

هوالحق



مؤسسه آموزش عالی نقش جهان

دستور کار آزمایشگاه ماشین‌های الکتریکی

دوره کارشناسی ناپیوسته قدرت



گردآورنده: حسین خورزنی



همانطور که می‌دانیم یکی از زیر شاخه‌های مهم گرایش قدرت مهندسی برق، ماشین‌های الکتریکی و درایو می‌باشد. در این حوزه به طراحی، تحلیل و بهبود عملکرد ماشین‌های الکتریکی پرداخته شده و در آن از شبیه‌سازی-های کامپیوتری تا آزمایش‌های عملی بهره گرفته می‌شود. لذا آشنایی با عملکرد ماشین‌های الکتریکی، نحوه انجام آزمایش با آن‌ها و تحلیل نتایج بدست آمده از مسائل مهمی است که مهندسان رشته قدرت باید شناخت از آن‌ها کافی داشته باشند.

دستور کار پیش رو، برای دانشجویان کارشناسی ناپیوسته مهندسی قدرت تدوین شده و در آن به شرح آزمایش-های مربوط به چند ماشین الکتریکی از جمله ترانس تکفاز و سه‌فاز، ماشین القایی، ماشین سنکرون و درایو پرداخته شده است. این دستور کار نیازمند حضور استاد آزمایشگاه در حین آزمایش است و لذا در برخی موارد، توضیح وی برای ادامه کار ضروری می‌باشد (به عبارت بهتر این دستور کار بصورت Self-Study تدوین نشده است).

دانشجویان موظفند که موارد خواسته شده در دستور کار را بطور کامل انجام داده و نتایج آن را در گزارش کارهای خود بیاورند و به سؤالات هر بخش پاسخ دهند.

لازم به تذکر است که در آزمایشگاه ماشین الکتریکی برق سه‌فاز وجود دارد و این موضوع دقت و نظم بیش از پیش دانشجویان را در محیط کار می‌طلبد. و چنانچه عملی از جانب دانشجویان صورت گیرد که تهدید مالی برای دستگاه‌ها و یا تهدید جانی برای افراد حاضر در آزمایشگاه را به همراه داشته باشد؛ تمامی عواقب آن متوجه دانشجویان خواهد بود. در این مورد با همکاری مسئول کارگاه‌ها با حراست دانشگاه نیز هماهنگی لازم به عمل آمده است. بنابراین از همه افراد حاضر در آزمایشگاه تقاضا می‌شود که مسائل ایمنی را کاملاً رعایت نمایند در صورت عدم رعایت موارد فوق و همچنین بی‌نظمی و کنجکاو بی‌مورد در دستگاه‌ها با کسر نمره و ارجاع به حراست دانشگاه مواجه خواهید بود. (مشروح برخی از این نکات ایمنی در جلسه اول توسط استاد آزمایشگاه مطرح می‌گردد).

با تشکر
حسین خورزنی
مهرماه ۹۲

فهرست مطالب

۴	مقدمه
۷	آزمایش شماره ۱- ترانس تکفاز
۱۲	آزمایش شماره ۲- ترانسفورماتور سه فاز و اتصالات آن
۱۶	آزمایش شماره ۳- گروه‌های برداری ترانسورماتور سه فاز، روش‌های بدست آوردن گروه‌های برداری و بررسی برداری آن
۲۵	آزمایش شماره ۴- ماشین القایی، بدست آوردن مدارمعادل و بررسی عملکرد آن
۳۰	آزمایش شماره ۵- آشنایی با ژنراتور سنکرون، بدست آوردن مشخصه بی‌باری و اتصال کوتاه آن
۳۸	آزمایش شماره ۶- برداری ژنراتور سنکرون
۴۱	آزمایش شماره ۷- سنکرونیزاسیون
۴۳	مراجع

امروزه انرژی الکتریکی به یکی از اجزای لاینفک زندگی انسان‌ها تبدیل شده است تا حدی که می‌توان گفت زندگی در دنیای بدون برق تقریباً غیر ممکن می‌باشد. پاکی و بدون آلودگی بودن (صرفه نظر از مباحث تولید و انتقال آن) در مقایسه با انرژی‌های حاصل از سوخت‌های فسیلی، سهل الوصول و در دسترس بودن و سرعت بالای انتقال و استفاده از آن را می‌توان از علل این موضوع برشمرد. در عین حال، الکتریسیته، بی‌رنگ، بی‌بو و غیر قابل مشاهده است و لذا کار و استفاده از آن نیازمند ملاحظات ایمنی لازم می‌باشد.

یکی از مهمترین نکاتی که در حین کار به برق باید به آن توجه کرد، استفاده از لوازم اندازه‌گیری است. همانطوری که گفته شد خود انرژی الکتریکی با چشم قابل مشاهده نیست و از اثرات آن باید به وجود آن پی برد. فلذا اگر بطور مثال یک مدار کاملاً مطابق با نقشه آن بسته شده باشد ولی لوازم اندازه‌گیری و مانیتورینگ انرژی الکتریکی در آن بکار نرفته باشد، ناقص و غیرقابل قبول خواهد بود.

قبل از شروع به کار با هر دستگاه الکتریکی باید پلاک دستگاه را مطالعه کرد و در صورت نیاز یا وجود ابهام به کاتالوگ یا Data Sheet دستگاه مراجعه نمود. روی پلاک دستگاه‌ها اطلاعاتی نظیر ولتاژ و جریان نامی، توان، ضریب توان نامی، کلاس عایقی، نحوه اتصال و شرایط کار دستگاه، نام سازنده، سال ساخت و ... قابل مشاهده می‌باشد. علت این موضوع هم بسیار واضح است. مثلاً وقتی جریان نامی دستگاهی ۴/۵ آمپر است، نباید بیشتر از این مقدار بار الکتریکی به آن متصل نمود. یا هنگامی که روی موتور عبارت 220Δ قید شده، نباید ولتاژ ۳۸۰ را در حالت مثلث به آن وصل کرد.

قبل از کلید زنی دستگاه‌ها حتماً از بسته بودن ولوم‌های ولتاژ و جریان و قطع بودن سایر کلیدهای بعدی مدار باید اطمینان حاصل نمود. همچنین بررسی مدار توسط مسئول آزمایشگاه قبل از کلیدزنی اجباری است. از دستکاری کردن بی‌مورد دستگاه‌های موجود در آزمایشگاه به شدت پرهیز نمایید. همچنین به هیچ عنوان با قسمت‌های بدون عایق دستگاه‌ها تماس برقرار ننمایید.

در حین کار با دستگاه‌ها باید روی یک لایه عایق از چوب یا فوم یا هر چیز دیگری قرار گرفت و نباید به میز کار تکیه داد. همچنین از اتصال سیم ارت دستگاه‌ها و مجموعه باید اطمینان حاصل نمود. در صورت نیاز لازم است که از کفش و دستکش ایمنی نیز استفاده کرد.

در آزمایشگاه‌های مربوط به انرژی الکتریکی بر حسب نیاز و کاربرد، لوازم اندازه‌گیری AC و DC وجود دارند. در آزمایشگاه ماشین‌های الکتریکی مؤسسه نقش جهان نیز از هر دو نوع این لوازم، چه از نوع ثابت (نصب شده روی تابلو یا Mounted on Panel) و چه از نوع پرتابل وجود دارد.

