جزوه

طراحی ماشین های الکتریکی

PowerEn.ir

ص

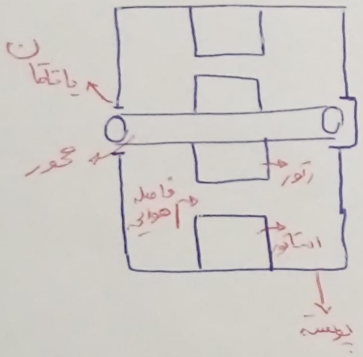
برای ماشین ۵

امتحان ← میان ترم ۵ نمره — حضوری نیست — تشریحی با open book
پایان ترم ۱۰ نمره
پروژه ۵ نمره

مرجع ۵

1- A course in Electrical Machine Design A.K. SAWHNEY
2- Design and Testing of Electrical Machines M.V. DESHPANDEH
3- Principles of Electrical Machine Design R.K. AGARWAL
4- " " " " Dr. H.M. Rai
5- Design of Electrical Machines (Dc and Ac) V.N. MITTLE

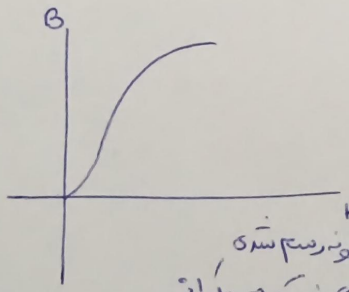
- در طراحی خوب موضوعات مهم است: ۱- هزینه ساخت ۲- طول عمر ۳- تطابق با مشخصات مورد نظر
- هر ماشین الکتریکی را می‌توان به چند مدار تقسیم کرد ۵



① مدار مغناطیسی
② مدار الکتریکی
③ مدار عایقی
④ مدار حرارتی ماشین
⑤ بخش‌های مکانیکی ۱- شکیل شده از ورق (از فولاد دم استفاده می‌شود در ابعاد بزرگ) چدن برای ماشین‌های کوچک
۲- محور (یا شفت)
۳- یاتاقان‌ها

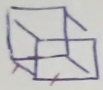
محدودیت‌های طراحی ۵

① اشباع (Saturation) در مواد مغناطیسی



* در اکثر کتاب‌ها این گونه رسم شده ولی در واقعیت یک گونه حرکت پله‌ای دارد ، دقیقه و قتی H را افزایش می‌دهیم B در آن یا حوزه تغییر نمی‌کند یعنی می‌گذرد بعد B افزایش پیدا می‌کند ،

*

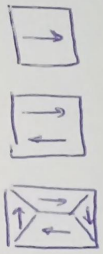


Easy Direction
ایجاد میدان در امتداد یال‌ها

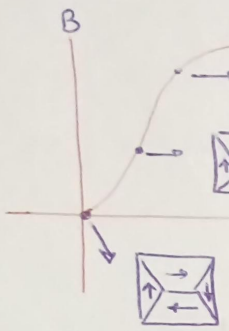
در راستای قطرها، magnetize کردن سخت است

Domain ها * تا دقه‌ای ذانوی دقیقاً در راستای H قرار می‌گیرد.

قسمتی ناحیه‌ای که تا حد ست شده magnetize، Saturation



آرایش



تا دقه ذانوی
معمولاً mmf بالایی نیاز دست.

ستفاده می‌کنیم؟
نقطه‌ای ذانوی را به‌عنوان هم دقه‌ای ذانوی را به‌عنوان

① هرچه قدر با B بالاتره کار کنیم، فولاد بهتری نیاز است تا هزینه ساخت کاهش پیدا کند.

- البته فقط هزینه ساخت هم نیست، اگر B را در نقطه انتخاب کنیم که بیشترین مقدار B است، تلفات ماشین را بالا می‌برد و این به صرفه نیست (operating cost) پس می‌بینیم نقطه‌ای ذانوی را در نظر می‌گیرند.

② دلیل دیگر انتخاب نقطه ذانوی این است که H کمتری داشته باشیم. چون H زیاد سبب زیاد جریان می‌شود نتیجه سبب می‌شود ضریب توان پایین بیاید [مخصوصاً در ماشین‌های القایی]

له خیلی تلفات زیاد است
نه خیلی هزینه ساخت زیاد است.

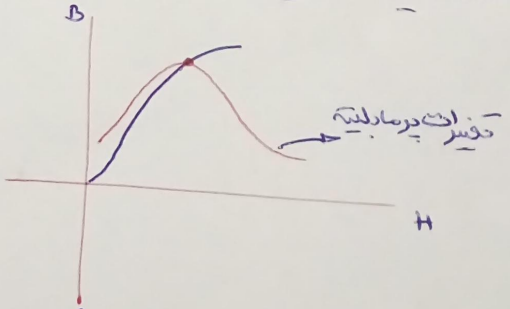
مقاومتی

* در محاسبات ماشین‌های الکتریکی معمولاً از مقدار B استفاده می‌کنیم نه میدان کل و نه مقدار لحظه‌ای.

③ از ابتدا تا دقه‌ای ذانوی افزایش B نسبت به افزایش H بیشتر است و بعد از ذانوی برعکس است دقیقه

$\frac{B}{H} = \mu$ ← پرمابلیته

افزایش تا دقه ذانوی
کاهش بعد از دقه ذانوی



* هرچه μ بیشتر و قیقه بشار راحت‌تر عبور می‌کند، یا کاس کمتر است و این میزان در دقه‌ای ذانوی رخ می‌دهد.

برخی مواقع ما از دقه‌ای ذانوی به‌عنوان دقه‌ای کار استفاده نمی‌کنیم به‌عنوان مثال در ترانس‌های توزیع.

در ترانس توزیع دقی بنه راندمان حداکثر را در بار کامل قرار دهند. چون بشار در ۲۴ ساعت، ۳، ۴ ساعت بار ما بار کامل

در ترانس توزیع دقی بنه راندمان حداکثر را در بار کامل قرار دهند. چون بشار در ۲۴ ساعت، ۳، ۴ ساعت بار ما بار کامل

ماشه و این حاست که ما دقه‌ای ذانوی را استفاده نمی‌کنیم.

② Temperature Rise
افزایش درجه حرارت

* آسیب‌پذیرترین قسمت ماشین، عایق ماشین است و این عایق به درجه حرارت حساس است. اگر افزایش درجه حرارت از حد قابل قبول بیشتر شود، به عایق صدمه می‌زند.

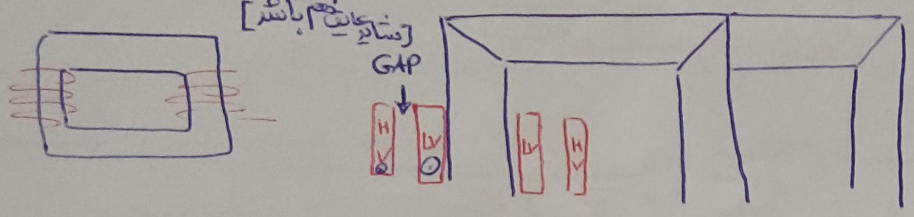
* قدرت اسمی ماشین با میزان افزایش درجه حرارت سنجیده می‌شود. ما میخواهیم قدرت اسمی ماشین را کمتر در نظر بگیریم تا افزایش درجه حرارت به حدی نرسد که به عایق صدمه بزند.

③ Insulation (عایق)

عایقی که در ماشین استفاده می‌شود باید بتواند تنش‌های الکتریکی، مکانیکی و حرارتی را تا حدی تحمل کند.

- حرارت عایق ↑ نتیجه ← اثر نامطلوب روی عایق
- الکتریکی: هر عایقی یک حداکثر ولتاژی را می‌تواند تحمل کند و در غیر این صورت شکست عایقی رخ می‌دهد.
- مکانیکی:

این عایق قدرت تنش مکانیکی قرار گیرد [شاید عایق هم باشد]



④ Efficiency (راندمان)

مثلاً می‌خواهیم راندمان را بالا ببریم باید دقت مسی و آهنی را کاهش دهیم باید از فولاد و مس بیشتری استفاده کنیم.

$P_{cu} = RI^2 = \rho \frac{l}{A} \delta^2 A^2 \xrightarrow{\text{در واحد حجم}} \rho\delta^2$

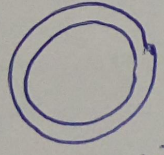
$\delta = \frac{I}{A}$ چگالی جریان



96, 7, 11

⑤ بخش‌های مکانیکی ← قرص ← محور ← یاتاقان‌ها

- مثلاً در موتورهای القایی سعی می‌شود طول محور کوتاه باشد تا نیروهای unbalanced کم باشد.



هرچقدر دقت بیشتری در این زمینه بخواهیم هزینه افزایش پیدا می‌کند.

اگر فاصله‌های هوایی متقارن باشد، برآیند نیروها صفر است.

- در موتورهای القایی G_{sp} ، G_{sp} بیشتر باشد بهتر است چون جریان کمتر کشیده می‌شود
هرچقدر فاصله‌ی هوایی کمتر باشد G_{sp} بیشتر می‌شود.
- مسائل مکانیکی خودشان یک سری محدودیت‌هایی دارد و به همین دلیل نمی‌توان فاصله‌ی هوایی را به هر اندازه‌ای کاهش داد
- اغلب موتورهای القایی فاصله‌ی هوایی در حد 1mm است. کمتر از آن باالنس کردن خیلی سخت است [اگر دقت نشود روتور می‌خورد به استاتور]

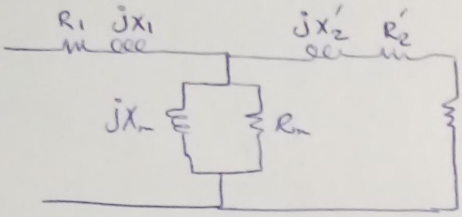
⑥ کموتاسیون

- جرقه زدن ، ولتاژ القایی خرنان کموتاسیون دیاسری مشکلات ایجاد می‌کند
- کموتاسیون سپ داده ماشین‌های DC ساخته‌شده از 10 HW تجاوز نمی‌کند .

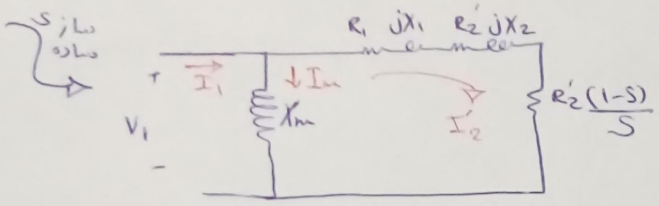
⑦ ضریب توان

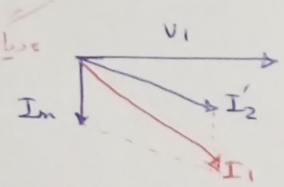
- در موتور القایی دیگر اهمیت پیدا می‌کند . به دلیل محدودیت در فاصله‌ی هوایی ، محدودیت $\cos\varphi$ هم داریم .

چرا فاصله‌ی هوایی روی $\cos\varphi$ اثر دارد ؟ هرچقدر فاصله‌ی هوایی بیشتر باشد I_m بیشتر می‌شود زاویه کمتر ، $\cos\varphi$ کمتر می‌شود



جریان عبوری ، جریان معادل سمت ثانویه در سمت ۱ است .





⑧ مشخصات مکانیکی :

- موتور القایی می‌خواهیم با یک حجم مشخص ← این حجم مشخص دیاسری محدودیت‌ها ایجاد می‌کند
- برای مشتری وزن مهم است ← این هم محدودیت ایجاد می‌کند
- موتوری می‌خواهیم با راندمان مشخص ← باز هم محدودیت

⑨ مشخصات استاندارد

- استاندارد می‌گوید می‌خواهیم این تجهیزات را بسازید باید این اصول را رعایت کنید = محدودیت

- معمولاً در طراحی ماشین ، تعداد محاربات کمتر از مجهولات است و دیاسری پارامترها را خودمان باید مشخص کنیم و این یعنی تجربه .

$$\text{حجم} = \frac{\pi D^2}{4} L$$

هرچقدر قدرت اسمی ماشین بالاتر است ، حجم آن هم بیشتر است

قدرت اسمی ماشین $\propto D^2 L$ ← طول ماشین
قطر ماشین در فاصله‌ی هوایی

قدرت ماشین با حجم رابطه دارد

ولی می‌شود قطر بزرگ با طول کوچک یا برعکس ، این به دست طراح است .

- معمولاً در سرعت‌های بالا ← قطر کوچک ، طول زیاد [ژنراتورهای بخار توربین‌ها] ، قطر کوچک دارند
طول زیادی دارند

- در سرعت‌های پایین [در نیروگاه‌های آبی] ← قطر زیاد ، طول کم
چون $n_s = \frac{120f}{p}$ است و وقتی سرعت پایین است ، تعداد قطب‌ها باید زیاد باشد نیاز به قطر بیشتری است .
نیروگاه در نزدیکی مرکز

معمولاً ماشین‌ها را براساس قدرت تقسیم‌بندی می‌کنند و نه براساس سرعت.

۱- ماشین‌های کوچک ← تا 750W [تقریباً یک اسب]

۲- ماشین‌های متوسط ← از 750W تا 250kW

۳- ماشین‌های بزرگ ← از 250kW تا 5MW

۴- ماشین‌های خیلی بزرگ ← از 5MW به بالا ← معمولاً موردی ساخته می‌شود و هیچ کارخانه‌ای خط تولید مستمر از این نوع ماشین ندارد.

عملکرد ماشین، براساس توانین زیر است:

۱- القا [induction] ← ولتاژ القایی: $e = -\frac{d\Phi}{dt}$ ← Flux Linkage ← تعداد دور کلاف ← تعداد خطوط عبوری از کلاف

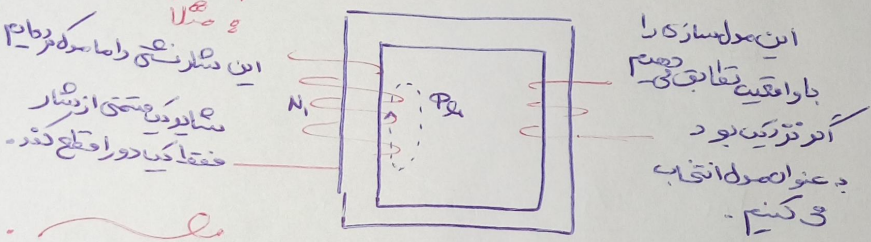
۲- اثر متقابل [interaction]

۳- Alignment

در عمل ممکن است کل شار، کل دورها را قطع نکند.

$\Psi = N_1\Phi_1 + N_2\Phi_2 + \dots$

مثلاً



این شار را می‌خواهیم اما ممکن است شار دیگری هم ایجاد شود که فقط کمی از شار اصلی را قطع کند.

این مدل سازه را با واقعیت تطابق می‌دهیم اگر تزدیک بود به عنوان مدل انتخاب می‌کنیم.

$N_1\Phi_{l1} \stackrel{?}{=} N_{11}\Phi_{l11} + N_{12}\Phi_{l12} + \dots$

۹۹/۷/۱۶

اثر متقابل: اگر ماده‌ای که حامل جریان در میدان قرار بگیرد به آن هادی نیرو وارد می‌شود مقدار این نیرو،

$$F = (\vec{l} \times \vec{B})\, i$$

Alignment: اگر در یک میله‌ی پارامغناطیس مثل هوا، میدان مغناطیسی وجود داشته باشد، اگر متریال پارامغناطیسی باشد در آن میدان مغناطیسی قرار بگیرد، به آن نیرو وارد می‌شود، خطوط شاری که می‌خواهد از آن متریال عبور بکند، سعی بالاترین راکتانس را طی کند.

پایان فصل اول

فصل دوم:

مواد مورد استفاده در ماشین‌های الکتریکی

- هادی‌های الکتریکی: هادی‌های الکتریکی که در ماشین استفاده می‌شود باید یک سری مشخصات داشته باشد:

① Conductivity ↑ (یا به عبارتی ρ ↓ (Resistivity)) خیلی زیاد

② ضریب حرارتی مقاومت کمتر (وقتی درجه حرارت بالا می‌رود تا جای ممکن مقاومت نسبت به حرارت نشود)

③ استحکام مکانیکی خوب

④ قابلیت نورد و کشش ↑

⑤ قابلیت جوش و لحیم‌کاری خوب

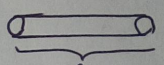
⑥ اکسید نشود و فاسد نشود.

بهترین هادی که شرایط اخیر را داشته باشد ① مس است [البته نقره بهتر است ولی گران است]
بعد از مس، گزینه مناسب آلومینیوم است (البته ② Resistivity نسبت به مس بالاتر است / وزنش کمتر پس راحت‌تر است / استحکام مکانیکی آن از مس کمتر است) از آلومینیوم در موتورهای قفس‌سنجابی در قدرت‌های پایین از آلومینیوم استفاده می‌شود. در ترانس‌ها که حساسیت هم آلومینیوم استفاده می‌شود (هرچقدر سطح سوخ کمتر شود، تلفات گردابی کمتر می‌شود)
آلومینیوم در هشت دوبله کلیه می‌شود و از بقیه آلومینیوم محافظه می‌کند. این اکسیژن سبب بالا رفتن نقطه ذوب می‌شود.

اگر مثلاً برای هادی مس ما ای‌شده باشد با سطح مقطع A و طول ℓ، ولی به جای مس، آلومینیوم استفاده کنیم چه می‌شود؟

حجای کار تقریباً ۷۵ است.

مس: $\rho_c = 0.021 \times 10^{-6}\ \Omega.m$
آلومینیوم: $\rho_{Al} = 0.034 \times 10^{-6}\ \Omega.m$



$P_c = \rho \delta^2$ ← واحد حجم بدست می‌آید $P_c = \rho \delta^2 A.\ell$ ← حجم

در دو جلسه قبل گفته شد تلفات مس از رابطه‌ی

$P_c = \frac{\rho \delta^2}{\text{چگالی}}$ ← واحد وزن $\frac{W/m^3}{kg/m^3} = \frac{\text{وات}}{W/kg}$

تلفات مسی ویژه (مخصوص)

$\frac{\text{تلفات آلومینیوم}}{\text{تلفات مس}} = \frac{R_{Al} I^2}{R_c I^2}$ ← از هر دو یکجا ساده می‌شود $\frac{P_{Al}}{P_c} = \frac{P_{Al}}{P_c} = \frac{0.034 \times 10^{-6}}{0.021 \times 10^{-6}} = 1.62$

یعنی تلفات ما در حالت آلومینیوم ۱.۶۲ برابر از حالت مس است. ۶۲٪ افزایش تلفات ← در حرارت ماشین بالا می‌رود

← ممکن است عایق‌ها دیگر نتوانند در حرارت را تحمل کنند.

پس اگر به جای مس از آلومینیوم استفاده کردیم یا باید قدرت اسمی ماشین را پایین بیاوریم یا دانسیته در سطح مقطع و طول

ایجاد کرد.

$\frac{P_{Al}}{P_c} = 1 = \frac{R_{Al} I_{Al}^2}{R_c I_c^2} \rightarrow \left(\frac{I_{Al}}{I_c}\right)^2 = \frac{R_c}{R_{Al}} = \frac{\rho_c}{\rho_{Al}} = \frac{1}{1.62} \rightarrow \frac{I_{Al}}{I_c} = \frac{1}{\sqrt{1.62}} \simeq 0.78$

$1 = \frac{R_{Al}}{R_c} \rightarrow 1 = \frac{\rho_{Al}}{\rho_c} \frac{A_c}{A_{Al}} \rightarrow \frac{A_{Al}}{A_c} = 1.62$

در سطح مقطع دایره‌ای باشد ← $\frac{D_{Al}}{D_c} = \sqrt{1.62} = 1.27$ قطر

با این که Area زیاد شده ولی وزن کمتر می‌شود چون چگالی آلومینیوم تقریباً $\frac{1}{3}$ مس است.

③ هادی‌های کربنه: Conductivity کمتر از مس و آلومینیوم / نوترا است / آسیب‌پذیر تا تورها وارد نمی‌شود / در صورت استفاده از این مواد باید تحت دمای جبران قرار گیرد در دو آرام آرام خنک شود / ... ل خاصیت ابررسانایی را

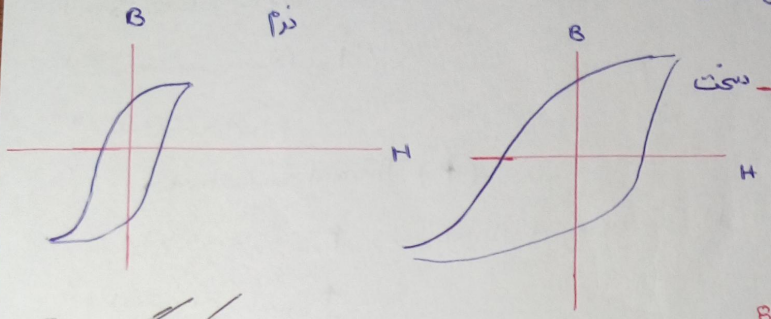
④ ابررسانا‌ها: ابررسانا اگر در میدان مغناطیسی قرار بگیرد یا تحت چگالی جریان بالا قرار گیرد / ... از دست می‌دهد. / معمولاً در ژنراتورهای ابعاد بزرگ استفاده می‌شود البته صرفه اقتصادی هنوز ندارد /

ص ۷

- مواد مغناطیسی : به چند دسته تقسیم می‌شوند که براساس پرمابلیته این تقسیم بندی انجام می‌شود .

