموتاتورو جاروبکها، این ولتاژ سینوسی را به ولتاژ DC تبدیل نمودیم. حال اگر از کموتاتور استفاده نشود و بجای آن از حلقه‌های لغزان [۴] کمک گرفته شود در اینصورت ولتاژ خروجی (ولتاژ دو سر جاروبکها) همان AC باقی میماند (شکل ۲ ـ ۷). علت این امر این است که در اینحال

---

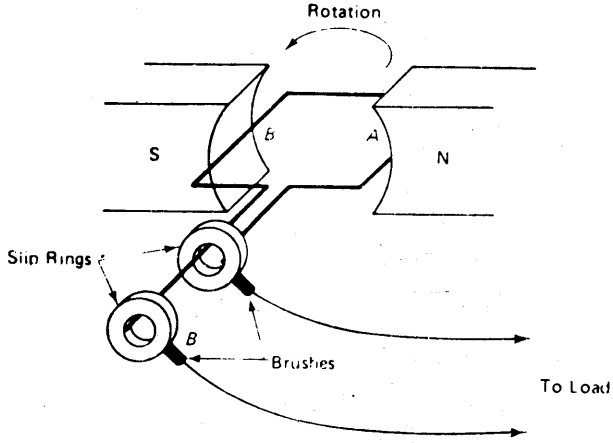
1) Transformers 2) Impedance-matching
3) Electrical-Isolation 4) Slip-rings

POWEREN.IR

POWEREN.IR



شکل ۱ ــ ۷: دو موج سینوسی



شکل ۲ ــ ۷: استفاده از حلقه‌های لغزان و جاروبکها برای بدست آوردن موج AC در ژنراتور

جاروبکها عمل سوئیچینگ را انجام نمیدهند و همواره با هادی مشخصی در تماس هستند هرگاه هادی A از مقابل قطب شمال بگذرد جاروبک A مثبت بوده و جاروبک B منفی خواهد بود (قانون دست راست فلمینگ). همچنین اگر کلاف ۱۸۰ درجه بچرخد، جاروبک A منفی شده و جاروبک B مثبت میگردد. اگر موجهای نشان داده شده در شکل (۱ ــ ۷) مبین ولتاژ دو سر یک مدار و همچنین جریان عبوری از آن مدار باشد در این صورت میتوان گفت:

۱ ــ فرکانس[1] هر دو موج یکسان است.

1) Frequency

POWEREN.IR

۲ ــ چون پیک[1] این دو موج در یک زمان رخ نمیدهد لذا این دو موج با هم اختلاف فاز[2] داشته و همانطور که از شکل (۱ ــ ۷) پیداست در این وضعیت خاص این دو موج بمیزان $\pi/2$ یا ۹۰ درجه اختلاف فاز دارند .

۳ ــ مقدار موثر[3] (rms) این دو موج اینچنین حساب میشود .

$$V = \frac{V_m}{\sqrt{2}} \qquad (7\text{-}1)$$

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}} \qquad (7\text{-}2)$$

که در آن :

V_m = مقدار پیک یا ماکزیمم ولتاژ

I_m = مقدار پیک یا ماکزیمم جریان

منبعد در این کتاب اکثرا" با مقادیر موثر سروکار داریم مگر آنکه در موقع بخصوصی از مقادیر دیگری ذکری بعمل آید .

۴ ــ از آنجائی که در شکل (۱ــ۷) ولتاژ و جریان با هم همفاز نیستند ، لذا مدار مقاومتی خالص نبوده بلکه عناصر راکتیو مانند خازن یا سلف با هر دو آنها در مدار نیزوجود دارند . اما همانطورکه از شکل (۱ ــ ۷) پیداست چون این اختلاف فاز درست ۹۰ درجه میباشد و جریان نسبت به ولتاژ بمیزان ۹۰ درجه عقب است (پس فاز)[4] ، لذامدار کاملا" اندوکتیو است (کاملا" سلفی است) . در اینجا متذکر میشویم که اندوکتیو خالص توان حقیقی مصرف نمیکند بلکه در میدان مغناطیسی انرژی ذخیره مینماید .

۵ ــ از حاصلضرب مقادیرموثر ولتاژ و جریان توان ظاهری حاصل میگردد و واحد آن ولت آمپر (VA) میباشد .

$$\text{apparent power} = P_a = VI \qquad (7\text{-}3)$$

با توجه بشکل (۱ ــ ۷) داریم .

$$V = \frac{V_m}{\sqrt{2}} = \frac{170\ \text{V}}{\sqrt{2}} = 120\ \text{V}$$

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = \frac{8.5\ \text{A}}{\sqrt{2}} \doteq 6\ \text{A}$$

$$P = VI = 120\ \text{V} \times 6\ \text{A} = 720\ \text{VA}$$

1) Peak 2) Out-of-phase
3) Effective-Value 4) Lagging

POWEREN.IR

از بند چهار فوق‌الذکر دریافتیم که هیچگونه توان حقیقی (اکتیو) [1] در اندوکتیو خالص مصرف نمیشود . منظور از توان حقیقی (اکتیو) آنستکه در نهایت بتواند عملی برای ما انجام دهد (مانند گردش موتور ، تولید حرارت ، تولید سرما ، نور و . . .) . باید گفت که هنگام پرداخت قبض برق ، بخاطر مصرف توان حقیقی است که ما پول میپردازیم . برای متمایز کردن توان حقیقی و توان ظاهری آنها را با اندیس W و a نشان میدهیم . باید گفت که واحد توان حقیقی وات می‌باشد (W) .

۶ ــ ضریب توان [2] (PF) در یک مدار ac اینچنین تعریف میشود .

$$PF = \frac{P_w}{P_a} \qquad (7\text{-}4)$$

با توجه بشکل (۱ ــ ۷) و مباحث فوق‌الذکر میتوان برای حالت خاص مورد مطالعه اینچنین گفت :

$$PF = \frac{0\ W}{720\ VA} = 0$$

همچنین باید متذکر شد که ضریب توان کسینوس زاویه بین ولتاژ و جریان میباشد .

$$PF = \cos\theta \qquad (7\text{-}5)$$

در شکل (۱ ــ ۷) داریم :

$$PF = \cos 90^\circ = 0$$

۷ ــ در مدارهای AC ، جابجائی فاز [3] (θ) بخاطر عناصر راکتیو موجود در مدار حاصل میگردد . مدارها عموما" شامل عناصر مقاومتی ، اندوکتیو (سلفی) و خازنی هستند ولذا دارای امپدانس [4] میباشند . این امپدانس دارای مقداری معادل Z بوده و حاوی زاویه‌ای نیز میباشد که این زاویه همان زاویه θ خواهد بود . بعبارت دیگر زاویه امپدانس همان زاویه بین ولتاژ و جریان میباشد . در نتیجه با دانستن زاویه امپدانس میتوان ضریب توان را بدست آورد (رابطه ۵ ــ ۷) • در مدارهای AC سری امپدانس و زاویه آنرا اینچنین حساب میکنند .

$$X_L = 2\pi f L \qquad (7\text{-}6)$$

$$X_C = \frac{1}{2\pi f C} \qquad (7\text{-}7)$$

$$|Z| = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} \qquad (7\text{-}8)$$

$$\theta = \arctan \frac{X_L - X_C}{R} \qquad (7\text{-}9)$$

1) Active-Power
2) Power-factor
3) Phase-shift
4) Impedance

POWEREN.IR

که در آن :

X_L = راکتانس اندوکتیو (سلفی) مدار بر حسب اهم

X_C = راکتانس کاپاستیو (خازنی) مدار بر حسب اهم

R = مقاومت مدار بر حسب اهم

L = سلف مدار بر حسب هانری

C = ظرفیت خازنی مدار بر حسب فاراد

F = فرکانس منبع بر حسب هرتز

با توجه به رابطه (۹ ــ ۷) میتوان گفت :

الف : اگر θ مثبت باشد مدار کلا" خاصیت اندوکتیو (سلفی) دارد و جریان نسبت به ولتاژ عقب است (پس فاز)

ب : اگر θ منفی باشد مدار کلا" خاصیت خازنی دارد و جریان نسبت به ولتاژ جلو میباشد (پیش فاز) (۱)

ج : اگر θ مساوی صفر باشد مدار کلا" خاصیت مقاومتی خالص دارد و ضریب توان واحد (۲) خواهد بود ، در اینحالت X_L و X_C یا مساوی یکدیگرند یا هیچکدام در مدار وجود ندارند .

۸ ــ همانطور که گفتیم سلف خالص انرژی را در میدان مغناطیسی ذخیره میکنند و لذا خازن نیز انرژی را در میدان الکتریکی ذخیره مینماید . در مدارهای AC این ذخیره انرژی بصورت تناوبی (پریودیک) بوده و لذا انرژی از منبع به این عناصر منتقل شده وسپس از طرف همین عناصر بطرف منبع باز میگردد . لذا برای ایجاد این میدان‌ها توانی لازم است که دوباره توسط منبع جذب میشود . به این توان ، توان راکتیو (۳) گفته میشود و واحد آن VAR میباشد . این توان را با اندیس r نشان میدهیم . رابطه بین توان ظاهری و توان راکتیو اینچنین است :

$$P_r = P_a \sin \theta \qquad (7\text{-}10)$$

$$P_r = VI \sin \theta$$

در روابط اخیر θ همان زاویه امپدانس مدار میباشد .

۹ ــ برای تحلیل توانهای ظاهری (۴) ، حقیقی و راکتیو معمولا" از مثلث توان استفاده میشود (شکل ۳ ــ ۷) . این مثلث در شکل (۳ ــ ۷) برای حالت پس فاز رسم شده است (θ مثبت) . همواره توان حقیقی را بصورت محور مرجع و افقی رسم میکنند و توان راکتیو

---

1) Leading
2) Unity-power-factor
3) Reactive-power
4) Apparent

POWEREN.IR

POWEREN.IR

عمود بر این محور رسم خواهد شد . باید گفت :

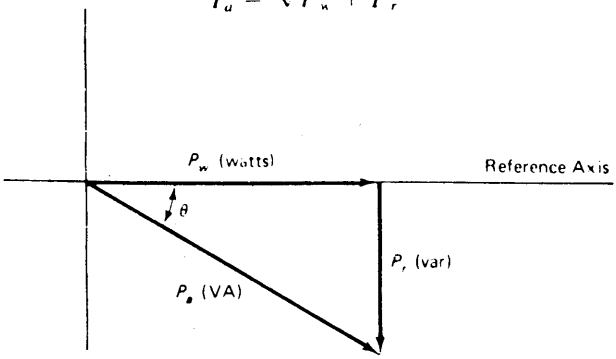
۱ ــ اگر θ مثبت (پس فاز) باشد جهت این عمود بطرف پائین است .

۲ ــ اگر θ منفی باشد (پیش فاز) جهت این عمود بطرف بالا است .

با استفاده از شکل (۳ ــ ۷) داریم :

$$P_w = P_a \cos\theta = VI\cos\theta \qquad (7\text{-}11)$$

$$P_a = \sqrt{P_w^2 + P_r^2} \qquad (7\text{-}12)$$



شکل ۳ ــ ۷ مثلث توان برای حالت پس فاز

مثال ۱ ــ ۷ (مدارهای RL سری)

مداری مطابق شکل (۴ ــ ۷) مفروض است . مطلوبست :

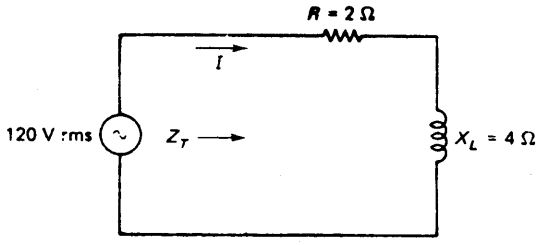
(الف) : کل امپدانس این مدار

(ب) : جریان در این مدار

(ج) : ضریب توان این مدار

(د) : انواع توانها در این مدار

(هـ) : مثلث توان در این مدار



POWEREN.IR

شکل ۴ ــ ۷ مدار مربوط به مثال ۱ ــ ۷

POWEREN.IR

حل :

(الف) : چون در این مدار خازن وجود ندارد ، لذا :

$$|Z| = \sqrt{2^2 + (4-0)^2}$$
$$= \sqrt{20} = 4.47\,\Omega$$

از رابطه (۹ــ ۷) داریم :

$$\theta = \arctan \frac{4}{2}$$
$$= 63.43^\circ$$

(ب) : مقدار موتر جریان در این مدار اینچنین حساب میشود .

$$I = \frac{\text{source voltage}}{Z}$$
$$= \frac{120\ \text{V}}{4.47\ \Omega}$$
$$= 26.85\ \text{A}$$

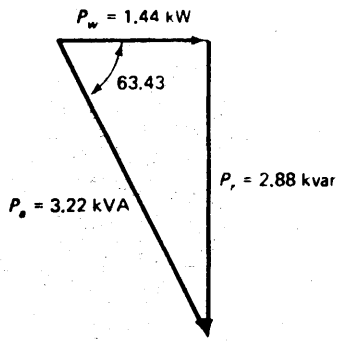
(ج) : از رابطه (۵ ــ ۷) داریم :

$$\text{PF} = \cos 63.43^\circ = 0.45$$

باید گفت این ضریب توان از نوع پس فاز است زیرا θ مثبت محاسبه شده است .

(د) : از روابط (۳ ــ ۷) ، (۱۰ ــ ۷) و (۱۱ ــ ۷) داریم :

$$P_a = 120\ \text{V} \times 26.85\ \text{A}$$
$$= 3222\ \text{VA or } 3.222\ \text{kVA}$$
$$P_r = 3222 \sin 63.43^\circ$$
$$= 2882\ \text{var or } 2.882\ \text{kvar}$$
$$P_w = 3222 \cos 63.43^\circ$$
$$= 1441\ \text{W or } 1.441\ \text{kW}$$



شکل ۵ ــ ۷ مثلث توان مربوط به مثال ۱ ــ ۷

POWEREN.IR

البته توان حقیقی را میتوان بطریق دیگری نیز حساب نمود . توان حقیقی همان توان مصرفی در مقاومت میباشد .

$$P_R = RI^2 = 2\ \Omega \times (26.85\ A)^2$$
$$= 1442\ W$$

(هـ) : مثلث توان مطابق شکل (۵ ــ ۷) است .

مثال ۲ ــ ۷ (مدار RC سری) :

مداری مطابق شکل (۶ ــ ۷) مفروض است . مطلوبست :

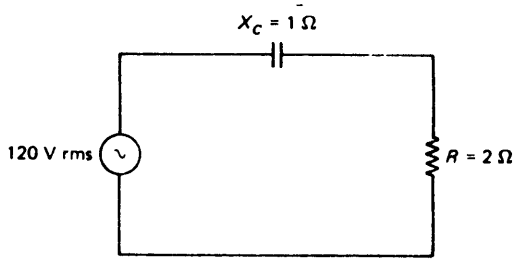
(الف) : کل امپدانس این مدار

(ب) : جریان در این مدار

(ج) . ضریب توان این مدار

(د) : انواع توانها در این مدار

(هـ) : رسم مثلث توان در این مدار



شکل ۶ ــ ۷ مدار مربوط به مثال ۲ ــ ۷

حل :

(الف) : از رابطه (۸ ــ ۷) استفاده میکنیم و میدانیم در این مدار سلف وجود ندارد ، لذا :

$$|Z| = \sqrt{2^2 + (0 - 1)^2}$$
$$= 2.24\ \Omega$$

از رابطه (۹ ــ ۷) داریم :

$$\theta = \arctan \frac{-1}{2}$$
$$= -26.57^\circ$$

(ب) : جریان اینچنین حساب می‌شود .

$$I = \frac{120\ V}{2.24\ \Omega} = 53.57\ A$$

(ج) : ضریب توان بطریق زیر بدست می‌آید .

$$PF = \cos\theta = \cos(-26.57^\circ)$$
$$= 0.89$$

POWEREN.IR

POWEREN.IR

ضریب توان از نوع پیش فاز است زیرا θ منفی محاسبه شده است .

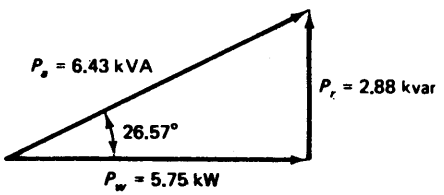
(د) : توانهای گوناگون اینچنین بدست می‌آیند .

$$P_a = VI$$
$$= 120\ \text{V} \times 53.57\ \text{A}$$
$$= 6.43\ \text{kVA}$$
$$P_r = VI \sin\theta$$
$$= 6.43\ \text{k} \sin(26.57^\circ)$$
$$= 2.88\ \text{kvar}$$
$$P_w = VI \cos\theta$$
$$= 6.43\text{k} \cos 26.57^\circ$$
$$= 5.75\ \text{kW}$$

توان حقیقی را میتوان بطریق دیگری حساب نمود و آن توان مصرفی توسط مقاومت است :

$$P_w = RI^2 = 2\ \Omega \times (53.57\ \text{A})^2$$
$$= 5.74\ \text{kW}$$

(هـ) : مثلث توان در شکل (۷ ــ ۷) رسم شده است .



شکل ۷ ــ ۷ مثلث توان در مثال ۲ ــ ۷

مثال ۳ ــ ۷ (مدار RLC سری) :

مداری مطابق شکل (۸ ــ ۷) مفروض است . مطلوبست :

(الف) : امپدانس کل این مدار

(ب) : جریان در این مدار

(ج) : ضریب توان این مدار

(د) : انواع توانها در این مدار

(هـ) : مثلث توان در این مدار

حل :

(الف) : از رابطه (۸ ــ ۷) داریم :

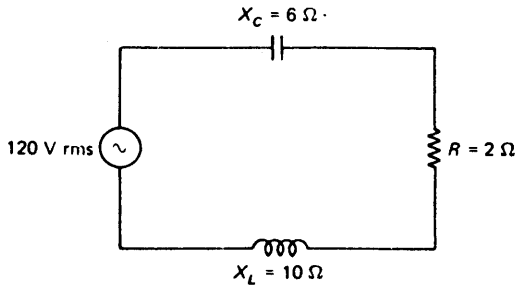
POWEREN.IR

POWEREN.IR

$$|Z| = \sqrt{2^2 + (10 - 6)^2}$$
$$= \sqrt{20} = 4.47\ \Omega$$

از رابطه (۹ ــ ۷) داریم :

$$\theta = \arctan \frac{10 - 6}{2} = \arctan \frac{}{2} = 63.43^\circ$$



شکل ۸ ــ ۷ مدار مربوط به مثال ۳ ــ ۷

(ب) : جریان اینچنین حساب می‌شود .

$$I = \frac{120\ \text{V}}{4.47\ \Omega} = 26.85\ \text{A}$$

(ج) : ضریب توان بطریق زیر بدست می‌آید :

$$\text{PF} = \cos\theta = \cos 63.43^\circ = 0.45$$

ضریب توان از نوع پس فاز است زیرا θ مثبت محاسبه شده است .

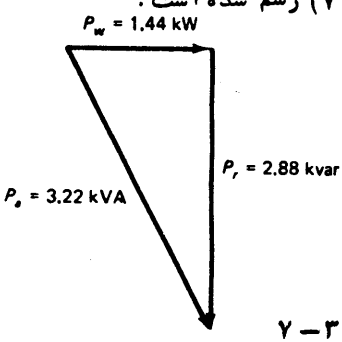
(د) : توانهای مختلف بطریق زیر حساب می‌شوند

$$P_a = VI = 120\ \text{V} \times 26.85\ \text{A} = 3.222\ \text{kVA}$$

$$P_r = VI \sin\theta = 120\ \text{V} \times 26.85\ \text{A} \times \sin 63.43^\circ$$
$$= 2.88\ \text{kvar}$$

$$P_w = VI \cos\theta = 120\ \text{V} \times 26.85\ \text{A} \times \cos 63.43^\circ$$
$$= 1.44\ \text{kW}$$

(هـ) : مثلث توان در شکل (۹ ــ ۷) رسم شده است .



شکل ۹ ــ ۷ مثلث توان در مثال ۳ ــ ۷

POWEREN.IR

POWEREN.IR

مثال ۴ ــ ۷:

یک مدار تک فاز AC مفروض است. این مدار به یک منبع ۱۲۰ ولتی متصل بوده و انتهای دیگر مدار نیز به سه بار مختلف متصل است. مشخصات بارها در جدول (۱ ــ ۷) آمده است.

Table 7-1 **جدول ۱ ــ ۷**

Load	kVA	PF
A	15	0.9 lagging
B	5	0.9 leading
C	20	0.8 lagging

مطلوبست:

(الف): توان حقیقی برای هر یک از بارها

(ب): توان راکتیو برای هر یک از بارها

(ج): کل توان حقیقی

(د): کل توان راکتیو

(هـ): کل توان ظاهری

(و): ضریب توان موثر برای کل سیستم

حل:

(الف): توان حقیقی (اکتیو) بارها را حساب می‌کنیم.

Load A: $P_w = P_a \cos\theta$

$= 15\text{ kVA } (0.9) = 13.5\text{ kW}$

Load B: $P_w = 5\text{ kVA } (0.9) = 4.5\text{ kW}$

Load C: $P_w = 20\text{ kVA } (0.8) = 16\text{ kW}$

(ب): توان راکتیو بارها را بدست می‌آوریم:

Load A: $P_r = P_a \sin\theta$

$\theta = \arccos(0.9) = 25.84°$

$P_r = 15\text{ kVA} \sin 25.84° = 15\text{ kVA } (0.44)$

$= 6.54\text{ kvar (lagging)}$

Load B: $P_r = P_a \sin\theta$

$\theta = -25.84°\text{ (leading PF)}$

$P_r = 5\text{ kVA} \sin(-25.84°) = -2.18\text{ kvar (leading)}$

POWEREN.IR

POWEREN.IR

$$\text{Load C:} \quad P_r = P_a \sin\theta$$
$$\theta = \arccos(0.8) = 36.87^\circ$$
$$P_r = 20\ \text{kVA} \sin 36.87^\circ$$
$$= 12\ \text{kvar (lagging)}$$

(ج) : کل توان حقیقی (اکتیو) مربوط به سه مصرف کننده (بار) اینچنین است :

$$\text{Total } P_w = 13.5\ \text{kW} + 4.5\ \text{kW} + 16\ \text{kW}$$
$$= 34\ \text{kW}$$

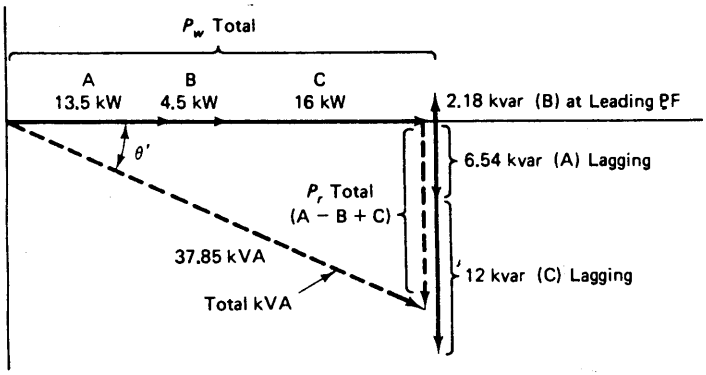
(د) : کل توان راکتیو مربوط به سه مصرف کننده (بار) بطریق زیر حساب می شود .

$$\text{Total } P_r = 6.54\ \text{kvar} - 2.18\ \text{kvar} + 12\ \text{kvar}$$
$$= 16.36\ \text{kvar (lagging)}$$

(هـ) : از رابطه (۱۲ ــ ۷) استفاده کرده وکل توان ظاهری مصرف کننده‌ها را حساب می‌کنیم .

$$\text{total } P_a = \sqrt{34^2 + 16.36^2}\ \text{kVA}$$
$$= \sqrt{1156 + 267.65}\ \text{kVA}$$
$$= 37.85\ \text{kVA}$$

مثلث توان در شکل (۱۰ ــ ۷) رسم شده است .



شکل ۱۰ ــ ۷ مثلث توان برای مثال ۴ ــ ۷

(و) : از رابطه (۴ ــ ۷) میتوان ضریب توان کل سیستم را بدست آورد .

$$\text{PF} = \frac{P_w}{P_a}\ \text{(using total quantities)} = \frac{34\ \text{kW}}{37.85\ \text{kVA}}$$
$$= 0.9\ \text{lagging (and } \theta' = \arccos 0.9)$$
$$\theta' = 25.84^\circ\ \text{(system power factor angle)}$$

POWEREN.IR

۱ ـ ۱ ـ ۷ اندازه‌گیری توان : 7-1.1 Measurement of Power

اندازه‌گیری توان در مدار DC بسیار ساده است . در اینگونه مدارها باید ولتاژ دو سربار و جریان باررا اندازه‌گیری کنیم و این دو کمیت را در هم ضرب نمائیم تا توان بر حسب وات بدست آید .

در این فصل دیدیم که از حاصلضرب ولتاژ و جریان در مدارهای AC توان ظاهری حاصل میگردد و توان حقیقی از این حاصلضرب بدست نمیاید . برای بدست آوردن توان حقیقی باید ضریب توان را نیز در دست داشت .

در مدارهای AC برای اندازه‌گیری توان حقیقی (وات) از دستگاهی بنام واتمتر (۱) استفاده میشود . واتمتر قادر است در هر لحظه جریان و ولتاژ را حس نموده و جابجائی فازبین آنها را معین نماید . و در نتیجه توان حقیقی را مشخص میسازد . ولتاژ توسط سیم پیچ پتانسیل (۲) (PC) و جریان توسط سیم پیچ جریان (۳) (CC) حس میگردند . ازآنجائیکه سیم پیچ جریان (CC) جریان بار را حس مینماید ، لذا باید این سیم پیچ با بار بطور سری قرار گیرد . همچنین سیم پیچ پتانسیل (PC) موازی بار قرار می‌گیرد تاولتاژ دو سر بار را حس نماید . در نتیجه هر واتمتر چهار ترمینال دارد که ۲ ترمینال مربوط به سیم پیچ جریان (CC) بوده و ۲ ترمینال دیگرمربوط به سیم پیچ پتانسیل (میباشد . شکل (۱۱ـ۷) یک واتمتر را با اتصالات مربوطه نشان میدهد .

چون معمولا" جریان نسبتا" زیادی‌از سیم پیچ جریان (CC) میگذرد این سیم پیچ از هادی بسیار خوبی تهیه میگردد تا حتی‌الامکان از افت ولتاژ دو سر سیم پیچ (CC) جلوگیری شود . بعبارت ساده‌تر سعی میشود که مقاومت سیم پیچ (CC) خیلی ناچیز باشد . در شکل (۱۱ـ۷) آمپرمتر وولت مترنیز در مدار قرار گرفته است . با خواندن اعداد این لوازم میتوان به‌توان ظاهری و ضریب توان نیز دست یافت (چرا؟) . و بالاخره با دانستن ضریب توان وعدد واتمتر میتوان توان راکتیو را محاسبه نمود (چرا؟) . البته باید متذکر شد وسیله دیگری نیز مانند واتمتر وجود دارد که مستقیما" توان راکتیو را نشان میدهد و به‌آن وارمتر (۴) میگویند . همچنین دستگاهی نیز وجود دارد که ضریب توان را مستقیما" نشان میدهد و به آن کسینوس فی متر (۵) گفته میشود . باید گفت که امروزه این دستگاههای اندازه‌گیری که در فوق به آنها اشاره شد به دو نوع ساخته میشوند .

۱ ـ نوع آنالوگ

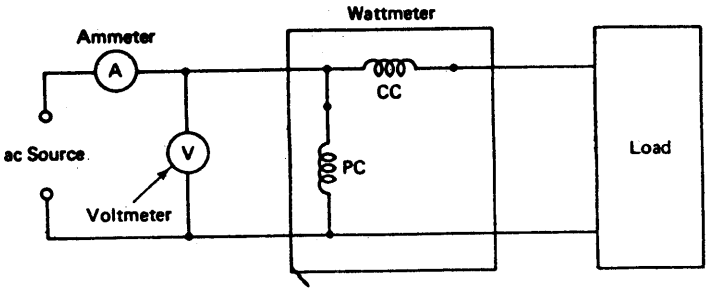
۲ ـ نوع دیجیتال

---

1) Wattmeter 2) Potential-Coil
3) Current-Coil 4) VAR-meter
5) Power-factor-meter

POWEREN.IR

POWEREN.IR



شکل ۱۱ ــ ۷ طرز اتصال واتمتر در مدار یک بار تک فاز

مثال ۵ ــ ۷:

مداری مطابق شکل (۱۱ ــ ۷) مفروض است. ولتمتر ۱۲۰ ولت را نشان میدهد و آمپرمتر و واتمتر بترتیب ۹/۴ آمپر و ۶۵۰ وات را نشان میدهند مطلوبست:

(الف): توان ظاهری

(ب): ضریب توان

(ج): توان راکتیو

حل:

(الف): از رابطه (۳ ــ ۷) داریم:

$$P_a = VI = 120\ \text{V} \times 9.4\ \text{A}$$
$$= 1128\ \text{VA} = 1.128\ \text{kVA}$$

(ب): از رابطه (۴ ــ ۷) داریم:

$$\text{PF} = \frac{P_w}{P_a}$$
$$= \frac{650\ \text{W}}{1128\ \text{VA}}$$
$$= 0.58$$

(ج): ابتدا زاویه θ را حساب میکنیم:

$$\theta = \arccos 0.58$$
$$= 54.81°$$

از رابطه (۱۰ ــ ۷) داریم:

$$P_r = P_a \sin\theta = 1128\ \text{VA} \sin 54.81° = 921.9\ \text{var}$$

POWEREN.IR

۱ ـ ۱ ـ ۱ ـ ۷ اضافه بار در واتمتر: 7-1-1-1 Wattmeter Overloads.

گاهی واتمترها ممکن است بسوزند و این امر در شرایطی رخ میدهد که طی واتمتر توان بسیار کمی را اندازه‌گیری میکند . باید توجه کرد که سیم پیچ‌های (CC) و (PC) دارای مقادیر اسمی مخصوص بخود هستند و نباید در وضعیتی قرار گیرند که بیش از مقادیر اسمی آنها بر این دو سیم پیچ جریان یا ولتاژ تحمیل گردد . بر همین اساس است که واتمترها را مقیاس‌بندی میکنند و مقیاس نهائی نشان داده شده در واتمتر معمولا " از حاصلضرب مقادیر اسمی سیم پیچ‌های (CC) و (PC) بدست می‌آید . فی‌المثل میتوان گفت که اگر ضریب توان کم باشد ، توان حقیقی کم خواهد بود . ولی ممکن است ولتاژ یا جریان از مقادیر اسمی سیم پیچ‌های (CC) و (PC) افزونتر باشد و یکی از سیم پیچ‌ها یا هر دو سیم پیچ واتمتر را بسوزاند .

مثال ۶ ـ ۷:

در یک سیستم ۱۲۰ ولتی تکفاز [1] برای اندازه‌گیری توان از واتمتر استفاده شده است . مشخصات واتمتر بقرار زیر است :

CC جریان اسمی سیم پیچ = ۱۰ آمپر

PC ولتاژ اسمی سیم پیچ = ۱۵۰ ولت

اگر ولتاژ سیستم ثابت باقی بماند (۱۲۰ ولت) مطلوبست :

(الف) : مقیاس نهائی واتمتر (رنج واتمتر) [2]

(ب) : اگر واتمتر عدد نهائی خود را نشان دهد وضریب توان واحد باشد جریان سیم پیچ CC را بدست آورید .

(ج) : اگر واتمتر عدد نهائی خود را نشان دهد وضریب توان ۰/۵ باشد ، جریان سیم پیچ (CC) را بدست آورید .

حل:

(الف) : مقیاس نهائی واتمتر (رنج واتمتر) اینچنین بدست می‌آید :

$$150\ V \times 10\ A = 1500\ W = 1.5\ kW$$

(ب) : از رابطه (۱۱ـ ۷) داریم :

$$P_w = VI \cos \theta$$

$$1500\ W = 120\ V \times I \times 1.0$$

1) Single-phase
2) Wattmeter-Range

POWEREN.IR

POWEREN.IR

$$I = \frac{1500\ \text{W}}{120\ \text{V}} = 12.5\ \text{A}$$

(ج) : از رابطه (۱۱ ــ ۷) داریم :

$$1500\ \text{W} = 120\ \text{V} \times I \times 0.5$$

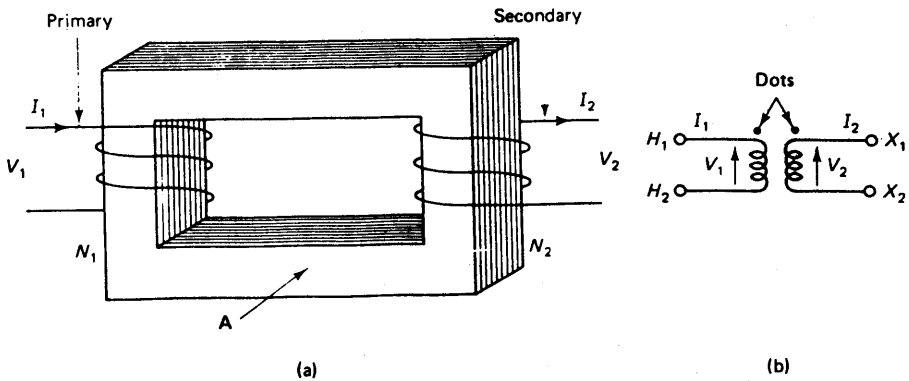
$$I = \frac{1500}{120 \times 0.5} = 25\ \text{A}$$

همانطور که در فرضهای (ب) و (ج) مشاهده میشود جریان سیم پیچ (CC) از مقدار اسمی خود فراتر رفته است . البته در فرض (ب) زیاد مساله حساس نیست ولی در فرض (ج) جریان سیم پیچ (CC) حدود ۲/۵ برابر مقدار اسمی جریان در این سیم پیچ میباشد و ممکن است باعث سوختن واتمتر گردد .

۲ ــ ۷ اصول اولیه ترانسفورماتور : 7-2 BASIC TRANSFORMER THEORY

۱ ــ ۲ ــ ۷ ساختمان ترانسفورماتور : 7-2.1 Transformer Construction

امروزه ترانسفورماتورها در ابعاد گوناگون ساخته میشوند . ترانسفورماتورهائی وجود دارد که از یک مداد کوچکتر است و همچنین ترانسفورماتورهائی نیز ساخته میگردد که از یک تریلی بزرگتر میباشد . اندازه و ابعاد ترانسفورماتورها به توانی که باید تحویل مصرف کننده (بار) (۱) بدهند ، بستگی دارد . فعلا" نظر خود را به ترانسفورماتورهای تک فاز (۲) معطوف میداریم .



شکل ۱۲ ــ ۷ : نمایش یک ترانسفورماتور

a : هسته و سیم پیچها b: سمبل مداری ترانسفورماتور

POWEREN.IR

1) Load 2) Single-phase-transformer

ترانسفورماتورهای تک فاز از دو سیم پیچ که به دور هسته‌ای پیچیده شده‌اند تشکیل شده است. سطح مقطع هسته ترانسفورماتورها یکنواخت بوده و از صفحات مورق تشکیل شده است. جنس این صفحات از مواد فرو مغناطیسی میباشد (فصل ۱ جلد اول)، در شکل (۱۲ ــ ۷) شمای یک ترانسفورماتور تک فاز نشان داده شده است و در کنار آن نیز مدار سمبلیک اینگونه ترانسفورماتورها رسم شده است. ولتاژ ورودی (V1) به سیم پیچ اولیه اعمال میشود واندیس ۱ مبین کمیت‌های مربوط به سیم پیچ اولیه میباشد. در نتیجه:

ولتاژ اولیه = V_1

جریان اولیه = I_1

تعداد دور سیم پیچ اولیه = N_1

ولتاژ خروجی (V_2) از سیم پیچ ثانویه گرفته میشود. اندیس ۲ مبین کمیت‌های ثانویه خواهد بود. لذا:

ولتاژ ثانویه = V_2

جریان ثانویه = I_2

تعداد دور سیم پیچ ثانویه = N_2

نقاط توپر (۱) نشان داده شده در مدار سمبلیک مبین پلارتیه سیم پیچ‌های اولیه و ثانویه می‌باشد. حال قدری درباره این علامت پلارتیه بیشتر صحبت میکنیم. در لحظه‌ای که ترمینال نقطه‌دار در سیم پیچ اولیه (۲) نسبت به ترمینال بدون نقطه در همین سیم پیچ مثبت میباشد، ترمینال نقطه‌دار درسیم پیچ‌ثانویه (۳) نیز نسبت به ترمینال بدون نقطه در این سیم پیچ مثبت خواهد بود.

ترمینال برخی از ترانسفورماتورها را با علائم H_1، H_2، X_1 و X_2 نشان میدهند، ترمینالهائی که با علامت H مشخص شده‌اند مربوط به فشار قوی (۴) بوده و ترمینالهائی که با علامت X مشخص گردیده‌اند بطرف فشار ضعیف (۵) مربوط میشوند. باید گفت همانند نقطه‌های توپر هرگاه ترمینال H نسبت به H_2 مثبت بود، در همین لحظه ترمینال X نیز نسبت به X_2 مثبت میباشد.

اگر ولتاژ خروجی ترانسفورماتوری (ولتاژ ثانویه) بیشتر از ولتاژ ورودی (ولتاژ اولیه) باشد ترانسفورماتور را افزاینده نامند. همچنین اگر ولتاژ خروجی ترانسفورماتوری کمتر از ولتاژ ورودی آن باشد، ترانسفورماتور را کاهنده مینامند.

---

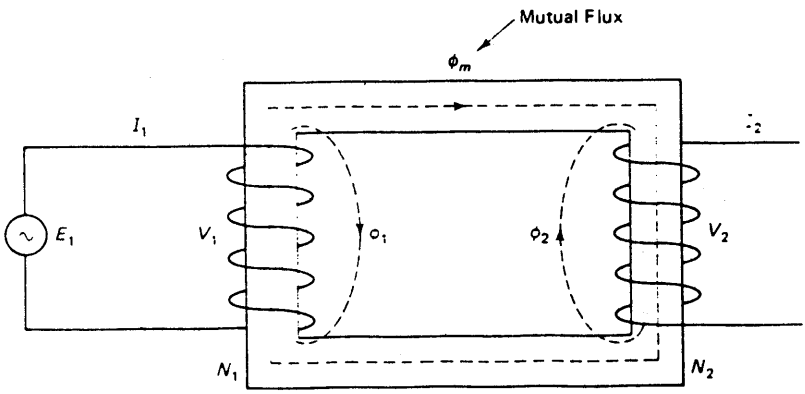
1) Dots 2) Primary-Winding
3) Secondary-Winding
4) High-Voltage 5) Low-Voltage

POWEREN.IR

۲ – ۲ – ۷ ترانسفورماتور ایده‌آل : 7-2.2 Ideal Transformer Relationships

هر وسیله‌ای که توان را از نقطه‌ای به نقطه‌ی دیگر منتقل مینماید دارای تلفات میباشد . در این صورت‌گویند که این وسایل ایده‌آل نیستند . ترانسفورماتورها نیز جزء همین وسایل بوده و دارای تلفات میباشند . اما امروزه ترانسفورماتورهائی با راندمان ۹۵ تا ۹۹ درصد ساخته‌اند و لذا تقریبا " میتوان آنها راایده‌آل در نظر گرفت . در همین فصل ترانسفورماتورهای واقعی (غیرایده‌آل) را نیز مورد بررسی قرار میدهیم .

در فصل ۱ (جلد اول) دیدیم که اگر از یک سیم پیچ جریان عبورکند ، MMF حاصل میشود . همچنین دیدیم که MMF باعث بوجود آمدن شار (ϕ) میگردد . اگر جریانی که MMF را میسازد متناوب (AC) باشد ، شار نیز متناوب خواهد بود . شکل (۱۳ – ۷) را در نظر میگیریم که در آن یک منبع AC به سیم پیچ اولیه ترانسفورماتور متصل است . باید گفت که قسمت اعظم شار تولید شده در هسته باقی میماند . این شار هر دو سیم پیچ اولیه و ثانویه را در بر میگیرد و لذا شار متقابل[1] به آن گفته میشود . باید گفت که قسمتی از شار تولید شده توسط جریانهای اولیه و ثانویه در هسته باقی نمانده و بخارج نشت میکنند و لذا به آنها شارهای نشتی[2] گفته میشود . در شکل (۱۳ – ۷) شارهای نشتی یا ϕ_1 و ϕ_2 نشان داده شده‌اند .



شکل ۱۳ – ۷ اعمال ولتاژ متناوب به یک ترانسفورماتور

در این بخش فرض میکنیم که شارهای نشتی ناچیز هستند .رابطه بین ولتاژ اعمال شده (E_1) و ماکزیمم شار متقابل اینچنین است . در سیستم (ENG) داریم

$$E_1 = 4.44 f N_1 \phi_m \times 10^{-8} \qquad (7\text{-}13a)$$

در سیستم (SI) داریم :

1) Mutual-Flux 2) Leakage-Flux

$$E_1 = 4.44 f N_1 \phi_m \qquad (7\text{-}13b)$$

در معادلات اخیر داریم :

E_1 = مقدار موثر (rms) ولتاژ اعمال شده به اولیه ترانسفورماتور

f = فرکانس بر حسب هرتز

N_1 = تعداد دور سیم پیچ اولیه ترانسفورماتورها

ϕ_m = مقدار ماکزیمم (پیک) شار متقابل

باید دانست که در سیستم (ENG) شار بر حسب ماکسول بوده و در سیستم (SI) شار بر حسب وبر میباشد . اگر ترانسفورماتور ایده‌آل[1] باشد (از مقاومت سیم پیچها صرفنظر کنیم) ، دراینصورت E_1 با V_1 برابراست . باید گفت V_1 ولتاژ القاء[2] شده در سیم پیچ اولیه میباشد . لذا در روابط (۱۳ ــ ۷) میتوان بجای E_1 ، V_1 را قرار داد . همچنین میتوان روابط مشابهی مانند روابط (۱۳ ــ ۷) برای سیم پیچ ثانویه نوشت و فقط باید بجای اندیس ۱ از اندیس ۲ استفاده نمود . در معادلات مربوط به ثانویه V_2 ولتاژ القا شده در سیم پیچ ثانویه میباشد ودر حالت بی باری میتوان آنرا در ترمینال ثانویه اندازه‌گیری نمود . درباره این موضوع هنگامیکه درباره ترانسفورماتور واقعی (غیر ایده‌آل) صحبت می‌کنیم بیشتر توضیح خواهیم داد .

از رابطه (۱۳b ــ ۷) استفاده میکنیم . در سیستم (SI) داریم :

$$\phi_m \doteq \frac{V_1}{4.44 f N_1} \qquad (7\text{-}14)$$

رابطه مشابهی میتوان برای سیم پیچ ثانویه نوشت . در سیستم (SI) داریم :

$$\phi_m = \frac{V_2}{4.44 f N_2} \qquad (7\text{-}15)$$

با توجه به دو رابطه اخیر داریم :

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2} \qquad (7\text{-}16)$$

این رابطه ، معادله اساسی ترانسفورماتورها میباشد . طبق رابطه (۱۶ ــ ۷) درمییابیم که نسبت ولتاژاولیه به‌ولتاژ ثانویه با نسبت تعداد دور سیمهای اولیه به تعداد دور سیمهای ثانویه برابر است . منبعد نسبت تعداد دورها[3] رابا علامت a نشان میدهیم . لذا :

1) Ideal-Transformer
2) Induced-Voltage 3) Turn-ratio

POWEREN.IR

$$\text{turns ratio} = a = \frac{N_1}{N_2} \tag{7-17}$$

مثال ۷ ــ ۷:

میخواهیم یک ترانسفورماتور کاهنده[1] بسازیم اگر ولتاژ اولیه ۱۲۰ ولت و ولتاژ ثانویه ۲۴ ولت باشد ، وتعداد دور سیمهای اولیه ۴۰۰ دور منظور شود . مطلوبست :

(الف) : تعداد دورهای ثانویه

(ب) : نسبت تعداد دورها

حل:

(الف) : از رابطه (۱۶ ــ ۷) داریم :

$$\frac{120\ \text{V}}{24\ \text{V}} = \frac{400\ \text{turn}}{N_2}$$

$$N_2 = 400 \times \frac{24}{120} = 80\ \text{turns}$$

(ب) : از رابطه (۱۷ ــ ۷) داریم :

$$a = \frac{N_1}{N_2} = \frac{400\ \text{turns}}{80\ \text{turns}} = 5$$

مثال ۸ ــ ۷ (سیستم ENG) :

اگر در مثال (۷ــ۷) فرکانس معادل ۶۰ هرتز در نظر گرفته شود ، ماکزیمم (پیک) شار متقابل را بدست آورید .

حل:

از رابطه (۱۳ ــ ۷) داریم :

$$\phi_m = \frac{E_1}{4.44 f N_1 \times 10^{-8}}$$

$$= \frac{120}{4.44 \times 60 \times 400 \times 10^{-8}}$$

$$= 112{,}613\ \text{lines}$$

مثال ۹ ــ ۷ (سیستم SI) :

اگر در مثال (۷ ــ ۷) فرکانس ۵۰ هرتز باشد ، ماکزیمم (پیک) شار متقابل را بدست آورید .

1) Step-down-transformer

POWEREN.IR

POWEREN.IR

حل :

از رابطه (۱۴ ــ ۷) داریم :

$$\phi_m = \frac{120}{4.44 \times 50 \times 400}$$

$$= 1.35 \times 10^{-3}\ \text{Wb}$$

۳ ــ ۷ ــ ترانسفورماتورهای واقعی یا غیر ایده‌آل :

7-3 PRACTICAL SINGLE-PHASE TRANSFORMER

در این بحث خواهیم دید که ترانسفورماتورها صد درصد ایده‌آل نیستند بلکه باید ترانسفورماتورهای واقعی [1] (غیر ایده‌آل) را نیز مورد بررسی قرار دهیم . علت این امر آن است که سیم پیچ‌های اولیه و ثانویه ترانسفورماتورها ایده‌آل نبوده و مقداری مقاومت دارند . همچنین علاوه بر شارهای نشتی تلفات هسته [2] در ترانسفورماتورها وجود دارد . تلفات هسته بخاطر تلفات هیسرزیس و جریان گردابی است (فصل ۴ جلد اول) . علت وجود تلفات هسته‌آن است که ترانسفورماتور نیز حاوی یک هسته بوده که در آن هسته شار تغییر میکند .

۱ ــ ۳ ــ ۷ مقادیر اسمی ترانسفورماتورها [3] : 7-3.1 Transformer Ratings

معمولا " بر روی پلاک ترانسفورماتور ۴ عدد بعنوان مقادیر اسمی نوشته می‌شود و عبارتند از :

۱ ــ توان اسمی ظاهری در ثانویه

این توان بر حسب ولت آمپر (VA) یا کیلو ولت آمپر (KVA) بیان‌میشود و مبین حداکثر توانی است که میتوان از ثانویه کشید . علت اینکه توان ظاهری بجای توان حقیقی ذکر میشود این است که در شرایطی که ضریب توان پائین است ممکن است توان حقیقی کمی تحویل مصرف کننده شود ولی در عوض جریان و ولتاژ بیش از مقادیر اسمی باشند (به بخش ۱ ــ ۱ ــ ۱ ــ ۷ مراجعه شود) .

۲ ــ ولتاژ اسمی اولیه :

معمولا " ولتاژ اسمی اولیه که ترانسفورماتور برای آن ولتاژ طراحی شده است بر ــ روی پلاک ترانسفورماتور ذکر میگردد .

---

1) Non-Ideal-Transformer 2) Core-losses

3) Transformer-Ratings

POWEREN.IR

POWEREN.IR

۳ـ ولتاژ اسمی ثانویه:

ولتاژی که در دو سر بار (مصرف کننده) در شرایطی ظاهر شود که ولتاژ اسمی بر سیم پیچ اولیه اعمال گردد و توان اسمی ظاهری تحویل بار شود، ولتاژ اسمی ثانویه نامیده می‌گردد.

۴ ـ فرکانس:

معمولا" فرکانسی که تحت آن ترانسفورماتور طراحی شده بر روی پلاک ترانسفورماتور نوشته می‌شود. لذا اگر بر روی پلاک ترانسفورماتوری مقادیر اسمی مانند 120/1200 V, 6 kVA, 60 Hz. نوشته شده باشد در اینصورت در مییابیم که:

الف: هرگاه بر روی سیم پیچ اولیه ولتاژ ۱۲۰ ولت اعمال میگردد در این صورت:

ب: ولتاژ ثانویه ۱۲۰۰ ولت خواهد بود و در اینصورت:

ج: ترانسفورماتور 6KVA را تحویل مصرف کننده میدهد، و:

د: فرکانسی که ترانسفورماتور تحت آن عمل میکند ۶۰ هرتز است.

همچنین اگر راندمان ترانسفورماتور را ۱۰۰% فرض کنیم، (ترانسفورماتور ایده‌آل) توان ظاهری (KVA) تحویلی به بار توسط سیم پیچهای ثانویه با توان ظاهری (kVA) اخذ شده از منبع توسط سیم پیچهای اولیه برابر خواهد بود. لذا با در نظر گرفتن این فرضیه میتوان جریانهای اسمی اولیه و ثانویه را حساب نمود. منظور از جریانهای اسمی اولیه و ثانویه حداکثر جریانی است که سیم پیچهای اولیه و ثانویه میتوانند از خود عبور دهند. معمولا" در مدارهای اولیه و ثانویه فیوز (۱) یا مدار شکن (۲) (دژنکتور) نصب میکنند تا از اضافه جریان بیش از جریان اسمی جلوگیری شود. با توجه به نکات فوق جریانهای اسمی را اینچنین حساب میکنند. برای اولیه ترانسفورماتور داریم:

$$I_{1\text{rated}} = \frac{\text{rated VA}}{V_{1\text{rated}}} \qquad (7\text{-}18)$$

برای ثانویه ترانسفورماتور داریم:

$$I_{2\text{rated}} = \frac{\text{rated VA}}{V_{2\text{rated}}} \qquad (7\text{-}19)$$

در مثالی که در بالا ذکر کردیم داریم:

$$I_{1\text{rated}} = \frac{6000\ \text{VA}}{120\ \text{V}} = 50\ \text{A}$$

$$I_{2\text{rated}} = \frac{6000\ \text{VA}}{1200\ \text{V}} = 5\ \text{A}$$

POWEREN.IR

1) Fuse 2) Circuit-Breaker

لذا باید مدار ثانویه ترانسفورماتور را با فیوز ۵ آمپری حفاظت کنیم . باید توجه داشت که نسبت جریانها در سیمهای اولیه و ثانویه با نسبت ولتاژهای این سیم پیچها نسبت معکوس دارد لذا :

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{I_2}{I_1} = a \qquad (7\text{-}20)$$

این امر رامیتوان در مثال فوق بخوبی مشاهده کرد . نسبت ولتاژهای اولیه و ثانویه $\frac{1}{10}$ بوده ولی نسبت جریانهای اولیه و ثانویه ۱۰ میباشد .

باید توجه داشت که رابطه (۲۰ــ۷) در شرایط بار داری صحیح است . در شرایط بی‌باری (۱) جریان کمی از اولیه میگذرد و به آن جریان مغناطیس شوندگی (۲) گفته میشود . همین جریان جزئی است که MMF و شار را در هسته تولید میکند .

۲ ــ ۳ ــ ۷ روابط اساسی : 7-3.2 Basic Relationships

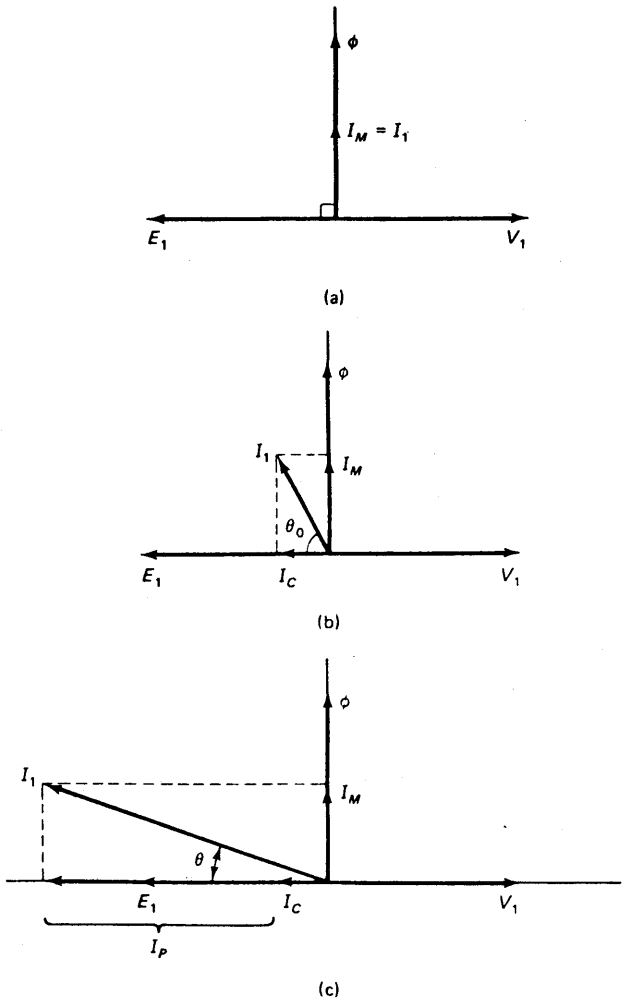
برای آنکه رفتار ترانسفورماتور را بهتر درک کنیم ، آنرا در رابطه با شکل (۱۳ ــ ۷) مورد بررسی قرار میدهیم . برای درک روابط بین ولتاژها و جریانها از دیاگرام فاز روی شکل (۱۴ ــ ۷) استفاده میکنیم . اگر ولتاژ E_1 به سیم پیچ اولیه ترانسفورماتور اعمال گردد و سیم پیچ ثانویه باز باشد (حالت بی‌باری) ترانسفورماتور بمثابه یک اندوکتور عمل میکند . اگر فرض کنیم این اندوکتور ایده‌آل باشد ، جریان ناچیز I_M که همان جریان مغناطیس شوندگی است در مدار اولیه برقرار میگردد ($I_1 = I_M$) و باعث تولید میدان مغناطیسی میشود . این جریان و شار حاصله بمیزان ۹۰ درجه از E_1 عقب میباشد (پس فاز) . باید گفت که در سیم پیچ اولیه ولتاژ V_1 القاء میگردد که با E_1 برابر است و فقط با آن ۱۸۰ درجه اختلاف فاز دارد (شکل a ۱۴ ــ ۷) . از آنجائیکه زاویه بین ولتاژ اولیه و جریان معادل ۹۰ درجه است ، لذا ضریب توان ($\cos\theta$) صفر خواهد بود ، لذا توان حقیقی تحویل ترانسفورماتور نمیشود .

اما اگر در اولیه ترانسفورماتور واتمتر وصل کنیم ، مقداری توان حقیقی نشان میدهد که تحویل ترانسفورماتور میگردد . حال باید دید چرا عدد واتمتر با تئوری و دیاگرام فاز روی شکل (۱۴ ــ ۷) مطابقت ندارد . باید گفت چون شار متناوب میباشد ، لذا تلفات جریان گرادبی (۳) و تلفات هیسرزیس (۴) در هسته ایجاد میشود . (فصل ۴ جلد اول

1) NO-Load
2) magnetizing-Current
3) Eddy-Current losses
4) Hysteresis losses

POWEREN.IR

مراجعه شود) . در نتیجه این تلفات که به تلفات هسته [1] معروف است مقداری توان حقیقی (وات) در ترانسفورماتور تلف میشود . از اینجا در مییابیم چون مقداری توان حقیقی تحویل ترانسفورماتور میشود ، لذا از اولیه باید جریانی عبور کند که همفاز E_1



شکل ۱۴ ــ ۷ : دیاگرام فاز روی ترانسفورماتور

a : ترانسفورماتور ایده‌ال در حالت بی‌باری

(b) : ترانسفورماتور واقعی در حالت بی‌باری

(c) : ترانسفورماتور واقعی در حالت بارداری

1) Core-losses

باشد. شکل (۱۴ b – ۷) جریان I_C را نشان میدهد که با E_1 همفاز است و باعث بوجود آمدن تلفات هسته میگردد. لذا جریان واقعی در مدار اولیه I_M نبوده بلکه مجموع I_M و I_C میباشد. در اینصورت زاویه I_1 با E_1 دیگر ۹۰ درجه نمیباشد و معادل θ_0 خواهد بود. درنتیجه $\cos\theta_0$ ضریب توان ترانسفورماتور در حالت بی‌باری است. البته باید خاطر نشان ساخت که در بحث فوق از مقاومت سیم پیچها وشارهای نشتی صرفنظر شده است و فقط تلفات هسته منظور شده است. بعبارت دیگر ترانسفورماتور ایده‌آل نیست ولی به شرایط ایده‌آل خیلی نزدیک می‌باشد.

حال اگر به مدار ثانویه بار مقاومتی خالص وصل کنیم، توان حقیقی تحویل بار میشود، لذا باید این توان توسط منبع E_1 وارد مدار اولیه شود. در نتیجه جریان دیگری که همفاز I_C است باید در مدار اولیه برقرار گردد (I_p) تا توان حقیقی وارد مدار اولیه شود و این توان حقیقی توسط مدار ثانویه تحویل بار (مصرف) میگردد. شکل (۱۴ C – ۷) این جریانها را در شرایط بارداری نشان میدهد. در اینصورت جریان اولیه، مجموع I_M و $I_C + I_p$ بوده وزاویه θ از θ_0 کمتر میشود و ضریب توان ($\cos\theta$) بسمت واحد نزدیک میشود. اگر بار مدار ثانویه مقاومتی خالص نباشد و سلف یا خازن نیز در مصرف کننده وجود داشته باشد در اینصورت I_M تغییر می‌کند و در نتیجه ضریب توان نیز عوض خواهد شد. بار خازنی باعث کاهش I_M و افزایش ضریب توان می‌گردد اما بار سلفی IM را افزایش می‌دهد و در نتیجه ضریب توان کاهش می‌یابد. باز در این قسمت نیز از مقاومت سیم پیچها و شارهای نشتی صرفنظر شده است.

مثال ۱۰ – ۷:

ترانسفورماتوری با مشخصات اسمی ذیل مفروض است:

ولتاژ اولیه / ولتاژ ثانویه = ۱۲۰/۶۰۰ ولت

فرکانس = ۶۰ هرتز

توان اسمی = ۲ کیلو ولت آمپر

اگر مدار اولیه به ولتاژ اسمی وصل شود و ثانویه باز باشد در اینصورت واتمتر و آمپرمتر در اولیه بترتیب ۱۰ وات و ۰/۵ آمپر رانشان میدهد. مطلوبست:

(الف): ضریب توان در حالت بی‌باری

(ب): جریان مغناطیس شوندگی

(ج): جریانی که تلفات هسته را تامین میکند.

(د): اگر یک مقاومت به ثانویه وصل شود و واتمتر ۱/۵ کیلووات را نشان دهد، ضریب توان را حساب کنید.

POWEREN.IR

حل:

(الف): از رابطه (۱۱ ــ ۷) داریم:

$$P_w = VI\cos\theta_0$$

$$\cos\theta_0 = \frac{P_w}{VI}$$

$$= \frac{10\ \text{W}}{120\ \text{V} \times 0.5\ \text{A}} = 0.167$$

(ب): ازشکل (۱۴b ــ ۷) داریم:

$$I_M = I_1 \sin\theta_0$$

$$\theta_0 = \arccos 0.167$$

$$= 80.39^\circ$$

$$I_M = 0.5\ \text{A} \times \sin 80.39^\circ = 0.493\ \text{A}$$

(ج): از شکل (۱۴b ــ ۷) داریم:

$$I_C = I_1 \cos\theta_0$$

$$= 0.5\ \text{A} \times 0.167$$

$$= 0.0833\ \text{A}$$

(د): از شکل (۱۴c ــ ۷) داریم:

$$I_p + I_C = \frac{P_W}{E_1} = \frac{1500}{120} = 12.5\ \text{A}$$

چون هنوز IM معادل ۰/۴۹۳ آمپر است، لذا:

$$\theta = \arctan\frac{I_M}{I_p + I_C} = \arctan\frac{0.493}{12.5}$$

$$= 2.26^\circ$$

$$\text{PF} = \cos\theta = 0.999 \approx 1$$

۱ ــ ۲ ــ ۳ ــ ۷: بازتاب امپدانس در اولیه وثانویه ترانسفورماتور

7-3.2.1 Reflecting Impedance.

هرگاه ترانسفورماتور باردار را بررسی می‌کنیم باید دو مدار جداگانه را مورد تحلیل قرار دهیم:

الف: مدار اولیه

ب: مدار ثانویه

باید گفت این دو مدار وابسته بهم نیستند. برای محاسبه ولتاژها و جریانها باید قادر

POWEREN.IR

باشیم کلیه کمیت‌ها را از اولیه به ثانویه یا از ثانویه به اولیه منتقل کنیم . با توجه به مدار شکل (a ۱۵ ــ ۷) داریم :

$$V_2 = Z_L I_2 \qquad (7\text{-}21)$$

از رابطه (۱۶ ــ ۷) داریم :

$$V_1 = V_2 \times \frac{N_1}{N_2} \qquad (7\text{-}22)$$

با توجه به دو رابطه اخیر داریم :

$$V_1 = (Z_L I_2) \times \frac{N_1}{N_2} \qquad (7\text{-}23)$$

از رابطه (۲۰ ــ ۷) داریم :

$$I_2 = aI_1.$$

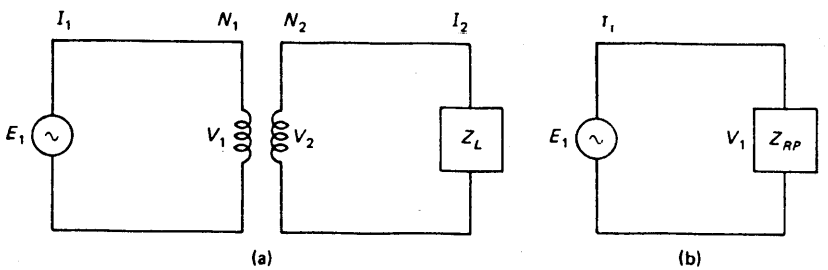
با جایگزینی این رابطه در رابطه (۲۳ ــ ۷) داریم ;

$$V_1 = Z_L(aI_1) \times a$$

$$V_1 = a^2 Z_L I_1$$

لذا :

$$\frac{V_1}{I_1} = a^2 Z_L \qquad (7\text{-}24)$$



شکل ۱۵ ــ ۷ : شمای یک ترانسفورماتور متصل شده به بار

a : مدار واقعی

(b) : مدار معادل نسبت به اولیه ترانسفورماتور

حال اگر بشکل (b ۱۵ـ۷) توجه کنیم میتوان گفت امپدانس معادل در اولیه اینچنین است ;

$$Z_{RP} = \frac{V_1}{I_1}$$

با توجه به رابطه (۲۴ ــ ۷) و رابطه اخیر ، در مییابیم که اگر امپدانسی را از ثانویه به اولیه منتقل کنیم در اینصورت مقدار آن اینچنین میشود .

POWEREN.IR

$$Z_{RP} = a^2 Z_L \qquad (7\text{-}25)$$

بهمین ترتیب درمیابیم که اگر امپدانسی را از اولیه به ثانویه منتقل سازیم در اینصورت مقدار آن این چنین میشود :

$$Z_{RS} = \frac{Z_1}{a^2} \qquad (7\text{-}26)$$

اگر ادمیتانسی (۱) را از ثانویه به اولیه ببریم در اینصورت داریم :

$$Y_{RP} = \frac{Y_L}{a^2} \qquad (7\text{-}27)$$

همچنین اگر ادمیتانسی را از اولیه به ثانویه منتقل کنیم ، در اینصورت داریم :

$$Y_{RS} = a^2 Y_1 \qquad (7\text{-}28)$$

مثال ۱۱ ــ ۷:

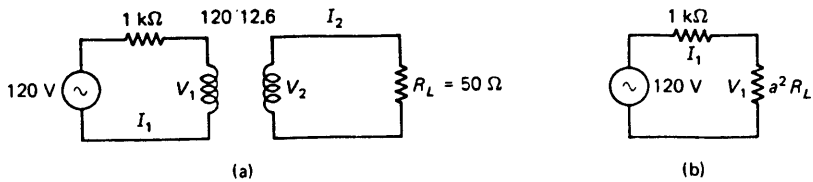
یک ترانسفورماتور با مشخصات اسمی ذیل مفروض است :

ولت ۱۲۰/۱۲/۶ = ولتاژ ثانویه/ ولتاژ اولیه

هرتز ۶۰ = فرکانس

ولت آمپر ۱۵ = توان اسمی

این ترانسفورماتور مطابق شکل (a ۱۶ ــ ۷) بمصرف کننده متصل است . جریان اسمی اولیه و ثانویه را پیدا کنید و در اینحالت خاص مقادیر واقعی جریانهای اولیه وثانویه را مشخص نمایند .



شکل ۱۶ ــ ۷:

(a) : مدار مربوط به مثال ۱۱ ــ ۷

(b) : مدار معادل نسبت به طرف اولیه ترانسفورماتور

حل:

جریانهای اسمی از مقادیر اسمی ترانسفورماتور بدست می‌آید ، از رابطه (۱۸ ــ ۷)

POWEREN.IR

1) addmitance

POWEREN.IR

داریم :

$$\text{rated } I_1 = \frac{25 \text{ VA}}{120 \text{ V}} = 0.21 \text{ A}$$

از رابطه (۱۹ ــ ۷) داریم :

$$\text{rated } I_2 = \frac{25 \text{ VA}}{12.6 \text{ V}} = 1.98 \text{ A} \approx 2 \text{ A}$$

از رابطه (۱۶ ــ ۷) داریم :

$$a = \frac{V_1}{V_2} = \frac{120 \text{ V}}{12.6 \text{ V}} = 9.52$$

با توجه به شکل (b ۱۶ ــ ۷) داریم :

$$a^2R_L = (9.52)^2 \times 50\ \Omega = 4535\ \Omega$$

قانون اهم را در مدار شکل (b ۱۶ ــ ۷) بکار میبریم :

$$I_1 = \frac{120 \text{ V}}{(1000 + 4535)\ \Omega}$$

$$= 0.02 \text{ A}$$

$$V_1 = I_1 \times a^2R_L$$

$$= 0.02 \text{ A} \times 4535\ \Omega = 98.3 \text{ V}$$

ولتاژ ثانویه از رابطه (۱۶ ــ ۷) بدست می‌آید :

$$V_2 = \frac{V_1}{a}$$

$$= \frac{98.3 \text{ V}}{9.52} = 10.3 \text{ V}$$

با استفاده از قانون اهم داریم :

$$I_2 = \frac{V_2}{R_L} = \frac{10.3 \text{ V}}{50\ \Omega}$$

$$= 0.21 \text{ A}$$

حال اگر بخواهیم بدانیم جریانهای واقعی چند درصد جریانهای اسمی هستند لذا باید عملیات زیر را انجام دهیم :

$$\frac{0.02 \text{ A}}{0.21 \text{ A}} \times 100\% = 9.5\%$$

$$\frac{0.21 \text{ A}}{2 \text{ A}} \times 100\% = 10.5\%$$

حال باید درباره ولتاژ V_2 بدست آمده در فوق که معادل ۱۲/۶ ولت (ولتاژ اسمی) نشده و برابر ۱۰/۳ ولت گردیده است توضیح دهید .

7-3.2.2 Transformer Equivalent Circuit.

POWEREN.IR

۲ ــ ۲ ــ ۳ ــ ۷: مدار معادل ترانسفورماتور:

POWEREN.IR

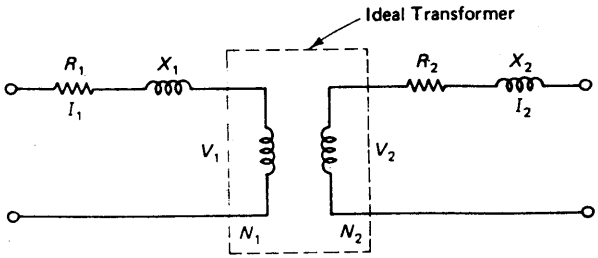
برای آنکه بتوان بطور دقیق رفتار ترانسفورماتور را در شرایط باردار بررسی کنیم در اینصورت باید مدار معادل دقیق آنرا بدست آوریم . مثال (۱۱ ــ ۷) یک حل تقریبی از مدار ترانسفورماتور میباشد ، برای حل دقیق باید مقاومت و شارهای نشتی را درمدارمعادل وارد سازیم.شکل (۱۷ ــ ۷) مدار معادل نسبتا " ساده‌ای از ترانسفورماتور را نشان میدهد که در آن :

R_1 : مقاومت سیم پیچ اولیه

R_2 : مقاومت سیم پیچ ثانویه

X_1 : راکتانس نمایش دهنده شار نشتی در اولیه

X_2 : راکتانس نمایش دهنده شار نشتی در ثانویه



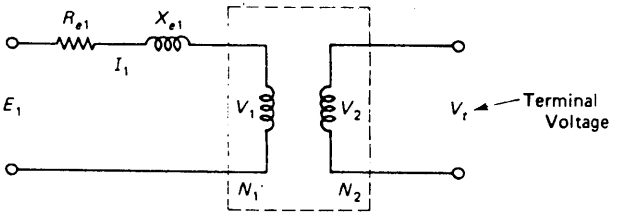
شکل ۱۷ ــ ۷ شمای ساده شده مربوط به مدار معادل یک ترانسفورماتور واقعی

شارهای‌نشتی (شکل ۱۳ــ ۷) یک میدان مغناطیسی بوده که به شار متقابل که دربرگیرنده هر دوسیم پیچ است‌وابسته نمیباشند . لذا میتوان آنها را با یک‌راکتانس اندوکتیو خالص مدل سازی نمود .

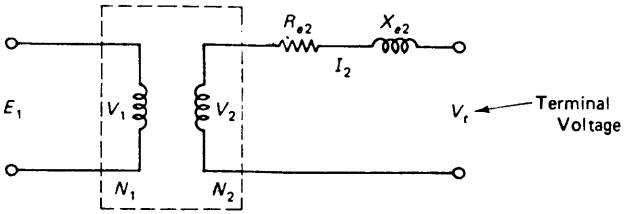
برای سهولت بخشیدن به مدار معادل ترانسفورماتور ، تمامی کمیت‌ها را به یک طرف (اولیه یا ثانویه) منتقل میسازیم (روابط ۲۵ ــ ۷ یا ۲۶ ــ ۷) . شکل (۱۸ ــ ۷) مدار معادل ساده شده یک ترانسفورماتور را نشان میدهد . در شکل (a ۱۸ ــ ۷) تمام کمیتها به‌اولیه برده شده‌ودر شکل (b۱۸ ــ ۷) تمامی کمیتها به ثانویه منتقل شده‌اند . باید توجه داشت که در هر دو مدار E_1 و V_t مشابه یکدیگرند ولی V_1 و V_2 در مداراول همان V_1 و V_2 در مدار دوم نمیباشند . همچنین در این دو مدار آن قسمت که بصورت خط چین نشان داده‌شده مبین ترانسفورماتور ایده‌آل میباشد . البته هنوز در مدلهای‌ارائه شده تلفات‌هسته منظور نگردیده است که در قسمتهای بعدی آنرا مورد توجه قرار میدهیم . باید خاطر نشان ساخت که هنگام بردن کمیتها از یک طرف بطرف دیگر $a= N_1/N_2$. میباشد .

POWEREN.IR

POWEREN.IR



(a)



(b)

شکل ۱۸ ــ ۷ : مدار معادل خلاصه شده یک ترانسفورماتور

(a) : مدار معادل نسبت به طرف اولیه

(b) : مدار معادل نسبت به طرف ثانویه

بطور خلاصه با توجه به نکات فوق داریم

$$R_{e1} = R_1 + a^2R_2 \tag{7-29}$$

$$X_{e1} = X_1 + a^2X_2 \tag{7-30}$$

$$R_{e2} = \frac{R_1}{a^2} + R_2 \tag{7-31}$$

$$X_{e2} = \frac{X_1}{a^2} + X_2 \tag{7-32}$$

همچنین امپدانس معادل اولیه و ثانویه در دو شکل (۱۸ ــ ۷) و (۱۸ ــ ۷) اینچنین است :

$$Z_{e1} = \sqrt{R_{e1}^2 + X_{e1}^2} \tag{7-33}$$

$$Z_{e2} = \sqrt{R_{e2}^2 + X_{e2}^2} \tag{7-34}$$

پارامترهای فوق‌الذکر (شکل ۱۸ ــ ۷) را میتوان بوسیله آزمایش اتصال کوتاه پیدا نمود .

POWEREN.IR

در این آزمایش یکی از طرفها که معمولا "طرف فشار ضعیف است را اتصال کوتاه[1] طرف دیگر را به ولتمتر، آمپرمتر و یک منبع ولتاژ متغیر متصل میسازیم (شکل ۱۹ ــ ۷). ولتاژ این منبع را افزایش میدهیم تا جریان اسمی در سیم پیچها برقرار گردد. ولتاژ مورد نیاز برای این آزمایش بسیار کم است و حدود ۵% ولتاژ اسمی سیم پیچ مربوطه در ترانسفورماتور میباشد. چون ولتاژ کم میباشد لذا تلفات هسته قابل صرفنظر کردن است. علت این امر آن است که تلفات هسته به شار بستگی دارد و میدانیم شار نیز به ولتاژ منبع وابسته است. همچنین چون جریان اسمی از سیم پیچیها میگذرد، واتمتر تلفات اسمی مسی[2] را اندازه‌گیری میکند. تلفات مسی برابر RI^2 در سیم پیچها می‌باشد با توجه به شکل (۱۸ ــ ۷) میتوان تلفات مس را اینچنین بیان داشت:

$$P_{Cu} = R_{e1}I_1^2 \qquad (7\text{-}35)$$

$$P_{Cu} = R_{e2}I_2^2 \qquad (7\text{-}36)$$

هنگام انجام این آزمایش سه عدد را میخوانیم (شکل ۱۹ ــ ۷):

الف: واتمتر (W)

ب: آمپرمتر (A)

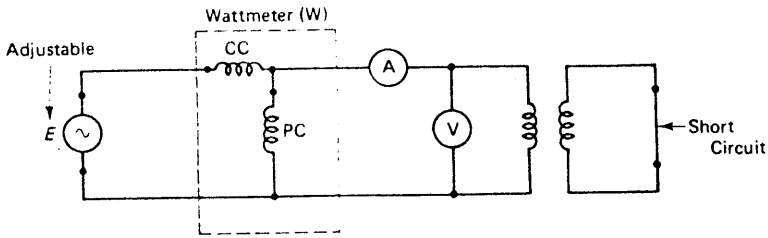
ج: ولتمتر (V)

لذا از رابطه (۳۵ ــ ۷) میتوان R_{e1} را حساب کرد. باید توجه داشت که:

۱ ــ P_{Cu} (تلفات مسی) را واتمتر نشان میدهد.

۲ ــ آمپرمتر جریان را نشان میدهد.

با تقسیم عدد ولتمتر بر عدد آمپرمتر امپدانس Z_{e1} بدست می‌آید. حال چون R_{e1} را قبلا "حساب کرده‌ایم، لذا از رابطه (۳۳ ــ ۷) میتوان X_{e1} را بدست آورد.



شکل ۱۹ ــ ۷ مدار مربوط به آزمایش اتصال کوتاه در ترانسفورماتور

1) Short-Circuit 2) Copper-losses

POWEREN.IR

مثال ۱۲ ــ ۷:

یک ترانسفورماتور بامشخصات زیر مفروض است :

ولتاژ ثانویه/ ولتاژ اولیه = ۱۲۰/۲۴ ولت

فرکانس = ۶۰ هرتز

توان اسمی = ۲۴۰ ولت آمپر

طرف فشار ضعیف (ثانویه) را اتصال کوتاه میکنیم و اندازه‌گیری‌های لازم را در طرف فشارقوی (اولیه) انجام میدهیم . واتمترعدد ۳/۲ وات ، واتمتر عدد ۲/۸ ولت و آمپرمتر جریان اسمی را نشان میدهند . مطلوبست محاسبه پارامترهای مدار معادل نسبت به طرف اولیه و ثانویه .

حل :

ابتدا جریان اسمی را از رابطه (۱۸ ــ ۷) بدست می‌آوریم :

$$I_{1r} = \frac{240\ \text{VA}}{120\ \text{V}} = 2\ \text{A}$$

از رابطه (۳۵ ــ ۷) داریم :

$$R_{e1} = \frac{P_{Cu}}{I_1^2} = \frac{W}{I_{1r}^2}$$

$$= \frac{3.2\ \text{W}}{(2\ \text{A})^2} = 0.8\ \Omega$$

طبق قانون اهم داریم :

$$Z_{e1} = \frac{2.8\ \text{V}}{2\ \text{A}} = 1.4\ \Omega$$

از رابطه (۳۳ ــ ۷) داریم :

$$X_{e1} = \sqrt{Z_{e1}^2 - R_{e1}^2}$$

$$= \sqrt{1.96 - 0.64} = 1.1\ \Omega$$

از رابطه (۲۶ ــ ۷) داریم :

$$R_{e2} = \frac{R_{e1}}{a^2}$$

چون :

$$a = V_1/V_2 = 120\ \text{V}/24\ \text{V} = 5;$$

لذا :

$$R_{e2} = \frac{0.8}{25} = 0.032\ \Omega$$

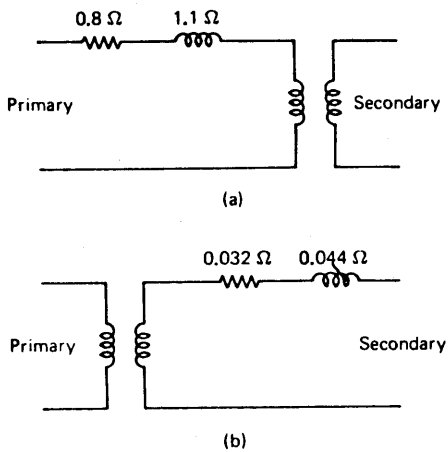
$$X_{e2} = \frac{X_{e1}}{a^2} = \frac{1.1}{25} = 0.044\ \Omega$$

POWEREN.IR

شکل (۲۰ ــ ۷) دو مدار معادل مربوط به این ترانسفورماتور را نشان میدهد

۳ ــ ۲ ــ ۳ ــ ۷ محدودیتهای فیزیکی : 7-3.2.3 Physical Limitations.

هنگام بحث درباره هسیرزیس (فصل ۱ ــ جلد اول) دیدیم که مواد مختلف دارای ماکزیمم چگالی شارگوناگون هستند. در مثالهای (۱۱ ــ ۱) و (۱۲ ــ ۱) در فصل اول (جلد اول) دیدیم که این محدودیت بر اندازه مواد مغناطیسی اثر میگذارد. باید گفت که مینیمم (حداقل) سطح مقطع برای هسته ترانسفورماتور نیز توسط همین کمیت ماکزیمم چگالی شار بدست می‌آید. کمیتهای دیگر موثر بر اندازه سطح مقطع هسته ولتاژ اسمی، تعداد دور سیم پیچ‌ها و فرکانس می‌باشد. باید گفت که سطح مقطع سیم پیچ‌ها بوسیله جریان اسمی تعیین میشوند. مثالهای زیر این موضوع رابیشتر روشن میکنند.



شکل ۲۰ ــ ۷ مدار معادل ترانسفورماتور مربوط به مثال ۱۲ ــ ۷

a : *پارامترها نسبت به اولیه داده شده‌اند*

b : *پارامترها نسبت به ثانویه ذکر شده‌اند*

مثال ۱۳ ــ ۷ (سیستم ENG) :

یک ترانسفورماتور با مشخصات ذیل مفروض است :

۴۴۰/۴۰ ولت

تعداد دور سیم پیچ اولیه = ۵۵۰

هسته این ترانسفورماتور از ماده‌ای ساخته شده که حداکثر چگالی شار آن ۴۰۰۰۰ ماکسول براینچ مربع میباشد حداقل (مینیمم) سطح مقطع هسته مورد نیاز را در شرایط زیر حساب

POWEREN.IR

POWEREN.IR

کنید .

(الف) تحت فرکانس ۶۰ هرتز

(ب) تحت فرکانس ۴۰۰ هرتز

حل :

(الف) : از رابطه (۱۳a ــ ۷) ماکزیمم یا پیک‌شاری که هر دو سیم پیچ اولیه و ثانویه را در بر میگیرد حساب میکنیم :

$$\phi_m = \frac{E_1}{4.44 f N_1 \times 10^{-8}}$$

$$= \frac{440}{4.44 \times 60 \times 550 \times 10^{-8}} = 300.3 \text{ kilolines}$$

از رابطه (۲ a ــ ۱) در فصل اول (جلد اول) داریم :

$$\mathbf{A}_{min} = \frac{\phi_m}{B_{max}}$$

$$= 300.3 \text{ kilolines}/40 \text{ kilolines in}^2$$

$$= 7.5 \text{ in}^2$$

(ب) : فرض (الف) را تکرار میکنیم :

$$\phi_m = \frac{440}{4.44 \times 400 \times 550 \times 10^{-8}}$$

$$= 45 \text{ kilolines}$$

$$\mathbf{A}_{min} = \frac{45 \text{ kilolines}}{40 \text{ kilolines/in}^2} = 1.1 \text{ in}^2$$

مثال ۱۴ ــ ۷ (سیستم SI) :

یک ترانسفورماتور با مشخصات ذیل مفروض است .

۴۰۰/۴۰ ولت

۵۵۰ = تعداددور سیم‌پیچ اولیه

هسته‌این ترانسفورماتور از ماده‌ای ساخته شده که حداکثر (ماکزیمم) چگالی شار آن ۱/۲ تسلا میباشد . مطلوبست محاسبه حداقل (مینیمم) سطح مقطع هسته مورد نیاز در تحت شرایط زیر :

(الف) : فرکانس ۵۰ هرتز

(ب) : فرکانس ۴۰۰ هرتز

حل :

POWEREN.IR

(الف) از رابطه (۱۳ b ــ ۷) میتوان پیک (ماکزیمم) شاری که هر دو سیم پیچ

POWEREN.IR

اولیه و ثانویه را در بر میگیرد حساب کرد ،

$$\phi_m = \frac{E_1}{4.44 f N_1}$$

$$= \frac{440}{4.44 \times 50 \times 550}$$

$$= 3.6 \times 10^{-3}\ \text{Wb}$$

از رابطه (۲b ــ ۱) در فصل اول (جلد اول) داریم :

$$A_{min} = \frac{\phi_m}{B_{max}}$$

$$= \frac{3.6 \times 10^{-3}\ \text{Wb}}{1.2\ \text{T}}$$

$$= 3 \times 10^{-3}\ \text{m}^2$$

(ب) : فرض (الف) را با فرکانس ۴۰۰ هرتز تکرار میکنیم :

$$\phi_m = \frac{440}{4.44 \times 400 \times 550}$$

$$= 0.45 \times 10^{-3}\ \text{Wb}$$

$$A_{min} = \frac{0.45 \times 10^{-3}\ \text{Wb}}{1.2\ \text{T}}$$

$$= 0.375 \times 10^{-3}\ \text{m}^2$$

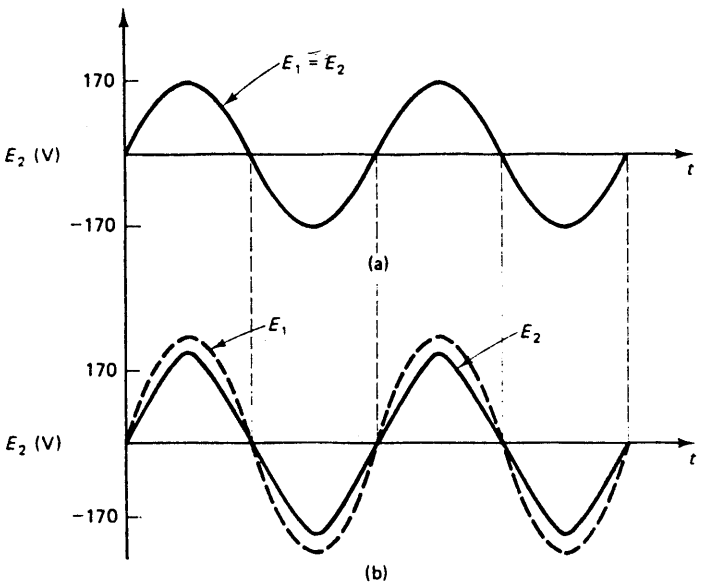
مثالهای فوق الذکرنشان میدهد که اندازه و ابعاد ترانسفورماتور تابعی از فرکانس بوده و هرچه فرکانس بیشتر شود ابعاد کوچکتر میگردد . بهمین خاطر است که ژنراتور هواپیما فرکانس ۴۰۰ هرتز ایجاد می‌کند ، زیرا ابعاد و اندازه لوازم الکترو مغناطیسی موجود در هواپیما بشدت کاهش مییابد . باید گفت اگر ترانسفورماتوری برای فرکانس ۵۰ یا ۶۰ هرتز طراحی شده باشد میتوان از آن برای فرکانسهای بالاتر استفاده کرد ، اما اگر ترانسفورماتوری برای ۴۰۰ هرتز طراحی شده باشد نمیتوان آنرا در فرکانسهای کمتر مورد استفاده قرار داد . علت این امر آن است که اگر از این ترانسفورماتورها در فرکانسهای پائین استفاده‌کنیم ، هسته‌اشباع شده‌وولتاژثانویه مشابه یا متناسب باولتاژ اولیه نخواهد بود .

همچنین اگر ولتاژ بکار برده شده‌برای ترانسفورماتوری بیش از ولتاژ اسمی آن باشد اثر غیر خطی (۱) پدیدار میشود ، از روابط (۱۳ ــ ۷) در مییابیم که شار (ϕ_m)

POWEREN.IR

1) non-linear-effect

با E_1 متناسب است لذا اگر E_1 خیلی زیاد شود، ϕ_m بیش از مقدار مجاز برای هسته خواهد شد و هسته اشباع میگردد. شکل (۲۱ــ ۷) رفتار ترانسفورماتوری را نشان میدهد که نسبت دورهای آن (۱) بوده و ولتاژ اسمی اولیهٔ آن ۱۲۰ ولت میباشد (۱۷۰ ولت ماکزیمم) بسیار قابل توجه است که دریابیم در صورت افزایش ولتاژ E1 نه‌تنها نسبت تبدیل ۱ : ۱ را از دست داده‌ایم، بلکه ولتاژ ثانویه به‌موج مربعی نزدیکتر می‌شود. (شکل b ۲۱ ــ ۷).



شکل ۲۱ ــ ۷: نمایش ولتاژ در ثانویه ترانسفورماتور

(a): ولتاژ اولیه با ولتاژ اسمی ترانسفورماتور برابر است

(b): ولتاژ اولیه ۵۰٪ از ولتاژ اسمی ترانسفورماتور بیشتر است.

۳ ــ ۳ ــ ۷ تنظیم ولتاژ: *7-3.3 Voltage Regulation*

همانطورکه میدانیم خروجی یک ترانسفورماتورِ ولتاژ کنترل شده میباشد، زیرا جریان تابعی از بار (مصرف) خواهد بود. لذا تنظیم درترانسفورماتور همان معنی تنظیم را درژنراتور DC دارد (فصل ۴ــجلد اول) برای بحث تنظیم ولتاژ در ترانسفورماتور شکل (b ۱۸ ــ ۷) را درنظر میگیریم. در این شکل واضح است که V_1 با E_1 برابر بوده و ۱ نیز از تقسیم V_1 بر نسبت دورهای سیم پیچهای اولیه و ثانویه حاصل میگردد. در حالت بی‌باری جریان در مدار ثانویه وجود ندارد و لذا V_2 و V_1 با هم برابراند و لذا V_2 ولتاژ ترانسفورماتور در حالت بی‌باری خواهد بود که آنرا با VN1 نشان

میدهیم . با باردار شدن ترانسفورماتور E_1 ، V_1 ، V_2 تغییر نخواهند کرد ولی vt شروع بکاهش مینماید ، زیرا جریان ثانویه باعث افت ولتاژ در R_{e2} و X_{e2} میگردد . هنگامیکه ترانسفورماتور جریان اسمی (جریان بار کامل) را تحویل مصرف کننده میدهد در اینصورت vt معادل ولتاژ بار کامل خواهد بود که با VFL آنرا نشان میدهیم . این ولتاژ (VFL) معلوم بوده وجزء مقادیر اسمی ترانسفورماتور میباشد بعنوان مثال میتوان گفت که در مثالهای (۱۲ ــ ۷) و (۱۳ ــ ۷) ولتاژهای بار کامل (بار سمی) ۲۴ و ۴۰ ولت میباشند . تنظیم ولتاژ در ترانسفورماتورها نیز اینچنین بیان میگردد .

$$\text{\% voltage regulation} = \frac{V_{NL} - V_{FL}}{V_{FL}} \times 100 \qquad (7\text{-}37)$$

از نظر تئوری ، تخمین تنظیم ولتاژ در ترانسفورماتورها شامل ۳ مرحله میباشد .