لوازم اندازه‌گیری AC، مقادیر مؤثر (Effective) یا RMS (Root Mean Square) را اندازه‌گیری می‌کنند. همانطوری که در درس مدار آشنایی پیدا کرده‌ایم، مقدار مؤثر یک سیگنال f (مانند ولتاژ یا جریان) بصورت زیر تعریف می‌شود:

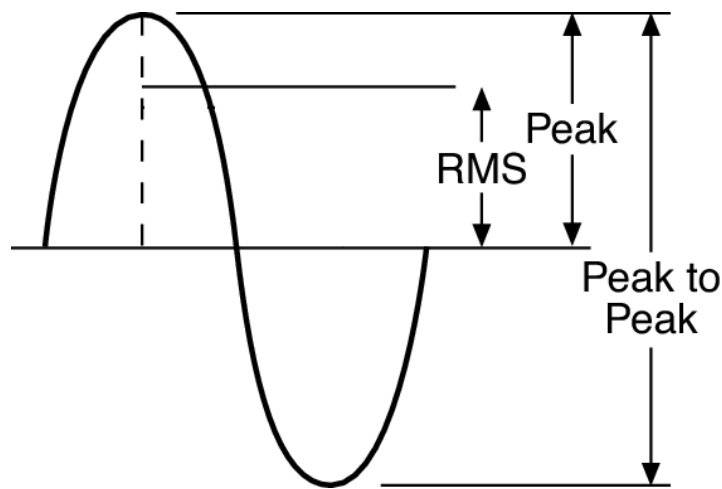
$$F_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T f^2(t) \cdot dt}$$

اگر بجای سیگنال f یک سیگنال سینوسی خالص (یعنی بدون هارمونیک) مانند $f(t)=A \cdot \sin(t)$ قرار دهیم مقدار مؤثر آن برابر

$$A/\sqrt{2}$$

می‌گردد. بابت مثال وقتی گفته می‌شود برق شهر ۲۳۰ ولت است، یعنی یک سیگنال سینوسی با دامنه

داریم. تصویر زیر مبین مطلب فوق است.



لوازم اندازه‌گیری DC مقادیر متوسط یا Average را اندازه‌گیری می‌کنند. مجدداً از درس مدار بخاطر داریم که مقدار متوسط یک سیگنال مانند f بصورت زیر تعریف می‌گردد.

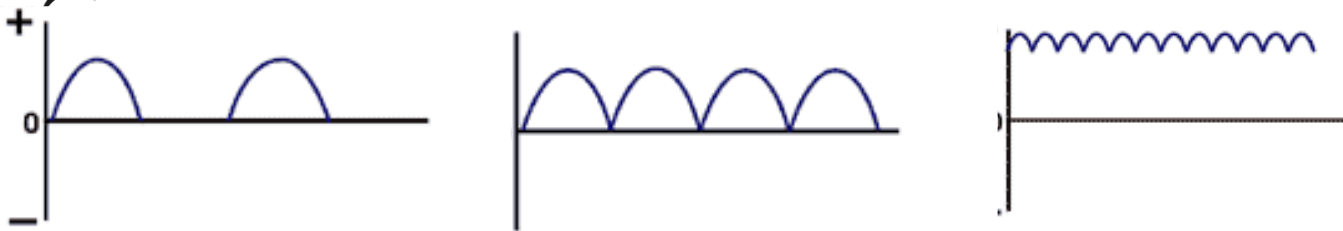
$$F_{ave} = \frac{1}{T} \int_0^T f(t) \cdot dt$$

با این تعریف، مقدار متوسط یک سیگنال سینوسی خالص، صفر می‌باشد. (بعنوان تمرین، این موضوع را بررسی کنید).

پس یک سیگنال AC را می‌توان بصورت سیگنالی که دارای مقدار متوسط صفر می‌باشد؛ تعریف کرد. بر اساس این تعریف، شکل موج‌های زیر، مقدار DC دارند و جزء سیگنال‌های AC قرار نمی‌گیرند.



Power



بنابراین در انتخاب لوازم اندازه گیری الکتریکی باید دقت لازم به عمل آورده شود چراکه ممکن است مثلاً در آزمایشی بجای ولت‌متر AC از ولت‌متر DC استفاده شده و با وجود مقدار ولتاژ زیاد، همیشه مقدار صفر را مشاهده کرد.



POWEREN.IR

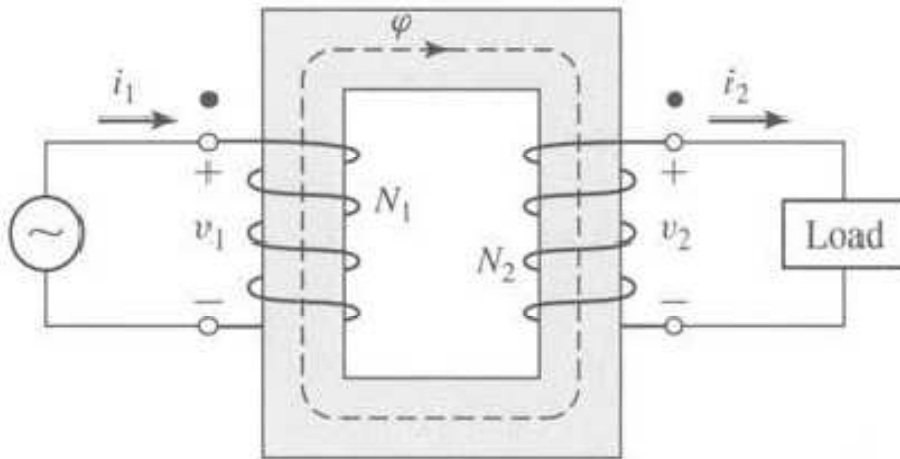
آزمایش شماره ۱- ترانس تکفاز

در این آزمایش با ترانس تکفاز، ساختمان، مدار معادل و نحوه بدست آوردن پارامترهای آن آشنا می‌شویم.

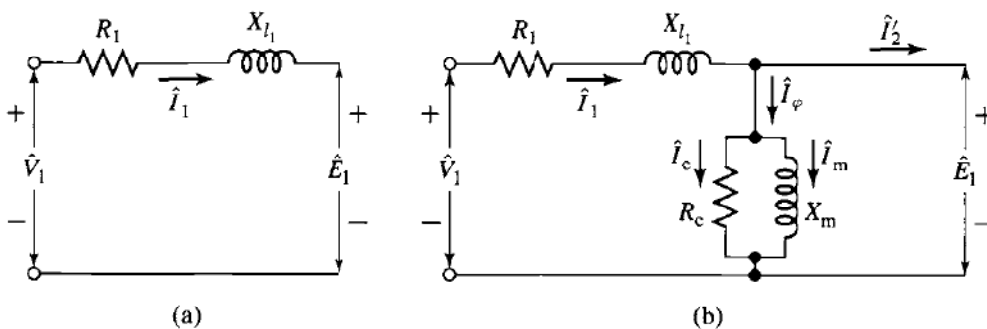
همانطوری که می‌دانیم الکتريسيته در ابتدا بصورت برق مستقيم يا DC توليد می‌شود و انتقال می‌یافت. ولی بعلت تلفات بالای انتقال و افت ولتاژ شدید خط که ناشی از جریان زیاد بود صنعتگران برق به سمت استفاده از سیستم- های AC متمایل شدند. علت عمده این کار، توانایی سیستم AC در تغییر سطح ولتاژ و جریان توسط ترانسورمر بود.