① فرومغناطیسی $\mu_r \uparrow$ (حدود 5000-6000)

- فرومغناطیسی نرم ← به راحتی magnetize و demagnetize می‌شوند
- فرومغناطیسی سخت ← به سختی magnetize و demagnetize می‌شوند (نیاز به mmf بالایی دارند)



ماشین‌های دارای هن بیاک دائم استفاده می‌شود

POWEREN.IR

- مواد فرومغناطیس نرم خودشان به چند دسته تقسیم می‌شوند :

I) هسته‌های تیغه‌ای : معمولاً وقتی B نسبت به زمان متغیر است استفاده می‌شود [ماشین‌های DC و قسمت‌های الکترومگنت است]

هرچقدر هسته یکپارچه که پرمابلیته‌ی بالاتری دارد استفاده شود ← بهتر است، چرا که این‌ها را magnetize می‌کند که دیرخواهد برد

معمولاً وقتی تولید می‌شود مقداری ناخالصی (کربن) که سبب افزایش تلفات می‌شود [گاهاً درصدی سیلیکون دارد ۳٫۲٪ ضخامت ۰٫۳mm]

استفاده می‌شود تا طول عمر بیشتر شود] [سیلیکون تا حدی مشکل aging را حل می‌کند]

II) هسته‌های Non - oriented : خواص مغناطیسی در همه‌ی جهات یکسان است . اگر magnetize شوند تلفات و جریان در همه‌ی جهت‌ها یکسان است . بهتر است در جاهایی که شار ما دوار است از این نوع هسته استفاده می‌کنیم .

معمولاً ماشین‌ها و ترانس‌های قدرت پایین را Non oriented می‌سازند به دلیل بهتر بودن به دلیل صرفه اقتصادی که

۹۴/۷/۱۸

استفاده از سیلیکون آن‌قدر مشکل aging را حل می‌کند اما پرمابلیته و اشباع را کاهش می‌دهد

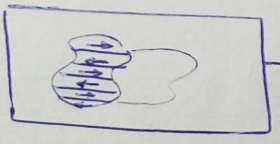
III) هسته‌های Grain Oriented : معمولاً Domain ها در یک راستا هستند یا زاویه‌ی کوچکی دارند .

خواص مغناطیسی در یک جهت به خصوص مطلوب‌تر است و آن جهت، جهت Rolling Direction است .

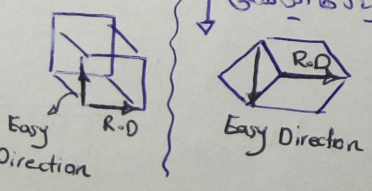
اگر در جهات دیگر magnetize کردیم، زودتر اشباع می‌شود و تلفات بالا می‌رود .

(اگر زاویه ۶۰° نسبت به Rolling Direction magnetize کنیم بیشترین خاصیت را می‌دهد)

* بهتر است در جایی استفاده کنیم که شار تغییر نکند
* در ترانس‌های بزرگ همواره از grain استفاده می‌شود



Rolling Direction
جهت نورد



معمولاً مربع‌ها این شکلی

نیروهای خارجی: تلفات ↑
نیروهای کششی: تلفات ↓

Domain Refining (Nippon Steel)
Laser Scribed (Armco)

(روش‌هایی که در آن قرقره‌ها را کمی خم می‌کنند)

IV) آمورف (Amorphous) : (برش از دل سخت است)

تلفات آن نسبت به بهترین grain oriented کمتر است ولی استفاده از آن نیاز به تجهیزات خاص خود را دارد . ($\frac{1}{3}$)

تقریباً ۱٫۳-۱٫۴T با اشباع می‌رود در حالی که grain oriented با ۱٫۸-۱٫۹T اشباع می‌شود .

۹۶/۷/۲۴ ص

مواد عایق

انواع مختلفی دارد ، طبیعی یا مصنوعی ، گرانبها یا ارزان .

* مشخصات یک عایق خوب :

۱- شدت عایقی بالا

۲- رزیستیویته بالا ($\rho\uparrow$)

۳- تلفات عایقی کم

۴- Thermal conductivity ($\uparrow$)

۵- پایداری حرارتی $\uparrow$ (در دمای بالا خاصیت عایقی خود را از دست ندهد)

۶- استحکام مکانیکی $\uparrow$

نباید رطوبت تاثیر ویژه‌ای روی آن بگذارد

نباید مواد شیمیایی تاثیر ویژه‌ای روی آن بگذارد

* عوامل موثر بر مشخصات عایقی مواد عایقی :

۱- ابعاد

۲- مقدار موثر (rms) و شکل موج و فرکانس ولتاژ اعمالی

۳- رطوبت و درجه حرارت

۴- استرس‌های مکانیکی [اثر دیزدوهای فشاری]

معمولاً نوع عایقی براساس درجه حرارتی که می‌تواند تحمل کند تقسیم‌بندی می‌کنند . [معمولاً]

به این دلیل ترجیح نمی‌دهیم ماشین Overload کار کند چون درجه حرارت افزایش پیدا می‌کند (بالاتر از حد اکثر) عمر عایق افت می‌کند

به ازای هر ۸ درجه افزایش حرارت از حداکثر دمای قابل تحمل عمر عایق را نصف می‌کند .

حداکثر درجه حرارت مجاز θ_0 = $\quad \xi = 2^{\frac{\theta_1 - \theta_0}{8}}$ یک رابطه تجربی هم دارد

طول عمر عایق $\propto \frac{1}{\xi}$ تاثیر روی عمر عایق

اگر ماشین برای مدت زمان t_1 ، دمای θ_1 کار کند ، برای مدت زمان t_2 دمای θ_2 کار کند داریم :

$$\left.\begin{matrix} \xi_1 \rightarrow \theta_1 , t_1 \\ \xi_2 \rightarrow \theta_2 , t_1 \end{matrix}\right\} \longrightarrow \begin{cases} \xi = \xi_1 \frac{t_1}{\tau} + \xi_2 \frac{t_2}{\tau} \\ \tau = t_1 + t_2 \end{cases}$$

شروع فصل 4 کتاب :

اصول کلی مدارهای مغناطیسی :

AT آمپردور (همان mmf)

at آمپردور بر متر (همان H شدت میدان مغناطیسی)

$AT = IR\,\Phi$ به رلوکتانس

$IR = \frac{\ell}{\mu A}$ ، $\Lambda = \frac{1}{IR}$ (Λ پرمیانس)

$B = \mu H \xrightarrow{\text{در هوا}} B = \mu_0 H$ ، $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \left[\frac{H}{m}\right]$ از کجا؟ جدید آمد

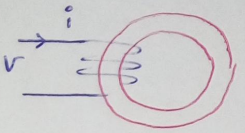
$\frac{wb}{m^2} \frac{A}{m} = \frac{wbm}{m^2 A} = \left(\frac{wb}{A}\right)\frac{1}{m} = H/m$

قانون فارادی $\left[\begin{matrix} e = N\frac{d\Phi}{dt} \\ e = L\frac{di}{dt} \end{matrix}\right]$ (H حلقه)

معمولاً در کتاب ها مشابه سازی می کنند بین مدارهای مغناطیسی و الکتریکی مثلاً رلوکتانس را معادل مقاومت و mmf را معادل منبع ولتاژ می گیرند. اما تفاوت هایی هم دارند.

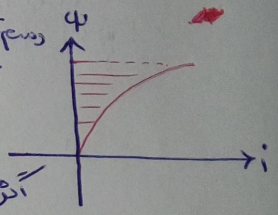
۱- جریان حرکت بار است ولی شار کمیتی مفروض است [برای توجیه خاصیتی که وجود دارد از مفهوم شار استفاده می کنیم]

۲- در مدار الکتریکی، تا وقتی مدار بسته است، جریان عبور می کند، از منبع انرژی می گیریم ولی در مدارهای مغناطیسی برای ایجاد شار انرژی می گیریم و برای ابقای شار دیگر انرژی نمی گیریم.



$dW_e = vi\,dt - Ri^2dt$ (انرژی ورودی − تلفات مسی)

$= (v - Ri)i\,dt = ei\,dt$ (e: ولتاژ القایی) $\xrightarrow{\text{طبق قانون فاراده}}$ $\frac{d\psi}{dt}i\,dt = i\,d\psi$ (e)



دوم تغییرات ψ

اگر هوا بود منحنی خطی می شد چون H عدد ثابت بود.

$dW_e = i\,d\psi$

$W_e = \int i\,d\psi$ (انتگرال)

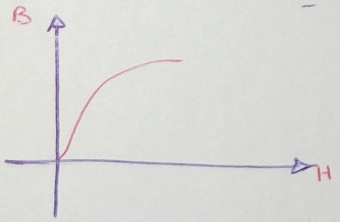
اگر ψ را ثابت نه داریم

$W_e = 0$

پس اگر بخواهیم شار ایجاد کنیم انرژی می گیریم ولی برای ثابت ماندن شار انرژی نمی گیریم.

۳- مقاومت ثابت است ولی رلوکتانس با مقدار شار عبوری متفاوت.

در مواردی نیاز است رابطه بین B و H را داشته باشیم. از معادلات مختلفی استفاده می شود که از آن ها به شکل زیر است:



$$B = \frac{a_0 + a_1H + a_2H^2 + \cdots}{b_0 + b_1H + b_2H^2 + \cdots}$$

شاری که از مسیر اصلی مورد نظر ما عبور می کند شار نشتی نامیده می شود و دقیقاً قابل محاسبه نیست. هرچه تلفات حساب شده تقریب بهتر است.

چون نتایج تقریب با نتایج Practical همخوانی داشته، آن را درست فرض می کنیم.

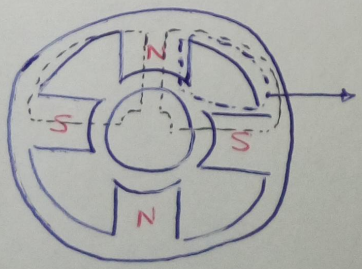
[اگر در Search coil و تأثیر القا شود شار نشتی متغیر با ما دارد]

گونه تشخیص شار نشتی به استفاده از Seach coil

$$\text{ضریب نشتی } C_l = \frac{\text{شار کل}}{\text{شار مفید}} = \frac{\text{شار مفید} + \text{شار نشتی}}{\text{شار مفید}}$$

اما در محاسبات این گونه شار نشتی در نظر گرفته می شود.

۴ قطب

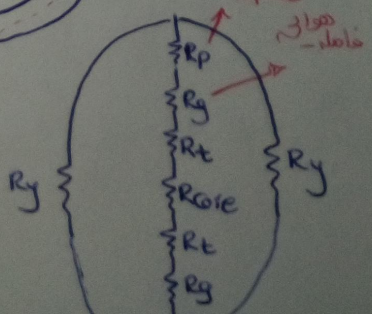


شار نشتی

۲ قطب



مدار معادل الکتریکی



POWEREN.IR

۹۹/۷/۲۵

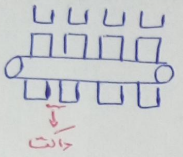
mmf فاصله هوایی (AT_g)

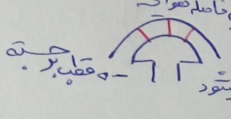
عواملی که سبب بیشتر شدن mmf فاصله هوایی می‌شود:

۱- دریاطرف یا هر دو طرف شیار باشد. (استاتور یا رتور یا هر دو)

۲- وجود راکت (duct) برای خنک کردن ← ماشین‌هایی که توان بالا دارند. duct

۳- وجود قوس‌های برجسته ← سبب می‌شود فاصله‌های هوایی یکنواخت نباشد.





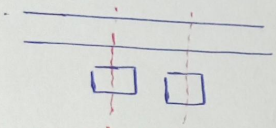
در ابتدا فرض می‌کنیم فاصله‌ی هوایی بین رتور و استاتور کاملاً یکنواخت باشد (حالت Smooth)

شیارها بسته ← در فاصله‌ی هوایی شیار نداریم.

آرمیچر: به سمتی اطلاق می‌شود که یا آن را انرژی می‌دهیم یا از آن انرژی گرفته می‌شود.

می‌تواند روی استاتور باشد یا روی رتور

در ماشین‌های DC ← در ماشین‌های سنکرون



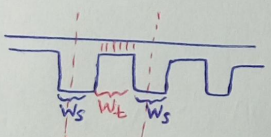
$$\gamma_s = \frac{\pi D}{S} \quad \text{(برحسب متر)}$$

D: قطر فاصله هوایی
S: تعداد شیارها

محاسبه رلوکتانس فاصله هوایی در یک گام شیار:

$$IR_{smooth} = \frac{l_g}{\mu_0 A_g} = \frac{l_g}{\mu_0 \gamma_s L}$$

A_g: سطح مقطع فاصله هوایی
L: طول ماشین



محاسبه رلوکتانس فاصله هوایی در یک گام شیار وقتی در یک طرف شیار است:

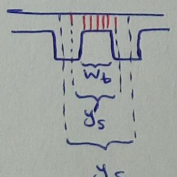
$$\gamma_s = W_t + W_s$$

$$IR_{slotted} = \frac{l_g}{\mu_0 W_t L}$$

W_t: عرض دندانه
اگر فقط شیار وجود داشت عرض دندانه

$IR_{slotted} > IR_{smooth}$

عملاً شار عبوری که وجود دندانه دارد کمتر از حالتی است که شیار عبور می‌کند.



$$\gamma'_s = W_t + S W_s$$

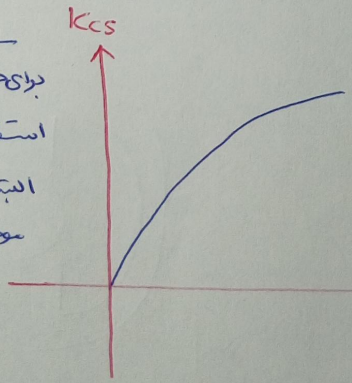
$S W_s$: گشادی شیار

$$\gamma'_s = W_t + S W_s + W_s - W_s$$

$$\gamma'_s = \gamma_s - (1-S) W_s$$

$(1-S)$: K_{cs} ضریب کارتر برای شیار

$$\gamma'_s = \gamma_s - K_{cs} W_s$$



برای بدست آوردن K_{cs} می‌توان از این نوع نمودارها استفاده کرد.

البته یک سری فرمول‌هایی هم وجود دارد. [در کتاب موجود است] [روابط تجربی]

$$IR_{slotted} = \frac{l_g}{\mu_0 \gamma'_s L} = \frac{l_g}{\mu_0 (\gamma_s - K_{cs} W_s) L}$$

بصورتی که شار هم در دندانه است و هم در W_s

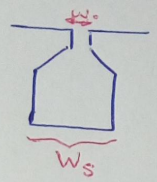
مرا

$$\frac{IR_{slotted}}{R_{Smooth}} = \frac{\frac{l_g}{\mu_0 (\gamma_s - K_{cs} W_s) L}}{\frac{l_g}{\mu_0 \gamma_s L}} = \underbrace{K_{gs}}_{\text{gap Contraction Sactor for slot}}$$

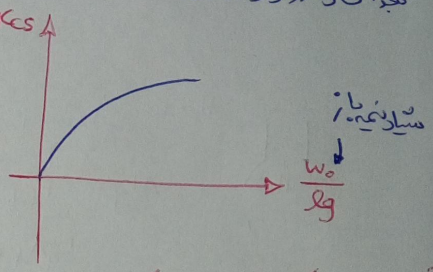
پس اگر بخواهیم رلوکتانس را حساب کنیم می‌توانیم K_{gs} را حساب کنیم

بعد آن را در رلوکتانس حالت اسموث ضرب می‌کنیم.

در عمل همان اسلات‌ها تخت باز باشند که بعلت اسموث‌تر دیک‌تر است. (شیار نیمه باز)



$$\rightarrow K_{gs} = \frac{\gamma_s}{\gamma_s - K_{cs} W_0}$$



اگر وجود دالت را لحاظ کنیم و مشابه کاری که در سمت قبل کردیم

$$K_{gd} = \underbrace{\frac{L}{L - K_{cd} \cdot W_d}}_{\text{gap Contraction Sactor for duct}} \xrightarrow{\text{برای دالت}} \xrightarrow{\text{برای تکمیل}} \underbrace{\frac{L}{L - K_{cd} n_d W_d}}_{L}$$

K_{cd} از روی نمودار

$$IR = \frac{l_g}{\mu_0 \gamma_s' L'} \rightarrow \frac{IR \text{ هم شیاردار هم دالت}}{IR \text{ Smooth}} = \frac{\gamma_s L}{\gamma_s' L'} = K_g \rightarrow \boxed{K_g = K_{gs} K_{gd}}$$

K_{gs} K_{gd}

IR هم شیاردار هم دالت

L' طول موثر

یعنی اگر ماشین هم شیار دارد هم دالت می‌توانیم یک بار فقط در نظر بگیریم که شیار دارد و یک بار فقط در نظر بگیریم که دالت دارد بعد تاثیر هر دو را لحاظ کنیم.

تا الان فرض این بود که یک طرف شیار داشته باشیم، اگر هم در رتور هم در استاتور شیار داشته باشیم

$$K_{gs} = K_{gss} \times K_{gsr}$$

استاتور — رتور

ما می‌خواستیم mmf حساب کنیم، اصلا رلوکتانس نمی‌خواستیم

$$AT_g = IR \, \Phi$$

$$B_{average} = \frac{\Phi_p}{A_p} = \frac{\Phi_p}{\frac{K_{CD}}{P} \times L}$$

گام دهانه

B_g = چگالی شار در فاصله هوایی

$$\rightarrow AT_g = \frac{B_g}{\mu_0} l_g$$

H

با فرض میدان یکنواخت (علی فاصله هوایی ثابت)

Slot در جائی که duct داریم

$$AT_g = \frac{B_g}{\mu_0} l_g \cdot k_g$$

$$AT_g = 8 \times 10^5 B_g l_g k_g$$

$\frac{\Phi}{A}$ را

$k_g > 1$

$$AT_g = 8 \times 10^5 \frac{\Phi}{A} l_g k_g$$

$$= 8 \times 10^5 \frac{\Phi}{A/k_g} l_g$$

A/k_g → $A_{effective}$

متناظر است که مساحت داهش می‌دارد [وقتی دالت و شیار داریم]

← وقتی در صورت وجود شیار و دالت، l_g ما بزرگتر است

$l_{ge} = l_g k_g$

$l_{geffective}$ را

جلسه ۱۲ — ۹۶/۷/۳۰

* خلاصه جلسه قبل

اگر دریا طرف d باشد ← $k_d = k_{d1}$

اگر هر دو طرف d باشد ← $k_d = k_{d1} \cdot k_{d2}$

اگر دریا طرف s باشد ← $k_s = k_{s1}$

اگر هر دو طرف s باشد ← $k_s = k_{s1} \cdot k_{s2}$

$$AT_g = 800000\, B_g \cdot l_g \cdot (k_g)$$

$k_g = k_s \cdot k_d$

این جلسه، اگر وقت ما برجسته باشد AT_g را چگونه حساب کنیم؟

ابتدا فقط فرض می‌کنیم، برجسته باشد نه دالک داریم نه شیار.

flux tube شامل بردار

$$AT_g = \Phi_{f.t} \cdot \mathcal{R}_{f.t}$$

$$\Phi_{f.t} = B_g A_{f.t}$$

$$\mathcal{R}_{f.t} = \frac{l_g}{\mu_0 A_{f.t}}$$

« Smooth دقیقاً در حالت بدون شیار و دالک

اگر شیار و دالک داشته باشیم در رتور

$$AT_g = B_g \cdot A_{f.t} \frac{(l_{ge})}{\mu_0 A_{f.t}} \quad l_g \cdot k_g$$

$$AT_g = 800000\, B_g l_g k_g$$

چرا مرکز قطب را در نظر گرفتیم؟ چون شار در مرکز قطب ماکزیمم است.

معمولاً در زمان طراحی B که در نظر می‌گیرند Baverage است.

$$B_{average} = \frac{\Phi_p}{A_p} = \frac{\Phi_p}{\frac{\pi D}{p} L}$$

شار هر قطب — گام قطب — طول هسته در فاصله هوایی — که بسطی در زیر هر قطب وجود دارد

$$K_f \simeq \frac{B_{average}}{B_g}$$

اگر k_f را داشته باشیم B_g را می‌توانیم بدست آوریم

field form factor

$$k_f \simeq \frac{\text{Pole arc}}{\text{Pole pitch}}$$

قوس قطب — گام قطب

قوس قطب — از ۰ تا ۱۰ گام قطب

اولین نقطه‌ای که انتخاب می‌شود. و بدست می‌آوریم.