۱ ــ انجام آزمایش اتصال کوتاه برای بدست آوردن R_{e2} و X_{e2}.

۲ ــ با توجه به شکل (b ۱۸ ــ ۷) مقدار V_2 که همان V_{NL} است را حساب میکنیم . باید توجه کرد که بجای vt مقدار V_{FL} و بجای I_2 جریان اسمی ثانویه را قرار میدهیم .

۳ ــ با توجه به رابطه (۳۷ ــ ۷) میتوان تنظیم ولتاژ را حساب نمود .

مثال ۱۵ ــ ۷:

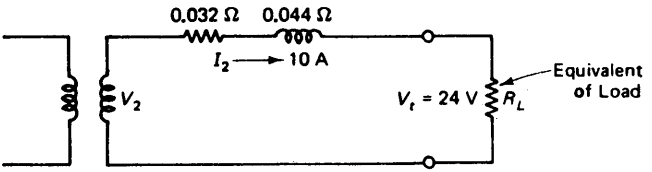
در مثال (۱۲ ــ ۷) تنظیم ولتاژ را حساب کنید مشروط بر آنکه بار اسمی را تحت ضریب توان واحد تغذیه نمائیم .

حل:

از آنجائیکه مدار معادل ترانسفورماتور را در مثال (۱۲ ــ ۷) پیدا کرده‌ایم ، لذا مرحله اول انجام گرفته است . چون ضریب توان واحد است لذا بار مقاومتی خالص میباشد ، پس مدار معادل ترانسفورماتور معادل شکل (۲۲ ــ ۷) خواهد بود . در بار اسمی جریان I_2 همان جریان اسمی بوده که معادل ۱۰ آمپر است و ولتاژ V_1 همان ولتاژ اسمی میباشد . با استفاده از قانون کیرشف V_2 را حساب میکنیم . در حقیقت V_2 همان V_{NL} (ولتاژ در حالت بی‌باری) میباشد .

$$V_2^2 = (0.032 \times 10 + 24)^2 + (0.044 \times 10)^2$$
$$= 591.46 + 0.19 = 591.65$$
$$V_2 = 24.32 \text{ V}$$

POWEREN.IR



شکل ۲۲ ــ ۷ مدار مربوط به مثال ۱۵ ــ ۷

از رابطه (۳۷ ــ ۷) داریم :

$$\% \text{ V.R.} = \frac{24.32 - 24}{24} \times 100 = 1.33\%$$

دانشجویان باید بگویند که چرا در حالت بی‌باری ولتاژ خروجی ترانسفورماتور از حالت بارداری بیشتر است .

اگر در مثال فوق بار شامل سلف و خازن نیز باشد مساله غامض‌تر میشود ، در بخش ۱ ــ ۷ (همین فصل) دریافتیم که :

۱ ــ باری که ماهیتا " سلفی است دارای ضریب توان پس فاز میباشد .

۲ ــ باری که ماهیتا " خازنی است دارای ضریب توان پیش فاز است .

از رابطه زیر همواره‌میتوان در حالت کلی برای پیدا کردن V_2 (V_{NL}) استفاده کرد ، در رابطه زیر $\cos\theta$ ضریب توان میباشد هنگامیکه ضریب توان پس فاز است علامت (+) را در نظر میگیریم و هنگامیکه ضریب توان پیش فاز است علامت (ــ) را منظور میکنیم پس :

$$V_{NL} = V_2 = \sqrt{(R_{e2}I_{2r} + V_{FL}\cos\theta)^2 + (X_{e2}I_{2r} \pm V_{FL}\sin\theta)^2} \qquad (7\text{-}38)$$

(+ for lagging PF, − for leading PF)

اثبات رابطه اخیر بعهده دانشجویان است (راهنمائی : دیاگرام‌فازوری را رسم کنید) .

مثال ۷/۱۶

یک ترانسفورماتور با مشخصات زیر مفروض است .

ولتاژ ثانویه / ولتاژ اولیه	=	۲۴۰۰/۲۴۰	ولت
توان اسمی	=	۶	کیلوولت‌آمپر
R_{e2}	=	۰/۱۲	اهم

POWEREN.IR

POWEREN.IR

$X_{e2} = ۰/۲۲$ اهم

درصد تنظیم ولتاژ را موقعی که ترانسفورماتور بار اسمی را در تحت شرایط زیر تغذیه میکنید حساب کنید .

(الف) : ضریب توان واحد

(ب) : ضریب توان ۰/۸۵ پس فاز

(ج) : ضریب توان ۰/۸۵ پیش فاز

حل :

ابتدا جریان اسمی ثانویه را حساب میکنیم .

$$I_{2r} = \frac{6\ \text{kVA}}{120\ \text{V}} = 50\ \text{A}$$

(الف) اگر ضریب توان واحد باشد لذا :

$$\text{PF} = 1,\ \cos\theta = 1 \text{ and } \sin\theta = 0.$$

پس از رابطه (۳۸ ــ ۷) داریم :

$$V_{NL} = \sqrt{(0.12 \times 50 + 120 \times 1)^2 + (0.22 \times 50 + 120 \times 0)^2}$$
$$= 126.48\ \text{V}$$

لذا از رابطه (۳۷ ــ ۷) داریم :

$$\%\ \text{V.R.} = \frac{126.48 - 120}{120} \times 100 = 5.4\%$$

(ب) : اگر ضریب توان ۰/۸۵ پس فاز باشد لذا :

$$\text{PF} = 0.85 \text{ lagging},\ \cos\theta = 0.85 \text{ and } \sin\theta = 0.53.$$

پس :

$$V_{NL} = \sqrt{(0.12 \times 50 + 120 \times 0.85)^2 + (0.22 \times 50 + 120 \times 0.53)^2}$$
$$= 131.26\ \text{V}$$
$$\%\ \text{V.R.} = \frac{131.26 - 120}{120} \times 100 = 9.38\%$$

(ج) اگر ضریب توان ۰/۸۵ پیش فاز باشد ، در اینصورت :

$$V_{NL} = \sqrt{(0.12 \times 50 + 120 \times 0.85)^2 + (0.22 \times 50 - 120 \times 0.53)^2}$$
$$= 120.13\ \text{V}$$
$$\text{V.R.} = \frac{120.13 - 120}{120} \times 100 = 0.11\%$$

POWEREN.IR

از نتایج فوق چنین برمی‌آید که بهترین تنظیم موقعی رخ میدهد که ضریب توان پیش فاز باشد ، علت این امر آن است‌که یک بار خازنی به ترانسفورماتوری که ماهیتا " اندوکتیو است متصل شده است .

۴ ــ ۳ ــ ۷ راندمان : 7-3.4 Efficiency

برای محاسبه راندمان (۱) ترانسفورماتور از فرمول کلی زیر استفاده میکنیم :

$$\eta\% = \frac{P_o}{P_i} \times 100 \qquad (7\text{-}39)$$

که در آن :

P_o = توان خروجی ترانسفورماتور

P_i = توان ورودی ترانسفورماتور

معمولا " توان خروجی معلوم بوده و توان ورودی اینچنین حساب میشود .

$$P_i = P_o + \text{total losses} \qquad (7\text{-}40)$$

معمولا " دو نوع تلفات در ترانسفورماتورها موجود است :

۱ ــ تلفات مسی که توسط آزمایش اتصال کوتاه محاسبه میشود .

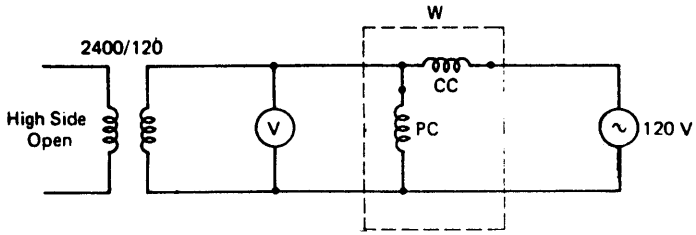
۲ ــ تلفات هسته که توسط آزمایش مدار باز محاسبه میگردد .

آزمایش اتصال کوتاه را قبلا " شرح دادیم . در آزمایش مدار باز (۲) ، ولتاژ اسمی را به یکی از سم پیچ‌ها اعمال میکنیم (معمولا " بطرف فشار ضعیف) و طرف دیگر را باز میگذاریم . واتمتری را در مدار سیم پیچی قرار میدهیم که به آن ولتاژ اعمال شده است . این واتمتر تلفات هسته را نشان میدهد . البته باآنکه این روش تقریبی است ولی دقت آن نسبتا " خوب است ، زیرا تلفات هسته به شار بستگی دارد و میدانیم شار نیز به ولتاژ وابسته است . اگرولتاژ اسمی برای این آزمایش بکار رود عدد واتمتر نیز تلفات هسته را در شرایط اسمی نشان میدهد . باید گفت با تغییرات بار ، تلفات هسته به‌میزان قابل توجهی تغییر نمیکند . از طرفی چون یکی از مدارها باز است لذا جریان در مداری که به آن ولتاژ اعمال شده خیلی کم بوده‌و لذا تلفات مسی آن سیم پیچ‌قابل ملاحظه نیست . در نتیجه واتمتر کلا " تلفات‌هسته را نشان میدهد (شکل ۲۳ ــ ۷) .

با توجه به آزمایش فوق میتوان تلفات‌هسته را محاسبه کرد و آنرا ثابت فرض میکنیم . اما باید گفت که تلفات‌مسی با بار تغییر میکند زیرا تلفات‌مسی تابعی از مجذور جریان است . مثلا " میتوان گفت‌که اگر بار ترانسفورماتور نصف بار اسمی باشد ، تلفات مسی در این

1) efficiency 2) Open-Circuit

حالت $\frac{1}{4}$ تلفات مسی در شرایط اسمی است .



شکل ۲۳ ــ ۷ مدار مربوط به آزمایش بی‌باری (مدار باز) جهت تعیین تلفات هسته

مثال ۱۷ ــ ۷:

یک ترانسفورماتور با مشخصات زیر مفروض است .

ولتاژ ثانویه/ولتاژ اولیه = ۱۲۰/۴۴۰ ولت

توان اسمی = ۳ کیلوولت‌آمپر

این ترانسفورماتور بار اسمی را در تحت ضریب توان واحد تغذیه میکند . توان خروجی و جریانی ثانویه را بدست آورید .

حل:

از رابطه (۱۱ ــ ۷) داریم :

$$\theta = 1,$$

$$P_o = P_a \cos\theta = 3\ \text{kVA} \times 1 = 3\ \text{kW}$$

از رابطه (۱۹ ــ ۷) داریم :

$$I_{2r} = \frac{3\ \text{kVA}}{440\ \text{V}} = 6.82\ \text{A}$$

مثال ۱۸ ــ ۷:

ترانسفورماتورمثال (۱۷ ــ ۷) را در نظر میگیریم این ترانسفورماتور نیمی از بار اسمی را درتحت ضریب توان ۰/۹ پس فاز تغذیه میکند . توان خروجی و جریان ثانویه را بدست آورید .

حل:

از رابطه (۱۱ ــ ۷) داریم :

$$P_a = \tfrac{1}{2}(3\ \text{kVA}) = 1.5\ \text{kVA}$$

$$P_o = P_a \cos\theta = 1.5\ \text{kVA} \times 0.9$$

$$= 1.35\ \text{kW}$$

POWEREN.IR

POWEREN.IR

در نصف بار اسمی ، جریان ثانویه نیز نصف جریان اسمی میباشد .

$$I_2 = \frac{1}{2} I_{2r} = 3.41 \text{ A}$$

با توجه به نکات فوق میتوان رابطه راندمان را اینچنین نوشت :

$$\eta\% = \frac{P_o}{P_o + P_{Cu} + P_{core}} \times 100 \qquad (7\text{-}41)$$

که در آن :

P_{Cu} = تلفات مسی ترانسفورماتور

P_{core} = تلفات هسته ترانسفورماتور

در رابطه فوق تمامی توانها باید بر حسب وات یا کیلو وات باشند . البته رابطه راندمان را میتوان بر حسب "ولت ــ آمپر" خروجی نیز چنین نوشت :

$$\eta\% = \frac{VA_{out} \times PF}{VA_{out} \times PF + P_{Cu} + P_{core}} \times 100$$

مثال ۱۹ ــ ۷:

یک ترانسفورماتور با مشخصات اسمی زیر مفروض است :

نسبت ولتاژها =	۲۲۰/۶۰۰	ولت
فرکانس =	۶۰	هرتز
توان اسمی =	۱۰	کیلو ولت آمپر

بر روی این ترانسفورماتور آزمایش اتصال کوتاه و بی‌باری انجام شده و نتایج در جدول زیر آمده است .

Open-circuit test (high side open)	Short-circuit test (low side shorted)
V = 220 V	V = 35 V
I = 1 A	I = rated current
W = 120 W	W = 200 W

راندمان این ترانسفورماتور را در تحت شرایط زیر بدست آورید :

(الف) : بار اسمی و ضریب توان واحد

(ب) : نصف بار اسمی و ضریب توان واحد

(ج) : بار اسمی و ضریب توان ۰/۸ پس فاز

(د) : نصف بار اسمی و ضریب توان ۰/۸ پس فاز

POWEREN.IR

POWEREN.IR

(هـ) : ۱۲۵% بار اسمی و ضریب توان واحد

حل :

از آزمایش اتصال کوتاه در مییابیم که تلفات مسی در شرایط اسمی ۲۰۰ وات و تلفات هسته در شرایط اسمی ۱۲۰ وات میباشد .

(الف) : از رابطه (۴۲ ــ ۷) داریم :

$$\eta = \frac{10\,000 \times 1}{10{,}000 \times 1 + 200 + 120} \times 100$$

$$= 96.9\%$$

(ب) : از رابطه (۴۲ ــ ۷) استفاده میکنیم ولی این بار ولت آمپر خروجی ۵۰۰۰ میباشد و تلفات مسی $\frac{1}{4}$ تلفات مسی در شرایط اسمی است :

$$\eta = \frac{5000 \times 1}{5000 \times 1 + 200(\frac{1}{2})^2 + 120} \times 100$$

$$= \frac{5000}{5000 + 50 + 120} \times 100$$

$$= 96.7\%$$

(ج) : از رابطه (۴۲ ــ ۷) داریم :

$$\eta = \frac{10{,}000 \times 0.8}{10{,}000 \times 0.8 + 200 + 120} \times 100$$

$$= 96.15\%$$

(د) : از رابطه (۴۲ ــ ۷) داریم :

$$\eta = \frac{5000 \times 0.8}{5000 \times 0.8 + 200(\frac{1}{2})^2 + 120} \times 100$$

$$= \frac{4000}{4000 + 50 + 120} \times 100$$

$$= 95.9\%$$

(هـ) : اگر بار بیش از بار اسمی گردد در اینصورت تلفات مسی نیز افزایش مییابد ، لذا :

$$VA_{out} = 1.25 \times 10{,}000 = 12{,}500 \text{ VA}$$

$$\eta = \frac{12{,}500 \times 1}{12{,}500 \times 1 + 200(1.25)^2 + 120} \times 100$$

$$= \frac{12{,}500}{12{,}500 + 312.5 + 120} \times 100$$

$$= 96.66\%$$

POWEREN.IR

POWEREN.IR

با توجه به نتایج فوق در مییابیم که :

۱ ــ راندمان هرچه بار به بار اسمی نزدیکتر شود ، بهتر میگردد .

۲ ــ با کاهش ضریب توان راندمان نیز پائین میاید .

۳ ــ در شرایطی که ترانسفورماتور اضافه بار دارد (فرض هـ مثال فوق) راندمان کاهش مییابد .

۴ ــ راندمان حداکثر موقعی رخ میدهد که بار اسمی تحت ضریب توان واحد تغذیه شود .

۵ ــ ضریب توان پس فاز یا پیش فاز اثری بر روی راندمان ندارد (چرا ؟)

۵ ــ ۳ــ ۷ ترانسفورماتورهای چند سیم پیچه : 7-3.5 Multiple-Winding Transformers

اغلب اوقات در یک وسیله الکتریکی به چند ولتاژ نیاز داریم . لذا به عوض آنکه ترانسفورماتورهای گوناگون و مجزا تعبیه کنیم از ترانسفورماتورهای چند سیم پیچه استفاده مینمائیم . در این ترانسفورماتورها یک ولتاژ تک فازرا میتوان به چند ولتاژ بیشتر یا کمتر تبدیل نمود .

برای تحلیل اینگونه ترانسفورماتورها باید کمیت‌ها را بطرف اولیه یا ثانویه منتقل نمود (یا بالعکس)،چون در ترانسفورماتورهای چند سیم پیچه با چند ثانویه سروکار داریم لذا همه کمیت‌ها را بطرف اولیه میبریم .

مثال ۲۰ ــ ۷:

یک ترانسفورماتور ۴ سیم پیچه مطابق شکل (a ۲۴ ــ ۷) مفروض است سیم پیچ z در ثانویه به یک مقاومت خالص وصل شده است و سیم پیچ X به یک سلف خالص، و سیم پیچ Y در ثانویه به یک خازن متصل شده است . مطلوب است :

(الف) : ولتاژ و جریان در هر سیم پیچ

(ب) : ضریب توان ترانسفورماتور

(ج) : ولت آمپر تغذیه شده به هر سیم پیچ

حل :

(الف) : ابتدا نسبت دورهای هر ترانسفورماتور را حساب میکنیم . همچنین با دانستن این نسبت دورها ولتاژ سیم پیچ‌ها را بدست می‌آوریم . برای سیم پیچ X داریم :

$$\text{turns ratio} = \frac{200}{400} = \frac{1}{2}$$

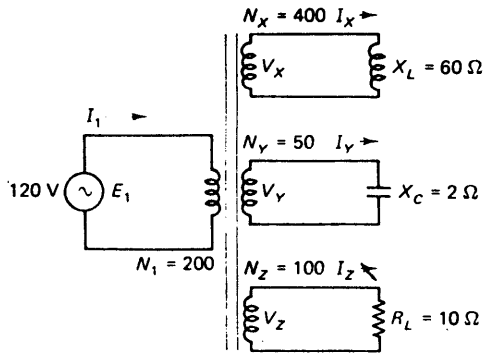
$$V_X = E_1 \div \tfrac{1}{2} = 240 \text{ V}$$

POWEREN.IR

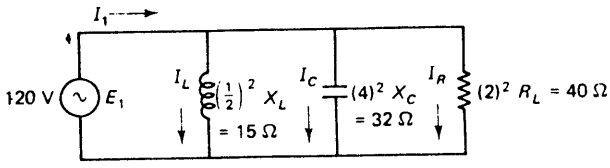
برای سیم پیچ Y داریم :

$$\text{turns ratio} = \frac{200}{50} = 4$$

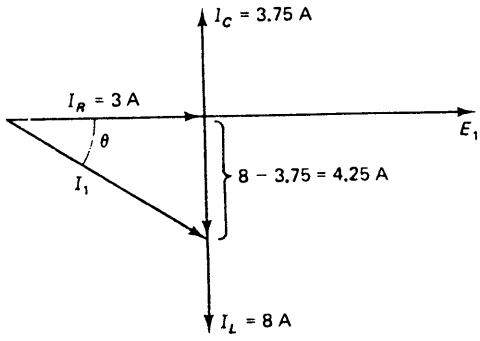
$$V_Y = E_1 \div 4 = 30 \text{ V}$$



(a)



(b)



(c)

شکل ۲۴ ــ ۷

(a): مدار مربوط به مثال ۲۰ ــ ۷

(b): مدار معادل نسبت به اولیه ترانسفورماتور

(c): دیاگرام فازوری جهت جمع جریانها در اولیه

POWEREN.IR

برای سیم پیچ Z داریم :

$$\text{turns ratio} = \frac{200}{100} = 2$$

$$V_Z = E_1 \div 2 = 60\ \text{V}$$

حال همه کمیتها را بطرف اولیه میبریم (شکل b ۲۴ ـ ۷) لذا :

$$I_L = \frac{120\ \text{V}}{15\ \Omega} = 8\ \text{A}$$

$$I_C = \frac{120\ \text{V}}{32\ \Omega} = 3.75\ \text{A} \quad \text{and} \quad I_R = \frac{120\ \text{V}}{40\ \Omega} = 3\ \text{A}$$

برای پیدا کردن جریان اولیه I_1 از دیاگرام فاز روی شکل (c ۲۴ ـ ۷) کمک میگیریم . لذا :

$$I_1 = \sqrt{(3)^2 + (8 - 3.75)^2}$$
$$= 5.2\ \text{A}$$

اگر آمپرمتری در اولیه قرار داده بودیم این جریان را اندازه‌گیری مینمود . حال برای پیدا کردن جریان‌های ثانویه از رابطه (۲۰ ـ ۷) استفاده میشود .

$$I_X = I_L \times \tfrac{1}{2} = 4\ \text{A}$$

$$I_Y = I_C \times 4 = 15\ \text{A}$$

$$I_Z = I_R \times 2 = 6\ \text{A}$$

(ب) : ضریب توان عبارت است از کسینوس زاویه بین E_1 و I_1 ، با استفاده از شکل (c ۲۴ ـ ۷) داریم :

$$\theta = \arctan \frac{4.25}{3}$$
$$= 54.78°$$

$$\text{PF} = \cos 54.78° = 0.58$$

(ج) : ولت آمپر تغذیه شده توسط هر سیم پیچ اینچنین بدست می‌آید :

برای سیم پیچ X داریم :

$$P_a = V_X I_X = 240\ \text{V} \times 4\ \text{A} = 960\ \text{VA}$$

برای سیم پیچ Y داریم :

$$P_a = V_Y I_Y = 30\ \text{V} \times 15\ \text{A} = 450\ \text{VA}$$

برای سیم پیچ Z داریم :

POWEREN.IR

POWEREN.IR

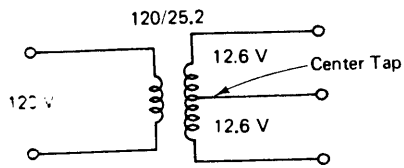
$$P_a = V_Z I_Z = 60\ V \times .6\ A = 360\ VA$$

برای سیم پیچ اولیه داریم :

$$P_a = E_1 I_1 = 120\ V \times 5.2\ A = 624\ VA$$

باید دانست که هر سیم پیچ ولت آمپر مخصوص بخود را تغذیه میکند و لذا سیم پیچهای مختلف باید دارای سطح مقطع های گوناگون باشند .

یکی ازانواع دیگر ترانسفورماتورهای چند سیم پیچه ترانسفورماتورهای انشعابی (۱) هستند . در این ترانسفورماتورها ثانویه از یک سیم پیچ تشکیل شده است ولی ولتاژهای مختلفی میتوان از ثانویه بدست آورد . شکل (۲۵ ــ ۷) یک ترانسفورماتور با انشعاب میانی (وسط) (۲) را نشان میدهد .



شکل ۲۵ ــ ۷ شمای یک ترانسفورماتور با انشعاب میانی

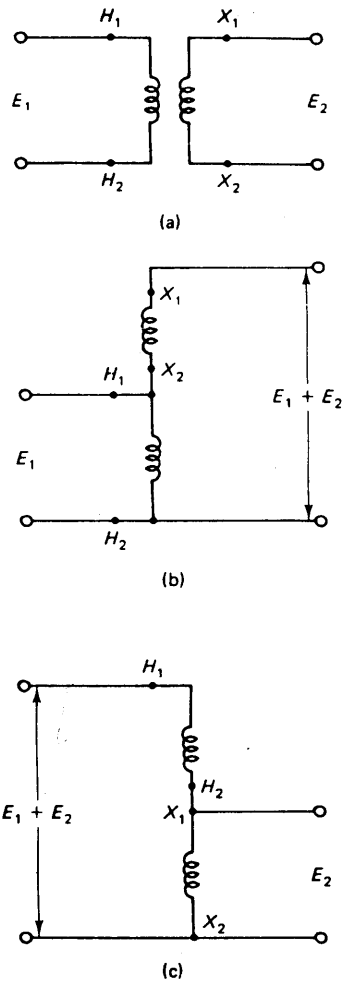
۶ ــ ۳ ــ ۷ اتو ترانسفورماتور :

در ترانسفورماتورهائی که تا بحال مورد مطالعه قرار داده‌ایم ، سیم پیچهای اولیه و ثانویه بطور مغناطیسی با هم کوپله میباشند و اتصال الکتریکی بین اولیه و ثانویه وجود ندارد . حال اگر سیم پیچهای اولیه و ثانویه را بطور الکتریکی نیز بهم وصل کنیم در اینصورت توانائی ترانسفورماتوررا از نظر توان افزایش میابد . در اینصورت مقداری توان از طریق کوپلاژ مغناطیسی ومقداری توان نیز بخاطر اتصال الکتریکی اولیه و ثانویه انتقال میابد ، لذا دراینصورت ترانسفورماتورهائی با راندمان بهتر و اقتصادی‌تر بدست می‌آید . در اتو ترانسفورماتورها (۳) باید پلارتیه سیم پیچها بخوبی رعایت گردد . شکل (۲۶ ــ ۷) دو اتصال متداول را نشان میدهد . در شکل (b ۲۶ ــ ۷) اتو ترانسفورماتور افزاینده نشان داده شده و در شکل (c ۲۶ ــ ۷) اتو ترانسفورماتور کاهنده (۴) رسم شده است .

1) Tapped-transformer
2) Centre-tapped-Transformer
3) Auto transformer
4) Step-down-transformer

POWEREN.IR

POWEREN.IR



شکل ۲۶ ــ ۷

(a) : یک ترانسفورماتور تک فاز

(b) : یک اتوترانسفورماتور افزاینده

(c) : یک اتوترانسفورماتور کاهنده

مثال ۲۱ ــ ۷:

از یک ترانسفورماتور ۲۲۰/۴۴۰ ولتی با توان اسمی ۳ کیلو ولت آمپر برای ساخت یک اتوترانسفورماتور افزاینده ۴۴۰/۶۶۰ ولتی استفاده میکنیم .

(الف) : دیاگرام اتصالات را رسم کنید .

POWEREN.IR

(ب) : جریانها را در شرایط اسمی حساب کنید . همچنین توان اسمی (KVA) اتو ترانسفورماتور را بدست آورید .

حل :

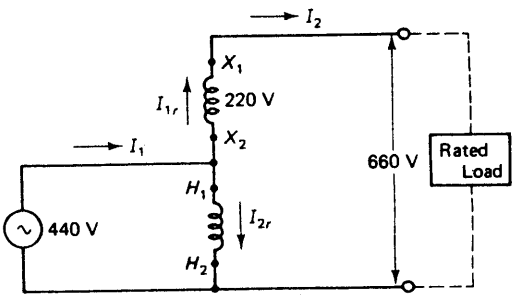
(الف) : بشکل (۲۷ ــ ۷) توجه کنید .

(ب) : برای پیدا کردن جریانها ، ابتدا جریانهای اسمی ترانسفورماتور اصلی را پیدا میکنیم . از رابطه (۱۸ ــ ۷) داریم :

$$I_{1r} = \frac{3000\ \text{VA}}{220\ \text{V}} = 13.64\ \text{A}$$

ازرابطه (۱۹ ــ ۷) داریم :

$$I_{2r} = \frac{3000\ \text{VA}}{440\ \text{V}} = 6.82\ \text{A}$$



شکل ۲۷ ــ ۷ مدار مربوط به قسمت الف در مثال ۲۱ ــ ۷

با توجه بشکل (۲۷ ــ ۷) درمی‌یابیم که جریان ثانویه در اتو ترانسفورماتور (I_2) معادل جریان اسمی طرف فشار ضعیف در ترانسفورماتور اصلی (I_{1r}) میباشد . لذا :

$$I_2 = I_{1r} = 13.64\ \text{A}$$

توان اسمی (kVA) خروجی اتو ترانسفورماتور از حاصلضرب ولتاژ و جریان ثانویه بدست می‌آید .

$$660\ \text{V} \times 13.64\ \text{A} = 9002\ \text{VA} \approx 9\ \text{kVA}$$

توان اسمی (kVA) ورودی به ترانسفورماتور نیز معادل توان اسمی خروجی است (راندمان را ۱۰۰٪ در نظر میگیریم) . لذا :

$$9002\ \text{VA} = 440\ \text{V} \times I_1$$

$$I_1 = \frac{9002}{440} = 20.46\ \text{A}$$

حال میتوان محاسبات فوق را با بکارگیری قانون کیرشف در کرهٔ H_1–X_2, چک نمود .

POWEREN.IR

$$I_{2r} = I_1 - I_{1r} = 20.46 - 13.64$$
$$= 6.82 \text{ A (as originally calculated)}$$

در مثال فوق با توجه به شکل (۲۷ ــ ۷) در مییابیم که :

۱ ــ از ۹ کیلو آمپر ورودی به اتوترانسفورماتور که معادل I_1 ×۴۴۰ است ، ۳ کیلو ولت آمپر (I_{2r} ×۴۴۰) بخاطر عمل القاء (۱) از اتو ترانسفورماتور خارج میگردد .

۲ ــ بقیه ۶ کیلو ولت آمپر ($I_1 - I_{2r}$)×۴۴۰) بخاطر عمل هدایت (۲) از اتو ترانسفورماتور خارج میشود .

مثال ۲۲ ــ ۷:

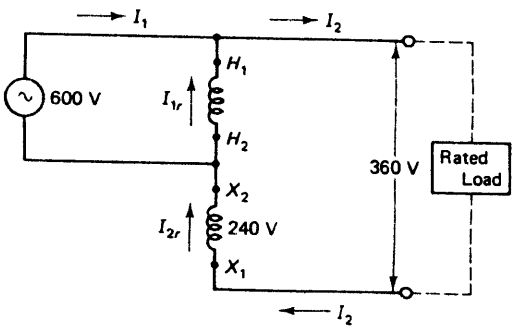
یک ترانسفورماتور ۶۰۰/۲۴۰ ولتی با توان اسمی ۷/۵ کیلو ولت آمپر مفروض است و میخواهیم توسط آن اتو ترانسفورماتور کاهندهٔ ۶۰۰/۳۶۰ ولتی بدست آوریم .

(الف) : دیاگرام مدار را رسم کنید .

(ب) : جریانها در شرایط اسمی و توان اسمی (kVA) اتو ترانسفورماتور را بدست آورید .

حل :

(الف) : به شکل (۲۸ ــ ۷) رجوع کنید .



شکل ۲۸ ــ ۷ مدار مربوط به قسمت الف در مثال ۲۲ ــ ۷

(ب) : ابتدا جریانهای اسمی ترانسفورماتور اصلی را پیدا میکنیم .

$$I_{1r} = \frac{7500 \text{ VA}}{600 \text{ V}} = 12.5 \text{ A}$$

$$I_{2r} = \frac{7500 \text{ VA}}{240 \text{ V}} = 31.25 \text{ A}$$

POWEREN.IR

POWEREN.IR

با توجه به شکل (۲۸ ــ ۷) داریم :

$$I_2 = I_{2r} = 31.25 \text{ A}$$

توان اسمی خروجی (kVA) عبارتست از :

$$360 \text{ V} \times I_2 = 360 \text{ V} \times 31.25 \text{ A} = 11.25 \text{ kVA}$$

توان ورودی اتو ترانسفورماتور مانند توان خروجی میباشد (راندمان را ۱۰۰% در نظر میگیریم) لذا :

$$11.25 \text{ kVA} = 600 \text{ V} \times I_1$$

$$I_1 = \frac{11.25 \text{ kVA}}{600 \text{ V}} = 18.75 \text{ A}$$

با بکار بردن قانون کیرشف در گره میتوان محاسبات فوق را چک کرد ،

$$I_1 + I_{1r} = I_2$$

$$I_{1r} = I_2 - I_1 = 31.25 \text{ A} - 18.75 \text{ A}$$

$$= 12.5 \text{ A (as originally calculated)}$$

باید توجه داشت که :

۱ ــ از ۱۱/۲۵ کیلو ولت آمپر انتقالی از ورودی به خروجی ، ۷/۵ کیلو ولت آمپر ($I_{1r} \times ۶۰۰$) بوسیله عمل القاء انتقال مییابد .

۲ ــ بقیه ۳/۷۵ کیلوولت آمپر (($I_1 - I_{1r}$) ۶۰۰) بوسیله عمل هدایت منتقل میشود .

7-4 REVIEW OF THREE-PHASE AC THEORY

۴ ــ ۷ مروری بر تئوری مدارهای سه فاز AC:

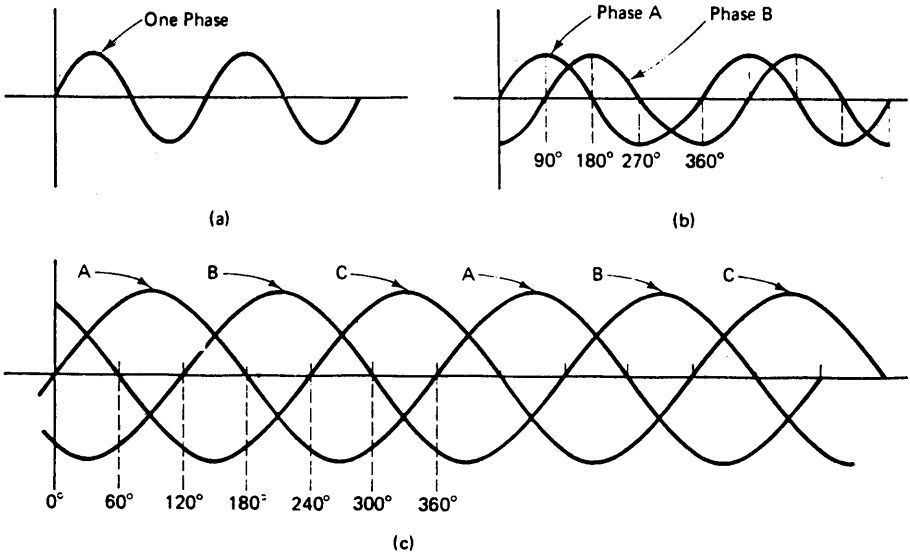
تا بحال در این کتاب راجع به مدارهای تک فاز AC صحبت کرده‌ایم ، و معمولا "لوازم منزل با ولتاژ تک فاز کار میکنند و بخاطر همین موضوع برقهای منطقه‌ای اکثرا " برق تک فاز به منازل میدهند . اما مدارهای AC سه فاز (۱) دارای مزیتهای گوناگون میباشند . در مدارهای سه فاز مقدار ولتاژهای هر فاز مشابه یکدیگرند ولی این ولتاژها با یکدیگر اختلاف فاز دارند . لذا پیک (ماکزیمم) ولتاژها در مدارهای AC سه فاز با هم رخ نمیدهند . شکل (۲۹ــ۷) شمای سه ولتاژ مربوط به مدارهای AC سه‌فاز را نشان میدهد . البته در این شکل ولتاژهای مدارهای تک فاز و دو فاز نیز رسم شده‌اند . به سیستمهائی که بیش از یک ولتاژ در آنها وجود دارد اصطلاحا " سیستمهای چند فازه (۲) اتلاق میگردد ،

1) Three Phase

2) Poly phase

POWEREN.IR

و متداول‌ترین سیستم چند فازه همان سیستم سه‌فاز است ، طرز نام گذاری فازها را اصطلاحا" توالی فاز[۱] مینامند.توالی فاز برای سیستم سه فاز نشان داده شده در شکل (c ۲۹ ـ ۷) ABC یا BCA یا CAB میباشد . مزایای توان سه فاز عبارتست از :



شکل ۲۹ ـ ۷ :
(a) : ولتاژ تک فاز AC
(b) : ولتاژ دو فاز AC
(c) : ولتاژ سه فاز AC

۱ ـ توان بیشتری در سیستم سه فاز میتوان منتقل ساخت .
۲ ـ پخش توان[۲] در سیستم سه فاز به مراتب آرامتر از پخش توان نوسانی در سیستم تکفاز است .
۳ ـ ماشینهای الکتریکی سه فاز ارزانتر از سه ماشین الکتریکی تکفاز میباشد . و همچنین بهره برداری از ماشینهای الکتریکی سه فاز به مراتب ارجح‌تر از ماشینهای الکتریکی تکفاز است .

۱ ـ ۴ ـ ۷ روابط مربوط به سیستمهای سه فاز : *7-4.1 Numerical Relationships*

معمولا" سیستمهای سه فاز یا سه سیمه[۳] بوده و یا چهار سیمه[۴] میباشند در سیستمهای سه‌فاز سه سیمه ولتاژ بین هر دو خط ولتاژ خط[۵] (V_L) نامیده میشود .

1) Phase Sequence
2) Power-Flow
3) Three-Wire
4) Four-Wire
5) Line-Voltage

POWEREN.IR

در سیستمهای سه فاز چهار سیمه سیم چهارمی بنام سیم خنثی (۱) اضافه میگردد و در اینصورت ولتاژ بین هر خط و سیم خنثی ولتاژ فاز (۲) (V_p) گفته میشود . در سیستم چهار سیمه ولتاژ بین دو خط همان ولتاژ خط (V_L) خواهد بود . شکل (۳۰ ــ ۷) این موضوع‌را بیشتر روشن میکند . در اینصورت میتوان گفت :

۱ ــ سه ولتاژ خط (V_{AB} ، V_{BC} و V_{CA}) با هم مساوی بوده ولی با یکدیگر اختلاف فاز دارند (مانند شکل c ۲۹ ــ ۷)

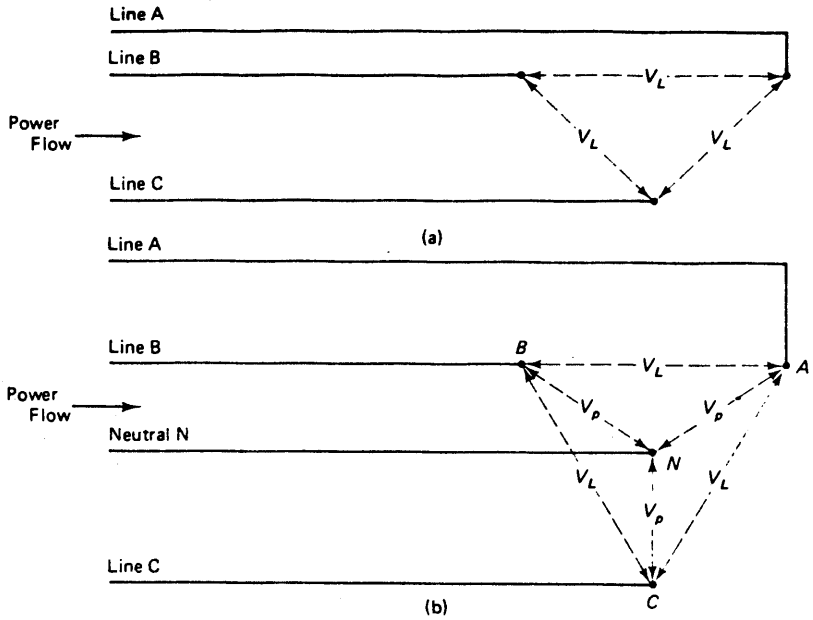
۲ ــ سه ولتاژ فاز (V_{AN} ، V_{BN} و V_{CN}) که همان V_p هستند با هم مساوی بوده ولی با یکدیگر اختلاف فاز دارند (مانند شکل c ۲۹ ــ ۷) .

۳ ــ اگر قانون کیرشف را در شکل (b ۳۰ ــ ۷) بکار بریم در اینصورت داریم :

$$V_{AB} = V_{AN} + V_{NB}$$

بایدتوجه داشت که V_{AN} و V_{NB} با هم ۶۰ درجه اختلاف فاز دارند (شکل c ۲۹ــ ۷) . لذا این دوبا هم بصورت فاز جمع می‌شوند . لذا رابطه اخیر بصورت زیر درمی‌آید .

$$V_L = \sqrt{3}\, V_p \qquad (7\text{-}43)$$



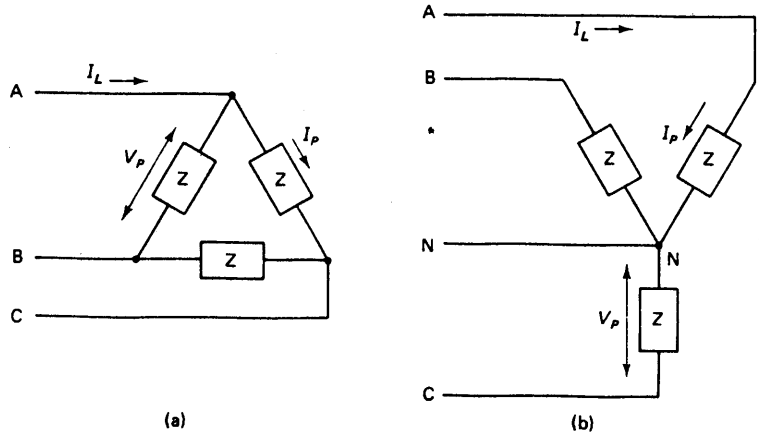
شکل ۳۰ ــ ۷

a : سیستم سه فاز سه سیمه (b) : سیستم سه فازچهار سیمه

1) Neutral-Wire 2) Phase-Voltage

POWEREN.IR

با آنکه سیستم سه فاز را به هر نوع باری (مصرفی) میتوان وصل نمود ولی توجه خاص را به بار سه فاز متعادل معطوف می‌داریم . این گونه بارها ازسه امپدانس مشابه تشکیل شده که به‌دو صورت ستاره یا مثلث ((Y)یا (Δ)) مطابق شکل (۳۱ـ۷) بیکدیگر متصل میشوند .



شکل ۳۱ ـ ۷ بار سه فاز متعادل

(a) اتصال مثلث یا Δ (b) اتصال ستاره یا Y

با آنکه در شکل (b ۳۱ ـ ۷) سیم خنثی نشان داده شده است ولی در حالتی که بار متعادل [1] است نقشی ایفا نمی‌کند زیرا درحالت بار متعادل جریانی از سیم خنثی نمیگذرد (جریان صفر) . اگر درحالتی یکی از فازها قطع شود در اینصورت تعادل ذکر شده در فوق بهم میخورد و در سیم خنثی جریان پدیدار میشود .

در حالتی که بار بصورت مثلث (Δ) میباشد (شکل a ۳۱ ـ ۷) ولتاژ دو سر یک فاز از بار (V_p) معادل ولتاژ خط می‌باشد . جریان هر فاز دربار (I_p) از تقسیم V_p (یا V_L) بر Z حاصل میگردد . بطورکلی برای بار مثلث شکل (Δ) داریم :

$$\Delta \text{ load} \begin{cases} I_L = \sqrt{3}\, I_p & (7\text{-}44) \\ V_L = V_p & (7\text{-}45) \end{cases}$$

اگر بار بصورت ستاره (Y) باشد (شکل b ۳۱ ـ ۷) جریان خط با جریان هر فاز بار مشابه خواهد بود . اما ولتاژ دو سر هر فاز بار دیگر مساوی ولتاژ خط نخواهد بود . بطور کلی برای بار ستاره شکل داریم :

$$\text{Y load} \begin{cases} I_p = I_L & (7\text{-}46) \\ V_p = \dfrac{V_L}{\sqrt{3}} & (7\text{-}47) \end{cases}$$

روج

1) Balanced three phase Load

POWEREN.IR

POWEREN.IR

توان ظاهری در بار سه فاز اینچنین است .

$$P_a = 3V_p I_p \qquad (7\text{-}48)$$

لذا کل توان ظاهری بار سه فاز عبارتست از :

$$P_a = \sqrt{3}\, V_L I_L \qquad (7\text{-}49)$$

رابطه اخیر با جایگزینی روابط (۴۷–۷) و (۴۶–۷) در رابطه (۴۸ – ۷) حاصل میگردد . باید گفت که رابطه (۴۹ – ۷) برای هر دو نوع بار ستاره شکل (Y) یا مثلث شکل (Δ) صادق است (چرا ؟) .

در سیستم سه فاز توان حقیقی و راکتیو تحویلی به بار اینچنین بدست می‌آید .

$$P_r = \sqrt{3}\, V_L I_L \sin\theta \qquad (7\text{-}50)$$

$$P_w = \sqrt{3}\, V_L I_L \cos\theta \qquad (7\text{-}51)$$

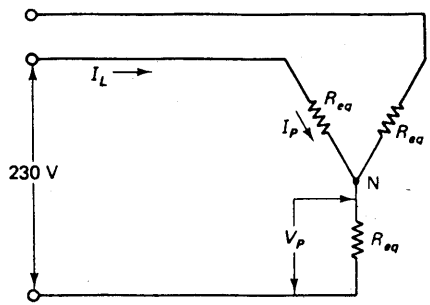
باید گفت که روابط فوق برای هر دو بار ستاره شکل (Y) یا مثلث شکل (Δ) صادق‌اند (چرا ؟) در روابط (۵۰ – ۷) و (۵۱ – ۷) ، $\cos\theta$ ضریب توان بوده و θ زاویه امپدانس $\vec{Z}$ در شکل (۳۱ – ۷) میباشد . از گفتار فوق نتیجه میگیریم که معمولا " در سیستمهای سه‌فاز توانها برحسب کمیتهای خطوط (ولتاژ خط و جریان خط) بیان میشوند .

مثال ۲۳ – ۷:

یک سیستم سه فاز ۲۳۰ ولتی مفروض است و توان ظاهری ۲ کیلو ولت آمپر را تحت ضریب توان واحد به یک‌بار متعادل سه فاز (ستاره شکل Y) تحویل میدهد . ولتاژها و جریانها را حساب کنید و مدار معادل بار را بدست آورید .

حل:

ابتدا مدار سیستم را رسم میکنیم و مجهولات مساله را بر روی آن مینویسیم . در شکل (۳۲ – ۷) بار بوسیله سه مقاومت (R_{eq}) نشان داده شده است ، زیرا ضریب توان در این مساله واحد فرض میگردد .



شکل ۳۲ – ۷ مدار مربوط به مثال ۲۳ – ۷

POWEREN.IR

ولتاژ خط ۲۳۰ ولت بوده و ۲ کیلو ولت آمپر تحویل بار میشود . لذا از رابطه (۴۹ ـ ۷) داریم :

$$I_L = \frac{2000\ \text{VA}}{\sqrt{3} \times 230\ \text{V}} = 5.02\ \text{A}$$

برای بار ستاره شکل (Y) داریم :

$$I_p = I_L = 5.02\ \text{A}$$

$$V_p = \frac{V_L}{\sqrt{3}} = \frac{230\ \text{V}}{\sqrt{3}}$$
$$= 132.8\ \text{V}$$

از قانون اهم داریم :

$$R_{eq} = \frac{V_p}{I_p} = \frac{132.8\ \text{V}}{5.02\ \text{A}}$$
$$= 26.45\ \Omega$$

مثال ۲۴ ـ ۷:

یک سیستم سه فاز ۴۴۰ ولتی و ۵۰ کیلو ولت آمپری بار اسمی را تحت ضریب توان ۰/۸ پس فاز تغذیه میکند . مطلوبست :

(الف) : جریان خط دربار کامل

(ب) : توان حقیقی تحویلی به بار

(ج) : توان راکتیو تحویلی به بار

(د) : در تحت چه شرایطی حداکثر توان حقیقی انتقال مییابد .

حل :

(الف) : از رابطه (۴۹ ـ ۷) داریم :

$$I_L = \frac{50{,}000\ \text{VA}}{\sqrt{3} \times 440\ \text{V}}$$
$$= 65.6\ \text{A}$$

(ب) : ازرابطه (۵۱ ـ ۷) داریم :

$$P_w = \sqrt{3} \times 440\ \text{V} \times 65.6\ \text{A} \times 0.8$$
$$= 39{,}995\ \text{W} \approx 40\ \text{kW}$$

(ج)

$$\theta = \arccos 0.8 = 36.87^\circ$$
$$\sin\theta = 0.6$$

POWEREN.IR

POWEREN.IR

$$P_r = \sqrt{3} \times 440\ \text{V} \times 65.6\ \text{A} \times 0.6$$
$$= 29{,}996\ \text{var} \approx 30\ \text{kvar}$$

(د) : از رابطه (۵۱ــ۷) در مییابیم که حداکثر توان موقعی انتقال مییابد که:

۱ ــ ولتاژ خط ولتاژ اسمی باشد.

۲ ــ جریان خط، جریان اسمی باشد.

۳ ــ ضریب توان واحد باشد.

لذا:

$$\max.\ P_w = \sqrt{3} \times 440\ \text{V} \times 65.6\ \text{A} \times 1.0$$
$$= 50\ \text{kW}$$

7-4.2 Power Measurement in Three-Phase Systems

۲ ــ ۴ ــ ۷ اندازه‌گیری توان در سیستم سه فاز:

طبق تئوری بلوندل [1] میتوان گفت که در یک سیستم N سیمه، کل توان را میتوان توسط $(N-1)$ واتمتر اندازه‌گیری نمود. لذا در سیستم سه‌فاز میتوان با دو واتمتر کل توان سه فاز را اندازه‌گیری کرد. البته باید گفت که در سیستم سه فاز ۴ سیمه تعداد واتمترهای مورد نیاز ۳ عدد خواهد بود. در اینجا متذکر میشویم که در سیستم سه فاز ۴ سیمه متعادل چون از سیم خنثی (نول) جریان نمی‌گذرد، لذا میتوان آنرا حذف نمود و لذا باز با ۲ واتمتر میتوان کل توان سه فاز را اندازه‌گیری نمود. شکل (۳۳ــ۷) طرز نمایش نصب ۲ و ۳ واتمتر را در سیستم سه فاز نشان میدهد. در هر دو شکل کل توان جمع جبری اعداد واتمترها خواهد بود. چون در این فصل بیشتر تمرکز ما به سیستم سه فاز متعادل است، لذا توجه خود را به سیستم ۲ واتمتری معطوف می‌داریم.

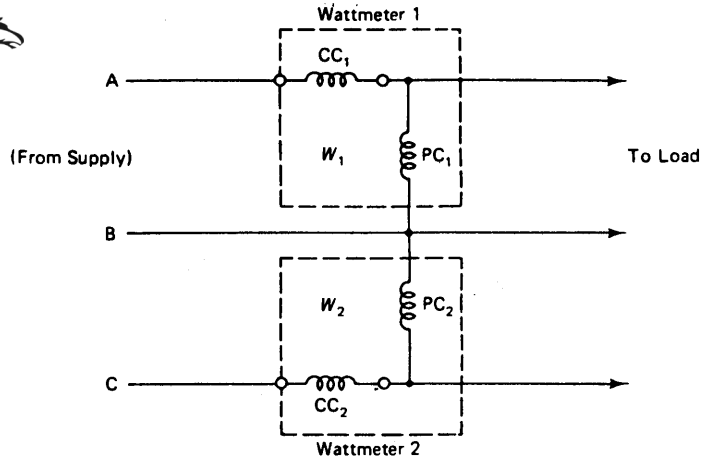
هرگاه ضریب توان بار واحد باشد، اعداد نشان داده شده توسط واتمترها مثبت بوده و با یکدیگر برابرند. لذا کل توان سه فاز معادل $W_1 + W_2$ خواهد بود.

اگر ضریب توان پس فاز باشد، یکی از واتمترها مثلاً W_1 عددی بزرگتر از W_2 را نشان میدهد ولی واتمتر W_1 همواره عدد مثبتی را نشان می‌دهد. اما واتمتر W_2 باید چک گردد که عدد مثبت یا منفی را نشان دهد. اگر واتمتر W_2 عدد منفی را نشان می‌دهد در اینصورت جهت توان از بار به منبع خواهد بود ولی چون عدد W_1 از عدد W_2 همواره بزرگتر است لذا $W_1 - W_2$ همواره مثبت است یعنی توان خالص مثبت خواهد بود.

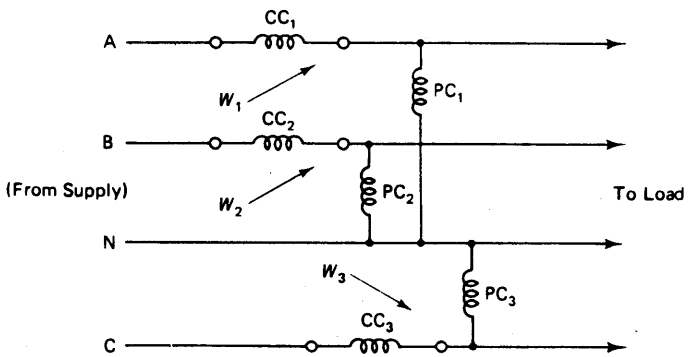
POWEREN.IR

1) Blondel's theorem

POWEREN.IR



(a)



(b)

شکل ۳۳ ـ ۷ اندازه‌گیری توان در سیستم سه فاز

a سه فاز سه سیمه **b سه فاز ۴ سیمه**

۵ ـ ۷ ترانسفورماتورهای سه فاز: THREE-PHASE TRANSFORMERS

ترانسفورماتورهای سه فاز با ولتاژهای سه فاز کار میکنند . یکی از روشهای تولید ترانسفورماتورهای سه فاز استفاده از سه ترانسفورماتور مشابه تکفاز میباشد . در اینجا باید گفت :

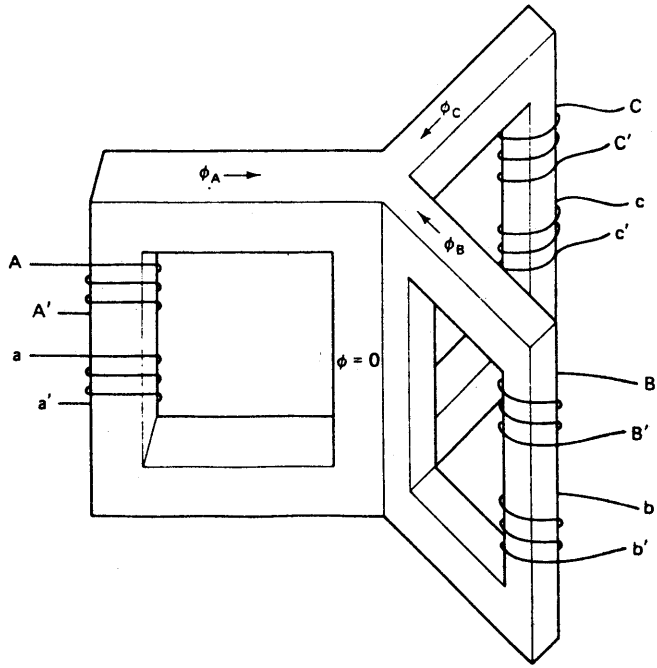
۱ ـ اگر از سه ترانسفورماتورتکفاز استفاده شود ، در صورت خرابی یکی از ترانسفورماتورها میتوان از ۲ عدد دیگر استفاده کرد .

۲ ـ اما ترانسفورماتور سه فاز ارزانتر از ۳ عدد ترانسفورماتور تکفاز است .

۳ ـ در اینجا متذکر میشویم که اگر ترانسفورماتور سه فاز خراب شود باید کل آنرا عوض

POWEREN.IR

POWEREN.IR



شکل ۳۴ ــ ۷ شمای ساده یک هسته ترانسفورماتور سه فازبا سیم پیچهای مربوطه

کرد و دیگر قابل استفاده نیست .

در نتیجه تصمیم‌گیری درباره استفاده از ترانسفورماتور سه فاز یا سه ترانسفورماتور تکفاز به نوع استفاده در سیستم بستگی دارد . البته باید گفت تحلیل این دو نوع سیستم یعنی سه ترانسفورماتور تکفاز یا یک ترانسفورماتور سه فاز یکسان میباشد .

برای سهولت امر سیم پیچ‌های اولیه را با A ، B و C و سیم پیچهای ثانویه را با a ، b و c نشان میدهیم (شکل ۳۴ ــ ۷). باید گفت چون ولتاژهای اولیه با هم ۱۲۰ درجه اختلاف فاز دارند . لذا شارهای ϕ_A، ϕ_B ϕ_C نیز با یکدیگر ۱۲۰ درجه اختلاف فاز دارند . لذا این شارها در مسیر مشترک خود با هم بصورت فازور جمع میشوند ، لذا شار در پایه وسطی ترانسفورماتور صفر خواهد بود . درنتیجه در ساختمان ترانسفورماتورها پایه وسطی حذف می‌گردد . اگر سیم پیچهای اولیه و ثانویه بطرق گوناگون بهم وصل شوند ، شکلهای مختلفی از سیم پیچ اولیه و ثانویه بدست می‌آید .

البته باید گفت طرز اتصال سیم پیچهای اولیه و ثانویه کل توان ظاهری (کیلو ولت‌آمپر) ترانسفورماتور را تغییر نمی‌دهد . باید گفت که سه سیم پیچ اولیه با یکدیگر مشابه‌اند و سه سیم پیچ ثانویه نیز مشابه یکدیگر میباشند .

POWEREN.IR

۱ ـ ۵ ـ ۷ طرز اتصالات سیم پیچ‌ها در ترانسفورماتورهای سه‌فاز

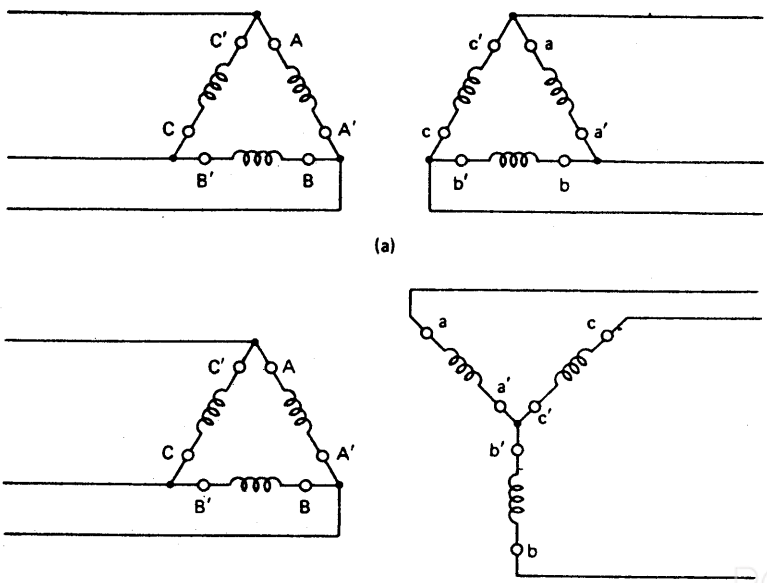
7-5.1 Basic Transformer Connections

سیم پیچهای اولیه در شکل (۳۴ ـ ۷) را میتوان بدو طریق متصل نمود .

۱ ـ اگر A' ، B' ، C' به یکدیگر وصل شوند ، و ولتاژهای سه‌فاز را به A و B و C متصل کنیم در این صورت اتصال ستاره (Y) بدست می‌آید (شکل c ۳۵ ـ ۷) .

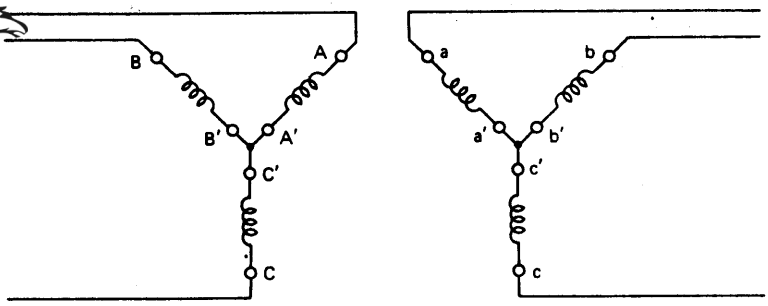
۲ ـ اگر A به B و B' به C و C' به A وصل شوند اتصال مثلث (Δ) حاصل میگردد (شکل a ۳۵ ـ ۷) .

همچنین باید گفت که سیم پیچهای ثانویه را نیزمیتوان بصورت ستاره (Y) یا مثلث (Δ) بیکدیگر متصل نمود . البته خاطر نشان میسازیم که هر یک از این اتصالات امتیازات خاص خود را دارند که ما آنها را ذکر میکنیم . شکل (۳۵ ـ ۷) ۴ نوع اتصال برای سیم پیچ‌های ترانسفورماتورهای سه‌فاز رانشان میدهد . باید گفت اگر اولیه ترانسفورماتور به ولتاژ سه‌فاز وصل شود اولیه بمثابه بار سه فاز متعادل عمل می‌کند (بخش ۱ ـ ۴ ـ ۷) درهمین فصل) ، لذا میتوان از روابط ذکر شده در بخش (۱ ـ ۴ ـ ۷) برای ترانسفورماتورهای سه فاز نیز استفاده نمود . در اینجا یادآوری میگردد که قدرت ظاهری اسمی (کیلو ولت آمپر اسمی) ترانسفورماتور سه فاز سه برابر قدرت ظاهری اسمی هر فاز میباشد .

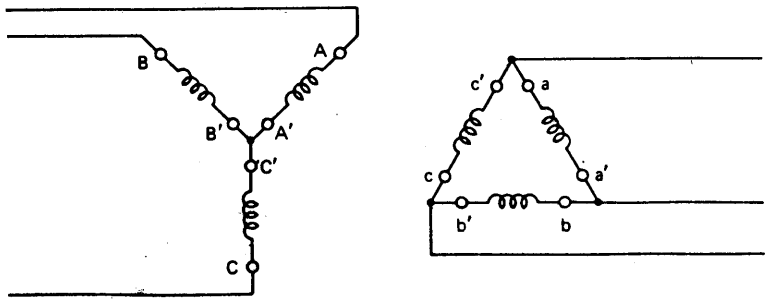


POWEREN.IR

POWEREN.IR



(c)



(d)

شکل ۳۵ ــ ۷ : ۴ نوع اتصال متداول برای سیم پیچهای ترانسفورماتورهای سه فاز

(a) اتصال مثلث ــ مثلث Δ-Δ (b) اتصال مثلث ــ ستاره Δ-Y;

(c) اتصال ستاره ــ ستاره Y-Y; (d) اتصال ستاره ــ مثلث Y-Δ.

مثال ۲۵ ــ ۷:

یک ترانسفورماتورسه فاز با مشخصات زیر مفروض است :

کیلو ولت آمپر ۲۵ = توان اسمی ظاهری سه‌فاز

ولت ۲۰۸ - ولتاژ اسمی ثانویه

ولت ۱۲۰۰= ولتاژ اسمی اولیه

اگر این ترانسفورماتور بار متعادلی را تغذیه کند ، مطلوبست محاسبات زیر :

الف : کیلوولت آمپر اسمی و نسبت دور هر فاز

ب : جریان اولیه و ثانویه و ولتاژها

این مثال را در دو حالت زیر حساب کنید .

(۱ ــ الف) : اتصال Y-Y

(۲ ــ ب) : اتصال Δ-Δ

POWEREN.IR

POWEREN.IR

حل.

(۱ ـ الف) : اتصال **Y-Y**

کیلو ولت آمپر اسمی هر فاز اینچنین بدست می‌آید .

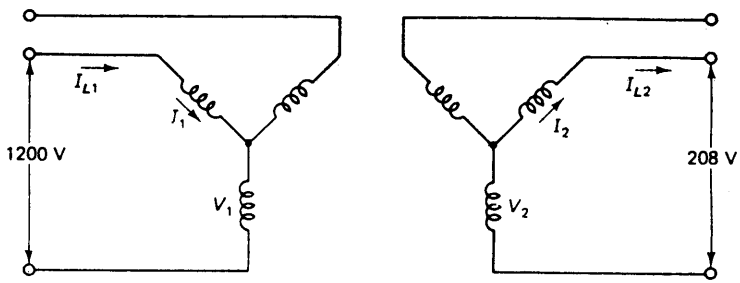
$$\frac{25\ \text{kVA}}{3} = 8.333\ \text{kVA}$$

حال مداری مطابق شکل (۳۶ ـ ۷) در نظر میگیریم چون ترانسفورماتور سه فاز ۲۵ کیلو ولت آمپر به بار میدهد ، لذا ۲۵ کیلو ولت آمپر نیز از شبکه دریافت می‌کند . از رابطه (۴۹ ـ ۷) داریم :

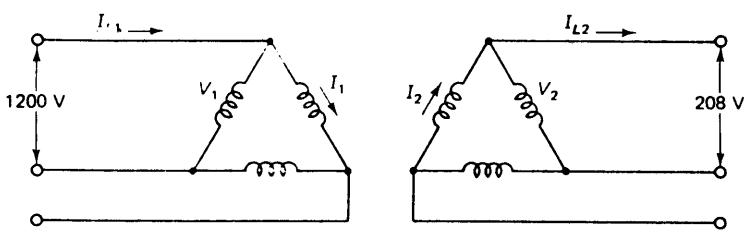
$$I_1 = I_{L1} = \frac{25{,}000\ \text{VA}}{\sqrt{3} \times 1200\ \text{V}} = 12.03\ \text{A}$$

از رابطه (۴۷ ـ ۷) داریم :

$$V_1 = \frac{1200\ \text{V}}{\sqrt{3}} = 693\ \text{V}$$



شکل ۳۶ ـ ۷ مربوط به فرض اول مثال ۲۵ ـ ۷



شکل ۳۷ ـ ۷ مربوط به فرض دوم مثال ۲۵ ـ ۷

در ثانویه ترانسفورماتور داریم :

$$I_2 = I_{L2} = \frac{25{,}000\ \text{VA}}{\sqrt{3} \times 208\ \text{V}} = 69.4\ \text{A}$$

POWEREN.IR

POWEREN.IR

$$V_2 = \frac{208\ \text{V}}{\sqrt{3}} = 120\ \text{V}$$

نسبت دورها در ترانسفورماتور از رابطه (۲۰ ــ ۷) بدست می‌آید .

$$a = \frac{V_1}{V_2} = \frac{693\ \text{V}}{120\ \text{V}} = 5.78$$

باید گفت که این نسبت با نسبت‌ولتاژهای خطوط 1200/208. برابر است :

(۲ ــ ب) : اتصال Δ-Δ

میدانیم اتصال سیم پیچها در توان ترانسفورماتور تاثیری ندارد لذا توان هر فاز ۸/۳۳۳ کیلو ولت آمپر است . حال مداری مطابق شکل (۳۷ ــ ۷) رسم می‌کنیم . از این شکل داریم :

$$V_1 = 1200\ \text{V}$$

$$V_2 = 208\ \text{V}$$

جریانهای I_{L1} ، I_{L2} مطابق فرض (۱ ــ الف) هستند ، زیرا کیلو ولت آمپر ترانسفورماتوروولتاژخطوط در هر دو حالت یکسان میباشد . از رابطه (۴۴ ــ ۷) داریم :

$$I_1 = \frac{I_{L1}}{\sqrt{3}} = \frac{12.03\ \text{A}}{\sqrt{3}} = 6.95\ \text{A}$$

$$I_2 = \frac{I_{L2}}{\sqrt{3}} = \frac{69.4\ \text{A}}{\sqrt{3}} = 40\ \text{A}$$

نسبت دورها اینچنین است :

$$a = \frac{V_1}{V_2} = \frac{1200\ \text{V}}{208\ \text{V}} = 5.78$$

حال نتایج مساله را چک می‌کنیم . اگر V_1 و I_1 را ضرب کنیم باید توان ظاهری هر فاز بدست آید .

در قسمت (۱ ــ الف) داریم :

$$V_1 \times I_1 = 693\ \text{V} \times 12.03\ \text{A} \approx 8333\ \text{VA}$$

در قسمت (۲ ــ ب) داریم :

$$V_1 \times I_1 = 1200\ \text{V} \times 6.95\ \text{A} \approx 8333\ \text{VA}$$

البته خطای محاسبات بخاطر سر راست کردن عددها در محاسبات مربوط به ولتاژها و جریانها میباشد .

POWEREN.IR

مثال ۲۶ ــ ۷:

یک ترانسفورماتور سه فاز افزاینده به مشخصات زیر مفروض است .

نسبت ولتاژها = ۱۲۰۰/۱۳۲۰۰ ولت

توان اسمی ظاهری = ۱۰۰ کیلو ولت آمپر

مطلوبست محاسبات زیر

الف ـ جریانها وولتاژهای اولیه و ثانویه

ب : اگر ترانسفورماتور بار اسمی را تغذیه کند نسبت دورها را بدست آورید .

این مساله را در دو حالت زیر حل کنید .

(۱ ــ الف) : اتصال Δ-Y

(۲ ــ ب) : اتصال Y-Δ

حل :

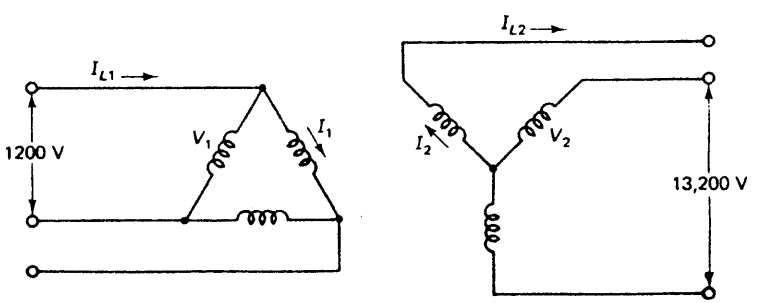
(۱ ــ الف) توان اسمی هر فاز اینچنین بدست‌می‌آید .

توان اسمی هر فاز = $\frac{۱۰۰}{۳}$ = ۳۳/۳۳۳ کیلو ولت‌آمپر

مداری مطابق شکل (۳۸ ــ ۷) رسم می‌کنیم . از رابطه (۴۹ ــ ۷) داریم :

$$I_{L1} = \frac{100.000\ \text{VA}}{\sqrt{3} \times 1200\ \text{V}} = 48.11\ \text{A}$$

$$I_{L2} = \frac{100.000\ \text{VA}}{\sqrt{3} \times 13,200\ \text{V}} = 4.37\ \text{A}$$



شکل ۳۸ ــ ۷ مدار مربوط به قسمت اول مثال ۲۶ ــ ۷

شکل (۳۸ ــ ۷) داریم :

POWEREN.IR

$$I_2 = I_{L2} = 4.37 \text{ A}$$

$$I_1 = \frac{I_{L1}}{\sqrt{3}} = \frac{48.11 \text{ A}}{\sqrt{3}} = 27.78 \text{ A}$$

$$V_1 = 1200 \text{ V}$$

$$V_2 = \frac{13{,}200 \text{ V}}{\sqrt{3}} = 7621 \text{ V}$$

نسبت دورها اینچنین است :

$$a = \frac{V_1}{V_2} = \frac{1200 \text{ V}}{7621 \text{ V}} = 0.16$$

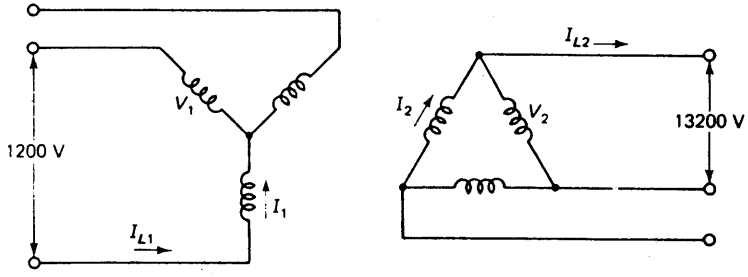
نسبت دورها در این حالت مانند مثال (۲۵ ــ ۷) دیگر مشابه نسبت ولتاژهای خطوط نمی‌باشد . (۲ ــ ب) : توان اسمی هر فاز به قرار زیر است :

$$\frac{100 \text{ kVA}}{3} = 33.33 \text{ kVA}$$

حال مداری مطابق شکل (۳۹ ــ ۷) رسم می‌کنیم . از رابطه (۴۹ ــ ۷) داریم .

$$I_{L1} = \frac{100{,}000 \text{ VA}}{\sqrt{3} \times 1200 \text{ V}} = 48.11 \text{ A}$$

$$I_{L2} = \frac{100{,}000 \text{ VA}}{\sqrt{3} \times 13{,}200 \text{ V}} = 4.37 \text{ A}$$



شکل ۳۹ ــ ۷ : مدار مربوط به قسمت دوم مثال ۲۶ ــ ۷

مشاهده میشوند که این جریانها مشابه جریانهای محاسبه شده در فرض (۱ ــ الف) است . از رابطه (۳۹ ــ ۷) داریم :

$$I_1 = I_{L1} = 48.11 \text{ A}$$

$$I_2 = \frac{I_{L2}}{\sqrt{3}} = \frac{4.37 \text{ A}}{\sqrt{3}} = 2.53 \text{ A}$$

$$V_2 = 13{,}200 \text{ V}$$

POWEREN.IR

POWEREN.IR

$$V_1 = \frac{1200\ \text{V}}{\sqrt{3}} = 692.8\ \text{V}$$

نسبت دورها اینچنین است :

$$a = \frac{V_1}{V_2} = \frac{692.8\ \text{V}}{13{,}200\ \text{V}}$$
$$= 0.0525$$

در اینجا نیز نسبت دورها مساوی نسبت ولتاژهای خطوط نمی‌باشد زیرا :

$$\frac{1200\ \text{V}}{13{,}200\ \text{V}} = 0.091$$

حال دوباره جوابهارا چک میکنیم

برای فرض (۱ ــ الف) داریم :

$$V_1 \times I_1 = 1200\ \text{V} \times 27.78\ \text{A} = 33.3\ \text{kVA}$$

برای فرض (۲ ــ ب) داریم :

$$V_1 \times I_1 = 692.8\ \text{V} \times 48.11\ \text{A} = 33.3\ \text{kVA}$$

با توجه به نتایج دومثال (۲۵ ــ ۷) و (۲۶ ــ ۷) میتوان چنین گفت :

۱ ــ در اتصال مثلث (Δ) کل‌ولتاژ خط بر دو سر سیم پیچها قرار میگیرد .

۲ ــ در اتصال ستاره (Y) ، ۵۷% ولتاژ خط ($1/\sqrt{3}$) بر دو سر سیم پیچها قرار می‌گیرد .

از دو بند فوق نتیجه میگیریم که در ترانسفورماتورهای فشار قوی با کیلو ولت آمپرنسبتا " پائین از اتصال Y-Y استفاده میشود واین اتصال بر اتصال Δ-Δ ترجیح دارد . زیرا اتصال Δ-Δ در فشار ضعیف با کیلو ولت آمپر نسبتا " بالا کاربرد دارد و بر اتصال **Y-Y** ارجح است .

۳ ــ جریان سیم پیچها در اتصال Δ معادل ۵۷% جریان خط بوده ولی در اتصال **Y-Y** جریان در سیم پیچها معادل جریان خط میباشد .

از بند ۳ نتیجه می‌گیریم که در کیلو ولت آمپرهای بالا بهتر است از ترکیبی از این دو اتصال استفاده شود (Δ-Y یا Y-Δ) . در نتیجه هزینه سیستم پائین می‌آید . از اتصال (Δ-Y) در ترانسفورماتورهای افزاینده (ابتدای خط انتقال انرژی) استفاده میشود و از اتصال (Y-Δ) در ترانسفورماتورهای کاهنده (انتهای خط انتقال انرژی) استفاده میگردد . علاوه بر مطالب فوق میتوان گفت که :

الف ــ در اتصال Y می‌توان به سیم خنثی (نول) دست یافت که خود مزیتی بشمار میرود .

POWEREN.IR

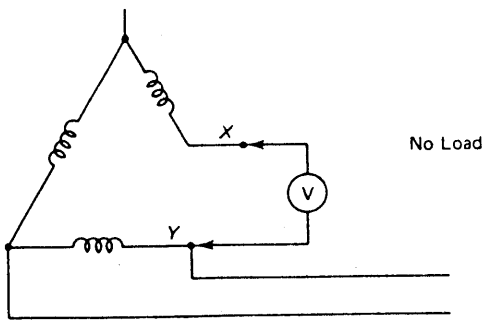
POWEREN.IR

ب ـ در اتصال Y در شرایط بی‌باری میتوان سیم پیچهای یک فاز را تعویض کرد زیرا از سیم پیچ‌ها در این اتصال در حالت بی‌باری جریان عبور نمی‌کند .

ج ـ در اتصال Δ چون یک مدار بسته وجود دارد ، ممکن است جریان در سیم پیچها در حالت بی‌باری وجود داشته باشد . بخصوص در موقعی که اتصال این سیم پیچ‌ها غلط باشد . برای تست کردن اتصال صحیح سیم پیچ‌ها در اتصال Δ آزمایشی مطابق شکل (۴۰ ـ ۷) ترتیب می‌دهیم . در این آزمایش قبل از اتصال نقاط X و Y ولتاژ بین این دو نقطه اندازه‌گیری میشود . اگر ولتمتر عدد صفر یا عدد نزدیک بصفر رانشان داد اتصال صحیح است . اگر اتصال غلط باشد ، ولتمتر عددی معادل ۲ برابر ولتاژ سیم پیچها را نشان میدهد . باید توجه کرد که این آزمایش در حالت بی‌باری صورت میگیرد .

د ـ یکی از مزایای اتصال Δ این است که حتی موقعیکه یکی از سیم پیچها خراب باشد ، میتوان از ترانسفورماتور بصورت مثلث باز [1] (V) استفاده کرد و به آن اتصال V گفته میشود .

البته باید گفت در اتصال V توان اسمی کاهش می‌یابد . مثلا " اگر دو ترانسفورماتور تک فاز ۱۰ کیلوولت آمپری را بصورت مثلث باز (V-V) مورد بهره برداری قرار می‌دهیم ، توان اسمی مجموعه فقط ۱۷/۳ کیلوولت آمپر خواهد بود و دیگر ۲۰ کیلو ولت آمپر نمی‌باشد . مثال زیر این مطلب را روشن میکند .



شکل ۴۰ ـ ۷ آزمایش جهت اتصال صحیح در سیم پیچ مثلث (Δ)

مثال ۲۷ ـ ۷ :

دو ترانسفورماتور تک فاز به مشخصات زیر مفروض‌اند :

نسبت ولتاژها = ۲۳۰/۶۶۰ ولت

POWEREN.IR

1) V-Connection=Open-Delta

POWEREN.IR

کیلوولت آمپر ۱۰ = توان اسمی

اگر این دو ترانسفورماتور بصورت مثلث باز بهم متصل شوند .

مطلوبست :

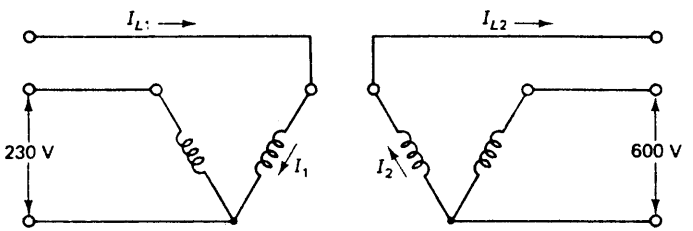
(الف) : جریانهای اسمی در اولیه و ثانویه

(ب) : کیلو ولت آمپر اسمی ترانسفورماتور حاصله

(ج) : اگر از ترانسفورماتورثالثی استفاده کنیم که مشابه دو ترانسفورماتور فوق باشد و اتصال Δ ایجاد می‌کنیم . کیلو ولت آمپر اسمی ترانسفورماتور را در این حالت بدست آورید .

حل :

مداری مطابق شکل (۴۱ ــ ۷) ترتیب میدهیم :



شکل ۴۱ ــ ۷ مدار مربوط به مثال ۲۷ ــ ۷

(الف) : از روابط (۱۸ ــ ۷) و (۱۹ ــ ۷) داریم :

$$I_1 = \frac{10{,}000\ \text{VA}}{230\ \text{V}} = 43.5\ \text{A}$$

$$I_2 = \frac{10{,}000\ \text{VA}}{600\ \text{V}} = 16.67\ \text{A}$$

از شکل (۴۱ ــ ۷) در می‌یابیم که جریانهای فوق با جریانهای خط مساویند

$$I_{L1} = I_1 = 43.5\ \text{A}$$

$$I_{L2} = I_2 = 16.67\ \text{A}$$

POWEREN.IR

(ب) : چون این ترانسفورماتور (V-V) بار سه فاز را تغذیه میکند لذا:

POWEREN.IR

$$P_a = \sqrt{3} \times 600\ V \times 16.67\ A$$
$$= 17{,}320\ VA = 17.32\ kVA$$

یعنی ۸۶٪ کل مجموع توان اسمی دو ترانسفورماتور تک فاز

$$\frac{17.32}{20} \times 100\% = 86.6\%$$

(ج) : اگر اتصال ترتیب دهیم در این صورت کیلو ولت آمپر اسمی اینچنین میگردد ،

$$3 \times 10\ kVA = 30\ kVA$$

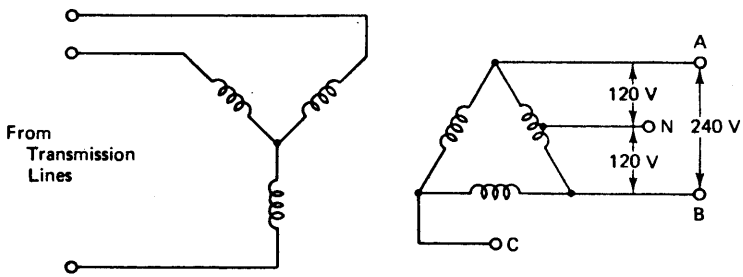
نتیجه آنکه با افزودن یک ترانسفورماتور ۱۰ کیلو ولت آمپری ظرفیت سیستم را ۱۲/۷ کیلو ولت آمپر افزایش داده‌ایم .

یکی دیگر از اتصالات متداول در کشور آمریکا اتصال Δ چهار سیمه میباشد (شکل ۴۲ ــ ۷) . معمولا" در خانه‌های کشور آمریکا سیمهای A ، B و N وارد خانه میشود و سیم N ازوسط سیم پیچ ثانویه ترانسفورماتور منشعب می‌گردد . لذا در خانه‌های امریکا دو نوع ولتاژ وجوددارد .

۱ ــ ولتاژ ۱۲۰ ولتی

۲ ــ ولتاژ ۲۴۰ ولتی

درکارخانجات صنعتی امریکا چهارسیم A ، B ، C و N وارد میگردد ،لذادرکارخانجات هم ولتاژتکفاز ۱۲۰ ولتی وجود دارد و هم ولتاژ سه‌فاز ۲۴۰ ولتی برای ماشین آلات فراهم میگردد .



شکل ۴۲ ــ ۷ اتصال Δ چهار سیمه

POWEREN.IR

SYMBOLS INTRODUCED IN CHAPTER 7

Symbol	Definition	Units: English and SI
V (۱)	Sinusoidal voltage	rms volts
I (۲)	Sinusoidal current	rms amps
V_m (۳)	Maximum or peak value of V	volts
I_m (۴)	Maximum or peak value of I	amperes
P_a (۵)	Apparent power	VA
P_w (۶)	Real power	W
P_r (۷)	Reactive power	var
PF (۸)	Power factor	—
f (۹)	Frequency of sinusoidal voltage	hertz
θ (۱۰)	Power factor angle	degrees
L (۱۱)	Inductance	henries
X_L (۱۲)	Inductive reactance	ohms
C (۱۳)	Capacitance	farads
X_C (۱۴)	Capacitive reactance	ohms
$\|Z\|$ (۱۵)	Magnitude of complex impedance	ohms
ϕ_1 (۱۶)	Primary winding leakage flux	lines or webers
ϕ_2 (۱۷)	Secondary winding leakage flux	lines or webers
ϕ_m (۱۸)	Peak value of mutual flux linking primary and secondary windings	lines or webers
N_1 (۱۹)	Number of turns on primary winding	—
N_2 (۲۰)	Number of turns on secondary winding	—
E_1 (۲۱)	Voltage applied to primary winding	volts
V_1 (۲۲)	Voltage induced in primary winding	volts
V_2 (۲۳)	Voltage induced in secondary winding	volts
a (۲۴)	Transformer turns ratio	—
I_1 (۲۵)	Primary current	amperes
I_2 (۲۶)	Secondary current	amperes
I_{1r} (۲۷)	Rated primary current	amperes
I_{2r} (۲۸)	Rated secondary current	amperes
V_{1r} (۲۹)	Rated primary voltage	volts
V_{2r} (۳۰)	Rated secondary voltage	volts
I_M (۳۱)	Primary-winding magnetizing current	amperes
I_c (۳۲)	Current providing core losses	amperes
I_P (۳۳)	Current supplying real power which is eventually delivered to a load	amperes
θ_0 (۳۴)	No-load power factor angle	degrees
Z_L (۳۵)	Complex load impedance	ohms
Z_R (۳۶)	Reflected impedance	ohms
Z_{RP} (۳۷)	Secondary impedance reflected to primary	ohms
Z_{RS} (۳۸)	Primary impedance reflected to secondary	ohms
Y_L (۳۹)	Load admittance	siemen (S)
Y_1 (۴۰)	Primary admittance	siemen
Y_{RP} (۴۱)	Secondary admittance reflected to primary	siemen
Y_{RS} (۴۲)	Primary admittance reflected to secondary	siemen
R_1 (۴۳)	Equivalent resistance of primary winding	ohms
R_2 (۴۴)	Equivalent resistance of secondary winding	ohms
X_1 (۴۵)	Equivalent reactance of primary winding	ohms

POWEREN.IR

POWEREN.IR

Symbol	Definition	Units: English and SI
X_2 (۴۶)	Equivalent reactance of secondary winding	ohms
Z_1 (۴۷)	Equivalent impedance of primary winding	ohms
Z_2 (۴۸)	Equivalent impedance of secondary winding	ohms
R_{e1} (۴۹)	Total transformer resistance looking into primary	ohms
R_{e2} (۵۰)	Total transformer resistance looking into secondary	ohms
X_{e1} (۵۱)	Total transformer reactance looking into primary	ohms
X_{e2} (۵۲)	Total transformer reactance looking into secondary	ohms
P_{Cu} (۵۳)	Transformer copper losses	watts
P_{core} (۵۴)	Transformer core losses	watts
V_L (۵۵)	Three-phase line-to-line voltage	volts
V_p (۵۶)	Three-phase line-to-neutral (or phase) voltage	volts
I_L (۵۷)	Three-phase line current	amperes
I_p (۵۸)	Three-phase "phase" current	amperes
R_{eq} (۵۹)	Equivalent resistance of a three-phase load	ohms
I_{L1} (۶۰)	Primary-side line current of a three-phase transformer	amperes
I_{L2} (۶۱)	Secondary-side line current of a three-phase transformer	amperes

(علائم بکار برده شده در فصل هفتم)

۱ ــ ولتاژ سنیوسی

۲ ــ جریان سنیوسی

۳ ــ حداکثر یا ماکزیمم ولتاژ

۴ ــ حداکثر یا ماکزیمم جریان

۵ ــ توان ظاهری

۶ ــ توان حقیقی (اکتیو)

۷ ــ توان راکتیو

۸ ــ ضریب توان

۹ ــ فرکانس ولتاژ سنیوسی

۱۰ ــ زاویه ضریب توان

۱۱ ــ اندوکتانس

۱۲ ــ راکتانس اندوکتیو

۱۳ ــ ظرفیت خازن یا کاپالیتانس

POWEREN.IR

POWEREN.IR

۱۴ ــ راکتانس کاپاستیو
۱۵ ــ مقدار امپدانس مختلط
۱۶ ــ شارنشتی در سیم پیچ اولیه
۱۷ ــ شارنشتی در سیم پیچ ثانویه
۱۸ ــ مقدار ماکزیمم شار متقابل
۱۹ ــ تعداد دور سیم پیچ اولیه
۲۰ ــ تعداد دور سیم پیچ‌ثانویه
۲۱ ــ ولتاژ اعمال شده به‌اولیه
۲۲ ــ ولتاژ القاء شده در اولیه
۲۳ ــ ولتاژ القاء شده در ثانویه
۲۴ ــ نسبت دورها (نسبت تبدیل ترانسفورماتورها)
۲۵ ــ جریان اولیه
۲۶ ــ جریان ثانویه
۲۷ ــ جریان اسمی اولیه
۲۸ ــ جریان اسمی ثانویه
۲۹ ــ ولتاژ اسمی اولیه
۳۰ ــ ولتاژ اسمی ثانویه
۳۱ ــ جریان مغناطیس شوندگی در اولیه
۳۲ ــ جریان مربوط به تلفات هسته
۳۳ ــ جریان تغذیه کننده ترانسفورماتور مربوط به توان حقیقی
۳۴ ــ زاویه ضریب توان در بی‌باری
۳۵ ــ امپدانس مصرف کننده با بار (عددی مختلط)
۳۶ ــ امپدانس بازتاب داده شده
۳۷ ــ امپدانس ثانویه که به طرف اولیه منتقل شده است
۳۸ ــ امپدانس اولیه که به طرف ثانویه منتقل شده است
۳۹ ــ ادمیتانس مصرف کننده (بار)
۴۰ ــ ادمیتانس اولیه
۴۱ ــ ادمیتانس ثانویه که به طرف اولیه منتقل شده است
۴۲ ــ امپدانس اولیه که به طرف ثانویه منتقل شده است
۴۳ ــ مقاومت معادل سیم پیچ اولیه
۴۴ ــ مقاومت معادل سیم پیچ ثانویه

POWEREN.IR

۴۵ ــ راکتانس معادل سیم پیچ اولیه
۴۶ ــ راکتانس معادل در سیم پیچ ثانویه
۴۷ ــ امپدانس معادل در سیم پیچ اولیه
۴۸ ــ امپدانس معادل در سیم پیچ ثانویه
۴۹ ــ کل مقاومت ترانسفورماتور از دید اولیه
۵۰ ــ کل مقاومت ترانسفورماتور از دید ثانویه
۵۱ ــ کل راکتانس ترانسفورماتور از دید اولیه
۵۲ ــ کل راکتانس ترانسفورماتور از دید ثانویه
۵۳ ــ تلفات مسی در ترانسفورماتور
۵۴ ــ تلفات هسته در ترانسفورماتور
۵۵ ــ ولتاژ سه فاز (خط ــ خط)
۵۶ ــ ولتاژ سه فاز (خط ــ نول)
۵۷ ــ جریان سه فاز (جریان خط)
۵۸ ــ جریان سه فاز (جریان فاز)
۵۹ ــ مقاومت معادل در بار سه فاز
۶۰ ــ جریان اولیه در ترانسفورماتور سه فاز (جریان خط)
۶۱ ــ جریان ثانویه در ترانسفورماتور سه فاز (جریان خط)

POWEREN.IR

POWEREN.IR

فصل هشتم

ژنراتور سنکرون

THE SYNCHRONOUS ALTERNATOR

۳۰ صفحه

POWEREN.IR

PowerEn.ir

POWEREN.IR

POWEREN.IR

فصل هشتم
ژنراتور سنکرون

مقدمه:

در فصل ۲ (جلد اول) هنگام بررسی قانون فاراده‌دریافتیم که اگر یک هادی درون یک میدان مغناطیسی حرکت کند و خطوط شار را قطع کند در این صورت در هادی مذکور ولتاژ القاء میگردد. حال اگر هادی‌را ساکن نگهداریم و میدان را بحرکت درآوریم بطوریکه دوبار خطوط شار هادی را قطع نماید در این صورت نیز در هادی‌ولتاژ القاء میگردد. در این فصل خواهیم دید که ژنراتور سنکرون بر اساس همین اصل کار میکند (میدان مغناطیسی متحرک) و در خواهیم یافت‌که‌ولتاژی بمراتب بیشتر نسبت به‌ژنراتور DC ایجاد میگردد. با توجه به نکات فوق نتیجه میشود که در ژنراتورهای سنکرون (۱) به حلقه‌های لغزان (۲) و جاروبک (۳) نیاز نداریم.