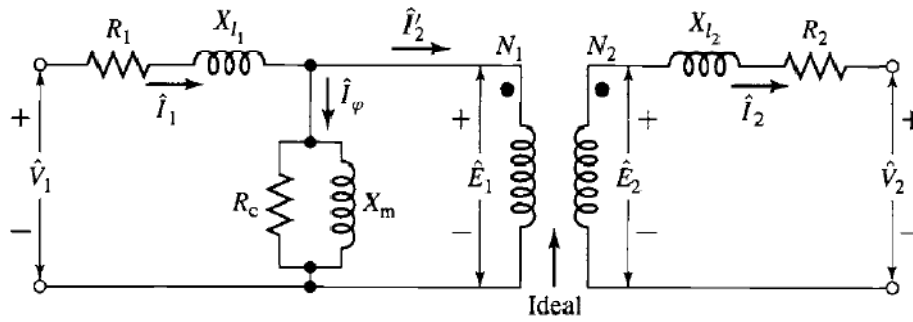
سه مورد از کاربردهای مهم ترانسفورماتور را می‌توان ۱- تغییر سطوح ولتاژ و جریان، ۲- ایزولاسیون و ۳- CT و PT در بحث رله و حفاظت نام برد.

شرح کار و مدار معادل ترانسفورماتور در دروس مختلف ماشین‌های الکتریکی مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. در صورت ابهام در هر بخش این موضوع، به کتب مرجع یا مدرس آزمایشگاه مراجعه کنید.

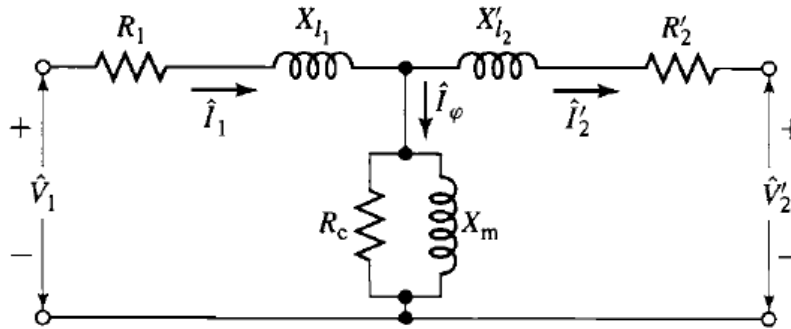


در تصویر بعدی مراحل تکامل مدار معادل ترانس مشاهده می‌گردد.



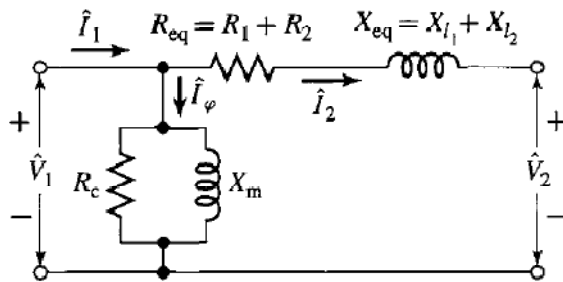


(c)

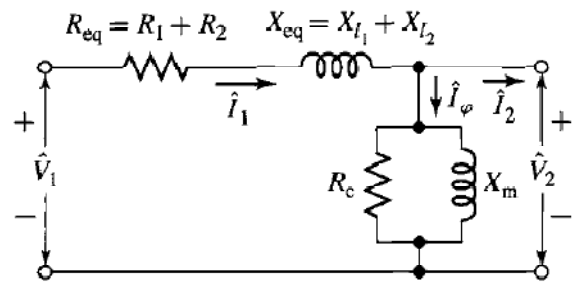


(d)

مدار معادل تقریبی ترانس نیز مطابق شکل زیر است:



(a)



(b)

مطابق با مطالب بیان شده در کلاس تئوری ماشین‌های الکتریکی، برای بدست آوردن پارامترهای مدار معادل ترانسفورمر، از دو آزمایش بی‌باری و آزمایش اتصال کوتاه استفاده می‌گردد.

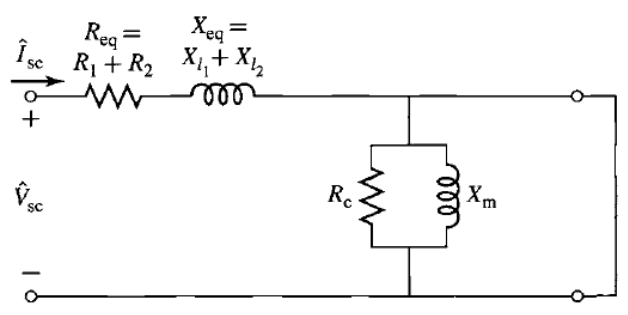
آزمایش اتصال کوتاه یا S.C.T (Short Circuit Test): این آزمایش جهت تعیین امپدانس شاخه سری مدار معادل ترانس استفاده می‌شود. برای این کار، سر اولیه ترانس (که معمولاً سمت فشارقوی انتخاب می‌شود) اتصال کوتاه شده و ولتاژ در سر دیگر آن از مقدار صفر تا مقداری که از ثانویه جریان نامی بگذرد افزایش می‌یابد (جهت احتیاط تا مقداری کمتر از جریان نامی، ولتاژ بالا برده شود). اینکار باید سریع انجام شود چراکه ترانس در این آزمایش به شدت تحت فشار است. همچنین اگر جریانی بیش از مقدار نامی از ترانس عبور کند سبب سوختن ترانس خواهد شد. معمولاً مقدار ولتاژی که در اولیه سبب می‌شود از ترانس جریان نامی در حالت اتصال کوتاه عبور کند حدود ۸٪ تا ۱۰٪ ولتاژ نامی ترانس است.

در ادامه مقادیر ولتاژ و جریان و توان در این حالت اندازه گیری می شود (P_{sc} , I_{sc} , V_{sc}) و بر اساس روابط زیر، مقادیر امپدانس شاخه سری محاسبه می گردد:

$$R_{eq} = \frac{P_{sc}}{I_{sc}^2}$$

$$Z_{eq} = \frac{V_{sc}}{I_{sc}}$$

$$X_{eq} = \sqrt{Z_{eq}^2 - R_{eq}^2}$$



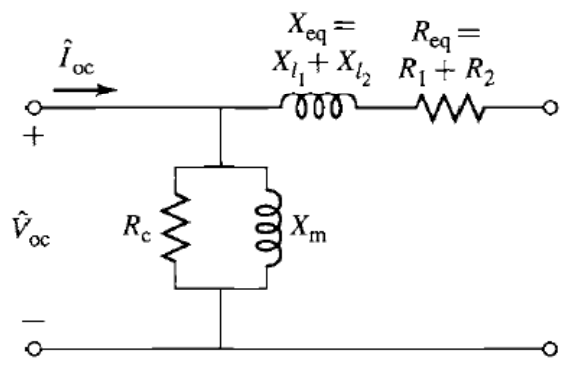
برای بدست آوردن R_1 و R_2 می توان از اهم متر نیز استفاده کرد. همچنین می توان بطور تقریبی مقدار $X_1=X_2=0.5X_{eq}$ را برای هر کدام اختصاص داد. به طریق مشابه می توان گفت: $R_1=R_2=0.5R_{eq}$

آزمایش مدار باز یا O.C.T (Open Circuit Test): در این آزمایش، ثانویه ترانسفورمر، مدار باز قرار داده می شود یا عبارت بهتر، بار الکتریکی دو سر آن قرار نمی گیرد. سپس به اولیه آن (که معمولاً در این آزمایش سمت فشار ضعیف انتخاب می شود) ولتاژ نامی در فرکانس نامی را متصل کرده و مقادیر ولتاژ و جریان و توان را در این حالت اندازه گیری می شود. بر اساس مدار معادل سیستم در این حالت که بصورت زیر بیان می شود، داریم:

$$I_c = \frac{V_{oc}}{P_{oc}}, \quad I_m = \frac{V_{oc}}{X_m}$$

$$I_m = \sqrt{I_{oc}^2 - I_c^2}$$

$$\Rightarrow X_m = \frac{V_{oc}}{I_m}$$



دستور کار آزمایش شماره ۱

۱-۲- ابتدا پلاک ترانس تکفاز موجود در آزمایشگاه را خوانده و مقادیر آن را یادداشت نمایید. این مقادیر معرف چه چیزی هستند؟

۲-۲- از فاز و نول موجود روی تابلو استفاده کرده و ترانس را برقرار نمایید. مقدار ولتاژ ورودی و خروجی ترانس را توسط ولت‌متر اندازه گرفته و نسبت تبدیل ترانس را بدست آورید. آیا این نسبت دقیقاً با نسبت تبدیل ترانس برابر است؟ اگر نیست علت آن را بیان کنید.