$y_{s_1} = \frac{\pi D}{S}$ عرض شیار

$W_{t_1} = y_{s_1} - W_s$, $B_2 = \frac{\Phi_s}{A_2}$

عرض دندانه — $A_1 = W_{t_1} \cdot L$

$B_1 = \frac{\Phi_s}{A_1}$

B تقریبا ثابت

سطح

عرض دندانه

(H) at — طول

محاسبه AT_t دندانه ← mmf

دندانه‌ها تقریباً در دو زنقه‌ای دسته‌بندی می‌شوند.

$$at_{mean} = \frac{\text{حاصل میانگین‌گیری (کل - H)}}{\text{طول دندانه}}$$

متوسط

$$AT_t = at_{mean} \cdot dt$$

تقریباً هم‌اندازه با d_s (عرض شیار)

روش بالا برای محاسبه AT_t استفاده شد روشی گرافیکی است و دقیق‌تر است ولی ۲ روش دیگر هم برای محاسبه AT_t هست:

روش ۲ Simpson ← فقط در 3 سه سطح مقطع بررسی می‌شود، کم‌ترین و بیشترین سطح مقطع و سطح مقطع وسط.

B_1 — B_2 — B_3

$B_1 \rightarrow at_1$

$B_2 \rightarrow at_2$

$B_3 \rightarrow at_3$

$$at_{mean} = \frac{at_1 + 4at_2 + at_3}{6}$$

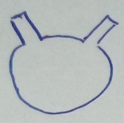
ys_1 — ys_2 — ys_3

$B_1 = \frac{\Phi_s}{A_1}$ → $y_{s_1} = \frac{\pi D}{S}$, $W_{t_1} = y_{s_1} - W_s$, $A_1 = W_{t_1} \cdot L$

$B_2 = \frac{\Phi_s}{A_2}$ → $y_{s_2} = \frac{\pi (D - d_s)}{S}$ ← دقیقا شیار, $W_{t_2} = y_{s_2} - W_s$

$B_3 = \frac{\Phi_s}{A_3}$ → $y_{s_3} = \frac{\pi (D - 2d_s)}{S}$, $W_{t_3} = y_{s_3} - W_s$

ص ۳۰

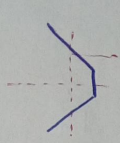


اگر شکل این حوضه دقیقا مشابه شکل مقابل بود مشکلی پیش نمی‌آمد.

$y_{S_2} = \frac{r(D+d_S)}{S}$

$W_{t_2} = y_{S_2} + W_S$

⋮



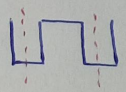
روش 3 : مقطر دیافراگم B را حساب می‌کنیم.

B را $\frac{1}{4}$ دنده مقطع حساب می‌کنیم.

$B_{\frac{1}{3}t} \longrightarrow at_{\frac{1}{3}t} = at_{mean}$

شار عبوری از آهن (حیش زیاده) — شار عبوری از هوا

شار عبوری از شیار (Φ_S) : $\Phi_S = \Phi_i + \Phi_a \longrightarrow \frac{\Phi_S}{A_i} = \frac{\Phi_i}{A_i} + \frac{\Phi_a}{A_i}$



$B_{app} = B_{Real} + \frac{\Phi_a}{A_i} \times \frac{A_a}{A_a} \longrightarrow B_{app} = B_{Real} + B_a \frac{A_a}{A_i}$

(به ضخامتی که شار از فاصله‌ی هوایی عبور کند.)

(چقدر از هوا عبور کند (k))

$1 + K = K_S = 1 + \frac{A_a}{A_i} = \frac{A_i + A_a}{A_i} = y_{SL} / W_{t_i} \cdot L_i \longrightarrow$ طول آهن؟ منظور از ناحیه؟

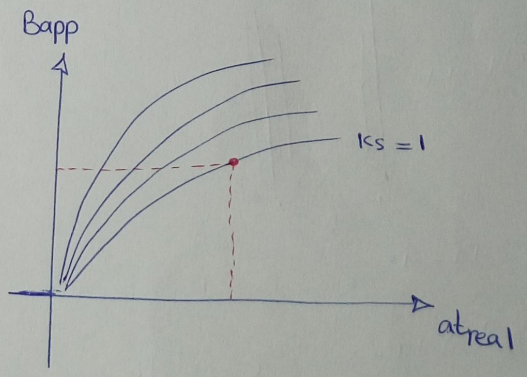
$L - n_d w_d \longrightarrow L_i = k_i(L - n_d w_d)$

n_d: تعداد دکت‌ها — w_d: عرض دکت — Stacking factor (ضریب پرشدگی)

معمولاً material های خوب $k_i = 0.9$ است. (یعنی ۹۰٪ حجم شیار را آهن پر کرده است.)

پس : $B_{Real} = B_{app} - (K_S - 1)\mu_0 at_a$ → at_{real}

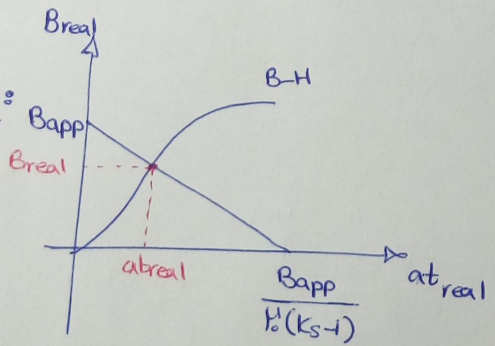
۹۴/۱/۲۰



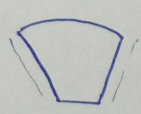
از روی منحنی at_{real} را پیدا کردیم، آن گاه داریم :

$AT_t = at_{real} d_S$ (با واحد آمپر دور) ← عمق اسلات

روش دوم :



روش سیمپسون



B_{app1} — $K_{S_1} \longrightarrow at_{real_1}$

B_{app2} — $K_{S_2} \longrightarrow at_{real_2}$

B_{app3} — $K_{S_3} \longrightarrow at_{real_3}$

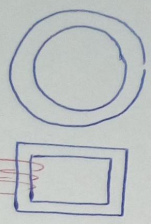
$at_{real_{mean}} = \frac{at_{real_1} + 4at_{real_2} + at_{real_3}}{6}$

$AT_t = at_{real_{mean}} d_S$

تلفات آهنی :

۱ ـ تلفات هیسترزیس

۲ ـ تلفات فوکو



انرژی جذب شده

$$dw_e = vi\,dt - Ri^2\,dt$$

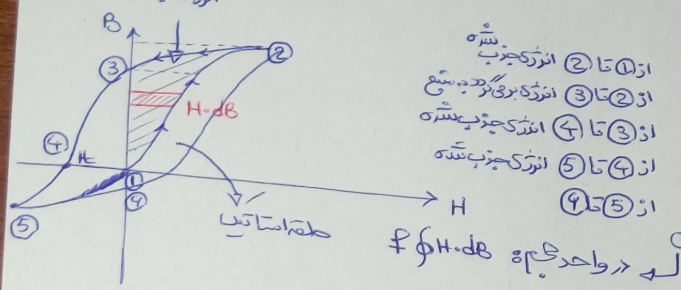
$$= (v - Ri)\,i\,dt$$

$$e$$

$$= \frac{d\psi}{dt}\,i\,dt = \underbrace{i\,d\psi}_{\psi = N\Phi} = \underbrace{N i\,d\Phi}_{Hl} = H \cdot l \cdot A\,dB \xrightarrow{H\cdot dB}$$

V_{core} حجم هسته — چگالی شار مغناطیسی

با فرض ثابت بودن سطح



* مقدار انرژی مبادله شده در حلقه = تلفات هیسترزیس

$$w_e = V_{core} \int H \cdot dB$$

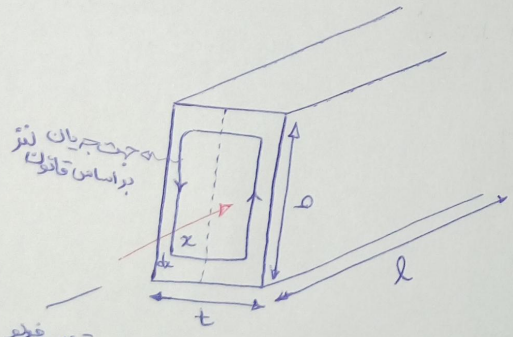
$$P_h = V_{core} \oint H \cdot dB \times f$$ ← فرکانس

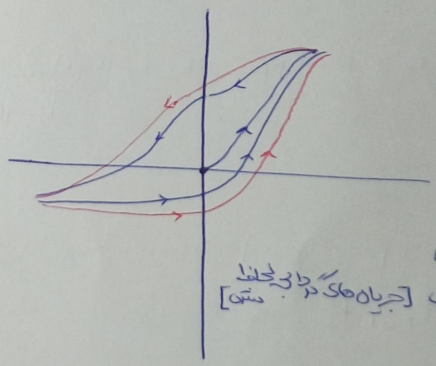
$f \oint H \cdot dB$ ← واحدی از انرژی ← رابطه دقیق

$$P_h = K_h f B_m^{\,n}$$ ← رابطه تجربی

n از ۱٫۵ تا ۲٫۵

برای مصالح خوب $n = 2$





حلقه‌ای که فرمز رنگ موجود بیانی است که جریان‌های گردابی حاصل می‌شود.

حلقه آبی : استاتیک

حلقه قرمز : دینامیک [جریان‌های گردابی ایجاد شده]

محاسبه تلفات فوکو

$$B = B_m \sin \omega t$$

مقدار و جهت را از قانون فوق بدست آورید

$$e = \frac{d}{dt}\left[2x\,b\,B_m \sin \omega t\right]$$

$$= 2x\,b\,B_m\,\omega \cos \omega t$$

rms ↓

$$E = \frac{2x\,b\,B_m\,\omega}{\sqrt{2}}$$

$$I_e = \frac{E}{R} \xrightarrow{\text{مقاومت مسیر}} = \frac{\sqrt{2}\,x\,b\,B_m\,\omega}{\rho\,\frac{2b}{dx\,l}} = \frac{\sqrt{2}\,x\,B_m\,2\pi f\,l\,dx}{\rho}$$

جریان گردابی

$$P_e = R\,I_e^{\,2} = \int_0^{t/2} \frac{2b\rho}{dx\,l} \cdot \frac{2\pi^2 l^2 B_m^{\,2} f^2 x^2 (dx)^2}{\rho^2}$$

$$= \frac{f b \pi^2 l B_m^{\,2} f^2}{\rho} \cdot \frac{1}{3}\left[x^3\right]_0^{t/2} = \frac{\pi^2 b l t^3 f^2 B_m^{\,2}}{6\rho}$$

$$\frac{t^3}{8}$$

$$P_e = \frac{\pi^2 \underbrace{b l t}_{V_{core}} \cdot t^2 f^2 B_m^{\,2}}{6\rho} \longrightarrow P_e = \underbrace{\frac{\pi^2 V_{core}}{6\rho} t^2}_{K_e} f^2 B_m^{\,2}$$

ص ۹۶/۸/۷

$$P_e = \frac{\pi^2 t^2}{6\rho} f^2 B_m^2 V_{جم}$$ ← واحدها ← $$P_e = \frac{\pi^2 t^2}{6\rho} f^2 B_m^2$$ (به کوچک)

P_e: افت کارنت — $\frac{\pi^2 t^2}{6\rho}$: K_e

* هرچقدر تناوب ↓ ← تلفات کمتر
عموماً کمتر از $0.127\ mm$ نشیت.

* هرچقدر رزیستیویتی (ρ) بیشتر ← تلفات کمتر
چگونه بالا می‌برند؟ با اضافه کردن سیلیکون / اضافه کردن بیش از حد سیلیکون باعث ترد و شکننده شدن می‌شود.

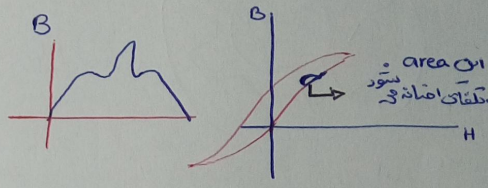
$$P_h = K_h \cdot f \cdot B_m^2$$

$$P_{core} = P_h + P_e = K_h \cdot f \cdot B_m^2 + K_e \cdot f^2 \cdot B_m^2$$ رابطه تقریبی

$$P_{core} = V_{core} \cdot f \cdot \oint H \cdot dB$$ رابطه دقیق (دینامیکی)

* وقتی میدان غیرسینوسی باشد تلفات بیشتر است
وقتی B دارای هارمونیک باشد، تلفات بیشتر است

در رابطه‌ی تقریبی B را سینوسی لحاظ کردیم.



* اندوکتانس: شاری که از سیم اصلی عبور نکند شار نشتی است. عموماً شار نشتی فقط Coil را قطع می‌کند چون در دو Coil را قطع کند هرچند که از همواهم بگذرد شار متقابل محسوب می‌شود نه شار نشتی.

- آیا شار نشتی می‌تواند ولتاژ القا کند (در ماشین DC)؟ بله. در هنگام عبور از هسته‌ی آهنی جریان تغییر می‌کند بخشی از شار هم تغییر می‌کند

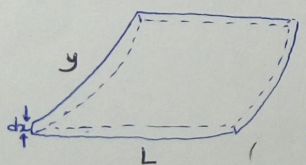
$$X = \omega L = 2\pi f L$$

$$L = \frac{\Phi \cdot T}{I}$$ ← تعداد دور
$$\Phi = T \cdot I \cdot \Lambda$$ (Λ: پرمیانس)

$$\rightarrow L = \frac{T I \Lambda T}{I} \rightarrow L = T^2 \Lambda$$

اگر بخواهیم شار نشتی را حل کنیم، راه‌حل کلی است
پرمیانس شار نشتی را بدست بیاوریم.
در کتاب هم پرمیانس شار نشتی را حساب کرده.

* چطور پرمیانس مربوط به شار نشتی را در حالات مختلف حساب کنیم؟



$$d\Lambda = \mu_0 \frac{L\,dx}{y}$$

اگر چند تا از این flux tube ها باهم Parallel باشند و بتوان گفت

$$\Lambda = \mu_0 \int \frac{L\,dx}{y} = \mu_0 L \int \frac{dx}{y} \rightarrow$$

(به ازای یک طول) Specific permeance $\lambda = \frac{\Lambda}{L} = \mu_0 \int \frac{dx}{y}$

همان طور که قبلاً گفتیم ممکن است که بخشی از شار نشتی N_{11} دور از Coil را قطع کند، بخشی دیگر از شار نشتی N_{12} دور از Coil را قطع کند...
به همین دلیل به شار نشتی effective (فرضی) را حرف می‌زنیم که اگر همه‌ی دورهای Coil را قطع کند تقریباً با حالت واقعی برابر باشد.

$$\Phi_e \rightarrow \Lambda_e = \frac{\Phi_e \cdot T}{mmf \cdot T} \rightarrow \Lambda_e = \frac{\text{total Flux Linkage}}{\text{total mmf} \cdot \text{total turns}}$$

$$\Phi_{11} N_{11} + \Phi_{12} N_{12} + \Phi_{13} N_{13} + \cdots = \Phi_e N$$

ص ۱۶

$\leftarrow f\,dx$

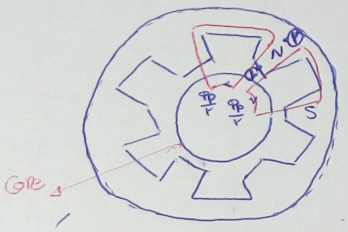
شارشی $= d\Phi_x = T_x\, I_z\, \mu_0\, L\, \frac{dx}{y}$

$\Psi = \int d\Psi_x = \int d\Phi_x \cdot T_x = \int T_x^2\, I_z\, \mu_0\, L \frac{dx}{y}$

$\Lambda e = \frac{\text{کل}}{\text{total mmf} \cdot \text{total turns}} = \frac{\int T_x^2 I_z \mu_0 L \frac{dx}{y}}{T \cdot I_z \cdot T} = \mu_0 L \int \left(\frac{T_x}{T}\right)^2 \frac{dx}{y} \longrightarrow$

* اگر $T_x = T$ همان رابطه‌ی قبلی بدست می‌آید.

۹۴/۸/۹



$2AT_p + 2AT_g + 2AT_t + AT_y + AT_{core} = 2$ (mmf کل تحریک)

$\div 2 \rightarrow AT_p + AT_g + AT_t + AT_y/2 + AT_{core}/2 =$ mmf کل تحریک

حل‌تمرین ۵:

* تعداد قطب $= 4$
* شار مغناطیسی هر قطب $= 0.05\,wb$
* فاصله هوایی $= 0.5\,cm$

[اطلاعات سوال در برگه‌ی سوال]

$B_{core} = \frac{\Phi_p/2}{\text{Area هسته}} = \frac{0.05/2}{0.018\,m^2} \rightarrow$ خودمان داده ولی خودمان هم می‌توانیم حساب کنیم

$L_{effective} \simeq 0.518\,m^2$

$L = 0.198$

$0.25 - (3 \times 0.009) \times 0.19$ ← این منفی جریان دارد / این مثبت جریان ندارد

$B_{core} = \frac{0.05/2}{0.018} = \frac{25}{18} = 1.38\,T$ ← از روی منحنی B-H (بقیه به این که ستون آن چقدر است) at_{core} را بدست می‌آوریم

$AT_{core} = at_{core} \times L_{core}$

اطلاعات سوال طول میانگین مغناطیسی را $0.1\,m$ داده است. معمولاً در عددیات منظور از طول میانگین مغناطیسی، نصف طول میانگین مغناطیسی است.

حوذمان هم می‌توانیم حساب کنیم $\simeq 0.18\,m$ ← $\frac{\pi(0.05 - 2\delta) + 4(2\delta)}{2} \rho$ ← ρ همان Gre است

گذاشتیم تا شعاع میانگین مغناطیسی بدست آید

پس $AT_{core} = at_{core} \times 0.1$

AT_y: $B_y = \frac{\Phi_p/2}{\text{Area یوغ}} = \frac{0.05/2}{0.022} = 1.13$ ← ضریب نشتی که سوال لطف کرده داده ← $1.12 \times 1.13 = 1.25\,T$ ← از روی منحنی B-H ← at_y بدست می‌آید

$\rightarrow AT_y = at_y \times L_y$ ← 0.24

AT_p: $B_p = \frac{\Phi_p \times 1.15}{\text{Area قطب}} = \frac{1.15 \times 0.05}{0.045\,m^2} = 1.42\,T$ ← ضریب نشتی ← از روی منحنی B-H ← at_p بدست می‌آید

یعنی mmf ای که از نقطه ۱ تا ۲ است.

$AT_p = at_p \times L_p$ ← 0.18

ص ۱۲

ATg :

$K_{gs} = ?$ ، $\frac{0.01}{\text{طول کامل هوایی}} = 0.004$ ، $\frac{\text{دهانه شیار}}{\text{وقتی لقمه شیار جریان نیم باز است و گرنه عرض شیار می گفت عرض شیار}} = 2.5$ ← از روی منحنی کارتر ← $K_{cs} = 0.14$ ← $K_{gs} = \frac{\gamma_s}{\gamma_s - K_{cs}\omega_0}$

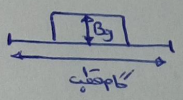
$K_{gd} = ?$ ، $\frac{\text{عرض حالت}}{\text{طول فاصله هوایی}} = \frac{0.009}{0.004} = 2.25$ ← از روی منحنی کارتر ← $K_{cd} = 0.3$ ← $K_{gd} = \frac{L}{L - K_{cd} n_d \omega_d}$

$K_g = K_{gs} K_{gd}$

$$AT_g = 800000\, B_g\, l_g\, K_g$$

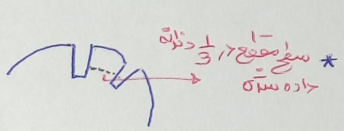
اگر مسئله K_f را داد به کمک آن B_{ave} را بگیرید

$0.7 = \frac{\text{هوس قطب}}{\text{گام قطب}} \simeq \frac{B_{ave}}{B_g}$ / $K_f = \frac{B_{ave}}{B_g}$ توزیع ← $0.7 = \frac{B_{ave}}{B_g}$ ← $B_g = \frac{B_{ave}}{0.7}$



از جای L ← $B_{ave} = B_g \times \frac{\text{هوس قطب} \times L}{\text{گام قطب} \times L}$

ATt :



عرض موتر دندانه $= 0.017$

طول صفحه ماشین $(L_i) = (L - n_d \omega_d) \times 0.9 = 0.198$

(L: 0.25، n_d: 3، ω_d: 0.009)

سطح مقطع دندانه زیر هوس قطب / سطح مقطع دندانه داده شده $\cong 0.025 =$ طول صفحه ماشین × عرض موتر دندانه × 1.1 (مقدار دندانه موتر)

$B_t = \frac{0.05}{0.025} = 2T$ ← از روی منحنی B-H ← $at_{t\,1/3}$

$AT_t = at_{t\,1/3} \times d_s$

در این حالت اشباع را در نظر گرفتیم
اگر بخواهیم اشباع را در نظر نگیریم
چه کنیم ؟

۹۹ ، ۸ ، ۱۲

[ادامه سوال]

$$B_{ave} = \frac{\Phi_p}{A_p} = \frac{\Phi_p}{\tau L} = \frac{\Phi_p}{\frac{\pi D}{p} \cdot L}$$

A_p: سطح مقطع قطب



$K_f = \frac{B_{ave}}{B_g} \simeq \frac{\text{Pole arc}}{\text{Pole pitch}} = 0.7$

ضریبی که تاپ ها با آن کار می دهند حدود 0.7 است.