۱ ــ ۸ ــ ساختمان ژنراتور سنکرون: 8-1 BASIC CONSTRUCTION

ژنراتور سنکرون از دو قسمت اساسی تشکیل شده است:

الف: قسمت دوار که به آن رتور (۴) میگویند.

ب: قسمت ساکن که به آن استاتور (۵) اتلاق میگردد.

باید گفت‌که برخلاف ژنراتور DC در ژنراتور سنکرون رتور میدان مغناطیسی را بوجود می‌آورد و با چرخش محور ژنراتور این میدان بحرکت درمی‌آید. استاتور دراینگونه ژنراتورها حاوی سیم پیچ‌های ساکنی است که میتواند مصرف کننده را تغذیه نماید (شبیه آرمیچر در ژنراتورهای DC). شکل (۱ــ۸) شمای ساده یک ژنراتور دو قطبی تک فاز را نشان میدهد.

---

1) Synchronous-Generator
2) Slip-Rings 3) Brushes
4) Rotor 5) Stator

POWEREN.IR

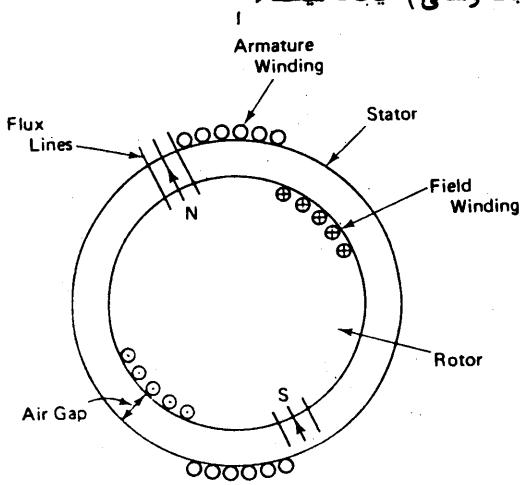
POWEREN.IR

در ژنراتورهای سنکرون سیم پیچ تحریک که موجب میدان مغناطیسی است بر روی شیارهائی در رتور جاسازی میگردد. باید گفت‌که سیم پیچی تحریک در ژنراتور سنکرون توسط یک منبع ولتاژDC قابل تنظیم بنام تحریک کننده(۱) یا اکسایتر تغذیه میشود و با کنترل و تنظیم ولتاژ اکسایتر میتوان ولتاژ تولید شده در ترمینالهای ژنراتور سنکرون را کنترل و تنظیم نمود. اکسایترها بر دو نوع‌اند:

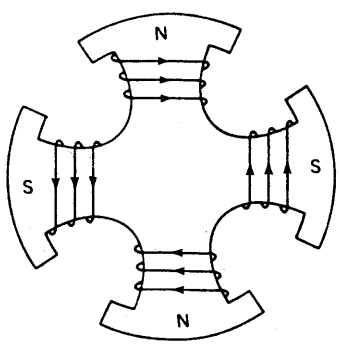
الف: اکسایتر از نوع الکترونیکی

ب: اکسایتر از نوع ژنراتور DC که‌بر روی محور ژنراتور سنکرون نصب میگردد.

رتورنشان داده‌شده‌در شکل (۱ ــ ۸) از نوع رتور صاف(۲) یا استوانه‌ای بوده و همانطور که از شکل پیداست این رتور دو قطبی است زیرا سیم پیچ تحریک دو قطب شمال و جنوب (مثبت ومنفی) ایجاد میکند.



شکل ۱ ــ ۸: شمای یک ژنراتور دو قطبی تکفاز با قطبهای صاف یا استوانه‌ای



شکل ۲ ــ ۸: شمای یک‌رتور ۴ قطبی از نوع قطب بر جسته

POWEREN.IR

1) Exciter 2) Round Rotor

معمولا " رتور صاف (استوانه‌ای) برای ماشینهای دو قطبی بکار میروند ودر سرعتهای زیاد از اینگونه رتورها استفاده میشود ، در ژنراتورهائی که بیش از دو قطب دارند معمولا " از رتورهای با قطب برجسته [1] استفاده میکنند (شکل ۲ – ۸) .

سیم پیچهای استاتور درون شیارهای [2] بدنه (قسمت ساکن) ماشین جاسازی میشوند ، با چرخش میدان مغناطیسی حاصله از رتور ، خطوط شارهادیهای استاتور را قطع میکنند واین هادیها معمولا " طوری در محیط استاتور توزیع شده‌اند تا ولتاژی سینوسی در آنها القاء گردد . با توجه بشکل (۱ – ۸) میتوان گفت که اگر رتور یک دور کامل بزند (۳۶۰ درجه مکانیکی) یک سیکل کامل از ولتاژ سینوسی (ولتاژ AC) در سیم پیچ استاتور القاء میگردد (۳۶۰ درجه الکتریکی) . باید توجه کرد که چون در شکل (۱ – ۸) سیم پیچ استاتور تک فاز است فقط یک ولتاژ AC پدیدار میگردد ، حال اگر در شکل (۱ – ۸) بجای رتور دو قطبی از رتور چهار قطبی استفاده میکردیم باز هم ولتاژ تک‌فاز AC تولید می‌شد ، اما در اینحالت هرگاه رتور یک دور کامل بزند (۳۶۰ درجه مکانیکی) در این صورت دو سیکل از ولتاژ سینوسی حاصل میشود (۷۲۰ درجه الکتریکی) .

۲ – ۸ رابطه مربوط به فرکانس در ژنراتور سنکرون :

8-2 FREQUENCY RELATIONSHIP

از مطالب بخش قبل در می‌یابیم که فرکانس ولتاژ تولید شده تابع عوامل زیر است :

الف : تعداد قطبها

ب : سرعت رتور

همچنین میتوان گفت که اگر رتور دو قطبی با سرعت ۱ دور در دقیقه بچرخد فرکانس ولتاژ تولید شده یک هرتز خواهد بود ، لذا رابطه کلی بقرار زیر است :

$$f(\text{Hz}) = \frac{\text{number of poles}}{2} \times \frac{\text{rev}}{\text{s}} \qquad (8\text{-}1)$$

بنابراین میتوان رابطه اخیر را برای دو سیستم آحادی مختلف اینچنین نوشت .

در سیستم ENG داریم :

$$f = \frac{SP}{120} \qquad (8\text{-}2a)$$

در سیستم SI داریم :

$$f = \frac{\omega P}{4\pi} \qquad (8\text{-}2b)$$

1) Salient-Pole-Rotor 2) Slots

POWEREN.IR

POWEREN.IR

در این روابط داریم :

p : تعداد قطبها

f : فرکانس (برحسب هرتز)

s : سرعت رتور بر حسب دور در دقیقه

W : سرعت رتور بر حسب رادیان بر ثانیه

مثال ۱ ــ ۸ (سیستم ENG) :

میخواهیم فرکانس ولتاژ ژنراتور سنکرونی ۶۰ هرتز باشد .

الف : اگر رتور این ماشین چهار قطبی باشد ، محور ژنراتور را با چه سرعتی بچرخانیم (سرعت رتور) .

ب : اگر سرعت رتور (محور ژنراتور) ۶۰۰ دور در دقیقه باشد ، ژنراتور باید چند قطبی اختیار شود .

حل :

الف : با استفاده از رابطه (a ۲ ــ ۸) داریم :

$$S = 120 \times \frac{60\ \text{Hz}}{4\ \text{poles}}$$

$$= 1800\ \text{rev/min}$$

ب : با استفاده از رابطه (a ۲ ــ ۸) داریم :

$$\mathbf{P} = 120\frac{f}{s}$$

$$\mathbf{P} = 120 \times \frac{60\ \text{Hz}}{600\ \text{rev/min}} = 12\ \text{poles}$$

مثال ۲ ــ ۸ (سیستم SI) :

میخواهیم فرکانس ولتاژ سنکرونی ۵۰ هرتز باشد :

الف : محور ژنراتور (رتور) را با چه سرعتی باید بچرخانیم .

ب : اگر سرعت رتور (محور ژنراتور) ۸۰ رادیان بر ثانیه باشد ، رتور چند قطبی باید اختیار شود .

حل :

الف : از رابطه (b ۲ ــ ۸) داریم :

$$\omega = 4 \times \pi \times \frac{50\ \text{Hz}}{6\ \text{poles}} = 104.7\ \text{rad s}$$

POWEREN.IR

ب : با استفاده از رابطه (b ۲ ـ ۸) داریم :

$$P = \frac{4\pi f}{\omega}$$

$$= \frac{4 \times \pi \times 50 \text{ Hz}}{80 \text{ rad/s}} = 7.85 \text{ poles}$$

چون تعداد قطبها همواره عددی زوج میباشد لذا باید ژنراتور ۸ قطبی اختیار شود ، در نتیجه باید سرعت را تغییر دهیم تا فرکانس ۵۰ هرتز بدست آید . برای این منظور از رابطه (b ۲ ـ ۸) استفاده میکنیم :

۳ ـ ۸ ولتاژ تولید شده در سیم پیچهای استاتور 8-3 THE GENERATED VOLTAGE

ولتاژ تولید شده در سیم پیچهای استاتور مربوط به ژنراتور سنکرون (شکل ۱ ـ ۸) ، به عوامل زیر بستگی دارد .

الف : P (تعداد قطبها)

ب : ϕ (شار هر قطب)

ج : Z (تعداد هادیها در سیم پیچ استاتور) (۱)

باید توجه کرد که گاهی اوقات به سیم پیچهای استاتور لفظ سیم پیچهای آرمیچر نیز اتلاق میگردد ، با توجه به رابطه (۲ ـ ۲) (جلد اول) میتوان روابط زیر را بدست آورد :

در سیستم ENG داریم :

$$E_p = 0.0185 z\phi PS \times 10^{-8} \qquad \text{(8-3a)}$$

در سیستم SI داریم :

$$E_p = \frac{1.11 z\phi P\omega}{2\pi} \qquad \text{(8-3b)}$$

در روابط اخیر کمیتها بقرار زیراند :

الف : E_p ولتاژ موثر (rms) تولید شده برای سیم پیچ تکفاز استاتور میباشد (شکل ۱ ـ ۸) .

ب : S و ω سرعت دوران رتور در نظر گرفته شده‌اند .

با جایگزینی روابط (۲ ـ ۸) در معادلات (۳ ـ ۸) میتوان چنین نوشت :

در سیستم ENG داریم :

$$E_p = 2.22 z\phi f \times 10^{-8} \qquad \text{(8-4a)}$$

1) Stator-Winding

POWEREN.IR

POWEREN.IR

در سیستم SI داریم :

$$E_p = 2.22z\phi f \qquad (8\text{-}4b)$$

مثال ۳ ــ ۸ (سیستم ENG) :

در یک هواپیما ژنراتور تکفازی وجود دارد که فرکانس ۴۰۰ هرتز ایجاد میکند . سیم پیچ استاتور (آرمیچر) این ژنراتور شامل ۱۰۰ دور میباشد (۲۰۰ عدد هادی) . اگر بخواهیم ولتاژ موثری معادل ۶۰ولت تولید شود . شار هر قطب در این ژنراتور رابیابید .

حل :

از رابطه (۴ ــ ۸ a) داریم

$$\phi = \frac{E_p}{2.22zf \times 10^{-8}}$$

$$= \frac{60}{2.22 \times 200 \times 400 \times 10^{-8}}$$

$$= 33{,}784 \text{ lines} \approx 33.78 \text{ kilolines}$$

مثال ۴ ــ ۸ (سیستم SI) :

در یک هواپیما ژنراتور تکفازی وجود دارد که فرکانس ۴۰۰ هرتز ایجاد میکند سیم پیچ استاتور این ژنراتور شامل ۱۲۰ دور میباشد (۲۴۰ عدد هادی) . اگر بخواهیم ولتاژ موثری معادل ۵۴ ولت ایجادشود ، شار هر قطب در این ژنراتور را بیابید .

حل :

از رابطه (۴b ــ ۸) داریم :

$$\phi = \frac{E_p}{2.22zf}$$

$$= \frac{54}{2.22 \times 240 \times 400}$$

$$= 0.253 \times 10^{-3} \text{ Wb}$$

۴ ــ ۸ ژنراتور سنکرون سه فاز : 8-4 THE THREE-PHASE ALTERNATOR

امروزه ژنراتورهای سنکرون سه فاز از مقبولیت خاصی برخوردارند . شکل (۳ ــ ۸) شمای ساده اینگونه ژنراتورها را نشان میدهد . همانطور که می‌بینیم استاتور شامل سه سیم پیچ جداگانه است و در هر یک از این سیم پیچها ولتاژ AC القاء میگردد . از آنجائیکه سیم پیچهای A ، B ، C حاوی تعداد مشابهی هادی (z) میباشند ، لذا مقدار ولتاژ تولید شده در این سه سیم پیچ یکسان خواهد بود . اما چون سه سیم پیچ نسبت به

POWEREN.IR

یکدیگر بر روی محیط استاتور ۱۲۰ درجه فاصله دارند ، لذا ولتاژهای تولید شده در این سه سیم پیچ نیز بایکدیگر ۱۲۰ درجه اختلاف فاز خواهند داشت .(مشابه شکل ۲۹ ـ ۷).

حال دوباره وضعیت نشان داده شده در شکل (۳ ـ ۸) را مورد توجه قرار میدهیم :

الف : در وضعیت نشان داده شده در شکل (۳ ـ ۸) حداکثر ولتاژ در سیم پیچ A تولید میشود و A نسبت A) مثبت است . این مطلب را میتوان به سهولت از رابطه فلمینگ (جلد اول) دریافت .

ب : اگر رتور ۱۲۰ درجه نسبت به وضعیت قبلی بچرخد در این صورت حداکثر ولتاژ در سیم پیچ C تولید میشود و C نسبت به C' مثبت خواهد بود .

ج : اگر رتور ۱۲۰ درجه دیگر بچرخد در این صورت حداکثر ولتاژ در سیم پیچ B حاصل میگردد و B نسبت به B' مثبت میشود .

د : اگر رتور ۱۲۰ درجه دیگر بچرخد دوباره وضعیت اول حاصل میگردد و ولتاژها سیکلهائی مشابه بندهای " الف " و "ب" و "ج" را طی خواهند کرد .

در شکل (۳ـ۸) با توجه به جهت چرخش، توالی فازها ACB بوده و اگر جهت چرخش را عوض کنیم توالی فازها ABC میگردد .

۱ ـ ۴ ـ ۸ طرز اتصال سیم پیچهای استاتور : 8-4.1 Alternator Connections

اگر سیم پیچهای سه فاز استاتور را بطرق مختلف بیکدیگر مربوط سازیم ، مشخصه‌های مختلفی برای ژنراتور حاصل میگردد .

الف : اگر در شکل (۳ ـ ۸) سرهای A' ، B' و C' در داخل ماشین بهم وصل شوند و سرهای A ، B و C بخارج ماشین برده شوند و ترمینالهای ماشین را تشکیل دهند در این صورت اتصال سیم پیچهای استاتور از نوع ستاره (Y) خواهد بود (شکل a ۴ ـ ۸) .

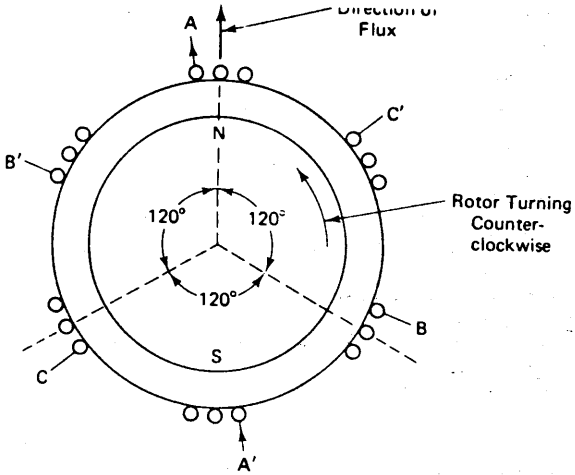
ب : اگر سرهای A' به C ، C' به B و B' به A در درون ماشین بهم وصل شوند در این صورت نوع اتصال سیم پیچها مثلث (Δ) خواهد بود . البته سرهای A ، B و C به خارج ماشین برده میشوند تا ترمینالهای ماشین را تشکیل دهند . (شکل ۴b ـ ۸)

در شکل (a ۴ ـ ۸) ولتاژ ترمینال ژنراتور (V_t) معادل $\sqrt{3} \times E_p$ خواهد بود و جریان خط با جریان سیم پیچهای استاتور برابر میگردد . در شکل (b ۴ ـ ۸) ولتاژ ترمینال (V_t) معادل E_p بوده و جریان خط $\sqrt{3}$ برابر جریان سیم پیچهای استاتور میگردد . اما باید گفت که در هر دو حالت توان ظاهری (kVA) تولید شده توسط ژنراتور مفروض یکسان خواهد بود .

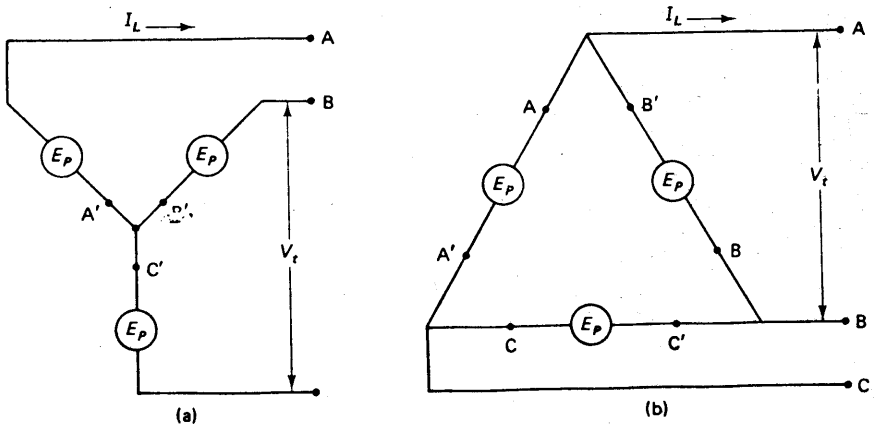
در نتیجه اگر بخواهیم ژنراتوری توان ظاهری مفروض را تحت ولتاژ زیاد و جریان

POWEREN.IR

کم تولید نماید باید از اتصال ستاره (Y) استفاده‌شود . اگر ژنراتور مزبور به صورت مثلث (Δ) مورد بهره‌برداری‌قراردهیم توان ظاهری مشابه حالت ستاره تولید میکند ، اما این‌بار این توان تحت ولتاژ کم و جریان زیاد حاصل میگردد .



شکل ۳ ــ ۸ : شمای یک ژنراتور سنکرون سه فاز



شکل ۴ ــ ۸ : طرز اتصال سیم پیچهای استاتور

a: ژنراتور سنکرون سه فاز با اتصال ستاره

b: ژنراتور سنکرون سه فاز با اتصال مثلث

POWEREN.IR

POWEREN.IR

۲ ـ ۴ ـ ۸ مقادیر اسمی ژنراتور سنکرون سه فاز: 8-4.2 Alternator Ratings

مانند ترانسفورماتورهای سه فاز برای ژنراتورهای سنکرون سه فاز نیز مقادیر اسمی تعریف میشود:

الف: ولتاژ اسمی ترمینال

ب: توان ظاهری اسمی

ج: سرعت اسمی

حال قدری درباره کمیتهای فوق توضیح می‌دهیم.

الف: ولتاژ اسمی ژنراتور، ولتاژ "خط ـ خط" در ترمینال ماشین هنگام تحویل توان اسمی (kVA) میباشد.

ب: توان اسمی ژنراتور آن مقدار توانی است (بر حسب kVA) که می‌تواند تحت ولتاژ اسمی بدون دردسر تحویل مصرف کننده بدهد.

با توجه به نکات فوق هرگاه ژنراتور سنکرون توان اسمی خود را تحت ولتاژ اسمی تحویل دهد، جریان خط در ژنراتور همان جریان اسمی خواهد بود و آنرا میتوان از رابطه (۴۹ ـ ۷) بدست آورد. مثلا "اگر بر روی پلاک ژنراتوری اعداد ۱۰ kVA و ۲۰۸V بچشم بخورد، به مفهوم آن است که این ژنراتور میتواند توان ظاهری سه فازی معادل ۱۰ KVA را تحت ولتاژ ۲۰۸ ولت (خط ـ خط) تحویل مصرف کننده بدهد. باید گفت که در شرایط بی‌باری جریان خط و توان ظاهری تحویلی به بار صفر میباشد. در این حالت ولتاژ ترمینال بیش از ۲۰۸ ولت (خط ـ خط) خواهد بود. در این‌باره در بخش (۶ ـ ۸) بیشتر صحبت میکنیم. در خاتمه باید گفت که سرعت اسمی ژنراتور آنچنان سرعتی است که باید رتور تحت آن چرخانده شود تا فرکانس مطلوب، ولتاژ اسمی و توان ظاهری اسمی بخوبی حاصل شوند.

8-5 ALTERNATOR EQUIVALENT CIRCUIT

۵ ـ ۸ مدار معادل ژنراتور سنکرون سه فاز:

همانطورکه میدانیم سیم پیچ‌های استاتور درون شیارهائی در بدنه ماشین جاسازی شده‌اند، لذا دارای مقاومت و اندوکتانس میباشند. در نتیجه بنظر میرسد که مدار معادل هر فاز (۱) استاتور شبیه شکل (۵ ـ ۸) باشد و با توجه به شکل میتوان چنین گفت:

الف: r_p مقاومت هر فازسیم پیچ‌های استاتور است.

ب: x_p راکتانس سنکرون (۲) هر فاز سیم پیچ‌های استاتور نامیده میشود.

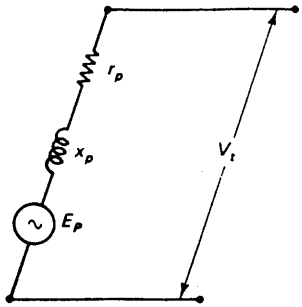
چون اکثر ژنراتورها جریان زیادی را تحویل مصرف کننده‌ها میدهد، لذا سیم پیچ‌های

1) Perphase, Equivalent, Circuit
2) Synchronous, Reactance

POWEREN.IR

استاتور ضخیم انتخاب میشوند در نتیجه x_p بمراتب از r_p بزرگتر است معمولاً x_p حدود ۱۰ برابر r_p میباشد. امپدانس سنکرون ژنراتور (۱) اینچنین تعریف میشود:

$$Z_s = \sqrt{r_p^2 + x_p^2} \qquad (8\text{-}5)$$

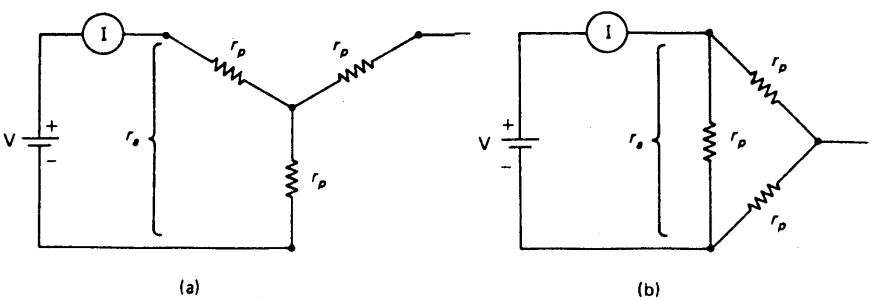


شکل ۵ ــ ۸. مدار معادل مربوط به هر فاز استاتور در ژنراتور سنکرون سه فاز

8-5.1 Resistance Measurement

۱ ــ ۵ ــ ۸ اندازه‌گیری مقاومت سیم پیچهای استاتور:

مقاومت هر فاز استاتور را معمولاً توسط اعمال ولتاژ DC به ترمینالهای ماشین اندازه‌گیری میکنند. شکلهای (a ۶ ــ ۸) و (b ۶ ــ ۸) مدار این آزمایش را برای اتصالهای ستاره و مثلث (Y و Δ) نشان میدهد.



شکل ۶ ــ ۸: مدارهای مربوط به آزمایش تعیین مقاومت هر فاز استاتور در ژنراتورهای سنکرون سه فاز

a: اتصال ستاره Y b: اتصال مثلث Δ

1) Synchronous-Impedance

در شکلهای (a ۶ – ۸) و (b ۶ – ۸) از تقسیم V بر I مقاومت r_a حاصل میگردد. بسهولت برای دو نوع اتصال داریم:

$$\left.\begin{aligned} \text{Y connection:} \quad r'_p &= \frac{r_a}{2} \\ \Delta \text{ connection:} \quad r'_p &= \frac{3r_a}{2} \end{aligned}\right\} \qquad (8\text{-}6)$$

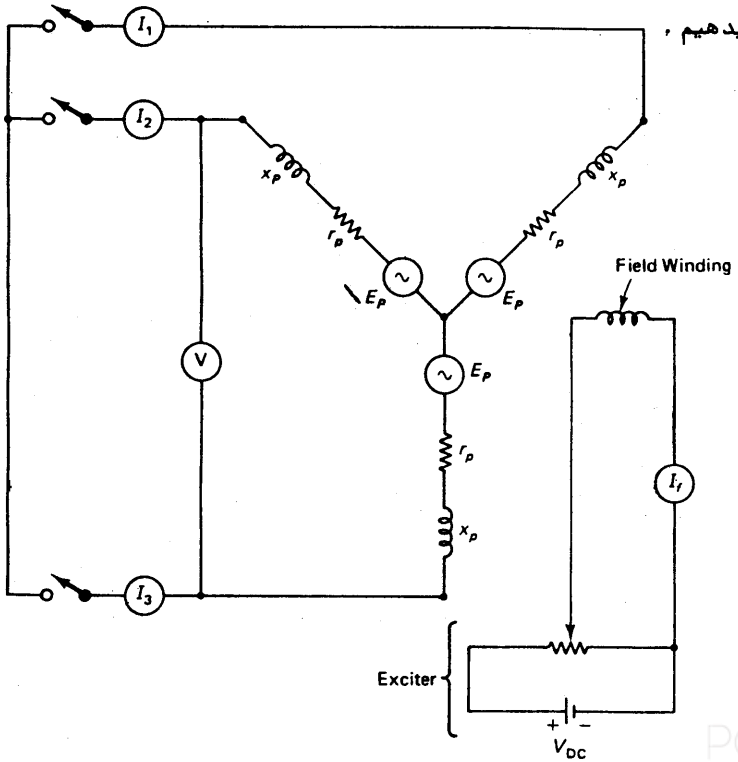
r'_p مقاومت DC هر فاز سیم پیچهای استاتور میباشد. مقاومت موثر یا مقاومت AC سیم پیچهای استاتور (r_p) اینچنین بدست می‌آید.

$$r_p = 1.4r'_p \qquad (8\text{-}7)$$

اثبات رابطه اخیر از حوصله کتاب خارج است.

۲ – ۵ – اندازه‌گیری راکتانس سنکرون: 8-5.2 Reactance Measurement

برای اندازه‌گیری راکتانس سنکرون از دو آزمایش استفاده میشود و مدار معادل این دو آزمایش در شکل (۷ – ۸) رسم شده است. این آزمایش برای دو اتصال ستاره یا مثلث (Y یا Δ) صادق است ولی ما در اینجا فقط حالت ستاره (Y) را مورد بررسی قرار میدهیم.



شکل ۷ – ۸: مدار مربوط به آزمایش تعیین امپدانس سنکرون در ژنراتورهای سنکرون سه فاز

در اولین آزمایش که به آزمایش اتصال کوتاه (۱) معروف است ، ژنراتور را با سرعت اسمی میچرخانیم وجریان تحریک (۲) را در ابتدا صفر میکنیم ($I_f = 0$) . حال تمامی کلیدها را می‌بندیم (اتصال کوتاه برقرار میشود) وآرام آرام جریان تحریک (I_f) را زیاد میکنیم تا اینکه سه آمپرمتر جریان اسمی ژنراتوررا نشان میدهند . حال I_f ، I_1 ، I_2 و I_3 را یادداشت میکنیم . جریانهای آمپر مترها نمایانگر جریان اتصال کوتاه استاتوراست که در این آزمایش معادل جریان اسمی خواهند بود . چون اتصال استاتور از نوع ستاره است (Y) لذا جریان امپر مترهامعادل جریان اسمی هر فاز استاتور خواهد بود (چرا؟) . ما در اینجا این جریان رابا I_{sc} نشان میدهیم :

جریان اسمی = جریان اتصال کوتاه = I_{sc}

در آزمایش دوم که به آزمایش مدار باز (۳) (بی‌باری) موسوم است کلیدها را باز میکنیم و ژنراتور را تحت سرعت اسمی میچرخانیم . جریان تحریک (I_f) را آنقدر زیاد میکنیم تا به مقدار یادداشت شده در تست اول برسد . حال ولتاژ نشان داده شده در ولتمتر میخوانیم (V) . این ولتاژ $\sqrt{3}$ برابرولتاژتولید شده در هر فاز ژنراتور است . لذاولتاژ خوانده شده توسط ولتمتر را بر $\sqrt{3}$ تقسیم میکنیم تا ولتاژ تولید شده در هر فاز ژنراتور (F_p) بدست آید . این عدد را با V_{oc} نشان میدهیم .

به سادگی در می‌یابیم که :

$$Z_s = \frac{V_{oc}}{I_{sc}} \qquad (8\text{-}8)$$

اثبات رابطه اخیر بعهده دانشجویان است :

اما میدانیم مقاومت از رابطه (۷ ــ ۸) بدست می‌آید . لذابا استفاده از روابط (۷ ــ ۸) و (۸ ــ ۸) داریم :

$$x_p = \sqrt{Z_s^2 - r_p^2} \qquad (8\text{-}9)$$

مثال ۵ ــ ۸ :

یک ژنراتور سنکرون سه فاز با مشخصات زیر مفروض است :

توان اسمی = ۵۰ کیلو ولت آمپر

ولتاژ اسمی ترمینال = ۲۲۰ ولت

1) Short-Circuit-Test 2) Field-Current

3) Open-Circuit-Test

POWEREN.IR

هرتز ۶۰ = فرکانس اسمی

ستاره Y = نحوه اتصال سیم پیچهای استاتور

این ژنراتور را مطابق شکلهای (۶ a – ۸) و(۷ – ۸) مورد آزمایش قرار میدهیم نتایج این آزمایشها به قرار زیر است:

$I = ۲۲\ A$ ولت $V = 2$: تست مربوط به مقاومت (شکل ۶ a – ۸)

$I_f = ۲۲\ A$ جریان اسمی = $I_1 = I_2 = I_3 = I_{sc}$: تست اتصال کوتاه

$I_g = ۲۲\ A$ ولت $V = ۹۵$: تست مدار باز (شکل ۷ – ۸)

مطلوبست محاسبه r_p ، x_p و Z_s برای این ژنراتور.

حل:

با توجه به شکل (۶a – ۸) در می‌یابیم که:

$$r_a = \frac{V}{I} = \frac{2\ V}{22\ A} = 0.091\ \Omega$$

$$r'_p = \frac{0.091\ \Omega}{2} = 0.045\ \Omega$$

با توجه به رابطه (۷ – ۸) میتوان مقاومت موءثر هر فاز را اینچنین حساب کرد:

$$r_p = 1.4 \times 0.045\ \Omega = 0.064\ \Omega$$

با توجه به نتایج تست مدار باز (بی‌بار) میتوان ولتاژ مدار باز هر فاز (V_{oc}) را حساب کرد:

$$V_{oc} = \frac{95\ V}{\sqrt{3}} = 54.8\ V$$

در تست اتصال کوتاه، جریان اتصال کوتاه (I_{sc}) همان جریان اسمی خط میباشد و چون اتصال استاتور ستاره (Y) میباشد، لذا جریان فاز و جریان خط با هم برابراند. در نتیجه از رابطه (۴۹ – ۷) داریم:

$$I_{sc} = \frac{50{,}000\ VA}{\sqrt{3} \times 220\ V}$$

$$= 131.22\ A$$

از رابطه (۸ – ۸) میتوان Z_s را بدست آورد.

$$Z_s = \frac{54.8\ V}{131.22\ A} = 0.42\ \Omega$$

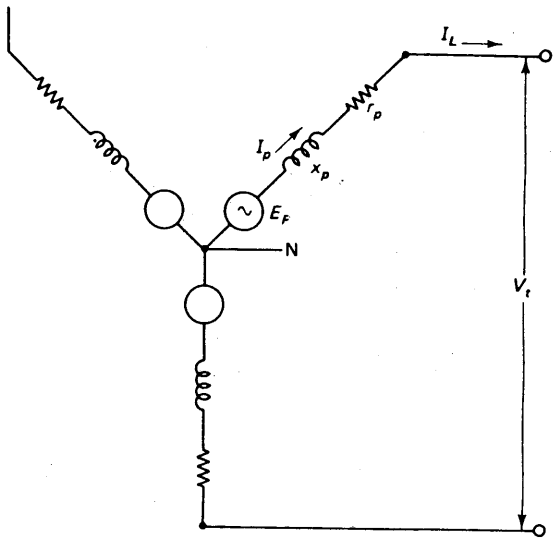
بالاخره از رابطه (۹ – ۸) میتوان x_p را که همان راکتانس موثر فاز میباشد بدست آورد:

POWEREN.IR

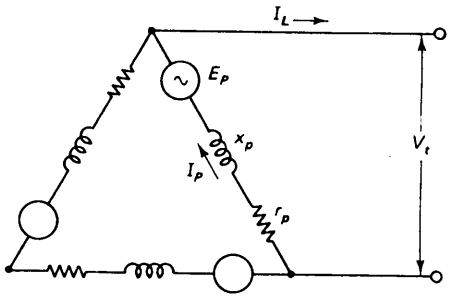
POWEREN.IR

$$x_p = \sqrt{(0.42)^2 - (0.064)^2}$$
$$= 0.419 \approx 0.42\ \Omega$$

باید گفت که x_p بمراتب از r_p بزرگتر است وقسمت اعظم Z_s راهمان x_p تشکیل میدهد .



(a)



(b)

شکل ۸ ــ ۸ : شمای دو اتصال متداول برای استاتور ژنراتور سنکرون سه فاز
a : اتصال ستاره Y b : اتصال مثلث Δ

۶ ــ ۸ تنظیم ولتاژ: 8-6 VOLTAGE REGULATION

در بخش (۵ ــ ۸) مدار معادل ژنراتور سنکرون را معرفی کردیم و دیدیم که این مدار معادل شباهتی چند با مدار معادل ترانسفورماتور (فصل ۷) دارد ، لذا براحتی

POWEREN.IR

میتوان تنظیم ولتاژ در ژنراتور را تخمین زد . با توجه به این نکات میتوان با استفاده از رابطه (۳۷ ــ ۷) تنظیم ولتاژ ژنراتور را ارزیابی نمود . اما نکته‌ای که باید به آن توجه کرد آن است که نباید ولتاژ خط و ولتاژ فاز باعث سردرگمی ما گردد . از آنجائیکه مدار معادل معرفی شده و مربوط به هر فاز ژنراتور است ، ما نیز از کمیتهای مربوط به فاز برای ارزیابی تنظیم ولتاژ استفاده میکنیم . شکل (۸ ــ ۸) به ما کمک میکند که موضوع را بهتر درک کنیم . در تحت شرایط اسمی (بار کامل) داریم :

I_L = جریان اسمی خط

V_t = ولتاژ اسمی ترمینال (ولتاژ خط)

در دو نوع اتصال ستاره ومثلث (شکل ۸ ــ ۸) داریم :

$V_t/\sqrt{3}$ = ولتاژ هر فازدر شرایط اسمی در اتصال ستاره

V_t = ولتاژ هر فاز در شرایط اسمی در اتصال مثلث

$I_L = I_p$ = جریان هر فاز در شرایط اسمی در اتصال ستاره

$I_p = I_L/\sqrt{3}$ = جریان هر فاز در شرایط اسمی در اتصال مثلث

با توجه به نکات فوق و استفاده از تئوری مدار براحتی میتوان ولتاژ تولید شده در هر فاز (E_p) را حساب کرد .

درشرایط بی‌باری جریانها صفر بوده و افت ولتاژ در r_p و x_p بدست نمی‌آید ، لذا در این شرایط داریم :

E_p = ولتاژ بی‌باری مربوط به هر فاز در ترمینال ماشین

با توجه به رابطه زیر که شباهتی چند با رابطه (۳۸ ــ ۷) دارد میتوان E_p را در شرایط بار کامل (بار اسمی) حساب کرد :

$$E_p = \sqrt{(I_p r_p + V_{FL}\cos\theta)^2 - (I_p x_p \pm V_{FL}\sin\theta)^2} \qquad (8\text{-}10)$$

(+ for lagging PF. − for leading PF)

باید توجه کرد که علامت (+) مربوط به ضریب توان پس فاز وعلامت (−) مربوط به ضریب توان پیش فاز است . باید متذکر شد که در رابطه (۱۰ ــ ۸) داریم :

I_p = جریان اسمی هر فاز ماشین

V_{FL} = ولتاژ اسمی هر فاز در ترمینال ژنراتور سنکرون

x_p = راکتانس سنکرون هر فاز ژنراتور

r_p = مقاومت موثر هر فاز ماشین

$\cos\theta$ = ضریب توان مصرف کننده متصل به ژنراتور

باید دانست E_p که همان ولتاژ هر فاز ترمینال ماشین در حالت بی‌باری است و برای

POWEREN.IR

سهولت آنرا با V_{NL} نشان میدهیم . لذا میتوان درصد تنظیم ولتاژ ژنراتور سنکرون سه فاز را بدست آورد :

$$\%\ \text{voltage regulation} = \frac{V_{NL} - V_{FL}}{V_{FL}} \times 100 \qquad (8\text{-}11)$$

مثال ۶ ــ ۸ :

یک ژنراتور سنکرون سه فاز با مشخصات زیر مفروض است :

کیلوولت آمپر	۱۰۰	= توان اسمی
ولت	۱۲۰۰	= ولتاژ اسمی ترمینال (ولتاژ خط)
ستاره Y		= طرز اتصال سیم پیچ‌های استاتور
اهم	۰/۱۲	= مقاومت هر فاز استاتور
اهم	۱/۵	= راکتانس سنکرون هر فاز ماشین

مطلوبست محاسبه تنظیم ولتاژ در شرایط بار اسمی (بار کامل) در تحت شرایط زیر :

الف : ضریب توان بار واحد در نظر گرفته شود .

ب : ضریب توان بار معادل ۰/۹ پس فاز باشد .

ج : ضریب توان بار برابر ۰/۹ پیش فاز باشد .

د : ولتاژ بی‌باری در ماشین در فرض ج راپیدا کند (ولتاژ خط) .

حل :

الف : از رابطه (۴۹ ــ ۷) استفاده کرده و جریان اسمی (جریان خط) را حساب میکنیم .

$$I_L = \frac{1{,}000{,}000\ \text{VA}}{\sqrt{3} \times 1200\ \text{V}}$$
$$= 481\ \text{A}$$

چون اتصال سیم پیچ‌های استاتور ستاره (Y) میباشد ، لذا :

$$I_p = I_L = 481\ \text{A}$$

حال ولتاژ اسمی مربوط به هر فاز در ترمینال ماشین راحساب میکنیم :

$$V_{FL} = \frac{1200\ \text{V}}{\sqrt{3}} = 693\ \text{V}$$

با توجه به ضریب توان مربوطه داریم :

$$\cos\theta = 1 \qquad \sin\theta = 0$$
$$\theta = 0^\circ$$

POWEREN.IR

POWEREN.IR

حال میتوان با توجه به رابطه (۱۰ ــ ۸) اینچنین نوشت :

$$E_p = \sqrt{(481 \times 0.12 + 693 \times 1)^2 + (481 \times 1.5 + 693 \times 0)^2}$$
$$= \sqrt{(750.72)^2 + (721.5)^2} = 1041.2 \text{ V}$$

$$V_{NL} = E_p = 1041.2 \text{ V}$$
$$V_{FL} = 693 \text{ V}$$

$$\% \text{ V.R.} = \frac{1041.2 \text{ V} - 693 \text{ V}}{693 \text{ V}} \times 100$$
$$\text{V.R.} = 50.2\%$$

ب : V_{FL} و I_p مشابه بند " الف" هستند (چرا؟) و فقط ضریب توان فرض کرده است ، لذا :

$$\text{PF} = 0.9 \text{ lagging}$$
$$\cos\theta = 0.9$$
$$\theta = 25.84°$$
$$\sin\theta = 0.44$$

از رابطه (۱۰ ــ ۸) داریم :

$$E_p = \sqrt{(481 \times 0.12 + 693 \times 0.9)^2 + (481 \times 1.5 + 693 \times 0.44)^2}$$
$$= 1232 \text{ V}$$

پس :

$$\% \text{ V.R.} = \frac{1232 \text{ V} - 693 \text{ V}}{693 \text{ V}} \times 100$$
$$\text{V.R.} = 77.78\%$$

ج : در اینحالت نیز V_{FL} و I_p مشابه بند " الف" هستند (چرا؟) و فقط ضریب توان تغییر کرده است لذا :

$$E_p = \sqrt{(481 \times 0.12 + 693 \times 0.9)^2 + (481 \times 1.5 - 693 \times 0.44)^2}$$
$$= 798.67 \text{ V}$$

$$\% \text{ V.R.} = \frac{798.67 \text{ V} - 693 \text{ V}}{693 \text{ V}} \times 100$$
$$\text{V.R.} = 15.2\%$$

د : با توجه به نتایج بند "ج" براحتی داریم :

$$E_{\kappa L} = \sqrt{3}E_p = \sqrt{3} \times 798.67 \text{ V}$$
$$= 1383.3 \text{ V}$$

POWEREN.IR

باید خاطر نشان ساخت که این ولتاژ را در حالت بی‌باری ژنراتور بین دو خط خروجی اندازه‌گیری میکنیم (چرا؟).

مثال ۷ ــ ۸:

مثال (۶ ــ ۸) را تکرار کنید ولی این بار اتصال سیم پیچ‌های استاتور را از نوع مثلث (Δ) در نظر بگیرند. سایر مقادیر بقوت خود باقی هستند.

حل:

الف: ابتدا از رابطه (۴۹ ــ ۷) جریان اسمی (جریان خط) را حساب میکنیم

$$I_L = \frac{1{,}000{,}000\ \text{VA}}{\sqrt{3} \times 1200\ \text{V}}$$
$$= 481\ \text{A}$$

چون نحوه اتصال سیم پیچ‌های استاتور مثلث (Δ) است، لذا:

$$I_p = \frac{I_L}{\sqrt{3}} = \frac{481\ \text{A}}{\sqrt{3}} = 277.7\ \text{A}$$

در اتصال مثلث (Δ) داریم:

$$V_{FL} = 1200\ \text{V}$$

لذا از رابطه (۱۰ ــ ۸) داریم:

$$E_p = \sqrt{(277.7 \times 0.12 + 1200 \times 1)^2 + (277.7 \times 1.5 + 0)^2}$$
$$= 1301.8\ \text{V}$$

پس:

$$V_{NL} = E_p = 1301.8\ \text{V}$$
$$V_{FL} = 1200\ \text{V}$$

در نتیجه:

$$\%\ \text{V.R.} = \frac{1301.8\ \text{V} - 1200\ \text{V}}{1200\ \text{V}} \times 100$$
$$\text{V.R.} = 8.4\%$$

ب: V_{FL} و I_p مشابه بند "الف" هستند (چرا؟) و فقط ضریب توان فرق کرده است.
از رابطه (۱۰ ــ ۸) داریم:

$$E_p = \sqrt{(277.7 \times 0.12 + 1200 \times 0.9)^2 + (277.7 \times 1.5 + 1200 \times 0.44)^2}$$
$$= 1460\ \text{V}$$

POWEREN.IR

پس:

$$\% \text{ V.R.} = \frac{1460 \text{ V} - 1200 \text{ V}}{1200 \text{ V}} \times 100$$

$$\text{V.R.} = 21.67\%$$

ج: V_{FL} و I_p مشابه بند "الف" هستند (چرا؟) و فقط ضریب توان عوض شده است. از رابطه (۱۰ ــ ۸) داریم:

$$E_p'' = \sqrt{(277.7 \times 0.12 + 1200 \times 0.9)^2 + (277.7 \times 1.5 - 1200 \times 0.44)^2}$$
$$= 1119 \text{ V}$$

پس:

$$\% \text{ V.R.} = \frac{1119 \text{ V} - 1200 \text{ V}}{1200 \text{ V}} \times 100$$

$$\text{V.R.} = -6.75\%$$

د: با توجه به نتایج بند "ج" براحتی داریم:

$$E_{sL} = E_p = 1119 \text{ V}$$

باید گفت که این ولتاژ را در حالت بی‌باری ژنراتور بین دو خط خروجی اندازه‌گیری میکنیم (چرا؟)

با توجه به مثالهای فوق در می‌یابیم که:

الف: درهریک از حالات فوق‌الذکر مقادیر مختلفی برای E_p بدست آوردیم، در نتیجه باید در هر حالت برای تامین توان ظاهری (kVA) مورد نیاز جریان تحریک (I_f) ــ را تغییر دهیم تا نیازهای بارهای گوناگون رابرآورده سازیم. تنظیم جریان تحریک بدو صورت انجام می‌گیرد.

۱ ــ تنظیم دستی توسط اپراتور

۲ ــ تنظیم اتوماتیک بوسیله سیستم کنترل ولتاژ

ب: با توجه به مثالهای فوق دریافتیم که درصد تنظیم ولتاژ در اتصال مثلث (Δ) بهتر از اتصال ستاره (Y) می‌باشد. ولی این موضوع کلی نیست زیرا در واقع در این دو مثال دو ماشین متفاوت را مورد بررسی قرار داده‌ایم. زیرااگر واقعا می‌خواستیم دو ماشین یکسان را مورد مطالعه قرار می‌دادیم باید بجای ۱۲۰۰ ولت از ۶۹۳ ولت در اتصال مثلث (Δ) استفاده می‌کردیم (چرا؟). به عبارت دیگر درصد تنظیم ولتاژ به طراحی ماشین بستگی دارد و به نوع اتصالات (Δ یا Y) وابسته نمی‌باشد.

POWEREN.IR

۷ ــ ۸ راندمان ژنراتور سنکرون : 8-7 EFFICIENCY

راندمان ژنراتور سنکرون بطریقی مشابه ژنراتور DC(جلد اول) بدست می‌آید . یا به عبارت دیگر داریم :

$$\text{راندمان } \% = \frac{\text{توان خروجی}}{\text{توان ورودی}} \times 100$$

$$\text{راندمان } \% = \frac{\text{توان خروجی}}{\text{کل تلفات ماشین + توان خروجی}} \times 100$$

اما کل تلفات‌ماشین حاوی مولفه‌های زیر است :

۱ ــ تلفات مسی

۲ ــ تلفات مکانیکی

۳ ــ تلفات هسته

۴ ــ تلفات مدار تحریک

لذا رابطه کلی راندمان بصورت زیر درمی‌آید :

$$\eta(\%) = \frac{VA_{out} \times PF}{VA_{out} \times PF + P_{Cu} + P_{core} + P_{field} + P_{mech}} \times 100 \qquad (8\text{-}12)$$

باید توجه‌داشت‌که توان خروجی ژنراتور سنکرون سه فازبه توان ظاهری تحویل به مصرف کننده (KVA) و ضریب توان مصرف کننده بستگی دارد .

8-7.1 Tests for Determining Alternator Losses

۱ ــ ۷ ــ ۸ آزمایشهای لازم جهت تعیین تلفات ژنراتور سنکرون سه فاز :

دراین آزمایشها ژنراتور را به وسیله یک‌موتور DC میچرخانیم . مدار مربوط‌به این تست‌ها در شکل (۹ ــ ۸) نشان داده شده است . بسهولت میتوان گفت که :

توان ورودی به محور ژنراتور سنکرون = توان خروجی موتور DC

اما از مطالب جلد اول بیاد داریم :

(راندمان موتور DC) (توان ورودی به موتور DC) = توان خروجی موتور DC

لذا با دانستن راندمان موتور DC و توان ورودی به آن موتور میتوان توان خروجی موتورDC یا توان ورودی‌به محورژنراتورسنکرون را بدست آورد . در این آزمایش به هشت وسیله اندازه‌گیری نیاز داریم (شکل ۹ ــ ۸) :

الف : ۲ عدد ولتمتر DC

ب : دو عدد آمپرمتر DC

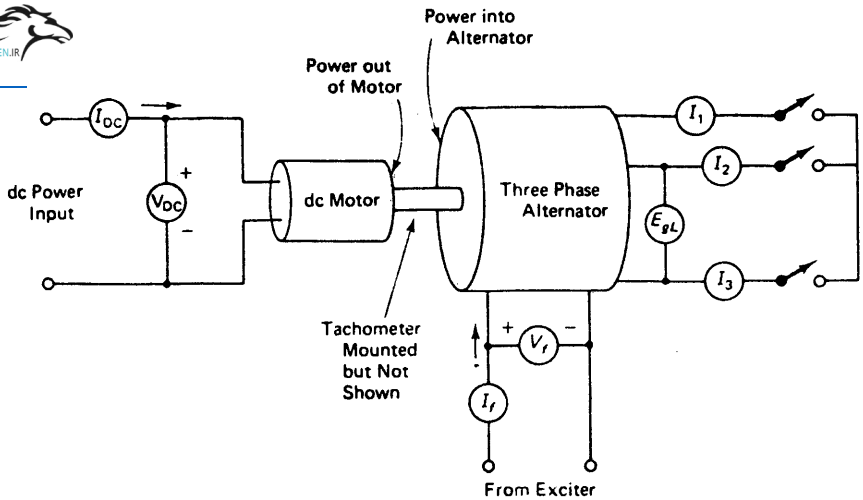
ج : یکعدد ولتمتر AC

د : سه عدد آمپرمتر AC

هـ: دور سنج برای تعیین دو ژنراتور سنکرون

POWEREN.IR

POWEREN.IR



شکل ۹ ــ ۸ : مدار مربوط به آزمایش تعیین تلفات ژنراتور سنکرون سه فاز

توان ورودی به موتور DC بقرار زیر است :

$$V_{dc} \times I_{dc}$$

در نتیجه توان خروجی موتور DC با دانستن راندمان آن اینچنین است :

$$P_i = V_{dc} I_{dc} \eta \qquad (8\text{-}13)$$

توان فوق توان ورودی به محور ژنراتور سنکرون نیز محسوب میباشد . حال تست‌های زیر را انجام میدهیم :

تست اول :

مدار تحریک ژنراتور سنکرون را باز میگذاریم ($I_f = 0$) و تمامی کلیدهای نشان داده شده در شکل (۹ ــ ۸) را باز میگذاریم ، حال ژنراتور را توسط موتور DC تحت سرعت اسمی میچرخانیم براحتی میتوان چنین استنباط کرد که :

۱ ــ چون مدار تحریک باز است ($I_f = 0$) ، لذا ولتاژی در ژنراتور تولید نمیشود .

۲ ــ چون جریان تحریک نداریم ، لذا تلفات هسته در ژنراتور حاصل نمیشود و توانی نیز از ژنراتور به خارج صادر نمیگردد .

۳ ــ چون کلیدها باز هستند ، لذا تلفات مسی در سیم پیچ‌های استاتور حاصل نمیگردد . لذا توان خروجی موتور DC (توان ورودی به ژنراتور سنکرون) صرف تامین تلفات مکانیکی میگردد :

$$P_{i1} = P_{mech} \text{(alternator mechanical loss)} \qquad (8\text{-}14)$$

POWEREN.IR

POWEREN.IR

تست دوم :

همچنان که ژنراتور تحت سرعت اسمی میچرخد (تست اول) جریان تحریک را برقرار میسازیم وآنقدرآنرا زیاد میکنیم تاولتاژ E_{gL} در دو سر خط های خروجی حاصل شود (E_{gL} مطابق بند "د" در مثالهای ۶ – ۸ و ۷ – ۸ حساب میشود) . این ولتاژ معمولا " از ولتاژ اسمی بیشتر است اما چون در این آزمایش نیز سه کلید باز هستند لذا :

الف : تلفات مسی در استاتور حاصل نمیشود .

ب : هیچگونه توان از ژنراتور بخارج صادر نمیشود .

ازآنجائیکه E_{gL} در مقدار نرمال خود تنظیم شده است ، لذا شار اسمی در ماشین وجود دارد و لذا تلفات هسته‌نیز تلفات اسمی خواهد بود . پس در اینحالت توان خروجی موتور DC (توان ورودی ژنراتور سنکرون) برابر مجموع تلفات مکانیکی و تلفات هسته است :

$$P_{i2} = P_{core} + P_{mech}$$

با توجه به رابطه اخیر و رابطه (۱۴ – ۸) داریم .

$$P_{core} = P_{i2} - P_{i1} \qquad (8\text{-}15)$$

همچنین در این آزمایش میتوان به تلفات مدار تحریک پی برد (چرا ؟)

$$P_{field} = V_f I_f \qquad (8\text{-}16)$$

تست سوم :

در این‌آزمایش ابتدا جریان تحریک را صفر میکنیم ($i_f = 0$) و سپس سه کلید مذکور را می‌بندیم (آزمایش اتصال کوتاه) حال ژنراتور رابسرعت اسمی خود رسانده و جریان تحریک را آنقدرزیاد میکنیم تا جریان اسمی (جریان خط) حاصل گردد . چون در اینحالت جریان تحریک کم است لذا شار بسیار ناچیز بوده ولذا در این آزمایش تلفات هسته قابل صرفنظر کردن میباشد . اما چون جریان اسمی از سیمهای استاتور میگذرد ، لذا تلفات مس استاتور همان تلفات مس در حالت اسمی خواهد بود . در اینحالت توان خروجی موتور DC (توان ورودی به ژنراتور) با مجموع تلفات مکانیکی و تلفات مسی استاتور مساوی خواهد بود .

$$P_{i3} = P_{mech} + P_{Cu}$$

با استفاده از رابطه اخیر و رابطه (۱۴ – ۸) داریم :

$$P_{Cu} = P_{i3} - P_{i1} \qquad (8\text{-}17)$$

مثال ۸ – ۸ :

یک ژنراتور سنکرون سه فاز با مشخصات زیر مفروض است :

توان اسمی = ۳ کیلو ولت آمپر

POWEREN.IR

POWEREN.IR

ولت ۲۰۸ = ولتاژ اسمی ترمینال (ولتاژ خط)

هرتز ۶۰ = فرکانس اسمی

برای تعیین تلفات ماشین آزمایشهائی تحت سرعت اسمی بر روی ماشین انجام میدهیم (شکل ۹ ــ ۸) . نتایج این آزمایشها در جدول (۱ ــ ۸) آمده است . اگر راندمان موتور را ثابت و معادل ۷۵٪ در نظر می‌گیریم . راندمان ژنراتو سنکرون را تحت شرایط زیر پیدا کنید .

الف: بار ژنراتور بار اسمی بوده و ضریب توان بار واحد میباشد .

ب: بار ژنراتور بار اسمی (بارکامل) بوده و ضریب توان بار ۰/۹ پس فاز است .

ج: بار ژنراتور نصف بار اسمی (نصف بار کامل) بوده و ضریب توان بار ۰/۸ پیش فاز است .

جدول (۱ ــ ۸) *Table 8-1*

Meter	Test 1	Test 2	Test 3
V_{dc} (V)	120	120	120
I_{dc} (A)	0.9	2.0	2.4
V_f (V)	0	5	1
I_f (A)	0	7.2	1.4
E_{gL} (V)	≈0	240	0
I_1 (A)	0	0	8.1
I_2 (A)	0	0	8.5
I_3 (A)	0	0	8.3

حل:

از رابطه (۱۳ ــ ۸) استفاده کرده و توان خروجی موتورDC یا توان ورودی به ژنراتور را در سه قسمت مذکور بدست می‌آوریم :

Test 1: $P_{i1} = 120\ \text{V} \times 0.9\ \text{A} \times 0.75 = 81\ \text{W}$

Test 2: $P_{i2} = 120\ \text{V} \times 2\ \text{A} \times 0.75 = 180\ \text{W}$

Test 3: $P_{i3} = 120\ \text{V} \times 2.4\ \text{A} \times 0.75 = 216\ \text{W}$

از رابطه (۱۴ ــ ۸) داریم :

$$P_{mech} = 81\ \text{W}$$

از رابطه (۱۵ ــ ۸) داریم :

$$P_{core} = 180\ \text{W} - 81\ \text{W} = 99\ \text{W}$$

POWEREN.IR

ازرابطه (۱۷ ــ ۸) داریم :

POWEREN.IR

$$P_{Cu} = 216\ W - 81\ W = 135\ W$$

از رابطه (۱۶ ــ ۸) و تست شماره دو داریم :

$$P_{field} = 5\ V \times 7.2\ A = 36\ W$$

ازرابطه (۱۲ــ ۸) میتوان راندمان را حساب کرد :

الف :

$$\eta = \frac{3000 \times 1.0}{3000 \times 1.0 - 135 + 99 + 36 + 81} \times 100$$

$$= 89.53\%$$

$$\eta = \frac{3000 \times 0.9}{3000 \times 0.9 - 135 + 99 + 36 + 81} \times 100$$

$$= 88.5\%$$

ج : در این حالت تلفات‌مسی در استاتور اینچنین بدست‌می‌آید (چرا؟)

$$P_{Cu}(\text{at } \tfrac{1}{2} \text{ load}) = P_{Cu}(\tfrac{1}{2})^2 = 135(\tfrac{1}{4}) = 33.75\ W$$

راندمان در اینحالت اینچنین است :

$$\eta = \frac{1500 \times 0.8}{1500 \times 0.8 + 33.75 - 99 + 36 + 81} \times 100$$

$$= 82.77\%$$

۲ ــ ۷ ــ ۸ راندمان ماکزیمم در ژنراتور سنکرون :

8-7.2 Maximum Alternator Efficiency

همانطور که در ژنراتورهای DC گفتیم (جلد اول)راندمان ماکزیمم موقعی رخ میدهد که رابطه زیر برقرار باشد .

مجموع تلفات ثابت = مجموع تلفات متغیر

در ژنراتور سنکرون با تقریب خوب میتوان گفت :

الف : تلفات مکانیکی (۱) ، تلفات‌مدار تحریک و تلفات هسته (۲) جزء تلفات ثابت‌محسوب میشوند .

ب : تلفات مس (۳) در استاتور جزء تلفات متغیر است و با بار تغییر میکند .

لذاراندمان ماکزیمم در درصدی از بار اسمی رخ میدهد و این درصد را اینچنین بدست

---

1) Mechanical Losses 2) Core Losses

3) Copper Losses

POWEREN.IR

می‌آورند .

$$(k)^2 P_{Cu} = P_{core} + P_{mech} + P_{field} \qquad (8\text{-}18)$$

مثال ۹ ــ ۸:

ژنراتور سنکرون مطابق مثال (۸ ــ ۸) در نظر میگیریم . در چه درصدی از بار اسمی راندمان ماکزیمم رخ میدهد .

حل:

تلفات بدست‌آمده در مثال (۸ ــ ۸) را در رابطه (۱۸ ــ ۸) جایگزین میکنیم :

$$k^2 \times 135\ \text{W} = 99\ \text{W} + 81\ \text{W} + 36\ \text{W}$$

$$k^2 = \frac{216}{135} = 1.6$$

$$k = 1.26$$

به عبارت بهتر در این ژنراتور راندمان ماکزیمم در ۱۲۶% بار اسمی رخ میدهد . اما باید گفت که معمولا " در ژنراتورهای سنکرون راندمان ماکزیمم در حوالی شرایط اسمی رخ میدهد .

8-8 TYPICAL ALTERNATOR CHARACTERISTICS

۸ ــ ۸ منحنی مشخصه‌های ژنراتور سنکرون سه فاز:

منحنی مشخصه‌های گوناگون وجود دارند که رفتار ژنراتور سنکرون را مشخص میسازند و تمامی آنها را میتوان در آزمایشگاههای ماشینهای الکتریکی بدست آورد . ما در اینجا آنها را بطور کیفی مورد بررسی قرار میدهیم .

۱ ــ ۸ ــ ۸ منحنی اشباع در حالت بی‌باری: 8-8.1 No-Load Saturation Curve

این منحنی مشخصه تغییرات ولتاژ ترمینال ماشین (ولتاژ خط) بر حسب جریان تحریک در تحت شرایط بی‌باری (مدار باز) میباشد .

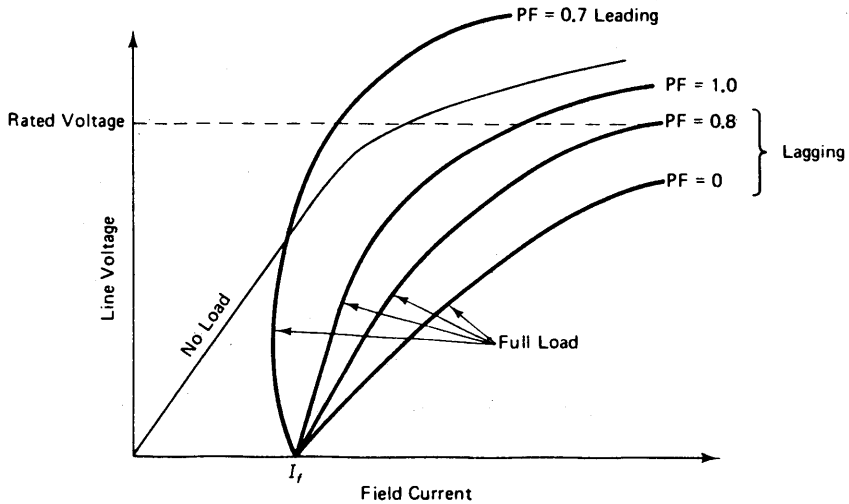
باید گفت که درتمامی مراحل این آزمایش، سرعت اسمی ژنراتور همان سرعت اسمی ماشین میباشد . همانطور که از شکل (۱۰ ــ ۸) پیداست این تغییرات ابتدا خطی بوده وسپس بحالت اشباع میرسیم . معمولا "ولتاژ اسمی ماشین از قسمت خطی منحنی حاصل میگردد وگاهی به این گراف، منحنی مغناطیسی شوندگی در حالت بی‌باری [1] گفته میشود .

1) No Load, Magnetizing Curve

POWEREN.IR

منحنی مشخصه دیگری در ژنراتور سنکرون وجود دارد و به آن منحنی بار کامل[1] گفته میشود . در این منحنیها جریان تحریک راتغییر میدهیم ولی همواره ژنراتور جریان اسمی (جریان خط) را تحویل بار میدهند . شکل (۱۰ ــ ۸) اینگونه منحنی‌ها را نشان میدهد و باید توجه داشت که وضعیت این منحنیها را تابع ضریب توان بار اسمی میباشد . باید گفت که تمامی منحنیهای بار کامل دارای نقطه مشترکی هستند و مختصات این نقطه بقرار زیر است :

$V_L = 0.$ جریان تحریک = I_f



شکل ۱۰ ــ ۸ : منحنی مشخصه‌های بار کامل و منحنی مشخصه مربوط به مغناطیس ــ شوندگی در حالت بی‌باری در یک ژنراتور سنکرون سه فاز

۲ ــ ۸ ــ ۸ منحنیهای بار : 8-8.2 Load Curves

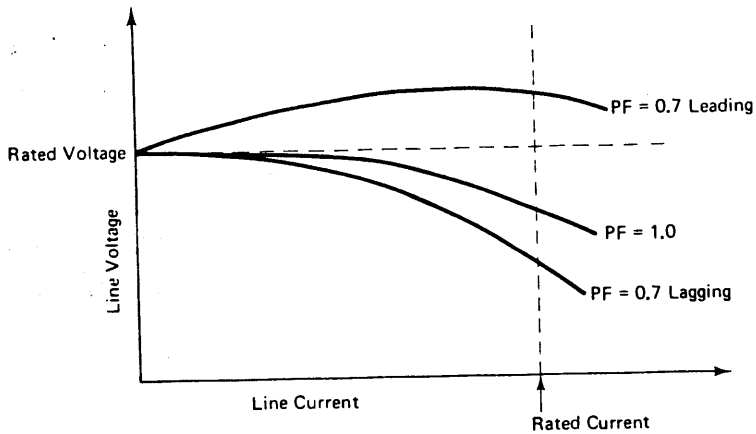
یکی دیگر از منحنیهای مشخصه مهم که برای تخمین رفتار ژنراتور بکارمیروند منحنیهای بار[2] میباشند (شکل ۱۱ ــ ۸) . در این منحنیها تغییرات ولتاژ ترمینال (ولتاژ خط) برحسب جریان ماشین (جریان خط) مورد ارزیابی قرار میگیرد . همانطور که از شکل پیداست این منحنیها از حالت بی‌باری تا بارکامل رسم میگردند . علاوه بر این منحنیها دید نسبتا" خوبی راجع به درصد تنظیم ولتاژ ژنراتور ارائه میدهند . در شکل (۱۱ ــ ۸) سه منحنی برای ضریب توانهای مختلف رسم شده است .

1) Full, Load, characteristic

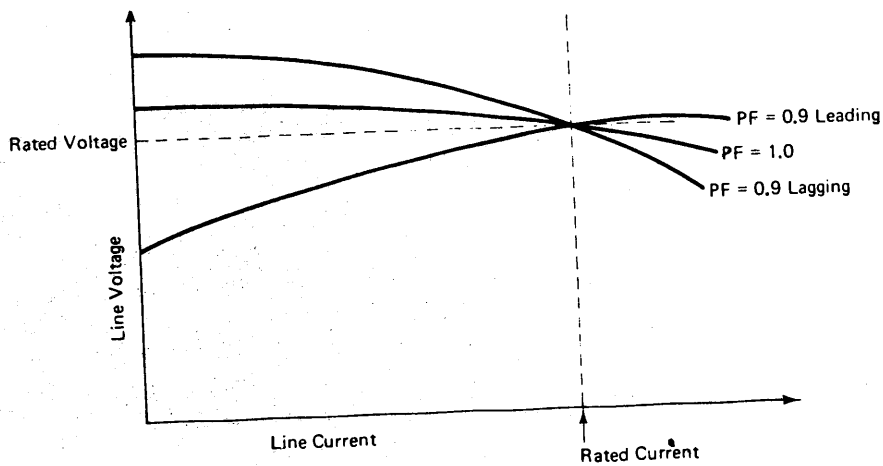
2) Load, Curve

POWEREN.IR

برای پیدا کردن این منحنیها ابتدا جریان تحریک را طوری تنظیم میکنیم که ولتاژ اسمی (ولتاژ خط) در شرایط بی‌باری حاصل شود . حال تحریک راتغییر نمی‌دهیم و فقط بار را افزایش میدهیم و درهریک‌ازشرایط افزایش‌بارضریب‌توان‌آنراثابت‌نگه می‌داریم . و در هر لحظه ولتاژماشین (ولتاژخط) را میخوانیم . سپس تغییرات ولتاژماشین و جریان بار را رسم میکنیم .



شکل ۱۱ ـ ۸ : منحنی‌های بار در یک ژنراتور سنکرون سه فاز با توجه به اثرات ضریب توانهای مختلف . در این منحنی‌ها ولتاژ بی‌باری مشترک است



شکل ۱۲ ـ ۸ : منحنی‌های بار در یک ژنراتور سنکرون سه فاز با توجه به اثرات ضریب توانهای گوناگون . این منحنی‌ها در نقطه ولتاژ و جریان اسمی مشترک هستند .

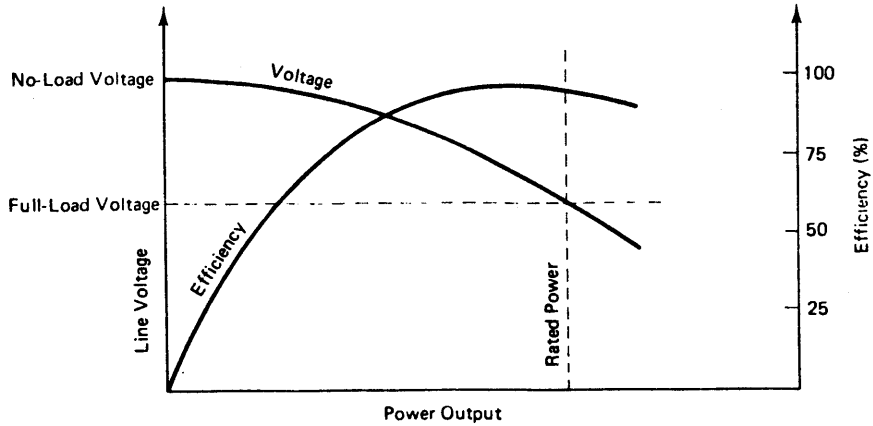
POWEREN.IR

نوع دیگری از منحنیهای بار نیز وجود دارد (شکل ۱۲ ــ ۸) . برای بدست آوردن این منحنیها جریان تحریک را طوری تنظیم میکنیم که جریان اسمی ولتاژ اسمی حاصل گردند . حال جریان تحریک را دست نمی‌زنیم و ضریب توان بار را ثابت نگه می‌داریم . سپس بار را کم میکنیم تا به صفر برسد و در هر لحظه ولتاژ ماشین (ولتاژ خط) را میخوانیم . سپس تغییرات ولتاژ ماشین بر حسب جریان بار (جریان خط) را رسم میکنیم . منحنیهای شکل (۱۲ ــ ۸) از منحنیهای شکل (۱۱ ــ ۸) مفیدتر است زیرا ما همواره مایلیم ولتاژ اسمی و جریان اسمی ، هردو با هم در یک لحظه پدیدار شوند و همچنین شکل (۱۲ ــ ۸) نتایج مثالهای (۶ ــ ۸) و (۷ ــ ۸) را بهتر توجیه میکند .

۳ ــ ۸ ــ ۸ منحنی مشخصه‌های دیگر برای ژنراتور سنکرون :

8-8.3 Additional Characteristics

گاهی اوقات بعوض آنکه بر روی محور افقی جریان را مشخص کنیم ، توان خروجی را قرار میدهیم . شکل (۱۳ ــ ۸) مشخصه‌های متداولی را برای ژنراتورهای سنکرون نشان میدهد .



شکل ۱۳ ــ ۸ : تغییرات راندمان و ولتاژ بر حسب توان خروجی در یک ژنراتور سنکرون سه فاز

POWEREN.IR

SYMBOLS INTRODUCED IN CHAPTER 8

POWEREN.IR

Symbol	Definition	Units: English and SI
E_p (۱)	Generated voltage for a single-phase stator winding	rms volts
E_{ll} (۲)	Generated line voltage	rms volts
z (۳)	Number of conductors in a single stator winding	—
f (۴)	Frequency of generated voltage	hertz
V_t (۵)	Line-to-line terminal voltage of a three-phase alternator	rms volts
r_p (۶)	Effective resistance of stator winding for one phase	ohms
x_p (۷)	Synchronous reactance of stator winding for one phase	ohms
Z_s (۸)	Synchronous impedance of stator winding for one phase	ohms
r_a (۹)	Resistance between any two terminals of a three-phase alternator with the third terminal open	ohms
r'_p (۱۰)	Calculated resistance of stator winding for one phase	ohms
V_{oc} (۱۱)	Phase voltage from open circuit test equal to measured value divided by $\sqrt{3}$	rms volts
I_{sc} (۱۲)	Phase current from short-circuit test measurement	amperes
I_f (۱۳)	Alternator field current	amperes
I_p (۱۴)	Rated phase current	amperes
I_L (۱۵)	Rated line current	amperes
V_{NL} (۱۶)	No-load phase voltage	rms volts
V_{FL} (۱۷)	Full-load phase voltage	rms volts
$\cos\theta$ (۱۸)	Power factor of one phase of a balanced three-phase load	
k (۱۹)	Fraction of rated load where maximum efficiency occurs	

علائم اختصاری بکار برده شده در فصل ۸

۱ ــ ولتاژ تولید شده در استاتور یک ژنراتور سنکرون تکفاز

۲ ــ ولتاژ تولید شده (ولتاژ خط)

۳ ــ تعداد هادیهای مربوط به سیم پیچ استاتور تکفاز

۴ ــ فرکانس ولتاژ تولید شده

۵ ــ ولتاژ ترمینال در ژنراتور سنکرون سه فاز (ولتاژ خط)

۶ ــ مقاومت موءثر هر فاز استاتور

۷ ــ راکتانس سنکرون هر فاز استاتور

۸ ــ امپدانس سنکرون هر فاز استاتور

۹ ــ مقاومت بین دو ترمینال ژنراتور سنکرون وقتی که ترمینال دیگر باز باشد

۱۰ ــ مقاومت هر فاز استاتور (از طریق محاسبه)

۱۱ ــ ولتاژ فاز در آزمایش بی‌باری

۱۲ ــ جریان اتصال کوتاه درآزمایش اتصال کوتاه

۱۳ ــ جریان تحریک ژنراتور سنکرون

POWEREN.IR

۱۴ ــ جریان اسمی فاز

۱۵ ــ جریان اسمی خط

۱۶ ــ ولتاژ بی‌باری (ولتاژ فاز)

۱۷ ــ ولتاژ بار اسمی (ولتاژ فاز)

۱۸ ــ ضریب توان هر فاز در بار متعادل سه فاز

۱۹ ــ درصدی که مشخص کننده وقوع راندمان ماکزیمم است.

POWEREN.IR

POWEREN.IR

فصل نهم

موتورهای القائی سه فاز

THE THREE-PHASE INDUCTION MOTOR

۵۳ صفحه

POWEREN.IR

PowerEn.ir

POWEREN.IR

POWEREN.IR

فصل ۹

موتورهای القائی (اندوکسیونی) سه فاز

مقدمه:

دراکثر کارخانجات وصنایع در سراسر جهان ازموتورهای القائی [۱] (اندوکسیونی) استفاده میشود، بخصوص در مواقعی که به موتور نسبتا بزرگی نیاز داشته باشیم از موتورهای القائی سه فاز استفاده میگردد. این موتورها دارای مزایای زیر هستند.

الف: قابلیت اطمینان [۲] آنها زیاد است.

ب: ارزان هستند

ج: ساخت آنها ساده است

این موتورها را اصولا فراریس در سال ۱۸۸۵ اختراع نمود اما نام تسلا که در سال ۱۸۸۶ تئوری این موتورها را بیان نمود بیشتر بچشم می‌خورد.

۱ ـ ۹ ساختمان موتورهای القائی: 9-1 CONSTRUCTION

موتورهای القائی سه فاز از دو قسمت اساسی تشکیل شده‌اند:

الف: قسمت ثابت بنام استاتور [۳]

ب: قسمت دوار بنام رتور [۴]

۱ ـ ۱ ـ ۹: استاتور موتورهای القائی سه فاز:

استاتور اینگونه ماشینها حاوی شیارهائی [۵] می‌باشد که درون آنها سیم پیچی سه فازی جا سازی شده و با توجه به نحوه این سیم پیچی، موتورهای القائی سه فاز دو ـ قطبی، ۴ قطبی ۶ قطبی و ... حاصل میگردند.

---

1) Induction, Motor
2) Reliability
3) Stator
4) Rotor
5) Slots

POWEREN.IR

فی‌المثل می‌توان گفت که در موتور ۴ قطبی دو قطب مثبت (شمال) و دو قطب منفی (جنوب) وجود دارد.

۲ ـ ۱ ـ ۹ رتور موتورهای القائی سه فاز:

رتورهای متداول در اینگونه ماشینها بقرار زیر است.

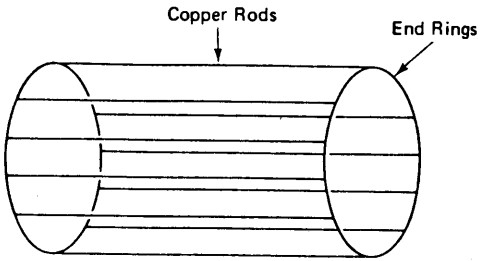
الف: رتور قفس سنجابی ساده (۱)

ب: رتور قفس سنجابی مضاعف (۲)

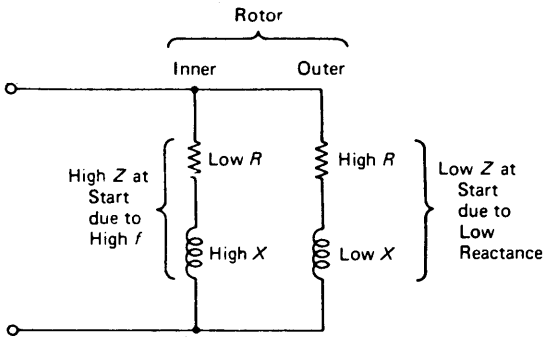
ج: رتور سیم پیچی (۳) شده

۱ ـ ۲ ـ ۱ ـ ۹. رتور قفس سنجابی ساده:

متداولترین رتور برای موتورهای القائی سه فاز همین رتور قفس سنجابی ساده



شکل ۱ ـ ۹. شمای ساده یک رتور قفس سنجابی که در دو انتها، میله‌ها توسط حلقه‌های انتهائی اتصال کوتاه شده‌اند.



شکل ۲ ـ ۹: مدار معادل یک رتور قفس سنجابی مضاعف.

1) Squirrel Cage
2) Double Squirrel, Cage
3) Wound, Rotor

POWEREN.IR

می‌باشد ، زیرا شباهت زیادی به قفس سنجاب دارد . اینگونه رتورها از میله‌های مسی تشکیل شده که در شیارهای رتور جاسازی میشوند و همانطور که از شکل (۱ ــ ۹) پیداست بدنه رتور (قسمت فلزی) که بصورت مورق ساخته می‌گردد نشان داده نشده است .

۲ ــ ۲ ــ ۱ ــ ۹ رتور قفس سنجابی مضاعف :

در برخی از موتورهای القائی سه فاز رتورهائی از نوع قفس سنجابی مضاعف وجود دارد و اینگونه رتورها از دو سری میله تشکیل شده‌اند .

الف : سری اول میله‌ها از نوع برنج بوده و در نزدیک سطح رتور تعبیه میشود و به میله‌های خارجی (۱) موسوم‌اند .

ب : سری دوم میله‌ها از جنس مس بوده و در زیر سری اول و در داخل شیارهای رتور نصب می‌گردند و به میله‌های داخلی (۲) موسوم‌اند

باید خاطر نشان ساخت که :

۱ ــ الف : مقاومت میله‌های برنجی یا میله‌های خارجی (سری اول) از مقاومت میله‌های مسی (سری دوم) بیشتر است (شکل ۲ ــ ۹) .

۲ ــ ب : چون میله‌های مسی یا میله‌های داخلی (سری دوم) بهم نزدیک‌ترند لذا راکتانس نشتی (۳) آنها نسبت به میله‌های برنجی (میله‌های خارجی) بیشتر خواهد بود در این کتاب راکتانسهای نشتی بصورت راکتانسهای اندوکتیو در مدار معادل رتور ظاهر می‌شوند .

برای آنکه بهتر درک کنیم چرا رتور قفس سنجابی مضاعف مشخصه موتور را بهبود می‌بخشد به مطالب زیر توجه می‌کنیم و بعدا " درباره آنها در ادامه فصل مفصلا " بحث خواهد شد .

۱ ــ ۱ ــ الف : فرکانس جریان رتور در لحظات راه اندازی زیاد است (معادل فرکانس منبع تغذیه موتور) . وقتی سرعت موتور زیاد شد فرکانس جریان رتور کم میشود (نزدیک صفر)

۱ ــ ۱ ــ ب : در راه اندازی میله‌های خارجی جریان بیشتری می‌کشند زیرا کل امپدانس آنها کمتر است وچون R در میله‌های خارجی از X بیشتر است لذا ضریب توان مدار بالا است وترکیبی از جریان زیاد و ضریب توان بالا گشتاور یا کوپل راه‌اندازی (۴) نسبتا خوبی ایجاد می‌کند .

---

1) Outer, Rods 2) Inner, Rods
3) Leakage Reactance 4) Starting Torque

POWEREN.IR

۱ ـ ۱ ـ ج: در سرعتهای بالا تمامی جریان از میله‌های داخلی عبور می‌کند و در فرکانسهای کم از راکتانس این میله‌ها می‌توان صرفنظر کرد و مشخصه خوبی در سرعتهای بالا پدیدار می‌شود.

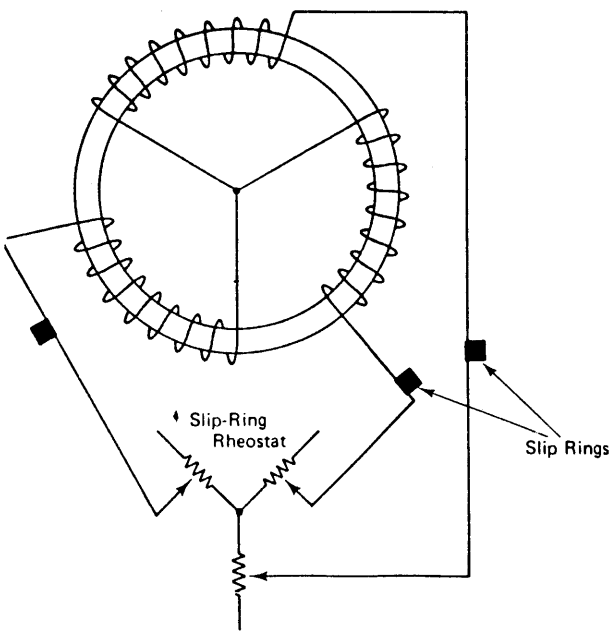
۳ ـ ۲ ـ ۱ ـ ۹: رتورهای سیم پیچی شده:

در اینگونه رتورها در شیارهای رتور سیم پیچ تعبیه شده است ومی‌توان در اینگونه رتورها مقاومت خارجی از طریق حلقه‌های لغزان (۱) به سیم پیچهای رتور متصل ساخت و به اینگونه مقاومتهای خارجی گاهی رئوستای حلقه‌های لغزان (۲) نیز گفته میشود. در اینگونه اتصالات براحتی می‌توان مقاومت رتور را تغییر داد. و مشخصه حالبی در لحظات راه اندازی و بهره برداری از ماشین بدست آورد.

شکل (۳ ـ ۹) شمای ساده اینگونه رتورها را نشان می‌دهد و باید در اینگونه رتورها نکات زیر را بخاطر داشت.

الف: سیم پیچ اینگونه رتورها نیز باید سه فاز باشد

ب: تعداد قطبهای حاصله از اینگونه سیم پیچ باید با تعداد قطبهای حاصله در استاتور مساوی باشد.