(تذکر خیلی مهم: چون روی پانل ترانس تکفاز تنها یک ولت‌متر وجود دارد در هر بار استفاده از آن ترانس را بی برق نموده و سپس جای ولت‌متر را جابجا نمایید)

۲-۳- پارامترهای ترانس موجود در آزمایشگاه را به کمک آزمایش‌های اتصال کوتاه و مدار باز بدست آورید. برای این کار لازم است که از وات‌متر دیجیتال پرتابل موجود در آزمایشگاه استفاده گردد. شرح کار این وات‌متر را از مسئول آزمایشگاه بپرسید و آن را در گزارش کار خود بیاورید. برای آزمایش اتصال کوتاه نیز باید به اجبار از اتوترانس (واریاک) استفاده گردد. اگر با آن آشنایی ندارید شرح کار و استفاده از آن را از مسئول آزمایشگاه بخواهید.

Results of Open Circuit Test	Results of Short Circuit Test
$V_{oc} =$	$V_{sc} =$
$I_{oc} =$	$I_{sc} =$
$P_{oc} =$	$P_{sc} =$

۲-۴- بار دیگر مدار ترانس را برقرار نموده (ولی کلید را وصل نکنید) و در ورودی آن آمپر‌متر و ولت‌متر قرار دهید. سپس در خروجی آن بارهای مقاومتی موجود در پانل جانبی را با سیم‌های سائز بلند موجود در آزمایشگاه وصل کرده و پس از بازدید مسئول آزمایشگاه از مدار مربوطه کلید بارها را تک تک وصل نمایید. در حین اضافه شدن بارها، به تغییرت جریان و ولتاژ توجه نمایید. این تغییرات را یادداشت و علت آن را بطور کامل شرح دهید.

۲-۵- در آزمایش قبل، زمانی که تمامی بارها در مدار قرار می‌گیرند، چه درصدی از بار نامی ترانس به آن متصل شده است؟ راندمان را در این درصد پیدا کنید (راهنمایی: راندمان برابر است با نسبت توان خروجی به توان ورودی).

۲-۶- درصد تنظیم ولتاژ ترانس را بدست بیاورید.

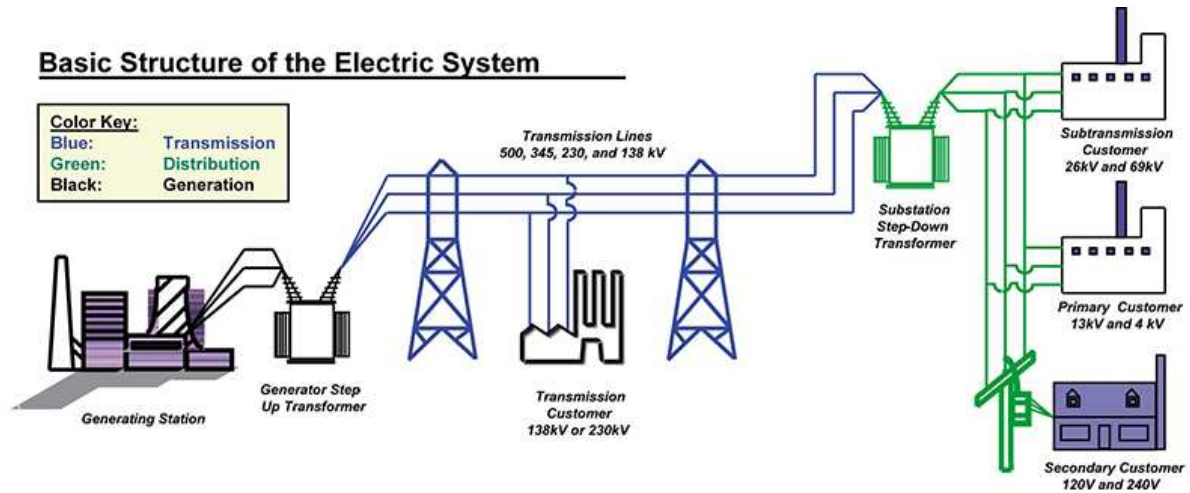
سوالات آزمایش شماره ۱

- ۱- چرا در آزمایش اتصال کوتاه از مقادیر امپدانس شاخه اتصال کوتاه صرفه نظر می‌شود؟ و چرا در آزمایش مدار باز از مقادیر امپدانس شاخه سری صرفه نظر می‌گردد؟
- ۲- آزمایش اتصال کوتاه و مدار باز ، هر کدام روی کدام طرف ترانس از نظر LV (فشار ضعیف) یا HV (فشار قوی) انجام می‌گردد؟ و چرا؟
- ۳- توان اندازه‌گیری شده در آزمایش بی‌باری ناشی از چیست؟ روابط آن را بیان کنید؟
- ۴- تحت چه شرایطی بازده ترانسفورمر حداکثر می‌گردد؟
- ۵- تحت چه شرایطی تنظیم ولتاژ منفی می‌گردد و چرا؟

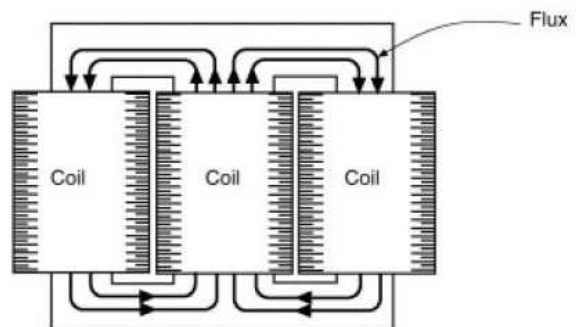
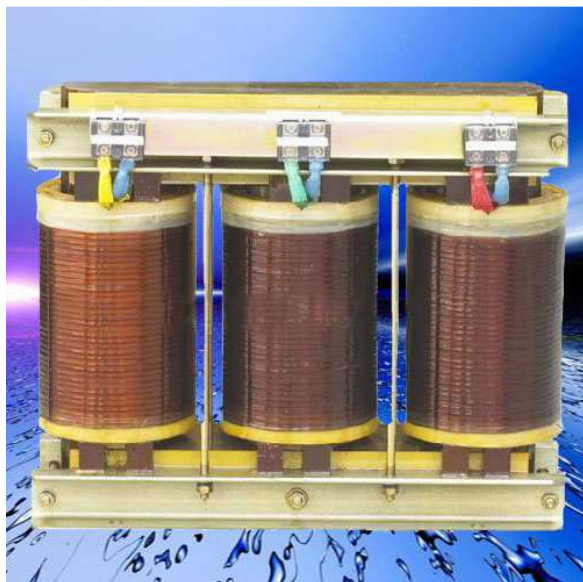
آزمایش شماره ۲- ترانسفورماتور سه فاز و اتصالات آن

بر اساس معلوماتی که از دروس بررسی سیستم‌های قدرت بدست آورده‌ایم می‌دانیم که در حال حاضر در اکثر نقاط شبکه‌های قدرت از سیستم سه‌فاز AC استفاده می‌شود و لذا آشنایی با آن برای مهندسين این گرایش بسیار ضروری است.