$B_g = \frac{B_{ave}}{0.7}$ ← $B_g = \frac{\Phi_p}{\tau \cdot L \cdot 0.7} = \frac{\Phi_p}{\tau \cdot L \cdot \frac{\text{Pole arc}}{\tau}} = \frac{\Phi_p}{\text{Pole arc} \cdot L}$

ضریب اشباع دندانه : $B_g \cdot \frac{\gamma_s \cdot L}{\omega_t \cdot L_i} = B_t$ (دندانه)

* حالت بدون اشباع

حالت بدون اشباع :

$\frac{\Phi_p}{\frac{\text{Pole arc}}{\gamma_s} \cdot L} \times \frac{\gamma_s L}{\omega_t \cdot L_i} = \frac{\Phi_p}{\text{سطح مقطع دندانه‌های زیر قوس قطب}} = B_t$

تعداد دندانه‌های زیر قوس قطب

حالتی معمولاً B_g مورد نظر است نه B_{ave} یا موتر B .

صرف‌نظر از اشباع دندانه → $B_{app} = \frac{\Phi_p}{0.025} = \frac{0.05}{0.025} = 2T$

$K_s = \frac{y_s \cdot L}{W_t \cdot L_i}$

$y_s = \pi\left(0.05 - 2 \times \frac{2}{4} \times 0.044\right)$ ← عمق شیار / قطر / تعداد شیارها 61

$W_t = y_s - 0.008$

$\begin{cases} \text{گام موتور دندانه} = 0.025 \\ \text{عرض موتور دندانه} = 0.015 \end{cases}$ → عرض شیار = 0.008

K_s که بدست آمد از منحنی‌های صفحه 134 کتاب اصلی می‌توان استفاده کرد. ← at_{real} بدست می‌آید.

$AT_t = at_{real} \cdot d_s$

فاصله هوایی — دندانه استاتور — روتور — قطب

* این سوال موتور DC بود ، اگر موتور القایی باشد مدار معادلی آن تفاوت چندانی ندارد.

ادامه درس [شار نشتی]:

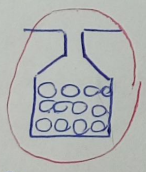
$\Lambda_e = \frac{\text{total flux linkage}}{\text{total mmf} \cdot \text{total turns}}$

$\Lambda = \mu_0 L \int \frac{dx}{y}$ ← $T_x = T$ حداکثر

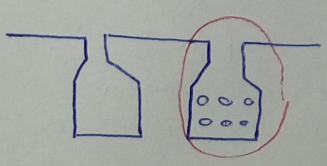
$\Lambda = \mu_0 L \int \left(\frac{T_x}{T}\right)^2 \frac{dx}{y}$ ← حالت دلخواه



شار نشتی آرمیچر: 1- شار نشتی شیار



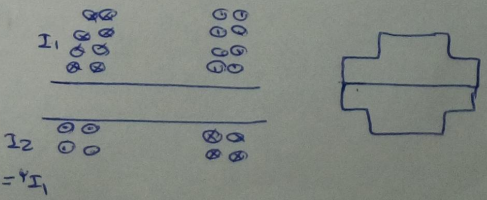
2- Tooth top leakage flux



3- Zigzag leakage flux

4- Over hang leakage flux

5- Harmonic leakage flux



۶- Skew leakage flux

۷- pripheral leakage flux

۹۴/۸/۱۶

POWEREN.IR

① شارنشتی شیار:

دقاد هادی های شیار: Z_S

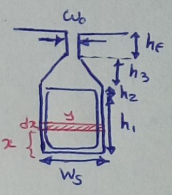
جریان عبوری از هرهادی: I_Z

شرایط:

۱- توزیع هادی ها یکنواخت (توزیع جریان یکنواخت)

۲- شارنشتی در فاصله ی هوایی بخاطر مستقیم عبور کردن و مسیرش از ضرایب هسته بسته می شود.

۳- از mmf هسته در برابر mmf فاصله ی هوایی صرف نظر می شود.



پرتابش (dx)

$$d\Phi_x = \frac{Z_S}{h_1} \cdot x \cdot I_Z \cdot \mu_0 L \frac{dx}{y}$$

$$d\psi_x = \frac{Z_S}{h_1} \cdot x \cdot d\Phi_x = \frac{Z_S^2}{h_1^2} x^2 I_Z \mu_0 L \frac{dx}{y} \longrightarrow \psi_x = \int_0^{h_1} \frac{Z_S^2}{h_1^2} x^2 I_Z \mu_0 L \frac{dx}{y}$$

$$\longrightarrow \psi = \frac{Z_S^2}{h_1^2} I_Z \mu_0 L / y \cdot \frac{1}{3} h_1^3 = \frac{1}{3} Z_S^2 I_Z \mu_0 L h_1 / y$$

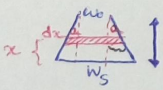
$$* \Lambda_1 = \frac{Z_S^2 \cdot I_Z \mu_0 L / 3 (w_S)}{Z_S I_Z Z_S} = \mu_0 L \frac{h_1}{3 w_S}$$

$$* \Lambda_2 = \mu_0 L \int \frac{dx}{y} = \mu_0 L \int_0^{h_2} \frac{dx}{w_S} = \frac{\mu_0 L h_2}{w_S} = \mu_0 L \frac{h_2}{w_S}$$

ثابت

$$\Lambda_3 = \mu_0 L \int_0^{h_3} \frac{dx}{y} =$$

y تابع شیب / پرتابش x دارد.



$$\frac{a}{\frac{w_S - w_0}{2}} = \frac{h_3 - x}{h_3}$$

$$2a = \left(1 - \frac{x}{h_3}\right)(w_S - w_0)$$

$$y = 2a + w_0 = w_S - w_0 - \frac{x}{h_3}(w_S - w_0) + w_0 \longrightarrow$$

$$y = w_S - \frac{x}{h_3}(w_S - w_0)$$

$$* \Lambda_3 = \mu_0 L \int_0^{h_3} \frac{dx}{w_S - \frac{x}{h_3}(w_S - w_0)} = \mu_0 L \frac{h_3}{w_0 - w_S} Ln\left[(w_S - w_0)\left(-\frac{x}{h_3}\right) + w_S\right] \Big|_0^{h_3}$$

$$\longrightarrow \Lambda_3 = \mu_0 L \frac{h_3}{w_0 - w_S} Ln \frac{w_0}{w_S} \simeq \mu_0 L \frac{2h_4}{w_S + w_0}$$

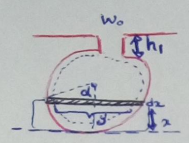
$$\mu_0 L \frac{h_3}{\frac{w_S + w_0}{2}}$$

طول متوسط ذوزنقه ↔ $\frac{w_0 + w_S}{2}$



$$* \Lambda_4 = \mu_0 L \frac{h_4}{w_0}$$

Λ_S پرتابش کل شیار (Λ_S Slot) $= \Lambda_1 + \Lambda_2 + \Lambda_3 + \Lambda_4 = \mu_0 L \left[\frac{h_1}{3 w_S} + \frac{h_2}{w_S} + \frac{2h_4}{w_S + w_0} + \frac{h_4}{w_0}\right]$



Z_S = تعداد کل هادی‌ها

I_3 = جریان عبوری از هر هادی

تعداد هادی‌های قرارگرفته در این ناحیه $= \frac{Z_S}{\pi r^2} A_x$

$y = 2r\sin\alpha$

$x = r - r\cos\alpha \longrightarrow r\sin\alpha\, d\alpha = dx$

Area هاشورخورده $= y\,dx \longrightarrow \int_0^{\alpha} y\,dx = A_x$ (سطح زیر هاشورخورده)

$$= \int_0^{\alpha} (2r\sin\alpha)(r\sin\alpha)\,d\alpha$$

$$= 2r^2 \int_0^{\alpha} \sin^2\alpha\, d\alpha = 2r^2 \int_0^{\alpha} \frac{1-\cos 2\alpha}{2}\, d\alpha$$

$$= r^2 \int_0^{\alpha} (1-\cos 2\alpha)\, d\alpha$$

بنابراین $A_x = r^2\left(\alpha - \frac{1}{2}\sin 2\alpha\right)\Big|_0^{\alpha} = r^2\left(\alpha - \frac{1}{2}\sin 2\alpha\right)$

$$d\Phi_x = \frac{Z_S}{\pi r^2} \times r^2\left(\alpha - \frac{1}{2}\sin 2\alpha\right) I_3 \cdot \mu_0 L$$

(مساحت کل دایره) $\frac{Z_S}{\pi r^2} A_x$

$\frac{dx}{y} \rightarrow \frac{r\sin\alpha\, d\alpha}{2r\sin\alpha}$

$$d\Phi_x = \frac{Z_S\left(\alpha - \frac{1}{2}\sin 2\alpha\right)}{\pi}\, d\Phi_x = \frac{Z_S^2\left(\alpha - \frac{1}{2}\sin 2\alpha\right)^2}{2\pi^2} I_3 \mu_0 L\, d\alpha$$

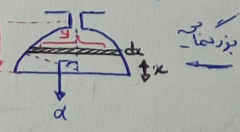
$$\Phi_x = \int_0^{\pi} d\Phi_x = \int_0^{\pi} \frac{Z_S^2\left(\alpha - \frac{1}{2}\sin 2\alpha\right)^2}{2\pi^2} I_3 \mu_0 L\, d\alpha = \frac{Z_S^2 I_3 \mu_0 L}{2\pi^2} \int_0^{\pi} \left(\alpha - \frac{1}{2}\sin 2\alpha\right)^2 d\alpha$$

$$\Lambda_1 = \frac{\Phi}{Z_S I_3 Z_S} = \frac{\mu_0 L}{2\pi^2} \int_0^{\pi} \alpha^2\, d\alpha - \alpha\sin 2\alpha\, d\alpha + \frac{1}{4}\sin^2 2\alpha\, d\alpha$$

این انتگرال را در حساب دینم

$\Lambda_1 = \frac{0/424\,\mu_0 L}{0/44}$ ، $\Lambda_2 = \mu_0 L \frac{h_1}{w_0}$ ← slot ↑ $\Lambda_S = \Lambda_1 + \Lambda_2$

$$\Lambda = \mu_0 L \int \frac{dx}{y}$$



بزرگنما



* بعضی اوقات شیارها به شکل

$y = 2r\sin\alpha$

$x = r\cos\alpha \longrightarrow -r\sin\alpha\, d\alpha = dx$

$$\Lambda = \mu_0 L \int_{\frac{\pi}{2}}^{0} \frac{-r\sin\alpha\, d\alpha}{2r\sin\alpha} = \mu_0 L\left[-\frac{1}{2}\alpha\right]_{\frac{\pi}{2}}^{0} = \mu_0 L \frac{\pi}{4}$$

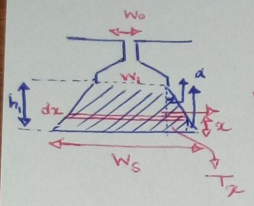
* اگر دهانه نباشد، μ_0 به جای μ_{20} در فرمول قرار دهیم، این سیم‌پیچ Λ_2 (برای Λ_2) می‌شود. افزایش یابد چون استباع



داریم.

۹۶/۸/۲۱

ص۲۱



اگر بخواهیم دندانه به صورت Parallel sided باشد حتماً شیار به صورت ذوزنقه‌ای خواهد بود.

Z_S = تعداد هادی‌ها (به صورت یکنواخت توزیع شده)

I_Z = جریان عبوری از هر هادی

هادی‌ها

$\Lambda = \mu_0 L \int \frac{dx}{y}$ (بر اوقیت‌ها شور نخورده) و از مبدأ محاسبه داشتیم

$\Lambda = \mu_0 L \int (\frac{T_x}{T})^2 \frac{dx}{y}$ (برای قسمت‌های شور خورده)

$$\left.\begin{aligned} T_x &= \frac{Z_S \cdot (W_S + y)x}{(W_S + W_1)h_1} \\ T &= Z_S \end{aligned}\right\} \longrightarrow \Lambda = \mu_0 L \int_0^{h_1} \frac{(W_S+y)^2 x^2}{(W_S+W_1)^2 h_1^2} \frac{dx}{y}$$

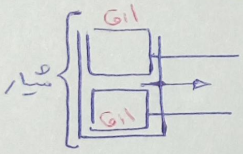
$$\left.\begin{aligned} \tan\alpha &= \frac{W_S - y}{2x} \longrightarrow y = W_S - 2x\tan\alpha \\ \tan\alpha &= \frac{W_S - W_1}{2h_1} \end{aligned}\right\} \longrightarrow y = W_S - 2x\left[\frac{W_S - W_1}{2h_1}\right]$$

$$\Lambda \simeq \mu_0 L \cdot \frac{2h_1}{W_S + W_1}$$

به صورت تجربی

* در تابلوسری شیارهایی که پیچیده‌تر از این است اشاره شده. [منحنی‌هایی داده که می‌توان از آن‌ها استفاده کرد]

معمولاً در ماشین‌های القایی و سنکرون سیم پیچی دولایه است، به این معنی که دو ضلع، در یک شیار قرار گرفته است. Coil مقاومت در شیار



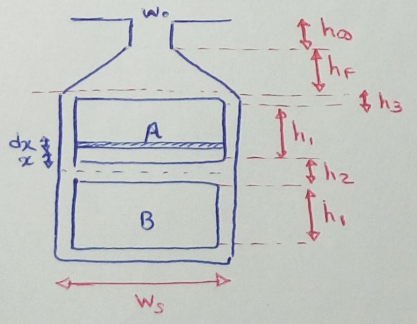
«عایق»

* سیم پیچی می‌تواند، روی هم باشد (حلقوی است) یا موجی. [اغلب دوری هم استفاده می‌شود]

(اول فصل مدرسان شریف بود.)

دولایه

حالا یک سیم پیچی دولایه داریم در شیار Parallel sided، می‌خواهیم پرمیانس (Λ) را حساب کنیم:



$$\begin{cases} Z_L = \text{تعداد هادی‌های هر لایه} \\ I_Z = \text{جریان عبوری از هر لایه} \end{cases}$$

$$\Lambda_A = \mu_0 L \left[\frac{h_1}{3W_S} + \frac{h_3}{W_S} + \frac{2h_4}{W_S + W_0} + \frac{h_0}{W_0}\right]$$

$$\Lambda_B = \mu_0 L \left[\frac{h_1}{3W_S} + \frac{h_1 + h_2 + h_3}{W_S} + \frac{2h_4}{W_S + W_0} + \frac{h_0}{W_0}\right]$$

بین این دولایه بیشتر متقابل هم داریم، در این صورت باید پرمیانس آن را هم حساب کنیم.

$d\psi_x$ ↓

$$= \frac{Z_L}{h_1} x \cdot d\Phi_x = Z_L \cdot I_Z \cdot \mu_0 L \cdot \frac{dx}{W_S} \cdot \frac{Z_L}{h_1} x \longrightarrow \int d\psi_x = \int_0^{h_1} Z_L \cdot I_Z \cdot \mu_0 L \frac{dx}{W_S} \frac{Z_L}{h_1} x$$

$$\psi_x = Z_L^2 \cdot I_Z \frac{\mu_0 L}{W_S h_1} \cdot \frac{1}{2} h_1^2 = Z_L^2 \cdot I_Z \frac{\mu_0 L}{W_S} \frac{1}{2} h_1$$

$$\Lambda_{m_1} = \frac{\text{total Flux Linkage}}{\text{total mmf} \cdot \text{total turns}} = \frac{Z_L^2 I_Z \frac{\mu_0 L h_1}{2 W_S}}{Z_L I_Z \cdot Z_L} = \mu_0 L \frac{h_1}{2W_S}$$

$$\Lambda_{m_2} = \mu_0 L \frac{h_3}{W_S} \quad , \quad \Lambda_{m_3} \simeq \mu_0 L \frac{2h_4}{W_S + W_0} \quad , \quad \Lambda_{m_4} \simeq \mu_0 L \frac{h_0}{W_0}$$

ص ۲۲

$$\Lambda_{BA} = \mu_0 L \left[\frac{h_1}{2w_s} + \frac{h_2}{w_s} + \frac{2h_4}{w_s + w_0} + \frac{h_5}{w_0} \right]$$

$$\Lambda_{AB} = \int_0^{h_1} d\psi_x \cdot Z_L \cdot d\Phi_x = \frac{Z_L}{h_1} x I_3 \mu_0 L \frac{dx}{w_s} \cdot Z_L \rightarrow \psi_x = \int_0^{h_1} \frac{Z_L}{h_1} x I_3 \mu_0 L \frac{dx}{w_s} \cdot Z_L = Z_L^2 I_3 \frac{\mu_0 L}{w_s \cdot h_1} \cdot \frac{1}{2} h_1^2$$

$$[AB \div \text{مربوط}] \quad \Lambda_{m_1} = \frac{\psi_x}{\text{total mmf} \cdot \text{total turns}} = \frac{Z_L^2 I_3 \mu_0 L / w_s \quad \frac{1}{2} h_1}{Z_L I_3 \cdot Z_L} = \mu_0 L \frac{h_1}{2w_s}$$

$$[AB \div \text{مربوط}] \quad \Lambda_{m_2} = \mu_0 L \frac{h_3}{w_s}$$

$$[AB \div \text{مربوط}] \quad \Lambda_{m_3} = \mu_0 L \frac{2h_4}{w_s + w_0}$$

$$[AB \div \text{مربوط}] \quad \Lambda_{m_4} = \mu_0 L \frac{h_5}{w_0}$$

$$\Lambda_{AB} = \mu_0 L \left[\frac{h_1}{2w_s} + \frac{h_2}{w_s} + \frac{2h_3}{w_s + w_0} + \frac{h_5}{w_0} \right]$$

$$\Lambda_t = \frac{\Lambda_A + \Lambda_{BA}}{2} \quad \text{(top بالا)}$$

$$\Lambda_b = \frac{\Lambda_B + \Lambda_{AB}}{2}$$

$$\Lambda_s \text{ (slot)} = \frac{\Lambda_t + \Lambda_b}{2} = \frac{\frac{\Lambda_A + \Lambda_{BA}}{2} + \frac{\Lambda_B + \Lambda_{AB}}{2}}{2} \quad \Lambda_{AB} = \Lambda_{BA}$$

$$\Lambda_s \text{ (slot)} = \frac{\Lambda_A + \Lambda_B + 2\Lambda_{AB}}{4}$$

جای‌گذاری مقادیر به دست آمده در این مرحله

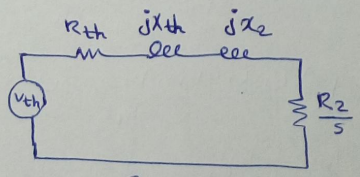
$$\Lambda_s = \mu_0 L \left[\frac{2h_1}{2w_s} + \frac{h_2}{4w_s} + \frac{h_2}{w_s} + \frac{2h_4}{w_s + w_0} + \frac{h_5}{w_0} \right]$$

در مقایسه با Λ_s ای که تقریب زده بودیم تفاوتی ندارد.

از h_2 های تقریبی عاقبت به اندازه کم است، صرف‌نظر کنیم

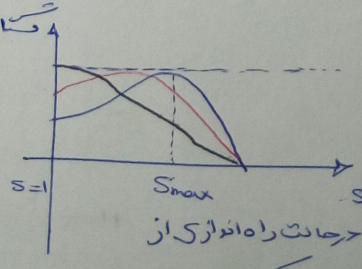
۹۹/۸/۲۳

* معمولاً در موتور موتور را تقریباً دو تکه می‌کنند تا بتوان سیم‌پیچ‌ها را داخل شیار قرار داد.



$$* \quad S_{max} = \frac{R_2}{\sqrt{R_{th}^2 + (X_{th} + X_2)^2}}$$

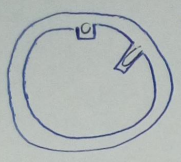
$$* \quad \text{گشتاور القایی} = \frac{3 V_{th}^2 \frac{R_2}{s}}{\left[\left(R_{th} + \frac{R_2}{s} \right)^2 + (X_{th} + X_2)^2 \right]}$$



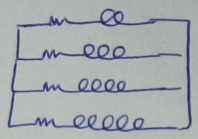
$$* \quad P_{conv} = (1 - s) P_{airgap}$$

* خواهیم شیار سوار روتور را به گونه‌ای طراحی کنیم که حرکت راه‌اندازی از منحنی گشتاور کامل از منحنی گشتاور پیروی کند.