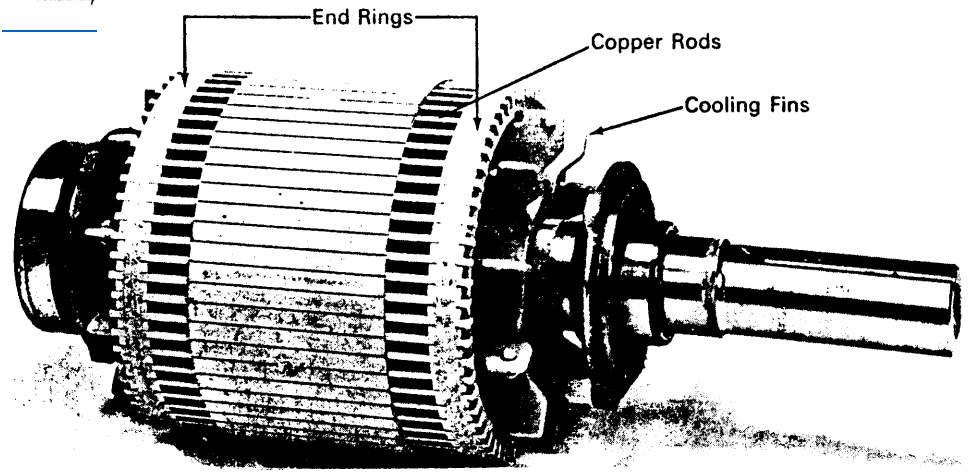


شکل ۳ ـ ۹: شمای ساده یک رتور سیم پیچی شده در موتور القائی سه فاز

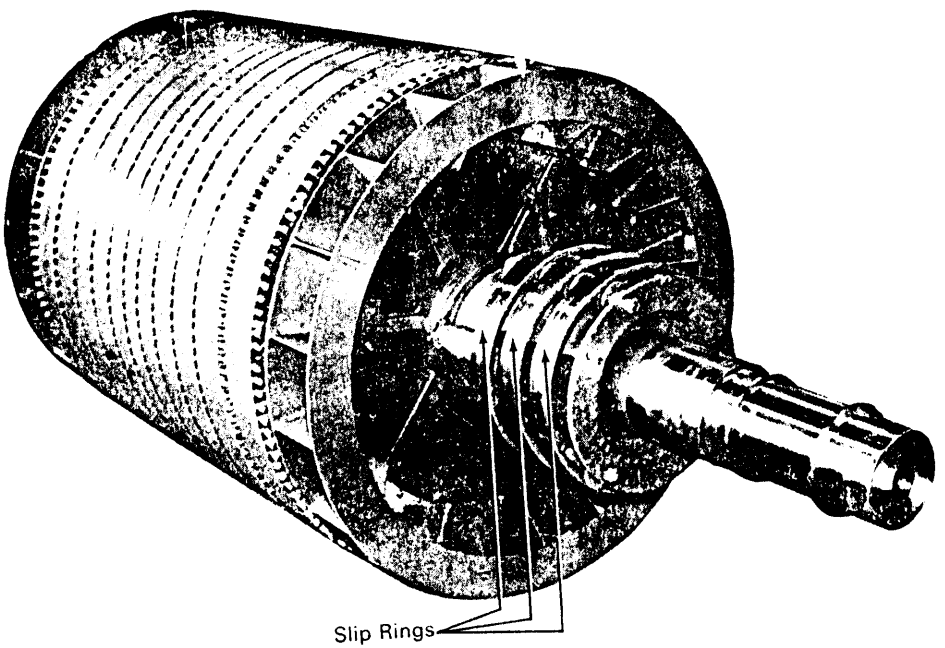
1) Slip, Rings 2) Slip, Ring, Rheostat

POWEREN.IR

ج: تعداد شیارهای رتور و استاتور باید یکسان باشند.



شکل ۴ ـ ۹: شمای یک رتور با قفس سنجابی در موتور القائی سه فاز



شکل ۵ ـ ۹: شمای یک رتور سیم پیچی شده در موتور القائی سه فاز

شکلهای (۴ ـ ۹) و (۵ ـ ۹) دو نوع رتور متداول را برای موتورهای القائی سه فاز نشان می‌دهند.

POWEREN.IR

۲ ـ ۹ مفاهیم میدان گردنده: 9-2 ROTATING FIELD CONCEPT

قبل از اینکه وارد تئوری مربوط به عملکرد موتورهای القائی سه فاز گردیم باید درباره مفاهیم میدان گردنده[1] صحبت کنیم. برای درک بهتر استاتور را در نظر می‌گیریم که بصورت دو قطبی سیم پیچی شده است (شکل ۶ ـ ۹). ولتاژهای اعمال شده به هر فاز استاتور نیز در این شکل نشان داده شده است. در شکلهای (۶a ـ ۹)، (۶b ـ ۹)، (۶c ـ ۹) و (۶d ـ ۹) استاتور را همراه با میدان مغناطیسی حاصله در زمانهای مختلف نشان داده‌ایم و این میدانها مربوط به زمانهای t_1 تا t_4 در شکل (۷ ـ ۹) می‌باشد. باید خاطر نشان سازیم که در شکلهای (۶ ـ ۹) رتور را نکشیده‌ایم تا شکل سهلتر جلوه کند. در این بحث فرض بر آنست که نحوه اتصال سیم پیچ سه فاز استاتور بصورت ستاره (Y) باشد یعنی سرهای A'، B'، C' بهم متصل‌اند و سرهای A، B و C ترمینال خروجی ماشین را تشکیل می‌دهند

در اینجا متذکر می‌شویم که هرگاه $V_{A-A'}$ مثبت باشد بمعنی آنستکه A نسبت به A' مثبت است یعنی جریان از A وارد صفحه کاغذ شده و از A' خارج می‌گردد. زمانهای t_1 تا t_4 در شکل (۷ ـ ۹) طوری انتخاب شده‌اند که تحلیل مساله را ساده سازند تا میدان گردنده بهتر تفهیم گردد.

در زمان t_1، $V_{A-A'}$ و $V_{C-C'}$ مثبت‌اند و $V_{B-B'}$ ماکزیمم منفی است در اینحالت جهت جریان در سیم پیچ‌ها مطابق شکل (۶a ـ ۹) بوده و میدان دو قطبی مطابق شکل (۶a ـ ۹) خواهد بود (با استفاده از قانون دست راست).

در زمان t_2، $V_{A-A'}$ ماکزیمم مثبت است و $V_{B-B'}$ و $V_{C-C'}$ منفی هستند، و این حالت مترادف با جابجائی ۶۰ درجه الکتریکی است. جهت جدید جریانها و میدان گردنده در شکل (۶b ـ ۹) رسم شده‌اند می‌بینیم که میدان گردنده نیز ۶۰ درجه در جهت عقربه ساعت[2] (CW) نسبت به وضعیت t_1 چرخیده است. البته اگر استاتور ۴ قطبی فرض میشود میدان ۳۰ درجه می‌چرخید ولی در شکل (۶ ـ ۹) فقط سیستم دو قطبی را مد نظر داشته‌ایم.

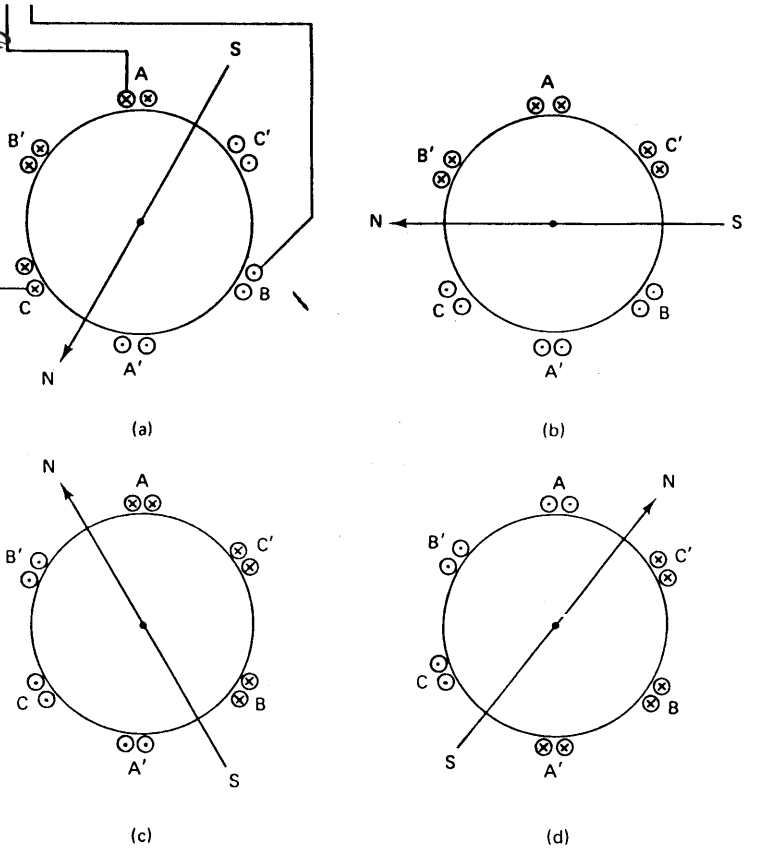
در زمان t_3، $V_{A-A'}$ و $V_{B-B'}$ مثبت‌اند و $V_{C-C'}$ ماکزیمم منفی است. جهت جدید جریانها و میدان گردنده در شکل (۶c ـ ۹) نشان داده شده‌اند و می‌بینیم میدان نسبت به وضعیت t_2 ۶۰ درجه چرخیده است (در جهت عقربه ساعت).

در زمان t_4، $V_{B-B'}$ ماکزیمم مثبت است و $V_{A-A'}$ و $V_{C-C'}$ منفی هستند. جهت جدید جریانها و میدان گردنده در شکل (۶d ـ ۹) رسم شده‌اند و نسبت به

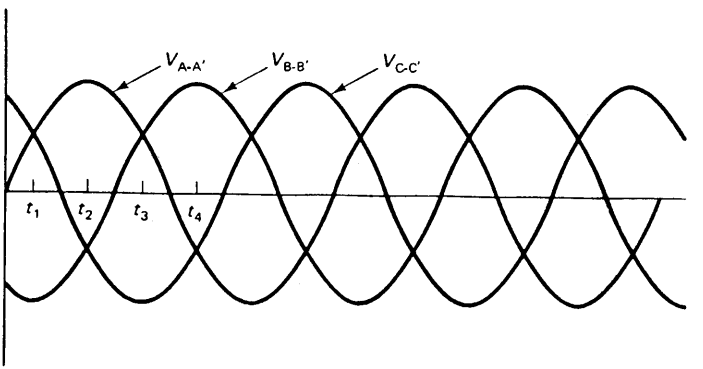
1) Rotating, Field 2) Clockwise

POWEREN.IR

POWEREN.IR



شکل ۶ ــ ۹ : وضعیت میدان گردنده در لحظات مختلف



شکل ۷ ــ ۹ : ولتاژهای سه فاز اعمال شده به استاتور با توالی فاز ABC

وضعیت t_3 ، ۶۰ درجه چرخش داشته‌ایم (در جهت عقربه ساعت) .

در بالا وضعیت میدان گردنده را در ۴ لحظه مورد بررسی قرار دادیم ولی این

POWEREN.IR

بدان معنی نیست که میدان هر دفعه ۶۰ درجه جهش می‌کند ، بلکه اگر هزاران زمان نزدیک بهم را در نظر بگیریم خواهیم دید که میدان پرش ندارد و بطور پیوسته و یکنواخت دوران می‌کند و نحوه این دوران به فرکانس ولتاژ استاتور بستگی دارد .

۱ ــ ۲ ــ ۹ : جهت چرخش میدان گردنده 9-2.1 Direction of the Rotating Field

همانطور که از توالی فاز [1] در شکل (۷ ــ ۹) پیداست و همچنین با توجه به نحوه سیم پیچی استاتور در شکل (۶ ــ ۹) در می‌یابیم که میدان گردنده در جهت عقربه ساعت (CW) می‌چرخد ، اگر توالی فاز را بصورت ACB درآوریم و دوباره زمانهای t_1 تا t_4 را بررسی کنیم می‌بینیم که جهت چرخش میدان گردنده عوض می‌شود (خلاف عقربه ساعت یا CCW [2]) . عمل تعویض توالی فاز را براحتی می‌توان با تعویض دو ترمینال در منبع تغذیه موتور انجام داد .

۲ ــ ۲ ــ ۹ سرعت چرخش میدان گردنده : 9-2.2 Speed of the Rotating Field

سرعت چرخش میدان گردنده به سرعت سنکرون معروف است وبرای محاسبه آن از روابط (۲ ــ ۸) در فصل قبل استفاده می‌کنیم . در این فصل از اندیس S برای سرعت سنکرون استفاده می‌کنیم و در این فصل خواهیم دید که سرعت رتور در ماشینهای القائی سرعت سنکرون نخواهد بود . سرعت سنکرون یا سرعت میدان گردنده در اینگونه موتورها اینچنین بدست می‌آید .

در سیستم ENG داریم

$$S_s = \frac{120f}{\mathbf{P}} \qquad (9\text{-}1a)$$

در سیستم SI داریم

$$\omega_s = \frac{4\pi f}{\mathbf{P}} \qquad (9\text{-}1b)$$

در معادلات (۱ ــ ۹) کمیت‌ها بقرار زیراند :

الف : P : تعداد قطبهای استاتور

ب : f : فرکانس ولتاژ اعمال شده بر استاتور بر حسب هرتز

ج : S_s سرعت سنکرون بر حسب دور در دقیقه

د : ω_s سرعت سنکرون بر حسب رادیان بر ثانیه

مثال ۱ ــ ۹ (سیستم ENG) :

1) Phase, Sequence 2) Counter, Clockwise

POWEREN.IR

سرعت سنکرون یک موتور القائی سه فاز ۴ قطبی و ۶۰ هرتزی را بدست آورید .

حل :

از رابطه (a ۱ ـ ۹) داریم :

$$S_s = 120 \times \frac{60}{4}$$

$$= 1800 \text{ rev/min}$$

مثال ۲ ـ ۹ (سیستم SI) :

یک موتور القائی سه‌فاز ، ۴ قطبی ، ۵۰ هرتزی مفروض است ، سرعت سنکرون یا سرعت میدان گردنده آنرا بیابید .

حل :

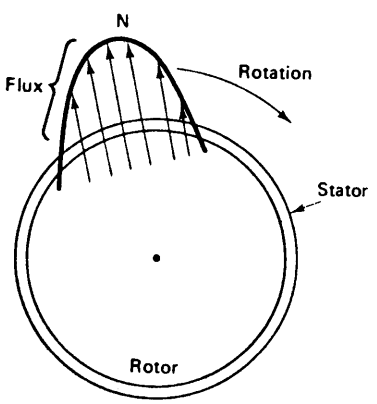
از رابطه (b ۱ ـ ۹) داریم :

$$\omega_s = 4\pi \times \frac{50}{4}$$

$$= 157.1 \text{ rad/s}$$

۳ ـ ۲ ـ ۹ شکل میدان گردان : *9-2.3 Shape of the Rotating Field*

ازآنجائیکه‌ولتاژاعمال شده به استاتور (ولتاژ منبع تغذیه) سینوسی است ؛ لذا جریان سیم پیچ‌های‌استاتورنیز سینوسی بوده و لذا در هر فاز استاتور شار سینوسی بدست می‌آید . شار گردنده (میدان گردنده) نیز مجموع سه فازور مربوط به شارهای سه فاز می‌باشد . لذا شار گردنده (میدان گردنده) را می‌توان مطابق شکل (۸ ـ ۹) نشان داد البته در این شکل یک نیم سیکل از شار گردنده که در مسیر دایره‌ای می‌چرخد را نشان داده‌ایم .



شکل ۸ ـ ۹ : شمای شار گردنده که شکل سینوسی دارد

POWEREN.IR

۳ ـ ۹ تئوری مربوط به عملکرد موتورهای القائی سه‌فاز: 9-3 Theory of Operation

POWEREN.IR

روشهای گوناگون جهت بیان عملکرد اینگونه ماشینها وجود دارد ما در این کتاب از مفاهیم میدان گردنده و مقایسه موتور القائی سه فاز باترانسفورماتورها استفاده می‌کنیم . درموتورهای‌القائی ، استاتور و ولتاژ اعمال شده شبیه مدار اولیه ترانسفورماتور می‌باشد . همچنین سیم پیچ رتور یا میله‌های مربوط به قفس سنجابی مشابه مدار ثانویه ترانسفورماتور می‌باشد . در نتیجه می‌توان توان مکانیکی تحویلی از طرف رتور را به بار ترانسفورماتور در ثانویه تشبیه ساخت .

اما یک فرق اساسی در شبیه سازی موتور القائی با ترانسفورماتور وجود دارد و آن اینستکه در ترانسفورماتورها فرکانس جریان و ولتاژ در دو مدار اولیه وثانویه یکسان می‌باشد ولی در موتورها فرکانس جریان و ولتاژ در رتور و استاتور یکسان نخواهد بود

هرگاه به‌استاتورولتاژاعمال گردد ، در سیم پیچ استاتور جریان برقرار می‌گردد . این جریان از دو مولفه تشکیل شده است .

الف : مولفه اول به جریان مغناطیس شوندگی (۱) موسوم است و نسبت به ولتاژ اعمال شده ۹۰ درجه اختلاف فاز دارد (پس فاز) . وظیفه اصلی این مولفه ایجاد میدان گردان می‌باشد .

ب : مولفه دوم جریان هم فازولتاژاعمال شده‌بوده‌و توان حقیقی (اکتیو) موتور را تامین می‌کند .

موضوعات بند " الف" و "ب" مشابه تئوری ترانسفورماتور می‌باشد (فصل هفتم شکل ۱۴ ـ ۷) .

هرگاه به محور رتور بار مکانیکی متصل نباشد لذا توان مکانیکی خروجی وجود ندارد . در نتیجه در این حالت بی‌باری (۲) ، توان حقیقی (اکتیو) وارده‌به موتور که از طریق منبع تغذیه استاتور تامین میشود صرف تلفات زیر در درون ماشین می‌گردد

۱ ـ تلفات مکانیکی (۳)

۲ ـ تلفات‌هسته (۴)

۳ ـ تلفات مسی (۵) (RI^2)

باید گفت که این تلفات بسیار کوچک هستند و زاویه θ_0 در شکل (۱۴ ـ ۷) خیلی نزدیک به ۹۰درجه می‌باشد . در نتیجه در میابیم که موتور در حالت بی‌باری دارای

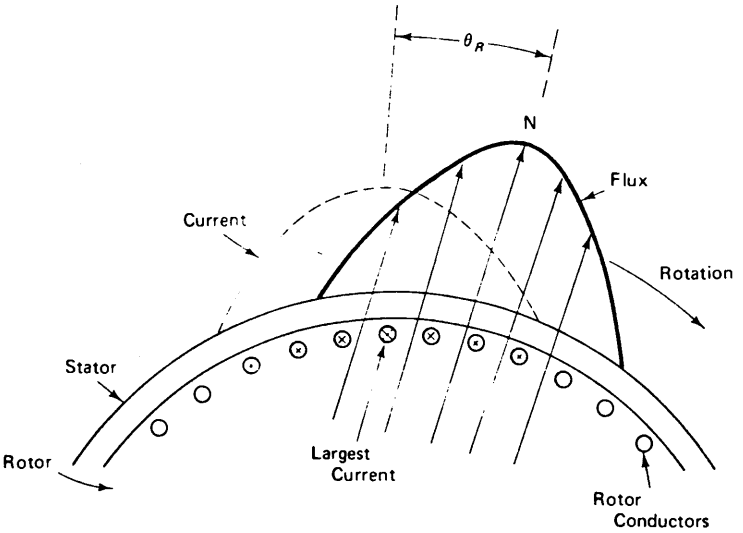
---

1) Magnetizing, Current
2) No, Load
3) Mechanical, Losses
4) Core, Losses
5) Copper, Losses

POWEREN.IR

ضریب توان بسیار ناچیزی است ($\cos 90^\circ = 0$)

هنگامیکه محور رتور را قفل کنیم تا موتور حرکت نکند در اینصورت حالت رتور قفل شده یا حالت رتور بلوکه شده یا حالت سکون در موتور پدیدار می‌گردد ومنبعد در این کتاب کمیت‌های مربوط به این سه حالت راکه همگی یکسان می‌باشند با اندیس BR نشان می‌دهیم . این حالت بسیار شبیه ترانسفورماتوریست که ثانویه آن اتصال کوتاه شده باشد ،



شکل ۹ ــ ۹ : دیاگرام شار و جریان رتور در حالت سکون

اگر هادیهای رتور و شار گردنده که آنها را قطع می‌کند ترسیم کنیم ، شکلی مشابه شکل (۹ ــ ۹) بدست می‌آید . البته این شکل برای حالت سکون رسم شده است . با توجه به قانون دست راست در می‌یابیم که جریان در هادیهای رتور به طرف داخل صفحه کاغذ بوده و با علامت X نشان داده شده است . حال باید درباره جریان رتور نکات زیر را ذکر کنیم .

الف ، چون هادیهای رتور بوسیله حلقه‌های انتهائی [1] اتصال کوتاه شده‌اند ؛ لذا در هادیهای رتور جریان برقرار می‌گردد

ب : چون شار گردنده توزیع سینوسی دارد ، لذا ولتاژ القاء شده در هر یک از هادیهای رتور نیز سینوسی بوده و با شار همفاز می‌باشد . چون هادیهای رتور دارای مقاومت و راکتانس اندوکتیو هستند ؛ لذا موج جریان مطابق شکل (۹ ــ ۹) خواهد بود (منحنی

1) End-Ring

POWEREN.IR

سینوسی خط چین) . همانطور که مشاهده می‌شود جریان با شار یا ولتاژ بمیزان θ_R اختلاف فاز دارد (پس فاز) . θ_R زاویه‌ضریب توان رتور گفته می‌شود البته θ_R نشان داده شده در شکل (۹ ــ ۹) مربوط به حالت سکون ماشین می‌باشد

ج : مقدار متوسط جریان رتور و فرکانس این جریان به طرز قطع هادیها توسط شار بستگی دارد . لــذا هر چه ســرعت رتور بالاتر رود ، لذا شار گردنده با نرخ آهسته‌تری هادیهای رتور را قطع می‌کند و دنتیجه جریان رتور و فرکانس آن کاهش میابد . در حقیقت اگر رتوربا سرعت سنکرون بچرخد دراینصورت سرعت شار گردان ورتور یکسان شده و خطوط شار هادیهای رتور را قطع نکرده و در نتیجه جریان رتور وفرکانس آن صفر خواهد بود .

حال دوباره به شکل (۹ ــ ۹) مربوط به حالت سکون برمی‌گردیم . همانطور که گفتیم در هادیهای رتور جریان برقرار می‌گردد و لذا نیروئی بر آنها وارد می‌شود (قانون بیوساوار جلد اول) . لذا این نیرو گشتاوری (کوپلی) در جهت شار گردان (میدان گردنده) پدیدار می‌سازد .

این موضوع را می‌توان طبق قانون دست چپ به اثبات رساند (جلد اول) مقدار گشتاور (کوپل) در موتورهای القائی مطابق رابطه زیر بدست می‌آید و شباهتی چند با گشتاور موتورهای DC (جلد اول) دارد .

$$T = K\phi I_R \cos \theta_R \qquad (9\text{-}2)$$

اندیس R در رابطه اخیر مبین کمیتهای مربوط به رتور بوده و همانطور که می‌دانیم همواره اختلاف فاز بین جریان رتور و شار وجود دارد لذا در رابطه (۲ ــ ۹) عبارت کسینوسی نیز ظاهر می‌شود .

چون در لحظه راه اندازی جریان رتور با شار گردنده متناسب است وشار گردنده نیز با ولتاژ اعمال شده به استاتور تناسب دارد ، لذا گشتاور راه انداز در موتورهای القائی اینچنین بدست می‌آید .

$$\begin{aligned} T_s &= K\phi(K_1\phi) \cos \theta_R \\ &= K' V_L^2 \end{aligned} \qquad (9\text{-}3)$$

از این رابطه در می‌یابیم که گشتاور راه‌انداز در موتورهای القائی سه فاز با محذور ولتاژ اعمال شده به استاتور (ولتاژ خط ــ خط) یا V_L متناسب است . گشتاور راه انداز باعث شتاب رتور شده و این شتاب به اینرسی رتور و بار مکانیکی مربوط به محور رتور بستگی دارد (معادله ۲ ــ ۵ جلد اول) . باید گفت همینکه رتور شروع بحرکت نمود دیگر رابطه (۳ ــ ۹) برای محاسبه گشتاور صادق نیست . با سرعت گرفتن رتور هادیها رتور خطوط شار کمتری را قطع می‌کنند و لذا ولتاژ القاء شده در هادیهای رتور کاهش می‌یابد

در نتیجه جریان رتور (I_R) نیز نزول می‌کند وبالنتیجه گشتاور ذکر شده در رابطه (۲ ــ ۹) نیز کم میشود . حال اگر سرعت رتور به سرعت سنکرون یا سرعت شار گردنده (میدان گردنده) برسد در اینصورت هادیهای رتور خطوط شار را قطع نمی‌کنند (چرا؟) لذا در رتو ولتاژ القاء نشده بالنتیجه جریان رتور صفر می‌گردد و بالمال گشتارو نیز صفر خواهد شد (رابطه ۲ ــ ۹) . از صفر شدن گشتاور نتیجه میشود که شتاب صفر می‌شود و ماشین تحت سرعت ثابت سنکرون می‌چرخد . اما باید گفت که در موتورهای القائی سه فاز هیچگاه سرعت رتور به سرعت سنکرون نمی‌رسد و لذا گشتاور نیز هیچگاه صفر نمی‌شود ، زیرا همواره حتی در حالت بی‌باری باید گشتاور ناچیزی در ماشین پدیدار شود تا بر مسئله اصطکاک (۱) و تهویه (۲) فائق آید . در نتیجه سرعت رتور هیچگاه در حالت بی‌باری به سرعت سنکرون نمی‌رسد ، ولی به سرعتی نزدیک سنکرون می‌رسد تا جریان کمی در رتور پدیدار شود و گشتاور ناچیزی در حالت بی‌باری جهت فائق آمدن بر اصطکاک و تهویه تولید شود . در حالت بار داری پرواضح است که هیچگاه به سرعت سنکرون نخواهیم رسید زیرا به گشتاوری نیاز داریم که نیازهای بار را برآورد سازد . باید خاطر نشان ساخت که در حالت بارداری سرعت موتور می‌افتد تا خطوط شار بیشتری رتور را قطع کند و جریان کافی جهت تولید گشتاور مورد نیاز بار پدیدار گردد . چون رتور ماشینهای القائی هیچگاه با سرعت سنکرون نمی‌چرخند (از بی بار تا بارداری) لذا گاهی به آنها لفظ موتورهای اسنکرون (۳) اتلاق می‌گردد . در موتورهای القائی یا اسنکرون انرژی الکتریکی توسط ابزار مکانیکی مثل حاروبک یا حلقه لغزانی به رتور منتقل نمی‌شود بلکه این عمل توسط القاء مغناطیسی انجام می‌پذیرد وبهمین دلیل به آن لفظ موتورهای القائی نیز اتلاق می‌شود .

9-3.1 Motor Ratings

۱ ــ ۳ ــ ۹ : مشخصه‌های اسمی موتورهای القائی یا اسنکرون سه فاز :

معمولا مشخصه‌های اسمی موتورهای القائی سه فاز اینچنین‌اند

۱ ــ ولتاژ اسمی که باید به استاتور اعمال شود و معمولا ولتاژ خط ــ خط مورد نظر است .

۲ ــ فرکانس اسمی که باید ولتاژ منبع تغذیه همان فرکانس اسمی را داشته باشد .

۳ ــ توان اسمی : شامل حداکثر توان مکانیکی است که موتور می‌تواند دائما تامین کند و به آن گاهی بار کامل (۴) نیز گفته می‌شود .

---

1) Friction 2) Windage

3) Asynchronous-Motor 4) Full-Load

POWEREN.IR

POWEREN.IR

۴ ــ سرعت اسمی: سرعتی است که موتور تحت آن توان اسمی (بار کامل) خود را تحویل می‌دهد.

۵ ــ جریان اسمی: جریانی است که موتور از منبع تغذیه در حالتی می‌کشد که بار اسمی (بار کامل) خود را تحویل می‌دهد و معمولا جریان خط مد نظر است.

۶ ــ ضریب توان اسمی: ضریب توان [1] موتور در حالتی است که بار اسمی خود را تحویل می‌دهد.

مثال ۳ ــ ۹ (سیستم ENG):

یک موتور القائی (اسنکرون) سه فاز با مشخصات زیر مفروض است.

ولت ۲۰۸ = ولتاژ اسمی ترمینال (خط ــ خط)

هرتز ۶۰ = فرکانس اسمی

اسب بخار ۲ = توان اسمی

فوت ــ پوند ۱۲ = گشتاور راه انداز حاصله در ماشین

مطلوبست:

الف: گشتاور راه انداز موتور هنگامیکه ولتاژ ۲۴۰ ولت به موتور اعمال شود

ب: اگر بخواهیم گشتاور راه انداز ۱۸ "فوت ــ پوند" باشد چه ولتاژی باید به موتور اعمال شود.

حل:

از رابطه (۳ ــ ۹) استفاده می‌شود.

الف: برای دو ولتاژ ۲۰۸ و ۲۴۰ ولت داریم:

$$T_{s1} = K' V_{L1}^2 \text{ for the first voltage}$$

$$T_{s2} = K' V_{L2}^2 \text{ for the second voltage}$$

از تقسیم دو رابطه اخیر داریم:

$$\frac{T_{s1}}{T_{s2}} = \left(\frac{V_{L1}}{V_{L2}}\right)^2 \qquad \text{(9-4a)}$$

لذا:

$$T_{s2} = T_{s1}\left(\frac{V_{L2}}{V_{L1}}\right)^2$$

$$= 12 \text{ ft-lb}\left(\frac{240 \text{ V}}{208 \text{ V}}\right)^2$$

$$= 15.98 \approx 16 \text{ ft-lb}$$

POWEREN.IR

1) Power, Factor

ب: از رابطه (۴a – ۹) داریم:

$$V_{L2} = V_{L1}\sqrt{\frac{T_{s2}}{T_{s1}}}$$

$$= 208\ \text{V}\sqrt{\frac{18\ \text{ft-lb}}{12\ \text{ft-lb}}}$$

$$= 254.75\ \text{V}$$

مثال ۴ – ۹ (سیستم SI):

یک موتور القائی سه فاز با مشخصات زیر مفروض است،

ولت ۴۴۰ = ولتاژ اسمی ترمینال (خط – خط)

هرتز ۵۰ = فرکانس اسمی

کیلو وات ۲ = توان اسمی

نیوتون متر ۴۰ = گشتاور راه انداز حاصله در ماشین،

مطلوبست:

الف: گشتاور راه انداز اگر ولتاژ ۴۶۰ ولت به‌ماشین اعمال شود

ب: اگر بخواهیم گشتاور راه انداز ۶۰ "نیوتون متر" باشد ولتاژی را که‌باید به ماشین اعمال کنیم بدست آورید.

حل

از رابطه (۳ – ۹) برای دو ولتاژ ۴۴۰ و ۴۶۰ ولت داریم:

$$T_{s1} = K'V_{L1}^2 \quad \text{for the first voltage}$$

$$T_{s2} = K'V_{L2}^2 \quad \text{for the second voltage}$$

از تقسیم این دو رابطه داریم:

$$\frac{T_{s1}}{T_{s2}} = \left(\frac{V_{L1}}{V_{L2}}\right)^2 \qquad (۴b – ۹)$$

در نتیجه:

$$T_{s2} = T_{s1}\left(\frac{V_{L2}}{V_{L1}}\right)^2$$

$$= 40\ \text{N-m}\left(\frac{460\ \text{V}}{440\ \text{V}}\right)^2$$

$$= 43.72\ \text{N-m}$$

ب: از رابطه (۴b – ۹) داریم:

$$V_{L2} = V_{L1}\sqrt{\frac{T_{s2}}{T_{s1}}}$$

$$= 440\ \text{V}\sqrt{\frac{60\ \text{N-m}}{40\ \text{N-m}}}$$

$$= 538.9\ \text{V}$$

POWEREN.IR

۴ـ ۹ روابط سرعت در موتورهای القائی سه فاز: 9-4 SPEED RELATIONSHIPS

معمولا سرعت موتورهای القائی (اسنکرون) ثابت است ولی بدان معنی نیست که سرعت هرگز تغییر نمی‌کند. باید گفت که سرعت اینگونه موتورها با بارتغییر می‌کند ولی سرعت همواره کمتر از سرعت سنکرون خواهد بود. همانطور که در جلد اول دیدیم سرعت موتورهای DC را اینچنین می‌توان تغییر داد.

۱ـ تغییر جریان تحریک بر سرعت موتور DC اثر می‌گذارد.

۲ ـ تغییر جریان ارمیچر بر سرعت موتور DC اثر دارد.

۳ ـ تغییر ولتاژ منبع تغذیه سرعت موتور DC را تغییر می‌دهد.

سرعت موتور اسنکرون (القائی) هنگامی تغییر می‌کند که بار تغییر نماید، ولی تغییر بار موتور جهت تغییر سرعت زیاد جالب بنظر نمی‌رسد زیرا کنترل بار زیاد برای مصرف کنندگان اینگونه موتورها میسر نیست. لذا باید به روش دیگری جهت کنترل سرعت موتورهای اسنکرون دست یافت تنهاراه منطقی جهت کنترل سرعت اینگونه موتورها تغییر سرعت سنکرون میدان گردنده می‌باشد. و با توجه به رابطه (۱ ـ ۹) این امر با تغییر تعداد قطبها یا فرکانس منبع تغذیه میسر می‌گردد. روش دیگری نیز وجود دارد و آن تغییر مقاومت رتورهای سیم پیچی شده بوسیلهٔ رئوستای خارجی می‌باشد. لذا جریان رتور کنترل شده و گشتاور نیز تحت کنترل در می‌آید که بالمال بر سرعت اثر می‌گذارد.

اما در این فصل خواهیم دید که بخاطر تلفات RI^2 در مقاومت خارجی؛ راندمان[1] ماشین کاهش می‌یابد و علاوه بر این از این تکنیک نمی‌توان برای رتورهای قفس سنجابی استفاده کرد.

البته می‌توان باکاهش ولتاژ منبع تغذیه (ولتاژ خط ـ خط) شار گردنده (میدان گردنده) را کاهش داد و لذا جریان رتور را کم نمود. این روش زیاد جالب توجه نیست زیرا شرایط ناپایدار در مواقعی که موتور نسبت به تغییرات بار حساس می‌شود پدیدار خواهد شد (بخصوص در موتورهای بزرگ).

۱ ـ ۴ ـ ۹ لغزش 9-4.1 Slip

لغزش[2] در موتورهای القائی (اسنکرون) سه فاز اینچنین بدست می‌آید.

در سیستم ENG داریم:

$$\text{slip} = s = S_s - S \qquad (9\text{-}5a)$$

در سیستم SI داریم:

1) Efficiency 2) Slip

$$\text{slip} = s = \omega_s - \omega \qquad (9\text{-}5b)$$

در روابط اخیر S_s و ω_s سرعت سنکرون و S و ω سرعت واقعی رتور می‌باشند.
معمولا لغزش را بصورت درصدی از سرعت سنکرون بیان می‌دارند
در سیستم ENG داریم:

$$\text{percent slip} = s = \frac{S_s - S}{S_s} \times 100 \qquad (9\text{-}6a)$$

در سیستم SI داریم:

$$\text{percent slip} = s = \frac{\omega_s - \omega}{\omega_s} \times 100 \qquad (9\text{-}6b)$$

مثال ۵ ــ ۹ (سیستم ENG):

یک موتور اسنکرون سه فاز با مشخصات زیر مفروض است

ولت ۲۰۸ = ولتاژ اسمی ترمینال (خط ــ خط)
اسب بخار ۲ = توان اسمی
هرتز ۶۰ = فرکانس اسمی
دوردردقیقه ۱۷۹۰ = سرعت در حالت بی‌باری
دوردردقیقه ۱۶۵۰ = سرعت در بار اسمی (بار کامل)
۴ = تعداد قطبها

لغزش و درصد لغزش را در شرایط زیر حساب کنید

الف: حالت بی‌باری
ب: حالت بار اسمی (بار کامل)
ج: حالت رتور قفل شده[1] (سکون)

حل:

قبل از شروع محاسبات سرعت سنکرون را بدست می‌آوریم (رابطه a ۱ ــ ۹)

$$S_s = 120 \times \frac{60 \text{ Hz}}{4 \text{ poles}} = 1800 \text{ rev/min}$$

الف: از رابطه (a ۵ ــ ۹) و (a ۶ ــ ۹) داریم:

$$s = 1800 \text{ rev/min} - 1790 \text{ rev/min} = 10 \text{ rev/min}$$

$$s = (1800 - 1790) \times \frac{100}{1800} = 0.556\%$$

1) Blocked-Rotor=Locked,Rotor

POWEREN.IR

POWEREN.IR

ب. از رابطه (a ۵ ـ ۹) و (a ۶ ـ ۹) داریم:

$$s = 1800 \text{ rev/min} - 1650 \text{ rev/min} = 150 \text{ rev/min}$$

$$s = (1800 - 1650) \times \frac{100}{1800} = 8.33\%$$

ج: از رابطه (a ۵ ـ ۹) و (a ۶ ـ ۹) داریم:

$$s = 1800 \text{ rev/min} - 0 = 1800 \text{ rev/min}$$

$$s = (1800 - 0) \times \frac{100}{1800} = 100\%$$

مثال ۶ ـ ۹ (سیستم SI).

یک موتور اسنکرون سه فاز با مشخصات زیر مفروض است.

ولتاژ اسمی ترمینال (خط ـ خط) = ۲۳۰ ولت

تعداد قطبها = ۴

توان اسمی = ۲ کیلووات

فرکانس اسمی = ۵۰ هرتز

سرعت در حالت بی‌باری = ۱۵۵ رادیان بر ثانیه

سرعت در بار اسمی (بار کامل) = ۱۴۰ رادیان بر ثانیه

لغزش و درصد لغزش را درحالتهای زیر حساب کنید.

الف: حالت بی‌باری

ب: حالت بار اسمی (بار کامل)

ج: حالت سکون (رتور قفل شده)

حل:

ابتدا سرعت سنکرون را از رابطه (b ۱ ـ ۹) بدست می‌آوریم:

$$\omega_s = 4\pi \times \frac{50 \text{ Hz}}{4 \text{ poles}} = 157.14 \text{ rad/s}$$

الف: از روابط (b ۵ ـ ۹) و (b ۶ ـ ۹) داریم.

$$s = 157.14 \text{ rad/s} - 155 \text{ rad/s} = 2.14 \text{ rad/s}$$

$$s = (157.14 - 155) \times \frac{100}{157.14} = 1.36\%$$

ب: از روابط (b ۵ ـ ۹) و (b ۶ ـ ۹) داریم:

$$s = 157.14 \text{ rad/s} - 140 \text{ rad/s} = 17.14 \text{ rad/s}$$

$$s = (157.14 - 140) \times \frac{100}{157.14} = 10.9\%$$

POWEREN.IR

ج: از روابط (۹ ـ ۵b) و (۹ ـ ۶b) داریم:

$$s = 157.14 \text{ rad/s} - 0 = 157.14 \text{ rad/s}$$

$$s = (157.14 - 0) \times \frac{100}{157.14} = 100\%$$

از دو مثال فوق در می‌یابیم که:

۱ ـ در لحظه راه اندازی درصد لغزش ۱۰۰% بوده و لغزش معادل یک، می‌باشد

۲ ـ با سرعت گرفتن رتور لغزش کاهش می‌یابد ودر حالت بی‌باری لغزش بسیار کم است ومعمولا درصد لغزش حدود صفر تا ۲ درصد است و لغزش حدود صفر تا 0.02 است.

۳ ـ با افزایش بار موتور سرعت کاهش میابد ـ و لغزش زیاد می‌شود و گشتاور بیشتری درموتور حاصل میشود تا بتواند بار را تامین کند، لذا در می‌یابیم که گشتاور با لغزش متناسب است (در این فصل بیشتر راجع به این موضوع صحبت می‌کنیم).

مثال ۷ ـ ۹ (سیستم ENG):

یک موتور اسنکرون سه فاز ۶۰ هرتزی با مشخصات زیر مفروض است.

دور در دقیقه ۵۹۵ = سرعت بی‌باری

۱۶% = درصد لغزش در بار اسمی (بار کامل)

مطلوبست محاسبه تعداد قطبها در این ماشین و همچنین سرعت اسمی (بار کامل) را بیابید.

حل.

برای حل این مساله از روش آزمون و خطا [1] استفاده می‌کنیم و بر این باوریم که سرعت بی‌باری خیلی نزدیک به سرعت سنکرون است.

ابتدا فرض می‌کنیم ماشین ۸ قطبی باشد. لذا از رابطه (۹ ـ ۱a) داریم:

$$S_s = 120 \times \frac{60}{8} = 900 \text{ rev/min}$$

حال موتور ۱۰ قطبی را امتحان می‌کنیم.

$$S_s = 120 \times \frac{60}{10} = 720 \text{ rev/min}$$

حال موتور ۱۲ قطبی را مورد آزمایش قرار می‌دهیم.

1) Trial and Error

POWEREN.IR

POWEREN.IR

$$S_s = 120 \times \frac{60}{12} = 600 \text{ rev/min}$$

می‌بینیم که سری سنکرون موتور ۱۲ قطبی خیلی نزدیک به سرعت بی‌باری این موتور است ، در نتیجه این موتور ۱۲ قطبی است . حال با دانستن اینکه موتور ۱۲ قطبی است وسرعت سنکرون آن ۶۰۰ دور در دقیقه است ، لذا از رابطه (a ۶ ـ ۹) استفاده می‌کنیم .

$$16 = \frac{600 - S_{FL}}{600} \times 100$$

$$S_{FL} = 600 - 600 \times \frac{16}{100}$$

$$= 504 \text{ rev/min}$$

مثال ۸ ـ ۹ (سیستم SI) :

یک موتور اسنکرون ، سه‌فاز ، ۵۰ هرتزی مفروض است و دارای مشخصات زیر است .

رادیان بر ثانیه ۶۲/۵ = سرعت در حالت بی‌باری

۲۰% = درصد لغزش در بار اسمی

تعداد قطبهای موتور را بدست آورید و سرعت موتور را در بار اسمی (بار کامل) محاسبه کنید .

حل :

برای حل این مساله از روش آزمون و خطا استفاده می‌کنیم و بر این باوریم که سرعت سنکرون و سرعت بی‌باری خیلی نزدیک بهم هستند ، از رابطه (b ۱ ـ ۹) استفاده می‌کنیم .

ابتدا موتور را ۸ قطبی در نظر می‌گیریم .

$$\omega_s = 4\pi \times \frac{50}{8} = 78.5 \text{ rad/s}$$

حال موتور را ۱۰ قطبی اختیار می‌کنیم .

$$\omega_s = 4\pi \times \frac{50}{10} = 62.83 \text{ rad/s}$$

می‌بینیم که سرعت سنکرون موتور ۱۰ قطبی نزدیک سرعت بی‌باری موتور مورد نظر است . پس موتور ۱۰ قطبی می‌باشد .

حال از رابطه (b ۶ ـ ۹) استفاده می‌کنیم .

$$20 = \frac{62.83 - \omega_{FL}}{62.83} \times 100$$

$$\omega_{FL} = 62.83 - 62.83 \times \frac{20}{100} = 50.26 \text{ rad/s}$$

POWEREN.IR

چون در محاسبات سرعت بیشتر از روابط (۱ ــ ۹) و (۶ ــ ۹) استفاده می‌شود لذا بهتر است آنها را در هم ادغام کنیم . لذا بین این دو رابطه سرعت سنکرون را حذف می‌کنیم . در سیستم ENG داریم :

$$S = \frac{120f}{\mathbf{P}}(1 - \mathbf{s}) \qquad (9\text{-}7a)$$

در سیستم ENG داریم :

$$\omega = \frac{4\pi f}{\mathbf{P}}(1 - \mathbf{s}) \qquad (9\text{-}7b)$$

باید توجه داشت که در این روابط لغزش بر حسب اعشار بیان می‌شود و برحسب درصد جایگزین نمی‌گردد . مثلا اگر درصد لغزش ۲۰٪ بود در روابط فوق ۰/۲ جایگزین می‌کنیم .

مثال ۹ ــ ۹ (سیستم ENG) :

یک موتور اسنکرون سه‌فاز ، ۴ قطبی ، ۶۰ هرتزی مفروض است و درصد لغزش آن در بار اسمی (بار کامل) ۱۸٪ است . سرعت آنرا در بار اسمی بیابید .

حل :

از رابطه (۷ a ــ ۹) کمک می‌گیریم :

$$S_{FL} = \frac{120 \times 60}{4}(1 - 0.18) = 1476 \text{ rev/min}$$

مثال ۱۰ ــ ۹ (سیستم SI) :

یک موتور اسنکرون سه‌فاز ، ۱۲ قطبی ، ۵۰ هرتزی مفروض است و لغزش آن در بار اسمی (بار کامل) ۲۲٪ است . سرعت اسمی آنرا بیابید .

حل :

از رابطه (۷ b ــ ۹) استفاده می‌شود .

$$\omega_{FL} = \frac{4\pi \times 50}{12}(1 - 0.22) = 40.86 \text{ rad/s}$$

۲ ــ ۴ ــ ۹ تنظیم سرعت : *9-4.2 Speed Regulation*

تعریف تنظیم سرعت [1] در موتورهای القائی سه فاز مشابه موتورهای DC است (جلد اول) ، در سیستم ENG داریم .

1) Speed, Regulation

POWEREN.IR

$$\text{\% speed regulation} = \frac{S_{NL} - S_{FL}}{S_{FL}} \times 100 \qquad (9\text{-}8a)$$

در سیستم SI داریم :

$$\text{\% speed regulation} = \frac{\omega_{NL} - \omega_{FL}}{\omega_{FL}} \times 100 \qquad (9\text{-}8b)$$

با آنکه روابط فوق مشابه روابط لغزش است (روابط ۶ ــ ۹) ولی نباید این روابط با هم اشتباه شوند زیرا در روابط لغزش سرعت سنکرون در مد نظر است ولی در روابط تنظیم سرعت همانطور که مشاهده می‌شود ، سرعت بی‌باری مطرح می‌شود .

مثال ۱۱ ــ ۹ (سیستم ENG) :

یک موتور القائی سه فاز ، ۶ قطبی ، ۶۰ هرتزی مفروض است و دارای مشخصات زیر است :

سرعت بی‌باری = ۱۱۹۰ دور در دقیقه

سرعت در بار اسمی (بار کامل) = ۹۸۰ دور در دقیقه

درصد لغزش و درصد تنظیم سرعت را برای این موتور بیابید .

حل :

از رابطه (۱ a ــ ۹) داریم :

$$S_s = 120 \times \frac{60}{6} = 1200 \text{ rev/min}$$

از رابطه (۶ a ــ ۹) داریم :

$$s = (1200 - 980) \times \frac{100}{1200} = 18.33\%$$

از رابطه (۸ a ــ ۹) داریم :

$$SR = (1190 - 980) \times \frac{100}{980} = 21.4\%$$

مثال ۱۲ ــ ۹ (سیستم SI) :

یک موتور اسنکرون سه فاز ، ۸ قطبی ، ۵۰ هرتزی مفروض است و دارای مشخصات زیر است .

سرعت بی‌باری = ۷۷/۸ رادیان بر ثانیه

سرعت در بار اسمی (بار کامل) = ۶۶ رادیان بر ثانیه

POWEREN.IR

درصد لغزش و درصد تنظیم سرعت موتور را بیابید .

POWEREN.IR

حل :

از رابطه (b ۱ ــ ۹) داریم :

$$\omega_s = 4\pi \times \frac{50}{8} = 78.57 \text{ rad/s}$$

از رابطه (b۶ ــ ۹) داریم :

$$s = (78.57 - 66) \times \frac{100}{78.57} = 16\%$$

از رابطه (b ۸ ــ ۹) داریم :

$$SR = (77.8 - 66) \times \frac{100}{66} = 17.9\%$$

باید توجه داشت که از روابط (۷ ــ ۹) نیز می‌توان برای دو مثال فوق استفاده کرد .

9-5 ANALYSIS OF ROTOR BEHAVIOR

۵ ــ ۹ تحلیل رفتار رتور در موتورهای القائی سه فاز :

در این بخش رفتار رتور را در اینگونه موتورها مورد بررسی قرار می‌دهیم . این تحلیل شامل روابط الکتریکی و گشتاور خروجی در سرعتهای گوناگون می‌باشد . در این بررسی فرضیاتی را مد نظر قرار می‌دهیم ولی تقریب این بررسی‌نسبتا خوب است و برای رتورهای قفس‌سنجابی و سیم پیچی شده صادق می‌باشد .اندیس R در این بخش نمایانگر کمیتهای مربوط به رتور است .

در بخش (۳ ــ ۹) همین فصل گفتیم که فرکانس جریان‌رتور (f_R) در حالت سکون با فرکانس منبع تغذیه موتور (f) برابر است ، با سرعت گرفتن رتور ، f_R کم می‌شود و معادله زیر مبین رابطه بین فرکانس جریان رتور و فرکانس منبع تغذیه در تحت لغزشهای مختلف می‌باشد .

$$f_R = sf \qquad (9\text{-}9)$$

در رابطه اخیر لغزش (S) بر حسب عدد اعشاری بیان می‌شود و در صدی جایگزین نمی‌گردد .

در حالت سکون لغزش ۱۰۰% یا یک بوده و f_R برابر ۶۰ یا ۵۰ هرتز خواهد بود . در شرایط متداول‌بار دارای لغزش بسیارکم است (حدود ۵%) . لذا فرکانس جریان رتور در حالت بی‌باری حدود ۲/۵ تا ۳ هرتز خواهد بود که تقریبا جریانی است مستقیم

POWEREN.IR

POWEREN.IR

(DC).

اندوکتانس هرفاز رتور (L_R) عددی ثابت است ولی راکتانس هر فاز رتور (X_R) تابعی از فرکانس است ($X_R = 2\pi f_R L_R$) . لذا راکتانس هر فاز رتور تابعی از سرعت یا لغزش است ، اگر X_{BR} راکتانس هر فاز رتور در حالت سکون باشد ($X_{BR} = 2\pi f L_R$) ، بنابراین راکتانس هر فاز رتور در لغزشهای مختلف اینچنین بیان میشود :

$$X_R = sX_{BR} \tag{9-10}$$

اگر مقاومت هر فاز رتور را R_R بگیریم ، لذا آمپدانس هر فاز رتور در لغزشهای مختلف اینچنین است .

$$Z_R = \sqrt{R_R^2 + (sX_{BR})^2} \tag{9-11}$$

ولتاژ القاء شده در هر فاز رتور (E_R) تابع کمیتهای زیر است :

۱ ــ ولتاژ استاتور (منبع تغذیه)

۲ ــ چگونگی و نرخ قطع خطوط شار گردنده توسط هادیهای رتور

۳ ــ نسبت دورهای سیم پیچهای استاتور و رتور

البته نسبت دورهای سیم پیچهای استاتور و رتور در ماشینهای قفس سنجابی قدری مبهم است ولی ما در این کتاب خود را درگیر این مطالب نمی‌کنیم و فرض می‌کنیم در حالت سکون ولتاژ E_{BR} در هر فاز رتور القاء شده باشد ، با سرعت گرفتن رتور ولتاژ القاء شده در هر فاز رتور کاهش می‌یابد (بند ۲ فوق‌الذکر) ، لذا ولتاژ القاء شده در هر فاز رتور در لغزشهای مختلف اینچنین است .

$$E_R = sE_{BR} \tag{9-12}$$

با توجه به روابط (۱۱ ــ ۹) و (۱۲ ــ ۹) جریان هرفاز رتور در لغزشهای مختلف بدست می‌آید .

$$I_R = \frac{sE_{BR}}{\sqrt{R_R^2 + (sX_{BR})^2}} \tag{9-13}$$

معمولا X_{BR} ۴ برابر R_R است ودراغلب موتورها لغزش در بار اسمی (بار کامل) حدود ۱۰٪ است . لذا در شرایط اسمی امپدانس هر فاز رتور تقریبا همان R_R خواهد بود . زیرا ($(sX_{BR})^2$) کوچکتر از $((R_R)^2)$ می‌گردد .

مثال ۱۳ ــ ۹ :

یک موتور القائی سه‌فاز مفروض است و مقاومت هر فاز رتور ۰/۰۸ اهم و X_{BR} معادل ۰/۳۵ اهم در هرفاز می‌باشد . امپدانس هرفاز رتور را در لغزش ۱۰٪ بدست آورید .

POWEREN.IR

POWEREN.IR

حل:

از رابطه (۱۱ ــ ۹) داریم.

$$Z_R = \sqrt{(0.08)^2 + (0.1 \times 0.35)^2} = 0.087$$

مشاهده میشود Z_R تقریبا با R_R مساوی‌می‌باشد ،لذامی‌توان‌رابطه (۱۳ــ ۹) را در شرایط‌اسمی با تقریب خوب اینچنین نوشت ،

$$I_R = \frac{sE_{BR}}{R_R} \qquad (9\text{-}14)$$

از آنجائیکه‌در شرایط‌اسمی امپدانس رتور تقریبا " مقاومتی خالص می‌باشد ؛ لذا در این شرایط ضریب توان رتور ($\cos\theta_R$) تقریبا واحد خواهد بود با جایگزینی رابطه (۱۴ ــ ۹) در رابطه (۲ ــ ۹) و با در نظر گرفتن ضریب توان واحد برای رتور ، رابطه گشتاور اینچنین بدست می‌آید ،

$$T = \frac{K\phi s E_{BR}(1)}{R_R} \qquad (9\text{-}15)$$

در رابطه اخیر تنها متغیر لغزش است . لذا سایر کمیتها را یک کاسه کرده و با ثابت K'' نشان می‌دهیم .

$$K'' = \frac{K\phi E_{BR}}{R_R} \qquad (9\text{-}16)$$

با تقریب خوب می‌توان گفت‌که شار با ولتاژ منبع تغذیه (ولتاژ خط ــ خط) متناسب است و اگر ولتاژ منبع تغذیه ثابت باشد شار را تقریبا ثابت در نظر می‌گیریم . لذا با توجه به روابط (۱۵ ــ ۹) و (۱۶ ــ ۹) داریم .

$$T = K''s \qquad (9\text{-}17)$$

در رابطه (۱۷ ــ ۹) گشتاوربدست‌آمده همان گشتاور حاصله موتور خواهد بود .

گشتاور خروجی اینچنین بدست می‌آید ؛

گشتاورهای مخالفت کننده موتور ــ موتور گشتاور حاصله موتور (رابطه ۱۷ ــ ۹) = گشتاور خروجی

واضح است که :

گشتاورهای حاصله بخاطر تلفات مکانیکی داخل ماشین = گشتاورهای مخالفت کننده موتور .

چون تلفات مکانیکی تقریبا ثابت است لذا :

عددی ثابت ــ گشتاور حاصله موتور = گشتاور خروجی موتور

در نتیجه‌گشتاورخروجی نیز تابعی از لغزش می‌باشد . هرگاه موتور تحت سرعت ثابتی‌کارکند ،لذا شتاب صفر خواهد بود و گشتاور خروجی معادل گشتاور بار که گشتاور

POWEREN.IR

POWEREN.IR

مخالفت کننده یا باز دارنده می‌باشد خواهد شد . لذا با تقریب خوب داریم

گشتاور بار = عددی ثابت ـ گشتاور حاصله موتور = گشتاور خروجی موتور

چون تلفات مکانیکی ماشین کم است لذا :

گشتاور بار = گشتاور حاصله موتور = گشتاور خروجی موتور

مثال ۱۴ ـ ۹ (سیستم ENG) :

یک موتور اسنکرون سه فاز ۶۰ هرتزی مفروض است و سرعت آن در بار اسمی (بار کامل) برابر ۱۶۰۰ دور در دقیقه می‌باشد . سرعت آنرا در نصب بار اسمی بدست آورید (تعداد قطبها را ۴ فرض کنید) .

حل :

ابتدا لغزش را در بار اسمی بدست می‌آوریم (رابطه a ۷ ـ ۹) .

$$1600 = \frac{120 \times 60}{4}(1 - s)$$

$$s = 1 - 0.89 = 0.11 \text{ (11\% slip)}$$

از رابطه (۱۷ ـ ۹) و مطالب فوق در میابیم که لغزش با بار متناسب است . لذا لغزش در نصف بار اسمی اینچنین بدست می‌آید .

$$s = 0.11(\tfrac{1}{2}) = 0.055$$

حال سرعت در نصف بار اسمی را بدست می‌آوریم (رابطه a ۷ ـ ۹) :

$$S = \frac{120 \times 60}{4}(1 - 0.055) = 1701 \text{ rev/min}$$

مثال ۱۵ ـ ۹ (سیستم SI) :

یک موتور اسنکرون سه فاز ۵۰ هرتزی مفروض است و سرعت آن در بار اسمی (بار کامل) ۲۶۵ رادیان بر ثانیه است اگر بار موتور به ۷۵٪ بار اسمی تقلیل یابد سرعت جدید موتور چیست؟ (تعداد قطبها را ۲ فرض کنید) .

حل :

ابتدا لغزش در بار اسمی را حساب می‌کنیم (رابطه b ۷ ـ ۹) :

$$265 = \frac{4\pi \times 50}{2}(1 - s)$$

$$s = 1 - 0.84 = 0.16 \text{ (16\% slip)}$$

POWEREN.IR

از رابطه (۱۷ ــ ۹) و مطالب فوق درمیابیم که لغزش در ۷۵% بار اسمی اینچنین حساب میشود

$$s = 0.75 \times 0.16 = 0.12$$

حال از رابطه (۷b ــ ۹) سرعت‌را در ۷۵% بار اسمی بدست می‌آوریم .

$$\omega = \frac{4\pi \times 50}{2}(1 - 0.12) = 276.3 \text{ rad/s}$$

۱ ــ ۵ ــ ۹ رابطه گشتاور ــ توان *9-5.1 Torque–Power Relationships*

در فصل پنجم (جلد اول) رابطه بین گشتاور و توان موتورهای DC را مورد بررسی قرار دادیم . این روابط همراه با تئوری‌های ذکر شده در این فصل ما را قادر می‌سازد که روابط بین گشتاور و توان موتورهای القائی سه فاز را بدست آوریم . مثالهای زیر این موضوع را بهتر روشن می‌کنند .

مثال ۱۶ ــ ۹ (سیستم ENG) :

یک موتور القائی ۲۰۸ ولتی سه فاز با مشخصات زیر مفروض است

هرتز	۶۰	= فرکانس اسمی
اسب بخار	۲	= توان اسمی
دوردردقیقه	۱۷۰۰	= سرعت در بار اسمی
دوردردقیقه	۱۷۵۰	= سرعت در بار کم

مطلوبست :

الف : گشتاور اسمی

ب : گشتاور بار در حالت‌بار کم (بار سبک) (۱)

ج : توان خروجی در حالت بار کم (بار سبک)

حل :

چون نمی‌دانیم که این موتور چند قطبی است ، لذا بایدابتدا تعداد قطبهای آنرا بدست‌آوریم . می‌دانیم که سرعت اسمی موتور ۱۷۰۰ دور در دقیقه است و باید به سرعت سنکرون نزدیک باشد . در فرکانس ۶۰ هرتز ماشین ۴ قطبی دارای سرعت سنکرون ۱۸۰۰ دور در دقیقه می‌باشد . پس‌بطورقطع موتورموردنظر دراین مثال‌نیز ۴ قطبی خواهد بود .

1) Light, Load

POWEREN.IR

POWEREN.IR

الف: از رابطه (۳a ـ ۵) در جلد اول داریم:

$$P = 2\ \text{hp} \times 746\ \text{W/hp} = 1492\ \text{W}$$

$$T = 7.04 \times \frac{1492\ \text{W}}{1700\ \text{rev/min}}$$

$$= 6.2\ \text{ft-lb (rated torque)}$$

ب: از رابطه (۶'a ـ ۹) لغزش در بار اسمی را حساب می‌کنیم

$$\text{full-load slip} = (1800 - 1700) \times \frac{100}{1800}$$

$$s_{FL} = 5.56\% = 0.0556$$

در تحت شرایط بار کم لغزش را بدست می‌آوریم.

$$s = (1800 - 1750) \times \frac{100}{1800}$$

$$= 2.78\% = 0.0278$$

از تقسیم این دو لغزش در میابیم که:

$$\frac{s}{s_{FL}} = \frac{0.0278}{0.0556} = 0.5 = \tfrac{1}{2}$$

در نتیجه در میابیم که بار سبک ذکر شده برای موتور همان نصف بار اسمی موتور می‌باشد، لذا گشتاور بار در اینحالت نیز نصف گشتاور اسمی خواهد بود.

$$T_{load} = (\tfrac{1}{2})6.2\ \text{ft-lb} = 3.1\ \text{ft-lb}$$

ج: توان خروجی از رابطه (۳ a ـ ۵) در جلد اول بدست می‌آید.

$$P = \frac{TS}{7.04} = 3.1\ \text{ft-lb} \times \frac{1750\ \text{rev/min}}{7.04}$$

$$= 770.6\ \text{W}$$

$$= \frac{770.6\ \text{W}}{746\ \text{W/hp}} = 1.03\ \text{hp}$$

مثال ۱۷ ـ ۹ (سیستم *SI*):

یک موتور اسنکرون ۲۳۰ ولتی سه فاز با مشخصات زیر مفروض است.

هرتز ۵۰ = فرکانس اسمی

کیلو وات ۴ = توان اسمی

رادیان برثانیه ۲۷۵ = سرعت در بار اسمی

رادیان بر ثانیه ۳۰۰ = سرعت در بار کم

POWEREN.IR

مطلوبست:

POWEREN.IR

الف: گشتاور اسمی

ب: گشتاور بر در حالت بار کم (بار سبک)

ج: توان خروجی در حالت بار کم (بار سبک)

حل:

ابتدا باید تعداد قطبها در این ماشین را بدست آوریم. چون سرعت اسمی ۲۷۵ رادیان برثانیه‌است وسرعت سنکرون در ماشین دو قطبی با فرکانس ۵۰ هرتز معادل ۳۱۴ رادیان بر ثانیه است لذابطور قطع این موتور دو قطبی است.

الف: از رابطه (b ۳ـ ۵) در جلد اول داریم:

$$T = 1000 \times \frac{4\ \text{kW}}{275\ \text{rad/s}}$$

$$= 14.55\ \text{N-m}$$

ب: از رابطه (b ۶ ـ ۹) لغزش را در بار اسمی بدست می‌آوریم:

$$\text{full-load slip} = (314 - 275) \times \frac{100}{314}$$

$$s_{FL} = 12.4\% = 0.124$$

در شرایط بار کم داریم:

$$s = (314 - 300) \times \frac{100}{314}$$

$$= 4.46\% = 0.0446$$

از تقسیم دورابطه اخیر داریم:

$$\frac{s}{s_{FL}} = \frac{0.0446}{0.124} = 0.36$$

لذا بارکم در این مثال بمشابه ۳۶٪ بار اسمی خواهدبود. در نتیجه گشتاور بار اینچنین بدست‌می‌آید.

$$T_{load} = 0.36 \times 14.55\ \text{N-m} = 5.238\ \text{N-m}$$

ج: بااستفاده از رابطه (b ۳ ـ ۵) داریم:

$$P = \frac{T\omega}{1000} = 5.238\ \text{N-m} \times \frac{300\ \text{rad/s}}{1000}$$

$$= 1.57\ \text{kW}$$

POWEREN.IR

۲ ــ ۵ ــ ۹ ــ منحنی "گشتاور ــ لغزش" 9-5.2 Torque–Slip Curve

POWEREN.IR

مثالهای فوق را بصورت تقریبی توسط رابطه (۱۷ ــ ۹) بدست آوردیم ولی می‌دانیم که این رابطه تقریبی است زیرا برای بدست آوردن این رابطه فرض نمودیم ضریب توان رتور واحد باشد و براساس این موضوع بودکه یک رابطه خطی بین گشتاور بار و لغزش بدست آوردیم ، اما برای بررسی دقیقتر تغییرات لغزش با توجه به تغییرات گشتاور بار باید رابطه دقیقتری بین گشتاور و لغزش بدست‌آوریم . یکی از راههای حصول به حل دقیقتر مساله استفاده از منحنی "گشتاور ــ لغزش" است‌که ما آنرا با منحنی "TSL" می‌نامیم ، این منحنی تغییرات گشتاور خروجی نسبت به درصد لغزش می‌باشد . شکل (۱۰ ــ ۹) یک نمونه منحنی TSLرا برای یک موتور آسنکرون سه فاز نشان می‌دهد

حال قدری درباره این منحنی بیشتر توضیح می‌دهیم . رابطه (۱۳ ــ ۹) را در رابطه (۲ ــ ۹) جایگزین می‌کنیم و می‌دانیم .

$$\cos\theta_R = R_R/Z_R,$$

لذا رابطه گشتاور اینچنین می‌شود ،

$$T = \frac{(K\phi E_{BR}R_R)s}{R_R^2 + (sX_{BR})^2} \tag{9-18}$$

شکل (۱۰ ــ ۹) رسم منحنی (۱۸ــ۹) می‌باشد ، در لحظه راه اندازی لغزش ۱۰۰٪ است و گشتاور راه انداز حاصل می‌گردد .حال رتور شتاب می‌گردد و بالاخره ماشین در سرعت یا لغزش خاصی مستقر می‌گردد .

هرگاه بار موتور بار اسمی باشد ، لغزش موتور همان لغزش اسمی خواهد بود . اگر بار زیاد شود ، لغزش زیاد می‌شود (سرعت کم می‌شود) و گشتاورنیز مطابق نیاز بار افزایش‌می‌یابد .اگرمعادله (۱۸ ــ ۹) را رسم کنیم شکلی مطابق شکل (۱۰ ــ ۹) حاصل می‌گردد و این منحنی دارای ماکزیممی است‌که به آن گشتاور ماکزیمم یا گشتاور **pull-out** گفته میشود ، هرگاه گشتاوربار از این گشتاور ماکزیمم یا **pull-out** افزونتر شود ماشین سرعتش بتدریج کاهش می‌یابد تا بالاخره بحالت سکون در می‌آید .

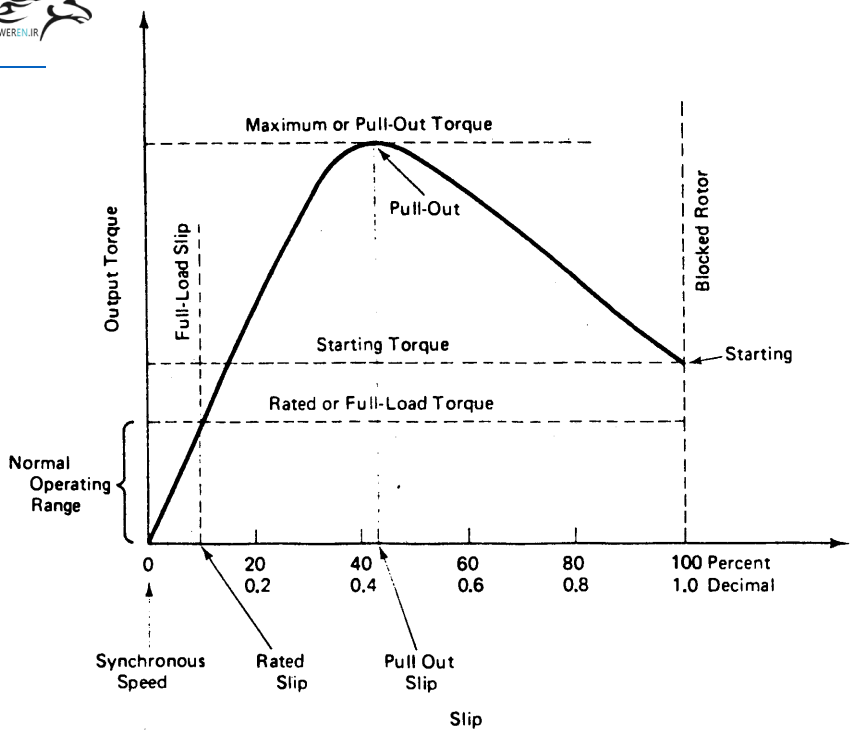
از نظر ریاضی نقطه ماکزیمم منحنی شکل (۱۰ ــ ۹) که به معادله (۱۸ ــ ۹) مربوط می‌شود اینچنین بدست می‌آید ،

$$R_R^2 = (sX_{BR})^2$$

$$R_R = sX_{BR} \tag{9-19}$$

$$\text{pull-out slip} = s_{po} = \frac{R_R}{X_{BR}}$$

POWEREN.IR



شکل ۱۰ ــ ۹ منحنی گشتاور لغزش یا TSL برای یک موتور القائی سه فاز

باید توجه داشت که لغزش مربوط به گشتاور ماکزیمم یا pull-out را به لغزش ماکزیمم یا لغزش pull-out نشان می‌دهند. همانطور که از شکل (۱۰ ــ ۹) پیداست منحنی در محدوده لغزش ۱۰۰% (حالت سکون و راه‌اندازی) تا لغزش صفر مربوط به سرعت سنکرون رسم شده است. همچنین در این شکل نقاط مربوط به گشتاور ماکزیمم (pull-out) ،لغزش ماکزیمم (pullout) وگشتاور راه‌اندازنشان داده شده‌اند.

حال قدری درباره علت اینکه گشتاور بار از گشتاور ماکزیمم (pull-out) بیشتر شود چرا موتور بحالت سکون سوق داده می‌شود بیشتر صحبت می‌کنیم.

با افزایش لغزش جمله (SXBR) در امپدانس رتور بیشتر می‌شود تا بالاخره SXBR با R_R مساوی گردد. دراین لحظه ضریب توان رتور ۰/۷۰۷ خواهد بود. حال اگر بار زیادتر شود و لغزش بیشتر گردد ضریب توان رتور کم می‌شود و بالنتیجه توان حاصله توسط رتور کاهش می‌یابد. کم شدن توان باعث زیادتر شدن لغزش و کاهش بیشتر ضریب توان رتور می‌گردد که خود دوباره بر کم شدن توان اثر می‌گذارد این پروسس آنقدر ادامه می‌یابد تا موتور بایستد.

POWEREN.IR

POWEREN.IR

مثال ۱۸ ــ ۹ (سیستم ENG) :

یک موتور اسنکرون سه فاز با مشخصات زیر مفروض است

۲ = تعداد قطبها

هرتز ۶۰= فرکانس اسمی

اسب بخار ۱ = توان اسمی

اهم ۰/۱= (R_R) مقاومت هر فازرتور

اهم ۰/۴= (X_{BR}) راکتانس هر فاز رتور در حالت سکون

حداقل سرعتی را برای این موتور بیابید که بتواند دائما با آن سرعت بچرخد ــ بدون آنکه بحالت سکون سوق داده شود ,

حل :

کمترین سرعت درست قبل از لغزش ماکزیمم (pull-out.) رخ می‌دهد . بعبارت دیگر حد نهائی لغزش، همان لغزش ماکزیمم است .از رابطه (۱۹ ــ ۹) داریم

$$s_{po} = \frac{0.1\ \Omega}{0.4\ \Omega} = 0.25$$

از رابطه (a ۷ ــ ۹) داریم :

$$S = 120 \times 60 \times \frac{1 - 0.25}{2} = 2700 \text{ rev/min}$$

مثال ۱۹ ــ ۹ (سیستم SI) :

یک موتور القائی سه‌فاز با مشخصات زیر مفروض است ,

۱۰ = تعداد قطبها

هرتز ۵۰ = فرکانس اسمی

کیلو وات ۱ = توان اسمی

اهم ۰/۰۸ = (R_R) مقاومت هر فاز رتور

اهم ۰/۰۲۵ = (X_{BR}) راکتانس هر فاز رتور در حالت سکون

حداقل سرعتی را برای این موتور بیابید که بتواند دائما با آن سرعت بچرخد بدون آنکه بحالت سکون سوق داده شود ,

حل :

کمترین سرعت درست قبل از لغزش ماکزیمم (pull-out.) رخ می‌دهد ، بعبارت دیگر حد نهائی لغزش، همان لغزش ماکزیمم است ، از رابطه (۱۹ ــ ۹) داریم .

$$s_{po} = \frac{0.08\ \Omega}{0.25\ \Omega} = 0.32$$

POWEREN.IR

از رابطه (۷b – ۹) داریم .

$$\omega = 4\pi \times 50 \times \frac{1 - 0.32}{10} = 42.7 \text{ rad/s}$$

۳ – ۵ – ۹ رتورهای سیم پیچی شده : 9-5.3 Wound Rotor

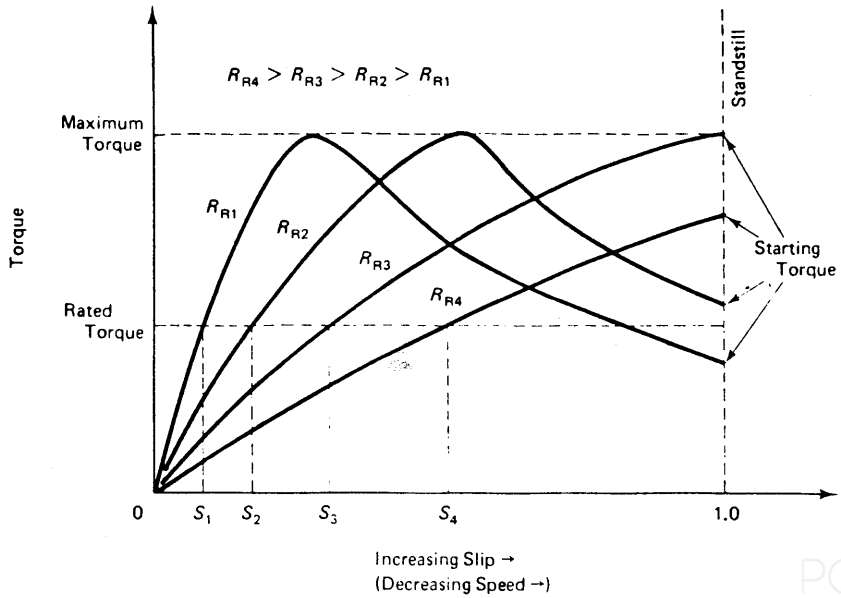
در بخش قبل تنها اثر تغییر بار را بر روی سرعت ماشین مورد بررسی قرار دادیم ، اما اگر رتور ماشین از نوع رتور سیم پیچی شده باشد می‌توان مقاومت هر فاز رتور را تغییر داد (شکل ۳ – ۹) ، با تغییر مقاومت رتور نه تنها لغزش ماکزیمم (pull-out) تغییر کرده بلکه تحت گشتاور بار مفروضی می‌توان لغزش را تغییر داد. با تقریب خوب می‌توان گفت

$$\frac{s_1}{s_2} = \frac{R_{R1}}{R_{R2}} \qquad (9\text{-}20)$$

یعنی نسبت لغزشها در دو حالت مختلف متناسب است با مقاومت رتور در این دو حالت. لذا اگر مقاومت رتور را زیاد کنیم لغزش نیز بیشتر می‌گردد ، اما باید گفت که افزایش مقاومت رتور گشتاور ماکزیمم (pullout) را تغییر نمی‌دهد (چرا؟) .

شکل (۱۱ – ۹) اثر تغییر مقاومت رتور را بر روی منحنی‌های TSL نشان می‌دهد ،

در نتیجه درمی‌یابیم که با تغییر مقاومت رتور می‌توان سرعت ماشین را تحت بار مفروض



شکل ۱۱ – ۹ : اثر مقاومت رتور بر روی منحنی گشتاور لغزش یا TSL

POWEREN.IR

POWEREN.IR

تغییر داد .

در اینجا نکاتی چند را یادآوری می‌کنیم .

۱ ــ اگر مقاومت خارجی در مدار رتور نباشد ، در اینصورت مقاومت رتور به تنهائی در تعیین گشتاور موثر است و دیگر نمی‌توان با روش تغییر مقاومت سرعت را از این حالت بیشتر نمود .

۲ ــ با افزایش مقاومت خارجی رتور ، گشتاور راه انداز موتور بیشتر می‌شود .

مثال ۲۰ ــ ۹ (سیستم ENG) :

یک موتور اسنکرون سه فاز با مشخصات زیر مفروض است .

۶ = تعداد قطبها

۶۰ = فرکانس اسمی هرتز

سیم پیچی شده = نوع رتور

۰/۰۵ اهم = مقاومت هر فاز رتور R_k

۰/۲۵ اهم = (X_{BR}) راکتانس هرفازرتور در حالت سکون

۱۰۵۰ = سرعت اسمی دور در دقیقه

۰/۱۵ اهم = (رئوستای حلقه‌های لغزان) مقاومت هر فاز رئوستا

مطلوبست :

الف : در حالتی که رئوستا بر روی صفر تنظیم شود ؟ سرعت ماشین در حالت pull-out را بیابید .

ب : اگر رئوستا کاملا درمدارقرارگیرد سرعت ماشین را در حالت pull out حساب کنید .

ج : در حالتی که رئوستا کاملا در مدار است سرعت اسمی جدید راپیدا کنید .

حل :

الف از رابطه (۱۹ ــ ۹) داریم :

$$s_{po} = \frac{0.05\ \Omega}{0.25\ \Omega} = 0.2$$

از رابطه (a ۷ ــ ۹) داریم :

$$S_{po} = 120 \times 60 \times \frac{1 - 0.2}{6} = 960\ \text{rev/min}$$

ب : در اینحالت مقاومت هرفازرتور ۰/۲ می‌گردد (چرا ؟) . از رابطه (۱۹ ــ ۹) داریم :

POWEREN.IR

POWEREN.IR

$$s_{po} = \frac{0.2\ \Omega}{0.25\ \Omega} = 0.8$$

از رابطه (a ۷ ــ ۹) داریم :

$$S_{po} = 120 \times 60 \times \frac{1 - 0.8}{6} = 240 \text{ rev/min}$$

ج : ابتدا سرعت سنکرون ماشین را بدست می‌آوریم . از رابطه (a ۱ ــ ۹) داریم :

$$S_s = 120 \times \frac{60}{6} = 1200 \text{ rev/min}$$

از رابطه (a ۵ ــ ۹) لغزش در بار اسمی را در شرایطی که رئوستا وجود ندارد پیدا می‌کنیم :

$$s_1 = 1200 \text{ rev/min} - 1050 \text{ rev/min} = 150 \text{ rev/min}$$

حال برای بدست‌آوردن لغزش در بار اسمی در شرایطی که رئوستا وارد مدار می‌شود ، از رابطه (۲۰ ــ ۹) کمک می‌گیریم .

$$\frac{150 \text{ rev/min}}{s_2} = \frac{0.05\ \Omega}{0.20\ \Omega}$$

$$s_2 = 0.2 \times \frac{150}{0.05} = 600 \text{ rev/min}$$

حال از رابطه (a ۵ ــ ۹) کمک می‌گیریم .

$$600 \text{ rev/min} = 1200 \text{ rev/min} - S_{FL}$$

$$S_{FL} = 1200 - 600 = 600 \text{ rev/min}$$

مثال ۲۱ ــ ۹ (سیستم SI) :

یک موتور القائی سه فاز با مشخصات زیر مفروض است .

۴ = تعداد قطبها

۵۰ = فرکانس اسمی هرتز

= نوع رتور سیم پیچی شده

۰/۱۱ = (R_R) مقاومت هر فاز رتور اهم

۰/۵ = (X_{BR}) راکتانس هر فاز رتور در حالت سکون اهم

۱۴۰ = سرعت در بار اسمی رادیان بر ثانیه

۰/۲ = (رئوستای حلقه‌های لغزان) مقاومت هر فاز رئوستای مربوط به رتور اهم

مطلوبست .

POWEREN.IR

POWEREN.IR

الف: سرعت موتور در حال pullout بدون وجود رئوستا.
ب: سرعت موتور در حال pull-out با وجود رئوستا در مدار.
ج: سرعت اسمی موتور در حالتی که رئوستا در مدار قرار دارد.

حل:

الف: از رابطه (۱۹ ــ ۹) داریم:

$$s_{po} = \frac{0.11\ \Omega}{0.5\ \Omega} = 0.22$$

از رابطه (۷ b ــ ۹) داریم:

$$\omega_{po} = 4\pi \times 50 \times \frac{1 - 0.22}{4} = 122.5\ \text{rad/s}$$

ب: در اینحالت مقاومت هر فاز رتور ۰/۳۱ اهم است (چرا؟). از رابطه ۱۹ ــ ۹ داریم:

$$s_{po} = \frac{0.31\ \Omega}{0.5\ \Omega} = 0.62$$

از رابطه (۷ b ــ ۹) داریم:

$$\omega_{po} = 4\pi \times 50 \times \frac{1 - 0.62}{4} = 59.7\ \text{rad/s}$$

ج: ابتدا سرعت سنکرون راحساب می‌کنیم. از رابطه (۱ b ــ ۹) داریم:

$$\omega_s = 4\pi \times \frac{50}{4} = 157\ \text{rad/s}$$

لغزش در بار اسمی را با استفاده از رابطه (۵ b ــ ۹) بدست می‌آوریم.

$$s_1 = 157\ \text{rad/s} - 140\ \text{rad/s} = 17\ \text{rad/s}$$

حال اگر بخواهیم لغزش‌را در بار اسمی و باوجود رئوستا بدست آوریم ازرابطه (۲۰ ــ ۹) استفاده می‌کنیم.

$$\frac{17\ \text{rad/s}}{s_2} = \frac{0.11\ \Omega}{0.31\ \Omega}$$

$$s_2 = 0.31 \times \frac{17}{0.11} = 47.9\ \text{rad/s}$$

ازرابطه (۵ b ــ ۹) سرعت حدید در بار اسمی را حساب می‌کنیم.

$$47.9\ \text{rad/s} = 157\ \text{rad/s} - \omega_{FL}$$

$$\omega_{FL} = 157 - 47.9 = 109.1\ \text{rad/s}$$

POWEREN.IR

۶ ــ ۹ راندمان:

رابطه راندمان [1] در موتورهای اسنکرون (القائی) سه فاز نیز مطابق موتورهای DC است (جلد اول). لذا:

$$\eta(\%) = \frac{P_o}{P_i} \times 100 \qquad (9\text{-}21)$$

$$P_o = P_i - \text{losses} \qquad (9\text{-}22)$$

$$\eta(\%) = \frac{P_i - \text{losses}}{P_i} \times 100 \qquad (9\text{-}23)$$

در روابط فوق داریم:

P_i = توان ورودی به موتور القائی سه فاز

P_o = توان خروجی از موتور القائی سه فاز

losses = کل تلفات موتور القائی سه فاز

۱ ـ ۶ ـ ۹ تعریف تلفات در موتورهای القائی سه فاز:

9-6.1 Description of Losses

در روابط (۲۲ ـ ۹) و (۲۳ ـ ۹) تلفات ماشین همان تلفات داخلی موتور بوده و به دو دسته تقسیم می‌شوند.

۱ ـ تلفات ثابت [2] شامل:

الف: تلفات هسته در رتور و استاتور بخاطر تلفات هیسترزیس و تلفات جریان گردابی

ب: تلفات ناشی از اصطکاک

ج: تلفات ناشی از تهویه

۲ ـ تلفات متغیر [3] که با بار تغییر می‌نماید.

الف: تلفات مسی در استاتور

ب: تلفات مسی در رتور

حال درباره تلفات فوق‌الذکر بیشتر توضیح می‌دهیم:

تلفات هسته در رتور:

در شرایط عادی، فرکانس جریان رتور کم است ولذا تلفات هیسترزیس و جریان

---

1) Efficiency 2) Constant, Losses
3) Variable, Losses

POWEREN.IR

گردابی خیلی کم می‌باشند . لذاما از تلفات‌هسته در رتور صرفنظر می‌کنیم .

تلفات هسته در استاتور :

این تلفات‌بخاطر شار اصلی و شارهای نشتی پدیدار می‌گردد و باتغییر بار این شارها بمیزان ناچیزی تغییر می‌کنند وبا تقریب خوب تلفات هسته در استاتور را از بی‌باری تا بار کامل ثابت فرض می‌کنیم .

تلفات ناشی از اصطکاک و تهویه :

این تلفات بخاطر دوران مکانیکی رتورمی‌باشد وچون سرعت ازحالت بی‌باری تا بارکامل‌بمیزان ناچیزی‌تغییر می‌کند ، لذا این تلفات راکه تلفات مکانیکی نیز به آن گفته میشود در طول مدت بهره‌برداری ازماشین ثابت در نظر می‌گیریم .

تلفات‌مسی استاتور :

این تلفات‌ناشی از $R I^2$ درسیمهای‌استاتوراست وچون تابعی از بار می‌باشد لذا باید در هر مرحله از بهره برداری آنرا حساب کرد .

تلفات‌مسی رتور .

این تلفات‌ناشی از $R I^2$ در سیمهای رتور است ودر رتورهای سیم پیچی شده بسهولت قابل اندازه‌گیری است . اما در رتورهای قفس سنجابی برای تعیین این تلفات از روشهای پیشرفته‌ای استفاده می‌شود ولی ما درباره این تکنیکها صحبت‌نمی‌کنیم .

۲ ــ ۶ ــ ۹ تشریح پخش توان در موتورهای القائی سه فاز :

9-6.2 *Description of Power Flow*

قبل از آنکه آزمایشهای مربوط به تعیین تلفات درون اینگونه موتورها را توضیح دهیم،قدری درباره چگونگی پخش توان (۱) در موتورهای اسنکرون صحبت می‌کنیم . علت این امر آنستکه محاسبات عددی در مورد آزمایشها را واضح‌تر می‌سازد . برای سهولت امر ، شکل (۱۲ ــ ۹)رادر نظر می‌گیریم . هرگاه سیم پیچ استاتور به منبع تغذیه (شبکه) وصل گردد ، توان الکتریکی وارد موتور می‌شود وچون موتورها سه فاز هستند ؛ این توان وارد شده به موتور اینچنین خواهد بود (بر حسب وات یاکیلو وات) :

$$P = \sqrt{3}\, V_L I_L \cos\theta \qquad (9\text{-}24)$$

1) Power, Flow

هنگام آزمایش بر روی موتور ضریب توان ($\cos\theta$) مشخص نیست اما استفاده از روش دو واتمتری (فصل ۷ بخش ۲ ــ ۴ ــ ۷) می‌توان توان ورودی را سنجید .

$$P_i = W_1 + W_2 \qquad (9\text{-}25)$$

در استاتور دو نوع تلفات وجود دارد .

الف : تلفات هسته (P_C) که به‌ولتاژ منبع تغذیه بستگی دارد .

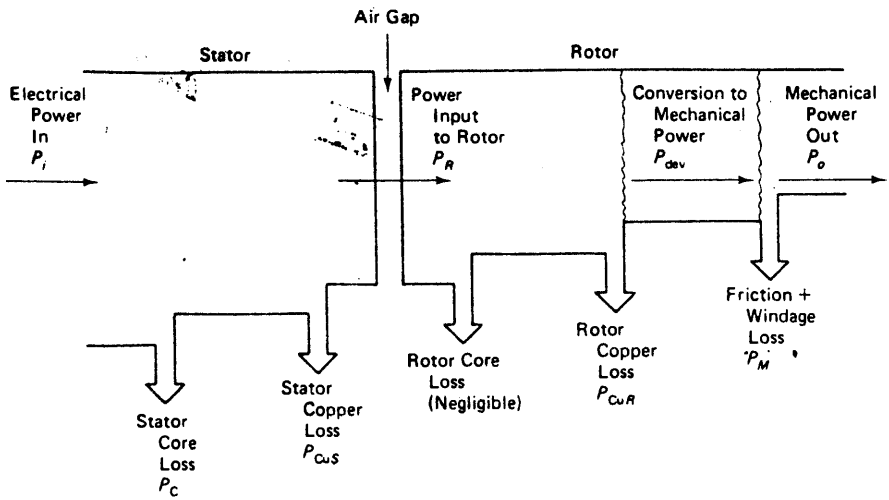
ب : تلفات مس (P_{CuS}) که به جریان خط بستگی دارد و البته به بار نیز بستگی خواهد داشت .

اگر مجموع تلفات فوق از توان ورودی کسر گردد توان بدست آمده از طریق فاصله هوائی به‌رتور منتقل می‌شود . لذا :

$$P_R = P_i - P_C - P_{CuS} \qquad (9\text{-}26)$$

در رتور تلفات‌هسته ناچیز است و تلفات مسی رتور به لغزش (سرعت) بستگی دارد . بسهولت می‌توان رابطه تلفات مسی استاتور و توان منتقله شده به رتور را اینچنین نوشت .

$$P_{CuR} = s \times P_R \qquad (9\text{-}27)$$



شکل ۱۲ ــ ۹ : نمودار دیاگرام پخش توان در موتورها القائی سه فاز

پس‌ازاینکه تلفات مس رتور از توان وارده به رتور کسر شود ؛ توان حاصلهٔ [1] توسط رتور بدست می‌آید .