یک سیستم قدرت را از یک دیدگاه می‌توان به چهار بخش تولید، انتقال، فوق توزیع و توزیع طبقه بندی کرد. اگر احتمالاً دروس بررسی را نگذرانده‌اید یا فراموش کرده‌اید، توضیحات اضافی را از مسئول آزمایشگاه بخواهید.



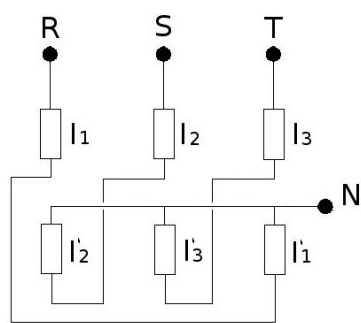
ترانسفورمر سه‌فاز از سه سیم‌پیچ تک‌فاز تشکیل شده‌است که سیم‌پیچ‌های هر فاز روی یک ستون پیچیده می‌شود. تفاوتی که سیم‌پیچ‌های ترانس سه‌فاز با تک‌فاز دارند این است که در ترانس سه‌فاز، سربندی‌ها مهم است یا عبارت بهتر، ابتدا و انتهای سیم‌پیچ‌های هر فاز باید در یک جهت قرار گرفته باشد.



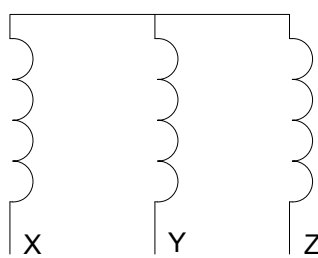
اولین قدم در کار با ترانس سه فاز، تشخیص سرهای LV و HV آن است. برای اینکار از یک اهم متر استفاده می‌نماییم. اگر دانشجویان حاضر در کلاس، کار با این وسیله را به خوبی یاد نگرفته‌اند در این مورد با مسئول آزمایشگاه مشورت نمایند.

می‌دانیم که سیم پیچ فشار قوی تعداد دور بیشتری دارد (سیم پیچ فشار قوی: ولتاژ بالا و جریان کمتر - سیم پیچ فشار ضعیف: ولتاژ کمتر و جریان بالاتر). همچنین بعلا عبور جریان کمتر نسبت سیم پیچ فشار ضعیف سطح مقطع مس کمتری برای سیم پیچ‌های آن انتخاب می‌کنند چرا که نیاز نیست. مطابق با قانون اهم که مقاومت سیم با طول آن رابطه مستقیم و با سطح مقطع آن رابطه معکوس دارد؛ می‌توان نتیجه گرفت که سیم پیچ HV دارای مقاومت بیشتری می‌باشد. به همین صورت می‌توان گفت که سیم پیچ فشار ضعیف، مقاومت الکتریکی کمتری دارد.

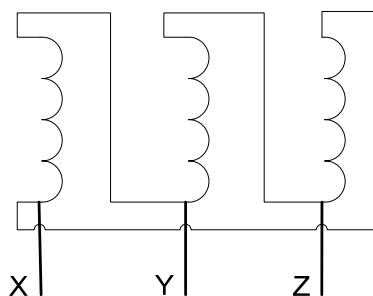
از گذشته می‌دانیم که ترانسفورمر سه فاز دارای اتصالات ستاره (Y یا Wye)، مثلث (Δ یا Delta) و زیگزاگ (Z) یا Zigzag می‌باشد. در اتصال ستاره همه سرها (یا همه تهای سیم پیچ‌ها) به هم متصل شده و سرهای دیگر رها می‌شوند. در اتصال مثلث، یک سر به ته سیم پیچ دیگر متصل می‌گردد. اتصال زیگزاگ هم نیازمند این است که وسط یک سیم پیچ قابل دسترسی باشد. با توجه به امکانات موجود در آزمایشگاه اتصالات Y و Δ بررسی می‌گردند.



Zigzag Connection



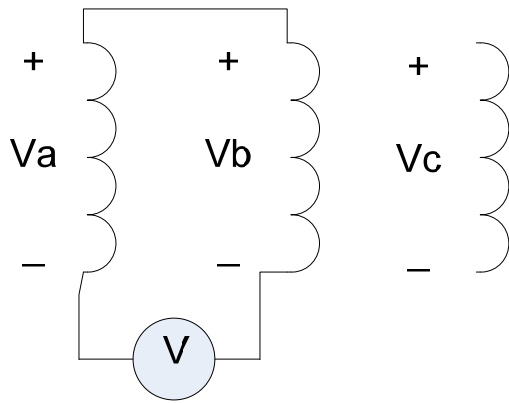
Wye Connection



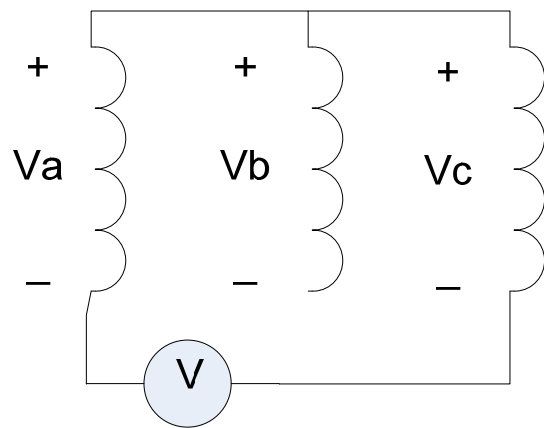
Delta Connection

برای بستن این اتصالات با فرض اینکه سربندی‌های ترانس مشخص نیست، ابتدا سه کلاف مربوطه به سیم پیچ اولیه را از سه کلاف مربوط به سیم پیچ ثانویه جدا می‌نماییم (سیم پیچ‌هایی که مقاومت الکتریکی شبیه به هم یا یکسانی دارند مربوط به یک سمت می‌باشند). سپس یک سری از سرها را به دلخواه بعنوان ابتدای کلاف انتخاب کرده و اتصال مورد نظر (مثلا Y) را می‌بندیم. نکته مهم سربندی ثانویه ترانس است.

مطابق شکل زیر اگر پس از اتصال دو سر از دو کلاف ثانویه و برقرار کردن ترانس، ولتاژ خط (با احتساب نسبت دور) مشاهده شد، اتصال مورد نظر برای حالت ستاره برای ثانویه صحیح است. در غیر اینصورت باید آن اتصال را برعکس بست. اگر اتصال ثانویه Y مورد نظر باشد برای سیم پیچ سوم نیز به همین صورت عمل می‌گردد.