حل ۳۶



* حالت بار ثابت



* حالت راه اندازی ⇒ $f_r = sf_e$

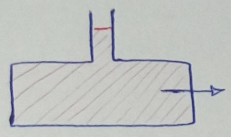
$s=1 \rightarrow f_e = f_r$

$R = \rho \frac{l}{A}$

شار نشتی

شار آشتی ⇒

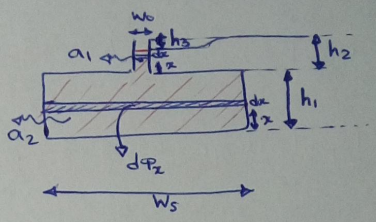
کتاب انگلیسی صفحه ۱۹۹ فرمول این شیار را اشتباه نوشته



هادی

Z_S = تعداد هادی‌ها

I_Z جریان عبوری از هر هادی



$d\psi_x =$

$\frac{Z_S a_2 x}{(a_1+a_2)h_1} \times d\Phi_x = \frac{Z_S}{a_1+a_2} \cdot \frac{x}{h_1} \cdot I_Z \cdot \mu_0 L \frac{dx}{w_S} \longrightarrow \psi_x = \int_0^{h_1} \frac{Z_S^2 a_1^2}{(a_1+a_2)^2} \frac{x^2}{h_1^2} I_Z \mu_0 L \frac{dx}{w_S}$

$\times \frac{Z_S a_2 x}{(a_1+a_2)h_1}$

$$= \frac{Z_S^2 a_1^2 I_Z \mu_0 L}{(a_1+a_2)^2 h_1^2 w_S} \frac{1}{3} h_1^3$$

$$\Lambda_1 = \frac{\psi}{\text{total mmf} \times \text{total turns}} = \frac{\frac{Z_S^2 a_1^2 I_Z \mu_0 L}{(a_1+a_2)^2} \times \frac{h_1}{3 w_S}}{Z_S I_Z \cdot Z_S} = \mu_0 L \frac{a_1^2}{(a_1+a_2)^2} \frac{h_1}{3 w_S}$$

$$d\Phi_x = \left(\frac{Z_S \cdot a_2}{a_1+a_2} + \frac{Z_S a_1 x}{(a_1+a_2) h_2} \right) I_Z \mu_0 L \frac{dx}{w_0}$$

$$\hookrightarrow d\psi_x = \left(\frac{Z_S a_2}{a_1+a_2} + \frac{Z_S a_1 x}{(a_1+a_2) h_2} \right)^2 I_Z \mu_0 L \frac{dx}{w_0}$$

$$\psi = \int_0^{h_2} d\psi_x = \int_0^{h_2} \left(\frac{Z_S a_2}{a_1+a_2} + \frac{Z_S a_1 x}{(a_1+a_2) h_2} \right)^2 I_Z \mu_0 L \frac{dx}{w_0}$$

POWEREN.IR

$$= \frac{\mu_0 L Z_S^2 I_Z}{(a_1+a_2)^2 w_0} \int_0^{h_2} \left(a_2 + \frac{a_1}{h_2} x \right)^2 dx =$$

$$\int_0^{h_2} \left(a_2^2 + \frac{a_1^2}{h_2^2} x^2 + \frac{2 a_1 a_2}{h_2} x \right) dx = a_2^2 h_2 + \frac{a_1^2}{h_2^2} \cdot \frac{1}{3} h_2^3 + \frac{a_1 a_2}{h_2} h_2^2$$

$$\longrightarrow \psi = \frac{\mu_0 L Z_S^2 I_Z}{(a_1+a_2)^2} \frac{h_2}{w_0} \left[a_2^2 + a_1^2 \cdot \frac{1}{3} + a_1 a_2 \right]$$

$$\Lambda_2 = \mu_0 L \frac{1}{(a_1+a_2)^2} \frac{h_2}{w_0} \left[a_2^2 + a_1^2/3 + a_1 a_2 \right]$$

Λ_3

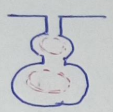
$$\Lambda_S = \Lambda_1 + \Lambda_2 + \Lambda_3 = \mu_0 L \frac{1}{(a_1+a_2)^2} \left[a_2^2 \frac{h_1}{3 w_S} + \frac{h_2}{w_0} \left(a_2^2 + \frac{a_1^2}{3} + a_1 a_2 \right) \right] + \mu_0 L \frac{h_3}{w_0}$$

این پرسش بیش بوده ۵ مره حل شده است.

۲۶۵

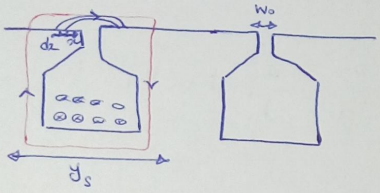
پرهامش مرحالت راه اندازی : $\mu_0 L \left[\frac{h_1}{2w_s} + \frac{h_2}{3w_0} + \frac{h_3}{w_0} \right]$

* شمار دوبله‌ها خودتان بررسی کنید. [سوال امتحانی]



Tooth Top Leakage Flux :

* مقدار این شارشی را به دندانه‌ی مستقیم با فاصله‌ی هوایی دارد.



چون خطوط شار القایی که طول فاصله‌ی هوایی روبرو است — این شارش را در نظر نمی‌گیرند.

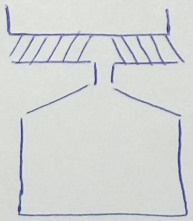
ماشین‌های DC ، شارش که طول فاصله هوایی بیشتر است — این شارش را در نظر می‌گیرند.

۹۶، ۸، ۳۰

طول فاصله‌ی هوایی کوچک : $\Lambda_t = \mu_0 L \int \frac{dx}{y} = \mu_0 L \int_{w_t/2} \frac{dx}{y_s} = \frac{\mu_0 L}{y_s} \int_0^{l_g} dx = \frac{\mu_0 L l_g}{y_s}$

طول فاصله‌ی هوایی بزرگ : $\Lambda_t = \mu_0 L \int \frac{dx}{y} = \mu_0 L \int_0^{l} \frac{dx}{w_0 + \pi x} = \mu_0 L \frac{1}{\pi} Ln \left[\frac{w_0 + \pi \frac{w_t}{2}}{w_0} \right] = \frac{\mu_0 L}{\pi} Ln \left(1 + \frac{\pi w_t}{2 w_0} \right)$

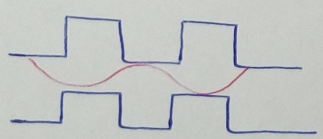
l کل دایره است
πx یک چهارم دایره و چون دو تا دندانه هست πx

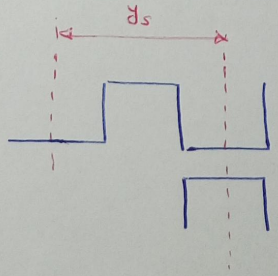


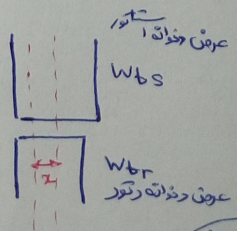
$\Lambda_t = \mu_0 L \frac{\frac{w_t}{2}}{2 l_g} = \mu_0 L \frac{w_t}{4 l_g}$

$\Lambda_t = \mu_0 L \frac{w_t}{4 l_g}$

Zig Zag Leakage Flux :





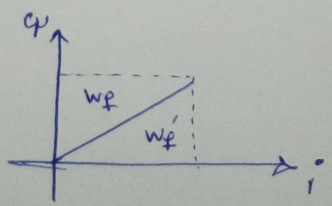


$x = \frac{w_{ts}}{2} - \frac{w_{tr}}{2}$

$0 < x < \frac{w_{ts} - w_{tr}}{2}$

$\frac{w_{ts} - w_{tr}}{2} < x < \frac{w_{ts} + w_{tr}}{2}$

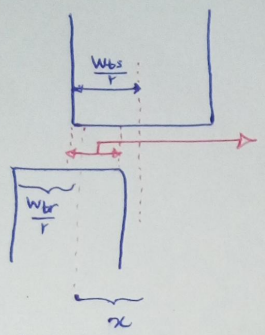
$\frac{AT_s}{y_s} x$



$\begin{cases} w_f = w_f' = \frac{1}{2} i \psi = \frac{1}{2} i N \Phi = \frac{1}{2} (AT)^2 \Lambda \\ w_e = \frac{1}{2} L i^2 = \frac{1}{2} N^2 \Lambda i^2 = \frac{1}{2} (AT)^2 \Lambda \end{cases}$

$w_1 = \frac{1}{4} \frac{(AT_s)^2}{y_s^2} x^2 \mu_0 L \frac{w_{tr}}{l_g}$

$w_4 = \frac{1}{4} \frac{(AT_s)^2}{y_s^2} x^2 \mu_0 L \left(\frac{\frac{w_{ts} + w_{tr}}{2} - x}{l_g} \right)$



$$\frac{W_{bs}}{2} - x + \frac{W_{br}}{2}$$

POWEREN.IR

$$W_{ave} = \frac{2}{y_{sr}} \left[\int_{0}^{\frac{W_{bs}+W_{br}}{2}} w_1 \, dx + \int_{\frac{W_{bs}-W_{br}}{2}}^{\frac{W_{bs}+W_{br}}{2}} w_2 \, dx \right]$$

$$W_{ave} = \frac{1}{2} \mu_0 A T_s^2 L \, \frac{W_{bs} \cdot W_{br} (W_{bs}^2 + W_{br}^2)}{12 \, lg \, y_{ss}^2 \, y_{sr}}$$

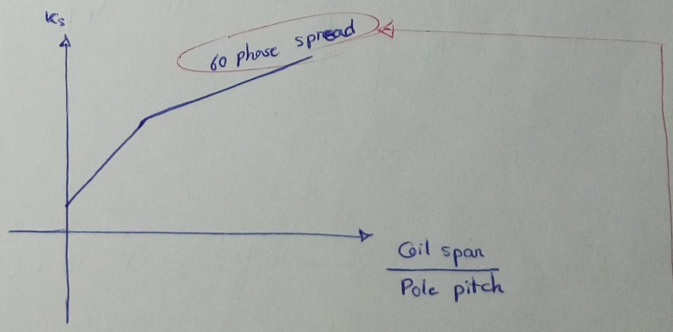
$$\Lambda_Z = \frac{W_{ave}}{\frac{1}{2}(AT_s)^2} = \mu_0 L \, \frac{W_{bs} \cdot W_{br} (W_{bs}^2 + W_{br}^2)}{12 \, lg \, y_{ss}^2 \, y_{sr}}$$

از رابطه بالا و $\Lambda_Z = \mu_0 \frac{(W_{bs}+W_{br})^4}{96 \, lg \, y_{ss}^2 \, y_{sr}}$ نتیجه گیری کنید.

۹۴,۹,۷

* overhang Leakage Flux :

$$\Lambda_0 = \frac{\mu_0 K_s' \tau^2}{L_0 \pi y_s}$$ ← با K_s تغییرات دارد.



q و P تعداد شیارهای هر فاز زیر هر قطب

$q = 2$, $P = 4$ → q = تعداد شیارهای زیر هر قطب → تعداد کل شیارها $= 4 \times 6 = 24$

گام شیار و $\gamma = \frac{360}{24} = 15^\circ$ (برحسب درجه مکانیکی) — اغلب از زاویه الکتریکی استفاده می‌شود

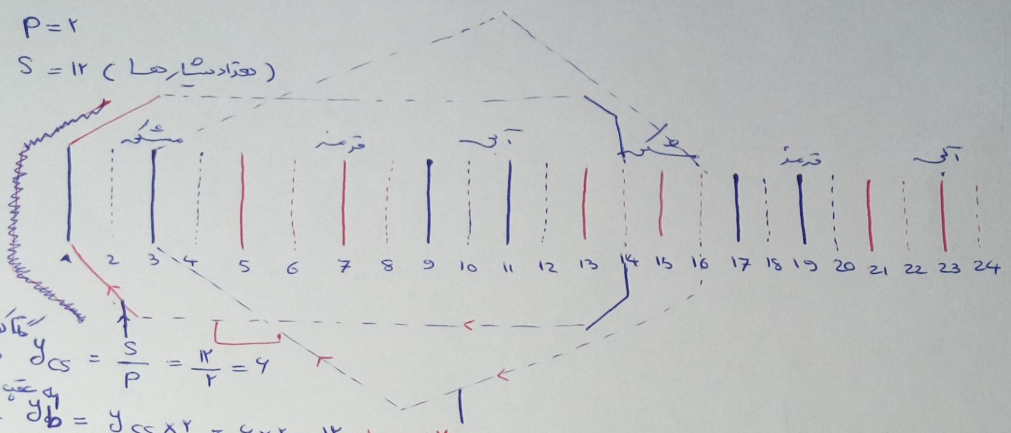
$15^\circ \times \frac{4}{2} = 30^\circ$ درجه الکتریکی

* زاویه‌ای که برای هر قطب زیر هر فاز اختصاص دارد $= 30 \times 2 = 60$

ص ۲۶

$p = ۲$

$S = ۱۲$ (تعداد شیارها)



تعداد شیار بر حسب قطب $y_{cs} = \frac{S}{p} = \frac{۱۲}{۲} = ۶$

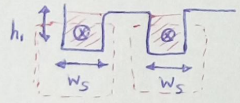
* $y_b = y_{cs} \times ۲ = ۶ \times ۲ = ۱۲ + ۱ = ۱۳$ (+۱)

* y_p گام جمع $= y_b - ۲ = ۱۱$

• چیزی به این کم جریان بالا و ولتاژ بالا

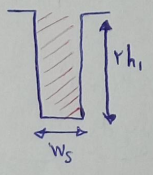
می‌خواهیم گروه‌های فازی را به صورت { موازی / سری } ببندیم.

$q = ۲$ تعداد شیارهای هر فاز زیر هر قطب



$$\begin{cases} \Lambda_s = ۱.۳ L \dfrac{h_1}{۳ w_s} \\ \Lambda_1 = \dfrac{\Lambda_s}{۲} = \dfrac{۱.۳ L h_1}{۶ w_s} \end{cases}$$

$q = ۱$



$$\begin{cases} \Lambda_s = ۱.۳ L \dfrac{۲h_1}{۳ w_s} \\ \Lambda_۲ = \Lambda_s = ۱.۳ L \dfrac{۲h_1}{۳ w_s} \end{cases}$$

$$\frac{\Lambda_1}{\Lambda_۲} = \frac{۱.۳ L \cdot \frac{h_1}{۶ w_s}}{۱.۳ L \ \frac{۲h_1}{۳ w_s}} = \frac{۱}{۴} \longrightarrow \Lambda_۲ = ۴ \Lambda_1$$

$\frac{\Lambda_1}{\Lambda_2}$ = مجزور نسبت عکس « اسلات‌ها » است.

راکتانس $= X = \omega L \longrightarrow ۲\pi f N^2 \Lambda \longrightarrow X_s = ۲\pi f (Z_s q)^2 \frac{\Lambda_s}{q} = ۲\pi f Z_s^2 q \Lambda_s \times p$

اگر بخواهیم به صورت راکتانس بنویسیم

$\frac{\Lambda_s}{q}$ رجالت حلقه

T_{ph} = تعداد دور هر فاز $\longrightarrow Z_s = \frac{T_{ph} \times ۲}{pq}$

$$X_s = ۲\pi f \ \frac{۴ T_{ph}^2}{(pq)^2} q \Lambda_s p = ۸\pi f T_{ph}^2 \frac{\Lambda_s}{pq}$$

POWEREN.IR

۲۷ ص ۹۴/۹/۱۲

q = تعداد شیارهای هر فاز زیر هر قطب

Z_s = تعداد هادی‌های هر شیار

I_z = جریان سیمی که از هر هادی می‌گذرد

λ_s/q = پرمیانس معادل شیار به ازای هر قطب

$X_s = 2\pi f (Z_s q)^2 \frac{\lambda_s}{q}$ ← برای هر فاز $X_s = p \cdot x_s = 2\pi f Z_s^2 q p \lambda_s$ ← $X_s = 2\pi f \left(\frac{4 T_{ph}^2}{(pq)^2}\right) pq \lambda_s = 8\pi f T_{ph}^2 \frac{\lambda_s}{pq}$

تعداد قطب‌ها = تعداد دور هر فاز

$Z_s = \frac{2 T_{ph}}{p \cdot q}$

* راکتانسی که تاکنون با حالت‌های phase group ها محاسبه کرده‌ایم.

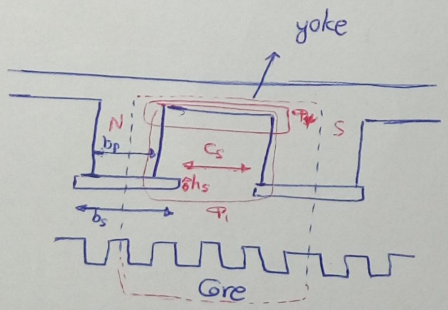
راکتانس‌های اختصاری

tooth top leakage flux → λ_t → $8\pi f T_{ph}^2 \frac{\lambda_t}{pq} = X_t$

$X_0 = 8\pi f T_{ph}^2 \frac{\lambda_0}{pq}$

$X_z = 8\pi f T_{ph}^2 \frac{\lambda_z}{pq}$

شار نشتی از قطب‌های برجسته



$2AT_p + 2AT_g + 2AT_t + 2AT_{yoke} + 2AT_{core} = 2AT_m$

$2AT_g + 2AT_t + 2AT_{core} = 2AT_m - 2AT_{yoke} - 2AT_p = 2AT_l$

* $\Phi_1 = 2AT_l \cdot \mu_0 \frac{h_s L_s}{C_s}$ ← ارتفاع شیار، طول شیار، فاصله بین دو لبه شیار

$\times 2$ = چون بین هر قطب دو قطب داریم

* $\Phi_2 = 2AT_l \mu_0 \int_0^{b_s/2} \frac{h_s \cdot dx}{C_s + \pi x}$ $\times 4$ $= 8 AT_l \mu_0 \frac{h_s}{\pi} Ln\left(1 + \frac{\pi b_s}{2 C_s}\right)$

$\Phi_{sl} = \Phi_1 + \Phi_2$

$C_l = \frac{\text{total flux}}{\text{leakage flux}} = \frac{\Phi_m + \Phi_{sl}}{\Phi_m} = 1 + \frac{\Phi_1 + \Phi_2}{\Phi_m}$

۱۶

$$\Phi_3 = AT_l \mu_0 \frac{h_p L_p}{c_p} \times 2$$

$$\Phi_F = AT_l \mu_0 \int_0^{b_p/2} \frac{h_p \, dz}{c_p + \pi z} dx \times 4 = 4 AT_l \mu_0 \frac{h_p}{\pi} \ln\left(1 + \frac{\pi b_p}{2c_p}\right)$$

$$\Phi_{Pl} = \Phi_3 + \Phi_F$$

$$\Phi_l = \Phi_{Pl} + \Phi_{Sl} = \Phi_1 + \Phi_2 + \Phi_3 + \Phi_F$$



روابط تجربی:

$$\begin{cases} \Phi_{Sl} = 40\ AT \times 10^{-8} \\ \Phi_{Pl} = 140\ AT \times 10^{-8} \end{cases}$$

C_l ضریبی است که نشان می‌دهد شبه‌شار چند برابر شار است.

$$C_l \to V \qquad C_{l_1} \to V_1$$

$$C_{l_1} = \frac{AT_{l_1}}{AT_l} \frac{V}{V_1} (C_l - 1) + 1$$

جریان مغناطیس‌کننده (Magnetizing Current) :*

$B \to H$

$H \cdot l_{average} = AT$

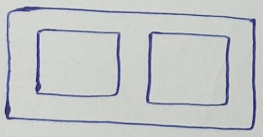
$$I_m = \frac{AT}{T} \to I_{m\,rms} = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$$

اگر سینوسی بود

$$I_{M\,rms} = \frac{I_m}{k}$$

اگر سینوسی نبود

برای سه فاز:



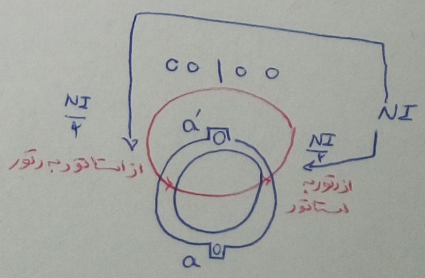
94,9,14 :

مسیر بعضی شار: توزیع میدان سینوسی / توزیع میدان غیر سینوسی

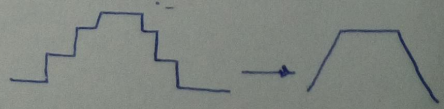
$$AI_{m_1} = \frac{2/7\ V\ I_m T_{ph}\ k_w}{P}$$

↓ فشار سینوسی در نظر گرفته شده

* phase spread = δ

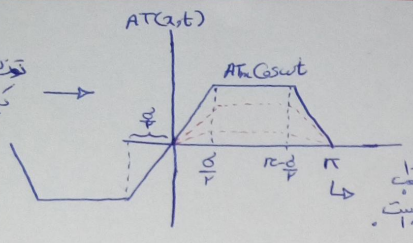


اگر تعداد شیارها زیاد و هر قطب برای هر فاز محدود بصورت تقریبی خط شکسته گرفت.