1) Deve Loped, Power

POWEREN.IR

$$P_{dev} = P_R - P_{CuR} \qquad (9\text{-}28)$$

اگر توان مکانیکی ناشی از تهویه و اصطکاک از توان حاصله فوق کسر شود توان خروجی (۱) موتور بدست می‌آید .

$$P_o = P_{dev} - P_M \qquad (9\text{-}29)$$

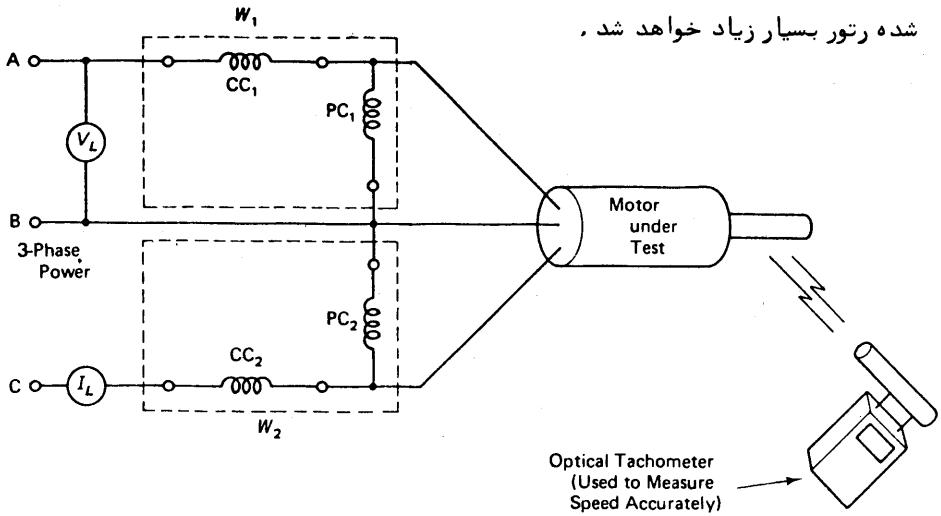
در آزمایشهائی که بر روی موتورجهت تعیین تلفات فوق‌الذکر انجام می‌شود کل تلفات ثابت اعم از تلفات مکانیکی و تلفات هسته استاتور بدست‌می‌آید ولی نمی‌دانیم که چه مقدارازاین تلفات ثابت ، شامل تلفات مکانیکی است وچه مقدار شامل تلفات هسته استاتور می‌باشد ما می‌توانیم چنین فرض کنیم .

الف : کل تلفات ثابت مربوط‌به تلفات هسته استاتور بوده‌و آنرا در مدار استاتور منظور می‌نمائیم .

ب : کل تلفات ثابت مربوط‌به تلفات‌مکانیکی رتور بوده وآنرا در مدار رتور منظور می‌کنیم در عمل ممکن‌است هر دو روش فوق را انجام دهیم ولی در هر مورد خطا حاصل می‌شود زیرا :

۱ ــ در حالت اول که کل تلفات را برای استاتور منظورمی‌نمائیم ، تلفات مسی محاسبه شده در رتور ناچیز خواهد بود ، زیرا تلفات مسی رتور تابعی از توان منتقله از استاتور به‌رتوراست .

۲ ــ در حالت دوم که‌کل تلفات را برای‌رتورمنظور می‌نمائیم ، تلفات‌مسی محاسبه شده رتور بسیار زیاد خواهد شد .



شکل ۱۳ ــ ۹ : مدار مربوط به آزمایش تعیین تلفات در موتورهای القائی سه‌فاز

POWEREN.IR

1) Output, power

POWEREN.IR

اما ما حالت دوم را بیشتر مد نظر می‌داریم یعنی کل تلفات ثابت را متعلق به مدار رتور می‌دانیم زیرا :

۱ ــ الف : تخمین محتاطانه تری ازراندمان بدست خواهیم آورد زیرا تلفات محاسبه شده قدری ازمقدار واقعی بیشتر خواهد شد .

۱ ــ ب : از آنجائیکه توان مکانیکی (P_M) را صفر نگرفته‌ایم لذا توان خروجی با توان حاصله یکسان نخواهد بود و حقیقت امر هم همین است (رابطه ۲۹ ــ ۹) .

با این فرضیات تلفات هسته (P_C) را در رابطه (۲۶ ــ ۹) صفر می‌گیریم وآنرا یک کاسه همراه با P_M در معادله (۲۹ ــ ۹) منظور می‌کنیم .

۳ ــ ۶ ــ ۹ آزمایشهای مربوط به تعیین تلفات ؛ 9-6.3 Tests to Determine Losses

دوآزمایش برای تعیین تلفات موتورهای القائی سه فاز انجام می‌دهیم . اما قبل از این آزمایشها باید مقاومت موثر هر فاز استاتور را بدست‌آورد (به بخش ۱ ــ ۵ ــ ۸ در فصل ۸ رجوع شود) . مقاومتی که از آزمایش مربوط به بخش ۱ ــ ۵ ــ ۸ بدست می‌آید را در ضریب ۱/۲۵ ضرب می‌کنیم تا مقاومت موثر هر فاز بدست آید .

$$r_e = 1.25 r_s \qquad (9\text{-}30)$$

بسهولت می‌توان دریافت که کل تلفات مسی در سیم پیچ استاتور اینچنین است :

$$P_{CuS} = \tfrac{3}{2} r_e I_L^2 \qquad (9\text{-}31)$$

در رابطه فوق I_L همان جریان خط می‌باشد .

باید گفت که رابطه (۳۱ ــ ۹) برای اتصال Δ (مثلث) و Y (ستاره) هر دو معتبر است، زیرا سیم پیچ استاتوردر برخی از موتورها بصورت مثلث (Δ) بوده و در برخی بصورت ستاره (Y) می‌باشد .

حال آزمایشی مطابق شکل ۱۳ ــ ۹ انجام می‌دهیم .

الف : آزمایش بی‌باری :

در این آزمایش ولتاژ اسمی را به استاتور اعمال می‌کنیم ولی به محور موتور بار متصل نمی‌کنیم . چون ماشین بی‌بار است، سرعت زیاد بوده و به عبارت دیگر لغزش بسیار ناچیز است . جریان استاتور در حالت بی‌باری کم است، لذا در این تست تلفات مسی بسیار کم است در نتیجه توان ورودی صرف کل تلفات ثابت ماشین ($P_C + P_M$) و تلفات ناچیز مسی در استاتور می‌شود . باید گفت که تلفات مسی در رتور نیز در حالت بی‌باری بسیارکم است (چرا ؟) لذا اگر تلفات مسی استاتور را (رابطه ۳۱ ــ ۹) پیدا کرده و از توان ورودی کسرکنیم کل تلفات ثابت ($P_C + P_M$) بدست می‌آید . و همانطوریکه

POWEREN.IR

گفتیم P_C را صفر می‌گیریم و کل تلفات ثابت را در مدار رتور منظور می‌کنیم. بنابراین آزمایش کل P_M حاصل می‌گردد. عبارت فوق را در رابطه زیر خلاصه می‌کنیم.

$$P_{f\&w} + P_M = W_1 + W_2 - P_{CuS} \qquad (9\text{-}32)$$

در رابطه اخیر W_1 و W_2 مقادیر واتمترها بوده و P_{CuS} تلفات مسی ناچیز استاتور است که از رابطه (۳۱ ــ ۹) محاسبه می‌شود.

ب: آزمایش در بار اسمی:

از مدار شکل (۱۳ ــ ۹) می‌توان در حالت بار اسمی نیز استفاده کرد. در این آزمایش باید بار اسمی بر محور موتور اعمال شود. هنگامیکه موتور بار اسمی را تغذیه می‌کند تمام دستگاههای اندازه‌گیری وسرعت موتور خوانده می‌شود. هرگاه جریان خط وارد شده به موتور همان جریان اسمی موتور گردید به شرایط اسمی رسیده‌ایم. حال آمپرمتر ورودی را می‌خوانیم (I_L) و تلفات مسی استاتور را در بار اسمی حساب می‌کنیم (رابطه ۳۱ ــ ۹). دور سنج (۱) سرعت اسمی را می‌دهد و می‌توانیم لغزش در بار اسمی را حساب کنیم (چرا؟). با خواندن واتمترها و استفاده از روابط (۲۵ ــ ۹)، (۲۶ ــ ۹) و (۲۷ ــ ۹) می‌توان تلفات مسی رتور را بدست آورد (P_{CuR}). البته این تلفات مسی در رتور مربوط به شرایط اسمی ماشین است. با توجه به اینکه P_C را صفر گرفته‌ایم لذا روابط (۲۸ ــ ۹) و (۲۹ ــ ۹) توان خروجی را به ما خواهند داد. توجه باید کرد که کل P_M مربوط به مدار رتور در تست قبلی بدست آمده است.

با توجه به رابطه (۲۴ ــ ۹) می‌توان ضریب توان موتور را در بار اسمی بدست آورد زیرا V ، I ، P از تست مربوط به بار اسمی توسط دستگاههای اندازه‌گیری حاصل می‌شوند.

۴ ــ ۶ ــ ۹ محاسبه راندمان:

مثالهای زیر طرز محاسبه راندمان را با استفاده از آزمایشهای فوق‌الذکر نشان می‌دهند.

مثال ۲۲ ــ ۹ (سیستم ENG):

یک موتور سه فاز اسنکرون با مشخصات زیر مفروض است.

اسب بخار ۵ = توان اسمی

1) Tachometer

POWEREN.IR

ولت ۲۰۸= ولتاژ اسمی ترمینال (ولتاژ خط)

آمپر ۱۵ = جریان اسمی (جریان خط)

هرتز ۶۰ = فرکانس اسمی

۴ = تعداد قطبها

اهم در هر فاز ۰/۸ = (r_s) = مقاومت استاتورکه‌ازآزمایش **خاص** خود حاصل شده است

باآن دوآزمایش‌بی‌باروبار اسمی را انجام می‌دهیم و نتایج زیر بدست می‌آید .

آزمایش بی‌باری ،

$$\text{No-load test: } W_1 = 350\ \text{W}, \quad W_2 = -110\ \text{W}$$
$$V_L = 208\ \text{V}, \quad I_L = 4\ \text{A}$$

آزمایش بار داری (بار اسمی) :

$$\text{Rated-load test: } W_1 = 2.6\ \text{kW}, \quad W_2 = 2.26\ \text{kW}$$
$$V_L = 208\ \text{V}, \quad I_L = 15\ \text{A}$$
$$S = 1710\ \text{rev/min}$$

مطلوبست محاسبه‌راندمان موتور در بار اسمی و ضریب توان موتور .

حل :

مقاومت موثر اینچنین حساب می‌شود (رابطه ۳۰ ــ ۹)

$$r_e = 1.25 \times 0.8\ \Omega = 1\ \Omega$$

از آزمایش بی‌باری تلفات مسی استاتور بدست می‌آید (رابطه ۳۱ ــ ۹)

$$P_{Cus} = \tfrac{3}{2} \times 1\ \Omega \times (4\ \text{A})^2 = 24\ \text{W}$$

از رابطه (۳۲ ــ ۹) داریم :

$$P_C + P_M = 350\ \text{W} - 110\ \text{W} - 24\ \text{W} = 216\ \text{W}$$

امامی‌دانیم $P_c = 0$ در نظر گرفته می‌شود و کل P_M معادل ۲۱۶ وات‌منظور می‌شود .

ازآزمایش بار اسمی تلفات مسی استاتور در بار اسمی حاصل می‌شود .

(رابطه ۳۱ ــ ۹) :

$$\text{rated } P_{Cus} = \tfrac{3}{2} \times 1\ \Omega \times (15\ \text{A}) = 337.5\ \text{W}$$

از رابطه (۲۵ــ ۹) توان ورودی به موتور در شرایط‌اسمی بدست می‌آید

$$\text{rated } P_i = 2600\ \text{W} + 2260\ \text{W} = 4860\ \text{W}$$

از رابطه (۲۶ ــ ۹) توان منتقله به رتور بدست‌می‌آید .

$$\text{rated } P_R = 4860\ \text{W} - 0 - 337.5\ \text{W} = 4522.5\ \text{W}$$

POWEREN.IR

چون دربار اسمی سرعت معلوم است و سرعت سنکرون ماشین ۴ قطبی در فرکانس

۶۰ هرتز معادل ۱۸۰۰ دور در دقیقه می‌باشد ، لذا لغزش در شرایط اسمی اینچنین بدست می‌آید .

$$\text{rated } s = (1800 - 1710) \times \frac{100}{1800} = 5\%$$

$$s = 0.05 \text{ as a decimal}$$

از رابطه (۲۷ ــ ۹) تلفات مسی استاتور بدست می‌آید ،

$$\text{rated } P_{CuR} = 0.05 \times 4522.5 \text{ W} = 226.1 \text{ W}$$

از روابط (۲۸ ــ ۹) و (۲۹ــ ۹) توان خروجی بدست می‌آید ،

$$\text{rated } P_{dev} = 4522.5 \text{ W} - 226.1 \text{ W} = 4296.4 \text{ W}$$

$$\text{rated } P_o = 4296.4 \text{ W} - 216 \text{ W} = 4080.4 \text{ W}$$

$$P_o = \frac{4080.4 \text{ W}}{746 \text{ W/hp}} = 5.47 \text{ hp}$$

راندمان در شرایط اسمی از رابطه (۲۱ ــ ۹) بدست می‌آید .

$$\text{rated } \eta = \frac{4080.4 \text{ W}}{4860 \text{ W}} \times 100 = 83.96 \approx 84\%$$

ضریب توان در بار اسمی اینچنین بدست می‌آید (رابطه ۲۴ ــ ۹) :

$$\text{rated PF} = \cos\theta = \frac{4860 \text{ W}}{(\sqrt{3} \times 208 \text{ V} \times 15 \text{ A})}$$

$$\text{PF} = 0.899 \approx 0.9$$

مثال ۲۳ ــ ۹ (سیستم SI) :

یک موتور سه فاز اسنکرون با مشخصات زیر مفروض است :

کیلو وات ۳ = توان اسمی

ولت ۲۳۰ = ولتاژ اسمی ترمینال (ولتاژ خط)

آمپر ۱۰ = جریان اسمی خط

۴ = تعداد قطبها

اهم در هر فاز ۰/۹ = (r_s) مقاومت استاتور بدست آمده از تست

هرتز ۵۰ = فرکانس اسمی

نتایج آزمایشهای بی‌باری و بار اسمی بقرار زیراست ،

No-load test: $W_1 = 290$ W, $W_2 = -70$ W

$V_L = 230$ V, $I_l = 3.8$ A

Rated-load test: $W_1 = 2.3$ kW, $W_2 = 2$ kW

POWEREN.IR

POWEREN.IR

$V_L = 230\ \text{V}, \quad I_L = 12\ \text{A}$

$\omega = 149\ \text{rad/s}$

مطلوبست محاسبه راندمان ماشین در بار اسمی و ضریب توان موتور

حل:

از رابطه (۳۰ ـ ۹) مقدار مقاومت موثر هر فاز را بدست می‌آوریم،

$$r_e = 1.25 \times 0.9\ \Omega = 1.13\ \Omega$$

از رابطه (۳۱ ـ ۹) استفاده کرده و تلفات مسی استاتور در حالت بی‌باری را بدست می‌آوریم،

$$P_{CuS} = \tfrac{3}{2} \times 1.13\ \Omega \times (3.8\ \text{A})^2 = 24.5\ \text{W}$$

از رابطه (۳۲ ـ ۹) داریم

$$P_C + P_M = 290\ \text{W} - 70\ \text{W} - 24.5\ \text{W} = 195.5\ \text{W}$$

می‌دانیم $P_C = 0$ در نظر گرفته می‌شود و لذاکل P_M همان ۱۹۵/۵ وات خواهد بود،

از رابطه (۳۱ ـ ۹) استفاده کرده و تلفات مسی استاتور را در حالت‌بار اسمی بدست می‌آوریم،

$$\text{rated } P_{CuS} = \tfrac{3}{2} \times 1.13\ \Omega \times (10\ \text{A})^2 = 244.1\ \text{W}$$

از رابطه (۲۵ ـ ۹) توان ورودی به موتور در شرایط‌اسمی را حساب می‌کنیم،

$$\text{rated } P_i = 2300\ \text{W} + 2000\ \text{W} = 4300\ \text{W}$$

از رابطه (۲۶ـ۹) استفاده‌کرده‌وتوان وارده به رتور را حساب می‌کنیم (در شرایط‌اسمی)

$$\text{rated } P_R = 4300\ \text{W} - 0 - 244.1\ \text{W} = 4055.9\ \text{W}$$

می‌دانیم سرعت سنکرون برای موتور ۴ قطبی در فرکانس ۵۰ هرتز برابر ۱۵۷ رادیان بر ثانیه است لذا لغزش در شرایط‌اسمی اینچنین است (رابطه ۶ـ۹):

$$\text{rated } s = (157 - 149) \times \frac{100}{157} = 5.1\%$$

$$s = 0.051 \text{ as a decimal}$$

تلفات مسی در رتور از رابطه (۲۷ ـ ۹) بدست می‌آید،

$$\text{rated } P_{CuR} = 0.051 \times 4055.9 = 206.85\ \text{W}$$

از روابط (۲۸ ـ ۹) و (۲۹ ـ ۹) توان خروجی حاصل می‌شود،

$$\text{rated } P_{dev} = 4055.9\ \text{W} - 206.85\ \text{W} = 3849.1\ \text{W}$$

$$\text{rated } P_o = 3849.1\ \text{W} - 195.5\ \text{W} = 3653.6\ \text{W}$$

$$P_o = 3.65\ \text{kW}$$

POWEREN.IR

POWEREN.IR

راندمان در شرایط اسمی از رابطه (۲۱ ــ ۹) حاصل می‌شود .

$$\text{rated } \eta = \frac{3653.6 \text{ W}}{4300 \text{ W}} \times 100 = 84.96 \approx 85\%$$

ضریب توان در بار اسمی از رابطه (۲۴ ــ ۹) بدست می‌آید .

$$\text{rated PF} = \cos\theta = \frac{4300 \text{ W}}{\sqrt{3} \times 230 \text{ V} \times 12 \text{ A}}$$

$$\text{PF} = 0.899 \approx 0.9$$

از مثالهای فوق در می‌یابیم که راندمان موتورها در شرایط اسمی حدود ۸۵٪ است و معمولا در موتورها راندمان ماکزیمم در باری نزدیک به بار اسمی رخ می‌دهد (۹۰٪ بار اسمی)

ضریب توان موتورهای القائی سه فاز معمولا در بار اسمی حدود ۰/۹ است بهمین دلیل است که ترجیح داده می‌شود موتورها در بار اسمی خودکارکنند زیرا ضریب توان کم باعث براه افتادن توان راکتیو در شبکه می‌شود (چرا؟)

9-7 TYPICAL CHARACTERISTICS

۷ ــ ۹ منحنی مشخصه‌های معروف در موتورهای القائی سه فاز:

تا بحال درباره منحنی "گشتاور ــ لغزش" (TSL) صحبت کرده‌ایم (شکل ۱۰ ــ ۹) . با این منحنی می‌توان عملکرد موتور را تخمین زد و منحنی‌های دیگری نیز وجود دارند که در ذیل به آنها اشاره می‌کنیم :

۱ ــ ۷ ــ ۹ منحنی مشخصه‌های موتور القائی سه فاز (بر حسب لغزش) :

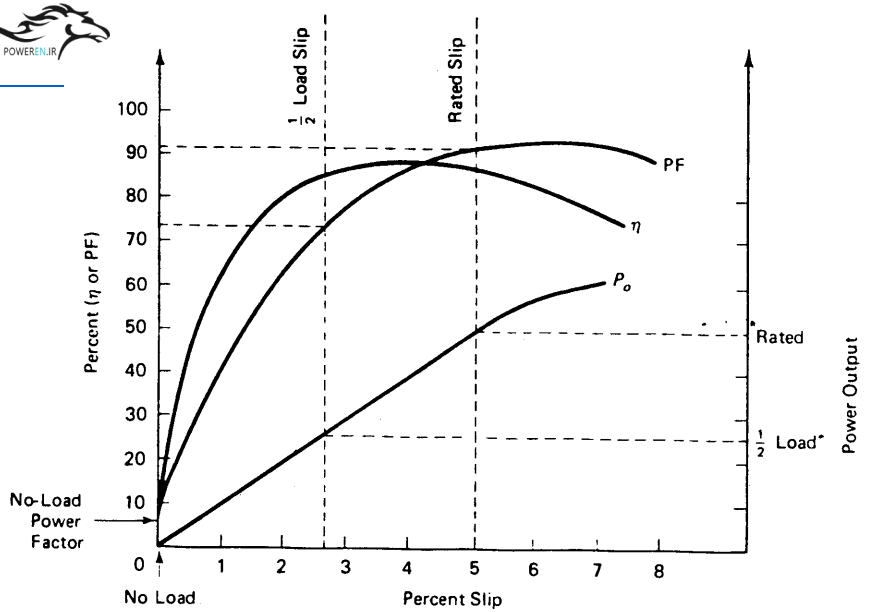
9-7.1 Characteristics versus Slip

شکل (۱۴ ــ ۹) یک نمونه از منحنی مشخصه‌های متداول موتورهای القائی را نشان می‌دهد که در آن تغییرات توان خروجی ، راندمان (بر حسب درصد) و ضریب توان (بر حسب درصد) نسبت به تغییرات لغزش رسم شده است و این منحنی‌ها بسهولت از آزمایشهای بی‌باری تا بار اسمی وحتی تا باری معادل ۱۰٪ بیشتر از بار اسمی حاصل می‌شوند (به شکل ۱۳ ــ ۹ مراجعه کنید و بگوئید این منحنی‌ها چگونه بدست آمده‌اند) .

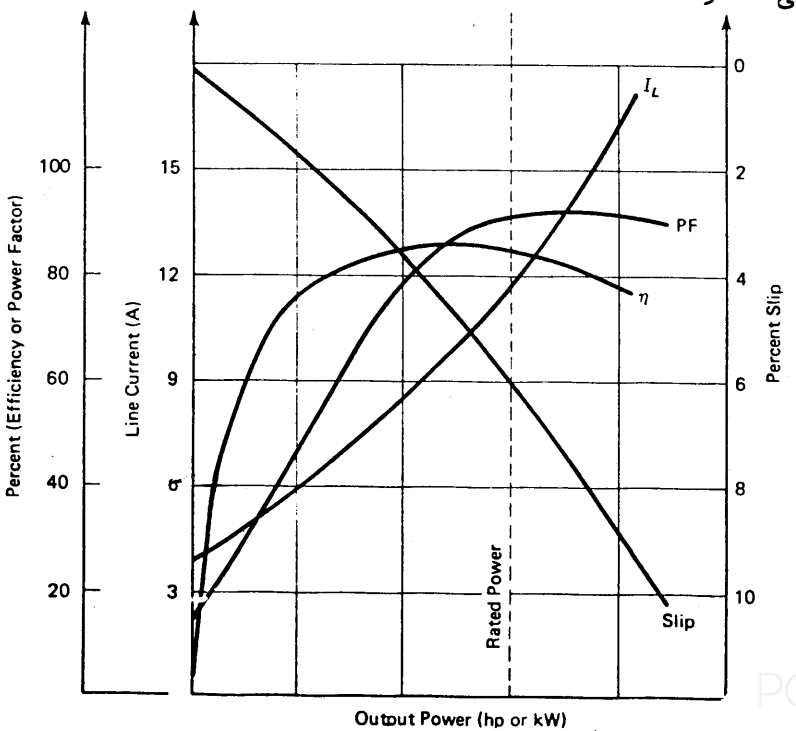
قابل توجه است که بدانیم تغییرات راندمان بین نصف بار اسمی تا بار کامل (بار اسمی) زیاد قابل ملاحظه نیست ولی تغییرات ضریب توان بسیار قابل توجه است ، بخوبی مشهود است که اگر موتورهای یک محتمع همگی در بار اسمی کار نکنند ؛ در اینصورت توان راکتیو قابل ملاحظه‌ای نیاز خواهند داشت (چرا؟) . همچنین از شکل (۱۴ ــ ۹) در میابیم که :

POWEREN.IR

POWEREN.IR



شکل ۱۴ ــ ۹ : تغییرات راندمان ، ضریب توان ، توان خروجی برحسب لغزش در موتورهای القائی سه فاز



شکل ۱۵ ــ ۹ : تغییرات راندمان، ضریب توان ، لغزش و جریان خط برحسب توان خروجی در موتورهای القائی سه فاز .

POWEREN.IR

POWEREN.IR

۱ ــ در حالت بی‌باری‌راندمان بسیار کم است (حدود صفر) ،

۲ ــ درحالت بی‌باری ضریب توان بسیار ناچیز است (حدود ۰/۱۵) .

۲ ــ ۷ ــ ۹ : منحنی مشخصه‌های موتورهای القائی سه فاز (بر حسب توان خروجی)

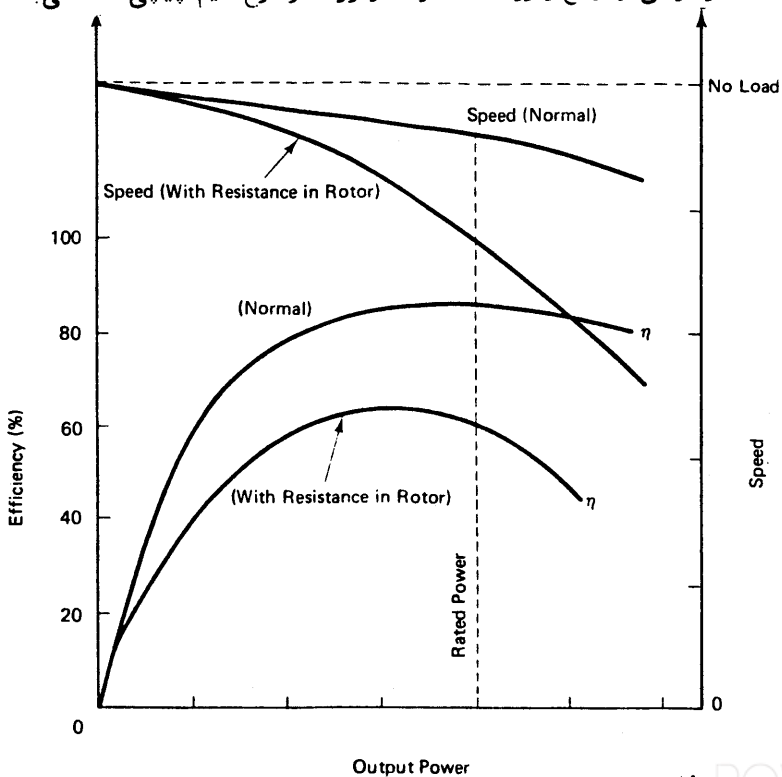
9-7.2 Characteristics versus Power Output

یکی دیگر از منحنی‌های مشخصه مهم مربوط به موتورهای اسنکرون سه فاز در شکل (۱۵ ــ ۹) رسم شده است . این منحنی‌ها تغییرات جریان خط ورودی به موتور ، راندمان (بر حسب درصد) ضریب توان (بر حسب درصد) و لغزش (برحسب درصد) را نسبت به توان خروجی نشان می‌دهد .

۳ ــ ۷ ــ ۹ : اثررتورهای سیم پیچی شده بر روی مشخصه‌های موتورهای اسنکرون سه فاز :

9-7.3 Effect of the Wound Rotor on Characteristics

در برخی از مواقع رتورهای اینگونه موتورها از نوع سیم پیچی شده می‌باشد ، لذا



شکل ۱۶ ــ ۹ : اثر افزایش مقاومت بوسیله رئوستا رتور بر روی سرعت و راندمان در این منحنی‌ها حالت بدون رئوستا یا حالت نرمال نیز رسم شده است .

POWEREN.IR

می‌توان گشتاور راه انداز نسبتا زیادی پدید آورد (شکل ۱۱ ــ ۹) . همانطور که می‌دانیم اگر مقاومت رتور توسط رئوستا زیاد شود ،گشتاور راه انداز نیز افزون می‌گردد . هرگاه موتور سرعت گرفت و مقاومت رئوستا در مدار بماند(مقاومت رئوستا صفر نشود) ،بر روی مشخصه‌های موتور تاثیر خواهیم گذاشت . شکل (۱۶ ــ ۹) مشخصه‌های موتورهای سه فاز را نشان می‌دهد که در آن تغییرات راندمان وسرعت نسبت به توان خروجی را نشان می‌دهد در این شکل هر دو حالتی که مقاومت رئوستا در مدار رتور باقی می‌ماند و یا بالاخره صفر می‌گردد (حالت نرمال) نشان داده شده است .

۸ ــ ۹ روش راه اندازی موتورهای القائی سه فاز: STARTING TECHNIQUES

دو روش برای راه اندازی اینگونه موتورها وجود دارد .

۱ ــ وصل مستقیم موتور به شبکه (منبع تغذیه)

۲ ــ استفاده از راه انداز . (۱)

در روش اول (وصل مستقیم) ولتاژ اسمی به ترمینال‌های استاتور اعمال می‌گردد . اما موتورهای اسنکرون سه فاز در لحظه راه اندازی بین ۵ تا ۱۰ برابر جریان اسمی خود را از شبکه می‌کشند . مثلا اگر در یک موتور سه فاز ۲۲۰ ولتی (۲۲۰ ولت ولتاژ خط می‌باشد) جریان اسمی ۱۰ آمپر باشد ، لذا در لحظه راه اندازی حدود ۵۰ تا ۱۰۰ آمپر می‌کشد که خود مشکلاتی برای موتور و منبع تغذیه فراهم می‌سازد . البته این روش (وصل مستقیم) را می‌توان برای موتورهای کوچک (تا ۵ اسب بخار یا ۳ کیلوواتی) اعمال نمود ولی برای موتورهای بزرگتر باید از راه اندازهای مخصوص استفاده کرد . یکی از روشهای متداول ، استفاده از راه اندازهای "ستاره ــ مثلث" (۲) می‌باشد (شکل ۱۷ ــ ۹) . از این راه اندازها می‌توان برای موتورهائی که استاتور آنها بصورت مثلث می‌باشد استفاده نمود . ابتدا سیم پیچ‌های استاتور را مطابق شکل (۱۷ ــ ۹) به کلید "ستاره ــ مثلث" (۳) متصل می‌سازیم . در لحظه راه اندازی کلیدها در وضعیت شماره (۱) قرار دارند و لذا اتصال استاتور بصورت ستاره می‌باشد . هرگاه سرعت موتور بالا رفت و لغزش به حدود ۲۰٪ رسید کلیدها را به وضعیت شماره ۲ می‌بریم . حال استاتور به وضعیت مثلث برده میشود . با استدلال زیر می‌بینیم که بدین ترتیب جریان راه اندازی به ثلث تقلیل می‌یابد .

در اتصال مثلث جریان راه اندازی اینچنین است ،

$$I_p = \frac{V_L}{Z}$$

---

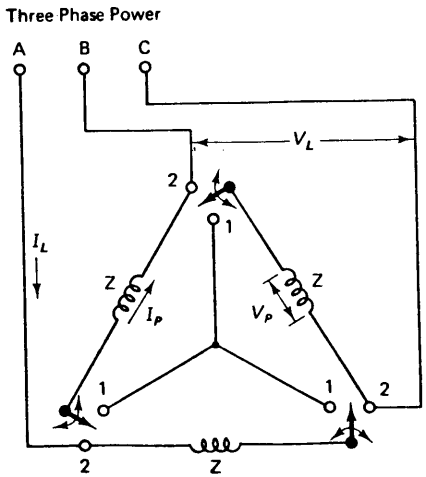
1) Starter 2) Y- ,Starter

3) Y- ,Switch

POWEREN.IR

POWEREN.IR

$$I_{L\Delta} = \sqrt{3}I_p = \frac{\sqrt{3}V_L}{Z}$$



شکل ۱۷ ــ ۹ : شمای راه انداز ستاره مثلث در موتورهای القائی سه فاز

در اتصال ستاره جریان راه اندازی اینچنین است ،

$$V_p = \frac{V_L}{\sqrt{3}}$$

$$I_p = \frac{V_p}{Z} = \frac{V_L}{\sqrt{3}Z}$$

$$I_{LY} = I_p = \frac{V_L}{\sqrt{3}Z}$$

لذا :

$$\frac{I_{LY}}{I_{L\Delta}} = \frac{V_L/(\sqrt{3}Z)}{\sqrt{3}V_L/Z} = \frac{1}{\sqrt{3}\sqrt{3}} = \frac{1}{3}$$ نرد

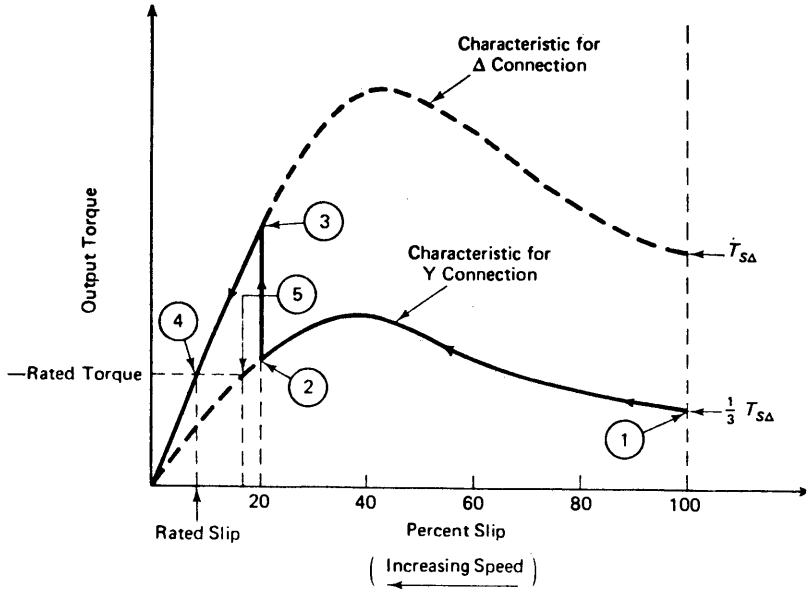
$$I_{LY} = \tfrac{1}{3}I_{L\Delta}$$

می‌بینیم که جریان خط در لحظه راه اندازی در حالت ستاره ثلث جریان خط در حالت مثلث خواهد بود ،

چون با اتصال ستاره شروع می‌کنیم وجریان کمتر از حالت مثلث است لذا گشتاور نیز کمتر خواهد بود ، در لحظه راه اندازی ولتاژ دو سر سیمهای استاتور در حالت ستاره $V_L/\sqrt{3}$ می‌باشد واز رابطه (۳ ــ ۹) در میابیم که‌گشتاور راه انداز در حالت ستاره به

POWEREN.IR

ثلث تقلیل می‌یابد ، در نتیجه در این نوع راه اندازی که با حالت ستاره شروع می‌شود منحنی TSL مطابق شکل (۱۸–۹) می‌باشد (منحنی پائینی) . در لحظه راه اندازی از نقطه شماره (۱) شروع می‌کنیم و با سرعت گرفتن موتور به نقطه (۲) می‌رویم در این لحظه است که از وضعیت ستاره به وضعیت مثلث تغییر مکان می‌دهیم ، لذا یک افزایش ناگهانی در گشتاور پدید می‌آید (نقطه ۳) ، موتور از نقطه (۳) به شتاب خود ادامه می‌دهد تا بالاخره به‌نقطه (۴) مربوطبه شرایط اسمی ماشین برسیم ، باید گفت که اگر از وضعیت ستاره به وضعیت مثلث نمی‌رفتیم در منحنی پائینی باقی می‌ماندیم و نقطه کار ماشین همان نقطه (۵) خواهد بود ، همانطور که مشاهده می‌شود سرعت در نقطه ۵ به مراتب کمتراز سرعت در نقطه (۴) است زیرا لغزش در نقطه ۵ از لغزش در نقطه ۴ بیشتر می‌باشد .



شکل ۱۸ – ۹ : منحنی "گشتاور – لغزش" یا TSL هنگام استفاده از کلید راه انداز ستاره مثلث

POWEREN.IR

SYMBOLS INTRODUCED IN CHAPTER 9

Symbol	Definition	Units: English and SI
S_s (۱)	Synchronous speed in English system	rev/min
ω_s (۲)	Synchronous speed in SI	rad/s
I_R (۳)	Rotor current	amperes
I_L (۴)	Line current	amperes
ϕ (۵)	Stator field flux	lines or webers
θ_R (۶)	Rotor power factor angle	degrees
T (۷)	Torque developed in rotor	lb-ft or N-m
T_s (۸)	Starting torque	lb-ft or N-m
V_L (۹)	Applied stator line voltage	rms volts
s (۱۰)	Slip	rpm, rad/s, percent, or decimal
S (۱۱)	Speed of rotor in English system	rev/min
ω (۱۲)	Speed of rotor in SI	rad/s
SR (۱۳)	Speed regulation	percent
f (۱۴)	Frequency of applied stator voltage	hertz
f_R (۱۵)	Frequency of induced rotor current	hertz
L_R (۱۶)	Rotor inductance	henries
X_R (۱۷)	Rotor reactance	ohms
X_{BR} (۱۸)	Rotor reactance at standstill	ohms
R_R (۱۹)	Rotor resistance	ohms
Z_R (۲۰)	Rotor impedance	ohms
Z (۲۱)	Effective stator impedance per phase	ohms
E_R (۲۲)	Induced rotor voltage at any speed	volts
E_{BR} (۲۳)	Induced rotor voltage at standstill	volts
s_{po} (۲۴)	Slip at pull-out	decimal
W_1, W_2 (۲۵	Wattmeter readings	watts
P_R (۲۶	Power transferred across air gap into rotor	watts
P_C (۲۷)	Stator core loss	watts
P_{CuS} (۲۸)	Stator copper loss	watts
P_{CuR} (۲۹)	Rotor copper loss	watts
P_M (۳۰)	Mechanical (friction and windage) loss of motor	watts
r_s (۳۱)	Resistance between any two stator lines	ohms
r_e (۳۲)	Effective stator resistance	ohms

علائم بکار برده شده در فصل نهم

۱ ــ سرعت سنکرون در سیستم ENG

۲ ــ سرعت سنکرون در سیستم SI

۳ ــ جریان رتور

۴ ــ جریان خط

۵ ــ شار میدان استاتور

POWEREN.IR

۶ ــ زاویه ضریب توان در رتور
۷ ــ گشتاور حاصله در رتور
۸ ــ گشتاور (کوپل) راه انداز
۹ ــ ولتاژ اعمال شده به استاتور (ولتاژ خط)
۱۰ ــ لغزش
۱۱ ــ سرعت رتور در سیستم ENG
۱۲ ــ سرعت رتور در سیستم SI
۱۳ ــ تنظیم سرعت
۱۴ ــ فرکانس منبع تغذیه استاتور
۱۵ ــ فرکانس جریان القاء شده در رتور
۱۶ ــ اندوکتانس رتور (مربوط به هر فاز)
۱۷ ــ راکتانس رتور (مربوط به هر فاز)
۱۸ ــ راکتانس رتور در حالت سکون (مربوط به هر فاز)
۱۹ ــ مقاومت رتور (مربوط به هر فاز)
۲۰ ــ امپدانس رتور (مربوط به هر فاز)
۲۱ ــ امپدانس موءثر استاتور (مربوط به هر فاز)
۲۲ ــ ولتاژ القاء شده در رتور
۲۳ ــ ولتاژ القاء شده در رتور در حالت سکون
۲۴ــ لغزش در حالت pull-out
۲۵ ــ اعداد واتمترها
۲۶ ــ توان منتقله از فاصله هوائی که وارد رتور می‌شود .
۲۷ ــ تلفات هسته در استاتور
۲۸ ــ تلفات مسی در استاتور
۲۹ ــ تلفات مسی در رتور
۳۰ ــ تلفات مکانیکی اعم از اصطکاک و تهویه
۳۱ ــ مقاومت بین دو خط استاتور
۳۲ ــ مقاومت موءثر استاتور

POWEREN.IR

PowerEn.ir

POWEREN.IR

POWEREN.IR

فصل دهم

موتورهای سنکرون سه فاز

THE THREE-PHASE SYNCHRONOUS MOTOR

۳۴ صفحه

POWEREN.IR

PowerEn.ir

POWEREN.IR

POWEREN.IR

فصل ۱۰

موتورهای سنکرون سه فاز

مقدمه:

تئوری عملکرد و ساختمان موتورهای سنکرون سه فاز مشابه ژنراتورهای سنکرون می‌باشد (فصل۸). البته باید خاطر نشان ساخت که تفاوتهای بسیار جزئی بین این دو ماشین سنکرون وجود دارد. رتورهای موتورهای سنکرون سه‌فاز عموما از نوع قطب برجسته [1] بوده وسیم پیچ‌های رتور در موتورهای سنکرون قدری با ژنراتورهای سنکرون متفاوت هستند تا اثر میرائی [2] بهتر نمایان گردد.

۱ ــ ۱۰: ساختمان موتورهای سنکرون: 10-1 CONSTRUCTION

استاتور موتورهای سنکرون مشابه استاتور ژنراتورهای سنکرون و موتورهای آسنکرون می‌باشد و طوری سیم پیچی می‌گردند که تعداد قطبهای استاتور مشابه تعداد قطبهای رتور باشد. رتور موتورهای سنکرون مشابه رتور ژنراتورهای سنکرون است اما گاهی اوقات سیم پیچ رتور بر روی رتور قفس سنجابی سوار می‌شود (شکل ۱ ــ ۹). در اینحالت دو مدار برای رتور حاصل می‌شود. در بخش (۳ ــ ۱۰) در همین فصل خواهیم دید که رتور قفس‌سنجابی بخاطر راه اندازی موتورهای سنکرون مورد استفاده قرار می‌گیرد. در اینگونه موتورها که رتورهای آنها از نوع قفس‌سنجابی است وقتی که موتور سرعت گرفت، سیم پیچ دیگر رتور موثر می‌گردد و بر مشخصه موتور سنکرون اثر می‌گذارد. امروزه رتور موتورهای سنکرون کوچک از آهن‌ربای دائم ساخته می‌شوند تا به تحریک خارجی نیاز نداشته باشیم.

۲ ــ ۱۰ ــ تئوری عملکرد موتورهای سنکرون سه فاز: 10-2 THEORY OF OPERATION

هرگاه به سیم پیچ سه فاز استاتور ولتاژ اعمال کنیم، میدان گردنده استاتور پدیدار می‌شود و همانطور که در مبحث موتورهای القائی (اسنکرون) گفتیم این میدان گردنده با سرعت سنکرون می‌چرخد (بخش ۲ ــ ۹ در فصل ۹). همچنین در موتورهای

POWEREN.IR

1) Salient-pole 2) Damping-effect

سنکرون رتورنیز توسط منبع DC تغذیه میگردد ولذا رتورنیز میدان مغناطیسی ایجاد می‌کند. شکل (۱ ــ ۱۰) شمای موتورهای سنکرون را نشان می‌دهد.

ابتدا رتودر حالت سکون قرار دارد و وقتی که استاتور را به شبکه وصل کنیم، میدان گردنده استاتور پدیدار می‌گردد که با سرعت سنکرون می‌چرخد. این میدان گردنده در شکل (۱ــ ۱۰) نشان داده شده که در جهت عقربه ساعت [۱] (CW) می‌چرخد. هنگامیکه قطب شمال (مثبت) میدان استاتور از مقابل قطب جنوب رتور می‌گذرد، نیروی جاذبه بین آن دوایجاد میشود و لذا رتور سعی دارد در جهت عقربه ساعت (CW) بچرخد. اما قبل ازاینکه رتور بچرخد میدان استاتور ۱۸۰ درجه چرخیده است و در این حال قطب شمال استاتور در انتهای شکل (۱ ــ ۱۰) قرار می‌گیرد و در اینصورت رتور را دفع می‌کند (قطبهای همنام در مقابل یکدیگر قرار می‌گیرند). لذا رتورسعی می‌کند در جهت خلاف عقربه ساعت [۲] (CCW) بچرخد. از مطالب فوق نتیجه می‌شود که در هنگامیکه میدان گردنده استاتور یک دور کامل می‌زند، در یک نیم دور سعی می‌کند رتور را در جهت عقربه ساعت بچرخاند (CW) و در نیم دور دیگر سعی دارد رتور را در جهت خلاف عقربه ساعت (CCW) بگرداند. در نتیجه رتور هیچگاه نخواهد چرخید. بهمین دلیل است که در موتورهای سنکرون گشتاور راه‌انداز [۳] پدیدار نمی‌شود. در اغلب اوقات به تکنیکهائی نیاز داریم که در ابتدای امر موتور را بگردش درآورد. در بخش (۳ ــ ۱۰) در همین فصل راجع به این روشهای راه اندازی صحبت می‌کنیم.

حالا فرض کنید که رتور را به نحوی به سرعت نسبتا زیادی رسانده‌ایم. در این حال رتور با میدان گردنده استاتور قفل می‌شود و در این شرایط گشتاور کار [۴] در موتور سنکرون سه فاز پدیدار می‌شود. باید گفت که پس از قفل شدن رتور و میدان گردنده استاتور هر دو با سرعت سنکرون می‌چرخند و جهت چرخش رتور توسط جهت میدان گردنده استاتور دیکته می‌شود. لذا می‌توان جهت چرخش رتور موتورهای سنکرون سه فاز را با تعویض ۲ ترمینال در منبع تغذیه استاتور (شبکه) تعویض نمود (بخش ۱ ــ ۲ ــ ۹ در فصل ۹)

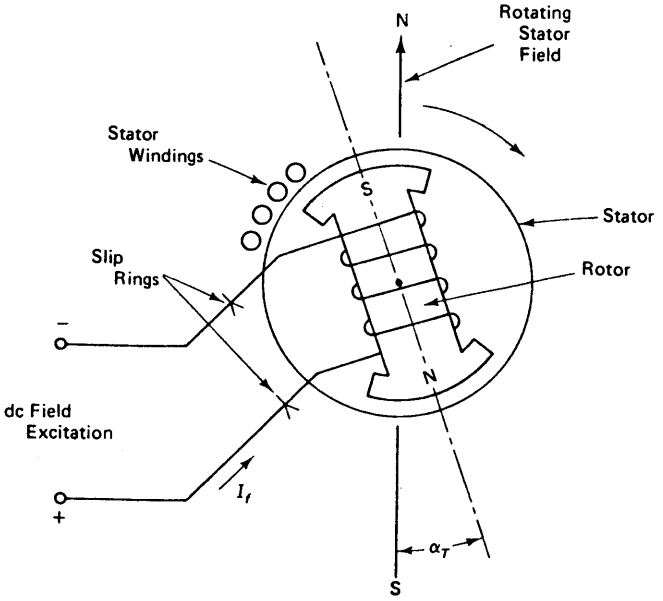
هنگامیکه رتور موتور سنکرون سه فاز با سرعت سنکرون می‌چرخد، دو میدان حاصله از استاتور و رتور کاملا در یک راستا قرار نمی‌گیرند و همواره قطبهای رتور از قطبهای استاتور عقب می‌افتد. زاویه این عقب افتادگی، زاویه گشتاور [۵] نامیده می‌شود (α_T) و این زاویه در شکل (۱ ــ ۱۰) نشان داده شده است. با افزایش بار موتور که

---

1) Clockwise 2) Counterclockwise
3) Starting torque 4) Operating torque
5) Torque-Angle

POWEREN.IR

POWEREN.IR



شکل ۱ ــ ۱۰ شمای یک موتور سنکرون سه‌فاز

بر روی محور اعمال می‌گردد، زاویه گشتاور (α_T) زیاد می‌شود ولی رتور همواره با سرعت سنکرون می‌چرخد. این رفتار آنقدر ادامه میابد تا α_T حدود ۹۰ درجه گردد در این لحظه گشتاور حداکثر بوجود می‌آید. اگر باز هم بار را بیشتر کنیم. دو حالت زیر رخ میدهد.

الف: اگر اضافه بار خیلی کم باشد و یاموقتی اعمال شود، لغزش قطب[1] در موتور پدیدار می‌شود. به عبارت دیگر میدان استاتور، رتور را رها می‌سازد و دوباره در دور بعدی آنرا در اختیار می‌گیرد.

ب: اگر اضافه بار خیلی زیاد باشد و یا موقتی اعمال نشود، موتور از حالت سنکرون خارج شده و می‌ایستد. در اینحالت گویند که موتور سنکرونیزم خود را از دست داده است.[2] باید توجه داشت که دو حالت فوق در موقعی رخ می‌دهد که α_T حدود ۹۰ درجه باشد و به‌آن زاویه‌گشتاور بحرانی[3] مربوط به گشتاور ماکزیمم گفته می‌شود. می‌توان ثابت کرد که در این شرایط α_T با β زاویه‌امپدانس‌سنکرون مساوی خواهد شد.

$$\beta = \arctan \frac{x_p}{r_p} \qquad (10\text{-}1)$$

1) Pole, Slipping
2) Loss, of, Synchronism
3) Critical, Torque, Angle

POWEREN.IR

در رابطه اخیر r_p، مقاومت هر فاز استاتور و x_p راکتانس سنکرون هر فاز استاتور می‌باشد و چون x_p بمراتب از r_p بزرگتر است، لذا β حدود ۹۰ درجه می‌باشد. اثبات رابطه فوق از حوصله این کتاب خارج است.

مثال ۱ ــ ۱۰:

ماشین سنکرون مربوط به مثال (۶ ــ ۸) در فصل ۸ را بصورت موتور مورد بهره برداری قرار می‌دهیم. زاویه گشتاور مربوط به گشتاور ماکزیمم [1] را بدست آورید (زاویه گشتاور بحرانی).

حل

از اعداد مثال (۶ ــ ۸) در فصل ۸ داریم:

$r_p = ۰/۱۲$ اهم در هر فاز

$x_p = ۱/۵$ اهم در هر فاز

از رابطه (۱ ــ ۱۰) داریم

$$\text{maximum } \alpha_T = \beta = \arctan \frac{1.5\ \Omega}{0.12\ \Omega}$$

$$= 85.43°$$

از مطالب فوق در میابیم که در شرایط عادی هردو میدان رتور و استاتور با هم قفل می‌شوند و سرعت موتور سنکرون همواره همان سرعت سنکرون است (حتی در مقابل تغییرات بار). لذا درصد تنظیم سرعت در موتورهای سنکرون صفر درصد است و لذا از این موتورها در مواقعی که به تغییر سرعت نیاز داریم استفاده نمی‌شود.

۱ ــ ۲ ــ ۱۰ اثر تغییرات تحریک در موتورهای سنکرون سه فاز

10-2.1 Effect of Field Excitation

برای تحلیل بهتر اثر تغییرات تحریک در عملکرد موتورهای سنکرون، مدار معادل هر فاز این موتورها را مورد توجه قرار می‌دهیم (شکل ۲ ــ ۱۰). این شکل شبیه مدار معادل ژنراتور سنکرون است (فصل ۸).

همچنین سه دیاگرام فازوری [2] شکل (۳ ــ ۱۰) را در مد نظر قرار می‌دهیم.

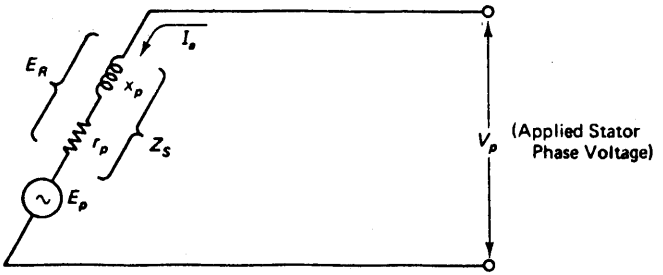
---

1) Maximum, torque

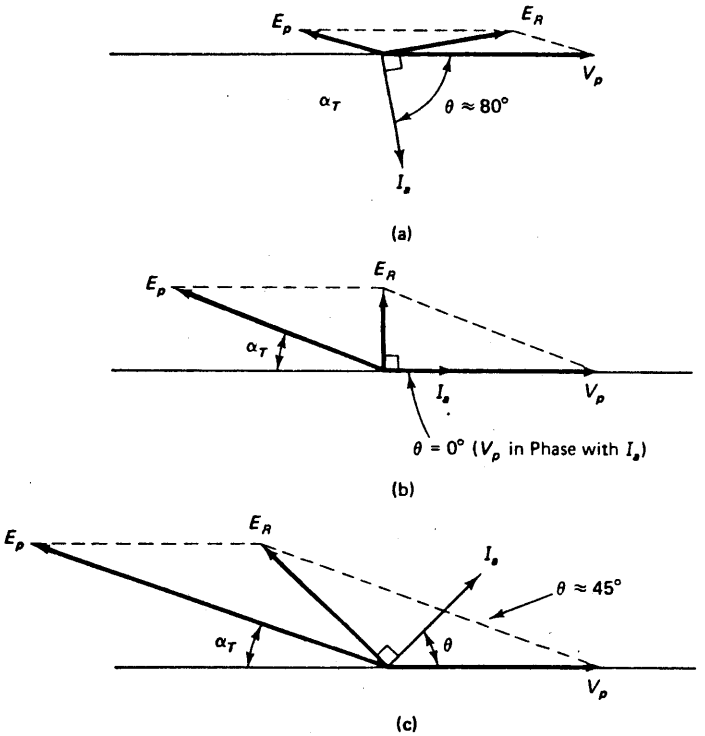
2) Phasor, diagram

POWEREN.IR

POWEREN.IR



شکل ۲ ــ ۱۰ مدار معادل مربوط به هر فاز در موتور سنکرون سه فاز



شکل ۳ ــ ۱۰: دیاگرام فازوری مربوط به مدار معادل شکل ۲ ــ ۱۰.

a : حالت زیر تحریک با ضریب توان پس فاز

b : حالت تحریک نرمال با ضریب توان واحد

c : حالت فوق تحریک با ضریب توان پیش فاز

POWEREN.IR

POWEREN.IR

هرگاه موتور سنکرون مشغول کار است ، میدان مغناطیسی حاصله از رتور استاتور را قطع می‌کند ولذا در استاتور ولتاژ (E_p) تولید می‌شود که با ولتاژ اعمال شده بر استاتور یا V_p (ولتاژ منبع تغذیه) مخالفت می‌کند . ولتاژ E_p شباهت بسیار زیادی با نیروی ضد محرکه در موتورهای DC دارد (جلد اول) . اگر میدانهای استاتور و رتور در یک راستا قرار داشته باشند ($\alpha_T = 0°$) در اینصورت E_p و V_p با هم ۱۸۰ درجه اختلاف فاز خواهند داشت ولی چون معمولا α_T صفر نمی‌باشد . یعنی میدانها در یک راستا قرار ندارند، لذا اختلاف فاز بین E_p و V_t کمتر از ۱۸۰ درجه می‌باشد (بمیزان α_T کمتر از ۱۸۰ درجه) . باید گفت که ولتاژ تولید شده درون ماشین ($\bar{E}_p$) توسط معادلات (۳ ــ ۸) در فصل ۸ بدست می‌آید (مانند ژنراتور سنکرون) . از معادلات (۳ ــ ۸) در می‌یابیم که اگر موتور تحت سرعت ثابت سنکرون بچرخد E_p تابعی از شار حاصله از میدان رتور (ϕ) خواهد بود ، بعبارت دیگر E_p در شکل (۲ ــ ۱۰) تابعی از جریان تحریک (I_f) در شکل (۱ ــ ۱۰) می‌باشد .

با توجه به شکل (۲ ــ ۱۰) ، ولتاژ E_R یعنی ولتاژ در دو سرامپدانس ماشین از جمع فازورهای E_p و V_p حاصل می‌شود .

از طرفی طبق قانون اهم جریان استاتور (I_a) از تقسیم E_R بر امپدانس Z_s پدیدار می‌شود . چون x_p بمراتب از r_p بیشتر است . لذا Z_s کلا " اندوکتیو بوده و I_a از E_R بمیزان ۹۰ درجه عقب خواهد بود (پس فاز) .

در شکلهای (۳ــ۱۰) بار موتور ثابت در نظر گرفته شده است و اگر از تغییرات تلفات درون ماشین [1] در این سه حالت صرفنظر کنیم . زاویه گشتاور (α_T) در هر سه حالت یکسان خواهد بود (چرا؟) . اما در این سه حالت ، تحریک متفاوت بوده و لذا E_p های گوناگون حاصل می‌شود .

در شکل (۳ a ــ ۱۰) تحریک خیلی کم است و لذا با توجه به جمع فازورها درمیابیم که E_R تقریبا " با V_p همفاز می‌گردد . چون I_a بمیزان ۹۰ درجه از E_R عقب است . لذا I_a بمیزان θ درجه از V_p عقب خواهدبود . θ معمولا زاویه بزرگی است (حدود ۸۰ درجه) . درنتیجه ضریب توان موتور کم می‌باشد و ضریب توان پس فاز خواهد بود . در شکل (۳ a ــ ۱۰) داریم :

$$PF = \cos 80° = 0.17$$

به این وضعیت حالت زیر تحریک [2] گفته می‌شود .

POWEREN.IR

1) Internal Losses 2) Underexcited

اگر تحریک را افزایش دهیم و بالمال E_p را زیاد کنیم تا بحالت بحرانی شکل (۳b – ۱۰) برسیم ولتاژ E_R از V_p جلو می‌افتد (پیش فاز) و این جلو افتادگی حدود ۹۰ درجه می‌باشد. چون I_a، E_R از ۹۰ درجه عقب است، لذا I_a همفاز V_p می‌گردد. در اینصورت ضریب توان واحد می‌گردد. در شکل (۳b – ۱۰) داریم:

$$(PF = \cos 0° = 1.0)$$

این وضعیت به حالت تحریک نرمال[1] معروف است.

شکل (۳c – ۱۰) حالت فوق تحریک[2] است و در اینحالت E_p خیلی زیاد است و در نتیجه E_R بمیزانی بیشتر از ۹۰ درجه از V_p جلو می‌افتد. در اینحالت I_a از V_p جلو می‌افتد و لذا ضریب توان پیش فاز حاصل می‌گردد. در شکل (۳c – ۱۰) داریم:

$$(PF = \cos 45° = 0.707)$$

با توجه به نکات فوق در میابیم که با تنظیم تحریک می‌توان تحت بار مفروضی از موتور سنکرون در حالتهای پیش فاز، پس فاز یا تحریک نرمال بهره‌برداری نمود.

با توجه به شکلهای (۳ – ۱۰) در میابیم که ابتدا در شکل (۳a – ۱۰)، E_R نسبتا زیاد بود، سپس با تنظیم تحریک E_R خیلی کم گردید (شکل ۳b – ۱۰) و سپس دوباره E_R بزرگ می‌شود (شکل ۳c – ۱۰). همچنین با توجه به این سه شکل می‌توان دریافت که جریان I_a نیز تقریبا همان مسیر E_R را در این سه شکل پیموده است (زیاد کم – زیاد).

۲ – ۲ – ۱۰ اثر بار بر روی موتورهای سنکرون سه فاز: 10-2.2 Effect of Load

با توجه به شکل (۳b – ۱۰) می‌توان چنین گفت:

الف: با افزایش بار α_T زیاد می‌شود.

ب: با افزایش بار یا α_T ولتاژ E_R بطرف V_p می‌چرخد.

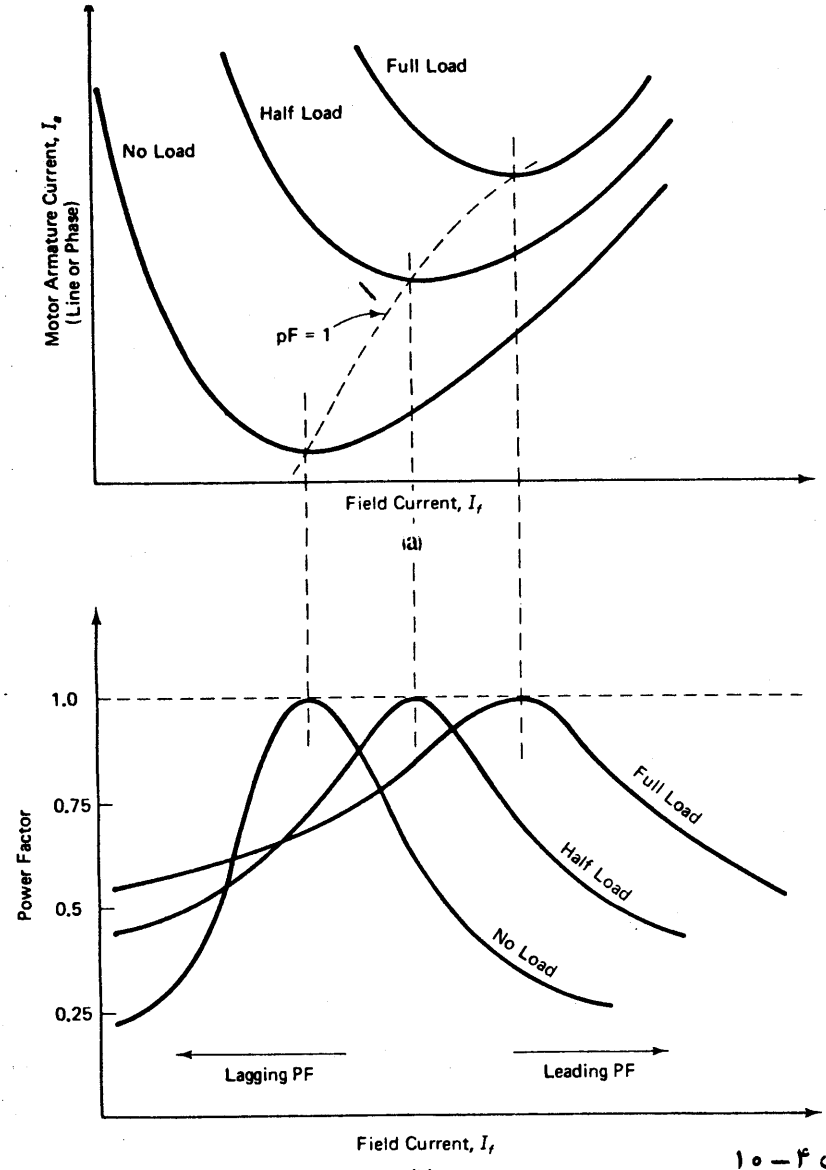
ج: با چرخیدن E_R بطرف V_p که در اثر افزایش بار صورت می‌گیرد جریان I_a نیز بهمان میزان α_T می‌چرخد.

در اینحالت دیگر ضریب توان واحد نخواهد بود. لذا در این حالت که بار افزایش یافته اگر بخواهیم دوباره به ضریب توان واحد برسیم، باید E_p را زیاد کنیم به عبارت ساده‌تر باید جریان تحریک را افزایش دهیم. این امر باعث می‌گردد که E_R به وضعیت شکل (۳b – ۱۰) بچرخد و ضریب توان واحد حاصل گردد.

1) Normal-excited 2) Over-excited

POWEREN.IR

حال دوباره وضعیت شکل (۳b ـ ۱۰) را در نظر می‌گیریم و فرض می‌کنیم تحریک ثابت باشد (E_p تغییر نکند) . حال اگر بار افزایش یابد ، α_T زیاد شده و E_p در جهت عقربه ساعت می‌چرخد . لذا E_R زیاد می‌گردد و در نتیجه I_a افزایش پیدا می‌کند . این امر را در بخش موتورهای DC (جلد اول) اثبات کردیم که در اثر افزایش بار (گشتاور



شکل ۴ ـ ۱۰

a : منحنی V شکل مربوط به تغییرات جریان استاتور برحسب جریان تحریک

b : منحنی V شکل معکوس مربوط به تغییرات ضریب توان بر حسب جریان تحریک

POWEREN.IR

بار) [1] جریان آرمیچر افزایش می‌یابد . در موتور سنکرون نیز افزایش بار باعث ازدیاد جریان استاتور I_α می‌گردد .

POWEREN.IR

۳ ــ ۲ ــ ۱۰ منحنی‌های V شکل در موتورهای سنکرون سه فاز:

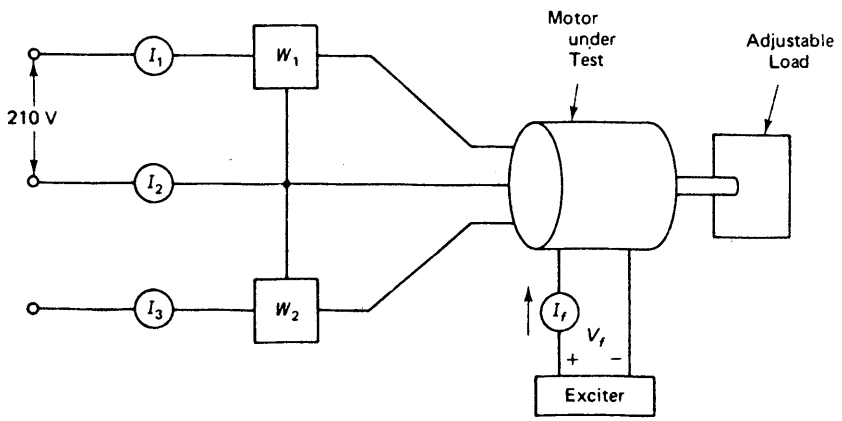
10-2.3 Synchronous Motor V Curves

مطالب بخشهای قبلی (۱ ــ ۲ ــ ۱۰) و (۲ ــ ۲ ــ ۱۰) را می‌توان بسهولت بر روی منحنی‌های متداولی مشاهده نمود . یکی از این منحنی‌ها در شکل (a ۴ ــ ۱۰) رسم شده است که تغییرات جریان استاتور را بر حسب جریان تحریک نشان می‌دهد (I_α برحسب I_f) . این منحنی‌ها شبیه V می‌باشند . منحنی‌های متداول دیگری وجود دارند که تغییرات ضریب توان را بر حسب جریان تحریک (I_f) نشان می‌دهد (شکل b ۴ ــ ۱۰) . این منحنی‌ها شبیه V معکوس می‌باشند

حال بهتر است به مطالب بخشهای (۱ ــ ۲ ــ ۱۰) و (۲ ــ ۲ ــ ۱۰) رجوع کنیم و در تمامی مراحل به شکلهای (۴ ــ ۱۰) توجه داشته باشیم . از نظر تئوری کمترین جریان خط [2] در تحت باری مفروض و تحریکی مشخص در ضریب توان واحد رخ می‌دهد . این امر در شکل‌های (۴ ــ ۱۰) نشان داده شده است .

مثال ۲ ــ ۱۰

یک موتور سنکرون سه فاز با مشخصات زیر مفروض است



شکل ۵ ــ ۱۰ : از آزمایش مربوط به تعیین منحنی V شکل در موتور سنکرون سه فاز

POWEREN.IR

1) Load, Torque 2) Line-Current

POWEREN.IR

ولت ۲۱۰ = ولتاژ اسمی ترمینال (ولتاژ خط)

اسب بخار ۲ = توان اسمی

این موتور را مطابق شکل (۵ــ۱۰) در آزمایشگاه مورد آزمایش قرار می‌دهیم و آزمایش‌هائی در شرایط بی‌باری و نصف بار اسمی (یک اسب بخار یا ۷۵۰ وات) بر روی آن انجام می‌دهیم

Table 10-1 No load

I_f (A)	I (A)	W_1 (W)	W_2 (W)	PF
3	5	680	−250	0.24
6	3.5	500	−100	0.31
7.5	2.6	400	0	0.42
9	1.8	300	60	0.55
11	1.05	190	190	0.995
12	1.25	150	230	0.84
13	1.55	100	300	0.71
15	2.4	−20	430	0.47
16	3	−100	500	0.37
17.5	4.4	−200	600	0.25

جدول ۱ ــ ۱۰ مربوط به آزمایش بی‌باری در موتور سنکرون سه فاز (مثال ۲ ــ ۱۰).

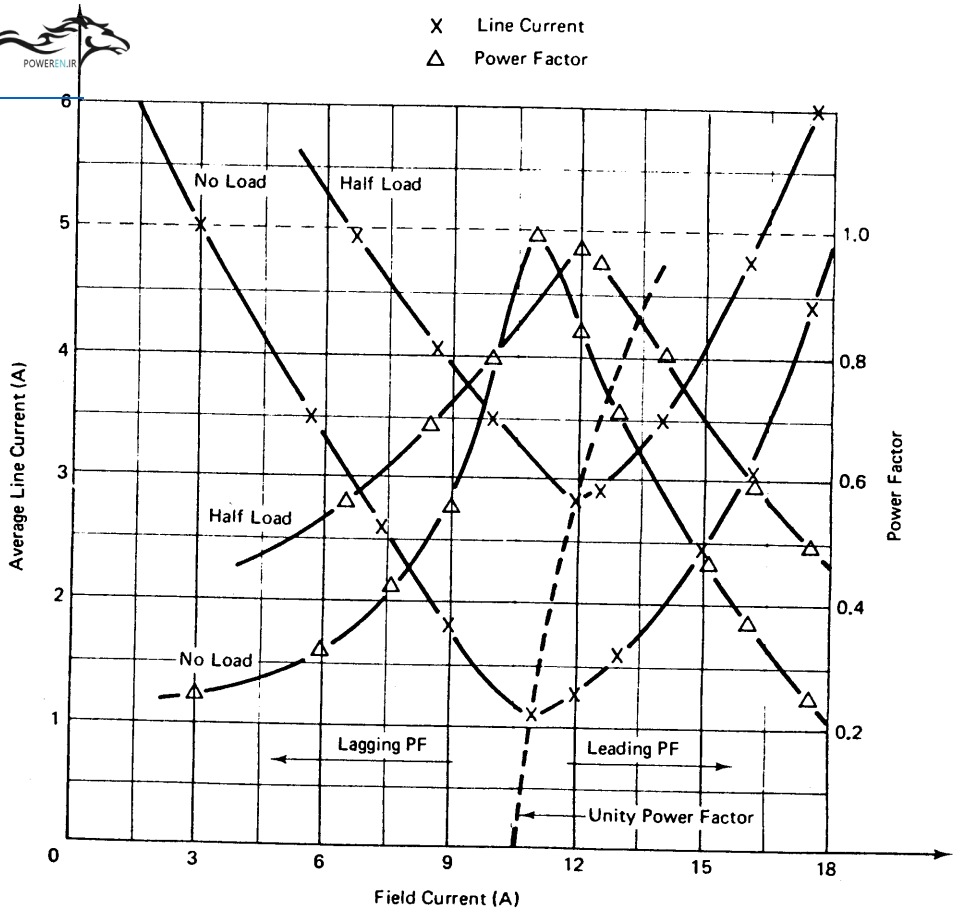
Table 10-2 Half load

I_f (A)	I (A)	W_1 (W)	W_2 (W)	PF
6.5	4.95	830	180	0.56
8.5	4.02	680	310	0.68
10	3.48	590	410	0.79
12	2.8	480	510	0.97
12.5	2.9	430	570	0.95
14	3.5	350	670	0.80
16	4.8	240	800	0.60
17.4	6.0	150	930	0.49

جدول ۲ ــ ۱۰ مربوط به آزمایش نصف بار اسمی در موتور سنکرون (مثال ۲ ــ ۱۰).

جداول (۱ ــ ۱۰) ، (۲ ــ ۱۰) اعداد مربوط به آزمایشها را نشان می‌دهد. جریان I در این جداول مقدار متوسط جریانهای I_1 ، I_2 و I_3 می‌باشد. مطلوبست رسم منحنی‌های V شکل این موتور در دو حالت بی‌باری و نصف بار اسمی.

POWEREN.IR



شکل ۶ ــ ۱۰: منحنی‌های V شکل و V شکل معکوس مربوط به مثال ۲ ــ ۱۰.
محور افقی: جریان تحریک. محور عمودی سمت ـ چپ: جریان استاتور
محور عمودی سمت راست: ضریب توان

حل:

منحنی جریان متوسط I را بر حسب جریان تحریک در دو حالت فوق رسم می‌کنیم (شکل ۶ ــ ۱۰) این منحنی‌ها بصورت V شکل هستند.

حال برای رسم منحنی‌های V شکل معکوس مربوط به این موتور، باید ضریب توان را در حالات مختلف بدست آورد. برای این منظور از اعداد واتمترهای W_1 و W_2 استفاده کرده و سپس ضریب توان را در حالتهای مختلف از رابطه زیر بدست می‌آوریم.

$$PF = \cos\theta = \frac{W_1 + W_2}{\sqrt{3}\,V_L I_L}$$

مثلا در حالت بی‌باری و جریان تحریک ۳ آمپر داریم.

POWEREN.IR

POWEREN.IR

$$PF = \frac{680\ W - 250\ W}{\sqrt{3} \times 210\ V \times 5\ A} = 0.24$$

حال ضریب توان را در حالتهای گوناگون بدست آورده و ضریب توانها را درجداول (۱ – ۱۰) و(۲ – ۱۰) یادداشت می‌کنیم . حال منحنی‌های V شکل معکوس مربوط به ضریب توان‌را در شکل (۶ – ۱۰) رسم می‌کنیم . بسیار جالب است بدانیم که در حالتی که ضریب توان واحد است واتمترهای W_1 و W_2 اعداد مساوی و مثبت نشان را می‌دهند .

منحنی‌های V شکل در تنظیم جریان تحریک [1] بسیار موثر و مفید هستند ، و می‌توان ضریب توان مورد نیاز را برای موتور تنظیم نمود . از این امر برای تحصیح ضریب توان [2] استفاده میشود و در بخش (۶ – ۱۰) همین فصل درباره این موضوع بیشتر توضیح می‌دهیم .

10-3 SYNCHRONOUS MOTOR STARTING TECHNIQUES

۳ – ۱۰ روشهای مختلف راه اندازی در موتورهای سنکرون سه فاز :

در قسمتهای قبلی گفتیم که در اینگونه موتورها گشتاور راه انداز پدیدار نمی‌شود . لذا باید از روشهای مختلفی برای راه اندازی موتورهای سنکرون استفاده کرد .

با این روشها موتور را به سرعت نسبتا" بالائی می‌رسانیم و سپس تحریک را اعمال می‌کنیم در اینصورت سنکرونیزم موتور پا برجا باقی می‌ماند . ما در زیر دو روش مختلف راه اندازی را توضیح می‌دهیم .

۱ – ۳ – ۱۰ : استفاده از محرک گرداننده کمکی : 10-3.1 Auxiliary Drive

اگر بتوانیم بار را از موتور جدا کنیم ، در اینصورت میتوان برای راه اندازی آن از این روش استفاده کرد . در اینحالت از یک موتور کوچک که بر روی محور [3] موتور سنکرون نصب شده است جهت راه اندازی استفاده می‌شود . هرگاه موتور سنکرون توسط این موتورکمکی به سرعت سنکرون رسید جریان تحریک به رتور موتور سنکرون اعمال می‌گردد . در این هنگام موتور در حالت سنکرونیزم باقی می‌ماند و سپس موتور کمکی را خاموش می‌نمائیم . آنگاه بار را به موتور سنکرون وصل می‌کنیم . از آنجائی که در مرحله راه اندازی موتور کمکی باید موتور سنکرون بی‌بار را بچرخش درآورد لذا توان اسمی موتور کمکی می‌تواند حدود ۱۰% توان اسمی موتور سنکرون سه فاز باشد به عبارت دیگر یک موتور کمکی یک

رجوع

1) Field, Current

2) Power, Factor, Correction

3) Shaft

POWEREN.IR

POWEREN.IR

اسب بخار یا یک کیلو واتی می‌تواند برای راه اندازی یک موتور سنکرون ۱۰ اسب بخاری یا ۱۰ کیلو واتی مورد استفاده قرار گیرد ،

معمولا موتورهای کمکی از انواع زیر انتخاب می‌شوند .

الف: موتورهای القائی (اسنکرون)

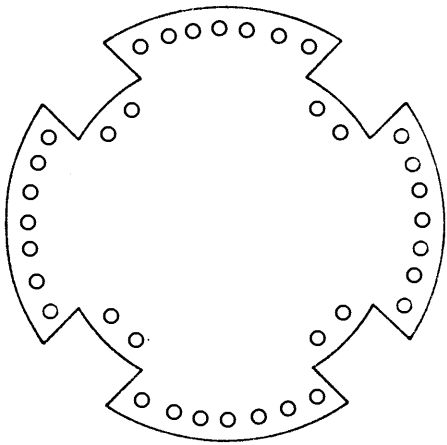
ب: موتورهای DC (جلد اول)

هنگامیکه از موتورهای DC استفاده شود و موتور سنکرون بحالت سنکرونیزم رود ، در اینصورت با استفاده از روش ترمز دینامیکی (جلد اول) بسرعت می‌توان موتور DC را خاموش و ساکن نمود (بخش ۱۱ ــ ۵ در جلد اول) .

۲ ــ ۳ ــ ۱۰ راه اندازی موتورهای سنکرون سه فاز بصورت اسنکرون :

10-3.2 Induction Start–Synchronous Run

در این روش سیم پیچ رتور بر روی رتور قفس سنجابی قرار می‌گیرد . به عبارت دیگر در رتور دو مدار وجود دارد . هرگاه به استاتور ولتاژ اعمال شود و مدار تحریک هنوز برق‌دار نشده باشد ، موتور بصورت موتور اسنکرون (القائی) راه اندازی می‌شود و سرعتش زیاد می‌گردد تا بالاخره به لغزشی حدود ۵ الی ۱۰% می‌رسد . در این لحظه مدار تحریک را برق‌دار می‌کنیم و موتور سنکرونیزم خود را بدست می‌آورد ورتور با سرعت سنکرون به چرخش خود ادامه می‌دهد . در حالتی که رتور با سرعت سنکرون می‌چرخد ، در مدار قفس سنجابی جریان بوجود نمی‌آید (چرا؟) ولذا بر روی عملکرد موتور اثر نمی‌گذارد . به سیم پیچی که در رتور فقط نقش راه اندازی را ایفا می‌کند amortisseur Winding گفته می‌شود و علاوه بر راه اندازی موتور ، هنگام تغییرات بار که نوساناتی



شکل ۷ ــ ۱۰ رتور قفس سنجابی از نوع قطب برجسته

POWEREN.IR

در ماشین رخ می‌دهد تا زاویه α_r در وضعیت جدید مستقر گردد ، این نوسانات را مستهلک می‌سازد . بدین جهت به این سیم پیچ لفظ سیم پیچ میراساز (مستهلک کننده) یا Damper-winding نیز اتلاق می‌گردد . شکل (۷ ــ ۱۰) نمای ساده اینگونه رتورها را نشان می‌دهد .

۴ ــ ۱۰: تحلیل عددی توان ، راندمان و گشتاور در موتورهای سنکرون سه فاز :

10-4 NUMERICAL ANALYSIS: POWER, EFFICIENCY, AND TORQUE

با توجه به مطالب بخشهای قبلی معادلاتی برای موتورهای سنکرون سه فاز ذکر می‌کنیم . البته در این تحلیل فرضیاتی انجام داده‌ایم تا محاسبات سهلتر انجام گیرد و حتی‌الامکان نتایجی با تقریب خوب حاصل گردد .

۱ ــ ۴ ــ ۱۰ توان و راندمان

چون در موتورهای سنکرون توان خروجی از نوع مکانیکی است ، لذا اندازه‌گیری آن قدری مشکل است . لذا سعی می‌شود مانند موتورهای DC (جلد اول) توان خروجی از رابطه زیر بدست آید :

کل تلفات درون موتور ــ توان ورودی موتور = توان خروجی موتور

برای بررسی تلفات درون موتور سنکرون سه فاز دیاگرامی مطابق شکل (۸ ــ ۱۰) که به دیاگرام پخش توان معروف است در نظر می‌گیریم . البته در این دیاگرام ، تلفات مدار تحریک رتور نشان داده نشده است . اگر ضریب توان موتور سنکرون معلوم باشد توان ورودی از رابطه (۲۴ــ۹) بدست می‌آید در غیر اینصورت از روش دو واتمتری (معادلات ۲۵ ــ ۹) استفاده کرده و توان ورودی را بدست میآوریم . اگر تلفات مسی استاتور (P_{Cu}) از توان ورودی کسر شود ، توان حاصله توسط موتور پدیدار می‌گیرد (P_{dev}) .

$$P_{Cu} = 3r_p I_a^2 \tag{10-2}$$

$$P_{dev} = P_i - P_{Cu} \tag{10-3}$$

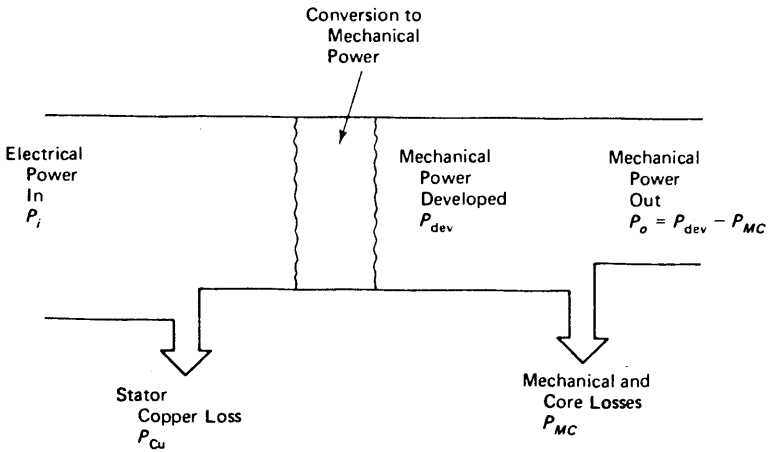
باید توجه داشت که در رابطه (۲ ــ ۱۰) تلفات مسی مربوط به هر سه فاز حساب شده است . با آنکه تلفات هسته در استاتور و رتور تواما وجود دارد ولی ما تمامی تلفات هسته را بصورت یک‌کاسه با تلفات مکانیکی (تهویه و اصطکاک) منظور می‌نمائیم (P_{MC}) . حال اگر تلفات هسته و مکانیکی (P_{MC}) از توان حاصله کسر شود توان خروجی ماشین بدست می‌آید .

$$P_o = P_{dev} - P_{MC} \qquad (10\text{-}4)$$

با جایگزین رابطه‌های (۳ ــ ۱۰) و (۲ ــ ۱۰) در رابطه (۴ ــ ۱۰) داریم .

$$P_o = P_i - P_{Cu} - P_{MC} \qquad (10\text{-}5)$$

از رابطه (۴ ــ ۱۰) در می‌یابیم که هرگاه موتور بی‌بار باشد ($P_o = 0$) درینصورت توان حاصله با مجموع تلفات هسته و تلفات مکانیکی برابر است . از آنجائی کهPMC از آزمایش بی‌باری موتور بدست می‌آید ، ما از آن در آزمایش‌بار اسمی نیز استفاده می‌کنیم و آنرا از بی‌باری تا بار کامل (۱) ثابت در نظر می‌گیریم .



شکل ۸ ــ ۱۰ دیاگرام پخش توان در موتورهای سنکرون سه فاز

تلفات مسی رتور نیز باید در محاسبات راندمان وارد گردد و با توجه به مدار شکل (۵ ــ ۱۰) این تلفات اینچنین است .

$$P_f = V_f I_f = R_f I_f^2 \qquad (10\text{-}6)$$

لذا راندمان موتور سنکرون سه فاز اینچنین بدست می‌آید .

$$\eta(\%) = \frac{P_i - P_{Cu} - P_{MC} - P_f}{P_i} \times 100 \qquad (10\text{-}7)$$

مثال ۳ــ ۱۰:

یک موتور سنکرون سه‌فاز با مشخصات زیر مفروض است .

ولت ۲۱۰ = ولتاژ اسمی ترمینال (ولتاژ خط)

آمپر ۸ = جریان اسمی (جریان خطی)

1) Full-Load

POWEREN.IR

POWEREN.IR

ستاره (Y) = طرز اتصال سیم پیچ استاتور

اهم ۰/۶ = مقاومت هر فاز استاتور (r_p)

اهم ۶/۳ = راکتانس هر فاز استاتور (x_p)

زیر تحریک (underexcited) = نوع تحریک

آمپر ۱۰ = جریان تحریک (I_f)

اهم ۱/۵ = مقاومت مدار تحریک (R_f)

این موتور را مطابق شکل (۵ ــ ۱۰) مورد آزمایش قرار می‌دهیم وجریان تحریک را ثابت نگهمیداریم نتایج آزمایشهای بی‌باری و بار اسمی (بار کامل) مطابق ذیل است.

No-load test: $V_L = 210$ V, $I_L = 1.6$ A (average)

$W_1 = 300$ W, $W_2 = -30$ W

Full-load test: $V_L = 210$ V, $I_L = 8$ A (average)

$W_1 = 1400$ W, $W_2 = 1200$ W

مطلوبست:

الف: ضریب توان موتور در حالت بی‌باری

ب: ضریب توان موتور در حالت بار اسمی (بار کامل)

ج: راندمان در بار اسمی (بار کامل)

حل:

الف: از آزمایش بی‌باری داریم:

$$P_i = W_1 + W_2 = 300 \text{ W} - 30 \text{ W} = 270 \text{ W}$$

از رابطه (۲۴ ــ ۹) داریم:

$$\text{PF} = \cos\theta = \frac{270 \text{ W}}{\sqrt{3} \times 210 \text{ V} \times 1.6 \text{ A}}$$

no-load PF = 0.46 lagging (since it is underexcited)

باید توجه داشت که ضریب توان فوق پس فاز است زیرا در حالت زیر تحریک ماشین را مورد تست قرار داده‌ایم.

ب: از آزمایش بار اسمی داریم.

$$P_i = 1400 \text{ W} + 1200 \text{ W} = 2600 \text{ W}$$

POWEREN.IR

POWEREN.IR

$$PF = \frac{2600\ W}{\sqrt{3} \times 210\ V \times 8\ A}$$

$$= 0.89 \text{ lagging (since it is underexcited)}$$

ضریب توان فوق پس فاز است زیرا در حالت زیر تحریک ماشین‌را مورد آزمایش قرار داده‌ایم .

ج . در حالت بی‌باری تلفات مسی استاتور اینچنین است (رابطه ۲ ــ ۱۰) :

$$P_{Cu} = 3 \times 0.6\ \Omega \times 1.6\ A^2 = 4.6\ W$$

از رابطه (۳ ــ ۱۰) داریم ،

$$P_{dev} = 270\ W - 4.6\ W = 265.4\ W$$

در حالت بی‌باری توان حاصله با مجموع تلفات هسته و توان مکانیکی برابر است . لذا :

$$P_{MC} = 265.4\ W$$

تلفات مسی استاتور در بار اسمی بقرار زیر است .

$$P_{Cu} = 3 \times 0.6\ \Omega \times 8\ A^2 = 115.2\ W$$

تلفات مدار تحریک بقرار زیر است (معادله ۶ ــ ۱۰) .

$$P_f = R_f I_f^2 = 1.5\ \Omega \times 10\ A^2 = 150\ W$$

و بالاخره راندمان اینچنین بدست می‌آید (رابطه ۷ ــ ۱۰)

$$\eta = \frac{2600\ W - 115.2\ W - 265.4\ W - 150\ W}{2600\ W} \times 100$$

$$= 79.6\%$$

۲ ــ ۴ ــ ۱۰ گشتاور (کوپل) 10-4.2 Torque

در محاسبات مربوط به‌گشتاور یک‌رابطه تقریبی برای زاویه گشتاور (α_T) بدست می‌آوریم . با توجه به شکل (۲ ــ ۱۰) در میابیم که E_R مجموع فازورهای $I_a r_p$ و $I_a x_p$ خواهد بود و چون x_p از r_p بمراتب بزرگتر است . لذا با تقریب خوب‌داریم .

$$E_R = I_a x_p \qquad (10\text{-}8)$$

با توجه به‌شکلهای (۳ــ ۱۰) در هر حالت در میابیم که مولفه قائم E_R اینچنین است .

$$\text{vertical component} = E_R \sin(90 - \theta) \qquad (10\text{-}9)$$

چون $\sin(90 - \theta)$ همان $\cos\theta$ یا ضریب‌توان‌است ،لذارابطه (۹ ــ ۱۰) اینچنین می‌شود .

POWEREN.IR

POWEREN.IR

$$\text{vertical component} = E_R \times \text{PF} \tag{10-10}$$

با بکارگیری علم مثلثات در شکلهای (۳ ــ ۱۰) داریم،

$$\sin \alpha_T = \frac{\text{vertical component of } E_R}{E_p}$$

$$= \frac{E_R \times \text{PF}}{E_p} \tag{10-11}$$

$$\alpha_T = \arcsin \frac{E_R \times \text{PF}}{E_p} \tag{10-12}$$

رابطه (۱۲ ــ ۱۰) یک رابطه تقریبی اما مفید است. ولتاژ تولید شده در هر فاز موتور (E_p) از رابطه زیر بدست می‌آید،

$$E_p = \sqrt{(V_p \cos \theta - I_a r_p)^2 + (I_a x_p \pm V_p \sin \theta)^2} \tag{10-13}$$

(+ for leading PF, − for lagging PF)

در رابطه اخیر V_p ولتاژ هر فاز مربوط به منبع تغذیه استاتور می‌باشد. اثبات رابطه (۱۳ ــ ۱۰) به عهده دانشجویان است:

مثال ۴ ــ ۱۰:

موتوری مطابق مثال (۳ ــ ۱۰) را در نظر می‌گیریم مطلوبست:

الف: زاویه گشتاور در حالت بی‌باری.