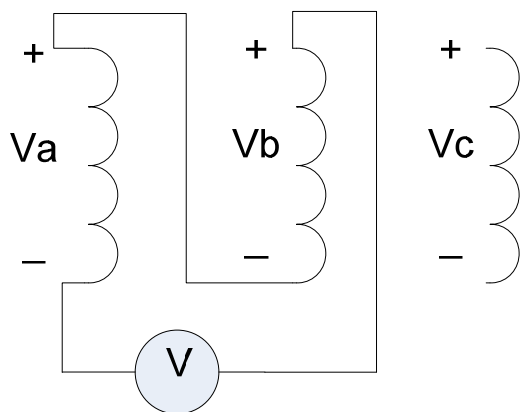


عدد ولت‌متر: $V_a - V_b = V_{LL} = \sqrt{3}V_a$

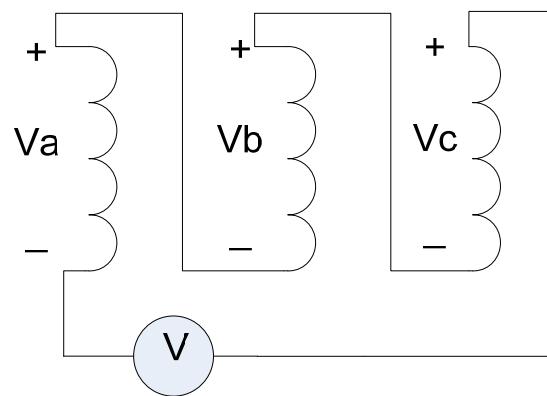


عدد ولت‌متر: $V_a - V_c = V_{LL} = \sqrt{3}V_a$

اگر خواستار اتصال مثلث در ثانویه ترانس بودیم باید در اتصال دو سیم‌پیچ اول، ولتاژ فاز سیستم (البته با در نظر گرفتن نسبت تبدیل) مشاهده شود. برای سیم‌پیچ سوم نیز باید پس از اتصال هر سه کلاف، از دو سر آن ولتاژ صفر مشاهده شود.



ولتاژ فاز: $V_a + V_b = -V_c$ عدد ولت‌متر



عدد ولت‌متر: $V_a + V_b + V_c = 0$

پس از پیدا کردن سربندی‌ها، انواع اتصالات $Y\Delta$ و ΔY و YY و $\Delta\Delta$ را می‌توان بست.

دستور کار آزمایش شماره ۲

۱-۲- در اولین قدم، با فرض اینکه ۶ کلاف سیم پیچ دارای ۱۲ سر بدون نام در اختیار دارید، سرهای هر کلاف، سیم پیچ‌های اولیه و ثانویه، سیم پیچ‌های HV و LV را پیدا کنید.

۲-۲- توسط آزمایش، نسبت دور ترانس را در حالتی که ترانس اتصالی مثل YY دارد و نیز در حالتی که اتصالی روی آن بسته نشده، بدست آورید.

۳-۲- سربندی‌های ترانس را برای اتصال Y و Δ در ثانویه براساس مطالب مندرج در دستور کار بدست آورید. برای هر یک از حالات ستاره یا مثلث برای ثانویه، تمامی حالت‌های ممکن درست یا نادرست اتصال را بررسی کنید و نتایج و تحلیل خود را در دستور کار بیاورید.

۴-۲- در حالتی که ترانسفورمر آزمایشگاه در حالت YY بسته شده، ولتاژ بین نقاط نول اولیه و ثانویه را اندازه‌گیری کنید. اگر این قسمت اختلاف ولتاژی وجود دارد علت آن را بیان کنید.

سوالات آزمایش شماره ۲

۱- نحوه پیچیدن سیم پیچ‌ها روی هسته ترانس از نظر LV و HV چگونه است؟ چرا؟

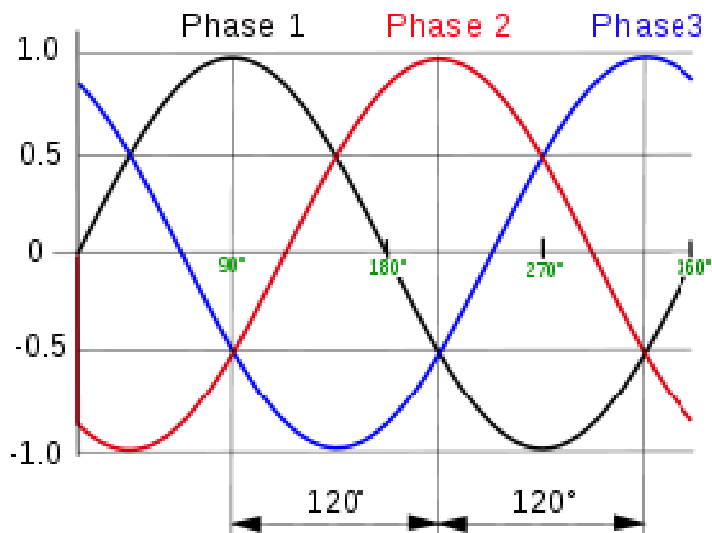
۲- روشی را که برای بدست آوردن سربندی یا پلاریته ترانسفورمر سه‌فاز انجام شد را اثبات کنید.

آزمایش شماره ۳- گروه‌های برداری ترانسفورماتور سه‌فاز، روش‌های بدست آوردن

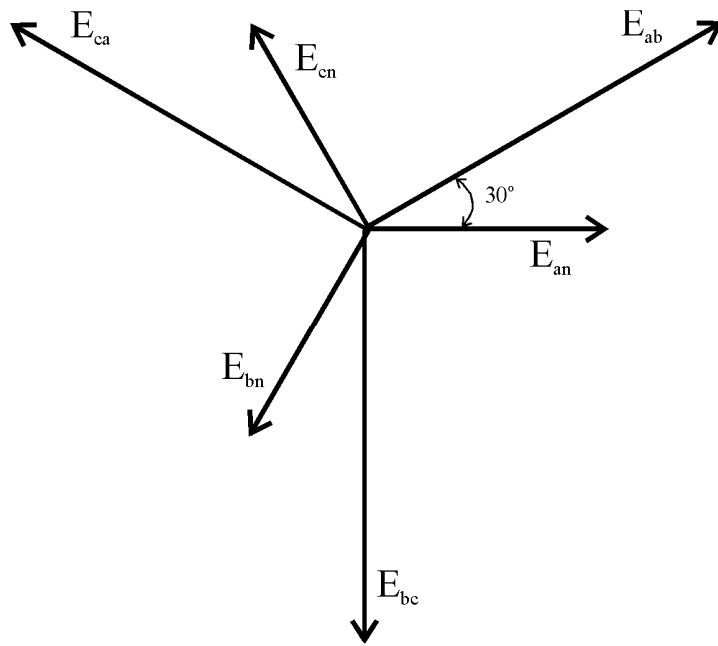
گروه‌های برداری و بررسی برداری آن

همانطوریکه می‌دانیم، سیستم سه‌فاز متعادل از سه‌فاز سینوسی با دامنه و فرکانس یکسان تشکیل شده که هر کدام نسبت به فاز قبلی خود به مقدار $2\pi/3$ یا 120° درجه تأخیر دارد. این موضوع به این معناست که مثلاً اگر فاز a در لحظه صفر به پیک خود (که در شبکه ایران حدود 320 ولت است، یعنی مقدار مؤثر یا rms 230 ولت) برسد، فاز بعدی در حدود $6/67$ میلی ثانیه بعد به پیک خود می‌رسد. در شبکه ایران فرکانس برابر 50 هرتز بوده و لذا دوره تناوب آن $0/02$ ثانیه یا 20 میلی ثانیه است. همچنین می‌دانیم که دایره مثلثاتی 2π رادیان می‌باشد یعنی: 2π رادیان = دوره تناوب = $T=20$ میلی ثانیه.