مرحله ۲۹

توزیع mmf برای یک فاز



چون هر دو قسمت مثبت و منفی یکسان است

فقط جملات سینوسی دارد ← تابع فرد است

$$AT(x,t)=\sum_{n=0}^{\infty} a_n \sin nx$$

$$a_n=\frac{2}{\pi}\left[\int_0^{\delta/2}\frac{x}{\delta/2}AT_m\cos\omega t\sin nx\,dx+\int_{\delta/2}^{\pi-\delta/2}AT_m\cos\omega t\sin nx\,dx+\int_{\pi-\delta/2}^{\pi}\frac{\pi-x}{\delta/2}AT_m\cos\omega t\sin nx\,dx\right]$$

$u=x$, $dv=\sin nx\,dx \rightarrow v=\frac{-1}{n}\cos nx$

$$AT(x,t)=\begin{cases}\dfrac{AT_m\cos\omega t}{\delta/2}x & 0<x<\delta/2\\ AT_m\cos\omega t & \delta/2<x<\pi-\delta/2\\ -\dfrac{AT_m\cos\omega t}{\delta/2}(x-\pi) & \pi-\delta/2<x<\pi\end{cases}$$

$$a_n=\frac{2}{\pi}\left\{\frac{AT_m\cos\omega t}{\delta/2}\left[-\frac{x}{n}\cos nx+\frac{1}{n^2}\sin nx\right]_0^{\delta/2}+AT_m\cos\omega t\left(\frac{-1}{n}\right)\cos nx\Big|_{\delta/2}^{\pi-\delta/2}+\left[\frac{AT_m\cos\omega t}{\delta/2}\right](x-\pi)\frac{\cos nx}{n}-\frac{1}{n^2}\sin nx\Big]_{\pi-\delta/2}^{\pi}\right\}$$

$$=\frac{4}{\pi}\left\{AT_m\cos\omega t\left[-\frac{\delta/2}{n}\cos n\delta/2+\frac{1}{n^2\delta/2}\sin\delta/2\right]+AT_m\cos\omega t\left[\frac{-1}{n}\cos(n\pi-n\delta/2)+\frac{1}{n}\cos n\frac{\delta}{2}\right]+\frac{AT_m\cos\omega t}{\delta/2}\left[-(\pi-\frac{\delta}{2}-\pi)\frac{\cos(n\pi-n\delta/2)}{n}+\frac{1}{n^2\delta/2}\sin(n\pi-n\delta/2)\right]\right\}$$

$$=\frac{2AT_m\cos\omega t}{\pi}\left[\frac{-1}{n}\cos n\frac{\delta}{2}+\frac{1}{n^2\delta/2}\sin n\delta/2+\frac{1}{n}\cos n\frac{\delta}{2}+\frac{1}{n}\cos n\frac{\delta}{2}-\frac{1}{n}\cos n\frac{\delta}{2}+\frac{1}{n^2\delta/2}\sin(n\pi-n\frac{\delta}{2})\right]$$

$$\begin{cases}\text{فرد } n & \text{و} \quad a_n=\dfrac{2AT_m\cos\omega t}{\pi}\dfrac{2}{n^2\delta/2}\sin n\delta/2=\dfrac{4AT_m\cos\omega t}{\pi}\dfrac{\sin n\delta/2}{n.n\delta/2}=\dfrac{4AT_m\cos\omega t}{\pi}\dfrac{k_{dn}}{n}\\ \text{زوج } n & \text{و} \quad a_n=0\end{cases}$$

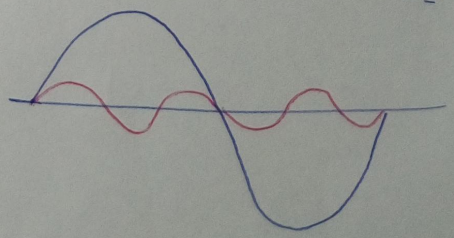
k_{dn}

$$*\ k_{dn}=\frac{\sin q\gamma/2}{q\sin\gamma/2}=\frac{\sin\delta/2}{q\,\gamma/2}=\frac{\sin n\delta/2}{n\delta/2}$$

$\lambda=\frac{2\pi}{n}$

ضریب هارمونیک

به مقدار شاخه‌های هر فاز زیر هم نقب



POWEREN.IR

$$* \; AT(x,t)_R = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{4AT_m \cos\omega t}{\pi} \cdot \frac{k_{dn}}{n} \sin nx$$ ← برای سه فاز

Red فاز R

$$AT(x,t)_Y = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{4AT_m \cos(\omega t - 120)}{\pi} \cdot \frac{k_{dn}}{n} \sin n(x-120)$$

Yellow فاز Y

$$AT(x,t)_B = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{4AT_m \cos(\omega t + 120)}{\pi} \cdot \frac{k_{dn}}{n} \sin n(x+120)$$

$$AT(x,t)_{Total} = \frac{4AT_m}{2\pi} \cdot k_{d_1} \left[\sin(x+\omega t) + \sin(x-\omega t) \right.$$
$$\sin(x+\omega t - 2\pi/3) + \sin(x-\omega t) +$$
$$\left. \sin(x+\omega t + 2\pi/3) + \sin(x-\omega t) \right]$$

Fundamental فاز



$$AT(x,t)_{t_1} = \frac{4 \times 4AT_m}{2\pi} k_{d_1} \left[\sin(x-\omega t) \right]$$

x	ωt
$\pi/2$	0
π	$\pi/2$
$3\pi/2$	π

* مقدار ماکزیمم

$$AT_{m_1} = \frac{4AT_m}{\pi} k_{d_1}$$

دامنه اول / حداکثر

$$\& \; AT_{m_1} = \frac{2\sqrt{2} I_m T_{ph} k_w}{p}$$

مقدار هادی‌های کنار هم

$$AT_m = \frac{Z_S \; q}{2} I_Z \sqrt{2}$$

جریان عبوری از هر هادی

بر حسب مقدار موثر

T_{ph} = مقدار دور هر فاز

$$\frac{T_{ph} \times 2}{pq} = Z_S$$

$$\rightarrow AT_m = \frac{2 T_{ph}}{pq} \cdot \frac{q}{2} I_Z \sqrt{2} = \frac{\sqrt{2} T_{ph}}{p} I_Z$$

این جا ها را حتما حفظ کنید

$$AT_{m_1} = \frac{4\sqrt{2}}{\pi} \frac{T_{ph}}{p} I_Z k_{d_1} = \frac{2\sqrt{2} T_{ph} I_m k_{d_1}}{\pi}$$

ضریب توزیع k_{d_1} . k_{p_1}

k_{w_1}

۳۹ ۹۶/۹/۱۹

$AT_{m_1} = \frac{2.7\, T_{ph} \cdot I_m \cdot k_{w_1}}{P}$

لبه فاندامنتال

↳ دور mmf

چون بازدهیم هارمونیک‌ها صرف نظر کردیم.

توزیع را سینوسی در نظر گرفته‌ایم.

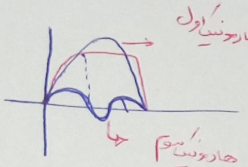
* توزیع میدان سینوسی است ← B به صورت $B_m \sin\theta$

$$\frac{1}{\pi}\int_0^{\pi} B_m \sin\theta\, d\theta = B_{average} = \frac{1}{\pi} B_m \left[-\cos\theta\right]_0^{\pi} = \frac{2}{\pi} B_m$$

$$\rightarrow \boxed{B_m = \frac{\pi}{2} B_{ave}}$$

$$2AT_g + 2AT_{t(cr)} + 2AT_{t(cs)} + 2AT_y + 2AT_{core} = AT_{m_1}$$

(دور خازنه)



- در عمل نمی‌توانیم توزیع را سینوسی بگیریم. چون ماشین در دورهای به اشباع می‌رود. هارمونیک غالب، هارمونیک سوم است.

- در عمل وقتی طراحی می‌کنیم، مشخصه‌ی دقیق هارمونیک سوم را داریم. ← مقدار B_m را می‌توانیم حساب کنیم.

اگر $\theta = 60°$ ← هارمونیک سوم صفر است. ← مقدار B_m

$$\begin{cases} B_{60} = B_m \sin 60° = \frac{\sqrt{3}}{2} B_m \\ B_{60} = \frac{\sqrt{3}}{2}\left(\frac{\pi}{2}\right) B_{ave} \rightarrow B_{60} = 1.14\, B_{ave} \end{cases}$$

- در مورد Core, yoke باید دست روی آن‌ها توزیع میدان سینوسی طرح شیب.

فیلزی دست روی 1.14 ضرب شود چون اصلاً روی آن‌ها توزیع میدان سینوسی طرح نشیب.

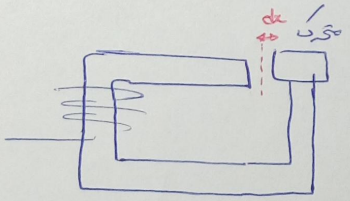
mmf هارمونیک‌ها حساب نمی‌شود.

$$AT_{60} = \sqrt{3}/2\, AT_{m_1} = \frac{\sqrt{3}}{2}\left[\frac{2.7\, T_{ph} \cdot I_m \cdot k_{w_1}}{P}\right]$$

خانه‌ی AT_{60} قابل محاسبه است.

* I_m (جریان مغناطیس‌کننده) از این رابطه درست می‌آید به شرط واحد نوشتن درست باشد.

Unbalanced Magnetic Pull (UMP)



متحرک به اندازه‌ی dx جابجا شود:

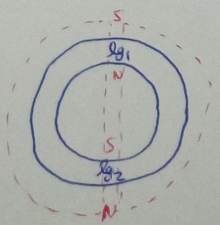
$$F.dx = \frac{B^2}{2\mu_0} A\, dx \rightarrow \boxed{F = \frac{B^2}{2\mu_0} A}$$

$$\left(\frac{AT_g}{2l_g}\right)\mu_0 = B$$

$$\rightarrow F = \frac{1}{2\mu_0} A \left(\frac{AT_g}{l_g}\mu_0\right)^2 = \frac{1}{2}\mu_0 \left(\frac{AT_g}{l_g}\right)^2 A$$

از هسته صرف نظر شود: $AT_g \cong AT$

$$F = \frac{1}{2}\mu_0 \left(\frac{AT_g}{l_g}\right)^2 A \rightarrow P_m = \frac{F}{A} = \frac{1}{2}\mu_0 \left(\frac{AT}{l_g}\right)^2$$

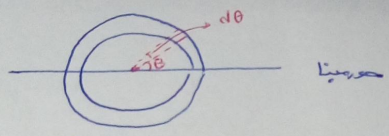


$$F_1 = \frac{1}{2}\mu_0 \left(\frac{AT_g}{l_{g_1}}\right)^2 A$$

$$F_2 = \frac{1}{2}\mu_0 \left(\frac{AT_g}{l_{g_2}}\right)^2 A$$

if $l_{g_1} = l_{g_2} \rightarrow F_1 = F_2$

اگر توزیع میدا سینوسی باشد



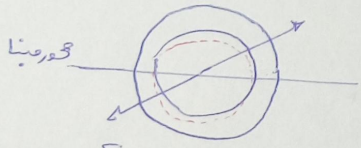
$$dF = \frac{B^2}{2\mu_0} \frac{D}{2} d\theta L \quad (B = B_m \sin\theta)$$

مولفه ی نیرو در امتداد محور قائم $= \frac{B^2}{2\mu_0} \frac{DL}{2} \int_0^{\sin\theta} d\theta$

اگر B را ثابت بگیریم $\rightarrow F = \frac{B^2}{2\mu_0} \frac{DL}{2} \int_0^{\sin\theta} d\theta = \boxed{\frac{B^2}{2\mu_0} \cdot DL}$

اگر توزیع میدا سینوسی بگیریم $\rightarrow$ مولفه نیرو در امتداد محور قائم $= \frac{B_m^2 \sin^2\theta}{2\mu_0} \frac{DL}{2} \sin\theta d\theta$

* F در امتداد محور قائم $= \frac{B_m^2}{2\mu_0} \frac{DL}{2} \int_0^{\pi} \sin^3\theta d\theta$



$$\delta = lg + e\sin\theta$$
$$\delta = lg - e\sin\theta$$

$$F = \frac{1}{2}\mu_0 \left(\frac{AT}{lg}\right)^2 A \rightarrow P_m = \frac{1}{2}\mu_0 \left(\frac{AT}{lg}\right)^2$$
$$F = \frac{1}{2}\mu_0 \left(\frac{AT}{\delta}\right)^2 A \rightarrow P_{m1} = \frac{1}{2}\mu_0 \left(\frac{AT}{\delta}\right)^2$$
$$\rightarrow \frac{P_m}{P_{m1}} = \left(\frac{\delta}{lg}\right)^2$$

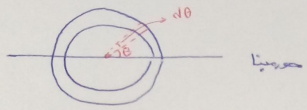
$$P_m \frac{lg^2}{(lg - e\sin\theta)^2} - P_m \frac{lg^2}{(lg + e\sin\theta)^2} = P_m \frac{F lg^3 e \sin\theta}{(lg^2 - e^2\sin^2\theta)^2} = F P_m \frac{e}{lg} \sin\theta$$

* نیروی منتجه متناسب با P_m ، $\frac{e}{lg}$ است.

نیرو $= F P_m \frac{e}{lg} \sin\theta \frac{DL}{2} d\theta$

مولفه در امتداد محور قائم $= \int_0^{\pi} F P_m \frac{e}{lg} \sin^2\theta \frac{DL}{2} d\theta$

آمپر دور توزیع سینوسی بر استوانه



$B = B_m \sin\theta$ ← مقدار لحظه‌ای

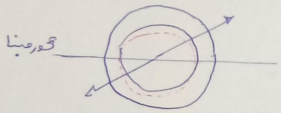
$$dF = \frac{B^2}{2\mu_0} \frac{D}{2} d\theta \, L$$

مولفه‌ی نیرو در امتداد محور قائم $= \frac{B^2}{2\mu_0} \frac{DL}{2} \int_0^{\sin\theta} d\theta$

اگر B را ثابت بگیریم $\rightarrow F = \frac{B^2}{2\mu_0} \frac{DL}{2} \int_0^{\sin\theta} d\theta = \boxed{\frac{B^2}{2\mu_0} DL}$

آمپر دور توزیع سینوسی را استوانه بگیریم $\rightarrow$ مولفه‌ی نیرو در امتداد محور قائم $= \frac{B_m^2 \sin^2\theta}{2\mu_0} \frac{DL}{2} \sin\theta \, d\theta$

F در امتداد محور قائم $= \frac{B_m^2}{2\mu_0} \frac{DL}{2} \int_0^{\pi} \sin^3\theta \, d\theta$ *



$\delta = lg + e\sin\theta$

$\delta = lg - e\sin\theta$

$$F = \frac{1}{2}\mu_0 \left(\frac{AT}{lg}\right)^2 A \rightarrow P_m = \frac{1}{2}\mu_0 \left(\frac{AT}{lg}\right)^2$$

$$F = \frac{1}{2}\mu_0 \left(\frac{AT}{\delta}\right)^2 A \rightarrow P_{m1} = \frac{1}{2}\mu_0 \left(\frac{AT}{\delta}\right)^2$$

$$\rightarrow \frac{P_m}{P_{m1}} = \left(\frac{\delta}{lg}\right)^2$$

$$P_m \frac{lg^2}{(lg - e\sin\theta)^2} - P_m \frac{lg^2}{(lg + e\sin\theta)^2} = P_m \frac{F lg^3 e \sin\theta}{(lg^2 - e^2\sin^2\theta)^2} = F P_m \frac{e}{lg} \sin\theta$$

* نیروی منتجه متناسب با P_m و $\frac{e}{lg}$ است.

نیرو $= F P_m \frac{e}{lg} \sin\theta \frac{DL}{2} d\theta$

مولفه‌ی برآیند در امتداد محور قائم $= \int_0^{\pi} F P_m \frac{e}{lg} \sin^2\theta \frac{DL}{2} d\theta$

۹۹/۹/۲۱

ص ۴۳

- اگر تغییرات B نسبت به زمان سینوسی شود، راحت‌ترین حالت آن است که در لحظه‌ای مقدار B ماکزیمم باشد و در لحظه‌ی بعد ماکزیمم منفی شود.

غلط است.

$$P = \frac{1}{2}\frac{\pi DL}{\mu_0} B^2 \frac{e}{lg}$$

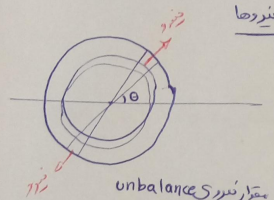
$$P_{ave} = \frac{1}{2}\frac{\pi DL}{\mu_0}\frac{e}{lg} B^2\Big|_{ave} \xrightarrow[\text{جیسه ۵}]{\text{average } B^2} I_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T i^2 dt}$$

$$I_{rms}^2 = \frac{1}{T}\int_0^T i^2 dt = i^2\Big|_{ave}$$

$$P_{ave} = \frac{1}{2}\frac{\pi DL}{\mu_0}\frac{e}{lg} B_{rms}^2$$

↳ در کتاب $\left(\frac{B_m}{\sqrt{2}}\right)^2$ در ۱۸۴

- در کتاب نوشته توزیع میدان سینوسی است در حالی که اگر میدان نسبت به زمان سینوسی باشد راحت‌تر است.



متغیر نیروها

$$* \; F P_m \frac{e}{lg}\sin\theta$$

$$* \; \text{موقعیت قائم} \; F P_m \frac{e}{lg}\sin^2\theta \times \underbrace{\frac{D}{2} d\theta L}_{\text{Area}} = \text{نیرو}$$

$$\text{مقدار نیروی unbalance} \; F = \int_0^{\pi} F\frac{e}{lg}\frac{DL}{2} \cdot P_m \sin^2\theta \, d\theta$$

$P_m = \frac{B^2}{2\mu_0}$ ← اگر P_m را از انتگرال بیرون آوردیم، یعنی B را ثابت فرض کردیم

* بنابراین، اگر میدان ما توزیعش سینوسی شود یعنی $B = B_m \sin\theta$، داریم:

$$* \; F = F\frac{e}{lg}\frac{DL}{2}\int_0^{\pi} \frac{B_m^2 \sin^2\theta}{2\mu_0}\sin^2\theta \, d\theta \quad (I)$$

- اگر ماشین ۴ قطب بود، یا مثلاً ۸ قطب بود (به جای ۲ قطبی‌هایی که بررسی کردیم)، چگونه باید F حساب کنیم؟

زاویه‌ای که باید در این محاسبات لحاظ کنیم θ مکانیکی است. منتها توزیع میدان که در نظر گرفتیم براساس زاویه الکتریکی است. این را باید درست کنیم (از الکتریکی به مکانیکی تبدیل کنیم).

اگر ماشین ما ۸ قطب باشد ← $B = B_m \sin f\theta$ ← مکانیکی

$f = P/2$

- θ در فرمول I برحسب θ مکانیکی است چون ماشین دو قطب بود اثر الکتریکی بودن زاویه $B_m \sin\theta$ را متوجه نشدیم.

مثال حل شده صفحه ی 186

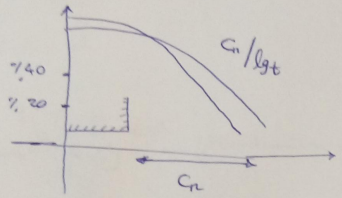
* Field Form (شکل میدان) : (Flux Density Distribution)

$$B_x = B_g \frac{l_g}{l_{gx}}$$

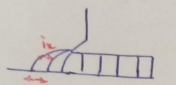
این رابطه تقریبی است

$$H_g l_g = H_x l_{gx} \rightarrow \frac{B_g}{\mu_0} l_g = \frac{B_x}{\mu_0} l_{gx}$$

ورودی : ۱- استفاده از منحنی‌های کارتر [صفحه ۱۸۹]
۲- Flux Plotting



روش دوم :



Flux tube طول $= l_{gx}$

Flux tube عرض $= w_x$

Flux tube پرمیانس $= \Lambda = \frac{\mu_0 w_x L}{l_{gx}}$

Flux tube شار عبوری از $= AT_f \times$ پرمیانس $= AT_f \cdot \frac{\mu_0 w_x L}{l_{gx}}$

mmf ← ضلع چپ

$$B_x = \frac{\Phi_x}{a_x L} = \frac{AT_f \frac{\mu_0 w_x L}{l_{gx}}}{a_x \cdot L} = AT_f \mu_0 \frac{w_x}{a_x l_{gx}}$$

$$B_g = AT_f \cdot \mu_0 \frac{1}{l_g}$$

$$\frac{B_x}{B_g} = \frac{AT_f \frac{\mu_0 w_x}{a_x l_{gx}}}{AT_f \mu_0 \frac{1}{l_g}} \rightarrow \frac{B_x}{B_g} = \frac{w_x}{a_x} \frac{l_g}{l_{gx}} \rightarrow \boxed{B_x = B_g \frac{w_x}{a_x} \frac{l_g}{l_{gx}}}$$

۱- هدایت :

$$Q[W] = \frac{\theta_1 - \theta_2}{R_\theta}$$

R_θ ← مقاومت حرارتی

* اگر جریانی از اجزای ماشین مقاومت حرارتی آن R_θ بزرگ باشد، مقدار حرارتی که به بیرون انتقال پیدا می‌کند کم خواهد بود. و لذا ماشین گرم تر می‌شود. (نقاط ضعف ماشین)

$R_\theta = \frac{\rho_\theta \, l}{S}$ ← Thermal Resistivity

l ← طول

S ← سطح

- Paper (عایق کاغذی) : $\rho_\theta = 5 \; \Omega.m$
- هوا : $\rho_\theta = 20 \; \Omega.m$

$q = P_c (\theta_1 - \theta_2)$

Conduction ←

۲- Radiation :

اگر شیء جسم جامد در دمای نسبتاً بالایی نسبت به جسم جامد دوری بزرگ قرار داشته باشد مقدار گرمایی که توسط Radiation انتقال پیدا می‌کند (از درجه حرارت بالا به درجه حرارت پایین) و (q_{rad} در واحد سطح)

$$q_{rad} = 5.7 \times 10^{-8} \, \varepsilon \, (T_1^4 - T_2^4)$$

ε ← ضریب تابش (Emissivity Co. efficient)

T_1 ← جسم داغ‌تر

T_2 ← جسم سردتر

$$= 5.7 \times 10^{-8} \, \varepsilon (T_1 - T_2) \underbrace{(T_1^3 + T_1^2 T_2 + T_1 T_2^2 + T_2^3)}_{K_r}$$

$$= 5.7 \times 10^{-8} \, \varepsilon (\theta_1 - \theta_2)(K_r)$$

برای ε جدول داریم ← برای فلزات تیره : $\varepsilon = 0.9 - 0.9$ (داخل کتاب)

، در عمل برای Safety و احتیاط مقدار ε را 0.8^4 در نظر می‌گیرند.

$$5.7 \times 10^{-8} \times \varepsilon^{0.8^4} \times K_r \; (\theta_1 - \theta_2)$$

$5.7 \times 10^{-8} \times \varepsilon \times K_r$ ← λ_{rad}

$(\theta_1 - \theta_2)$ ← θ ← Temperature rise (افزایش درجه حرارت نسبت به محیط)

دوی یک ماشین هارا کنار هم بگذارید، فرضاً $\theta = 50^\circ$

این θ در حالت بار کامل کارکرد میزان افزایش درجه حرارت نسبت به محیط خواهد داشت 50° است.