ب: زاویه گشتاور در حالت بار اسمی (بار کامل)

حل

الف: ابتدا E_p را از رابطه (۱۳ ــ ۱۰) بدست می‌آوریم. چون اتصال استاتور ستاره (Y) می‌باشد. لذا:

$$V_p = \frac{210 \text{ V}}{\sqrt{3}} = 121 \text{ V}$$

$$I_a = I_L$$

ازبند الف در مثال (۳ ــ ۱۰) داریم.

$$\text{PF} = \cos \theta = 0.46$$

$$\theta = 62.6°$$

$$\sin \theta = 0.89$$

لذا:

$$E_p = \sqrt{(121 \times 0.46 - 1.6 \times 0.6)^2 + (1.6 \times 6.3 - 121 \times 0.89)^2} = 111.9 \text{ V}$$

POWEREN.IR

POWEREN.IR

از رابطه (۸ ــ ۱۰) داریم .

$$E_R = 1.6\ \text{A} \times 6.3\ \Omega = 10.1\ \text{V}$$

از رابطه (۱۲ ــ ۱۰) داریم .

$$\alpha_T = \arcsin\left(10.1 \times \frac{0.46}{111.9}\right)$$
$$= 2.38^\circ$$

ب : در اینحالت از مقادیر اسمی بدست آمده در مثال (۳ ــ ۱۰) استفاده می شود . لذا :

$$\text{PF} = \cos\theta = 0.89$$
$$\theta = 27.13^\circ$$
$$\sin\theta = 0.46$$
$$E_p = \sqrt{(121 \times 0.89 - 8 \times 0.6)^2 + (8 \times 6.3 - 121 \times 0.46)^2}$$
$$= 103\ \text{V}$$

از رابطه (۸ ــ ۱۰) داریم .

$$E_R = 8\ \text{A} \times 6.3\ \Omega = 50.4\ \text{V}$$

ازرابطه (۱۲ ــ ۱۰) داریم

$$\alpha_T = \arcsin\left(50.4 \times \frac{0.89}{103}\right)$$
$$= 25.82^\circ$$

گشتاورخروجی و گشتاور حاصله با استفاده از روابط (۳ ــ ۵) در فصل ۵ (جلد اول) بدست می‌آید زیراما در مثال (۳ ــ ۱۰) توانهای خروجی و توانهای حاصله را بدست آوردیم .

اما فقط توجه کنید که سرعت در این موتورها همان سرعت سنکرون می‌باشد .

مثال ۵ ــ ۱۰ (سیستم ENG) :

موتوری مطابق مثال (۳ ــ ۱۰) در نظر می‌گیریم و فرکانس اسمی آنرا ۶۰ هرتز منظور می‌داریم گشتاور خروجی و گشتاور حاصله در موتور را در بار اسمی بیابید .

حل :

از رابطه (a ۳ ــ ۵) در جلد اول استفاده می‌کنیم و می‌دانیم S همان سرعت سنکرون است (رابطه a ۱ ــ ۹) .

$$S = S_s = 120 \times \frac{60\ \text{Hz}}{4\ \text{poles}} = 1800\ \text{rev/min}$$

از مثال (۳ ــ ۱۰) در میابیم که .

POWEREN.IR

POWEREN.IR

$$P_{dev} = 2600\ W - 115.2\ W = 2484.8\ W$$

برای آشنا شدن بیشتر به طرز محاسبه رابطه فوق به معادله (۳ ــ ۱۰) رجوع شود.

از رابطه (۳ a ــ ۵) استفاده می‌کنیم (جلد اول).

$$T_{dev} = 7.04 \times \frac{2484.8\ W}{1800\ rev/min} = 9.7\ ft\text{-}lb$$

توان خروجی از کسر P_{MC} و توان حاصله بدست می‌آید (شکل ۸ ــ ۱۰).

$$P_o = 2484.8\ W - 265.4\ W = 2219.4\ W$$

از رابطه (۳ a ــ ۵) داریم، (جلد اول):

$$T_o = 7.04 \times \frac{2219.4\ W}{1800\ rev/min}$$

$$= 8.68\ ft\text{-}lb$$

مثال ۶ ــ ۱۰ (سیستم SI):

موتوری مطابق موتور مثال (۳ ــ ۱۰) در نظر می‌گیریم و فرکانس اسمی آنرا ۵۰ هرتز منظور می‌داریم. مطلوبست محاسبه گشتاور حاصله و گشتاور خروجی در بار اسمی.

حل

از رابطه (۳ b ــ ۵) در جلد اول استفاده می‌کنیم و می‌دانیم همان سرعت سنکرون است (رابطه ۱ b ــ ۹).

$$\omega = \omega_s = 4\pi \times \frac{50\ Hz}{2\ poles} = 314\ rad/s$$

از مثال (۳ ــ ۱۰) داریم:

$$P_{dev} = 2600\ W - 115.2\ W = 2484.8\ W = 2.48\ kW$$

برای آشنا شدن بیشتر به طرز محاسبه رابطه فوق به معادله (۳ ــ ۱۰) رجوع شود.

از رابطه (۳ b ــ ۵) داریم (جلد اول)

$$T_{dev} = 1000 \times \frac{2.48\ kW}{314\ rad/s}$$

$$= 7.9\ N\text{-}m$$

توان خروجی از کسر P_{MC} و توان حاصله بدست می‌آید (شکل ۸ ــ ۱۰).

$$P_o = 2484.8\ W - 265.4\ W = 2219.4\ W = 2.22\ kW$$

از رابطه (۳ ــ ۵) داریم (جلد اول):

$$T_o = 1000 \times \frac{2.22\ kW}{314\ rad/s} = 7.1\ N\text{-}m$$

۵ ــ ۱۰ منحنی مشخصه‌های متداول برای موتورهای سنکرون سه فاز:

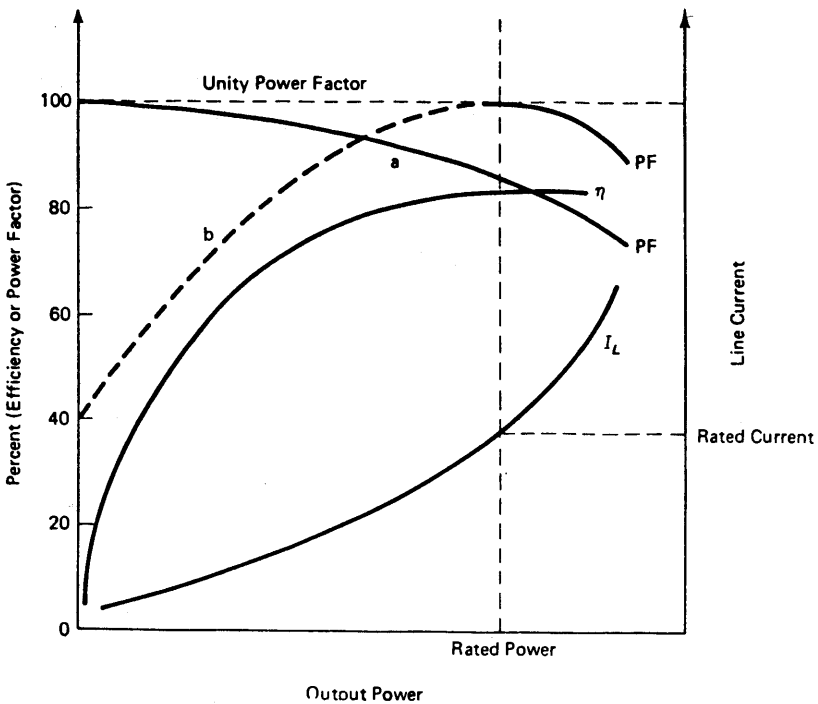
10-5 TYPICAL CHARACTERISTICS

POWEREN.IR

در موتورهای سنکرون نیز منحنی مشخصه‌هائی همانند موتورهای القائی (اسنکرون) وجود دارد. شکل (۹ــ۱۰) یک نمونه از این منحنی مشخصه‌ها را برای موتورهای سنکرون نشان می‌دهد و در تمامی این منحنی‌ها جریان تحریک موتور ثابت نگهداشته شده است. منحنی‌های شکل (۹ــ ۱۰) تغییرات جریان خط، راندمان، ضریب توان را برحسب توان خروجی تحت تحریک ثابت نشان می‌دهند.

در منحنی (۹ ــ ۱۰) دو منحنی برای ضریب توان رسم شده است یکی از منحنی‌ها با علامت a مشخص‌شده و دیگری با علامت b رسم شده است. باید گفت که در منحنی a تحریک طوری تنظیم شده است که ضریب توان در بی‌باری واحد باشد. در منحنی دوم ضریب توان (منحنی b) تحریک طوری تنظیم شده که ضریب توان واحد در بار اسمی (بار کامل) رخ دهد.

در هردو حالت ضریب توان واحد موقعی‌رخ می‌دهد که با تغییر جریان تحریک به نقطه‌ای برسیم که جریان خط می‌نیمم گردد. این نقطه (جریان می‌نیمم) مربوط به



شکل ۹ ــ ۱۰: منحنی‌های مشخصه موتورهای سنکرون سه فاز

محور افقی: توان خروجی

محور عمودی سمت چپ: راندمان و ضریب‌توان بر حسب درصد

محور عمودی سمت‌راست: جریان خط که موتور را از شبکه می‌کشد

POWEREN.IR

ضریب توان واحد است (شکل ۶ ـ ۱۰) . باید گفت که در منحنی (b) آن قسمت خط چین مربوط به ضریب توان پیش‌فاز بوده و قسمت توپر مربوط به ضریب توان پس‌فاز میباشد .

۶ ـ ۱۰ تصحیح ضریب توان : 10-6 POWER FACTOR CORRECTION

روند بهبود وافزایش ضریب توان منبع تغذیه را تصحیح ضریب توان می‌گویند . قبل از اینکه این قسمت را مطالعه کنید بخشهای (۱ ـ ۷) و (۱ ـ ۴ ـ ۷) را در فصل هفتم مرور کنید و بخوبی مثال (۲۴ ـ ۷) را در این فصل درک نمائید .

در فصل هفتم گفتیم که ضریب توان واحد هم به نفع مصرف کننده و هم به نفع تغذیه کننده می‌باشد . در فصل هفتم دیدیم که اگر ضریب توان کم باشد در اینصورت تنظیم ولتاژ و راندمان مطلوب نخواهد بود . برای مطالعه بیشتر به مثالهای (۱۹ ـ ۷) ، (۱۶ ـ ۷) در فصل ۷ و (۶ ـ ۸) ، (۷ ـ ۸) و (۸ ـ ۸) در فصل ۸ مراجعه کنید .

۱ ـ ۶ ـ ۱۰ علل کاهش ضریب توان : 10-6.1 Causes of a Low Power Factor

در تاسیسات صنعتی لوازم گوناگونی وجود دارند که بر کم شدن ضریب توان موثراند این لوازم عبارتند از:

۱ ـ موتورهای القائی (اسنکرون) که بار آنها کم باشد و دارای ضریب توان کوچک هستند (شکل ۱۵ ـ ۹)

۲ ـ ترانسفورماتورهای توزیع [1] در حالت بی‌باری دارای ضریب توان کم می‌باشند .

۳ ـ ماشینهای جوش یا قوس الکتریکی دارای ضریب توان نسبتا کمی هستند (حدود ۷۰% یا ۰/۷) .

۴ ـ لامپهای جیوه یا فلورسنت دارای ضریب توان کوچکی هستند (حدود ۵۰% یا ۰/۵) البته باید گفت که اینگونه لامپها مجهز به لوازمی هستند که ضریب توان آنها را بهبود می‌بخشد .

۲ ـ ۶ ـ ۱۰ معایب ضریب توان کم : 10-6.2 Disadvantages of a Low Power Factor

اگر با ضریب توان کم از تاسیساتی بهره‌برداری کنیم معایبی در نحوه بهره‌برداری بروز می‌کند . یکی از این معایب پائین آمدن راندمان بوده که قبلا به آن اشاره شد . یکی دیگر از معایب ضریب توان کم هزینه‌های اضافی مربوط به بهره برداری است و می‌توان

1) Distribution Transformer

POWEREN.IR

برخی از آنها را نام برد:

۱ ـ اگر تاسیساتی به ۷۰۰ کیلو وات برق نیاز داشته باشد وضریب توان آن ۰/۷ در نظر گرفته شود، لذا ترانسفورماتور توزیع مربوط به این تاسیسات باید توانی معادل ۱۰۰۰ کیلوولت آمپر داشته باشد. در نتیجه این ترانسفورماتور بمراتب از ترانسفورماتور ۷۰۰ کیلو ولت آمپری که در حالت ضریب توان واحد مورد استفاده قرار می‌گیرد گرانتر است.

۲ـ اگر بخواهیم توان مفروضی را تحت ضریب توان ۰/۷ تغذیه کنیم، سطح مقطع سیمها و کابلها باید دو برابر سطح مقطع حالتی باشد که بخواهیم همان توان را تحت ضریب توان واحد تغذیه نمائیم.

۳ ـ برخی از شرکتهای برق اگر ضریب توان پائین باشد مشترک را جریمه مالی می‌نمایند.

۴ ـ برخی از شرکتها علاوه بر گرفتن پول ماهیانه بابت کیلو وات ساعت مصرفی پولی نیز بابت کیلو وار ساعت مصرفی از مشترکین دریافت می‌کنند. لذا اگر ضریب‌توان کم باشد مشترکین باید پول بیشتری بخاطر کیلو وار ساعت مصرفی بپردازند.

۳ ـ ۶ ـ ۱۰ راههای بهبود ضریب توان:

10-6.3 Ways to Improve the Power Factor

یکی از راههای بهبود ضریب توان آنستکه از لوازم ذکر شده در بخش (۱ ـ ۶ ـ ۱۰) پرهیز کنیم که عموما این امر غیر ممکن است. برای آنکه بهتر درک کنیم چگونه می‌توانیم ضریب توان را بهبود بخشیم و لوازم مورد نیاز برای این امر را چگونه انتخاب نمائیم، باید ابتدا بفهمیم که از نظر الکتریکی چه وقایعی رخ می‌دهد. در بخش (۳ ـ ۹) در فصل نهم دیدیم که جریان وارد شده به موتور القائی (اسنکرون) دارای دو مولفه است.

۱ ـ مولفه اول جریان، که توان حقیقی (کیلو وات) موتور را تامین می‌کند و به این مولفه همان مولفه اکتیو جریان اتلاق می‌گردد.

۲ ـ مولفه دوم جریان که باعث ذخیره شدن انرژی در میدان مغناطیسی موتور می‌گردد و به این مولفه همان مولفه راکتیو جریان گفته می‌شود.

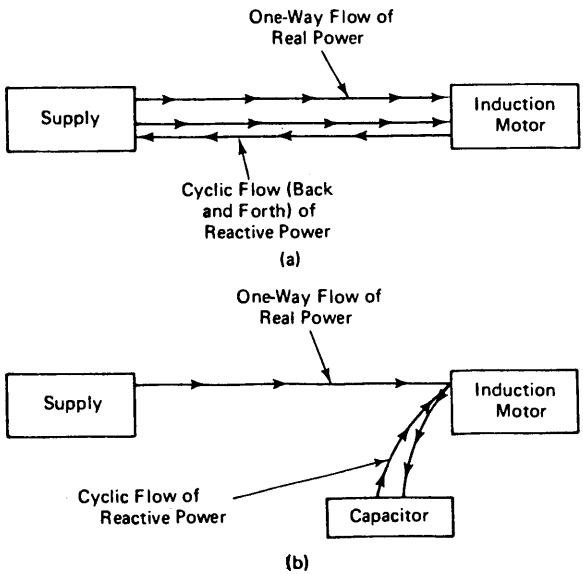
از آنجائی که جریان متناوب است، لذا میدان مغناطیسی سیکلی را طی می‌نماید که در طی این سیکل این میدان پدیدار و ساخته می‌شود و سپس فروپاشی یا شکست (۱) در این میدان رخ می‌دهد. هرگاه فروپاشی در میدان مغناطیسی (۲) رخ دهد، جریان

---

1) Breakdown 2) Magnetic, field

POWEREN.IR

POWEREN.IR



شکل ۱۰ ــ ۱۰: شمای ساده پخش و توزیع توان از منبع تغذیه به یک موتور القائی (آسنکرون).

a : تمامی توان راکتیو مورد نیاز موتور را منبع تامین می‌شود

b : تمامی توان راکتیو موتور از خازن مجاور موتور تامین می‌گردد

راکتیو از موتور به منبع تغذیه پس فرستاده می‌شود. شکل (a ۱۰ ــ ۱۰) شمای کلی مطالب فوق را نشان می‌دهد.

حال باید وسیله‌ای پیدا کرد که بتواند هنگام فروپاشی میدان مغناطیسی مولفه راکتیو جریان که از موتور پس فرستاده می‌شود را ذخیره نماید. یکی از لوازم ایده‌آل برای این منظور خازن می‌باشد که می‌تواند انرژی را در میدان الکتریکی (۱) ذخیره نماید. حال اگر در جوار موتور خازن نصب کنیم، رد و بدل شدن سیکلیک توان راکتیو بین خازن و موتور برقرار می‌شود و بین منبع تغذیه و موتور فقط مولفه‌ای از جریان که توان حقیقی (اکتیو) به موتور می‌رساند برقرار می‌گردد. شکل (b ۱۰ ــ ۱۰) مطالب فوق را روشنتر می‌سازد. البته در این شکل فرض بر آنستکه ضریب توان بهبود یافته به واحد رسیده است. اگر ضریب توان زیاد شده باشد ولی کاملا به واحد نرسیده باشد در اینصورت باز هم بین منبع تغذیه و موتور رد و بدل شدن توان راکتیو ادامه میابد ولی این بار به مراتب کمتر از حالتی است که اصلا خازن وجود نداشت (شکل a ۱۰ ــ ۱۰)

POWEREN.IR

1) Electric, field

۴ ــ ۶ ــ ۱۰ مقادیر اسمی خازن: 10-6.4 Capacitor Ratings

POWEREN.IR

خازنهائی که برای بهبود ضریب توان بکار برده می‌شوند دارای مشخصه‌های اسمی زیر هستند.

الف: ولتاژ موثر اسمی که خازن تحت آن مورد بهره برداری قرار می‌گیرد.

ب: توان اسمی بر حسب کیلو وار

ج: فرکانس اسمی

د: نوع سیستم:

۱ ــ د: تک فاز.

۲ ــ د: سه فاز

معمولا برای تصحیح ضریب توان از بیش از یک خازن استفاده می‌کنند. مثلا" اگر در یک سیستم ۲۴۰ ولتی، ۶۰ هرتزی تکفاز نیاز به ۸ کیلووار خازن جهت اصلاح ضریب توان داشته باشیم، در اینصورت از دو خازن زیر استفاده می‌کنند.

۱ ــ خازن ۵ کیلو واری، ۲۴۰ ولتی، ۶۰ هرتزی

۲ ــ خازن ۳ کیلو واری، ۲۴۰ ولتی، ۶۰ هرتزی.

گاهی اوقات از خازنها درولتاژ یا فرکانس کمتری نسبت به مقادیر اسمی خود استفاده می‌کنند. دراینحالت کیلوواری‌که خازن تامین می‌کند کمتر از توان اسمی (کیلو وار اسمی) خازن خواهد بود.

ازفرمولهای زیر معمولا استفاده می‌کنند تا مسائل مربوط به تصحیح ضریب توان را بررسی نمایند.

$$C = \frac{\text{rated var}}{2\pi f_r (V_r)^2} \tag{10-14}$$

$$\text{actual kvar} = \frac{2\pi f C (V)^2}{1000} \tag{10-15}$$

$$\text{rated kvar} = \text{actual kvar} \left(\frac{V_r}{V}\right)^2 \tag{10-16}$$

$$\text{rated kvar} = \text{actual kvar} \frac{f_r}{f} \tag{10-17}$$

در روابط فوق داریم:

C: ظرفیت خازن بر حسب فاراد (F).

f_r: فرکانس اسمی خازن بر حسب هرتز.

V_r: ولتاژ موثر اسمی خازن بر حسب ولت.

f: فرکانسی که خازن تحت آن مشغول کار است

POWEREN.IR

POWEREN.IR

v: ولتاژ موثری که خازن تحت آن مشغول انجام وظیفه است (برحسب ولت)

Actual- KVAR: کیلووار حاصله از خازن تحت شرایطی غیر از شرایط اسمی

مثال ۷ ــ ۱۰

یک خازن با مشخصات اسمی زیر مفروض است .

کیلو وار ۱۰ = کیلو وار اسمی = توان اسمی

ولت ۲۴۰ = ولتاژ موثر اسمی

هرتز ۶۰ = فرکانس اسمی

مطلوبست :

الف: کیلووار حاصله از خازن تحت ولتاژ موثر ۱۲۰ ولت و فرکانس ۶۰ هرتز

ب: کیلووار حاصله از خازن تحت ولتاژ موثر ۲۴۰ ولت وفرکانس ۵۰ هرتز

ج: کیلووار حاصله از خازن تحت ولتاژ موثر ۲۳۰ ولت و فرکانس ۵۰ هرتز

حل

از رابطه (۱۴ ــ ۱۰) داریم :

$$C = \frac{10000 \text{ var}}{2\pi \times 60 \text{ Hz} \times (240 \text{ V})^2} \approx 460 \ \mu\text{F}$$

از روابط (۱۵ ــ ۱۰) داریم :

الف:

$$\text{kvar} = 2\pi \times 60 \times 460 \times 10^{-6} \times \frac{120^2}{1000}$$

$$= 2.5 \text{ kvar}$$

ب:

$$\text{kvar} = 2\pi \times 50 \times 460 \times 10^{-6} \times \frac{240^2}{1000}$$

$$= 8.32 \text{ kvar}$$

ج:

$$\text{kvar} = 2\pi \times 50 \times 460 \times 10^{-6} \times \frac{230^2}{1000}$$

$$= 7.64 \text{ kvar}$$

حال برای روشنتر شدن نحوه اصلاح ضریب توان مثالهای زیر را مورد بررسی قرار می‌دهیم .

مثال ۸ ــ ۱۰

یک بار ۱۰ کیلو ولت آمپری با ضریب توان ۰/۸ پس فاز مفروض است و توسط منبع ۱۲۰ ولتی تکفاز تغذیه می‌شود (فرکانس ۶۰ هرتز) . اگر بخواهیم ضریب توان بار

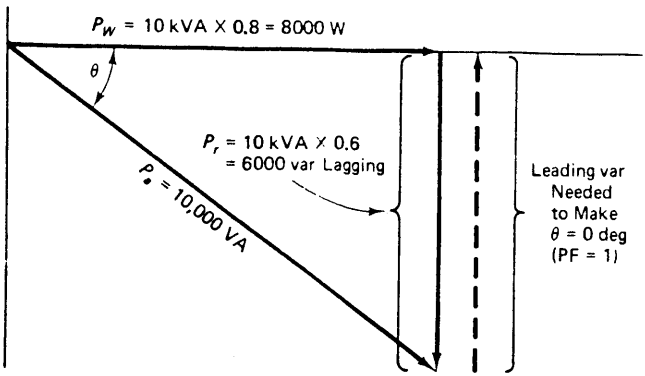
POWEREN.IR

را به واحد برسانیم چه مقدار خازن باید با بار موازی نمائیم .

POWEREN.IR

حل

برای بررسی این مثال از مثلث توان کمک می‌گیریم (بخش ۱ ــ ۷ در فصل ۷) . برای این مثال مثلث توان مطابق شکل (۱۱ ــ ۱۰) می‌باشد زیرا ضریب توان ۰/۸ پس فاز است .



شکل ۱۱ ــ ۱۰: مثلث توان برای مثال ۸ ــ ۱۰ بسهولت داریم :

$$\cos\theta = 0.8$$

$$\theta = 37^\circ$$

$$\sin\theta = 0.6$$

توان اکتیو (حقیقی) و راکتیو از روابط (۱۰ ــ ۷) و (۱۱ــ ۷) بدست می‌آیند .

$$P_w = 10{,}000 \times 0.8 = 8000 \text{ W}$$

$$P_r = 10.000 \times 0.6 = 6000 \text{ var}$$

خط چین نشان داده شده در شکل (۱۱ ــ ۱۰) مقدارVAR مورد نیاز جهت اصلاح ضریب توان ، برای رسیدن به ضریب توان واحد را نشان می‌دهد که باید از طرف خازن تامین گردد .

از آنجائی که از خازن باید توانی معادل ۶ کیلو وار حاصل گردد . لذا باید خازنی با مشخصات اسمی زیر مورد بهره برداری قرار گیرد .

: ولتاژ اسمی ۱۲۰ ولت

: فرکانس اسمی ۶۰ هرتز

: توان اسمی ۶ کیلو وار

POWEREN.IR

حال فرض کنید تنها خازن موجود در بازار ۲۴۰ ولتی باشد . لذا از رابطه (۱۶ ــ ۱۰)

POWEREN.IR

استفاده کرده و مقدار توان اسمی جدید خازن را میابیم .

$$\text{rated kvar} = 6\ \text{kvar}\left(\frac{240\ \text{V}}{120\ \text{V}}\right)^2$$
$$= 24\ \text{kvar}$$

لذا در اینحالت از دو خازن ۲۰ و ۴ کیلو واری بصورت موازی استفاده می‌کنیم .

مثال ۹ ــ ۱۰

یک تاسیسات صنعتی توانی سه‌فاز معادل ۶۰ کیلو ولت آمپر را تحت ضریب توان ۰/۷۵ (پس فاز) مصرف می‌کند و ولتاژ منبع تغذیه کارخانه ۲۳۰ ولت سه فاز می‌باشد . چه مقدار خازن سه فاز باید در این کارخانه نصب کنیم تا ضریب توان کل کارخانه را پس از اصلاح به مقادیر زیر برسد .

الف: ۰/۹ پس فاز

ب: واحد

ج: ۰/۹ پیش فاز

حل

از روابط (۱۰ ــ ۷) و (۱۱ــ ۷) توان اکتیو و راکتیو کارخانه را قبل از اصلاح ضریب توان بدست می‌آوریم :

$$P_w = 60\ \text{kVA} \times 0.75 = 45\ \text{kW}$$
$$P_r = 60\ \text{kVA} \times \sin 41.4^\circ = 39.7\ \text{kvar}$$

توجه کنید که در ابتدای امر داریم .

$$\text{PF} = \cos\theta = 0.75$$

$$\theta = 41.4^\circ$$

در بند ب مثال باید داشته باشیم .

$$\text{PF} = 1 \qquad \theta = 0^\circ$$

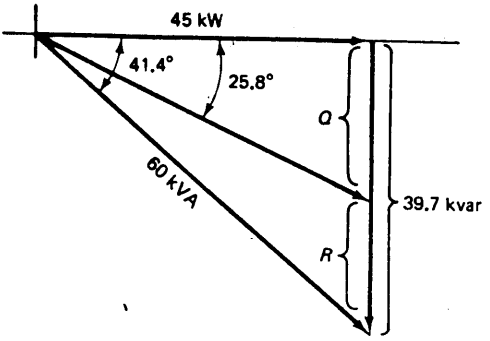
در بندهای الف و ج این مثال باید داشته باشیم .

$$\text{PF} = 0.9 \quad \text{lagging or leading}$$
$$\cos\theta = 0.9$$
$$\theta = 25.8^\circ$$

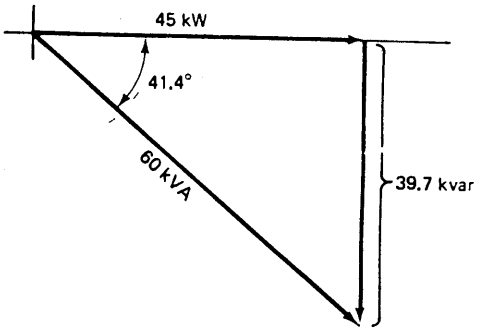
POWEREN.IR

شکل‌های (۱۲ ــ ۱۰) مثلثهای توان را برای بندهای الف و ب و ج این مثال را نشان

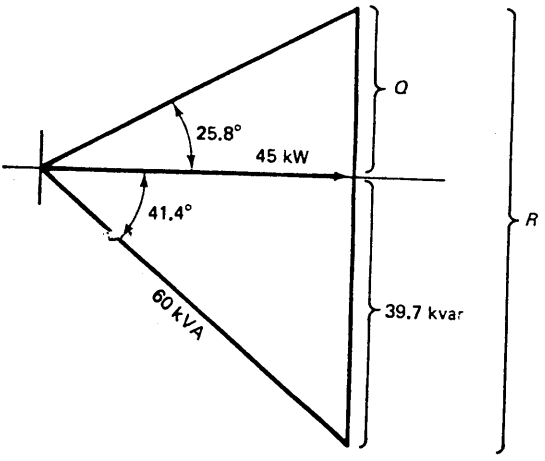
POWEREN.IR



(a)



(b)



(c)

شکل ۱۲ ــ ۱۰ مثلث‌های توان برای مثال ۹ ــ ۱۰

POWEREN.IR

می‌دهند

الف: با توجه به شکل (a) ۱۲ ـ ۱۰) می‌خواهیم ضریب توان کل کارخانه به ۰/۹ پس فاز برسد. در اینصورت منبع تغذیه باید هنوز Q کیلو وار به‌کارخانه بدهد: بسهولت داریم،

$$Q = 45\ \text{kW} \times \tan 25.8^\circ = 21.75\ \text{kvar}$$

لذا کیلووار حاصله از خازن سه‌فاز برای بهبود ضریب توان تا ۰/۹ پس‌فاز اینچنین بدست می‌آید.

$$\begin{aligned} R &= 39.7\ \text{kvar} - Q \\ &= 39.7\ \text{kvar} - 21.75\ \text{kvar} \\ &= 17.95\ \text{kvar} \end{aligned}$$

ب: چون در اینحالت Q مساوی صفر است لذا کیلووار حاصله از خازن سه فاز برای اصلاح ضریب توان همان ۳۹/۷ کیلووار می‌باشد (شکل b ۱۲ ـ ۱۰).

ج: در اینحالت خازنهای سه فاز باید کیلوواری بیش از ۳۹/۷ تولید کنند. با توجه به شکل (C ۱۲ ـ ۱۰)، Q تزریقی از منبع به‌کارخانه اینچنین بدست می‌آید.

$$\begin{aligned} Q &= 45\ \text{kW} \times \tan 25.8^\circ \\ &= 21.75\ \text{kvar (as before)} \end{aligned}$$

لذا کیلووار حاصله از خازن سه فاز در اینحالت اینچنین بدست می‌آید.

$$\begin{aligned} R &= 39.7\ \text{kvar} + Q \\ &= 39.7\ \text{kvar} + 21.75\ \text{kvar} \\ &= 61.45\ \text{kvar} \end{aligned}$$

۵ ـ ۶ ـ ۱۰ کندانسور سنکرون: *10-6.5 The Synchronous Condenser*

در بخش قبل دیدیم که وسیله‌ای چون خازن که دارای ضریب توان پیش فاز می‌باشد می‌تواند جهت اصلاح ضریب توان مورد استفاده قرار گیرد. در بخش (۳ ـ ۲ ـ ۱۰) در همین فصل دیدیم که موتور سنکرون در حالت فوق تحریک نیز می‌تواند دارای ضریب توان پیش‌فاز نسبتا کمی باشد. لذا می‌تواند نقشی مانند خازن برای اصلاح ضریب توان ایفا کند. هرگاه از موتورهای سنکرون بی‌بار برای اصلاح ضریب توان استفاده شود به آنها کندانسور سنکرون اتلاق می‌گردد، البته گاهی از موتورهای باردار سنکرون نیز برای تصحیح ضریب توان در حالت فوق تحریک استفاده می‌شود.

مثال ۱۰ ـ ۱۰

POWEREN.IR

یک کارخانه صنعتی ۲۵ کیلو وات را تحت ضریب توان ۰/۸۵ (پس فاز) مصرف می‌کند. برای اصلاح ضریب توان این کارخانه از یک کندانسور سنکرون (ضریب توان تقریبا صفر) استفاده می‌کنیم. کیلو ولت آمپر این کندانسور را طوری حساب کنید که ضریب توان کارخانه به واحد برسد.

حل

ابتدا توان راکتیو مورد نیاز کارخانه را قبل از تصحیح ضریب توان بدست می‌آوریم.

$$\text{total kVA} = \frac{25\ \text{kW}}{0.85} = 29.41\ \text{kVA}$$

$$\theta = \arccos 0.85 = 31.8^\circ$$

$$\text{kvar} = 29.41\ \text{kVA} \times \sin 31.8^\circ = 15.5\ \text{kvar}$$

چون تمامی کیلووار بدست آمده باید توسط کندانسور سنکرون تامین شود و ضریب توان این کندانسور صفر می‌باشد، لذا کیلوولت آمپر مورد نیاز برای این کندانسور سنکرون ۱۵/۵ کیلو ولت آمپر خواهد بود.

مثال ۱۱ــ۱۰

در یک کارخانه صنعتی تعدادی موتور القائی سه فاز (اسنکرون) تحت ولتاژ ۲۱۰ ولت کار می‌کنند و ۳ کیلو ولت آمپر از شبکه می‌کشند. اگر ضریب توان این مجموعه موتوری ۰/۸۵ باشد وبخواهیم از موتور سنکرون مثال (۲ ــ ۱۰) برای تصحیح ضریب توان استفاده کنیم. مطلوبست:

الف) ضریب توان تصحیح شده کارخانه را بدست آورید، مشروط بر آنکه موتور سنکرون بی‌بار بوده وجریان تحریک آن ۱۸ آمپر تنظیم شده باشد.

راهنمائی

برای حل این مثال باید به منحنی‌های V شکل در شکل (۶ ــ ۱۰) رجوع شود.

حل

از منحنی‌های V شکل برای جریان تحریک ۱۸ آمپر داریم.

$$I_L = 5\ \text{A} \qquad \text{PF} = 0.2$$

برای موتور سنکرون داریم:

$$P_a = \sqrt{3}\, V_L I_L = \sqrt{3} \times 210\ \text{V} \times 5\ \text{A} = 1818.6\ \text{kVA}$$

POWEREN.IR

چون ضریب توان موتور سنکرون ۰/۲ است لذا:

Since PF = 0.2 = cos θ,

$$\theta = 78.46°$$

$$P_r = 1818.6 \text{ kVA} \times \sin 78.46°$$

$$= 1781.86 \text{ kvar (leading)}$$

$$P_w = 1818.6 \text{ kVA} \times 0.2 = 364 \text{ W (this goes for losses)}$$

برای موتورهای القائی (اسنکرون) داریم،

$$\text{PF} = \cos\theta = 0.80$$

$$\theta = 36.87°$$

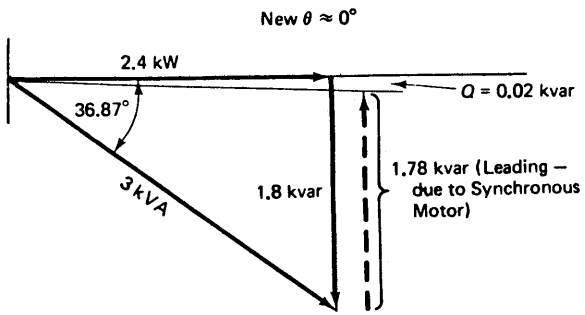
$$\sin\theta = 0.60$$

$$P_r = 3 \text{ kVA} \times \sin\theta = 1.8 \text{ kvar} = 1800 \text{ var}$$

$$P_w = 3 \text{ kVA} \times \cos\theta = 2.4 \text{ kW} = 2400 \text{ W}$$

مثلث توان در شکل (۱۳ ــ ۱۰) رسم شده است، توان راکتیو خالص اینچنین بدست می‌آید

$$Q = 1.8 \text{ kvar (lagging)} - 1.78 \text{ kvar (leading)} = 0.02 \text{ kvar} = 20 \text{ var}$$



شکل ۱۳ ــ ۱۰ : مثلث توان برای مثال ۱۱ ــ ۱۰

توان خالص حقیقی (اکتیو) اینچنین است.

$$P_w = 2.4 \text{ kW} + 364 \text{ W} = 2.764 \text{ kW}$$

از رابطه (۱۲ ــ ۷) داریم.

$$P_a = \sqrt{(2764)^2 + 20^2} \approx 2764 \text{ VA}$$

از رابطه (۴ ــ ۷) داریم.

$$\text{PF} = \frac{2764 \text{ W}}{2764 \text{ VA}} = 1.0$$

POWEREN.IR

POWEREN.IR

SYMBOLS INTRODUCED IN CHAPTER 10

Symbol	Definition	Units: English and SI
α_T (۱)	Torque angle	degrees
β (۲)	Synchronous impedance angle	degrees
x_p (۳)	Reactance per phase of stator winding	ohms
r_p (۴)	Resistance per phase of stator winding	ohms
Z_s (۵)	Impedance per phase	ohms
E_p (۶)	Generated stator phase voltage	rms volts
V_p (۷)	Applied stator phase voltage	rms volts
I_f (۸)	Field current	amperes
I_a (۹)	Stator phase current	amperes
E_R (۱۰)	Internal voltage drop across Z_s (this is similar to the armature voltage drop in a dc machine)	rms volts
θ (۱۱)	Angle between V_p and I_a	degrees
$\cos\theta$ (۱۲)	Power factor of motor	—
W_1 and W_2 (۱۳)	Wattmeter readings	watts
P_{Cu} (۱۴)	Total stator copper loss	watts
P_{MC} (۱۵)	Sum of mechanical and core losses	watts
V_f (۱۶)	Voltage applied to field winding	dc volts
R_f (۱۷)	Field winding resistance	ohms
C (۱۸)	Capacitor used for power factor correction	farads
f_r (۱۹)	Rated frequency of C	hertz
V_r (۲۰)	Rated voltage of C	rms volts
f (۲۱)	Actual frequency C is used at	hertz
V (۲۲)	Actual voltage C is used at	rms volts
Q (۲۳)	Reactive power delivered by supply lines	var
R (۲۴)	Reactive power supplied by capacitor bank	var

علائم بکار برده شده در فصل دهم

۱ ــ زاویه گشتاور

۲ ــ زاویه امپدانس سنکرون

۳ ــ راکتانس و فاز در استاتور

۴ ــ مقاومت هر فاز در استاتور

۵ ــ امپدانس هر فاز در استاتور

۶ ــ ولتاژ تولید شده در هر فاز استاتور

۷ ــ ولتاژ هر فاز ترمینال ماشین

۸ ــ جریان تحریک

۹ ــ جریان هر فاز استاتور

POWEREN.IR

۱۰ ـ افت ولتاژ داخل ماشین در دو سر Z_a این ولتاژ شبیه افت ولتاژ دو سر ارمیچر ماشینهای DC (جلد اول) می‌باشد.

۱۱ ـ زاویه بین V_ϕ و I_a

۱۲ ـ ضریب توان موتور سنکرون سه فاز

۱۳ ـ اعداد واتمترها

۱۴ ـ کل تلفات مسی در استاتور

۱۵ ـ مجموع تلفات هسته و مکانیکی،

۱۶ ـ ولتاژ مدار تحریک

۱۷ ـ مقاومت سیم پیچ تحریک

۱۸ ـ خازن جهت تصحیح ضریب توان

۱۹ ـ فرکانس اسمی خازن

۲۰ ـ ولتاژ اسمی خازن

۲۱ ـ فرکانس واقعی کد خازن C تحت آن مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرد

۲۲ ـ ولتاژ واقعی که خازن C تحت آن کار می‌کند،

۲۳ ـ توان راکتیو تحویلی از منبع تغذیه

۲۴ ـ توان راکتیو تامین شده توسط خازن

POWEREN.IR

POWEREN.IR

فصل یازدهم

ژنراتورهای القائی (آسنکرون) سه فاز

THE INDUCTION GENERATOR

۱۲ صفحه

POWEREN.IR

PowerEn.ir

POWEREN.IR

POWEREN.IR

فصل ۱۱
ژنراتورهای القائی (آسنکرون) سه فاز

مقدمه

در جلد اول کتاب با تئوری ژنراتورها و موتورهای DC آشنا شدیم، همچنین در این کتاب درباره موتورها و ژنراتورهای سنکرون صحبت نمودیم. حال باید دید ـ همانطور که موتورهای القائی (آسنکرون) سه فاز مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرند، آیا ژنراتورهای القائی [1] (آسنکرون) سه‌فاز نیز می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند یا نه؟ جواب به این سئوال مثبت است، و چون در اینگونه ژنراتورهای القائی سرعت چرخش محور رتور با سرعت سنکرون برابر نمی‌باشد، به آنها ژنراتورهای آسنکرون [2] گفته می‌شود. متاسفانه در اکثر کتب ماشینهای الکتریکی توجه زیادی به اینگونه ژنراتورها نمی‌شود. اما باید گفت که در دهه ۱۹۷۰ میلادی که بحران انرژی در جهان پدیدار شد، توجه به‌ژنراتورهای‌آسنکرون سه فاز بیشتر گردید. از این ژنراتورها در سیستمهای تبدیل انرژی الکتریکی بادی [3] بمیزان قابل توجهی استفاده می‌گردد.

۱ ـ ۱۱ تئوری مربوط به عملکرد ژنراتورهای القائی سه فاز

11-1 THEORY OF OPERATION

برای درک عملکرد اینگونه ژنراتورها بهتر است بخش (۳ ـ ۹) در فصل نهم را مرور نمائیم. در آنجاگفتیم وقتی موتور القائی در حال چرخش است از شبکه جریان می‌کشد و این جریان از دو مولفه تشکیل شده است.

الف: موءلفه‌اول که باعث تحریک، موتور شده یا به عبارت ساده‌تر میدان گردنده را بوجود می‌آورد.

ب: موءلفه‌دوم که توان حقیقی مکانیکی (توان خروجی) و تلفات درون ماشین

1) Induction-Generator
2) Asynchronous-Generator
3) Wind-Energy-System

POWEREN.IR

POWEREN.IR

را تامین می‌کند .

درحالتی که بار از روی موتور القائی (آسنکرون) سه‌فاز برداشته شود دراین صورت مؤلفه دوم فوق‌الذکر بسیار ناچیز خواهد بود . حال اگر در این نقطه توان مکانیکی به محور ماشین طوری اعمال شود که باعث گردد سرعت رتور از سرعت سنکرون بیشتر شود ، درینصورت وقایع زیر رخ می‌دهد .

۱ ــ لغزش حاصله از روابط (۵ ــ ۹) و (۶ ــ ۹) در فصل نهم منفی می‌گردد و این امر مجاز نیز می‌باشد ، زیرا هرگز بر مثبت بودن لغزش اصرار نکردیم . باید گفت که تمامی روابط فصل نهم برای لغزشهای مثبت و منفی معتبر هستند .

۲ ــ با توجه به شکل (۹ــ۹) و درنظر داشتن این نکته که هادیهای رتور سریعتر از میدان گردنده می‌چرخند ، در این صورت حرکت هادیهای رتور نسبت به شار گردنده از چپ به راست خواهد بود . در نتیجه جهت جریان هادیهای رتور با آنچه در شکل (۹ ــ ۹) نشان داده شده است متفاوت خواهد بود . همچنین این موضوع را می‌توان بوسیله تغییر علامت لغزش در رابطه (۱۳ ــ ۹) بهتر درک نمود .

۳ ــ عوض شدن جهت جریان رتور باعث می‌گردد که جهت نیروی ضد محرکه الکتریکی تولید شده در استاتور نیز تغییر نماید لذا توان الکتریکی از سیم پیچ استاتور بخارج می‌رود . به عبارت ساده‌تر حالت ژنراتوری پدیدار می‌گردد .

۴ ــ در حالت ژنراتوری تلفات داخل ماشین توسط محرک اولیه [1] که محور رتور را می‌چرخاند تامین می‌گردد .

۵ ــ باید توجه داشت که در حالت ژنراتوری ، ماشین همواره از خط تغذیه (شبکه) جریان تحریک را می‌کشد تا میدان گردنده استاتور پدیدار شود و بدون این تحریک خارجی ژنراتور آسنکرون قادر به عملکرد نیست . لذا ژنراتورهای القائی (آسنکرون) سه فاز یک ماشین با تحریک خودی [2] نمی‌باشند . در اینجا متذکر می‌شویم که ژنراتور القائی در حین دریافت توان راکتیو از شبکه جهت تامین میدان گردنده ، در همان حال توان اکتیو (حقیقی) تحویل شبکه می‌دهد .

۶ ــ فرکانس ولتاژ تولید شده در استاتور به سرعت میدان گردنده بستگی دارد وبالنتیجه با فرکانس ولتاژ تغذیه (شبکه) برابر خواهد بود .

شکل (۱ ــ ۱۱) شمای ساده یک ژنراتور القائی سه‌فاز را نشان می‌دهد . همانطور که گفتیم برای تحریک ژنراتور آسنکرون باید آنرا به یک منبع تامین کننده توان راکتیو (VAR) وصل کنیم . اگر این منبع یک تغذیه سه فاز باشد ژنراتور توان راکتیو از خطوط

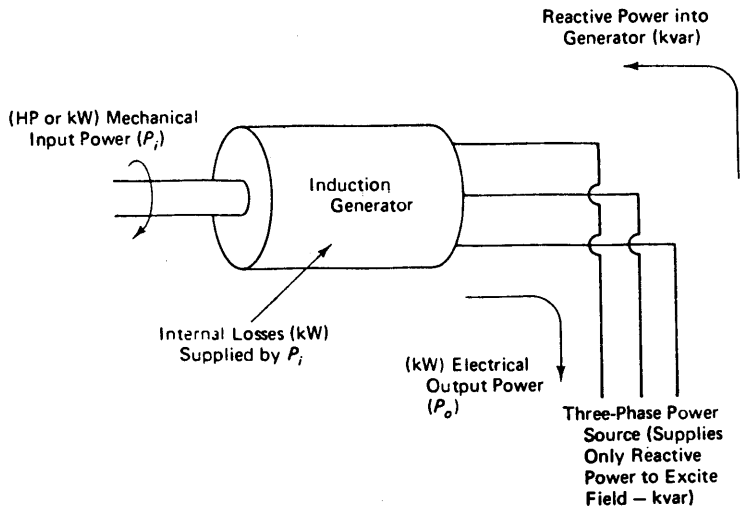
---

1) Prine-mover 2) Self-excited

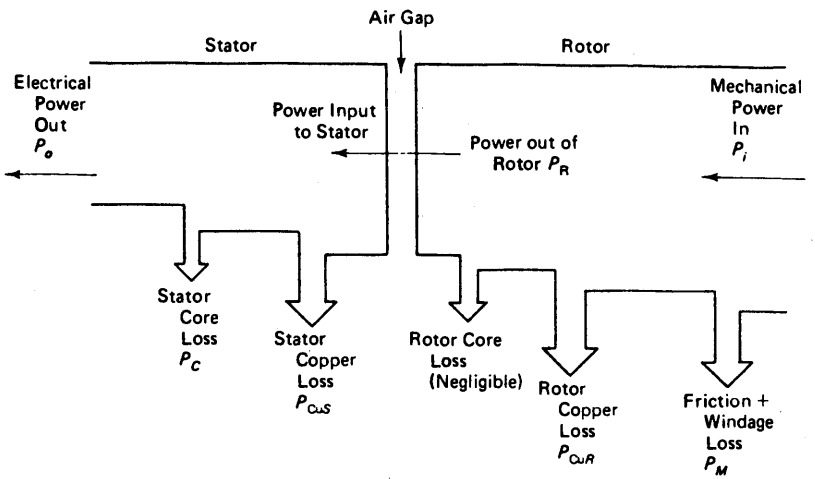
POWEREN.IR

دریافت کرده و در همان‌حال توان حقیقی (اکتیو) تحویل می‌دهد .

POWEREN.IR



شکل ۱ ــ ۱۱ شمای یک ژنراتور القائی سه فاز: جهت توانهای اکتیو و راکتیو نیز نشان داده شده‌اند .



شکل ۲ ــ ۱۱ نمودار پخش توان در یک ژنراتور القائی سه‌فاز

۲ ــ ۱۱ راندمان ژنراتورهای القائی (آسنکرون) سه فاز

1-2 EFFICIENCY

POWEREN.IR

POWEREN.IR

راندمان در این‌گونه ماشینها مانند سایر ماشینهای الکتریکی تعریف می‌شود به عبارت دیگر:

$$\text{راندمان} = \frac{\text{توان خروجی}}{\text{توان ورودی}}$$

اما می‌دانیم:

کل تلفات درون ماشین + توان خروجی = توان ورودی

پس:

$$\text{راندمان} = \frac{\text{توان خروجی}}{\text{کل تلفات درون ماشین + توان خروجی}}$$

در اینجا نکات زیر را یادآوری می‌کنیم

۱ ــ تلفات مکانیکی (۱) و تلفات هسته (۲) از آزمایش بی‌باری (۳) حاصل می‌شود و ماشین را در حالت موتوری و بی‌بار مورد آزمایش قرار می‌دهیم می‌دانیم که تلفات هسته و تلفات مکانیکی در دو حالت موتوری و ژنراتوری یکسان می‌باشند.

۲ ــ تلفات مسی (۴) در استاتور از رابطه (۳۱ ــ ۹) درفصل نهم بدست می‌آید.

۳ ــ تلفات مسی در رتور با استفاده از رابطه (۲۷ ــ ۹) حاصل می‌شود. اما باید توجه داشت که طبق شکل (۲ ــ ۱۱) در ژنراتورهای القائی داریم:

$$P_R = P_o + P_C + P_{CuS} \qquad (11\text{-}1)$$

۴ ــ توان خروجی (۵) ژنراتورهای القائی سه فاز اینچنین بدست میآید.

$$P_o = W_1 + W_2 \qquad (11\text{-}2)$$

در روابط اخیر W_1 و W_2 نمایانگر اعداد واتمترها در مدار تغذیه میباشند (شکل ۱۳ ــ ۹)

۵ ــ در ژنراتورهای القائی سه فازنیز همانند موتورهای القائی تلفات هسته و تلفات مکانیکی (اصطکاک ــ تهویه) را یک کاسه می‌نمائیم و لذا در رابطه (۱ ــ ۱۱) PC راصفر می‌گذاریم.

۶ ــ توان خروجی ژنراتورهای القائی را نیز می‌توان بطریق دیگری حساب کرد.

$$P_o = \sqrt{3}\, V_L I_L \cos\theta \qquad (11\text{-}3)$$

در رابطه اخیر $\cos\theta$ ضریب توان ژنراتور آسنکرون می‌باشد.

۷ ــ توان مکانیکی ورودی به ژنراتور اینچنین بدست می‌آید.

1) Mechanical losses
2) Core losses
3) No Load test
4) Copper losses
5) output power

POWEREN.IR

$$P_i = P_o + P_{CuS} + P_{CuR} + P_M \qquad (11\text{-}4)$$

در رابطه اخیر P_M شامل تلفات هسته استاتور نیز می‌باشد (عینا" مانند موتورها)

مثال ۱ــ ۱۱ (سیستم ENG)

یک موتورالقائی سه فاز مطابق مثال (۱۲ ــ ۹) در فصل نهم را بصورت ژنراتور القائی سه فاز در می‌آوریم تلفات مکانیکی و هسته از آزمایش بی‌باری حاصل شده و برابر ۲۱۶ وات می‌باشد (آنرا ثابت فرض کنید). داده‌های مربوط به شرایط بارداری ژنراتور آسنکرون بقرار زیر است.

$$\text{Load run:} \quad W_1 = 2.1\ \text{kW}, \ W_2 = 1.4\ \text{kW}$$
$$V_L = 208\ \text{V}, \quad I_L = 11\ \text{A}$$
$$S = 1860\ \text{rev/min}$$

راندمان و ضریب توان ژنراتور اسنکرون را بدست آورید.

حل:

از رابطه (۲ــ ۱۱) داریم:

$$P_o = 2100\ \text{W} + 1400\ \text{W} = 3500\ \text{W}$$

از رابطه (۳ــ ۱۱) داریم

$$\text{PF} = \cos\theta = \frac{3500\ \text{W}}{\sqrt{3} \times 208\ \text{V} \times 11\ \text{A}}$$
$$= 0.88\ (\text{or } 88\%)$$

از مثال (۲۲ ــ ۹) بخاطر داریم که مقاومت معادل استاتور یک اهم می‌باشد. لذا از رابطه (۳۱ــ ۹) داریم:

$$P_{CuS} = \tfrac{3}{2}(1\ \Omega)(11\ \text{A})^2 = 181.5\ \text{W}$$

از رابطه (۶ a ــ ۹) داریم:

$$s = (1800\ \text{rev/min} - 1860\ \text{rev/min}) \times \frac{100}{1800\ \text{rev/min}}$$
$$= -3.33\%$$

از رابطه (۱ ــ ۱۱) می‌توان توان منتقله از فاصله هوائی (۱) یا P_R را بدست آورد.

$$P_R = 3500\ \text{W} + 0 + 181.5\ \text{W} = 3681.5\ \text{W}$$

1) Airgap.

POWEREN.IR

POWEREN.IR

از رابطه (۲۷ ــ ۹) داریم

$$P_{CuR} = 0.0333 \times 3681.5\ \text{W} = 122.7\ \text{W}$$

از رابطه (۴ ــ ۱۱) توان ورودی بدست می‌آید .

$$P_i = 3500\ \text{W} + 181.5\ \text{W} + 122.7\ \text{W} + 216\ \text{W}$$
$$= 4020.2\ \text{W}$$

از رابطه (۲۱ ــ ۹) راندمان بدست می‌آید

$$\eta = \frac{3500\ \text{W}}{4020.2\ \text{W}} \times 100 = 87\%$$

مثال ۲ ــ ۱۱ (سیستم SI)

یک موتور القائی (آسنکرون) سه فاز مطابق مثال (۲۳ ــ ۹) مفروض است و آنرا بصورت ژنراتور آسنکرون درمی‌آوریم . تلفات هسته مکانیکی از آزمایش بی‌باری بدست می‌آید و برابر ۱۹۵/۵ وات می‌باشد (آنرا ثابت فرض می‌کنیم) . داده‌های مربوط به شرایط بارداری ژنراتور القائی بقرار زیر است .

Load run: $W_1 = 1.7\ \text{kW}$ $\quad W_2 = 1.1\ \text{kW}$

$V_L = 230\ \text{V}$ $\quad I_L = 8\ \text{A}$

$\omega = 163\ \text{rad/s}$

راندمان و ضریب توان ژنراتور آسنکرون را بدست آورید .

حل :

از رابطه (۲ ــ ۱۱) داریم

$$P_o = 1700\ \text{W} + 1100\ \text{W} = 2800\ \text{W}$$

از رابطه (۳ ــ ۱۱) ضریب توان بدست می‌آید

$$\text{PF} = \cos\theta = \frac{2800\ \text{W}}{\sqrt{3} \times 230\ \text{V} \times 8\ \text{A}} = 0.88\ (\text{or } 88\%)$$

از مثال (۲۳ ــ ۹) بخاطر داریم که مقاومت معادل استاتور ۱/۱۳ اهم است . لذا ازرابطه (۳۱ ــ ۹) تلفات مسی در استاتور بدست می‌آید

$$P_{CuS} = \tfrac{3}{2}(1.13\ \Omega)(8\ \text{A})^2 = 108.5\ \text{W}$$

ازرابطه (۶ b ــ ۹) لغزش بدست می‌آید

$$s = (157\ \text{rad/s} - 163\ \text{rad/s}) \times \frac{100}{157\ \text{rad/s}}$$
$$= -3.82\%$$

POWEREN.IR

POWEREN.IR

از رابطه (۱ ــ ۱۱) توان P_R یا توان منتقله از فاصله هوائی بدست می‌آید

$$P_R = 2800\ \text{W} + 0 + 108.5\ \text{W} = 2908.5\ \text{W}$$

از رابطه (۲۷ ــ ۹) داریم

$$P_{CuR} = 0.0382 \times 2908.5\ \text{W} = 111.1\ \text{W}$$

توان ورودی از رابطه (۴ ــ ۱۱) حاصل می‌شود

$$P_i = 2800\ \text{W} + 108.5\ \text{W} + 111.1\ \text{W} + 195.5\ \text{W}$$
$$= 3215.1\ \text{W}$$

از رابطه (۲۱ ــ ۹) راندمان حاصل می‌گردد

$$\eta = \frac{2800\ \text{W}}{3215.1\ \text{W}} \times 100 = 87.1\%$$

11-3 TYPICAL CHARACTERISTICS

۳ ــ ۱۱ منحنی مشخصه‌های متداول برای ژنراتورهای القائی سه فاز

شکل (۳ ــ ۱۱) منحنی مشخصه‌های متداول را برای موتورها و ژنراتورهای القائی (آسنکرون) سه فاز نشان می‌دهد، منحنی‌های سمت راست مربوط به یک موتور القائی است (لغزش مثبت) و منحنی‌های سمت چپ مربوط به همان ماشین در حالت ژنراتوریست (لغزش منفی). این منحنی‌ها شامل تغییرات زیر است.

الف: تغییرات راندمان موتورها و ژنراتورهای القائی برحسب لغزش

ب: تغییرات ضریب توان موتورها و ژنراتورهای آسنکرون برحسب لغزش

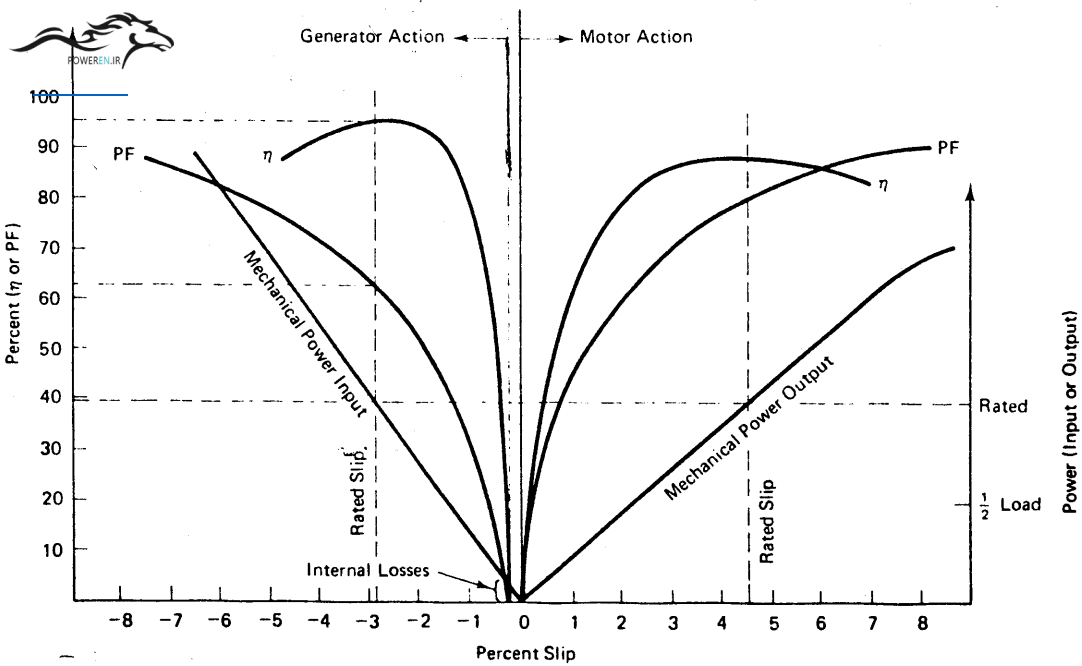
ج: تغییرات توان مکانیکی موتورها و ژنراتورهای القائی برحسب لغزش.

همانطور که از شکل (۳ ــ ۱۱) پیداست، در بار اسمی، ژنراتور القائی در تحت لغزش کمتری نسبت به موتور کار می‌کند.

با توجه به شکل (۳ ــ ۱۱) درمیابیم که اگر بار ژنراتور القائی کم باشد (بار سبک)[1] در این صورت ضریب توان خیلی پائین خواهد بود. در نتیجه اثرات نامطلوبی بر روی ضریب توان کل سیستم قدرت خواهد داشت. لذا جهت استفاده بهتر از ژنراتورهای القائی در سیستمهای قدرت، می‌بایستی از لوازمی جهت بهبود یا تصحیح ضریب توان استفاده کرد.

1) Light load

POWEREN.IR



شکل ۳ ــ ۱۱ : منحنی مشخصه‌های متداول برای ژنراتورها و موتورهای القائی سه فاز .

۴ ــ ۱۱ تصحیح ضریب توان در یک ژنراتور القائی سه فاز

11-4 POWER FACTOR CORRECTION OF THE INDUCTION GENERATOR

معمولا" ضریب توان ژنراتورهای القائی (اسنکرون) سه فاز حدود ۵۰ تا ۶۵ درصد است . با استفاده از خازن (فصل دهم) می‌توان ضریب توان را به حدود ۸۵ درصد رساند و در نتیجه بهره‌برداری از اینگونه ژنراتورها در شبکه‌های برق بهبود می‌یابد .

استفاده از خازن در بهبود ضریب توان از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است . زیرا می‌توان خازن را به اندازه کافی بزرگ انتخاب نمود تا توان راکتیو (وار) مورد نیاز جهت تامین شار گردنده را مهیا سازد . در این صورت می‌توان ژنراتور را از منبع تغذیه قطع نمود و ژنراتور قادر است بار خود را تغذیه کند . در حقیقت ماشین از نظر تحریک خودکفا شده و به عبارت ساده‌تر ژنراتور آسنکرون با تحریک خودی [1] بدست می‌آید . در اینجا یادآوری می‌کنیم که فرکانس توان تولید شده در ژنراتورهای القائی با تحریک خودی تابع سرعت ژنراتور می‌باشد . در اینجا به اهمیت وجودی سیستم کنترل سرعت

1) Self excited

یا سیستم گاورنر جهت کنترل دور دوران رتور پی می‌بریم .

POWEREN.IR

مثال ۳ ــ ۱۱ (سیستم ENG)

یک موتور القائی سه‌فاز با مشخصات زیر مفروض است

اسب بخار ۲ = توان اسمی

ولت ۲۰۸= ولتاژ اسمی ترمینال (ولتاژ خط)

۴ = تعداد قطبها

هرتز ۶۰= فرکانس اسمی

آنرا تحت توان اسمی بصورت ژنراتور آسنکرون درمی‌آوریم . منحنی مشخصه‌های ماشین در شکل (۳ ــ ۱۱) نشان داده شده است. اگر بخواهیم ژنراتور بصورت تحریک خودی عمل‌کند خازن مورد نیاز را بدست آورده و فرکانس ولتاژ تولید شده را مشخص کنید .

حل:

از شکل (۳ ــ ۱۱) اعداد زیر را در شرایط اسمی بدست می‌آوریم

$$s = -2.8\%$$

$$PF = 63\% \ (0.63)$$

$$\eta = 95\%$$

از رابطه (۲۱ ــ ۹) توان خروجی بدست می‌آید

$$P_o = 0.95 \times 2 \text{ hp} = 1.9 \text{ hp}$$

$$= 1.9 \text{ hp} \times \frac{746 \text{ W}}{\text{hp}} = 1417.4 \text{ W}$$

از رابطه (۱۱ ــ ۷) داریم

$$P_a = \frac{1417.4 \text{ W}}{0.63} = 2249.84 \text{ VA}$$

می‌دانیم :

$$\cos\theta = 0.63$$

$$\theta = 50.95°$$

$$\sin\theta = 0.78$$

از رابطه (۱۰ ــ ۷) داریم

$$P_r = 2249.84 \times 0.78 = 1747.2 \text{ var}$$

POWEREN.IR

لذا خازن باید ۱/۷۴۷ کیلووار را تامین کند

POWEREN.IR

با داشتن لغزش سرعت ماشین را بدست می‌آوریم و می‌دانیم سرعت سنکرون ۱۸۰۰ دور در دقیقه است (چرا؟) از رابطه (a ۶ ـ ۹) داریم:

$$-2.8 = \frac{1800 - S}{1800} \times 100$$

$$S = 1800 + 50.4 = 1850.4 \text{ rev/min}$$

از رابطه (a ۲ ـ ۸) داریم

$$f = 1850.4 \times \frac{4}{120} = 61.7 \text{ Hz}$$

اگر این فرکانس در رابطه (۱۷ ـ ۱۰) قرار گیرد؛ مقدار واقعی خازن بدست می‌آید.

مثال ۴ ـ ۱۱ (سیستم SI)

یک موتور القائی (آسنکرون) سه فاز با مشخصات زیر مفروض است.

ولتاژ اسمی ترمینال = ۲۳۰ ولت

توان اسمی = ۵ کیلو وات

تعداد قطبها = ۶

فرکانس اسمی = ۵۰ هرتز

آنرا تحت بار اسمی بصورت ژنراتور القائی در می‌آوریم. منحنی مشخصه‌های مربوطه در شکل (۳ ـ ۱۱) رسم شده‌اند. خازن مورد نیاز جهت آنکه ماشین بصورت تحریک خودی عمل کند رابدست آورید. فرکانس ولتاژ تولید شده را نیز بیابید.

حل:

از شکل (۳ ـ ۱۱) در شرایط اسمی داریم

$$s = -2.8\%$$

$$PF = 63\% \ (0.63)$$

$$\eta = 95\%$$

از رابطه (۲۱ ـ ۹) توان خروجی بدست می‌آید

$$P_o = 0.95 \times 5 \text{ kW} = 4.75 \text{ kW} = 4750 \text{ W}$$

ازرابطه (۱۱ ـ ۷) داریم

$$P_a = \frac{4750 \text{ W}}{0.63} = 7540 \text{ VA}$$

POWEREN.IR

بسهولت داریم

POWEREN.IR

$$\cos\theta = 0.63$$

$$\theta = 50.95^\circ$$

$$\sin\theta = 0.78$$

از رابطه (۱۰ ــ ۷) داریم

$$P_r = 7540 \times 0.78 = 5881 \text{ var}$$

لذا خازن باید ۵/۸۸۱ کیلووار تامین کند با استفاده از رابطه (b۶ ــ ۹) و داشتن لغزش سرعت ماشین را بدست می‌آوریم . می‌دانیم سرعت سنکرون ۱۰۴/۷ رادیان بر ثانیه می‌باشد (چرا؟)

$$-2.8 = \frac{104.7 - \omega}{104.7} \times 100$$

$$\omega = 104.7 + 2.93 = 107.63 \text{ rad/s}$$

از رابطه (b ۲ ــ ۸) داریم

$$f = 107.63 \times \frac{6}{4\pi} = 51.4 \text{ Hz}$$

این فرکانس را در رابطه (۱۷ ــ ۱۰) قرار می‌دهیم تا ظرفیت دقیق خازن بدست آید

SYMBOLS INTRODUCED IN CHAPTER 11

Symbol		Definition	Units: English and SI
P_R	(۱)	Power transferred from rotor to stator across air gap	watts
P_o	(۲)	Electrical output power of generator	watts
P_M	(۳)	Mechanical loss of generator	watts
P_{CuR}	(۴)	Rotor copper loss	watts
P_{CuS}	(۵)	Stator copper loss	watts
P_C	(۶)	Stator core loss	watts
P_i	(۷)	Mechanical power into generator	watts
W_1, W_2	(۸)	Wattmeter readings	watts
V_L	(۹)	Generated line voltage	rms volts
I_L	(۱۰)	Generated line current	amperes
θ	(۱۱)	Angle between V_L and I_L	degrees
$\cos\theta$	(۱۲)	Power factor of generator	
s	(۱۳)	Slip	percent, decimal, rev/min, or rad/s
f	(۱۴)	Frequency of generated voltage	hertz

POWEREN.IR

علائم بکار برده شده درفصل ۱۱

۱ ــ توان منتقله از رتور به استاتور

۲ ــ توان خروجی ژنراتور

۳ ــ تلفات مکانیکی ژنراتور

۴ ــ تلفات مسی در رتور

۵ ــ تلفات مسی در استاتور

۶ ــ تلفات هسته در استاتور

۷ ــ توان مکانیکی ورودی

۸ ــ اعداد واتمترها

۹ ــ ولتاژ تولید شده (ولتاژ خط).

۱۰ ــ جریان تولید شده (جریان خط)

۱۱ ــ زاویه بین جریان و ولتاژ تولید شده

۱۲ ــ ضریب توان ژنراتور

۱۳ ــ لغزش

۱۴ ــ فرکانس ولتاژ تولید شده

POWEREN.IR

POWEREN.IR

فصل دوازدهم

موتورهای تکفاز

SINGLE-PHASE MOTORS

۲۰ صفحه

POWEREN.IR

PowerEn.ir

POWEREN.IR

POWEREN.IR

فصل ۱۲
موتورهای تکفاز

مقدمه

چون در اکثر منازل، ادارات و اماکن تجاری برق تکفازAC مورد استفاده قرار می‌گیرد، لذا در این اماکن باید از موتورهای تکفاز AC استفاده نمود. به عنوان مثال می‌توان از لوازمی چون یخچال، ماشین رختشوئی، حاروی برق، ماشین فتوکپی و ... نام برد که همگی به‌موتورتکفاز نیاز دارند. موتورهای تکفازAC کلا" به سه دسته تقسیم می‌شوند.

۱ ــ موتورهای القائی تکفاز (۱)
۲ ــ موتورهای سنکرون تکفاز (۲)
۳ ــ موتورهای یونیورسال (۳)

۱ ــ ۱۲ موتورهای القائی تکفاز

12-1 SINGLE-PHASE INDUCTION MOTOR

اینگونه موتورها توسط شبکه تکفاز AC تغذیه می‌شوند و سرعت دوران محور آنها قدری کمتر از سرعت سنکرون می‌باشد. در اینگونه موتورها گشتاور راه‌انداز (۴) تولید نمی‌شود و باید از روشهای خاصی برای راه اندازی استفاده نمود.

شکل (۱ ــ ۱۲) شمای یک موتور القائی تکفاز را نشان می‌دهد و رتور آن از نوع قفس سنجابی می‌باشند.

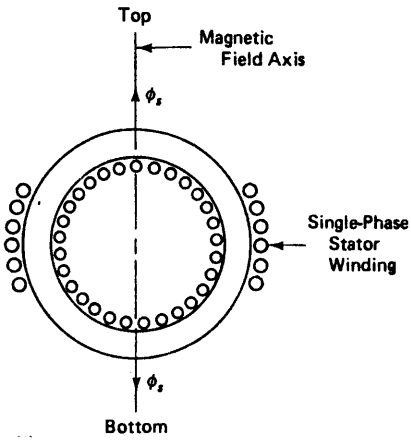
هرگاه ولتاژ AC تکفازبه‌سیم پیچ استاتور اعمال شود یک میدان مغناطیسی نوسانی بدست می‌آید. پلارتیه‌این میدان در طول محور مغناطیسی دائما" تغییر می‌کند. به عبارت ساده‌تر در یک لحظه قطب شمال در بالا و قطب جنوب در پائین خواهد بود و در یک لحظه

1) Single phase Induction Motor
2) Single phase Synchronous motor
3) Universal motor 4) Starting Torque

POWEREN.IR

دیگر وضعیت بر عکس می‌شود ، یعنی قطب شمال در پائین و قطب جنوب می‌گیرد . این میدان چرخش ندارد و هادیهای رتور را قطع نمی‌کند . لذا در هادیهای رتور ولتاژوجریان بوجودنمی‌اید و بالمآل گشتاوری جهت چرخش رتور پدیدار نمی‌گردد . واضح است که تا زمانی که میدان استاتور نچرخد ، رتور حرکت نمی‌کند و در نتیجه باید در تمامی انواع موتورهای القائی تکفاز بنحوی میدان چرخش درآید .

باید دانست که هرگاه موتور القائی تکفاز بنحوی بچرخش درآید ، گشتاور جهت ادامه چرخش در موتور ظاهر می‌شود . این مطلب را می‌توان بوسیله تئوری میدانهای متقاطع [1] تشریح نمود .

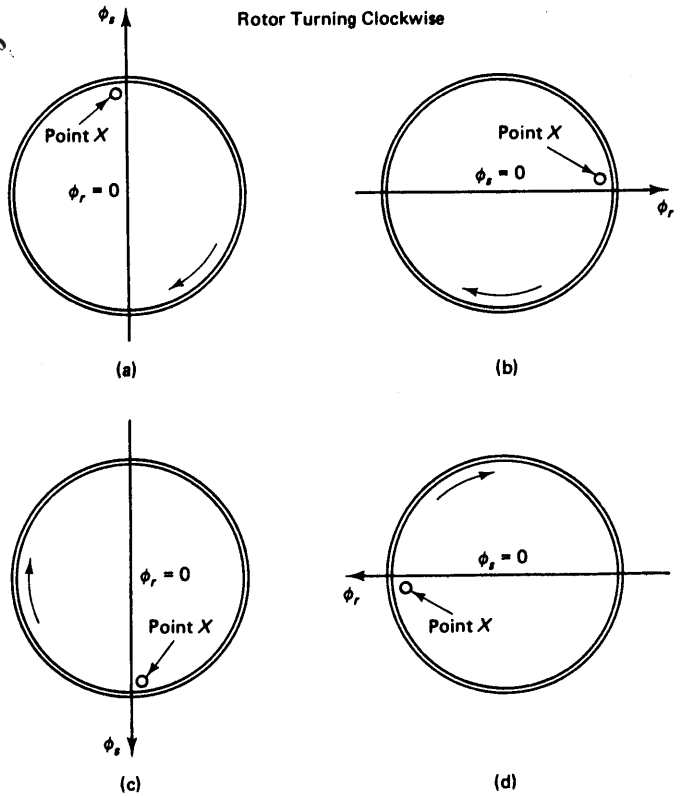


شکل ۱ ــ ۱۲ شمای ساده شده یک موتور القائی تک فاز

فرض می‌کنیم رتور به نحوی بچرخد . لذا هادیها یا میله‌های رتور شار حاصل از استاتور یا ϕ_s را قطع می‌کنند . این شار توسط سیم پیچ تکفاز استاتور بوجود می‌آید (شکل ۱ ــ ۱۲) . درنتیجه‌قطع شدن هادیها رتورتوسط شاراستاتوردر این هادیها ولتاژی همفاز شاراستاتورالقاء می‌گردد . از آنجائیکه هادیها یا میله‌های رتور در دو انتها اتصال کوتاه شده‌اند و خاصیت سلفی آنهازیاد است لذا جریان رتور بمیزان ۹۰ درجه از ولتاژ القاء شده در رتور عقب خواهد بود (پس فاز) . در اثر جریان رتور شاری معادل ϕ_r تولید می‌شودکه با جریان رتور هم فاز است . با توجه به مطالب فوق در می‌یابیم که این دو شار (ϕ_s و ϕ_r) با هم ۹۰ درجه اختلاف فاز دارند و بهمین دلیل به آنها لفظ میدانهای متقاطع اتلاق می‌گردد. شکل (۲ ــ ۱۲) وضعیت این دو میدان را در لحظات

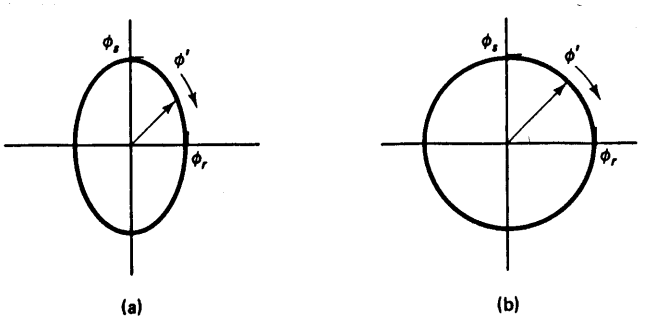
1) Cross field Theory

POWEREN.IR



شکل ۲ ــ ۱۲ جهت میدانها در یک موتور القائی تکفاز در ازاء یک دور چرخش رتور در جهت عقربه ساعت

a : در زمان t_1 b : در زمان t_2 c : در زمان t_3 d : در زمان t_4



شکل ۳ ــ ۱۲ : شمای شار منتجه (ϕ')

a : در حالتی که سرعت رتور کمتر از سرعت سنکرون است

b : در حالتی که سرعت رتور تقریبا "مساوی سرعت سنکرون است .

POWEREN.IR

مختلف نشان می‌دهد و در این شکلها فرض بر آنستکه رتور در جهت عقربه ساعت (۱) (CW) یک دور کامل زده است. باید گفت:

الف: ولتاژ منبع تغذیه استاتور سینوسی است. لذا:

ب: شارهای ϕ_s و ϕ_r سینوسی هستند. پس:

ج: چون ϕ_s و ϕ_r با هم ۹۰ درجه اختلاف فاز دارند، در این صورت هرگاه ϕ_s ماکزیمم باشد، ϕ_r صفر است و بالعکس هرگاه ϕ_r ماکزیمم باشد، ϕ_s صفر می‌باشد حال چهار حالت شکل (۲ – ۱۲) را بیشتر توضیح می‌دهیم. می‌دانیم که سرعت رتور قدری کمتر از سرعت سنکرون است. لذا اگر رتور یک دور کامل بزند (۳۶۰ درجه مکانیکی) در این صورت ولتاژ استاتور نیز تقریبا "یک سیکل کامل را طی کرده است (۳۶۰ درجه الکتریکی) حال می‌توان گفت

الف: در لحظه t_1 (شکل ۲ a – ۱۲) شار ϕ_s ماکزیمم بوده و ϕ_r صفر است.

ب: در لحظه t_2 (شکل ۲ b – ۱۲) رتور ۹۰ درجه نسبت به وضعیت t_2 در جهت عقربه ساعت چرخیده است در اینحالت ϕ_s صفر بوده و ϕ_r ماکزیمم است (چرا؟)

ج: در لحظه t_3 (شکل ۲ c – ۱۲) رتور ۹۰ درجه نسبت به وضعیت t_2 چرخیده است. در اینحالت ϕ_s ماکزیمم منفی بوده و ϕ_r صفر است (چرا؟)

د: در لحظه t_4 (شکل ۲ d – ۱۲) رتور ۹۰ درجه نسبت به وضعیت t_3 چرخیده است. درینحالت ϕ_s صفر بوده و ϕ_r ماکزیمم منفی است (چرا؟)

هـ: در لحظاتی غیر از لحظات فوق هردو شار وجود دارند و صفر نمی‌باشند (چرا؟)

بهر تاویل در هر یک از حالات "الف" تا "هـ" شارهای ϕ_s و ϕ_r (شارهای استاتور و رتور) شار منتجه‌ای بنام ϕ' تولید می‌کنند که با سرعت سنکرون (۲) می‌چرخد. یادآوری می‌کنیم که زمان لازم برای آنکه ϕ_s یک سیکل کامل بپیماید به فرکانس منبع تغذیه استاتور بستگی دارد

از مباحث بالا نتیجه می‌شود که هرگاه به نحوی موتور به چرخش درآید میدان گردنده‌ای در درون موتور حاصل می‌شود و تا زمانی که رتور با سرعتی کمتر از سرعت این میدان بچرخد، هادیهای رتور این میدان را قطع کرده و لذا گشتاور مورد نیاز جهت چرخش موتور حاصل می‌گردد. باید خاطر نشان ساخت که:

الف: در سرعتهای کم ϕ_r کوچکتر از ϕ_s بوده و لذا مکان هندسی شار منتجه (ϕ') بیضی خواهد بود (شکل a ۳ – ۱۲)

ب: با سرعت گرفتن رتور و نزدیک شدن سرعت رتور به سرعت سنکرون، ϕ_s

---

1) Clockwise 2) Synchronous-Speed

POWEREN.IR

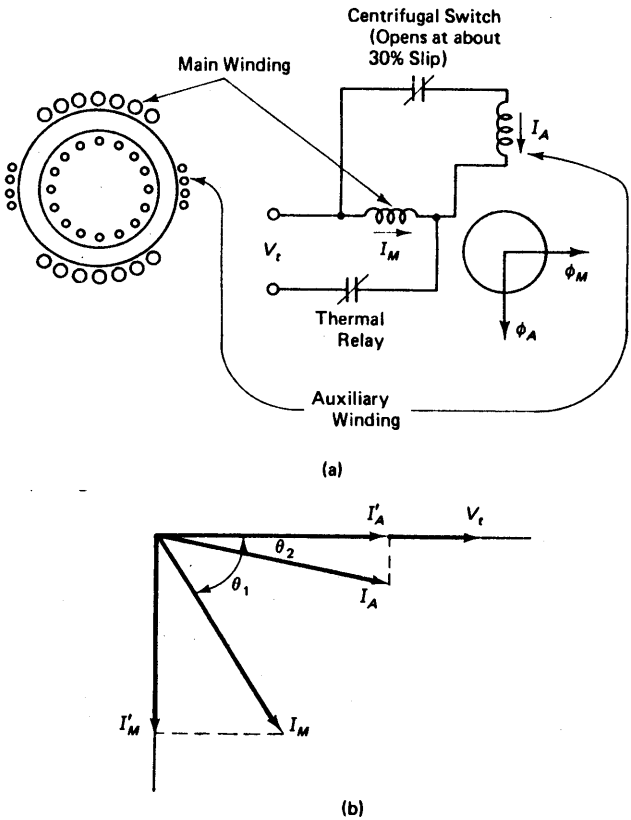
تقریبا" با ϕ_r مساوی می‌شود و لذا مکان هندسی شار منتجه دایره خواهد بود (شکل ۱۲ – ۳ b.).

با دانستن این نکته که بالاخره به‌نحوی میدان گردنده را در موتورهای القائی تکفازبوجود می‌آوریم ، می‌توان از تئوری‌های فصل نهم (موتورهای القائی سه فاز) برای موتورهای القائی تکفازنیز استفاده نمود .

با توجه به مطالب فوق دیدیم که باید به نحوی موتور بحرکت درآید ، (راه اندازی شود) سپس میدان گردنده شکل خواهد گرفت در زیر چند روش راه اندازی را برای‌موتورهای القائی تکفاز مورد بررسی قرار می‌دهیم .

۱ – ۱ – ۱۲ موتورهای با فاز شکسته 12-1.1 Split-Phase Motor

اینگونه موتورها نوعی موتورهای القائی تکفاز محسوب می‌شوند . استاتور



شکل ۴ – ۱۲ موتورهای القائی تکفاز از نوع فاز شکسته

a : شمای ساده موتور b : دیاگرام فازوری موتور

POWEREN.IR

این موتورها دارای دو سیم پیچ است که نسبت به یکدیگر ۹۰ درجه جابجائی دارند. این دو سیم پیچ هر دو بصورت پارالل توسط منبع تغذیه تکفاز AC برق‌دار می‌گردند.

شکل (۴a – ۱۲) شمای این موتورها را نشان می‌دهد و شکل (۴b – ۱۲) دیاگرام فازوری جریانهای مربوطه را بنمایش می‌گذارد. دو سیم پیچ استاتور بقرار زیرند:

الف: سیم پیچ اصلی (۱) که تعداد دور این سیم پیچ زیاد بوده و این سیم پیچ ضخیم نیز می‌باشد.

ب: سیم پیچ کمکی (۲) که تعداد دور این سیم پیچ کم بوده و این سیم پیچ نازک نیز می‌باشد لذا:

۱ – سیم پیچ اصلی بیشتر خاصیت سلفی دارد

۲ – سیم پیچ کمکی بیشتر خاصیت مقاومتی دارد

در نتیجه

۱ – ۱: جریان سیم پیچ اصلی (I_M) با ولتاژ منبع (V_t) زاویه بزرگ θ_1 را می‌سازد

۲ – ۱: جریان سیم پیچ کمکی (I_A) با ولتاژ منبع (V_t) زاویه کوچک θ_2 را می‌سازد

از آنجائی که حضور سیم پیچ کمکی بخاطر تولید گشتاور راه انداز می‌باشد، به آن سیم پیچ راه انداز (۳) نیز گفته می‌شود.

با توجه به شکل (۴b – ۱۲) در می‌یابیم که:

۱ – ۱ – ۱: I_A دارای موءلفه‌ای بنام I'_A است.

۲ – ۱ – ۱: I_M دارای موءلفه‌ای بنام I'_M می‌باشد.

۳ – ۱ – ۱: I'_A ، I'_M بر هم عمودند یا به عبارت دیگر بمیزان یک چهارم سیکل الکتریکی با هم اختلاف فاز دارند.

باید خاطر نشان ساخت که جریانهای فوق‌الذکر شارهای عمود بر هم ϕ_M و ϕ_A را تشکیل می‌دهند و همانطور که می‌دانیم درست به شرایط ایجاد میدان گردان در ماشین دست یابی پیدا می‌کنیم و لذا گشتاور راه انداز در ماشین حاصل می‌شود. معمولا" زاویه $\theta_1 - \theta_2$ یا زاویه بین I_M و I_A در این نوع موتورها حدود ۳۰ درجه می‌باشد و در نتیجه مقدار میدان گردان در حین چرخش نسبت به زمان و مکان تغییر قابل ملاحظه‌ای می‌نماید بخاطر این عدم یکنواختی در میدان گردان، گشتاور راه انداز نیز غیر یکنواخت می‌گردد، اما باید گفت که مقدار متوسط این گشتاور جهت راه اندازی موتور کافی است. در حالت ایده‌آل زاویه $\theta_1 - \theta_2$ باید ۹۰ درجه باشد، اما این امر از نظر فیزیکی

مورد رجوع

1) Main-winding 2) Auxilary-winding

3) Starting-winding

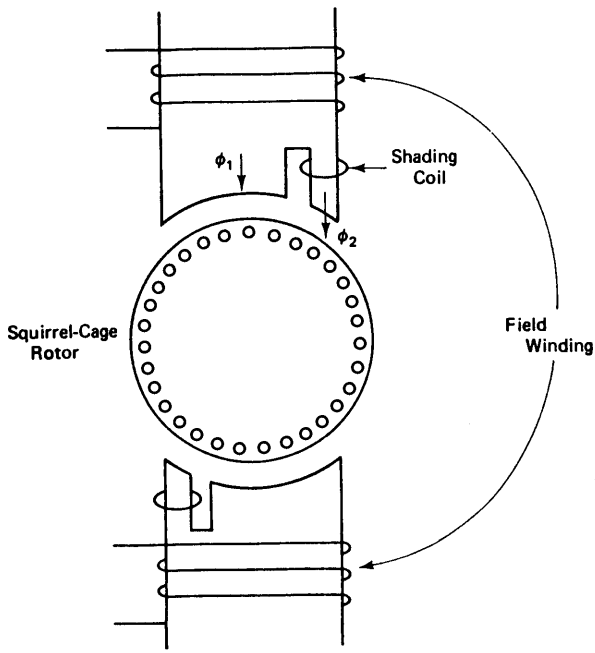
POWEREN.IR

امکان ندارد. سیم پیچ کمکی (راه انداز) دارای تلفات زیاد می‌باشد (I^2R) لذا بسرعت گرم می‌شود و در نتیجه برای جلوگیری سوختن آن بهتر است هرگاه لغزش ماشین به حدود ۳۰٪ رسید این سیم پیچ توسط کلید گریز از مرکز [1] از مدار خارج شود و هیچگونه اثر سوئی بر عملکرد موتور نخواهد داشت. زیرا این سیم پیچ فقط برای راه‌اندازی تعبیه شده است.

باید توجه داشت که هنگامیکه موتور مشغول کار است و سیم پیچ راه‌انداز از مدار خارج می‌باشد، در این صورت جریان موتور همان I_M بوده و با توجه به شکل (۴b – ۱۲) در میابیم که ضریب توان اینگونه موتورها خیلی پائین است. اینگونه موتورها در توانها $\frac{1}{30}$ تا $\frac{3}{4}$ اسب بخار (۲۵ تا ۶۰۰) وات ساخته می‌شوند و لغزش آنها در بار اسمی حدود ۶ درصد است.