پس $2\pi/3$ برابر $6/67$ میلی ثانیه می‌گردد.

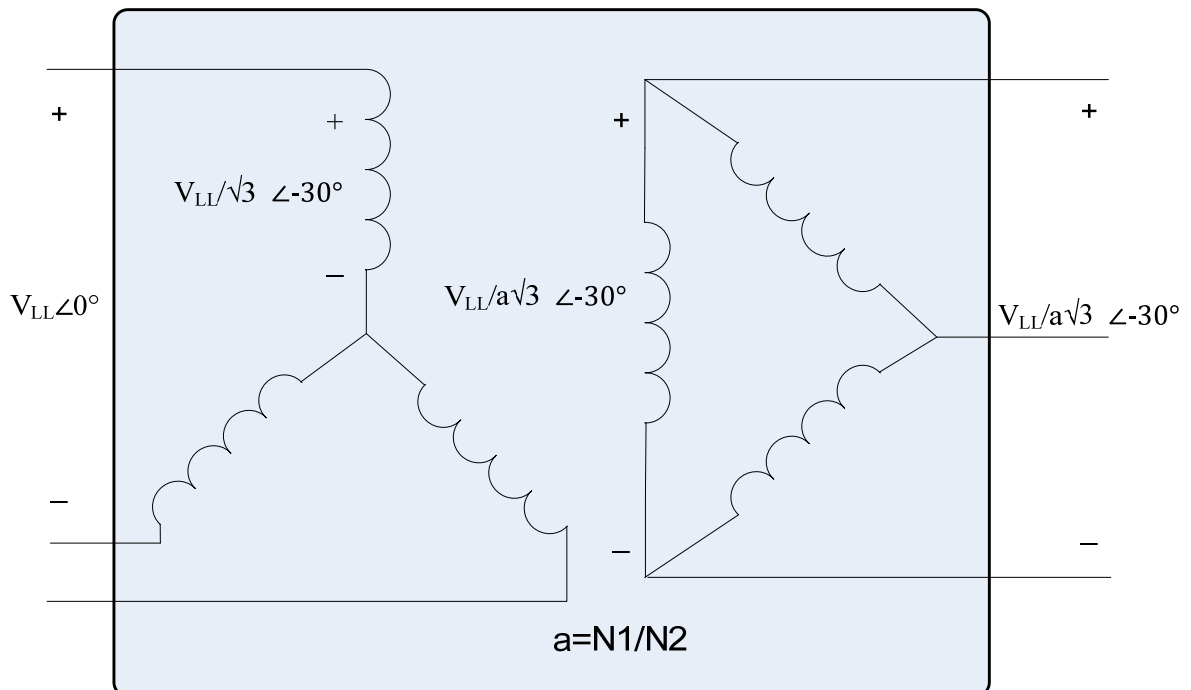


نکته دیگری که بیان آن در این مجال ضروری است، بحث ولتاژ فاز و خط می‌باشد. مطابق با بیان فوق، ولتاژ سه‌فاز را می‌توان بصورت زیر در یک دایره مثلثاتی نیز بیان کرد. ولتاژهای خط نیز بصورت اختلاف بین دو ولتاژ فاز بیان می‌گردد.



به راحتی می‌توان دریافت که اگر از ولتاژ فاز به ولتاژ خط برویم، اندازه ولتاژ رادیکال سه برابر و فاز آن ۳۰ درجه بیشتر می‌شود و اگر از ولتاژ خط به ولتاژ فاز برویم، اندازه آن تقسیم بر رادیکال ۳ شده و فاز آن نیز ۳۰ درجه کم می‌گردد.

اکنون به بررسی یکی از اتصالات ترانس سه‌فاز مثلاً $Y\Delta$ می‌رویم.