مساحت

$$Q_{rad} = \lambda_{rad} \theta \times S$$

این مبحث بیشتر بر اساس تجربه عملیاتی می‌شود و اگر کسی فقط از طریق معادلات نظری عمل کند، احتمال زیاد جواب مطلوبی نخواهد گرفت.

$$q_{rad} = 4.9 \, \varepsilon \, \theta^{1.17} \; \frac{W}{m^2}$$

راه‌های دیگر برای q_{rad} به صورت منحنی موجود است :

۴- Convection (جابجایی) : ۱- طبیعی ۲- مصنوعی

* طبیعی : تراش در داخل روغن قرار گرفته . ذرات روغن تحت تاثیر حرارت متحمل شده و شروع به جابجایی مایع روغن صورت می‌دهد .

$q_{conv} = K_c (\theta_1 - \theta_0)^n$ ، n : ۱ - ۱/۲۵ ، if $n=1$ → $q_{conv} = K_c(\theta_1 - \theta_0) = \lambda_{conv}\,\theta$

λ : Specific Heat Dissipation

$Q_{conv} = \lambda_{conv} \cdot \theta \cdot S$ ، S : سطح

$q_{conv} = 2\, p^{1/2}\, \theta^{\frac{5}{4}}\, \frac{W}{m^2}$: q_{conv} وجود دارد بصورت

* مصنوعی : بطور مصنوعی Circulating ایجاد می‌کنیم (حالا چه روغن جابجا شود یا ...)

$\lambda'_{conv} = \lambda_{conv}(1 + k_v \sqrt{v})$ ← ضریب Convection مصنوعی

λ' : مربوط به حالت مصنوعی ، λ : مربوط به حالت طبیعی

k_v : ضریب ثابت ، v : سرعت سیال در حال جابجایی

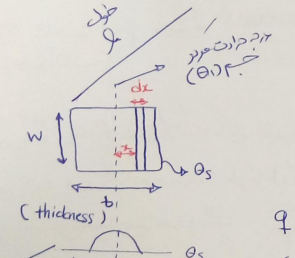
$1/2$: (به این دلیل که سیال حرکت دایره‌ای داشته یا در حال حرکت به پشت مختلف است)

$0/5$

$Q_{کل} = \lambda_{rad} \cdot \theta \cdot S + \lambda_{conv} \cdot \theta \cdot S = (\lambda_{rad} + \lambda_{conv})\,\theta \cdot S$

[radiation : تابشی ، Convection : جابجایی]

$= \lambda_{rad\ and\ conv} \cdot \theta \cdot S$ (قانون نیوتن)



- فرض کنید انتقال حرارت خواهد تمام ضریب بعد انتقال پیدا کند (جهت t)

- فرض کنید درجه حرارت همجات محیط اطراف ثابت است . (از سطح جسم شروع حرارت به درون جسم رود شروع حرارت به چپ)

حرارت ورودی : q

مقدار حرارتی که می‌خواهد به بیرون انتقال پیدا کند : $q \times w \times l$

$d\theta = Q\, dR_\theta$

$= q \times w \times l \cdot \frac{\rho_\theta\, dx}{\underbrace{w \cdot l}_{Area}}$ ⟶ $\int_0^x d\theta = \int_0^x q \times w \times l \cdot \frac{\rho_\theta\, dx}{w \cdot l}$

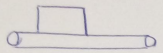
$\theta_{1-}^{\theta_x} = q\,\rho_\theta \frac{1}{2} x^2$

* ← $\theta_1 - \theta_s = q\,\rho_\theta \frac{1}{8} t^2$ ← در صورتی که اندازه x از ۰ تا $\frac{t}{2}$ باشد

$\theta_x - \theta_s = q\,\rho_\theta \frac{t^2}{8} - q\,\rho_\theta \frac{x^2}{2}$

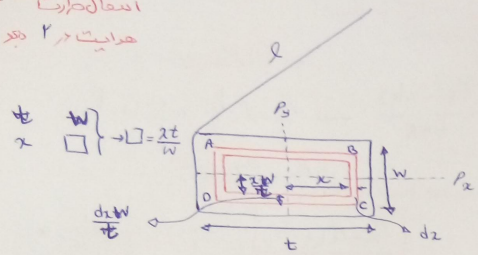
اختلاف درجه حرارت نقاط نسبت به خارج را نشان می‌دهد .

توزیع temperature rise را نشان می‌دهد .



تا حرف فرض کرده بودیم انتقال حرارت در یک بعد صورت بگیرد، اما انتقال حرارت در دو بعد باشد.

انتقال حرارت از طرفین
هدایت در ۲ بعد



q = حرارت ایجاد شده در واحد حجم

* راستای محور y: $\dfrac{P_y \frac{dx\,W}{t}}{(AB+CD)\,l} = \dfrac{P_y\, w\, dx}{4xtl}$

* راستای محور x: $\dfrac{P_x \cdot dx}{(BC+AD)\,l} = \dfrac{P_x\, dx\, t}{4xwl}$

* مقاومت معادل:

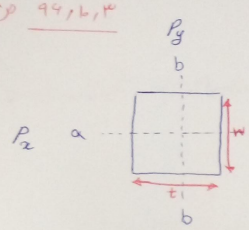
$$\frac{P_x P_y\, wt\,(dx)^2}{14\,x^2 wtl^2} = \frac{P_x P_y\, wt\, dx}{4xl\,[P_y w^2 + P_x t^2]}$$

$$\frac{P_y w^2 dx + P_x t^2 dx}{4xwtl}$$

$$* \int_0^{t/2} d\theta = \int_0^{t/2} q \cdot 2x \cdot 2x\frac{w}{t} \cdot l \cdot \frac{P_x P_y\, wt\, dx}{4xl\,[P_y w^2 + P_x t^2]}$$

$$\theta = q \cdot w^2 \cdot P_x \cdot P_y \left[\frac{\frac{1}{2}\cdot t^2/4}{P_y w^2 + P_x t^2}\right] = \frac{q w^2 P_x P_y t^2 l}{8l\,(P_y w^2 + P_x t^2)} = \frac{Q\, wt P_x P_y}{8l\,[P_y w^2 + P_x t^2]}$$

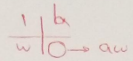
۹۹/۶/۳



b : ضخامت متوسط برحسب راستای محور bb

a : ضخامت متوسط برحسب راستای محور aa

$R_{\theta b} = R_{\theta bc} + R_{\theta bi}$ (سرد / ایزوله)



$$\frac{P_y \cdot w}{t \times \ell} = \frac{P_c(bw)}{t \times \ell} + \frac{P_i(w - wb)}{t \times \ell} \longrightarrow P_y = P_c b + P_i(1-b)$$

قابل صرف نظر کردن

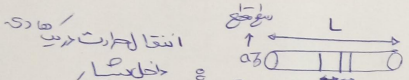
$$P_y = P_i(1-b)$$

$$P_x = P_i(1-a)$$ * : طرفی مشابه :

if $a = b \longrightarrow P_y = P_x = P_i(1-a) = P_e$

$$S_f \text{ (space factor)} = \frac{\text{سطح متخلخل هادی}}{\text{سطح متخلخل کل}} = \frac{a \times a}{1 \times 1} = a^2 \longrightarrow a = \sqrt{S_f}$$

$$P_e = P_i(1 - \sqrt{S_f})$$



انتقال حرارت در هادی / اختلاف پتانسیل الکتریکی

I_3 : جریان عبوری از هادی

$d\theta = Q \cdot R_\theta$

$= \rho \frac{x}{a_3} I_3^2 \cdot P_\theta \frac{dx}{a_3}$ (ρ الکتریکی است.)

$\theta = \int_0^{L/2} \longrightarrow \rho P_\theta \frac{I_3^2}{a_3^2} \frac{1}{2} \frac{L^2}{4}$

اختلاف دمای حرارت : $\theta = \rho P_\theta \delta^2 L^2 / 8$ ← چگالی جریان

$\theta = Q \cdot R_\theta$

$\theta = \rho \frac{L}{a_3} I_3^2 P_{i\circ} \frac{t}{(w_s + rd_s)L}$

$= \rho P_{i\circ} \frac{I_3^2}{a_3} \frac{t}{w_s + rd_s}$

در توربین‌ترانزیستورها w_s را در مقاطعی بیشتر گرفتیم.

* فرآیندی که با استفاده از آن حرارت حاصل از دقایق ماشین را گیریم. = Cooling

* واسطه‌ای که گرما را می‌گیرد که می‌تواند هوا یا آب باشد = Coolant

* آن سیالی یا واسطه‌ای اولیه که در تماس با قسمت‌های گرمای ماشین حرارت را می‌گیرد. = Primary Coolant

چرا می‌گوییم Primary ؟ چون ممکن است حرارت را منتقل کند به مقدار دیگری از ماشین و از آن جا second Coolant قرار داشته باشد.

واسطه‌ای بین Primary , second را Heat exchanger می‌گوییم.

* یک سری سیم پیچی هست که آن‌ها را inner cooled (Direct cooled) می‌گوییم ؛ یعنی درون‌هایی که Coil ها مستقیم خنک می‌شوند.

مثلاً Coil را حول یک استوانه‌ای پیچیده و گاز از آن عبور می‌کند تا خنک شود.

ماده خنک‌شونده (داخل tube)

* سیستم خنک‌کننده می‌تواند به‌صورت مدار باز یا مدار بسته باشد.

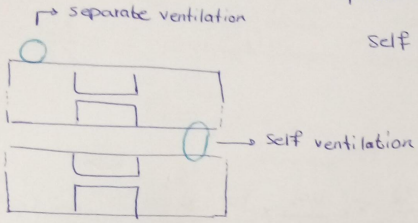
دائماً هوای محیط ← الحاقی توانند وارد ماشین شود تا ماشین خنک شود.

* در ماشین‌های با قدرت بالا نمی‌توان به‌صورت مدار باز استفاده کرد،

Ventilation ← وقتی هوا ماشین را خنک می‌کند

Sprate ventilation ← پروسه‌ای که fan در حرکتش مستقل از ماشین است

Self ventilation ← پروسه‌ای که fan در حرکتش مستقل از ماشین نیست

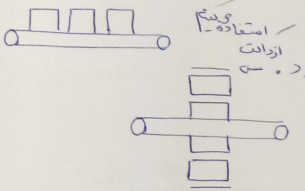


وقتی که ماشین با هوا خنک می‌شود fan به دو صورت قرار می‌گیرد:

۱. induced ventilation [فشار هوای داخل ماشین را کم می‌کند، هوای محیط وارد ماشین می‌شود، حرارت را می‌گیرد]

۲. forced ventilation [fan های بیرون را می‌مکد با فشار بالا وارد ماشین می‌کند]

کدام بهتر است؟ induced بهتر است.



اگر طول ماشین طولانی باشد، هوا و سطح را گرم می‌کند و نمی‌تواند حرارت را از همه‌ی قسمت‌های ماشین بگیرد.

اگر فاصله‌ها زیاد باشد بایستی از دات‌های محوری استفاده کنیم.

دات سنتاگی ← مزیت: در حرارت نقاط مختلف تقریباً یکنواخت است.
عیب: طول ماشین بلند می‌شود.

دات محوری ← مشکل جایگزینی بار با بوردو و لقمات هسته را بیشتر کند.

در ماشین می‌توان به‌صورت ترکیبی از دات‌های سنتاگی و محوری استفاده کرد.

* مزیت‌های هیدروژن نسبت به هوا

۱. ۷ برابر هوا است.

۲. چون چگالی آن نسبت به هوا خیلی کمتر است.

۳. قدرت اصطکاک ماشین را بالا می‌برد

۴. Thermal conductivity آن نسبت به هوا بالاتر است.

۵. عمر ماشین بیشتر می‌شود.

امکان دیفرانسیل و قطع خنک شدن هوا بیشتر است.

جمعه ۹۶/۱۰/۵

Q تلفات (برحسب وات) $\rightarrow$ J/sec $\rightarrow$ اگر این مقدار تلفات را کجا هوا جذب کند

$Q = \text{وزن هوا}/sec \cdot C_p \cdot \theta$ (گرمای ویژه)

$\text{وزن هوا}/sec = \dfrac{Q}{C_p \cdot \theta}$

هوا $1\ kg \rightarrow V\ m^3$ حجم (در شرایط متعارف)

$\text{حجم هوا}/sec = \dfrac{Q}{C_p\,\theta} \cdot V\ [m^3]$

$\dfrac{P_1 V_1}{T_1} = \dfrac{P_2 V_2}{T_2} \rightarrow V_2 = V_1 \dfrac{P_1}{P_2}\dfrac{T_2}{T_1} \rightarrow V_2 = \dfrac{Q}{C_p\theta} V \times \dfrac{۷۶۰}{H} \times \dfrac{۲۷۳ + \theta_2}{۲۷۴}$

PV_2 قدرت خروجی پمپ که حجم این هوا را باید داخل ماشین پمپ کنیم. $\rightarrow$ فشار هوا

$P = \text{پمپ}/lit$ $\rightarrow$ توان ورودی که پمپ نیاز دارد تا این حجم هوا را به داخل ماشین بفرستد

ماشین را به حجم جلد فرض کنید.

Q = مجموع تلفات ماشین $\rightarrow$ این مقدار انرژی که در ماشین به حرارت تبدیل می‌شود

$Q.dt = G.h.d\theta + \lambda S\,\theta\,dt$

G: گرمای ویژه

h: ضریب حرارت

S: سطح جانبی اطراف (area)

λ: مقدار انرژی که در بیرون با دقایق دیواره می‌کند.

$\rightarrow (Q - \lambda S\theta)dt = Gh\,d\theta \rightarrow \dfrac{Gh\,d\theta}{Q - \lambda S\theta} = dt \rightarrow$

$-\dfrac{GH}{\lambda S}\ln(Q - \lambda S\theta) = t + K$

T_h ثابت زمانی گرمایش

$\dfrac{kg \times J/kg\cdot C}{\frac{W}{m^2 C} \times m^2} = \dfrac{J}{W} = sec$

$K.S.I$ حاوی T_h

$t = 0 \rightarrow \theta = \theta_i$ وقتی که ماشین برای مدت خیلی زیاد در محیط با دمای ثابت قرار گرفته است. θ_i دمای محیط است. θ دمای ماشین (Temperature) است. θ_i دمای ماشین در لحظه $t = 0$ است (rise).

$-T_h \ln(Q - \lambda S\theta_i) = 0 + K$

$\rightarrow K = -T_h \ln(Q - \lambda S\theta_i)$

$-T_h \cdot \ln\left(\dfrac{Q - \lambda S\theta}{Q - \lambda S\theta_i}\right) = t$

$\rightarrow \ln\left(\dfrac{Q - \lambda S\theta}{Q - \lambda S\theta_i}\right) = \dfrac{-t}{T_h} \rightarrow$

$\dfrac{Q - \lambda S\theta}{Q - \lambda S\theta_i} = e^{\frac{-t}{T_h}} \rightarrow \dfrac{Q/\lambda S - \theta}{Q/\lambda S - \theta_i} = e^{\frac{-t}{T_h}}$

if $t = \infty \rightarrow d\theta = 0 \rightarrow Q.dt = \lambda S\theta\,dt \rightarrow \theta_m = \dfrac{Q}{\lambda S}$

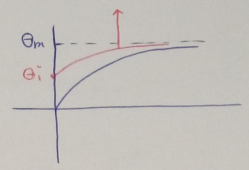
$\rightarrow \dfrac{\theta_m - \theta}{\theta_m - \theta_i} = e^{-\frac{t}{T_h}}$

$$\theta_n - \theta = \theta_n e^{-t/T_h} - \theta_i e^{-t/T_h}$$

$$\theta = \theta_n(1 - e^{-t/T_h}) + \theta_i e^{-t/T_h}$$

ماشین در ابتدا راه‌اندازی در دمای محیط است $\theta_i = 0 \longrightarrow$ $\theta = \theta_n(1 - e^{-\frac{t}{T_h}})$

«گاهی θ_i صفر نیست»



$T_h = \frac{Gh}{S\lambda}$ ← ثابت زمانی گرمایش

ماشین‌کاری که سیستم Cooling آن خوب باشد λ بزرگ است ← T_h کوچک است ← دقیق‌تر می‌رسد ماشین به دمای محیط.

ماشین‌کاری که سیستم Cooling آن ضعیف باشد ← $\lambda \downarrow \rightarrow T_h \uparrow$

* دو ماشین هر دو در دمای محیط قرار دارند و ابعاد یکی x برابر دیگری است. ماشین بزرگ‌تر ثابت زمانی بزرگ‌تری دارد. (حتی می‌تواند ثابت زمانی بیشتری داشته باشد.)

ابعاد ماشین A، x برابر، ابعاد ماشین B است.

$$\left.\frac{d\theta}{dt}\right|_{t=0} = \theta_n\left(\frac{1}{T_h}\right)e^{-t/T_h} = \frac{\theta_n}{T_h}$$

$\theta = \frac{\theta_n}{T_h}t$ ← معادله ماشین برشتی

Cooling (سرماشین)

معادله‌های گرمایش heating

نوشتیم برای Cooling هم صادق است ← $Q \cdot dt = Gh\,d\theta + \lambda S\theta\,dt$

تمام شرایط اولیه‌ی ماشکاری است

$\frac{Gh}{\lambda S} = T_c$ = ثابت زمانی سرماشین

$$-T_c \ln(Q - \lambda S\theta) = t + k$$

آن لحظه‌ای که ماشین شروع می‌کند به سرد شدن $t=0 \rightarrow \theta = \theta_i$ ← $-T_c \ln(Q - \lambda S\theta_i) = 0 + k$

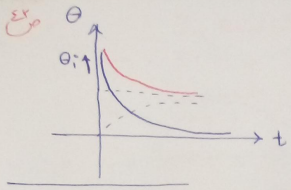
نسبت به دمای محیط

$$\rightarrow -T_c \ln\frac{Q - \lambda S\theta}{Q - \lambda S\theta_i} = t \rightarrow \frac{Q/\lambda S - \theta}{Q/\lambda S - \theta_i} = e^{-t/T_c}$$

if $t = \infty \rightarrow \theta = \theta_n = \frac{Q}{\lambda S} \rightarrow \frac{\theta_n - \theta}{\theta_n - \theta_i} = e^{-t/T_c}$

$$\theta_n - \theta = \theta_n e^{-t/T_c} - \theta_i e^{-t/T_c} \longrightarrow \theta = \theta_n(1 - e^{-t/T_c}) + \theta_i e^{-t/T_c}$$

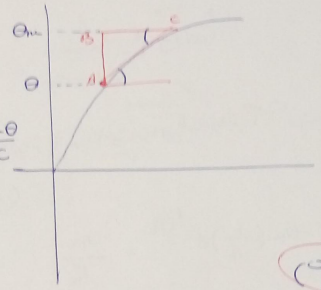
$\theta = \theta_i e^{-t/T_c}$ ← $\theta_n = 0$ ← گرماشین از شبکه قطع می‌شود، بعد از زمان مشخصی



$$\theta = \theta_m (1 - e^{-t/T_h}) \longrightarrow \theta = \theta_m - \theta_m e^{-t/T_h} \longrightarrow e^{-t/T_h} = \frac{\theta_m - \theta}{\theta_m}$$

$$\frac{d\theta}{dt} = \frac{\theta_m}{T_h} e^{-t/T_h}$$

$$\frac{d\theta}{dt} = \frac{\theta_m}{T_h} \frac{\theta_m - \theta}{\theta_m} \longrightarrow \frac{d\theta}{dt} = \frac{\theta_m - \theta}{T_h}$$



$$\tan ACB = \frac{AB}{BC} = \frac{\theta_m - \theta}{BC}$$

۹۶/۱۰/۱۰

طراحی (عمل) ماشین

* Φ_p = شار زیر هر قطب
* p = تعداد قطب‌های آهن‌ربا

$\longrightarrow p\Phi_p$ = کل شار که از فاصله هوایی است. (برای حرکت گرفتن بالا رفتن قطب‌ها) $\longleftrightarrow$ ۱) Magnetic Loading: بارگذاری مغناطیسی

* Z = تعداد رساناهای آرمیچر
* I_Z = جریان عبوری از هر رسانا

$\longrightarrow ZI_Z$ $\longleftrightarrow$ ۲) Electric Loading: بارگذاری الکتریکی

$$B_{ave} = \frac{p\Phi_p}{\pi DL}$$

۳) specific magnetic Loading: بارگذاری مغناطیسی ویژه

B_{ave} در فاصله هوایی است.