۲ – ۱ – ۱۲ موتورهای با قطب چاک دار 12-1.2 Shaded-Pole Motor

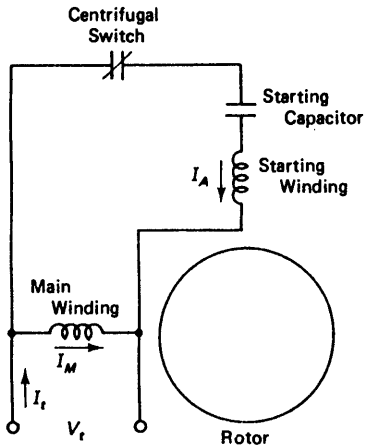
این موتورها نیز نوعی موتورهای القائی تکفاز می‌باشند و هرگاه به موتورهائی با توان بسیار کم (حدود ۰/۵ وات) نیاز داشتیم از اینگونه موتورها استفاده می‌شود



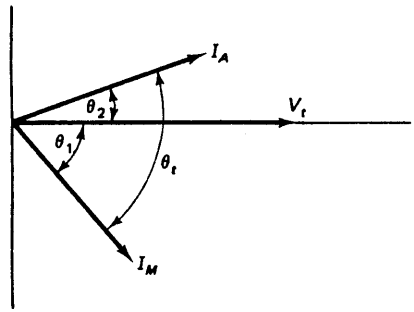
شکل ۵ – ۱۲ شمای موتورهای با قطب چاک دار

1) Centrifugal-Switch

POWEREN.IR



(a)



(b)

شکل ۶ ــ ۱۲ موتورهای CSM

a : شمای موتور **b : دیاگرام فازوری موتور**

راندمان این موتورها کم است (حدود ۵ تا ۲۰ درصد) اما قابلیت اطمینان آنها بسیار بالا است. برادرک عملکرد موتورهای با قطب چاک‌دار[1] به شکل (۵ ــ ۱۲) رجوع می‌کنیم و در این شکل یک موتور دو قطبی نشان داده شده است. همانطور که می‌بینیم سیم پیچ دیگری برروی قطبها بنام سیم پیچ چاک[2] قرار دارد که از جنس مسی می‌باشد و شامل یک یا دو دور می‌باشد و بصورت حلقه‌ای بسته[3] عمل می‌کند. این حلقه بسته یا سیم پیچ چاک طوریست که جریان عبوری از آن باعث می‌گردد که با تشکیل شار در آن قسمت از قطب مخالفت نماید. به عبارت دیگر در تشکیل شار در آن قسمت از قطب

رجوع

1) Shaded-pole-motor 2) Shading-Coil
3) Closed-Loop

POWEREN.IR

تاخیر ایجاد می‌شود . لذا شار قطبها دو مولفه دارد (ϕ_1 و ϕ_2) که نسبت به یکدیگر از نظر زمانی و مکانی جابجائی دارند . لذا میدان گردان پدید می‌آید و گشتاور راه‌انداز حاصل می‌شود . در اینگونه موتورها برای تعویض جهت دوران موتور به سیم پیچ دیگری (سیم پیچ چاک) در لبه دیگر قطبها نیاز داریم .

12-1.3 Capacitor-Start Motor

۳ ـ ۱ ـ ۱۲ موتورهای القائی تکفاز با راه‌انداز خازنی

این موتورها که با علامت اختصاری CSM نامیده می‌شوند همان موتورهای القائی با فاز شکسته هستند که در مدار سیم پیچ کمکی (راه انداز) یک خازن بنام خازن راه‌انداز تعبیه شده است (شکل ۶ ـ ۱۲) . در اثر وجود خازن I_A نسبت به V_t تقدم فاز پیدا می‌کند و زاویه بین I_A و I_M برابر $\theta_1 + \theta_2$ می‌گردد که تقریبا معادل ۹۰ درجه می‌باشد (البته مقدار واقعی زاویه حدود ۸۰ درجه است) . لذا شرایط مربوط به عمود بودن جریانهای سیم پیچ اصلی و راه انداز تحقق بیشتری می‌یابد . بطور کلی گشتاور راه انداز در یک موتور القائی تکفاز اینچنین است .

$$T_s = KI_AI_M \sin \theta_t \qquad (12\text{-}1)$$

در این رابطه داریم :

I_A : جریان سیم پیچ راه انداز

I_M : جریان سیم پیچ اصلی

θ_t : زاویه بین I_M و I_A

K : ثابت تناسب که به مشخصات فیزیکی موتور بستگی دارد .

می‌دانیم :

الف : θ_t در موتور با فاز شکسته حدود ۳۰ درجه است .

ب : θ_t در موتور CSM حدود ۸۰ درجه است .

لذا با تقریب خوب می‌توان گفت که گشتاور راه اندازدر موتورهای CSM دو برابر گشتاور راه انداز در موتورهای با فاز شکسته می‌باشد .

موتورهای CSM دارای مزایای زیراند :

الف : چون I_A از V_t جلو می‌افتد لذا نگرانی راجع به اندوکتانس سیم پیچ راه انداز نداریم و لذا تعداد دور آنرا می‌توان افزود تا شاری برابر سیم پیچ اصلی تولید کند و میدان گردان یکنواختی پدیدار سازد .

ب : چون زاویه I_M و I_A زیاد است لذا جمع فاز روی آنها (I_t) کمتر از جریانی است که در موتور با فاز شکسته وجود دارد . I_t همان جریانی است که موتور از شبکه تکفاز می‌باشد .

POWEREN.IR

POWEREN.IR

ج. در موتورهای CSM گشتاور راه انداز چهار برابر گشتاور اسمی ماشین است ولی در موتورهای با فاز شکسته گشتاور راه انداز دو برابر گشتاور اسمی خواهد بود.

د: هرگاه پس از راه اندازی سیم پیچ راه انداز همراه با خازن توسط کلید گریز از مرکز مدار خارج شود، درینصورت مشخصه کار هر دو موتور CSM و فاز شکسته یکسان می‌باشد.

موتورهای CSM در ابعاد $\frac{1}{4}$ تا ۱۰ اسب بخار ساخته می‌شوند و خازن آنها از نوع الکترولیتی خشک می‌باشد (۲۰۰ تا ۶۰۰ میکرو فاراد). شکل (۷ ـ ۱۲) منحنی گشتاور برحسب لغزش (TSL) موتورهای القائی تکفاز بدون وسیله راه انداز، موتورهای القائی تکفاز با فاز شکسته و موتورهای القائی تکفاز نوع CSM را نشان می‌دهد. همچنین اثر خازنهای راه انداز در شکل نشان داده شده است.

در صورت خرابی خازن، موتورهای CSM راه اندازی نمی‌شوند و یک صدای "هام م م" از آن شنیده می‌شود حال می‌توان بوسیله چرخاندن دستی محور ماشین موتور را در جهت دلخواه راه اندازی نمود.

12-1.3.1 Permanent-Split Capacitor Motor.

۱ ـ ۳ ـ ۱ ـ ۱۲ موتورهای القائی تکفاز که خازن راه انداز در تمامی مراحل در مدار باقی می‌ماند

این موتورها با علامت اختصاری PSCM نشان داده می‌شوند و دیگر خازن راه انداز توسط کلید گریز از مرکز از مدار بیرون نمی‌رود. با توجه به شکل (۶b ـ ۱۲) در می‌یابیم که θ_t تابع عوامل زیر است.

الف: بار موتور

ب: سرعت ماشین

لذا خازن ایده‌آل جهت کار دائم ماشین در شرایط بارداری مشابه خازن مورد نیاز برای راه اندازی نخواهد بود یا به عبارت دیگر نمی‌توان از خازن راه‌انداز در شرایط کار دائمی ماشین استفاده کرد. از آنجائیکه خازن باید همواره در مدار باقی بماند باید از خازن مخصوص استفاده شود: درباره این موتورها می‌توان گفت:

الف: مشخصه‌های موتور در حالت کار بهبود می‌یابد

ب: گشتاور راه انداز آنها از گشتاور راه انداز موتورهای CSM کمتر است.

ج: راندمان PSCM در بار اسمی نسبتا" خوب است.

د: ضریب توان موتور PSCM در بار اسمی نسبتا" بالاست.

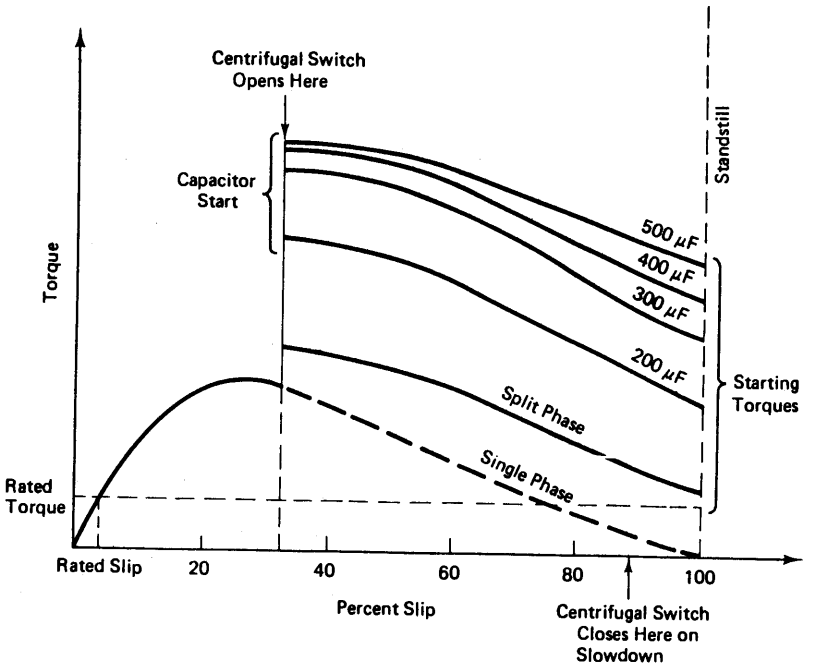
هـ: جریانی که موتورهای PSCM از شبکه می‌کشند نسبتا" کم است.

د: در حین کار صدای موتورهای PSCM کم می‌باشد.

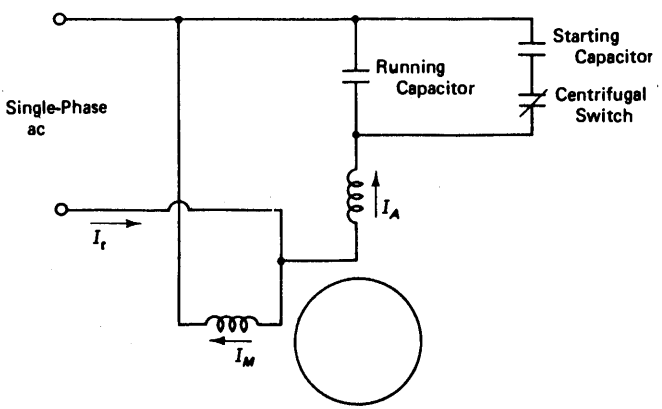
در اینجا یادآوری می‌کنیم که علت کمی صدای موتور بخاطر آنستکه در بار اسمی

POWEREN.IR

تقریبا" دو میدان عمود بر هم در ماشین وجود دارند. همچنین سیم پیچ کمکی باید طوری طراحی شود ــ تا بتواند دائما" درمدار بماند و نسوزد. لذا اینگونه موتورها قدری گران تمام می‌شوند.



شکل ۷ ــ ۱۲: منحنی مشخصه‌های گشتاور بر حسب لغزش (TSL) در موتورهای با فاز شکسته و CSM



شکل ۸ ــ ۱۲: شمای موتورهای TCM

POWEREN.IR

12-1.3.2 Two-Value Capacitor Motor.

۲ ــ ۳ ــ ۱ ــ ۱۲ موتورهای القائی تکفاز دو خازنی

این موتورها با علامت TCM نشان داده می‌شوند (شکل ۸ ــ ۱۲). در این موتورها از یک خازن برای راه‌اندازی استفاده می‌شود و خازن دوم دائما" حتی در شرایط کار موتور نیز در مدار باقی بماند. هرگاه موتور تکفاز راه اندازی شود هر دو خازن در مدار بوده و گشتاور راه اندازی نسبتا" بالائی حاصل می‌شود. پس از سرعت گرفتن موتور؛ کلید گریز از مرکز خازن اول یا خازن راه انداز از مدار بیرون می‌برد. خازن دوم همواره در مدار قرار می‌گیرد و به آن خازن کار (Running Capacitor) گفته می‌شود. بالنتیجه مشخصه بهتری در شرایط اسمی پدیدار می‌گردد.

باید گفت:

الف: خازن راه‌انداز از نوع الکترولینی خشک می‌باشد (۳۰۰ تا ۵۰۰ میکروفاراد)

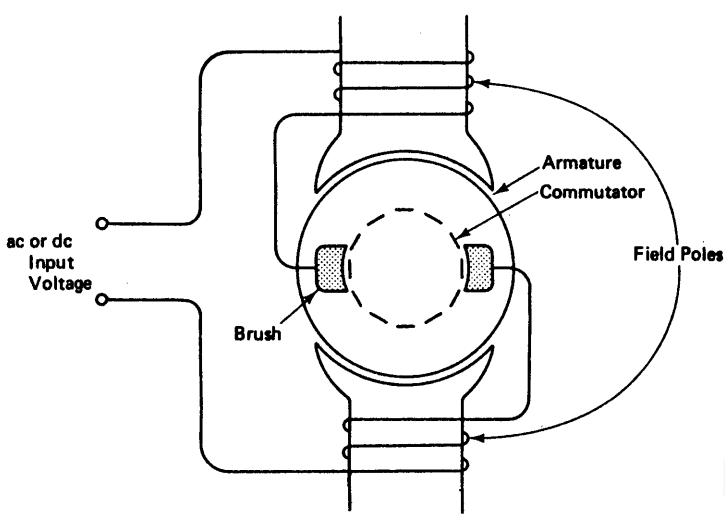
ب: خازن کار از نوع روغنی است (حدود ۲۰ میکرو فاراد)

۴ ــ ۱ ــ ۱۲ موتورهای ریپالسیونی 12-1.4 Repulsion-Start Motor

این موتورها در قدیم مرسوم بودند ولی امروزه موتورهای CSM و TCM جای آنها را گرفته‌اند. لذا ما نیز درباره این موتورها چندان صحبت نمی‌کنیم.

۲ ــ ۱۲ موتورهای سری یا یونیورسال 12-2 SERIES MOTOR

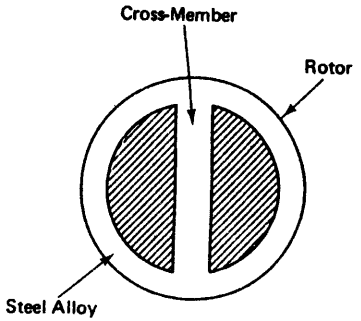
در فصل پنجم در جلد اول دیدیم که اگر پلارتیه ولتاژ ترمینال در یک موتور



شکل ۹ ــ ۱۲: شمای یک موتور یونیورسال

POWEREN.IR

POWEREN.IR



شکل ۱۰ ــ ۱۲ : شمای رتور یک موتور هیسترزیس

سری عوض شود ، جهت دوران موتور فرق نخواهد کرد .لذا موتور DC سری را می‌توان با برق متناوب AC بکار برد و با اندک تغییراتی موتورهای DC سری را مناسب برق AC نمود به این موتورها لفظ موتور یونیورسال اتلاق می‌گردد .

باید گفت‌که در موتورهای یونیورسال به میدان گردان نیاز نداریم ، بلکه گشتاور بخاطر نیروی اعمال شده بر روی هادی حاصل جریان بدست می‌آید (فصل ۲ جلد اول) شکل (۹ ــ ۱۲) یک موتور یونیورسال را نشان می‌دهد ، مشخصه این موتورها مشابه موتورهای DC سری است و موتورهای یونیورسال کوچک گشتاور نسبتا " زیادی ایجاد می‌کنند و سرعت آنها خیلی بالاست . اینگونه موتورها در لوازم خانگی مانند پنکه ، جاروبرقی یافت می‌شوند .

12-3 SINGLE-PHASE SYNCHRONOUS MOTOR

۳ ــ ۱۲ موتورهای سنکرون تکفاز

این موتورها با سرعت سنکرون می‌چرخند و در موقعی که به سرعت ثابت نیاز داریم از آنها استفاده می‌کنیم (ساعت ، گرامافون) . طرز راه اندازی این موتورها مشابه موتورهای القائی تکفاز است و لذا میدان گردنده در این موتورها وجود دارد .

12-3.1 Reluctance Motor — ۱ ــ ۳ ــ ۱۲ موتورهای رلوکتانس

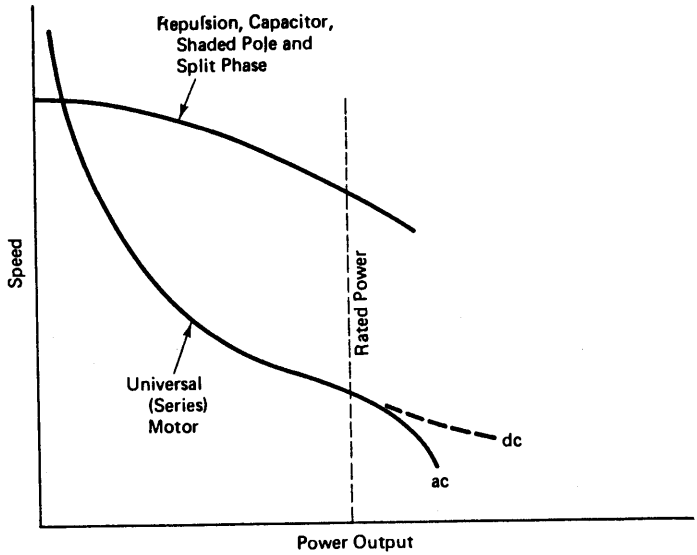
این موتورها نوع تکفازی از موتورهای سنکرون تکفاز است ولی چون در صنعت زیاد مقبولیت ندارند ، درباره آنها چندان صحبت نمی‌کنیم .

12-3.2 Hysteresis Motor — ۲ ــ ۳ ــ ۱۲ موتورهای هیسترزیس

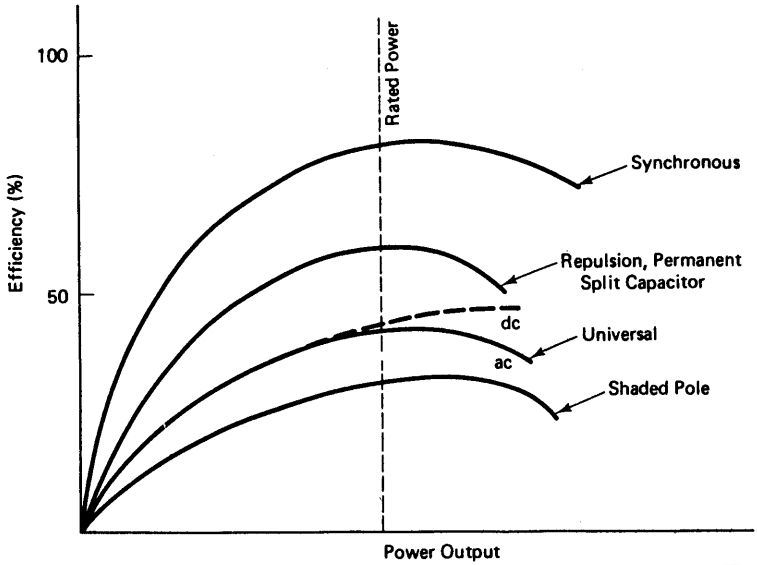
رتور اینگونه موتورها از الیاژ مخصوصی از فولاد ساخته شده که دارای اثر هیستر زیس بسیار زیاد است (فصل اول ، جلد اول) . با گذشتن شار از اینگونه رتورها ، گشتاور

POWEREN.IR

راه اندازبخاطر اثر هیسترزیس پدیدار می‌گردد . شکل (۱۰ ــ ۱۲) شمای رفتار موتورها را نشان می‌دهد . این موتورها با سرعت سنکرون میچرخند و حتی با تغییر بار سرعت آنها ثابت می‌ماند .

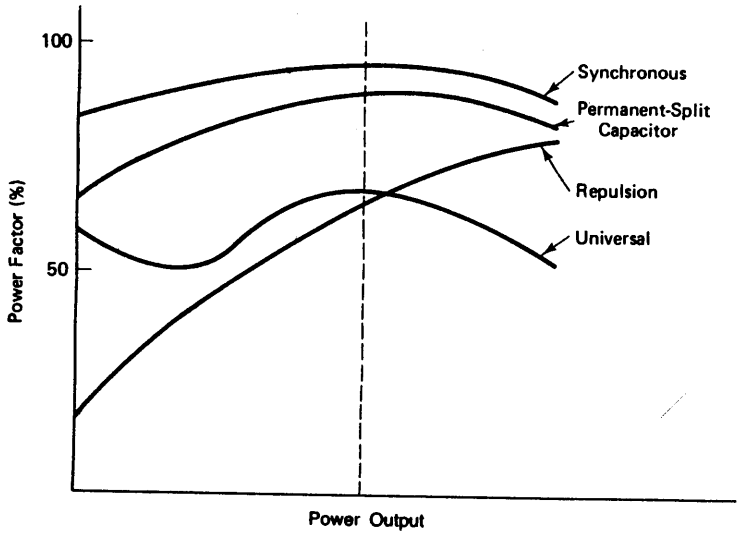


شکل ۱۱ ــ ۱۲ تغییرات سرعت برحسب توان خروجی در موتورهای تکفاز



شکل ۱۲ ــ ۱۲ : تغییرات راندمان‌بر حسب توان خروجی در موتورهای تکفاز

POWEREN.IR



شکل ۱۳ ــ ۱۲ منحنی ضریب توان بر حسب توان خروجی در موتورهای تکفاز

۴ ــ ۱۲ منحنی مشخصه‌های موتور تکفاز 12-4 CHARACTERISTICS

شکلهای (۱۱ ــ ۱۲)، (۱۲ ــ ۱۲) و (۱۳ــ۱۲) منحنی مشخصه‌های موتورهای تکفاز AC را نشان می‌دهد و می‌توان آنها را با هم مقایسه نمود.

مثال ۱ ــ ۱۲ (ENG - ~~چهارم~~)

یک موتورالقائی تکفاز، ۲ اسب بخاری، ۲۲۰ ولتی، ۶۰ هرتزی مفروض است. سرعت اسمی آن ۱۷۲۵ دوردردقیقه‌بوده‌وراندمان آن در بار اسمی ۷۰ درصد می‌باشد. اگر ضریب توان موتوردربار اسمی ۶۰ درصد باشد، تعداد قطبهای موتور را بدست آورده وجریانی را که از شبکه می‌کشد محاسبه کنید.

حل

از رابطه (۱ a ــ ۹) داریم ومی‌دانیم سرعت سنکرون باید ۱۸۰۰ دور در دقیقه باشد (چرا؟)

$$P = \frac{120 \times 60 \text{ Hz}}{1800 \text{ rev/min}}$$

$$= 4 \text{ poles}$$

توانهای ورودی وخروجی اینچنین بدست می‌آیند.

$$P_o = 2 \text{ hp} \times 746 \text{ W/hp} = 1492 \text{ W}$$

POWEREN.IR

$$P_i = \frac{P_o}{\eta} = \frac{1492\ \text{W}}{0.70} = 2131.4\ \text{W}$$

$$\text{PF} = \cos\theta = 0.60$$

از رابطه (۱۱ ــ ۷) داریم:

$$P_w = VI\cos\theta$$

$$I = \frac{P_w}{V\cos\theta}$$

$$= \frac{2131.4}{220\ \text{V} \times 0.60} = 16.1\ \text{A}$$

مثال ۲ ــ ۱۲ (سیستم SI)

یک موتورالقائی تکفاز یک کیلو واتی، ۲۳۰ ولتی، ۵۰ هرتزی مفروض است. اگر سرعت آن در بار اسمی ۳۰۰ رادیان بر ثانیه بوده و ضریب توان آن در بار اسمی ۵۵ درصد باشد، تعداد قطبهای موتور وجریانی راکه از شبکه می‌کشد را حساب کنید. راندمان موتور دربار اسمی ۶۵ درصد است.

حل

از رابطه (۱b ــ ۹) استفاده می‌کنیم و می‌دانیم سرعت سنکرون موتور باید ۳۱۴ رادیان بر ثانیه باشد (چرا؟)

$$\mathbf{P} = 4\pi \times \frac{50\ \text{Hz}}{100\pi} = 2\ \text{poles}$$

توانهای خروجی و ورودی اینچنین بدست می‌آیند.

$$P_o = 1\ \text{kW}$$

$$P_i = \frac{P_o}{\eta} = \frac{1000\ \text{W}}{0.65} = 1538.5\ \text{W}$$

$$\text{PF} = \cos\theta = 0.55$$

از رابطه (۱۱ ــ ۷) داریم:

$$P_w = VI\cos\theta$$

$$I = \frac{P_w}{V\cos\theta}$$

$$= \frac{1538.5\ \text{W}}{230\ \text{V} \times 0.55} = 12.16\ \text{A}$$

POWEREN.IR

POWEREN.IR

مثال ۳ــ ۱۲ (سیستم ENG)

یک موتور CSM با مشخصات زیر مفروض است.

اسب بخار ۱۰ = توان اسمی

ولت ۴۴۰ = ولتاژ اسمی

پس فاز ۸۵% = ضریب توان در بار اسمی

آمپر ۲۶ = جریان کشیده شده از شبکه در بار اسمی

راندمان موتور را حساب کنید

حل

$$P_o = 10 \text{ hp} \times 746 \text{ W/hp} = 7460 \text{ W}$$

$$P_i = VI \cos\theta = 440 \text{ V} \times 26 \text{ A} \times 0.85$$

$$= 9724 \text{ W}$$

$$\eta = \frac{P_o}{P_i} \times 100$$

$$= \frac{7460}{9724} \times 100$$

$$= 77\%$$

مثال ۴ــ ۱۲ (سیستم SI)

یک موتور CSM با مشخصات زیر مفروض است

ولت ۲۳۰ = ولتاژ اسمی

کیلو وات ۱/۵ = توان اسمی

پس فاز ۸۰% = ضریب توان در بار اسمی

آمپر ۱۲ = جریان کشیده شده از شبکه در بار اسمی

راندمان موتور را بدست آورید

حل

$$P_o = 1.5 \text{ kW} = 1500 \text{ W}$$

$$P_i = VI \cos\theta = 230 \text{ V} \times 12 \text{ A} \times 0.80$$

$$= 2208 \text{ W}$$

$$\eta = \frac{P_o}{P_i} \times 100$$

POWEREN.IR

POWEREN.IR

$$= \frac{1500}{2208} \times 100$$

$$= 68\%$$

مثال ۵ ــ ۱۲ (سیستم ENG)

یک موتور تکفاز با فاز شکسته ۱۱۵ ولتی، ۷/۲ آمپری، ۶۰ هرتزی مفروض است و سرعت آن در بار اسمی ۱۷۲۵ دور در دقیقه می‌باشد. اگر راندمان آن در بار اسمی ۶۰ درصد و ضریب توان آنها در بار کامل ۵۰ درصد باشد، توان اسمی و گشتاور اسمی آنرا حساب کنید.

حل

$$P_i = VI \cos \theta$$

$$= 115 \text{ V} \times 7.2 \text{ A} \times 0.50$$

$$= 414 \text{ W}$$

$$\eta = \frac{P_o}{P_i} \times 100$$

$$P_o = \eta \times \frac{P_i}{100}$$

$$= 60\% \times 414 \text{ W}/100\%$$

$$= 248.4 \text{ W}$$

$$P_o = \frac{248.4 \text{ W}}{746 \text{ W/hp}} = 0.33 \text{ hp}$$

$$P_o = \tfrac{1}{3} \text{ hp (rated power)}$$

از رابطه (۳a ــ ۵) در جلد اول داریم:

$$T = 7.04 \times \frac{248.4 \text{ W}}{1725 \text{ rev/min}}$$

$$= 1 \text{ ft-lb (rated torque)}$$

مثال ۶ ــ ۱۲ (سیستم SI)

یک موتور تکفاز با فاز شکسته با مشخصات زیر مفروض است

ولتاژ اسمی ترمینال = ۲۳۰ ولت

حریانی که در بار اسمی از شبکه می‌کشد = ۲/۲ آمپر

POWEREN.IR

هرتز ۵۰ = فرکانس اسمی

رادیان بر ثانیه ۱۵۲ = سرعت در بار اسمی

۵۵% = راندمان در بار اسمی

پس فاز ۴۵% = ضریب توان در بار اسمی

توان اسمی و گشتاور اسمی آنرا بدست آورید .

حل

$$P_i = VI\cos\theta$$
$$= 230\text{ V} \times 2.2\text{ A} \times 0.45$$
$$= 227.7\text{ W}$$

$$\eta = \frac{P_o}{P_i} \times 100$$

$$P_o = \eta \times \frac{P_i}{100}$$
$$= 55\% \times 227.7\text{ W}/100\%$$
$$= 125.23\text{ W} \approx 125\text{ W (rated power)}$$
$$= 0.125\text{ kW}$$

با استفاده از رابطه (۳b ـ ۵) در جلد اول داریم

$$T = \frac{1000P}{\omega}$$
$$= 1000 \times \frac{0.125\text{ kW}}{152\text{ rad/s}}$$
$$= 0.82\text{ N-m (rated torque)}$$

POWEREN.IR

POWEREN.IR

SYMBOLS INTRODUCED IN CHAPTER 12

Symbol		Definition	Units: English and SI
ϕ_s	(۱)	Stator field flux due to stator current	lines or webers
ϕ_r	(۲)	Rotor flux due to rotor current	lines or webers
ϕ'	(۳)	Resultant flux: vector sum of ϕ_s and ϕ_r	lines or webers
V_t	(۴)	Applied single-phase voltage	volts
I_M	(۵)	Main stator winding current	amperes
I_A	(۶)	Auxiliary stator winding current	amperes
θ_1	(۷)	Angle between V_t and I_M	degrees
θ_2	(۸)	Angle between V_t and I_A	degrees
I'_A	(۹)	Component of I_A in phase with $V_t (= I_A \cos \theta_2)$	amperes
I'_M	(۱۰)	Component of I_M in quadrature with $V_t (= I_M \sin \theta_1)$	amperes
T_s	(۱۱)	Starting torque of single-phase motor	ft-lb or N-m
I_t	(۱۲)	Total motor current: vector sum of I_A and I_M	amperes
θ_t	(۱۳)	Angle between I_A and I_M in a capacitor-start motor	degrees

علائم بکار برده شده درفصل ۱۲

۱ ــ شار استاتور

۲ ــ شار رتور

۳ ــ شار نتیجه ناشی از رتور و استاتور

۴ ــ ولتاژ ترمینال موتور تکفاز

۵ ــ جریان سیم پیچ اصلی استاتور

۶ ــ جریان سیم پیچ کمکی در استاتور

۷ ــ زاویه بین V_t و I_M

۸ ــ زاویه بین V_t و I_A

۹ ــ موءلفه I_A که با $-V_t$ همفاز است

۱۰ ــ موءلفه I_A که بر V_t عمود است

۱۱ ــ گشتاور راه انداز در موتور تکفاز

۱۲ ــ کل جریان موتور (مجموع I_M و I_A)

۱۳ ــ زاویه بین $-I_A$ و I_M

POWEREN.IR

POWEREN.IR

فصل سیزدهم

سؤالات و مسائل فصول

هفتم تا دوازدهم

۵۴ صفحه

POWEREN.IR

PowerEn.ir

POWEREN.IR

POWEREN.IR

فصل ۱۳

مسائل فصل هفتم تا فصل دوازدهم

۱ ــ ۱۳ سئوالات مربوط به فصل هفتم

۱ ــ فرق بین حلقه‌های لغزان و حاروبکها چیست و هر کدام در کجا مصرف دارند؟

۲ ــ عبارات زیر را تعریف کنید

الف: عنصر راکتیو

ب: توان ظاهری

ج: توان حقیقی (اکتیو)

د: توان راکتیو

هـ: ضریب توان

۳ ــ آیا هیچگاه ضریب توان بیش از واحد می‌گردد یا نه (چرا؟)

۴ ــ فرق بین سیم پیچ جریان (CC) و سیم پیچ پتانسیل (PC) در واتمترها چیست

۵ ــ واتمتری توانی را در محدوده (رنج) خود اندازه‌گیری می‌کند آیا ممکن است واتمتر در تحت این شرایط خسارت ببیند یا نه (چرا؟)

۶ ــ عبارات زیر را تعریف کنید.

الف: سیم پیچ اولیه ترانسفورماتور

ب: سیم پیچ ثانویه ترانسفورماتور

ج: ترانسفورماتور کاهنده

د: ترانسفورماتور افزاینده

هـ: شار متقابل در ترانسفورماتور

و: شار نشتی در ترانسفورماتور

۷ ــ ضریب توان ترانسفورماتور بی‌بار را چگونه محاسبه و اندازه‌گیری می‌کنند.

۸ ــ آزمایش‌های اتصال کوتاه و مدار باز (بی باری) در ترانسفورماتورها چیست و برای چه منظور انجام می شوند.

۹ ــ مزایای اتو ترانسفورماتورها را بیان کنید.

۱۰ ــ چند نوع توان فاز در سیستم سه‌فاز وجود دارد و چگونه می‌توان توالی فازها را عوض کرد.

POWEREN.IR

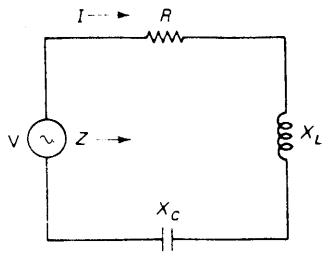
POWEREN.IR

۲-۱۳ مسائل فصل هفتم

سیستم (SI و ENG)

۱ ــ در شکل (۱ ــ ۱۳) داریم :

$R = 10\ \Omega,\ X_l = 15\ \Omega,\ X_C = 0\ \Omega,$ and $V = 230$ V rms.



شکل ۱ ــ ۱۳ :

مطلوبست :

الف : امپدانس مدار Z

ب : جریان در مدار I

ج : ضریب توان مدار PF

د : توانهای اکتیو (حقیقی) ، راکتیو و ظاهری در مدار

هـ : مثلث توان را درین مدار رسم کنید

۲ ــ در شکل (۱ ــ ۱۳) داریم

$R = 20\ \Omega,\ X_l = 0\ \Omega,\ X_C = 30\ \Omega,$ and $V = 230$ V rms.

مطلوبست :

الف : امپدانس مدار (Z)

ب : جریان مدار (I)

ج : ضریب توان مدار (PF)

د : توانهای اکتیو (حقیقی) ، راکتیو و ظاهری در مدار

هـ : مثلث توان را در این مدار رسم کنید

POWEREN.IR

۳ ــ در شکل (۱ ــ ۱۳) داریم :

POWEREN.IR

$R = 40\ \Omega$, $X_L = 15\ \Omega$, $X_C = 25\ \Omega$, and $V = 230$ V rms.

مطلوبست:

الف: امپدانس مدار (Z)

ب: جریان مدار (I)

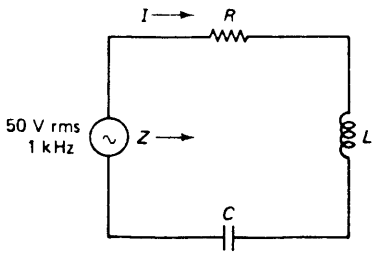
ج: ضریب توان مدار (PF)

د: توانهای حقیقی (اکتیو)، راکتیو و ظاهری در مدار

هـ: مثلث توان در این مدار را رسم کنید

۴ ــ در شکل (۲ ــ ۱۳) داریم:

6 kΩ, $L = 1.27$ H, and $C = 0.01\ \mu$F.



شکل ۲ ــ ۱۳

مطلوبست.

الف: امپدانس در این مدار (Z)

ب: جریان در این مدار (I)

ج: ضریب توان در این مدار (PF)

د: انواع توانها در این مدار

هـ: مثلث توان را برای این مدار رسم کنید

۵ ــ در شکل (۲ ــ ۱۳) داریم:

$R = 7$ kΩ, $L = 4.77$ H, and $C = 0.0265\ \mu$F

مطلوبست:

الف: امپدانس در این مدار (Z)

ب: جریان در این مدار I

ج: ضریب توان در این مدار PF

د: انواع توانها در این مدار

POWEREN.IR

هـ: مثلث توان را برای این مدار رسم کنید

۶ ــ چهار مصرف کننده (بار) مطابق جدول (۱ ــ ۱۳) مفروض است و به یک منبع تکفاز ۲۳۰ ولتی متصل‌اند. مطلوبست:

الف: توان حقیقی (اکتیو) هر مصرف کننده

ب: توان راکتیو هر مصرف کننده

ج: توان اکتیو (حقیقی) کل بارها

د: توان راکتیو کل بارها

هـ: توان ظاهری کل بارها

د: ضریب توان مربوط به کل مجموعه بارها.

جدول (۱ ــ ۱۳)

Load	kVA	PF
A	5	1.0
B	10	0.85 lagging
C	12	0.80 lagging
D	10	0.6 leading

۷ ــ در مساله قبلی (۶) اگر بار D از مدار جدا شود ضریب توان جدید مربوط به کل سه بار دیگر چقدر خواهد شد.

۸ ــ یک بار طبق مدار شکل (۱۱ ــ ۷) در فصل هفتم مورد آزمایش قرار می‌گیرد و نتایج زیر بدست می‌آید.

ولت ۲۳۰ = عدد ولتمتر

آمپر ۱۲/۸ = عدد آمپرمتر

کیلو ولت ۲/۷۵ = عدد واتمتر

مطلوبست:

الف: توان ظاهری بار

ب: ضریب توان بار

ج: توان راکتیو بار بر حسب kvar

۹ ــ از یک واتمتر در اندازه‌گیری توان در سیستم ۲۳۰ ولتی استفاده می‌شود (سیستم تکفاز) مقادیر اسمی سیم پیچ‌های جریان و ولتاژ واتمتر بقرار زیر است.

آمپر ۱۰ = جریان اسمی سیم پیچ CC

ولت ۳۰۰ = ولتاژ اسمی سیم پیچ PC

مطلوبست:

POWEREN.IR

الف: محاسبه حد نهائی (رنج) واتمتر

ب: حداکثر توانی که می‌توان توسط واتمتر اندازه‌گیری نمود بدون آنکه جریان و ولتاژ سیم پیچ‌های CC و PC از حد اسمی خود فراتر روند.

۱۰ ــ واتمتر مساله قبل (مساله ۹) را در نظر می‌گیریم و آنرا در یک سیستم تکفاز ۱۲۰ ولتی نصب می‌کنیم. اگر ضریب توان بار مربوط به سیستم ۰/۷ باشد، حداکثر توانی را که می‌توان توسط واتمتر اندازه‌گیری نمود بدون آنکه جریان و ولتاژ سیم پیچ‌های آن از حد اسمی فراتر روند، بدست آورید.

۱۱ ــ یک ترانسفورماتور تکفاز با مشخصات زیر مفروض است

ولتاژ اسمی اولیه = ۲۳۰ ولت

تعداد دور سیم پیچ اولیه = ۵۰۰ دور

مطلوبست محاسبه تعداد دور سیم پیچ ثانویه مشروط بر آنکه بخواهیم ولتاژهای زیر در ثانویه بدست آید.

الف: ۱۱۵۰ ولت

ب: ۴۶۰ ولت

ج: ۱۲۰۰ ولت

د: ۱۲۰ ولت

هـ: ۶۰ ولت

۱۲ ــ مساله ۱۱ را تکرار کنید اینبار ولتاژ اسمی اولیه را ۱۲۰ ولت بگیرید.

۱۳ ــ یک ترانسفورماتور تکفاز با مشخصات اسمی زیر مفروض است

ولتاژ ثانویه / ولتاژ اولیه = ۲۳۰/۴۶۰ ولت

توان اسمی = ۱۰ کیلو ولت آمپر

مطلوبست:

الف: جریان اسمی در اولیه

ب: جریان اسمی در ثانویه

۱۴ ــ یک ترانسفورماتور تکفاز با مشخصات زیر مفروض است

ولتاژ اسمی اولیه = ۱۲۰ ولت

ولتاژ اسمی ثانویه = ۱۲/۶ ولت

توان اسمی = ۳۰ ولت آمپر

مطلوبست:

الف: جریان اسمی در اولیه

ب: جریان اسمی درثانویه

POWEREN.IR

POWEREN.IR

۱۵ ــ یک ترانسفورماتور تکفاز با مشخصات زیر مفروض است

کیلو ولت ۱۸ = ولتاژ اسمی اولیه

کیلو ولت ۲۲۰ = ولتاژ اسمی ثانویه

مگاولت آمپر ۶۰ = توان اسمی

مطلوبست :

الف . جریان اسمی اولیه

ب . جریان اسمی ثانویه

۱۶ ــ یک ترانسفورماتور تکفاز با مشخصات زیر مفروض است

ولت ۲۳۰/۴۶۰= ولتاژ ثانویه/ ولتاژ اولیه

کیلو ولت آمپر ۵ = توان اسمی

بر اولیه‌ولتاژاسمی رااعمال می‌کنیم و ثانویه را باز می‌گذاریم (حالت بی‌باری) ــ واتمتر در اولیه ۱۲ وات را نشان می‌دهد و آمپرمتر اولیه نیز ۰/۳ آمپر را می‌خواند

مطلوبست :

الف: ضریب توان ترانسفورماتور در حالت بی‌باری

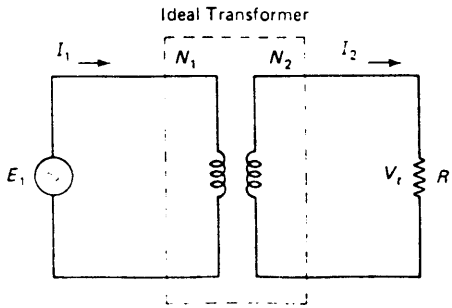
ب: جریان مغناطیس شوندگی

ج: جریانی که تلفات هسته را تأمین می‌کند

د: اگر به ثانویه یک بار مقاومتی خالص وصل کنیم وواتمتر اولیه ۲ کیلووات را نشان دهد ، ضریب توان ترانسفورماتور را بیابید .

۱۷ ــ در شکل (۳ ــ ۱۳) داریم

$E_1 = 230$ V, $N_1 = 200$, $N_2 = 40$, and $R = 2\ \Omega$.



شکل ۳ ــ ۱۳

مطلوبست :

الف: نسبت دورها در این ترانسفورماتور

POWEREN.IR

POWEREN.IR

ب . ولتاژ دو سر بار V_t

ج . جریان بار (جریان ثانویه I_2)

د . جریان اولیه (I_1)

۱۸ ــ مساله ۱۷ را تکرار کنید ولی اینبار اعداد زیررا در نظر بگیرید

$E_1 = 120$ V, $N_1 = 400$, $N_2 = 80$, and $R = 1$ kΩ.

۱۹ ــ در شکل (۳ ــ ۱۳) داریم :

$E_1 = 230$ V, $V_t = 920$ V, and $I_1 = 20$ A.

مطلوبست :

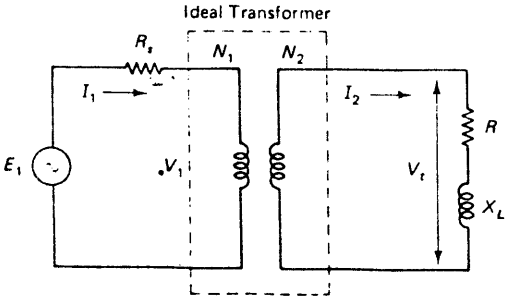
الف . نسبت دورها

ج : جریان ثانویه I_2

د : مقاومت مصرف کننده (R)

۲۰ ــ در شکل (۴ ــ ۱۳) داریم :

$E_1 = 230$ V, $N_1 = 320$, $N_2 = 40$, $R = 3$ Ω, $X_L = 12.5$ Ω, and $R_s = 408$ Ω



شکل ۴ ــ ۱۳

مطلوبست :

الف : جریان اولیه (I_1)

ب : ولتاژ (V_1)

ج : جریان ثانویه (I_2)

د : ولتاژ دو سر بار (V_t)

۲۱ ــ اگر توان اسمی ترانسفورماتور مساله ۲۰ معادل ۶۰ ولت آمپر باشد ، حداکثر ولتاژ E_1 را طوری پیدا کنید بطوریکه مقادیر اسمی در این ترانسفورماتور نقض نگردد .

۲۲ ــ در شکل (۴ ــ ۱۳) داریم .

$E_1 = 120$ V, $N_1 = 100$, $N_2 = 200$, $R_s = 2.75$ Ω, and $R = 5$ Ω.

POWEREN.IR

اگر جریان اولیه ۲۴ آمپر باشد ، X_l را حساب کنید .

۲۳ ــ در ترانسفورماتور مساله ۲۲ اگر توان اسمی ۳۰ کیلو ولت آمپر باشد ، چه درصدی از جریان اسمی در اولیه جاریست

۲۴ ــ یک ترانسفورماتور کاهنده تکفاز با مشخصات زیرمفروض است .

ولت ۲۳۰/۲۸ = ولتاژ ثانویه / ولتاژ اولیه

هرتز ۴۰۰ = فرکانس اسمی

کیلو ولت آمپر ۰/۵ = توان اسمی

ثانویه آنرا اتصال کوتاه کرده و نتایج زیر از آزمایش اتصال کوتاه بدست می‌آید

وات ۱۸ = عدد واتمتر طرف اولیه

ولت ۱۲ = عدد ولتمتر طرف اولیه

جریان اسمی = عدد آمپرمتر طرف اولیه

مطلوبست :

الف : R_{e1}

ب : X_{e1}

ج : R_{e2}

د : X_{e2}

۲۵ ــ یک ترانسفورماتور تکفاز با مشخصات زیر مفروض است

ولت ۱۲۰۰/۲۳۰ = ولتاژ ثانویه/ ولتاژ اولیه

هرتز ۵۰ = فرکانس اسمی

کیلو ولت آمپر ۱۷/۵ = توان اسمی

با آن آزمایش اتصال کوتاه انجام می‌دهیم (اولیه اتصال کوتاه شده است) نتایج زیر از این آزمایش بدست می‌آید .

وات ۱۸ = عدد واتمتر طرف ثانویه

ولت ۱۲ = عدد ولتمتر طرف ثانویه

جریان اسمی = عدد آمپر متر ثانویه

مطلوبست :

الف : R_{e2}

ب : X_{e2}

ج : R_{e1}

د : X_{e1}

۲۶ ــ یک ترانسفورماتور تکفاز با مشخصات زیر مفروض است

POWEREN.IR

POWEREN.IR

ولت ۱۲۰/۱۲۰۰ = ولتاژ ثانویه / ولتاژ اولیه

هرتز ۶۰ = فرکانس اسمی

کیلو ولت آمپر ۵ = توان اسمی

با آن آزمایش اتصال کوتاه انجام می‌دهیم (ثانویه اتصال کوتاه می‌گردد) اعداد زیر از این آزمایش بدست می‌آید

وات ۲۴۰ = عدد واتمتر طرف اولیه

ولت ۹ = عدد ولتمتر اولیه

جریان اسمی = عدد آمپرمتر اولیه

مطلوبست.

الف: R_{e1}

ب: X_{e1}

ج: R_{e2}

د: X_{e2}

۲۷ ــ یک ترانسفورماتور تکفاز با مشخصات زیر در شکل (۵ ــ ۱۳) نشان داده شده است.

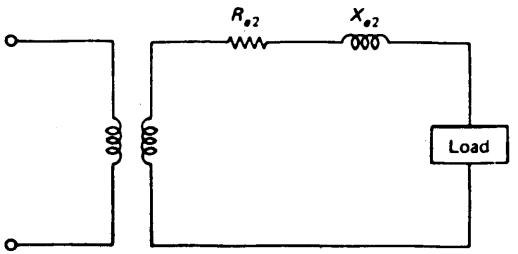
وات ۲۳۰ = ولتاژ اسمی اولیه

ولت ۴۶۰ = ولتاژ اسمی ثانویه

هرتز ۵۰ = فرکانس اسمی

اهم $R_{e2} = ۰/۰۴$

اهم $X_{e2} = ۰/۱$



شکل ۵ ــ ۱۳

این ترانسفورماتور بار اسمی خودرا تحت ضریب توان واحد تغذیه می‌کند، درصد تنظیم ولتاژ آنرا حساب کنید.

۲۸ ــ مساله ۲۷ را تکرار کنید. اینبار ضریب توان را ۰/۸ پس فاز بگیرید.

۲۹ ــ در ترانسفورماتور شکل (۵ ــ ۱۳) مشخصات بقرار زیر است.

ولت ۱۲۰ = ولتاژ اسمی اولیه

POWEREN.IR

POWEREN.IR

وات ۱۲/۶ = ولتاژ اسمی ثانویه

هرتز ۶۰ = فرکانس اسمی

ولت آمپر ۲۵۰ = توان اسمی

$R_{e2} = 0.005\ \Omega$ and $X_{e2} = 0.008\ \Omega$.

اگر این ترانسفورماتور بار اسمی خود را تحت ضریب توان واحد تغذیه کند ، درصد تنظیم ولتاژ آنرا حساب کنید .

۳۰ ــ مساله ۲۹ را تکرار کنید . این بار ضریب توان را ۰/۹ پیش فاز بگیرید .

۳۱ ــ ترانسفورماتور مطابق شکل (۵ــ ۱۳) مفروض است و مشخصات آن بقرار زیر است :

ولت ۴۶۰۰ = ولتاژ اسمی اولیه

وات ۲۳۰ = ولتاژ اسمی ثانویه

هرتز ۵۰ = فرکانس اسمی

کیلو ولت آمپر ۱۲ = توان اسمی

با آزمایش اتصال کوتاه به نتایج زیر می‌رسیم

: $R_{e2} = 0.15\ \Omega$ and $X_{e2} = 0.2\ \Omega$.

درصد تنظیم ولتاژ را در شرایط بار اسمی تحت حالتهای زیر بدست آورید .

الف : ضریب توان بار واحد باشد

ب : ضریب توان بار ۰/۸ پس فاز در نظر گرفته شود

ج : ضریب توان بار ۰/۸۵ پیش فاز منظور گردد .

۳۲ ــ یک ترانسفورماتورتکفاز ۲۳۰/۱۲۰ ولتی ، ۱۰ کیلوولت آمپری مفروض است و بار اسمی را با ضریب توان واحد تغذیه می‌کنند مطلوبست :

الف : توان خروجی

ب : جریان درثانویه

۳۳ ــ مساله ۳۲ را تکرار کنید . این بار ترانسفورماتور نصف بار اسمی را با ضریب توان ۰/۸۵ پس فاز تغذیه می‌کند .

۳۴ ــ یک ترانسفورماتور ۱۱۵/۲۳۰ ولتی ، ۴ کیلو ولت آمپری مفروض است و بر روی آن آزمایشهای بی‌باری (مدار باز) و اتصال کوتاه انجام می‌دهیم . نتایج این دو آزمایش در جدول (۲ ــ ۱۳) آمده است .

جدول (۲ ــ ۱۳)

Open-circuit test (high side open)	Short-circuit test (high side shorted)
$V = 115$ V	$V = 7$ V
$I = 0.5$ A	$I =$ rated current
$W = 220$ W	$W = 100$ W

POWEREN.IR

POWEREN.IR

راندمان این ترانسفورماتور را در شرایط زیر حساب کنید

الف: بار اسمی و ضریب توان واحد

ب: بار اسمی و ضریب توان ۰/۷۵ پس فاز

ج: نصف بار اسمی (نصف بار کامل) و ضریب توان واحد

د: نصف بار اسمی و ضریب توان ۰/۷۵ پس فاز

هـ: یک چهارم بار اسمی و ضریب توان ۰/۵ پس فاز

۳۵ ــ یک ترانسفورماتور تکفاز مفروض است و توان اسمی آن ۵۰ کیلو ولت آمپر می‌باشد. در آزمایش مدار باز واتمتر ۶۰۰ وات و در آزمایش اتصال کوتاه واتمتر ۸۰۰ وات را نشان می‌دهد. راندمان ترانسفورماتور را در این شرایط زیر حساب کنید

الف: بار اسمی و ضریب توان واحد

ب: بار اسمی و ضریب توان ۰/۹ پس فاز

ج: نصف بار اسمی و ضریب توان ۰/۹ پس فاز

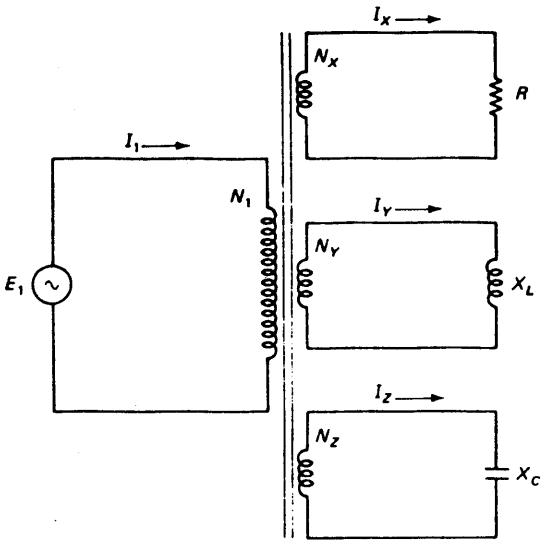
د: نصف بار اسمی و ضریب توان ۰/۶ پس فاز

هـ: ۱۲۰ % بار اسمی و ضریب توان ۰/۸ پس فاز

۳۶ ــ در شکل (۶ ــ ۱۳) داریم:

$E_1 = 220\ \text{V}, N_1 = 400, N_X = 200, N_Y = 100, N_Z = 1000, R = 10\ \Omega,$

$X_L = 2\ \Omega$, and $X_C = 50\ \Omega$ –



شکل ۶ ــ ۱۳

POWEREN.IR

POWEREN.IR

مطلوبست :

الف : I_X

ب : I_Y

ج : I_Z

د : I_1

هـ : ضریب توان ترانسفورماتور

و : ولت آمپر مورد نیاز درسیم پیچ Z

۳۷ ــ در شکل (۶ ــ ۱۳) داریم :

$E_1 = 32$ V, $R = \infty$ (open circuit), $X_L = 1\ \Omega$, and $X_C = 100\ \Omega$.

تعداد دورها را مطابق مساله ۳۶ بگیرید . مطلوبست :

الف : جریان اولیه

ب : ضریب توان ترانسفورماتور

۳۸ ــ در شکل (۶ ــ ۱۳) داریم :

$E_1 = 120$ V, $N_1 = 100$, $N_X = 50$, $N_Y = 1000$, $N_Z = 500$, $R = 2\ \Omega$,

$X_L = 1200\ \Omega$, and $X_C = 150\ \Omega$

مطلوبست :

الف : I_X

ب : I_Y

ج : I_Z

د : ولت آمپر مورد نیاز در سیم پیچ اولیه

هـ : ولت آمپر مورد نیاز در سیم پیچ Y

۳۹ ــ یک ترانسفورماتور تکفاز ۱۲۰/۲۴۰ ولتی ، ۶کیلوولت آمپری مفروض است . می خواهیم از آن یک اتو ترانسفورماتور ۱۲۰/۳۶۰ ولتی بسازیم ، شمار مداری را رسم کنید و مقادیر زیر را در شرایط اسمی بیابید .

الف : جریان اولیه اتو ترانسفورماتور

ب : جریان ثانویه اتو ترانسفورماتور

ج : کیلو ولت آمپر اتو ترانسفورماتور

۴۰ ــ یک ترانسفورماتور تکفاز ۲۴۰/۲۸ ولتی ، یک کیلوولت آمپری مفروض است . می خواهیم از آن یک اتو ترانسفورماتور ۲۱۲/۲۸ ولتی بسازیم . شمای مداری را رسم کنید و مقادیر زیر را در شرایط اسمی حساب کنید .

الف : جریان اولیه اتو ترانسفورماتور

POWEREN.IR

POWEREN.IR

ب: جریان ثانویه اتو ترانسفورماتور

ج: کیلو ولت آمپر اتو ترانسفورماتور

۴۱ ــ یک ترانسفورماتور تکفاز ۱۱۰/۴۴۰ ولتی، ۵۰ کیلو ولت آمپری مفروض است، می‌خواهیم از آن یک اتو ترانسفورماتور ۴۴۰/۵۵۰ ولتی بسازیم. شمای مداری را رسم کنید و مقادیر زیر را در شرایط اسمی حساب کنید.

الف: جریان اولیه اتو ترانسفورماتور

ب: جریان ثانویه اتو ترانسفورماتور

ج: کیلو ولت آمپر اتو ترانسفورماتور

۴۲ ــ در مساله ۴۱ چه مقدار کیلوولت آمپر توسط عمل القاء و چه مقدار توسط عمل هدایت به مصرف کننده منتقل می‌شود

۴۳ ــ یک ترانسفورماتور تکفاز ۲۲۰/۱۰ ولتی، ۵ کیلو ولت آمپری مفروض است و از آن یک اتو ترانسفورماتور ۲۲۰/۲۳۰ ولتی می‌سازیم. مطلوبست:

الف: کیلو ولت آمپر اسمی

ب: چه مقدار از کیلو ولت آمپر اسمی به عمل هدایت مربوط می‌شود

ج: چه مقدار از کیلو ولت آمپر اسمی به عمل القاء مربوط می‌گردد.

۴۴ ــ یک ترانسفورماتور تکفاز ۱۱۰/۲۳۰ ولتی ۲۰ کیلو ولت آمپری مفروض است و از آن برای ساخت اتو ترانسفورماتور ۲۳۰/۱۲۰ ولتی استفاده می‌شود. شمای مداری را رسم کنید و مقادیر زیر را در شرایط بار اسمی بیابید.

الف: جریان اسمی اولیه اتو ترانسفورماتور

ب: جریان اسمی ثانویه اتو ترانسفورماتور

ج: کیلو ولت آمپر اسمی اتو ترانسفورماتور

۴۵ ــ در اتو ترانسفورماتور مساله ۴۴ چه مقدار از کیلو ولت آمپر اسمی به عمل القاء و چه مقدار به عمل هدایت مربوط می‌گردد.

۴۶ ــ یک ترانسفورماتور تکفاز مفروض است در آزمایش مدار باز (بی‌باری) وات متر عدد ۱۸۰ وات را نشان می‌دهد، در آزمایش اتصال کوتاه واتمتر ۲۳۰ وات را می‌خواند. راندمان ترانسفورماتور را در شرایط زیر حساب کنید.

الف: نصف بار اسمی و ضریب توان ۰/۷ پس فاز

ب: بار اسمی و ضریب توان واحد

ج: ۱۲۵ % بار اسمی و ضریب توان ۰/۸ پس فاز

۴۷ ــ یک سیستم سه فاز ۱۲۰ ولتی توانی معادل ۶۰ کیلو ولت آمپر را به بار متعادل مثلثی (Δ) تحویل می‌دهد. مطلوبست:

POWEREN.IR

POWEREN.IR

الف: ولتاژ خط در محل مصرف کننده (بار)

ب: جریان خط در محل مصرف‌کننده (بار)

ج: ولتاژ فاز در محل مصرف کننده

د: جریان فاز در محل مصرف کننده

۴۸ ــ مساله ۴۷ را تکرار کنید. این بار مصرف کننده را، از نوع ستاره (Y) بگیرید.

۴۹ ــ یک سیستم سه‌فاز ۶۰۰ولتی توانی معادل ۱۰ کیلو ولت آمپر را به بار متعادل مثلثی (Δ) تحویل می‌دهد مطلوبست:

الف: ولتاژ خط برای بار

ب: جریان خط برای مصرف کننده

ج: ولتاژ فاز برای بار

د: جریان فاز برای مصرف کننده

۵۰ ــ مساله ۴۹ را تکرار کنید ولی این بار مصرف کننده را از نوع ستاره (Y) بگیرید.

۵۱ ــ یک کارگاه صنعتی توانی معادل ۲۵ کیلو ولت آمپر را تحت ضریب توان ۰/۸۵ پس فاز از شبکه ۲۳۰ ولتی سه فاز دریافت می‌دارد مطلوبست:

الف: جریان خط برای این کارگاه

ب: توان حقیقی (اکتیو) وارده به این کارگاه

ج: توان راکتیو تغذیه شده به این‌کارگاه

۵۲ ــ مساله ۵۱ را تکرار کنید، اینبار ضریب توان را واحد بگیرید.

۵۳ ــ یک کارخانه توانی معادل ۳۰ کیلو وات را تحت ضریب توان ۰/۸ پس فاز از شبکه ۴۰۰ ولتی سه فاز دریافت می‌دارد مطلوبست:

الف: توان ظاهری طلب شده توسط کارخانه

ب: جریان خط برای این‌کارخانه

ج: توان راکتیوی که کارخانه از شبکه می‌کشد

۵۴ ــ مساله ۵۳ را تکرار کنید. این دفعه ضریب توان را واحد بگیرید.

۵۵ ــ یک ترانسفورماتور سه فاز با مشخصات زیر مفروض است و یک بار متعادل را تغذیه می‌کند.

ولت ۱۳۲۰۰ = ولتاژ اسمی اولیه

ولت ۴۰۰ = ولتاژ اسمی ثانویه

Δ-Δ = نوع اتصالات سیم پیچ‌ها

کیلوولت آمپر ۶۰ = توان اسمی

مطلوبست.

POWEREN.IR

POWEREN.IR

الف: نسبت تبدیل ترانسفورماتور

ب: جریان خط در طرف فشار قوی

ج: جریان‌خط در طرف فشار ضعیف

د: جریان فاز در طرف فشار قوی

هـ: جریان فاز در طرف فشار ضعیف

۵۶ ــ مساله ۵۵ را تکرار کنید. این دفعه نحوه اتصال ترانسفورماتور را Y-Δ در نظر بگیرید.

۵۷ ــ یک ترانسفورماتور سه فاز با مشخصات زیر مفروض است و یک بار متعادل اسمی را تغذیه می‌کند.

ولت ۴۸۰ = ولتاژ اسمی اولیه

ولت ۱۳۲۰۰ = ولتاژ اسمی ثانویه

ولت آمپر ۲۵۰۰۰ = توان اسمی

Y-Y = نوع اتصال سیم پیچها

مطلوبست:

الف: جریان خط در طرف فشار قوی

ب: جریان خط در طرف فشار ضعیف

ج: جریان فاز در طرف فشار قوی

د: جریان فاز در طرف فشار ضعیف

هـ: نسبت تبدیل ترانسفورماتور

۵۸ ــ مساله ۵۷ را تکرار کنید. این بار نحوه اتصالات سیم پیچها را Δ-Y بگیرید.

۵۹ ــ از سه عدد ترانسفورماتور تکفاز استفاده کرده و یک ترانسفورماتور سه‌فاز بصورت Y-Δ می‌سازیم و از آن در سیستم سه فاز ۴۰۰ کیلو ولت به ۲۴ کیلو ولت استفاده می‌نمائیم. بار این ترانسفورماتور سه فاز ۳۵۰ مگاولت آمپر است. مطلوبست.

الف: نسبت تبدیل ترانسفورماتور

ب: جریان اولیه

ج: جریان ثانویه

۶۰ ــ مساله ۵۹ را تکرار کنید این بار نحوه اتصالات را "Δ-Y" بگیرید.

۶۱ ــ یک ترانسفورماتور سه فاز بار متعادل ۵۰ کیلو واتی را تحت ولتاژ ۲۱۰ ولت تغذیه می‌کند. ضریب توان بار ۰/۹ پس فاز بوده و اتصالات بصورت Y-Δ می‌باشد. اگر ولتاژ شبکه تغذیه که به اولیه ترانسفورماتور وصل می‌گردد. ۶۰۰ ولت باشد مطلوبست:

الف: جریان خط در طرف فشار قوی

POWEREN.IR

POWEREN.IR

ب : جریان خط در طرف فشار ضعیف

ج : نسبت تبدیل ترانسفورماتور

۶۲ ــ یک ترانسفورماتور سه‌فاز ولتاژ ۱۵۰ ولت را به ولتاژ ۲۶۰۰ ولت تبدیل‌کرده و توانی معادل ۵ مگاولت آمپر تحویل می‌دهد . مطلوبست محاسبات زیر شروط بر آنکه نحوه اتصالات این ترانسفورماتور Δ-Y باشد .

الف : جریان سیم پیچ‌های اولیه

ب : جریان سیم پیچ‌های‌ثانویه

ج : ولتاژ سیم پیچ‌های اولیه

د : ولتاژ سیم پیچ‌های‌ثانویه

۶۳ ــ مساله ۶۲ را تکرار کنید این بار نحوه اتصالات را " Y-Δ. " بگیرید .

۶۴ ــ دو ترانسفورماتور تکفاز ۱۲۰/۳۳۰ ولتی ، ۲۰ کیلو ولت آمپری بصورت مثلث باز بسته شده‌اند . مطلوبست :

الف : جریان اسمی اولیه

ب : جریان اسمی ثانویه

ج : کل کیلو وات آمپری که می‌تواند این مجموعه ارائه دهد

د : اگر ترانسفورماتور تکفاز دیگری این مجموعه را بصورت Δ-Δ درآورد ، کیلو ولت آمپری که مجموعه جدید می‌تواند ارائه دهد چیست .

۶۵ ــ یک ترانسفورماتور سه فاز " Δ- Δ" مفروض است . و ولتاژ ۴۸۰ ولت را به ۲۴۰ ولت تبدیل می‌کند و در این حالت ۵۰ کیلو ولت آمپر می‌تواند براحتی تامین نماید . حال اگر این ترانسفورماتورها بصورت مثلث باز مورد بهره برداری قرار گیرد ، چه مقدار کیلو ولت آمپر می‌تواند تامین نماید ، مشروط بر آنکه شرایط اسمی سیم پیچ‌ها نقض نگردد .

سیستم (ENG)

۶۶ ــ یک ترانسفورماتور تکفاز مربوط به هواپیما موجود است و مشخصات آن بقرار زیر می‌باشد .

ولت ۲۸ = ولتاژ اسمی اولیه

دور ۲۰۰ = تعداد دور سیم پیچ اولیه

هرتز ۴۰۰ = فرکانس اسمی

مطلوبست :

الف : حداکثر شار متقابل در هسته این ترانسفورماتور

ب : اگر فرکانس ۶۰ هرتز باشد ، فرض الف را تکرار کنید

POWEREN.IR

POWEREN.IR

۶۷ ــ یک ترانسفورماتور تکفاز ۱۱۵/۲۵ ولتی ، ۶۰ هرتزی در دست ساخت می‌باشد . میخواهیم حداکثر شار متقابل ۲۵۰ (Kiloline) باشد مطلوبست :

الف : تعداد دور سیم پیچ اولیه

ب : تعداد دور سیم پیچ ثانویه

۶۸ ــ یک ترانسفورماتور تکفاز ۲۸/۱۲۰ ولتی مفروض است و تعداد دور اولیه آن ۷۰ دور می‌باشد . هسته این ترانسفورماتور از ماده‌ایست که حداکثر چگالی شار آن 120 kilolines/in² می‌باشد . مطلوبست محاسبه حداقل سطح مقطع برای این هسته در شرایط زیر

الف : فرکانس ۶۰ هرتز

ب : فرکانس ۴۰۰ هرتز

۶۹ ــ یک ترانسفورماتور تکفاز ۲۸/۱۴ ولتی ، ۴۰۰ هرتزی در دست ساخت بوده و تعداد دور سیم پیچ ثانویه آن ۲۰۰ می‌باشد . اگر سطح مقطع هسته ۵ اینچ مربع باشد . حداکثر چگالی شار مورد نیاز برای این هسته را بیابید .

۷۰ ــ مساله ۶۹ را تکرار کنید . این دفعه فرکانس را ۶۰ هرتز بگیرید .

سیستم (SI)

۷۱ ــ یک ترانسفورماتور تکفاز که در هواپیما مورد استفاده قرار می‌گیرد دارای مشخصات زیر است .

ولت ۲۸ = ولتاژ اسمی اولیه

دور ۳۲۰ = تعداد دور سیم پیچ اولیه

هرتز ۴۰۰ = فرکانس اسمی

مطلوبست :

الف : حداکثر شار متقابل در هسته ترانسفورماتور

ب : اگر فرکانس ۵۰ هرتز باشد فرض الف را تکرار کنید

۷۲ ــ یک ترانسفورماتور تکفاز ۲۳۰/۲۵ ولتی ، ۵۰ هرتزی در دست ساخت می‌باشد . اگر بخواهیم حداکثر شار متقابل هسته ۰/۰۰۳ و برگردد مطلوبست .

الف : تعداد دور سیم پیچ اولیه

ب : تعداد دور سیم پیچ ثانویه

۷۳ ــ یک ترانسفورماتور تکفاز مطابق مشخصات ذیل مفروض است

ولت ۲۸ = ولتاژ اولیه

ولت ۲۳۰ = ولتاژ ثانویه

POWEREN.IR

دور ۵۰ = تعداد دور سیم پیچ اولیه

تسلا ۲ = حداکثر چگالی شار هسته

سطح مقطع می‌نیمم هسته را در شرایط زیر حساب کنید

الف: فرکانس ۵۰ هرتز

ب: فرکانس ۴۰۰ هرتز

۷۴ ــ یک ترانسفورماتور تکفاز با مشخصات زیر در دست ساخت می‌باشد

ولت ۲۸ = ولتاژ اولیه

ولت ۷ = ولتاژ ثانویه

دور ۱۵۰ = تعداد دور ثانویه

متر مربع ۰/۰۰۰۳۵ = سطح مقطع هسته

هرتز ۴۰۰ = فرکانس اسمی

مطلوبست محاسبه چگالی شار ماکزیمم مورد نیاز هسته

۷۵ ــ مساله ۷۴ را تکرار کنید. این دفعه فرکانس را ۵۰ هرتز بگیرید.

POWEREN.IR

POWEREN.IR

۳ ــ ۱۳ سئوالات فصل هشتم

۱ ــ فرق اساسی بین ژنراتورهای سنکرون و ژنراتورهای DC چیست و امتیازات ژنراتورهای سنکرون را بیان کنید .

۲ ــ عبارات زیر را تعریف کنید

الف: تحریک کننده (اکسایتر)

ب: راکتانس سنکرون

ج: امپدانس سنکرون

د: رتور

هـ: استاتور

۳ ــ در چه موقعی راندمان ماکزیمم در ژنراتور سنکرون رخ می‌دهد

۴ ــ تلفات ثابت در ژنراتور سنکرون چیست و تلفات متغیر کدامند .

۵ ــ منحنی اشباع در حالت بی‌باری در ژنراتورهای سنکرون چیست .

۶ ــ ولتاژ اسمی از چه قسمتی از منحنی اشباع در حالت بی‌باری بدست می‌آید .

۷ ــ منحنی بار در ژنراتور سنکرون چیست .

۴ ــ ۱۳ مسائل فصل هفتم

سیستم(ENG)

۱ ــ ژنراتورهای سنکرون زیر را تحت چه سرعتی بچرخانیم تا همکی ولتاژی ۶۰ هرتزی ایجاد کنند

الف: ژنراتور ۴ قطبی

ب: ژنراتور ۶ قطبی

ج: ژنراتور ۱۲ قطبی

د: ژنراتور ۳۶ قطبی

۲ ــ در یک‌ژنراتور سنکرون ولتاژ ۴۰۰ هرتزی پدیدار می‌شود . این فرکانس موقعی بدست می‌آید که ژنراتور باسرعت ۲۶۷۰ دور در دقیقه چرخانده شود . تعداد قطبهای ژنراتور

POWEREN.IR

POWEREN.IR

را حساب کنید .

۳ ــ یک ژنراتور سنکرون تکفاز با مشخصات زیر مفروض است .

ولت ۱۲۰ = ولتاژ تولید شده در ماشین

هرتز ۶۰ = فرکانس ولتاژ

دور ۸۰۰ = کل تعداد دور سیم پیچ استاتور

شار هر قطب را بدست آورید .

۴ ــ یک ژنراتور سنکرون تکفاز با مشخصات زیر مفروض است

ولت ۲۸ = ولتاژ تولید شده در ماشین

هرتز ۴۰۰= فرکانس ولتاژ

دور ۳۶۰= کل تعداد دور سیم پیچ استاتور

شار هر قطب را بیابید

۵ ــ مساله ۴ را تکرار کنید . اینبار ژنراتور را سه فاز بگیرید و ولتاژ ۲۸ ولت را مربوط به ولتاژ خط بدانید . نوع اتصال سیم پیچ‌های استاتور ستاره می‌باشد .

۶ ــ یک ژنراتور سنکرون هشت قطبی تحت سرعت ۹۰۰ دور در دقیقه می‌چرخد . تعداد دور سیم پیچ استاتور ۶۴۰ دور بوده وشار هر قطب ۶۰۰۰۰ ماکسول می‌باشد . ولتاژ تولید شده در ماشین را حساب کنید .

۷ ــ فرکانس یک ژنراتور سنکرون ، ۶۰ هرتز می‌باشد . تعداد دور سیم پیچ استاتور ۲۴۰ دور بوده‌وشارهرقطب ۱۱۰۰۰۰ ماکسول می‌باشد . ولتاژ تولید شده در ماشین را حساب کنید .

سیستم (SI)

۸ ــ اگر بخواهیم فرکانس‌ولتاژتولید شده توسط ژنراتورهای سنکرون زیر ۵۰ هرتز باشد ، آنها را باید با چه سرعتی بچرخانیم .

الف : ژنراتور دو قطبی

ب : ژنراتور قطبی

ج : ژنراتور ۱۶قطبی

د : ژنراتور ۳۶ قطبی

۹ ــ اگر ژنراتور سنکرون تحت سرعت ۴۲۰ رادیان بر ثانیه بچرخد فرکانس ولتاژ تولید شده ۵۰ هرتز خواهد بود . تعداد قطبهای این ژنراتور را بدست آورید .

۱۰ ــ یک ژنراتور سنکرون تکفاز با مشخصات زیر مفروض است

ولت ۲۳۰ = ولتاژ تولید شده در ماشین

POWEREN.IR

POWEREN.IR

هرتز ۵۰ = فرکانس ولتاژ

دور ۶۰۰= تعداد کل دور سیم پیچ استاتور

شار هر قطب را حساب کنید

۱۱ ــ یک ژنراتور سنکرون تکفاز بامشخصات زیر مفروض است

ولت ۲۸ = ولتاژ تولید شده در ماشین

هرتز ۴۰۰= فرکانس ولتاژ

دور ۲۴۰ = تعداد کل دور سیم پیچ استاتور

شار هر قطب را بدست آورید

۱۲ ــ مساله ۱۱ را تکرار کنید . اینبار ژنراتور را سه فاز با اتصال ستاره در نظر بگیرید و ۲۸ ولت را ولتاژ خط بدانید .

۱۳ ــ یک ژنراتور سنکرون ۶ قطبی را با سرعت ۴۰ رادیان بر ثانیه می‌چرخانیم . شار هر قطب ۰/۰۰۰۷۵ وبر بوده و تعداد دور سیم پیچ استاتور ۶۰۰ دور می‌باشد . ولتاژ تولید شده در ماشین راحساب کنید .

۱۴ ــ در یک ژنراتور سنکرون فرکانس ۵۰ هرتز پدیدار می‌شود . اگر شار هر قطب ۰/۰۰۱۲ وبر بوده و تعداد دور سیم پیچ استاتور ۴۰۰ دور باشد ، ولتاژ تولید شده در ماشین را بدست آورید .

سیستم (ENG و SI)

۱۵ ــ مشخصات اسمی یک ژنراتور سنکرون سه فاز بقرار زیر است

ولت ۲۳۰ = ولتاژ اسمی ترمینال (ولتاژ خط)

کیلو ولت آمپر ۲۰= توان اسمی

جریان اسمی ژنراتور را بیابید (جریان خط) .

۱۶ ــ مساله ۱۵ را تکرار کنید ولی اینبار ولتاژاسمی را ۲۰۸ ولت وتوان اسمی را ۵۰ کیلو ولت آمپر بگیرید .

۱۷ ــ یک ژنراتور سنکرون سه فاز با مشخصات زیر مفروض است

ولت ۲۴۰ = ولتاژ اسمی ترمینال (ولتاژ خط)

کیلو ولت آمپر ۱۰= توان اسمی

اتصال ستاره (Y) = نوع اتصال استاتور

با آن آزمایشهای مقاومت ، مدار باز و اتصال کوتاه انجام می‌دهیم و نتایج زیر بدست می‌آید .

Resistance test: $V = 4$ V, $I = 20$ A

Short-circuit test: I_L = rated current $I_f = 19$ A

Open-circuit test: $I_f = 19$ A $V = 85$ V

POWEREN.IR

POWEREN.IR

مطلوبست

الف: مقاومت هر فاز این ژنراتور

ب: راکتانس سنکرون هر فاز این الترناتور

ج: امپدانس سنکرون این ماشین (مربوط به هر فاز)

۱۸ ــ یک ژنراتور سنکرون سه فاز با مشخصات زیر مفروض است

ولت ۲۳۰ = ولتاژ اسمی ترمینال (ولتاژ خط)

کیلو ولت‌آمپر ۳۰ = توان اسمی

اتصال مثلث (Δ) = نوع اتصال استاتور

با آن آزمایشهای مقاومت، مدار باز و اتصال کوتاه انجام می‌دهیم ونتایج زیر حاصل می‌شود.

Short-circuit test: I_L = rated current

$I_f = 23$ A

Open-circuit test: $I_f = 23$ A

$V = 65$ V

Resistance test: $V = 3.6$ V, $I = 28$ A

مطلوبست:

الف: مقاومت هر فاز در این ژنراتور

ب: راکتانس سنکرون هر فاز در این الترناتور

ج: امپدانس سنکرون در این ماشین (مربوط به هر فاز)

۱۹ ــ یک ژنراتور سنکرون سه‌فاز با مشخصات زیر مفروض است

ولت ۶۰۰ = ولتاژ اسمی ترمینال (ولتاژ خط)

کیلو ولت آمپر ۵۰ = توان اسمی

اتصال ستاره (Y) = طرز اتصال استاتور

اهم ۰/۲ = مقاومت هر فاز استاتور

اهم ۱/۹ = راکتانس سنکرون هر فاز

این ژنراتور بار اسمی را تحت ضریب توانهای ذیل تغذیه می‌کند. در هر حالت تنظیم ولتاژ را بدست آورید.

الف: ضریب توان واحد

ب: ضریب توان ۰/۸ پس فاز

ج: ضریب توان ۰/۸۵ پیش فاز

د: در فرض الف ولتاژ بی‌باری را بدست آورید (ولتاژ خط)

۲۰ ــ مساله ۱۹ را تکرار کنید. این دفعه اتصال استاتور را از نوع مثلث (Δ) بگیرید.

۲۱ ــ یک ژنراتور سنکرون سه فاز با مشخصات زیر مفروض است

POWEREN.IR

POWEREN.IR

ولت ۲۴۰ = ولتاژ اسمی ترمینال (ولتاژ خط)

کیلو ولت آمپر ۲ = توان اسمی

اتصال ستاره (Y) = طرز اتصال استاتور

اهم ۰/۱۲ = مقاومت هر فاز استاتور

اهم ۰/۹ = راکتانس سنکرون هر فاز

این ژنراتور بار اسمی را تحت ضریب توانهای ذیل تغذیه می‌کند . ولتاژ تولید شده در ماشین را در هر یک از حالات زیر حساب کنید .

الف: ضریب توان واحد

ب: ضریب توان ۰/۷ پس فاز

۲۲ ــ مساله ۲۱ راتکرار کنید . این دفعه اتصال استاتور را مثلث (Δ) بگیرید .

۲۳ ــ یک ژنراتور سنکرون سه فاز با مشخصات زیر مفروض است

کیلو ولت ۱۳/۲ = ولتاژ اسمی ترمینال (ولتاژ خط)

مگا ولت آمپر ۱ = توان اسمی

اتصال مثلث (Δ) = طرز اتصال استاتور

اهم ۰/۱۶ = مقاومت هر فاز استاتور

۰/۹ = راکتانس سنکرون در هر فاز

این ژنراتور بار اسمی را تحت شرایط زیر تغذیه می‌کند تنظیم ولتاژ را در هر حالت حساب کنید .

الف: ضریب توان واحد

ب: ضریب توان ۰/۷ پس فاز

ج: ضریب توان ۰/۹ پیش فاز

۲۴ ــ مساله ۲۳ را تکرار کنید . این دفعه اتصال استاتور را از نوع ستاره (Y) بگیرید .

Meter	Test 1	Test 2	Test 3
V_{dc} (V)	120	120	120
I_{dc} (A)	1.8	3.8	4.5
V_t (V)	0	8.4	2.5
I_t (A)	0	9.6	2.8
E_{ab} (V)	≈0	270	0
I_1 (A)	0	0	25
I_2 (A)	0	0	24
I_3 (A)	0	0	24.1

جدول ۳ ــ ۱۳

POWEREN.IR

POWEREN.IR

۲۵ ــ یک ژنراتور سنکرون سه فاز ۲۴۰ ولتی و ۱۰ کیلو ولت آمپری مطابق شکل (۹ ــ ۸) در فصل هشتم مورد آزمایش قرار می‌گیرد تا تلفات آن محاسبه شود. نتایج آزمایشها مطابق جدول (۳ــ۱۳) می‌باشد و تمامی نتایج بر اساس سرعت اسمی درج گردیده است. اگر راندمان موتور DC ثابت و معادل ۸۰% فرخی شود، راندمان الترناتور را در تحت شرایط زیر بیابید.

الف: بار اسمی و ضریب توان واحد

ب: بار اسمی و ضریب توان ۷% پس فاز

ج: نصف بار اسمی و ضریب توان ۷% پس فاز

۲۶ ــ در مساله ۲۵ درصدی از بار اسمی را بیابید که در آن راندمان ماکزیمم رخ دهد.

۲۷ ــ یک ژنراتور سنکرون سه فاز با مشخصات زیر مفروض است

ولت ۶۶۰ = ولتاژ اسمی ترمینال (ولتاژ خط)

کیلو ولت آمپر ۵۰ = توان اسمی

برای تعیین تلفات آن از آزمایش مطابق شکل (۹ ــ ۸) در فصل هشتم استفاده می‌شود ونتایجی مطابق جدول (۴ ــ ۱۳) بدست می‌آید. اعداد این جدول بر اساس سرعت اسمی درج شده‌اند. اگر راندمان موتور DC معادل ۸۵% و ثابت فرض شود، راندمان ژنراتور را در شرایط زیر بیابید.

الف: بار اسمی و ضریب توان واحد

ب: بار اسمی و ضریب توان ۰/۸ پس فاز

ج: نصف بار اسمی و ضریب توان واحد

د: یک چهارم بار اسمی و ضریب توان ۰/۷ پس فاز

Meter	Test 1	Test 2	Test 3
V_{dc} (V)	230	230	230
I_{dc} (A)	10	19	25
V_f (V)	0	38	14
I_f (A)	0	11	4
E_{ul} (V)	≈0	730	0
I_1 (A)	0	0	42
I_2 (A)	0	0	44
I_3 (A)	0	0	45

حدول ۴ ــ ۱۳

۲۸ ــ در چه درصدی از بار اسمی راندمان ماکزیمم برای ژنراتور مساله ۲۷ رخ می‌دهد.

۲۹ ــ منحنی بار یک ژنراتور سنکرون سه فاز مطابق شکل (۷ ــ ۱۳) می‌باشد (منحنی

POWEREN.IR

POWEREN.IR

a) . مشخصات ژنراتور بقرار زیر است .

ولت ۲۳۰ = ولتاژ اسمی ترمینال (ولتاژ خط)

کیلو ولت آمپر ۱۰ = توان اسمی

مطلوبست :

الف : جریان اسمی ماشین

ب : درصد تنظیم ولتاژ در ژنراتور

۳۰ ــ منحنی باریک ژنراتور سنکرون سه‌فاز مطابق شکل (۷ ــ ۱۳) می‌باشد (منحنی b) .

مشخصات ژنراتور بقرار زیر است ،

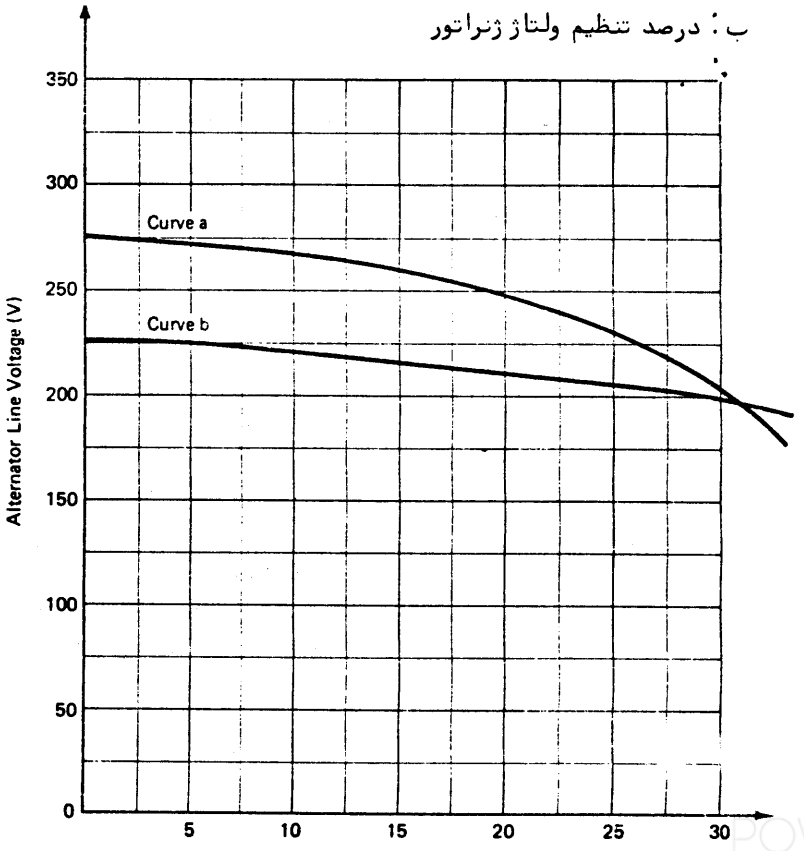
ولت ۲۱۰ = ولتاژ اسمی ترمینال (ولتاژ خط)

کیلو ولت آمپر ۷/۸ = توان اسمی

مطلوبست :

الف : جریان اسمی ماشین

ب : درصد تنظیم ولتاژ ژنراتور



شکل ۷ ــ ۱۳

POWEREN.IR

POWEREN.IR

۵ ــ ۱۳ سئوالات مربوط به فصل نهم

۱ ــ عبارات زیر را تعریف کنید

الف: رتور قفس سنجابی

ب: رتور قفس سنجابی مضاعف

ج: رتور سیم پیچی شده

د: رئوستای حلقه‌های لغزان

۲ ــ سرعت میدان گردنده استاتور چیست. آیا سرعت محور رتور در موتورهای القائی با سرعت میدان گردنده برابر است.

۳ ــ منظور از رتور قفل شده یا بلوکه شده چیست.

۴ ــ چرا به موتورهای القائی لفظ اسنکرون نیز اتلاق می‌گردد

۵ ــ لغزش چیست و آیا همان تنظیم سرعت معنی می‌دهد

۶ ــ در چه موقع فرکانس جریان رتور با فرکانس منبع تغذیه برابر است. آیا فرکانس جریان رتور صفر می‌شود.

۷ ــ منظور از عبارت pull-out چیست.

۸ ــ روشهای راه اندازی موتورهای القائی را بیان کنید.

۹ ــ در تحت بار مفروض مقاومت رتور را افزایش می‌دهیم

الف: سرعت رتور چگونه تغیر می‌کند

ب: سرعت رتور در حالت pull-out چگونه تغییر می‌نماید

ج: گشتاور راه انداز چگونه عوض می‌شود

د: گشتاور در حالت 'pull-out' چگونه تغییر می‌یابد.

۶ ــ ۱۳ مسائل فصل نهم

سیستم (ENG)

۱ ــ یک موتور القائی سه فاز، ۶۰ هرتزی مفروض است.

سرعت سنکرون را برای این موتور در حالات زیر حساب کنید

POWEREN.IR

POWEREN.IR

الف: موتور دو قطبی

ب: موتور ۴ قطبی

ج: موتور ۸ قطبی

د: موتور ۱۲ قطبی

هـ: موتور ۳۲ قطبی

۲ ــ یک موتور القائی سه فاز با مشخصات زیر مفروض است

اسب بخار ۱ = توان اسمی

ولت ۲۴۰ = ولتاژ اسمی ترمینال (ولتاژ خط)

هرتز ۶۰ = فرکانس منبع تغذیه

دور در دقیقه ۱۱۰۰ = سرعت موتور

این موتور چند قطبی است

۳ ــ یک موتور اسنکرون سه فاز با مشخصات زیر مفروض است.