$\frac{\Phi_p}{\frac{\pi D}{p} L}$ ← قبل دیدیم ← Φ_p هر قطب



شکل استوانه‌ای یا ...

۴) Specific Electric Loading: بارگذاری الکتریکی ویژه

$$ac = \frac{ZI_Z}{\pi D}$$

خروجی یک ماشین را این چیزی در نظر گرفته می‌شود که ماشین چقدر بتواند قدرت مورد نظر را تأمین کند؟ باید وارد این اجزا ماشین و قدرت (P_{conv}) توان رسیده شود.

ماشین DC:

$$E_a = \frac{ZP}{2\pi a} \Phi_p \omega \quad , \quad I_a = \text{جریان عبوری از آرمیچر} \quad , \quad P_a = E_a I_a = \frac{ZP}{2\pi a} \Phi_p \omega I_a$$

$\omega = 2\pi n_s$ ← سرعت سنکرون یا سرعت چرخش میدان دوار

ماشین جریان متناوب دوم.

$I_a/a = I_Z$ ← جریان عبوری از هر رسانای آرمیچر

$$P_a = (ZI_Z)(p\Phi_p) n_s = (ac \cdot \pi D)(B_{ave} \cdot \pi DL) n_s = (\pi^2 \cdot ac \cdot B_{ave}) D^2 L n_s$$

C_0 = ضریب ثابت ماشین

$$\longrightarrow P_a = C_0 D^2 L n_s$$

حجم آرمیچر: $\pi(\frac{D}{2})^2 L = \frac{\pi D^2 L}{4}$

$Pa = C_o D^2 L n_s$

* هرچه توان خروجی بالاتر باشد حجم آرمیچر نیز بیشتر است.

ماشین if: خودرو توربو باشد: $Pa = P_{out}$ [Pa ≈ Pout خودرو توربو]

خودرو نباشد: $Pa = P_{out}$ [Prot معمولاً در موتورهای بزرگ، کوچک، Pa = Pout تقریباً]

ماشین AC: مقادیر ثابت

$Q = m E_{ph} I_{ph} = m[r_{1,44} f_e \Phi_p T_{ph} k_w] I_{ph}$

$[r_{1,44} f_e \Phi_p . T_{ph} . k_w]$

$n_s = \frac{12 . f_e}{p}$ (rpm) $\rightarrow \frac{12 . f_e}{60 . p} = \frac{2 f_e}{p} = n_s$ (rps) $\rightarrow f_e = \frac{p}{2} n_s$

$Q = m(r_{1,44} . \frac{p}{2} n_s . \Phi_p . T_{ph} . k_w) I_{ph}$

$= 1,11 (p \Phi_p)(2 m T_{ph}) I_{ph} k_w . n_s$ ($2mT_{ph} = Z$, $I_{ph} = I_a$)

$\rightarrow Q = 1,11 k_w (\pi . D . B_{ave})(ac . \pi D)(n_s)$

$Q = (\underbrace{1,11 \pi^2 B_{ave} . ac . k_w}_{C_o}) D^2 L n_s$

$Q = C_o D^2 L n_s$

* هرچقدر قطر، حجم آرمیچر بیشتر
* هرچقدر C_o بزرگتر باشد حجم ماشین کوچکتر خواهد بود.

عوامل موثر بر انتخاب B_{ave}: ۱- اشباع ۲- جریان مغناطیسی ۳- تلفات

اشباع

* B_{ave} را تا حدی می‌توان بالا برد که دندانه‌ها به اشباع نرسند.

فرض کنیم ماشین بقطب برجسته داریم

$B_g = \frac{B_{ave}}{k_f}$ (گام دندانه در روتور)

$B_t = B_g \frac{\gamma_s L}{W_t . L_i}$ (گام دندانه در استاتور)

$B_t = \frac{B_{ave}}{k_f} \frac{\gamma_s L}{W_t . L_i}$ → اگر ماشین را بدون دوانت در نظر بگیریم $L \approx L_i$

$B_t = \frac{B_{ave}}{k_f} \frac{\gamma_s}{W_t}$ اگر $\gamma_s = 2 W_t$ یعنی $W_s = W_t$ بگیریم

$B_t = \frac{B_{ave}}{0,7} \times 2$ اگر B_t را ۲ تسلا در نظر بگیریم → $B_{ave} \simeq 0,7$

$k_f \simeq 0,7$

لذا بنابراین ما نمی‌توانیم B_{ave} را هرطور که بخواهیم در نظر بگیریم. مثلاً هرچه B_{ave} را بیشتر انتخاب کنیم B_t نیز بیشتر می‌شود.

جریان مغناطیسی

* در DC، مسئول خیلی اهمیت ندارد ولی در اکثر مواقع باید جریان مغناطیسی خیلی زیاد باشد چون $\cos\varphi$ را کاهش می‌دهد.
* ما ذاتاً از مدار معادل تقریبی استفاده می‌کنیم و از مشاخه مغناطیسی صرف نظر می‌کنیم اگر جریان مغناطیسی را داشته باشیم حتماً کار را دقیق‌تر می‌کند.

$P_{Core} \propto \frac{\Phi^2}{A.L}$

$B = \frac{\Phi}{A} \rightarrow A = \frac{\Phi}{B}$ ← هرچقدر B ↑ ، A ↓

$P_{Core} \propto B^2 \times \frac{1}{B}$ ← جایگذاری رابطه‌ی ساخت B

$P_{Core} \propto B$

تلفات:

در ماشین‌هایی که سرعتشان بالاست، تلفات بالاست.
(در ترانسفورماتورها بالاست)

ماشین A	ماشین B
x	۱
x^3	۱

ابعاد A، x برابر B است

پس تلفات

ماشین سنکرون PM

گزارش

۹۶/۱۰/۱۲

ترمانشین A و B داریم که اندازه A، x^2 برابر دیگری است. B

* $P_{CuA} = x^3 P_{CuB}$

* $P_{cA} = x^3 P_{c,B}$ (c کابر)

* $P_c = \rho \delta^2$

* A تلفات ماشین = x^2 برابر تلفات ماشین B

$Q = C_0 D^2 L n_s$ (C_0 ثوابت ماشین، S_0 ac، Base. ac)

$ac = \frac{Z I_\phi}{\pi D} = \frac{Z \delta a_s}{\pi D}$

$\delta = \frac{I_\phi}{a_\phi}$

$\longrightarrow ac_A = x\, ac_B$

$\longrightarrow Q_A = x^4 Q_B$

$\eta_A = \frac{Q_A \times 1}{Q_A \times 1 + \text{تلفات ماشین A}} = \frac{x^4 Q_B}{x^4 Q_B + x^3 (\text{تلفات B})} = \frac{Q_B}{Q_B + \frac{1}{x}(\text{تلفات B})}$

$\eta_B = \frac{Q_B \times 1}{Q_B \times 1 + \text{تلفات ماشین B}}$

* واندوان A، بیشتر از B است.

$\longrightarrow$ ماشرض این که x بیشتر از یک باشد.

$\theta_m = \frac{Q \cdot C}{S}$ ← $\theta_m = \frac{Q}{S\lambda}$ ← مشخص می‌کند. Maximum Temperature rise قدرت اسمی را

(λ عکس، Q تلفات به حرارت تبدیل شده، S سطح خنک)

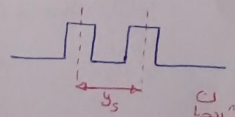
$Q_A = x^3 Q_B$ (تلفات A، تلفات B)

$S_A = x^2 S_B$

$\longrightarrow \theta_{mA} > \theta_{mB}$

* اگر عایق دو ماشین هم باشد چون قدرت اسمی ماشین A را بیشتر داریم حرارت بیشتری تولید می‌کند از مقدار حرارتی که می‌تواند تحمل کند بالاتر نرود. * ← ماشین باید طراحی شده باشد، باید C توجه داشته باشد

$Q_s = \rho \frac{L}{a_\phi} I_\phi^2 Z_s$ (ρ مقاومت هر هادی، Q_s تلفات هر شیار)



$ac = \frac{Z I_\phi / S}{\pi D / S}$ ← * انتخاب ac به عواملی بستگی دارد (S تعداد شیارها)

θ_m ↓

$\theta_m = \frac{Q \cdot C}{S} = \frac{\rho \frac{L}{a_\phi} \cdot I_\phi^2 Z_s C}{y_s \cdot L} = \frac{\rho I_\phi / a_\phi \cdot I_\phi Z_s C}{y_s} = \frac{Z_s I_\phi}{y_s} ac$

(y_s ارتفاع شیار، δ چگالی جریان، ac)

$= \rho \cdot \delta \cdot ac \cdot C$

* اگر δ را ثابت بگیریم، هرچقدر ac را بالا بگیریم θ_m بالا می‌رود چون θ_m محدودیت دارد، ac هم محدودیت دارد.

* معمولاً در ماشین‌های بزرگ چگالی جریان را پایین می‌گیرند تا θ_m زیاد نشود.

سطح اشغال شیار = $w_s \cdot d_s$

سطح کل شیار = تعداد شیار × سطح اشغال شیار = $s w_s d_s = \frac{\pi D}{y_s} w_s d_s = \pi D d_s \left(\frac{w_s}{y_s}\right)$

سطح هادی‌های شیارها = $\pi D d_s \left(\frac{w_s}{y_s}\right) S_f$ ← space factor

سطح مقطع هادی‌ها = $\left(a_z = \frac{\text{سطح مقطع هادی‌های شیار}}{\text{تعداد هادی‌های شیار}}\right) \times Z_s \times s = a_z Z_s \frac{\pi D}{y_s}$ $\xrightarrow{a_z = \frac{I_z}{\delta}}$ $= \frac{I_z}{\delta} Z_s \frac{\pi D}{y_s} = \pi D \cdot ac/\delta$

$\longrightarrow \pi D \cdot ac/\delta = \pi D d_s \left(\frac{w_s}{y_s}\right) S_f \longrightarrow \boxed{ac = d_s \left(\frac{w_s}{y_s}\right) \cdot S_f \cdot \delta}$

- همیشه جاهایی که ویتاژ بالا استفاده کنیم باید ac را کوچک بگیریم.

* اگر ویتاژ بالا ↑ ← باید عایق بیشتری استفاده کنیم ↑
← سایت موتور کمتر می‌شود
← حجم هادی‌ها

* سطح مقطع مسی هادی‌ها دایره‌ای است یا دایره‌ای ؟ [از تقریباً S_f]

حالت مستطیل S_f بیشتر است ← می‌توانیم ac را بزرگتر بگیریم.

حالت دایره‌ای S_f کمتر است ← بنابراین ac را کوچک بگیریم.

* وقتی ماشین (قطر ماشین) بزرگ است، عمق شیار می‌توانیم در نظر بگیریم ← می‌توانیم d_s بزرگتری را در نظر بگیریم در این صورت ac بیشتری را می‌توانیم برای طراحی لحاظ کنیم.

$$\begin{cases} L = \text{قوس قطب} \\ \psi = \dfrac{\text{قوس قطب}}{\text{گام قطب}} \\ \psi Z_p = L \longrightarrow \dfrac{L}{Z_p} = \psi \simeq 0/7 \text{ الی } 0/9 \end{cases}$$

۲- سرعت محیطی

$R\omega = 2\pi R n_s$

$= \pi D n_s$

← سرعت بزرگتر سرعت محیطی بیشتر است.

← مرجع قطر ماشین بزرگتر قطر ماشین هم محدود می‌شود.

مثلاً سرعت محیطی که برای ماشین‌های DC در نظر می‌گیرند حدود $30 \frac{m}{s}$ است.

۳- مبانی انرژی:

$L \alpha D^2 L$ حجم انرژی

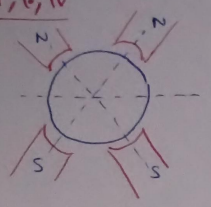
---

* ماشین PM مغناطیس دائم

در ساختمان، هست ولی PM نیست [در قسمت ماشین مغناطیس دائم]

تا ۲۰ بهمن

۹۹/۱۰/۱۷



DC ، $p=۴$ ، $P=۵۵\,kW$ ، $e=۰/۸\,mm$

$l_g=۵\,mm$ ، A_p زیر قوس قطب $=۶۵\times۱۰^{-۴}\,m^۲$ ، $B_m=۰/۷۵\,\frac{wb}{m^2}$

(مسئله ۱)

الف - $UMP=?$

$\theta=۰\rightarrow\pi$

$$F=\int_{\theta=۰}^{\pi}\frac{۴}{۲}\frac{B^۲}{۴\pi\times۱۰^{-۷}}\frac{e}{l_g}\sin^۲\theta_m\, rl\, d\theta_m$$

زاویه مکانیکی است.

$B=B_m\sin۲\theta_m$

$$=۲\frac{B_m^۲}{۴\pi\times۱۰^{-۷}}\frac{D}{۲}L\frac{\pi}{۲}\frac{e}{l_g}=\frac{\pi}{۲}\frac{(۰/۷۵)^۲}{۴\pi\times۱۰^{-۷}}DL\,\frac{۰/۰۸\times۱۰^{-۳}}{۵\times۱۰^{-۲}}\,,\ \frac{\pi DL\times۲}{۲\times۲}=۲A_p$$

$P=fP_m\frac{e}{l_g}\sin\theta$ ، $P_m=\frac{۱}{۲}\frac{B^۲}{۴\pi\times۱۰^{-۷}}$

- چون DC است، B در فاصله‌ی هوایی ثابت است. (حرکت دقیقتر زیر قوس قطب ثابت است نه در کل قطب)

البته جهی جاها کل قطب را ثابت در نظر می‌گیرند. حرا این سوال B ثابت است و فقط θ تغییر می‌کند. اگر B را ثابت بگیریم همین جواب‌ها رو می‌دیم که در سوال وجود دارد، نمره درست می‌دید.

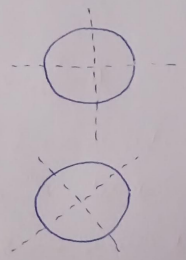
* کتاب به جواب درست رسیده و این راه حل قابل قبول نیست.

$F\,P_m\frac{e}{l_g}\sin\theta\sin\theta$ در امتداد محور قائم

حاشیه دقیقتر:

$$UMP=fP_m\frac{e}{l_g}\frac{DL}{۲}\left[\int_{۱۲۰^\circ}^{۱۵۰^\circ}\sin^۲\theta\,d\theta+\int_{۱۵^\circ}^{۱۹۵^\circ}\sin^۲\theta\,d\theta\right]$$

(مسئله دوم):



$p=۴$ ، $P=۴۵\,kW$

$e=۱mm$ ، $l_g=۰/۵\,mm$

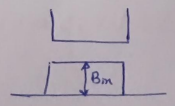
$B=۰/۸۹۴\,\frac{wb}{m^2}$

زاویه قوس قطب $\alpha=۹۰^\circ$

A زیر قوس قطب $=۴۲\times۱۰^{-۵}\,m^۲$

توزیع میدان زیر قوس یکنواخت

$UMP_{max}=?$



سوال در حل با توزیع میدان یکنواخت زیر قوس درست است.

$$F=\int_{۴\pi/۴}^{۴\pi/۴}۴/۴\,\frac{B_m^۲}{۴\pi\times۱۰^{-۷}}\frac{e}{l_g}\frac{D}{۲}L\sin^۲\theta_M\,d\theta_M$$

(مسئله سوم):

$p=۲$, $f=۵۰$

$l=۰/۱۲^m$, $D=۰/۱۵^m$

$l_g=۵\,mm$, $mmf_{max}=۶۵۰۰$

۱- $UMP=?$ ($l_{g_1}=l_{g_2}$ هنگامی)

۲- $UMP=?$ ($e=۱mm$ هنگامی)

۳- $\frac{UMP}{\text{حجم}}=?$

$dF=$ [illegible] $\sin^۲\theta\,\frac{D}{۲}L\,d\theta$, $P_m=\frac{۱}{۲}\frac{B^۲}{\mu_۰}=\frac{۱}{۲}\frac{(B_m\sin\theta)^۲}{\mu_۰}$

$$F = \int_0^{\pi} \frac{1}{2} \frac{B_m^2}{\mu_0} \frac{D}{2} L \sin^2\theta \, d\theta \quad , \quad B_m = \frac{\mu_0 A T_m}{lg}$$

①

② $dF = \left(4 P_m \frac{e}{lg} \sin^2\theta\right)\left(\frac{D}{2} L\right) d\theta$

$$\rightarrow dF = 4 \left(\frac{1}{2} \frac{(B_m \sin\theta)^2}{\mu_0^2}\right) \frac{e}{lg} \sin^2\theta \left(\frac{D}{2} L\right) d\theta$$

$F = \int_0^{\pi} \cdots\cdots$ → AC $B_{rms} = B_m/\sqrt{2}$ ✓

→ DC B_{max} ✗

③ $\omega_e = 2\pi f$, Volcw

$$n_s = \frac{120 f_e}{P} = \frac{120 \times 50}{4} = 1500 \text{ rpm}$$

$$\tau = \frac{75000}{2\pi \times \frac{1500}{60}} = 477.1 \text{ V}$$

$\tau = F \times r \rightarrow F = \frac{\tau}{r} = 0.95 \text{ kN}$ (r = D/4)

$$\frac{UMP}{\text{جنس } F} = \frac{14 \text{ kN}}{0.85 \text{ kN}}$$

---

* کم‌ترین ضخامت ورق ترانسفورمر ۳ فاز $F_{60}^{kV/A}$ ، $11000/400$ V

e → ضخامت هوا

دمای محیط ($35^\circ C$) و رطوبت بار کامل شروع به کار می‌کند. دمای یک ساعت بعد از آن $50^\circ C$ می‌شود. دمای حداکثر T_h و دمای خنک‌کننده $71^\circ C$ است. ثابت زمانی گرمایش

① دمای خنک‌کننده بعد از ۳ ساعت چند درجه سانتی‌گراد است؟

② اگر بعد از ۳ ساعت کار با رطوبت بار کامل، ترانسفورماتور به مدت ½ ساعت ۲۰٪ اضافه بار کار کند، دمای حداکثر چند درجه سانتی‌گراد می‌شود؟

دقت کنید که دقیقات مس دو برابر دقیقات هسته است.

① $\theta = \theta_m (1 - e^{-t/T_h})$

$\theta = \theta_m (1 - e^{-1.5/T_h})$

$50 - 35 = 15$

$71 - 35 = \theta_m (1 - e^{-3/T_h})$

→ T_h , θ_m درست می‌شود.

$$\frac{25}{36} = \frac{1}{1 + e^{\frac{-1.5}{T_h}}} \rightarrow T_h =$$

② $\theta = \theta_m (1 - e^{-t/T_h}) + \theta_i e^{-t/T_h}$

$\theta_i = 36$

θ_m → دقت کنید.

P_{core} → دقت کنید $P_{مس}$ → $= (1.2)^2 P_{مس}$ بار کامل $= 1.44 P_{مس}$ بار کامل

20٪

$Q_2 = P_{core} + 1.44 P_{cu FL} = 3.44 P_{core}$ ($2P_{core}$)

$Q_1 = P_{core} + P_{cu\,FL} = 3P_{core}$

$\theta_m = \frac{Q}{SA}$

$\frac{\theta_{m1}}{\theta_{m2}} = \frac{Q_1}{Q_2} = \frac{3P_{core}}{1.1P_{core}} \rightarrow \theta_{m2} = \frac{1.1}{3}\theta_{m1}$

$\theta = \theta_{m2}\left(1 - e^{-1/T_h}\right) + 1.4e^{\frac{-1}{T_h}}$