ولت ۲۵۰ = ولتاژ اسمی ترمینال

اسب بخار ۵ = توان اسمی

هرتز ۶۰ = فرکانس منبع تغذیه

هرگاه ولتاژ اسمی به موتور اعمال شود گشتاور راه انداز معادل ۳۰ فوت ــ پوند " خواهد بود. مطلوبست.

الف: گشتاور راه انداز در صورتیکه ولتاژ منبع به ۲۳۰ ولت کاهش یابد.

ب: اگر بخواهیم گشتاور راه انداز ۳۵ "فوت پوند" گردد چه ولتاژی باید به موتور اعمال کنیم.

۴ ــ موتور مساله ۳ را در نظر می‌گیریم. اگر این موتور از شبکه ۱۲ آمپر تحت ضریب توان ۰/۸۵ بکشد، راندمان موتور را بدست آورید.

یک موتور اسنکرون سه فاز با مشخصات زیر مفروض است

ولت ۲۱۰ = ولتاژ اسمی ترمینال

اسب بخار ۲ = توان اسمی

هرتز ۶۰ = فرکانس منبع تغذیه

دور در دقیقه ۵۵۰ = سرعت در بار اسمی

"فوت ــ پوند" ۲۵ = گشتاور راه انداز

الف: گشتاور خروجی در بار اسمی چیست

ب: اگر ولتاژ ماشین به ۲۳۰ ولت افزایش یابد گشتاور راه انداز جدید چقدر می‌شود.

POWEREN.IR

۶ ــ در موتور مساله ۵ ، اگر ضریب توان موتور در بار اسمی ۰/۹ پس فاز و راندمان موتور در بار کامل ۰/۸۲ فرض شوند ، جریانی را که موتور از شبکه در شرایط اسمی می‌کشد پیدا کنید .

۷ ــ یک موتور اسنکرون سه فاز با مشخصات زیر مفروض است .

۸ = تعداد قطبها

ولت ۲۴۰ = ولتاژ اسمی ترمینال (ولتاژ خط)

اسب بخار ۵ = توان اسمی

هرتز ۶۰ = فرکانس منبع تغذیه

دوردردقیقه ۷۹۰ = سرعت موتور در بار اسمی

۰/۰۱ = لغزش موتور در بی‌باری

مطلوبست :

الف : لغزش موتور در بار اسمی (بر حسب درصد)

ب : سرعت موتور در بی‌باری

۸ ــ یک موتور القائی سه فاز ، ۶۰ هرتزی مفروض است و سرعت آن در بار اسمی ۴۰۰ دور در دقیقه میباشد . مطلوبست محاسبه لغزش در شرایط اسمی

الف : بر حسب دور در دقیقه

ب : بر حسب درصد

ج : بصورت عددی اعشاری

۹ ــ یک موتور القائی سه فاز ، ۶۰ هرتزی مفروض است و سرعت آن ۱۷۲۰ دور در دقیقه می‌باشد . اگر بار موتور را زیاد کنیم لغزش دو برابر می‌شود . درینصورت سرعت جدید موتور را بیابید .

۱۰ ــ یک موتور اسنکرون سه فاز ، ۵۰ هرتزی مفروض است و سرعت آن در بی‌باری ۱۴۹۰ دور در دقیقه می‌باشد . اگر لغزش آن در بار اسمی ۷% باشد ، مطلوبست :

الف : تعداد قطبها در این ماشین

ب : سرعت ماشین در بار اسمی

۱۱ ــ یک موتور القائی سه فاز ، ۶۰ هرتزی ، ۱۲ قطبی مفروض است و لغزش آن در بار اسمی ۶% می‌باشد .

سرعت آنرا در بار اسمی حساب کنید .

۱۲ ــ یک موتور القائی سه فاز ، ۶۰ هرتزی ، ۸ قطبی مفروض است و سرعت آن در بی‌باری ۸۹۵ دور در دقیقه می‌باشد . اگر سرعت آن در بار اسمی ۸۳۰ دور در دقیقه باشد .

مطلوبست :

POWEREN.IR

POWEREN.IR

الف: لغزش در بار اسمی برحسب درصد

ب: تنظیم سرعت بر حسب درصد

۱۳ ــ یک موتور اسنکرون سه‌فاز، ۶۰ هرتزی چهار قطبی مفروض است و لغزش آن در بی‌باری ۰/۵ درصد می‌باشد. اگر لغزش آن در بار اسمی ۴% باشد درصد تنظیم سرعت موتور ــ را بیابید.

۱۴ ــ یک موتور اسنکرون سه‌فاز، ۶۰ هرتزی، ۲ قطبی مفروض است و لغزش آن در بی‌باری ۱۰۰ دور در دقیقه می‌باشد. اگر تنظیم سرعت آن ۱۲% باشد لغزش موتور را در بار اسمی بر حسب دور در دقیقه حساب کنید.

۱۵ ــ یک موتور اسنکرون سه فاز با مشخصات زیر مفروض است

هرتز ۶۰ = فرکانس منبع تغذیه

اهم ۰/۱ = مقاومت رتور (هر فاز)

اهم ۰/۴ = مقاومت رتور در حالت سکون (هر فاز)

مطلوبست:

الف: امپدانس رتور در حالت سکون.

ب: امپدانس رتور در لغزش ۱۰%

ج: امپدانس رتور در لغزش ۱%

۱۶ ــ یک موتور القائی سه فاز ۶۰ هرتزی مفروض است.

مطلوبست:

الف: فرکانس جریان استاتور

ب: فرکانس جریان رتور در حالت سکون

ج: فرکانس جریان رتور در لغزش ۵%

د: فرکانس جریان‌رتور در لغزش ۰/۵ درصد

۱۷ ــ یک موتور القائی سه فاز با مشخصات زیر مفروض است

۱۰ = تعداد قطبها

هرتز ۶۰ = فرکانس منبع تغذیه

دور در دقیقه ۶۶۰= سرعت در بار اسمی

الف: سرعت آنرا در نصف بار اسمی حساب کنید

ب: سرعت موتور در یک چهارم بار اسمی چیست

۱۸ ــ یک موتور اسنکرون سه فاز با مشخصات زیر مفروض است

۶ = تعداد قطبها

هرتز ۶۰ = فرکانس منبع تغذیه

POWEREN.IR

POWEREN.IR

دور در دقیقه ۱۱۴۰= سرعت در بار اسمی

اگر بار موتور را ۲۰٪ زیاد کنیم ، سرعت جدید موتور را بیابید

۱۹ ــ یک موتور القائی سه‌فاز با مشخصات زیر مفروض است

۴ = تعداد قطبها

هرتز ۶۰ = فرکانس منبع تغذیه

دور در دقیقه ۱۶۹۰= سرعت در بار اسمی

اگر بار موتور را کم کنیم سرعت آن به ۱۷۲۵ دور در دقیقه می‌رسد . بگویید بار جدید چند درصد بار اسمی می‌باشد .

۲۰ ــ یک موتور اسنکرون سه فاز با مشخصات زیر مفروض است

ولت ۲۰۸ = ولتاژ اسمی ترمینال (ولتاژ خط)

اسب بخار ۵ = توان اسمی

هرتز ۶۰ = فرکانس اسمی

دور در دقیقه ۸۳۰= سرعت در بار اسمی

اگر بار را کم کنیم سرعت به ۸۶۰ دور در دقیقه می‌رسد . مطلوبست

الف ؛ گشتاور اسمی موتور

ب : گشتاور بار در شرایط بار کم

ج : توان خروجی در شرایط بار کم

۲۱ ــ یک موتور القائی سه فاز با مشخصات زیر مفروض است

۴ = تعداد قطبها

هرتز ۶۰ = فرکانس منبع تغذیه

اسب بخار ۱۰ = توان اسمی

اهم ۰/۰۵ = مقاومت رتور در هر فاز

اهم ۰/۲۵ = راکتانس رتور در حالت سکون در هر فاز

مطلوبست :

الف : لغزش در حالت pull-out

ب : حداقل سرعت ماشین را بیابید که تحت آن بتواند به دوران ادامه دهد و بحالت سکون سوق داده نشود .

۲۲ ــ یک موتور اسنکرون سه فاز با مشخصات زیر مفروض است :

۶ = تعداد قطبها

هرتز ۶۰= فرکانس منبرتغذیه

اسب بخار ۵ = توان اسمی

POWEREN.IR

POWEREN.IR

دور در دقیقه ۱۱۲۰ = سرعت در بار اسمی

اهم ۰/۰۷ = مقاومت هر فاز رتور

اهم ۰/۳ = راکتانس هر فاز رتور در حالت سکون

مطلوبست :

الف : گشتاور خروجی در حالت بار اسمی

ب : گشتاور ماکزیمم .

راهنمائی : در فرض ب فرض کنید که گشتاور با لغزش در تمامی مراحل تا نقطه pull-out متناسب می‌باشد .

۲۳ ــ یک موتور القائی سه فاز با مشخصات زیر مفروض است

۴ = تعداد قطبها

هرتز ۶۰= فرکانس منبع تغذیه

سیم پیچی شده = نوع رتور

اهم ۰/۰۸ = مقاومت هر فاز رتور

اهم ۰/۳۵ = راکتانس هر فاز رتور در حالت سکون

دور در دقیقه ۱۷۰۰ = سرعت در بار اسمی

اهم ۰/۱۲ = مقاومت هر فاز مربوط به رئوستای حلقه لغزان

مطلوبست :

الف : سرعت موتور در حالت Pullout را حساب کنید . در اینحالت فرض می‌کنیم رئوستا در مدار نیست (مقاومت رئوستا صفر فرض شود) .

ب : سرعت موتور در حالت Pullout را بدست آورید . در این حالت رئوستا کاملا" در مدار است .

ج : در حالتی که رئوستا کاملا" در مدار است ، سرعت اسمی جدید ماشین را حساب کنید .

۲۴ ــ یک موتور اسنکرون سه فاز طبق مشخصات ذیل مفروض است

۱۲ = تعداد قطبها

هرتز ۶۰ = فرکانس منبع تغذیه

سیم پیچی شده = نوع رتور

اهم ۰/۰۳ = مقاومت هر فاز رتور

اهم ۰/۲ = راکتانس هر فاز رتور در حالت سکون

اگر رئوستا در مدار رتور نباشد ، مطلوبست :

الف : سرعت در حالت pull-out

POWEREN.IR

POWEREN.IR

ب : اگر بخواهیم سرعت در حالت pullout به ۳۵۰ دور در دقیقه برسد چه مقدار مقاومت باید توسط رئوستا به هر فاز رتور اضافه نمائیم .

۲۵ ــ یک موتور القائی سه فاز با مشخصات زیر مفروض است

۸ = تعداد قطبها

۶۰ = فرکانس منبع تغذیه هرتز

۲۴۰= ولتاژ اسمی ترمینال (ولتاژ خط) ولت

۱۰ = توان اسمی اسب بخار

۱۰ = جریان اسمی (جریان خط) آمپر

برای آنکه راندمان و تلفات آنرا در بار اسمی بدست آوریم آنرا مورد آزمایشهای مقاومت ، بی‌باری و بار اسمی قرار می‌دهیم و نتایج زیر بدست می‌آید .

Stator resistance test: $r_s = 0.5\ \Omega$

No-load test: $W_1 = 660$ W, $W_2 = -240$ W

$V_L = 240$ V, $I_L = 10$ A

Rated-load test: $W_1 = 5.2$ kW, $W_2 = 4.9$ kW

$V_L = 240$ V, $I_L = 28$ A

$S = 860$ rev/min

مطلوبست :

الف : راندمان موتور در بار اسمی

ب : ضریب توان موتور در بار اسمی

۲۶ ــ یک موتور القائی سه‌فاز ، ۶۰ هرتزی ، ۶ قطبی ، ۴ آمپری ، ۲۱۰ ولتی ، یک اسب بخاری را بخاطر تعیین تلفات و راندمان در شرایط اسمی مورد آزمایشهای مقاومت ، بی‌باری و بار اسمی قرار می‌دهیم و نتایج زیر بدست می‌آید .

Stator resistance test: $r_s = 1.0\ \Omega$

No-load test: $W_1 = 200$ W, $W_2 = -120$ W

$V_L = 210$ V, $I_L = 0.5$ A

Rated-load test: $W_1 = 580$ W, $W_2 = 550$ W

$V_L = 210$ V, $I_L = 3.5$ A

$S = 1120$ rev/min

مطلوبست :

الف : راندمان ماشین در شرایط اسمی

ب : ضریب توان موتور در شرایط اسمی

POWEREN.IR

سیستم (SI)

POWEREN.IR

۲۷ ــ یک موتور اسنکرون سه فاز ، ۵۰ هرتزی مفروض است . سرعت سنکرون مربوط به این موتور را در حالات زیر بدست آورید .

الف : موتور ۲ قطبی

ب : موتور ۴ قطبی

ج : موتور ۶ قطبی

د : موتور ۱۶ قطبی

هـ: موتور ۳۶ قطبی

۲۸ ــ یک موتور القائی سه فاز با مشخصات زیر مفروض است

ولت ۲۳۰ = ولتاژ اسمی ترمینال (ولتاژ خط)

هرتز ۵۰ = فرکانس اسمی

کیلو وات ۱ = توان اسمی

رادیان بر ثانیه ۹۵ = سرعت اسمی

تعداد قطبهای این ماشین را حساب کنید

۲۹ ــ یک موتور القائی سه فاز بامشخصات زیر مفروض است

ولت ۲۳۰ = ولتاژ اسمی ترمینال (ولتاژ خط)

کیلو وات ۵ = توان اسمی

هرتز ۵۰ = فرکانس اسمی (منبع تغذیه)

اگر هنگامیکه ولتاژ اسمی به موتور اعمال می‌گردد ، گشتاور راه انداز معادل ۴۵ "نیوتون متر" باشد مطلوبست :

الف : گشتاور راه انداز هنگامیکه ولتاژ ۲۱۰ ولت به موتور اعمال شود

ب : اگربخواهیم گشتاوراسمی ۶۰ "نیوتن متر" گردد چه ولتاژی باید به ماشین اعمال کنیم .

۳۰ ــ اگر موتور مساله ۲۹ جریان ۱۶/۵ آمپر تحت ضریب توان ۰/۸۸ پس فاز از شبکه بکشد ، راندمان آنرا حساب کنید .

۳۱ ــ یک موتورالقائی سه فاز با مشخصات زیر مفروض است

ولت ۲۳۰ = ولتاژ اسمی ترمینال (ولتاژ خط)

کیلو وات ۱/۵ = توان اسمی

هرتز ۵۰ = فرکانس منبع تغذیه (فرکانس اسمی)

رادیان بر ثانیه ۵۰ = سرعت در بار اسمی

نیوتن متر ۴۰ = گشتاور راه انداز

POWEREN.IR

POWEREN.IR

مطلوبست :

الف : گشتاور خروجی در بار اسمی

ب : اگر ولتاژ اعمال شده به ماشین ۲۵۰ ولت گردد ، گشتاور راه انداز چقدر خواهد شد .

۳۲ ــ اگر موتورمساله ۳۱ در شرایط بار کامل دارای ضریب توان ۰/۹۲ پس فاز و راندمان ۰/۸۶ باشد ، چه جریانی از شبکه می‌کشد .

۳۳ ــ یک موتوراسنکرون سه فاز با مشخصات زیر مفروض است .

۶ = تعداد قطبها

ولت ۴۶۰ = ولتاژ اسمی ترمینال (ولتاژ خط)

کیلو وات ۱۰ = توان اسمی

هرتز ۵۰ = فرکانس اسمی

رادیان بر ثانیه ۹۸ = سرعت اسمی

۱% = لغزش در حالت بی‌باری

مطلوبست :

الف : لغزش در بار کامل (بر حسب درصد)

ب : اگر تمام بار از روی موتور برداشته شود ، سرعت موتور را بیابید

۳۴ ــ یک موتور القائی سه فاز ، ۵۰ هرتزی مفروض است و سرعت آن در بار اسمی ۳۵ رادیان بر ثانیه است . مطلوبست محاسبه لغزش در بار اسمی :

الف : بر حسب رادیان بر ثانیه

ب : بر حسب درصد

ج : بصورت عدد اعشاری

۳۵ ــ یک موتورالقائی سه فاز ، ۵۰ هرتزی تحت سرعت ۱۵۲ رادیان بر ثانیه می‌چرخد . اگر بار موتور زیاد شود ، لغزش موتور دوبل می‌شود . سرعت جدید موتور چیست .

۳۶ ــ یک موتوراسنکرون سه فاز ، ۵۰ هرتزی مفروض است و سرعت بی‌باری آن ۹۲ رادیان برثانیه است . اگر لغزش آن در بار کامل ۵/۵% باشد ، مطلوبست :

الف : تعداد قطبهای ماشین

ب : سرعت موتور در بار کامل

۳۷ ــ یک موتور القائی سه‌فاز ، ۵۰هرتزی ، ۳۶ قطبی مفروض است و لغزش آن در بار کامل ۷/۵% است سرعت آن در بار اسمی چیست .

۳۸ ــ یک موتور اسنکرون سه فاز طبق مشخصات زیر مفروض است

۶ = تعداد قطبها

POWEREN.IR

POWEREN.IR

هرتز ۵۰= فرکانس منبع تغذیه

رادیان بر ثانیه ۱۰۳= سرعت در حالت بی‌باری

رادیان برثانیه ۹۶ = سرعت در بار اسمی

مطلوبست :

الف : لغزش در بار اسمی (بر حسب درصد)

ب : درصد تنظیم سرعت

۳۹ ــ یک موتور اسنکرون سه فاز، ۵۰ هرتزی، ۴ قطبی مفروض است لغزش در حالت بی‌باری ۰/۷ درصد ودرحالت باراسمی ۵/۵% می‌باشد . درصد تنظیم سرعت را بیابید .

۴۰ ــ یک موتور اسنکرون سه فازبا مشخصات زیر مفروض است

۲ = تعداد قطبها

هرتز ۵۰ = فرکانس اسمی

رادیان بر ثانیه ۳ = لغزش در حالت بی‌باری

۱۰% = درصد تنظیم سرعت

لغزش در باراسمی را بر حسب رادیان بر ثانیه حساب کنید .

۴۱ ــ یک موتور اسنکرون سه فاز، ۵۰ هرتزی طبق مشخصات ذیل مفروض است

اهم ۰/۰۸ = مقاومت هر فاز رتور

اهم ۰/۳۵ = راکتانس هر فاز رتور در حالت سکون

مطلوبست :

الف : امپدانس رتور در حالت سکون

ب : امپدانس رتور در لغزش ۱۲%

ج : امپدانس رتور در لغزش ۰/۵ درصد

۴۲ ــ یک موتور اسنکرون سه فاز، ۵۰ هرتزی مفروض است

مطلوبست :

الف : فرکانس جریان رتور در حالت سکون

ب : فرکانس جریان رتور در لغزش ۴%

ج : فرکانس جریان رتور در لغزش ۰/۴ درصد

د : فرکانس جریان استاتور

۴۳ ــ یک موتورالقائی سه فاز، ۵۰ هرتزی طبق مشخصات زیر مفروض است :

۶ = تعداد قطبها

رادیان بر ثانیه ۱۰۰ = سرعت در بار اسمی

سرعت موتور را در حالات زیر بدست آورید

POWEREN.IR

POWEREN.IR

الف: بار موتور معادل نصف بار اسمی گردد

ب: بار موتور معادل یک چهارم بار کامل باشد

۴۴ ــ یک موتور القائی سه فاز، ۵۰هرتزی، ۴ قطبی مفروض است سرعت آن در بار کامل ۱۵۵ رادیان بر ثانیه می‌باشد. اگر بار موتور ۲۵٪ افزایش یابد سرعت جدید موتور را حساب کنید.

۴۵ ــ یک موتور اسنکرون سه فاز، ۵۰ هرتزی، ۸ قطبی مفروض است و سرعت آن در بار اسمی ۷۴ رادیان بر ثانیه می‌باشد. اگر بار آنرا کم کنیم سرعت آن به ۷۶ رادیان بر ثانیه می‌رسد. این بار کم چند درصد بار اسمی می‌باشد.

۴۶ ــ یک موتور القائی سه فاز طبق مشخصات ذیل مفروض است

هرتز ۵۰ = فرکانس اسمی

ولت ۴۶۰= ولتاژ اسمی ترمینال

کیلو وات ۱۰ = توان اسمی

رادیان بر ثانیه ۴۸ = سرعت در بار اسمی

اگر بار موتور را کم کنیم سرعت به ۵۰ رادیان بر ثانیه می‌رسد. مطلوبست.

الف: گشتاور اسمی موتور

ب: گشتاور بار در تحت شرایط بار کم

ج: توان خروجی موتور در تحت شرایط بار کم

۴۷ ــ یک موتور اسنکرون سه فاز طبق مشخصات ذیل مفروض است.

۶ = تعداد قطبها

هرتز ۵۰= فرکانس اسمی

کیلو وات ۷/۵= توان اسمی

اهم ۰/۰۷= مقاومت هر فاز رتور

اهم ۰/۳ = راکتانس هر فاز رتور در حالت سکون

مطلوبست:

الف: لغزش در شرایط pull-out

ب: کمترین سرعتی را که موتوری می‌توانند تحت آن بچرخد بدون آنکه بحالت سکون سوق داده شود پیدا کنید.

۴۸ ــ یک موتور اسنکرون سه فاز، ۵۰ هرتزی طبق مشخصات زیر مفروض است

کیلووات ۱۰ = توان اسمی

رادیان بر ثانیه ۱۵۱= سرعت در شرایط اسمی

اهم ۰/۰۴ = مقاومت هر فاز رتور

POWEREN.IR

POWEREN.IR

اهم ۰/۲ = راکتانس هر فاز رتور در حالت سکون

مطلوبست :

الف : گشتاور خروجی در شرایط اسمی

ب : ماکزیمم گشتاور موتور .

راهنمائی : در فرض ب فرض کنید که گشتاور در تمامی مراحل تا حالت Pullout با لغزش متناسب است .

۴۹ ــ یک موتور القائی سه‌فاز ، ۵۰ هرتزی مطابق مشخصات زیر مفروض است :

۶ = تعداد قطبها

سیم پیچی شده = نوع رتور

اهم ۰/۱ = مقاومت هر فاز رتور

اهم ۰/۵ = راکتانس هر فازرتور در حالت سکون

رادیان بر ثانیه ۹۸ = سرعت در شرایط اسمی

اهم ۰/۱۵ = مقاومت هر فاز مربوط به رئوستای حلقه لغزان

مطلوبست :

الف : سرعت در حالت Pullout بدون اثر رئوستا (مقاومت رئوستا صفر می‌باشد)

ب : سرعت در حالت Pullout با فرض آنکه رئوستا کاملا" در مدار قرار دارد .

ج : سرعت اسمی ماشین را در شرایطی که رئوستا کاملا" در مدار قرار دارد حساب نمایند .

۵۰ ــ یک موتور اسنکرون سه فاز ، ۵۰ هرتزی که رتور آن سیم پیچی شده می‌باشد مفروض است . مقاومت هر فاز رتور معادل ۰/۱ اهم و راکتانس هر فاز رتور در حالت سکون برابر ۰/۴۵ اهم است , اگر رئوستا در مدار رتور نباشد مطلوبست :

الف : سرعت در حالت Pullout

ب : اگر بخواهیم سرعت در حالت Pullout به ۱۱۰ رادیان بر ثانیه برسد ، مقاومت هر فاز رئوستائی که در مدار رتور قرار می‌گیرد را حساب کنید .

۵۱ ــ یک موتور القایی سه فاز ، ۵۰ هرتزی ، ۵ کیلو واتی ، ۲۳۰ ولتی ، ۱۶ آمپری ، ۴ قطبی مفروض است و با آن آزمایشهای مقاومت ، بی‌باری و بار اسمی را انجام می‌دهیم . نتایج زیر از این آزمایشها حاصل شده است .

POWEREN.IR

Stator resistance test: $r_s = 1.1\ \Omega$

No-load test: $W_1 = 450$ W, $W_2 = -150$ W

$V_L = 230$ V, $I_L = 5$ A

Rated-load test: $W_1 = 3.2$ kW, $W_2 = 2.5$ kW

$V_L = 230$ V, $I_L = 16$ A

$\omega = 149.2$ rad/s

مطلوب است:

الف: راندمان ماشین در بار اسمی

ب: ضریب توان موتور در بار کامل

۵۲ ـ یک موتور اسنکرون سه فاز، ۵۰ هرتزی، ۵۵۰ ولتی، ۱۴/۵ آمپری، ۸ قطبی، ۱۰ کیلو واتی مفروض است و با آن آزمایشهای مربوط به مقاومت بی‌باری و بار اسمی را انجام می‌دهیم. نتایج زیر حاصل می‌شود.

Stator resistance test: $r_s = 1.0\ \Omega$

No-load test: $W_1 = 920$ W, $W_2 = -260$ W

$V_L = 550$ V, $I_L = 4.7$ A

Rated-load test: $W_1 = 6.3$ kW, $W_2 = 5.4$ kW

$V_L = 550$ V, $I_L = 14.5$ A

$\omega = 73.9$ rad/s

مطلوبست:

الف: راندمان موتور در بار کامل

ب: ضریب توان ماشین در شرایط اسمی

POWEREN.IR

POWEREN.IR

۷ ــ ۱۳ سئوالات مربوط به فصل دهم

۱ ــ موتور القائی یک‌ماشین اسنکرون است . چرا به موتورهای سنکرون لفظ سنکرون اتلاق می‌گردد .

۲ ــ منظور از لغزش قطب چیست .

۳ ــ زاویه گشتاور و زاویه امپدانس سنکرون را تعریف کنید .

۴ ــ با افزایش بار موتورسنکرون ، چه تغییراتی در زاویه گشتاور و سرعت موتور ایجاد می‌شود .

۵ ــ تفاوت بین فوق تحریک ، زیر تحریک و تحریک نرمال را بیان کنید ودر این حالات چه تفاوتهائی در ضریب توان پدیدار می‌شود .

۶ ــ منحنی‌های V را بیان کنید .

۷ ــ روشهای راه اندازی موتورهای سنکرون را تعریف کنید .

۸ ــ سیم پیچ‌های مستهلک کننده یا میراساز در موتورهای سنکرون چه نقشی دارند .

۹ ــ عیوب ضریب توان پائین را بیان دارید .

۱۰ ــ چرا برای تصحیح ضریب توان از خازن کمک می‌گیریم .

۱۱ ــ کندانسور سنکرون را تعریف کنید .

۸ ــ ۱۳ مسائل فصل دهم

سیستم (ENG,SI)

یک موتور سنکرون سه فاز با مشخصات ذیل مفروض است

اهم ۰/۱ = مقاومت هر فاز استاتور

اهم ۱/۲ = راکتانس سنکرون استاتور در هر فاز

زاویه گشتاور را در تحت شرایط‌گشتاور ماکزیمم بدست آورید .

۲ ــ اگر در یک موتور سنکرون مقاومت هر فاز استاتور ۰/۳ اهم و راکتانس هر فاز استاتور ۲/۸ اهم باشد ، بیشترین زاویه گشتاور چیست

۳ ــ یک موتور سنکرون سه‌فاز طبق مشخصات زیر مفروض است .

POWEREN.IR

POWEREN.IR

ولت ۲۳۰ = ولتاژ اسمی ترمینال (ولتاژ خط)

اسب بخار $1\frac{1}{3}$ = کیلو وات ۱ = توان اسمی

آنرا مطابق شکل (۵ ــ ۱۰) در فصل دهم مورد آزمایش قرار می‌دهیم . جداول (۵ــ ۱۳) و (۶ ــ ۱۳) مربوط به آزمایشهای بی‌باری و بار اسمی می‌باشد . منحنی‌های V را در حالات بی‌باری و بار اسمی بر روی یک گراف رسم کنید .

۴ ــ یک موتور سنکرون سه فاز با مشخصات زیر مفروض است .

No load

I_f (A)	Average I_L (A)	W_1 (W)	W_2 (W)
2	2.6	430	−180
4	1.7	310	−62
5	1.4	248	0
6	0.95	190	48
7.4	0.6	120	118
8	0.7	95	140
8.7	0.82	60	190
10	1.3	−20	265
10.8	1.6	−125	370

جدول (۵ ــ ۱۳)

Full load

I_f (A)	Average I_L (A)	W_1 (W)	W_2 (W)
2.4	7	1000	210
4.5	6	810	370
5.7	4.8	710	490
7	4.2	660	550
8.6	3.4	600	610
9.5	3.7	420	800
10.5	4.2	290	920
12	5.8	170	1050
13.4	6.9	65	1140

جدول (۶ ــ ۱۳)

ولت ۲۳۰ = ولتاژ اسمی ترمینال (ولتاژ خط)

آمپر ۱۲ = جریان اسمی

اتصال ستاره (Y) = نوع اتصال استاتور

اهم ۰/۵ = مقاومت هر فاز استاتور

اهم ۴/۵ = راکتانس هر فاز استاتور

اهم ۱/۸ = مقاومت مدار تحریک

آنرا طبق شکل (۵ ــ ۱۰) درفصل‌دهم مورد آزمایش قرار می‌دهیم و طی آزمایش جریان تحریک را ثابت و معادل ۱۱ آمپر تنظیم می‌کنیم (حالت‌زیر تحریک) .نتایج آزمایشها

POWEREN.IR

بقرار زیر است .

No-load test: $V_L = 230$ V, $I_L = 2$ A (average)
$W_1 = 500$ W, $W_2 = -210$ W
Full-load test: $V_L = 230$ V, $I_L = 12$ A (average)
$W_1 = 2250$ W, $W_2 = 2100$ W

مطلوبست :

الف : ضریب توان در حالت بی‌باری
ب : ضریب توان در بار کامل
ج : راندمان در شرایط اسمی

۵ ــ یک موتور سنکرون سه فاز مطابق مشخصات زیر مفروض است

ولتاژ اسمی ترمینال = ۴۶۰ ولت
جریان اسمی = ۱۰ آمپر
نوع اتصال استاتور = (Δ) اتصال مثلث
مقاومت هر فاز استاتور = ۰/۹ اهم
راکتانس هر فاز استاتور = ۷/۵ اهم
مقاومت مدار تحریک = ۱/۴ اهم

آنرا مطابق شکل (۵ ــ ۱۰) در فصل دهم مورد آزمایش قرار می‌دهیم و جریان تحریک را ثابت و معادل ۱۸ آمپر می‌گیریم (حالت فوق تحریک) .نتایج این آزمایشها بقرار زیر است .

No-load test: $V_L = 460$ V, $I_L = 4.4$ A (average)
$W_1 = 920$ W, $W_2 = -340$ W
Full-load test: $V_L = 460$ V, $I_L = 10$ A (average)
$W_1 = 4.0$ kW, $W_2 = 3.5$ kW

مطلوبست :

الف : ضریب توان در حالت بی‌باری
ب : ضریب توان در بار اسمی
ج : راندمان در شرایط بار کامل

۶ ــ در مساله ۴ مطلوبست :

الف : زاویه گشتاور در شرایط بی‌باری
ب : زاویه گشتاور در حالت بار اسمی

۷ ــ در مساله ۵ مطلوبست .

POWEREN.IR

POWEREN.IR

الف : زاویه گشتاور در حالت بی‌باری

ب : زاویه‌گشتاور در شرایط اسمی

۸ ــ یک خازن با مشخصات زیر مفروض است .

هرتز ۵۰ = فرکانس اسمی

ولت ۲۳۰ = ولتاژ اسمی

کیلو وار ۵ = توان اسمی

از این خازن در شرایط‌زیر برای تصحیح‌ضریب توان استفاده می‌شود . در هر یک از حالات زیر کیلووار جدید خازن چقدر خواهد بود .

الف : ولتاژ ۱۲۰ ولت ، فرکانس ۶۰ هرتز .

ب : ولتاژ ۲۱۰ ولت ، فرکانس ۶۰ هرتز

ج : ولتاژ ۱۵۰ ولت ، فرکانس ۵۰ هرتز

۹ ــ یک خازن با مشخصات ذیل مفروض است

کیلو وار ۲۰ = توان اسمی

ولت ۴۸۰ = ولتاژ اسمی

هرتز ۶۰ = فرکانس اسمی

از این خازن در حالات زیر برای تصحیح ضریب توان استفاده می‌شود . در هر حالت کیلو وار جدید خازن را بدست آورید .

الف : ولتاژ ۱۲۰ ولت ، فرکانس ۶۰ هرتز

ب : ولتاژ ۲۳۰ ولت ، فرکانس ۵۰ هرتز .

ج : ولتاژ ۴۶۰ ولت ، فرکانس ۵۰ هرتز .

۱۰ ــ یک بار تکفاز با مشخصات زیر به یک شبکه تکفاز ۲۳۰ ولتی ، ۵۰ هرتزی متصل شده است .

کیلو وات آمپر ۵ = توان بار

پس فاز ۰/۷۵ = ضریب توان بار

برای تصحیح ضریب توان بار به دو سر آن خازن نصب می‌کنیم

مطلوبست :

الف : کیلووار خازنی مورد نیاز برای آنکه ضریب توان به ۰/۹ پس فاز برسد .

ب ؛ کیلووار خازنی مورد نیاز برای آنکه ضریب توان واحد گردد ،

ج ؛ کیلووار خازنی مورد نیاز برای آنکه ضریب توان به ۰/۹ پیش فاز برسد ،

۱۱ ــ مساله ۱۰ را تکرار کنید ولی این دفعه فرض بر آنستکه تنها خازن‌های ۲۴۰ ولتی ، ۶۰ هرتزی در دسترس هستند .

POWEREN.IR

POWEREN.IR

۱۲ ــ رابطه (۱۴ ــ ۱۰) در فصل دهم را اثبات کنید .

۱۳ ــ رابطه (۱۵ ــ ۱۰) در فصل دهم را اثبات کنید .

۱۴ ــ روابط (۱۶ ــ ۱۰) ، (۱۷ ــ ۱۰) در فصل دهم را اثبات کنید .

۱۵ ــ یک مصرف کننده ۱۵ کیلوولت آمپری که ضریب توان آن ۰/۸۵ پس فاز است به یک شبکه تکفاز ، ۱۲۰ ولتی ، ۶۰ هرتزی متصل است . خازنهای موجود ۲۴۰ ولتی ، ۶۰ هرتزی هستند و می‌خواهیم ضریب توان را واحد نمائیم .

مطلوبست :

الف : کیلووارخازنی مورد نیاز را بدست آورید .

ب : ظرفیت خازنی مورد نیاز را حساب کنید (بر حسب فاراد)

۱۶ ــ یک کارخانه توانی معادل ۱۰۰ کیلو ولت آمپر را تحت ضریب توان ۰/۷ پس فاز مصرف می‌کند و این توان را از شبکه سه فاز ۲۴۰ ولتی ، ۶۰ هرتزی دریافت‌می‌کند . اگر بخواهیم ضریب توان واحد گردد . کیلووار خازن مورد نیاز را که از یک مجموعه سه فاز خازن حاصل می‌گردد ، بدست‌آورید ، مشروط بر آنکه :

الف : فقط خازنهای ۲۴۰ ولتی ، ۶۰ هرتزی موجود می‌باشند .

ب : فقط خازنهای ۶۰۰ ولتی ، ۶۰ هرتزی در دسترس هستند .

۱۷ ــ مساله ۱۶ را تکرار کنید . این دفعه می‌خواهیم ضریب توان به ۰/۹ پس فاز برسد .

۱۸ ــ در مساله ۱۶ اگر توان ظاهری اخذ شده از شبکه ثابت باشد (۱۰۰ کیلو ولت‌آمپر) در شرایط زیر چه مقدار توان حقیقی واردکارخانه می‌شود .

الف : اگر ضریب توان‌کارخانه ۰/۷ پس فازباشد .

ب : اگر ضریب توان کارخانه واحد در نظر گرفته شود .

۱۹ ــ یک کارخانه دارای مصرفی معادل ۵۰۰ کیلو وات تحت ضریب توان ۰/۶۷ پس فاز باشد . این کارخانه به شبکه سه فاز ۴۶۰ ولتی ، ۵۰ هرتزی متصل است . مطلوبست :

الف : توان ظاهری تحویل به کارخانه (بر حسب کیلو ولت آمپر)

ب : کیلووار خازن مورد نیاز جهت تصحیح ضریب توان

در صورتیکه بخواهیم ضریب توان واحد گردد .

ج : در حالتی که ضریب توان واحد گردد کارخانه چقدر توان ظاهری از شبکه دریافت می‌کند .

۲۰ ــ یک کارخانه صنعتی ۳۵۰ کیلو وات را تحت ضریب توان ۰/۷۸ پس فاز از شبکه فاز ۲۴۰ ولتی ، ۶۰ هرتزی ، دریافت می‌دارد . یک مجموعه خازنی سه فاز ۲۵۰ کیلو واری ، ۲۴۰ ولتی ، ۶۰هرتزی برای تصحیح ضریب توان بکار می‌رود . ضریب توان جدید کارخانه را حساب کنید .

POWEREN.IR

POWEREN.IR

۲۱ ــ مساله ۲۰ را تکرارکنید اگر مجموعه خازن سه فاز ۲۵۰ کیلو واری ، ۴۸۰ ولتی ۶۰ هرتزی در نظر گرفته شود .

۲۲ ــ در مساله ۲۰ ظرفیت هر یک از خازنها را بر حسب فاراد حساب کنید .

۲۳ ــ یک تاسیسات صنعتی توانی معادل ۳۸ کیلو وات را تحت ضریب توان ۷۵% پس فاز مصرف می‌کند اگر برای تصحیح ضریب توان از یک کندانسور سنکرون استفاده شود تا ضریب توان واحد گردد ، درینصورت مشخصه اسمی این کندانسور را پیدا کنید . فرض بر آنستکه کندانسور سنکرون بی‌بار عمل می‌کند و ضریب توان آن بسیار کم است (حدود ۰/۲) .

۲۴ ــ یک کارخانه صنعتی توان معادل ۲ کیلو وات را تحت ضریب توان ۸۵% پس فاز از شبکه سه‌فاز ۲۱۰ ولتی دریافت می‌کند . برای تصحیح ضریب توان از موتور سنکرون مطابق مثال (۲ ــ ۱۰) در فصل دهم . این موتور در ضمن آنکه ضریب توان را بهبودی بخشد نیمی از بار اسمی خود را تغذیه می‌کند . اگر بخواهیم ضریب توان کارخانه واحد گردد مطلوبست :

الف : جریان تحریک موتور سنکرون

ب : راندمان موتور سنکرون .

۲۵ ــ در مساله ۲۴ محاسبات زیر را انجام دهید .

الف : قبل از آنکه موتورسنکرون نصب شود این کارخانه چه مقدار کیلو ولت آمپر از شبکه می‌کشید .

ب : پس‌از نصب موتور این کارخانه‌چه مقدار توان ظاهری (کیلو ولت آمپر) از شبکه می‌کشد .

۲۶ ــ مساله ۲۴ را تکرار کنید . این بار ضریب توان را به ۰/۹۵ پیش فاز برسانید .

۲۷ ــ اگر در مساله ۲۴ ، جریان تحریک موتور سنکرون ۱۹ آمپر باشد مطلوبست .

الف : ضریب توان بهبود یافته کارخانه

ب : میزان توان ظاهری (کیلو وات آمپر) تحویلی به کارخانه

سیستم (ENG)

۲۸ ــ یک موتور سنکرون سه فاز با مشخصات زیر مفروض است

ولت ۲۰۸ = ولتاژ اسمی ترمینال (ولتاژ خط)

۱۶ = تعداد قطبها

هرتز ۶۰ = فرکانس اسمی

سرعت موتور را بیابید .

۲۹ ــ در موتور مساله ۲۸ اگر ولتاژ منبع به ۲۳۰ ولت و فرکانس به ۵۰هرتز تغییر یابد

POWEREN.IR

سرعت جدید چیست .

۳۰ ــ یک موتورسنکرون سه فازبا مشخصات زیر مفروض است .

ولت ۲۴۰ = ولتاژ اسمی ترمینال (ولتاژ خط)

اسب بخار ۴ = توان اسمی

۶ = تعداد قطبها

هرتز ۶۰ = فرکانس اسمی

این موتور تحت بار اسمی می‌چرخد ، مطلوبست :

الف : گشتاور خروجی موتور

ب : اگربار ۷۰٪ کاهش یابد ، سرعت موتور را بیابید .

۳۱ ــ مساله ۳۰را تکرار کنید ولی این بار فرض کنید موتور نصف بار اسمی خود را تغذیه می‌کند .

۳۲ ــ درصد تنظیم سرعت موتور مساله ۳۰ را بیابید .

سیستم(SI)

۳۳ ــ یک موتور سنکرون سه فاز ، ۲۳۰ ولتی ، ۲۴ قطبی ، ۵۰ هرتزی مفروض است . سرعت آنرا بیابید .

۳۴ ــ اگر موتورمساله ۳۳با ولتاژ ۲۴۰ ولت و فرکانس ۶۰ هرتز تغذیه شود ، سرعت جدید آن چیست .

۳۵ ــ یک موتور سنکرون سه فاز ، ۴۶۰ ولتی ، ۴/۵ کیلو واتی ، ۸ قطبی ، ۵۰ هرتزی در تحت بار اسمی می‌چرخد . مطلوبست :

الف : گشتاور خروجی موتور

ب : اگر بار بمیزان ۶۰٪ کم شود ، سرعت جدید موتور چیست .

۳۶ ــ مساله ۳۵ را تکرار کنید . این دفعه موتور را نصف بار اسمی را تغذیه می‌کند

۳۷ ــ درصد تنظیم سرعت در موتور مساله ۳۵ راپیدا کنید .

POWEREN.IR

POWEREN.IR

۹ ــ ۱۳ سئوالات فصل یازدهم

۱ ــ چرا به ژنراتورهای القائی لفظ آسنکرون اتلاق می‌گردد

۲ ــ آیا چرخاندن محور موتور القائی با سرعت زیاد برای حالت ژنراتوری کافی است ، آیا به‌عامل دیگری نیز جهت عملکرد ژنراتور نیاز داریم .

۳ ــ لغزش منفی یعنی چه

۴ ــ آیا فرکانس ولتاژ تولید شده در ژنراتورهای القائی به سرعت رتور بستگی دارد .

۱۰ ــ ۱۳ مسائل فصل ۱۱

سیستم (ENG)

۱ ــ یک موتور القائی سه فاز با مشخصات زیر مفروض است

اسب بخار	۲	= توان اسمی
ولت	۲۱۰	= ولتاژ اسمی ترمینال
آمپر	۶	= جریان اسمی (جریان خط)
هرتز	۶۰	= فرکانس اسمی
	۸	= تعداد قطبها

آنرا بصورت ژنراتور درآورده و نتایج زیر از حالت بارداری ژنراتور بدست می‌آید .

Load test results: $W_1 = 750$ W, $W_2 = 670$ V'

$V_L = 210$ V, $I_L = 5.8$ A

$S = 925$ rev/min

مقاومت معادل استاتور ۱/۴ اهم و تلفات مکانیکی و هسته ۱۰۰ وات می‌باشد . مطلوبست :

الف : ضریب توان ژنراتور القائی

ب : راندمان ژنراتور آسنکرون

۲ ــ یک موتور اسنکرون سه فاز با مشخصات زیر مفروض است .

اسب بخار	۱۴	= توان اسمی
ولت	۲۴۰	= ولتاژ اسمی ترمینال

POWEREN.IR

POWEREN.IR

آمپر	۳۵	= جریان اسمی (جریان خط)
هرتز	۶۰	= فرکانس اسمی
	۱۲	= تعداد قطبها

آنرا بصورت ژنراتور آسنکرون درآورده و نتایج زیر در حالت بارداری حاصل می‌شود .

Load test results: $W_1 = 5.2$ kW, $W_2 = 4.5$ kW

$V_L = 240$ V, $I_L = 33.5$ A

$S = 620$ rev/min

مقاومت معادل استاتور ۰/۷ اهم وتلفات هسته و مکانیکی ۶۰۰ وات می‌باشد . مطلوبست :

الف : ضریب توان ژنراتور القائی

ب : راندمان ژنراتور آسنکرون

۳ ــ یک موتور القائی سه فازبا مشخصات زیر مفروض است .

اسب بخار	۳۵	= توان اسمی
ولت	۲۴۰	= ولتاژ اسمی ترمینال
آمپر	۸۵	= جریان اسمی (جریان خط)
هرتز	۶۰	= فرکانس اسمی
	۱۶	= تعداد قطبها

آنرا بصورت ژنراتور درمی‌آوریم و اعداد زیر از شرایط بارداری ژنراتور حاصل می‌گردد

Load test results: $W_1 = 12.4$ kW, $W_2 = 11.5$ kW

$V_L = 240$ V, $I_L = 83$ A

$S = 470$ rev/min

مقاومت معادل استاتور ۰/۳ اهم وتلفات هسته و مکانیکی ۱۶۰۰ وات می‌باشد . مطلوبست .

الف : ضریب توان ژنراتور القائی

ب : راندمان ژنراتور آسنکرون

۴ ــ یک موتورالقائی سه‌فاز ، ۵ اسب بخار ، ۲۴۰ ولتی ، هشت‌قطبی ، ۶۰ هرتزی مفروض است و آنرادر تحت توان اسمی بصورت ژنراتور درمی‌آوریم . منحنی مشخصه این ماشین در شکل (۳ ــ ۱۱) در فصل یازدهم رسم شده است مطلوبست

الف : اگر بخواهیم ژنراتور بصورت تحریک خودی عمل کند خازن مورد نیاز را بدست آورید .

ب : در حالتی که ژنراتور بصورت تحریک خودی عمل می‌کند ، فرکانس ولتاژ تولید شده چیست .

ج : اگر خازنهای موجود ۴۸۰ ولتی و ۶۰ هرتزی باشند چه میزان از این خازنها

POWEREN.IR

را باید بکار برد .

POWEREN.IR

سیستم (SI)

۵ یک موتور اسنکرون سه فاز با مشخصات زیر مفروض است .

کیلو وات ۵ = توان اسمی

ولت ۲۳۰ = ولتاژ اسمی ترمینال

آمپر ۱۴ = جریان اسمی (جریان خط)

هرتز ۵۰ = فرکانس اسمی

۶ = تعداد قطبها

آنرا بصورت ژنراتور القائی درمیآوریم و اعداد زیر از شرایط بارداری ژنراتور حاصل می‌شود

Load test results: $W_1 = 2.2$ kW, $W_2 = 1.4$ kW

$V_L = 230$ V, $I_L = 12$ A

$\omega = 108$ rad/s

اگر مقاومت معادل استاتور یک اهم و تلفات هسته و مکانیکی ۲۸۰ وات باشد ، مطلوبست

الف : ضریب توان ماشین

ب : راندمان ژنراتور القائی

۶ ــ یک موتور آسنکرون سه فاز ، ۱۵ کیلو واتی ، ۲۳۰ ولتی ، ۴۰ آمپری ، هشت قطبی ، ۵۰ هرتزی ، مفروض است . آنرا بصورت ژنراتور القائی درآورده و نتایج زیر در شرایط بارداری حاصل می‌گردد .

Load test results: $W_1 = 6$ kW, $W_2 = 4$ kW

$V_L = 230$ V, $I_L = 35$ A

$\omega = 81$ rad/s

مقاومت معادل استاتور ۰/۶ اهم و تلفات هسته و مکانیکی ۷۰۰ وات می‌باشد . مطلوبست :

الف : ضریب توان ژنراتور القائی

ب : راندمان ماشین

۷ ــ یک موتور القائی سه فاز با مشخصات زیر مفروض است .

کیلو وات ۲۵ = توان اسمی

ولت ۴۶۰ = ولتاژ اسمی ترمینال

آمپر ۳۴ = جریان اسمی (جریان خط)

۱۶ = تعداد قطبها

POWEREN.IR

هرتز ۵۰ = فرکانس اسمی

آنرا بصورت ژنراتور درآورده و در شرایط بارداری نتایج زیر بدست می‌آید .

Load test results: $W_1 = 9.8$ kW, $W_2 = 6.5$ kW

$V_L = 460$ V, $I_L = 30$ A

$\omega = 41$ rad/s

اگرمقاومت معادل استاتور ۱۰/۴ اهم وتلفات مکانیکی و هسته ۱۴۰۰ وات باشد مطلوبست

الف : ضریب توان ژنراتور آسنکرون

ب : راندمان ماشین

۸ ــ یک موتور القائی سه فاز بامشخصات زیر مفروض است

کیلو وات ۱۰ = توان اسمی

ولت ۴۶۰ = ولتاژ اسمی ترمینال

۱۲ = تعداد قطبها

هرتز ۵۰ = فرکانس اسمی

آنرا تحت توان اسمی بصورت ژنراتوردرمی‌آوریم ومنحنی مشخصه‌مربوطه‌درشکل (۳ ــ ۱۱) در فصل یازدهم نشان داده شده است . مطلوبست :

الف : اگر بخواهیم ماشین بصورت تحریک خودی عمل کند خازن مورد نیاز را بدست آورید .

ب : در حالتی که ژنراتور از نوع تحریک خودی است ، فرکانس‌ولتاژ تولید شده چیست .

ج : اگر خازنهای موجود ۴۸۰ ولتی و ۶۰ هرتزی باشند ظرفیت خازن مورد نیاز را محاسبه کنید .

POWEREN.IR

POWEREN.IR

۱۱ ــ ۱۳ سئوالات فصل دوازدهم

۱ ــ چرا به موتورهای تکفاز AC نیاز داریم

۲ ــ سه‌نوع موتور تکفاز القائی نام برید

۳ ــ منظور از میدان متقاطع چیست

۴ ــ چرا در هنگام کار، موتور تکفاز با فاز شکسته دارای ضریب توان پائینی می‌باشد

۵ ــ چرا در موتورهای بافازشکسته کلید گریز از مرکز نصب می‌کنیم

۶ ــ نام دیگر سیم پیچ کمکی در موتور با فاز شکسته چیست

۷ ــ سیم پیچ چاک چیست

۸ ــ چرا در موتورهای CSM از خازن استفاده می‌کنیم

۹ ــ موتورهای CSM و فاز شکسته را از نظر مشخصه‌های آنها در لحظات راه اندازی و کار دائمی مقایسه کنید.

۱۰ ــ موتورهای PSCM را شرح دهید

۱۱ ــ موتورهای TCM را شرح دهید

۱۲ ــ موتورهای یونیورسال را شرح دهید

۱۳ ــ در ساعتها از کدام نوع موتور استفاده می‌شود و چرا؟

۱۴ ــ کدامیک از موتورهای تکفاز دارای بهترین تنظیم سرعت است.

۱۵ ــ کدامیک از موتورهای تکفاز زیر دارای بهترین راندمان دربار اسمی می‌باشد

الف: موتور یونیورسال

ب: موتور سنکرون

۱۲ ــ ۱۳ مسائل فصل ۱۲

سیستم (ENG)

۱ ــ یک موتور القائی با فاز شکسته با مشخصات زیرمفروض است

اسب بخار $\frac{3}{4}$ = توان اسمی

ولت ۱۲۰= ولتاژ اسمی ترمینال

POWEREN.IR

POWEREN.IR

هرتز ۶۰ = فرکانس اسمی

۶۵%= راندمان در بار اسمی

پس فاز ۵۵%= ضریب توان در بار اسمی

در بار اسمی این موتور چه جریانی از شبکه می‌کشد

۲ ــ یک موتور CSM ، ۲۴۰ ولتی ، ۵ اسب بخاری ، ۶۰ هرتزی مفروض است موتور در بار اسمی ۳۸ آمپر از شبکه می‌کشد و ضریب توان آن در بار اسمی ۶۰ درصد است . راندمان موتور چیست .

۳ــ یک موتور با فازشکسته مفروض است و توان اسمی آن $\frac{1}{4}$ اسب بخار می‌باشد . مشخصات دیگر موتور بقرار زیر است .

ولت ۱۱۵ = ولتاژ اسمی ترمینال

آمپر ۴/۵ = جریان کشیده شده از شبکه

دور در دقیقه ۱۱۴۰= سرعت در بار اسمی

۶۵% = راندمان در باراسمی

مطلوبست :

الف : ضریب توان موتور در بار اسمی

ب : گشتاور اسمی موتور

۴ ــ یک موتور CSM با مشخصات زیر مفروض است

اسب بخار ۲ = توان اسمی

ولت ۲۴۰= ولتاژ اسمی ترمینال

هرتز ۶۰ = فرکانس اسمی

۷۵% = راندمان در بار اسمی

آمپر ۱۲ = جریان کشیده شده از شبکه در بار اسمی

مطلوبست :

الف : توان ورودی به ماشین در بار اسمی

ب : ضریب توان موتور در بار اسمی

۵ ــ یک موتور PSCM با مشخصات زیر مفروض است

اسب بخار ۰/۵ = توان اسمی

ولت ۱۱۵ = ولتاژ اسمی ترمینال

دور در دقیقه ۱۱۱۰= سرعت در بار اسمی

آمپر ۶ = جریان شیده شده از شبکه در بار اسمی

۶۰%= ضریب توان در بار اسمی

POWEREN.IR

POWEREN.IR

مطلوبست :

الف : راندمان ماشین در بار اسمی

ب : گشتاور اسمی موتور

۶ ــ یک موتور TCM با مشخصات زیر مفروض است

اسب بخار ۰/۷۵ = توان اسمی

ولت ۱۱۵ = ولتاژ اسمی ترمینال

دور در دقیقه ۱۷۲۵ = سرعت دربار اسمی

آمپر ۷/۸ = جریان کشیده شده از شبکه در بار اسمی

۹۰ % = راندمان در بار اسمی

ضریب توان موتور را در بار اسمی بدست آورید

۷ ــ یک موتور CSM با مشخصات زیر مفروض است

اسب بخار ۲ = توان اسمی

ولت ۱۱۵ = ولتاژ اسمی ترمینال

هرتز ۶۰ = فرکانس اسمی

دور در دقیقه ۳۴۵۰ = سرعت اسمی

آمپر ۲۶ = جریان کشیده شده از شبکه در بار اسمی

۶۰% = ضریب توان در بار اسمی

مطلوبست :

الف : گشتاور اسمی موتور

ب : راندمان موتورهای در بار اسمی

۸ ــ یک موتور با فاز شکسته با مشخصات زیر مفروض است :

ولت ۱۱۵ = ولتاژ اسمی ترمینال

دور در دقیقه ۱۱۴۰ = سرعت اسمی

هرتز ۶۰ = فرکانس اسمی

آمپر ۴ = جریان اسمی

پس فاز ۵۵% = ضریب توان اسمی

فوت ــ پوند ۰/۷۷ = گشتاور اسمی

مطلوبست :

الف : توان اسمی موتور بر حسب اسب بخار

ب : راندمان موتور در بار اسمی

سیستم (SI)

POWEREN.IR

POWEREN.IR

۹ ــ یک موتور با فاز شکسته و مشخصات زیر مفروض است :

کیلو وات	۰/۵	= توان اسمی
ولت	۲۳۰	= ولتاژ اسمی ترمینال
هرتز	۵۰	= فرکانس اسمی
	۶۰ %	= راندمان در بار اسمی
پس فاز	۵۰ %	= ضریب توان در بار اسمی

این موتور چه جریانی از شبکه می‌کشد ؟

۱۰ ــ یک موتور ۴۶۰ ولتی ، ۳/۵ کیلوواتی ، ۵۰ هرتزی از نوع CSM مفروض بوده و ضریب توان آن در بار اسمی ۶۳ درصد می‌باشد . اگر این موتور در شرایط اسمی ۱۵ آمپر از شبکه بکشد ، راندمان موتور در بار اسمی چیست .

۱۱ ــ یک موتور ۲۳۰ ولتی ، ۲۰۰ واتی ، ۲/۵ آمپری از نوع فاز شکسته مفروض بوده و سرعت اسمی آن ۹۹/۴ رادیان بر ثانیه است . اگر راندمان آن در بار اسمی ۶۰ درصد باشد مطلوبست .

الف : ضریب توان در بار اسمی

ب : گشتاور اسمی موتور

۱۲ ــ یک موتور ۱/۵ کیلو واتی ، ۲۳۰ ولتی ، ۵۰ هرتزی ، ۱۳ آمپری از نوع CSM مفروض است راندمان آن در بار کامل ۷۸ درصد می‌باشد . مطلوبست :

الف : توان ورودی به ماشین در بار اسمی

ب : ضریب توان موتور در بار اسمی

۱۳ ــ یک موتور ۳۰۰ واتی ، ۲۳۰ ولتی ، ۲/۶ آمپری از نوع PSCM مفروض است و سرعت اسمی آن ۹۶/۸ رادیان بر ثانیه می‌باشد . اگر ضریب توان آن در بار اسمی ۶۰ درصد باشد مطلوبست :

الف : راندمان موتور در بار اسمی

ب : گشتاور اسمی ماشین

۱۴ ــ یک موتور ۶۰۰ واتی ، ۲۳۰ ولتی ، ۳/۹ آمپری از نوع TCM مفروض است و سرعت اسمی آن ۱۵۰/۴ رادیان بر ثانیه می‌باشد . اگر راندمان آن در بار اسمی ۸۶ درصد باشد ، ضریب توان موتور در بار اسمی چیست .

۱۵ ــ یک موتور ۱/۵ کیلو واتی ، ۲۳۰ ولتی ، ۵۰ هرتزی از نوع CSM مفروض است و سرعت اسمی آن ۳۰۰/۸ رادیان بر ثانیه می‌باشد .

اگر این موتور در بار اسمی جریان ۱۰ آمپر را تحت ضریب توان ۷۵ درصد از شبکه بکشد مطلوبست :

POWEREN.IR

الف: گشتاور اسمی

ب: راندمان در بار اسمی

۱۶ ــ یک موتور با فاز شکسته طبق مشخصات زیر مفروض است.

ولت ۲۳۰ = ولتاژ اسمی

رادیان بر ثانیه ۹۹/۴ = سرعت اسمی

آمپر ۱/۲ = جریان اسمی

هرتز ۵۰ = فرکانس اسمی

٪ ۵۰ = ضریب توان در بار اسمی

نیوتن متر ۰/۶ = گشتاور اسمی

مطلوبست:

الف: توان اسمی بر حسب وات

ب: راندمان در بار اسمی

POWEREN.IR

فهرست مطالب

POWEREN.IR

PowerEn.ir

POWEREN.IR

فهرست

فصل اول: آشنایی با مدارهای مغناطیس	۷
مقدمه	۷
۱ – ۱ : تشابه بین مغناطیس و الکتریسیته	۷
۱ – ۱ – ۱: شار	۷
۲ – ۱ – ۱: نیروی محرکه مغناطیس	۹
۳ – ۱ – ۱: رلوکتانس	۱۳
۲ – ۱ : رابطه غیر طیفی بین B و H در مواد فرو مغناطیسی	۱۶
۱ – ۲ – ۱: هیسترزیس	۲۱
۳ – ۱ : مدارهای مغناطیسی	۲۵
فصل دوم: چگونگی پیدایش ولتاژ و گشتاور	۳۹
مقدمه	۳۹
۱ – ۲ : ولتاژ القاء شده در یک‌هادی	۳۹
۱ – ۱ – ۲: پلاریته ولتاژ القاء شده	۴۳
۲ – ۱ – ۲ بررسی وضعیت یک هادی در یک مسیر دایره‌ای	۴۵
۳ – ۱ – ۲ ولتاژ القاء شده متوسط در یک هادی	۴۸
۲ – ۲ ولتاژ القاء شده در یک کلاف	۵۱
۳ – ۲ قانون لنز	۵۸
۴ – ۲ نیروی تولید شده توسط یک هادی	۵۹
۱ – ۴ – ۲ قانون‌بیو ساوار	۶۰
۲ – ۴ – ۲ جهت نیرو	۶۰
۵ – ۲ گشتاور تولید شده توسط یک هادی	۶۳
۱ – ۵ – ۲ گشتاور حاصله توسط یک کلاف	۶۸
۶ – ۲ نیروی ضد محرکه	۶۹
فصل سوم: ساختمان‌ماشینهای DC	۷۳
مقدمه	۷۳
۱ – ۳ : ارمیچر	۷۳

POWEREN.IR

۱ ــ ۱ ــ ۳ کموتاسیون (یکسو سازی)	۷۴
۲ ــ ۱ ــ ۳ حاروبکها	۷۶
۳ ــ ۱ ــ ۳ عکس‌العمل ارمیچر	۷۸
۲ ــ ۳ قطبهای کمکی (قطبهای فرعی)	۷۹
۳ ــ ۳ سیم پیچهای جبران کننده	۷۹
۴ ــ ۳ قطبهای اصلی ماشینهای DC	۸۰
۵ ــ ۳ ساختمان مکانیکی ماشینهای DC	۸۳
۶ ــ ۳ سیم پیچهای‌ارمیچر در ماشینهای DC	۸۴
۱ ــ ۶ ــ ۳ سیم پیچی مجاور از نوع سیمپلکس	۸۵
۲ ــ ۶ ــ ۳ سیم پیچی موجی از نوع‌سیمپلکس	۸۹
۳ ــ ۶ ــ ۳ مقایسه سیم پیچهای مجاور وموجی	۹۱
فصل چهارم: مشخصه‌های ژنراتورDC	۹۹
مقدمه	۹۹
۱ ــ ۴ معادلات اساس ژنراتور DC	۹۹
۱ ــ ۱ ــ ۴ تحلیل ترسیمی معادله ژنراتور DC	۱۰۲
۲ ــ ۴ مدار معادل ژنراتور DC	۱۰۶
۳ ــ ۴ ژنراتورهای DC از نوع تحریک جداگانه	۱۰۸
۱ ــ ۳ ــ ۴: منحنی مغناطیس شوندگی درحالت‌بی‌باری در یک ژنراتور DC با تحریک جداگانه	۱۰۹
۴ ــ ۴ تنظیم ولتاژ	۱۱۴
۵ ــ ۴ راندمان ژنراتور DC	۱۱۷
۱ ــ ۵ ــ ۴ تلفات توان سرگردان	۱۱۸
۲ ــ ۵ ــ ۴ تلفات مسی	۱۲۰
۳ ــ ۵ ــ ۴ تلفات بار سرگردان	۱۲۰
۴ ــ ۵ ــ ۴ دیاگرام پخش توان	۱۲۱
۶ ــ ۴ ژنراتور DC موازی یا شنت	۱۲۴
۱ ــ ۶ ــ ۴ عدم تولید ولتاژ در ژنراتور DC شنت	۱۲۷
۲ ــ ۶ ــ ۴ مشخصه بار در ژنراتور DC شنت	۱۲۸

POWEREN.IR

۷ – ۴ ژنراتور DCسری ۱۳۳
۸ – ۴ ژنراتور DCکمپوند ۱۳۶
۱ – ۸ – ۴ ژنراتور DC کمپوند نقصان ۱۳۷
۲ – ۸ – ۴ ژنراتور DCکمپوند اضافی ۱۳۸
۹ – ۴ موازی کردن ژنراتورهای DC ۱۴۴
۱ – ۹ – ۴ موازی کردن ژنراتورهای DC شنت ۱۴۵
۲ – ۹ – ۴ موازی کردن ژنراتورهای DC کمپوند ۱۵۰
فصل پنجم: موتورهای DC ۱۵۷
مقدمه ۱۵۷
۱ – ۵ معادله موتور DC ۱۵۷
۱ – ۱ – ۵ رابطه بین گشتاور و توان ۱۵۸
۲ – ۱ – ۵ اندازه‌گیری گشتاور ۱۶۰
۲ – ۵ نیروی ضد محرکه ۱۶۳
۳ – ۵ مدار معادل موتور ۱۶۴
۱ – ۳ – ۵ رفتار موتور DC در تحت شرایط باردار ۱۶۵
۲ – ۳ – ۵ منحنی گشتاور، سرعت ۱۶۶
۴ – ۵ تنظیم سرعت ۱۷۰
۵ – ۵ راندمان موتور DC ۱۷۲
۱ – ۵ – ۵ دیاگرام پخش توان ۱۷۴
۲ – ۵ – ۵ اندازه‌گیری تلفات توان سرگردان در موتور DC ۱۷۵
۳ – ۵ – ۵ راندمان ماکزیمم ۱۷۶
۶ – ۵ موتور DC شنت ۱۷۷
۱ – ۶ – ۵ جهت چرخش موتور DC شنت ۱۷۸
۲ – ۶ – ۵ اثر بار بر روی موتور DC شنت ۱۷۸
۳ – ۶ – ۵ اثر شار بر روی موتورهای DC شنت ۱۸۰
۷ – ۵ موتور DCسری ۱۸۷
۱ – ۷ – ۵ جهت چرخش موتور DC سری ۱۸۸
۲ – ۷ – ۵ اثر بار بر روی موتور DC سری ۱۸۸

POWEREN.IR

POWEREN.IR

عنوان

۸ - ۵	: موتور DC کمپوند	۱۹۰
۱ - ۸ - ۵	: موتور DC کمپوند نقصانی	۱۹۱
۲ - ۸ - ۵	: موتور DC کمپوند اضافی	۱۹۲
۳ - ۸ - ۵	: مقایسه موتورهای DC	۱۹۹
۹ - ۵	: موتورهای DC با آهن ربای دائم	۱۹۹
۱۰ - ۵	: راه اندازی موتورهای DC	۲۰۰
۱ - ۱۰ - ۵	: راه اندازی سه نقطه ای	۲۰۱
۲ - ۱۰ - ۵	: راه اندازی چهار نقطه ای	۲۰۳
۳ - ۱۰ - ۵	:راه اندازی اتوماتیک	۲۰۳
۱۱ - ۵	: متوقف کردن موتورهای DC	۲۰۷
فصل ششم	: مسائل فصلهای اول تا پنجم	۲۱۳
۱ - ۶	: سئوالات و مسائل فصل اول	۲۱۳
۲ - ۶	: سئوالات و مسائل فصل دوم	۲۲۱
۳ - ۶	: سئوالات و مسائل فصل سوم	۲۲۷
۴ - ۶	: سئوالات و مسائل فصل چهارم	۲۳۳
۵ - ۶	: سئوالات و مسائل فصل پنجم	۲۴۶
فصل هفتم	: ترانسفورماتورها	۲۶۵
۱ - ۷	: مدارهای تکفاز	۲۶۵
۱ - ۱ - ۷	: اندازه‌گیری توان	۲۷۷
۱ - ۱ - ۱ - ۷	: اضافه باردرواتمتر	۲۷۹
۲ - ۷	: اصول اولیه ترانسفورماتور	۲۸۰
۱ - ۲ - ۷	: ساختمان ترانسفورماتور	۲۸۰
۲ - ۲ - ۷	: ترانسفورماتور ایده آل	۲۸۲
۳ - ۷	: ترانسفورماتور واقعی یا غیر ایده آل	۲۸۵
۱ - ۳ - ۷	: مقادیر اسمی ترانسفورماتورها	۲۸۵
۲ - ۳ - ۷	: روابط اساسی	۲۸۷
۱ - ۲ - ۳ - ۷	: بازتاب امپدانس در اولیه و ثانویه ترانسوفرماتور	۲۹۰

POWEREN.IR

۲۹۳
POWEREN.IR
۲۹۸

۷ - ۳ - ۲ - ۲	: مدار معادل ترانسفورماتور	۲۹۳
۷ - ۳ - ۲ - ۳	: محدودیتهای فیزیکی	۲۹۸
۷ - ۳ - ۳	: تنظیم ولتاژ	۳۰۱
۷ - ۳ - ۴	: راندمان	۳۰۵
۷ - ۳ - ۵	: ترانسفورماتورهای چند سیم پیچه	۳۰۹
۷ - ۳ - ۶	: اتو ترانسفورماتور	۳۱۲
۷ - ۴	: مروری بر تئوری مدارهای سه فاز	۳۱۶
۷ - ۴ - ۱	: روابط مربوط به سیستمهای سه فاز	۳۱۷
۷ - ۴ - ۲	: اندازه‌گیری توان در سیستم سه فاز	۳۲۲
۷ - ۵	: ترانسفورماتورهای سه فاز	۳۲۳
۷ - ۵ - ۱	: طرز اتصالات سیم پیچ ها در ترانسفورماتورهای سه فاز	۳۲۵
فصل هشتم	: ژنراتورسنکرون	۳۴۱
۸ - ۱	: ساختمان ژنراتور سنکرون	۳۴۱
۸ - ۲	: رابطه مربوط به فرکانس در ژنراتور سنکرون	۳۴۳
۸ - ۳	: ولتاژ تولید شده در سیم پیچ های استاتور	۳۴۵
۸ - ۴	: ژنراتور سنکرون سه فاز	۳۴۶
۸ - ۴ - ۱	: طرز اتصال سیم پیچ های استاتور	۳۴۷
۸ - ۴ - ۲	: مقادیر اسمی ژنراتور سنکرون سه فاز	۳۴۹
۸ - ۵	: مدار معادل ژنراتور سنکرون سه فاز	۳۴۹
۸ - ۵ - ۱	: اندازه‌گیری مقاومت سیم پیچ های استاتور	۳۵۰
۸ - ۵ - ۲	: اندازه‌گیری راکتانس سنکرون	۳۵۱
۸ - ۶	: تنظیم ولتاژ	۳۵۴
۸ - ۷	: راندمان ژنراتور سنکرون	۳۶۰
۸ - ۷ - ۱	: آزمایشهای لازم جهت تعیین تلفات ژنراتور سنکرون سه فاز	۳۶۰
۸ - ۷ - ۲	: راندمان ماکزیمم در ژنراتور سنکرون	۳۶۴
۸ - ۸	: منحنی مشخصه های ژنراتور سنکرون سه فاز	۳۶۵
۸ - ۸ - ۱	: منحنی اشباع در حالت بی باری	۳۶۵
۸ - ۸ - ۲	: منحنی های بار	۳۶۶

POWEREN.IR

۳ - ۸ - ۸	: منحنی مشخصه های دیگر برای ژنراتور سنکرون	۳۶۸
فصل نهم	: موتورهای القایی سه فاز	۳۷۳
۱ - ۹	: ساختمان موتورهای القایی	۳۷۳
۱ - ۱ - ۹	: استاتور موتورهای القایی سه فاز	۳۷۳
۲ - ۱ - ۹	: رتور موتورهای سه فاز	۳۷۴
۱ - ۲ - ۱ - ۹	: رتور قفس سنجابی ساده	۳۷۴
۲ - ۳ - ۱ - ۹	: رتور قفس سنجابی مضاعف	۳۷۵
۳ - ۲ - ۱ - ۹	: رتورهای سیم پیچی شده	۳۷۶
۲ - ۹	: مفاهیم میدان گردنده	۳۷۸
۱ - ۲ - ۹	: جهت چرخش میدان گردنده	۳۸۰
۲ - ۲ - ۹	: سرعت چرخش میدان گردنده	۳۸۰
۳ - ۲ - ۹	: شکل میدان گردنده	۳۸۱
۳ - ۹	: تئوری مربوط به عملکرد موتورهای القایی سه فاز	۳۸۲
۱ - ۳ - ۹	: مشخصه های اسمی موتورهای القایی سه فاز	۳۸۵
۴ - ۹	: روابط سرعت در موتورهای القای سه فاز	۳۸۸
۱ - ۴ - ۹	: لغزش	۳۸۸
۲ - ۴ - ۹	: تنظیم سرعت	۳۹۳
۵ - ۹	: تحلیل رفتار رتور در موتورهای القایی سه فاز	۳۹۵
۱ - ۵ - ۹	: رابطه گشتاور - توان	۳۹۹
۲ - ۵ - ۹	: منحنی گشتاور - لغزش	۴۰۲
۳ - ۵ - ۹	: رتورهای سیم پیچی شده	۴۰۵
۶ - ۹	: راندمان	۴۰۸
۱ - ۶ - ۹	: تعریف تلفات در موتورهای القایی سه فاز	۴۰۹
۲ - ۶ - ۹	: تشریح پخش توان در موتورهای القایی سه فاز	۴۱۰
۴ - ۶ - ۹	: محاسبه راندمان	۴۱۴
۷ - ۹	: منحنی مشخصه های معروف در موتورهای القایی سه فاز	۴۱۸
۱ - ۷ - ۹	: منحنی مشخصه های موتور القایی سه فاز(بر حسب لغزش)	۴۱۸
۲ - ۷ - ۹	: منحنی مشخصه های موتورهای القای	

POWEREN.IR

۴۲ POWEREN.IR

	سه فاز(برحسب توان خروجی)	
۳ - ۷ - ۹	: اثر رتورهای سیم پیچی شده بر روی مشخصه های موتورهای القایی سه فاز	۴۲۰
۸ - ۹	: روش راه اندازی موتورهای القایی سه فاز	۴۲۱
فصل ۱۰	: موتورهای سنکرون سه فاز	۴۲۹
۱ - ۱۰	: ساختمان موتورهای سنکرون	۴۲۹
۲ - ۱۰	: تئوری عملکرد موتورهای سنکرون سه فاز	۴۲۹
۱ - ۲ - ۱۰	: اثر تغییرات تحریک در موتورهای سنکرون سه فاز	۴۳۲
۲ - ۲ - ۱۰	: اثر بار برروی موتورهای سنکرون سه فاز	۴۳۵
۳ - ۲ - ۱۰	: منحنی های شکل در موتورهای سنکرون سه فاز	۴۳۷
۳ - ۱۰	: روشهای مختلف راه اندازی در موتورهای سنکرون سه فاز	۴۴۰
۱ - ۳ - ۱۰	: استفاده از محرک گرداننده کمکی	۴۴۰
۲ - ۳ - ۱۰	: راه اندازی موتورهای سنکرون بصورت آسنکرون	۴۴۱
۴ - ۱۰	: تحلیل عددی توان، راندمان، گشتاور در موتورهای سنکرون	۴۴۲
۱ - ۴ - ۱۰	: توان و راندمان	۴۴۲
۲ - ۴ - ۱۰	: گشتاور(کوپل)	۴۴۵
۵ - ۱۰	: منحنی مشخصه های متداول برای موتورهای سنکرون سه فاز	۴۴۸
۶ - ۱۰	: تصحیح ضریب توان	۴۵۰
۱ - ۶ - ۱۰	: علت کاهش ضریب توان	۴۵۰
۲ - ۶ - ۱۰	: معایب ضریب توان کم	۴۵۰
۳ - ۶ - ۱۰	: راههای بهبود ضریب توان	۴۵۱
۴ - ۶ - ۱۰	: مقادیر اسمی خازن	۴۵۳
فصل ۱۱	: ژنراتورهای القایی سه فاز	۴۶۵
۱ - ۱۱	: تئوری مربوط به عملکرد ژنراتورهای القایی سه فاز	۴۶۵
۲ - ۱۱	: راندمان ژنراتورهای القایی سه فاز	۴۶۷
۳ - ۱۱	: منحنی مشخصه های متداول برای ژنراتورهای القایی سه فاز	۴۷۱
فصل ۱۲	: موتورهای تکفاز	۴۷۹
۱ - ۱۲	: موتورهای القایی تکفاز	۴۷۹

POWEREN.IR

POWEREN.IR

۱ - ۱ - ۱۲	: موتورهای با فاز شکسته	۴۸۳
۲ - ۱ - ۱۲	: موتورهای با قطب چاک دار	۴۸۵
۳ - ۱ - ۱۲	: موتورهای القایی تکفاز با راه انداز خازنی	۴۸۷
۱ - ۳ - ۱ - ۱۲	:موتورهای القایی تکفاز که خازن راه انداز در تمامی مراحل در مدار باقی می ماند	۴۸۸
۲ - ۳ - ۱ - ۱۲	:موتورهای القایی تکفاز دو خازنی	۴۹۰
۴ - ۱ - ۱۲	: موتورهای ریپالسیونی	۴۹۰
۲ - ۱۲	: موتورهای سری یا یونیورسال	۴۹۰
۳ - ۱۲	: موتورهای سنکرون تکفار	۴۹۱
۱ - ۳ - ۱۲	: موتورهای رکوکتانس	۴۹۱
۲ - ۳ - ۱۲	: موتورهای هیسترزیس	۴۹۱
۴ - ۱۲	: منحنی مشخصه های موتور تکفاز	۴۹۳
فصل ۱۳	: مسایل فصل هفتم تا فصل دوازدهم	۵۰۱
۱ - ۱۳	: سئوالات مربوط به فصل هفتم	۵۰۱
۲ - ۱۳	: مسایل فصل هفتم	۵۰۲
۳ - ۱۳	: سئوالات فصل هشتم	۵۱۹
۴ - ۱۳	: مسایل فصل هشتم	۵۱۹
۵ - ۱۳	: سئوالات مربوط به فصل نهم	۵۲۶
۶ - ۱۳	: مسایل مربوط به فصل نهم	۵۲۶
۷ - ۱۳	: سئوالات مربوط به فصل دهم	۵۳۹
۸ - ۱۳	: مسایل فصل دهم	۵۳۹
۹ - ۱۳	: سئوالات فصل یازدهم	۵۴۶
۱۰ - ۱۳	: مسایل فصل یازدهم	۵۴۶
۱۱ - ۱۳	: سئوالات فصل دوازدهم	۵۵۰
۱۲ - ۱۳	: مسایل فصل دوازدهم	۵۵۰

POWEREN.IR

واژه نامه

POWEREN.IR

PowerEn.ir

POWEREN.IR

POWEREN.IR

A

1) Air-gap	فاصلهٔ هوائی
2) Alternating-Current(AC)	جریان متناوب
3) Angle	زاویه
4) Armature	ارمیچر
5) Armature Wrinding	سیم پیچ ارمیچر
6) Armature Current	جریان آرمیچر
7) Armature Voltage	ولتاژ آرمیچر
8) Armature Shaft	محور آرمیچر
9) Armature Power Losses	تلفات آرمیچر
10) Average Torque	گشتاور متوسط
11) Average-Voltage	ولتاژ متوسط

B

1) Break	ترمز
2) Back-Electromotive Force	نیروی ضد محرکه
3) Bearing	یاطقان
4) Breakdown	فروپاشی شکست
5) Breakdown Point	نقطه فروپاشی
6) Bus-Bar	شین ــ باس بار
7) Brush	جارو بک

C

1) Cast Iron	چدن
2) Cast Steel	فولاد ریخته‌گری
3) Core	هسته
4) Current	جریان
5) Conductor	هادی
6) Copper	مس
7) Copper Wire	سیم مسی

POWEREN.IR

8) Conductivrity	هدایت ویژه
9) Coercive Force	نیروی خنثی کننده
10) Coil	کلاف ــ پیچک
11) Clock Wise(CW)	در جهت عقربه ساعت
12) Counter Clock Wise(CCW)	در جهت خلاف عقربه ساعت
13) Core Losses	تلفات هسته
14) Copper Losses	تلفات مسی
15) Compound Machine	ماشین کمپوند یا مختلط
16) Compound Motor	موتور کمپوند یا مختلط
17) Compound Generator	ژنراتور کمپوند یا مختلط
18) Commulatively Compound	کمپوند اضافی
19) Cylinder	استوانه

D

1) Direct Current(DC)	جریان مستقیم
2) DC Generator	ژنراتور جریان مستقیم
3) DC Motor	موتور جریان مستقیم
4) Divertor	دیورتور یا منحرف کننده
5) Data	داده
6) Direction	جهت
7) Dynamo	دینامو
8) Drop	افت
9) Density	چگالی ــ تراکم
10) Device	وسیله ، افزار
11) Dynamic Breaking	ترمز دینامیکی
12) Delay	تاخیر
13) Differentialy Compound	کمپوند نقصانی

E

1) Electromotive Force(EMF)	نیروی محرکه الکتریکی

POWEREN.IR

2) End Bell	درپوش انتهای ماشین
3) Efficiency	راندمان ــ بهره
4) Eddy-Current	جریان گردابی
5) Equivalent-Circuit	مدار معادل
6) Electrical Output	خروجی الکتریکی
7) Electrical Input	ورودی الکتریکی

F

1) Full Load	بار کامل ــ تمام بار
2) Flux	شار
3) Flux Density	چگالی شار
4) Force	نیرو
5) Frequency	فرکانس ــ تواتر
6) Field	میدان
7) Field Pole	میدان حاصله از قطبها
8) Frame	قاب یا بدنه ماشین
9) Field-Current	جریان میدان ــ جریان تحریک
10) Fan	پنکه
11) Friction	اصطکاک
12) Friction-Belt	کمربند اصطکاک
13) Field-Inttensity	شدت میدان

G

1) Generator	ژنراتور ــ مولد ــ الترناتور
2) Generated-Voltage	ولتاژ تولید شده

H

1) Hysteresis	هیسترزیس
2) Hysteresis Loop	حلقه هیسترزیس

I

1) Induced Voltage	ولتاژ القاء شده

POWEREN.IR

K

1) Kirchhoff's Voltage Low(KVL)	قانون ولتاژ کیرشف
2) Kirchhoff's Current Low(KCL)	قانون جریان کیرشف
3) Knol	مهره
4) Knee	پاشنه

L

1) Loop	حلقه
2) Load	بار
3) Load Current	جریان بار
4) Left-Hand-Rule	قانون دست چپ
5) Lap-Winding	سیم پیچ مجاور
6) Losses	تلفات
7) Load-Torque	گشتاور بار

M

1) Magnetic Circuit	مدار مغناطیسی
2) Magnetomotive-Force(MMF)	نیروی محرکه مغناطیسی
3) Moment of Inertia	ممان اینرسی
4) Maintenance	نگهداری
5) Mechanical Losses	تلفات مکانیکی
6) Maximum Torque	گشتاور ماکزیمم

N,O

1) North Pole	قطب شمال (قطب مثبت)
2) No-Load	بی‌باری
3) No-Load-Current	جریان بی‌باری
4) No-Load-Voltage	ولتاژ بی‌باری
5) Namplate	پلاک
6) Outpout Voltage	ولتاژ خروجی

POWEREN.IR

P

1) Power	توان
2) Power Losses	تلفات توان
3) Power Flow	پخش توان
4) Permability	نفوذ پذیری مغناطیسی (پرمابلیته)
5) Pole	قطب

R

1) Rated Voltage	ولتاژ اسمی
2) Rated Power	توان اسمی
3) Rated Speed	سرعت اسمی
4) Rated Current	جریان اسمی
5) Resistivity	مقاومت ویژه
6) Reluctance	مقاومت مغناطیسی ـ رلوکتانس
7) Resistance	مقاومت
8) Regulation	تنظیم
9) Rotational-Losses	تلفات چرخشی

S,T

1) Speed Regulation	تنظیم سرعت
2) Series Machine	ماشینهای سرعت
3) Seperately-Excited	تحریک جداگانه
4) Shunt Machines	ماشینهای موازی یا شنت
5) Stall	سکون
6) Starter	راه انداز
7) Starting-Current	جریان راه اندازی
8) STRAY-Power-Losses	تلفات توان سرگردان
9) Torque	گشتاور

V,W

1) Winding	سیم پیچ
2) Wave	موج
3) Velocity	سرعت

POWEREN.IR

POWEREN.IR

A

Active Power	توان اکتیو (حقیقی)
Apparent Power	توان ظاهری
Auto Transformer	اتو ترانسفورماتور
Air gap	فاصلهٔ هوائی
Alternating Current(AC)	جریان متناوب
Asynchronous motor	موتور آسنکرون
Asynchronous generator	ژنراتور آسنکرون

B

Blocked Rotor	رتور قفل شده یا بلوکه شده

C

Capacitor	خازن
Core	هسته
Core Losses	تلفات هسته
Copper Losses	تلفات مسی
Cylindrical Rotor	رتور صاف یا استوانه‌ای
Connection	اتصال
Circuit	مدار
Clock wise	جهت عقربه ساعت
Counter Clock wise	خلاف جهت عقربه ساعت

D

Delta Connection	اتصال مثلث
Damper Winding	سیم‌پیچ میراساز یا مستهلک کننده
Decimal	اعشاری

E

Eddy Current	جریان گردابی
Energy Conversion	تبدیل انرژی
Efficiency	بهره یا راندمان
Electromotive Force	نیرو محرکه الکتریکی

F

Field Winding	سیم‌پیچ تحریک (میدان)

POWEREN.IR

Field Current	جریان تحریک (میدان)
Field	میدان
Flux	شار
Full Load	بار کامل
Full Load Slip	لغزش در بار کامل
Full Load Current	جریان در بار کامل
Frequency	فرکانس

G

Generator	ژنراتور مولد
Generated Voltage	ولتاژ تولید شده

H

Hysteresis Losses	تلفات هیسترزیس
Hysteresis motor	موتور هیسترزیس

I

Induced Voltage	ولتاژ القاء شده
Induction motor	موتور القائی
Inductance	اندوکتانس
Industry	صنعت
Industrial load	بار صنعتی
Induction generator	ژنراتور القائی

J K L

Leading	پیش‌فاز ، تقدم‌فاز
Lagging	پس‌فاز ، تأخیرفاز
Leading power factor	ضریب توان پیش‌فاز
Lagging power factor	ضریب توان پس‌فاز
Leakage	نشتی
Leakage flux	شار نشتی
Laminated	مورق
Laminated Core	هسته مورق
Line Voltage	ولتاژ خط
Line Current	جریان خط

POWEREN.IR

POWEREN.IR

Locked	قفل شده
Locked rotor	رتور قفل شده

M N

Motor	موتور
No Load	بی‌باری
No Load test	آزمایش بی‌باری
No Load slip	لغزش در حالت بی‌باری
No Load test	آزمایش بی‌باری

O

Open Circuit	مدار باز
Open Circuit test	آزمایش مدار باز یا بی‌باری
Open delta	مثلث باز

P Q

Power factor	ضریب توان
Power factor correction	تصحیح یا بهبود ضریب توان
Primary winding	سیم‌پیچ اولیه
Power triangle	مثلث توان
Power factor Angle	زاویه ضریب توان
Pole	قطب
Pole slip	لغزش قطب
Phase Voltage	ولتاژ فاز
Phase Current	جریان فاز
Phase Angle	زاویه فاز

R

Rotor	رتور
Rated current	جریان اسمی
Rated power	توان اسمی
Rated speed	سرعت اسمی
Rated Voltage	ولتاژ اسمی
Reactive power	توان راکتیو
Rotating field	میدان گردان

POWEREN.IR

Rotating flux	شار گردان
Regulation	تنظیم
Resistance	مقاومت
Resistive	مقاومتی
Reactance	راکتانس

S

Stator	استاتور
Synchronous generator	ژنراتور سنکرون
Synchronous motor	موتور سنکرون
Synchronous Condenser	کندانسور سنکرون
Secondary winding	سیم‌پیچ ثانویه
Single phase	تکفاز
Single phase transformer	ترانسفورماتور تکفاز
Single phase motor	موتور تکفاز
Single phase induction motor	موتور القائی تکفاز
Single phase Asynchronous motor	موتور آسنکرون تکفاز
Squirrel cage rotor	رتور قفس سنجابی
Short Circuit	اتصال کوتاه
Short Circuit test	آزمایش اتصال کوتاه
Starting Torque	گشتاور راه انداز
Starting Current	جریان راه اندازی
Slip	لغزش
Speed Regulation	تنظیم سرعت
Synchronous speed	سرعت سنکرون
Starter	راه انداز
Stall	سکون
Salient pole	قطب برجسته

T

Transformer	ترانسفورماتور
Three phase	سه فاز
Three phase transformer	ترانسفورماتور سه فاز

POWEREN.IR

Three phase generator	ژنراتور سه فاز
Three phase motor	موتور سه فاز
Three phase Induction motor	موتور القائی سه فاز
Three phase Asynchronous motor	موتور آسنکرون سه فاز
Three phase Synchronous motor	موتور سنکرون سه فاز
Three phase Induction generator	ژنراتور القائی سه فاز
Three phase Load	بار سه فاز
Three phase power	توان سه فاز

U V W

Universal motor	موتور یونیورسال
Voltage regulation	تنظیم ولتاژ
winding	سیم‌پیچ
wounded rotor	رتور سیم‌پیچی شده

X Y Z

Y-Connection	اتصال ستاره
Y- △ Switch	کلید ستاره مثلث

POWEREN.IR