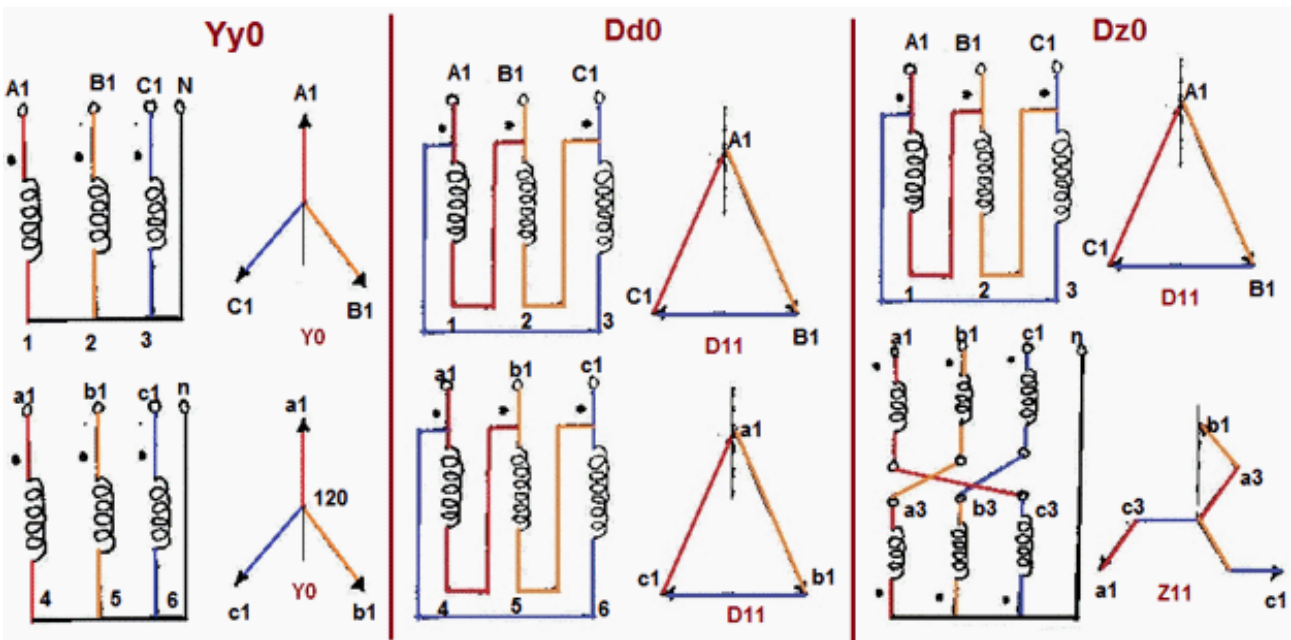


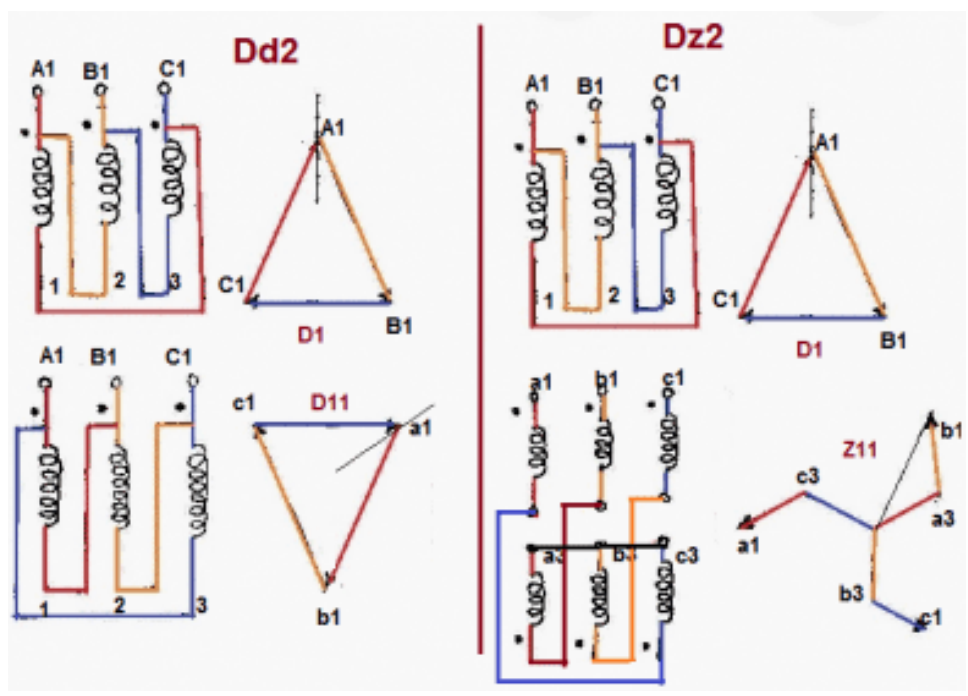
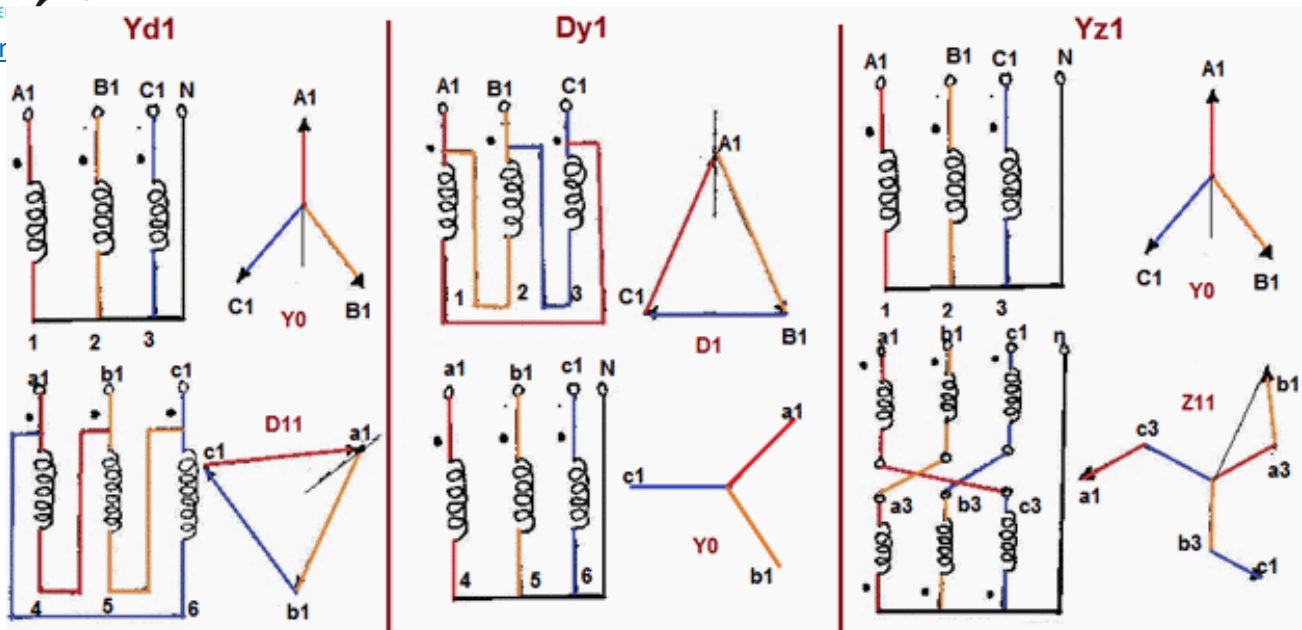
با دقت در تصویر فوق می‌توان دریافت که در این اتصال علاوه بر نسبت تبدیل a ، ولتاژ خروجی سیستم برادیکال ۳ نیز تقسیم شده و ۳۰ درجه اختلاف فاز پیدا کرده است. به همین ترتیب می‌توان نشان داد که خروجی اتصال ΔY علاوه بر نسبت تبدیل، در یک برادیکال ۳ نیز ضرب شده و فاز آن نیز تغییر می‌کند. ولی اتصالات YY یا $\Delta\Delta$ فقط نسبت تبدیل a را اعمال می‌کند.

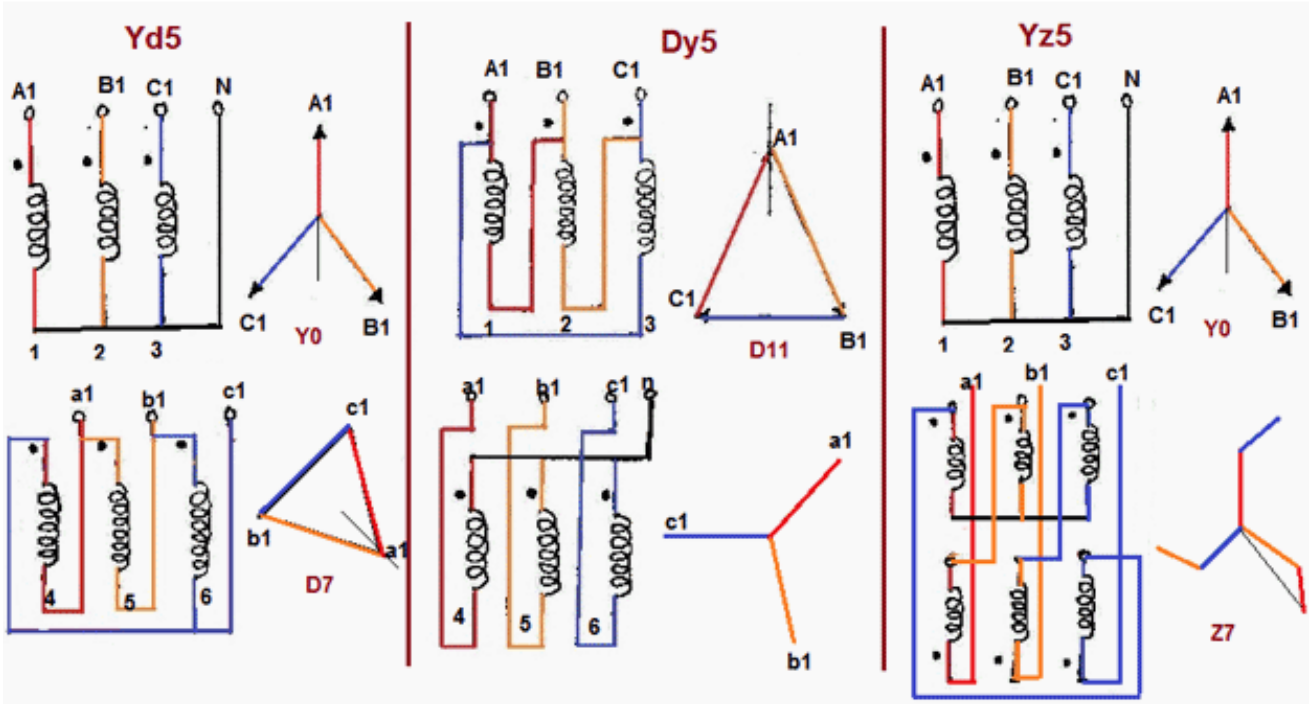
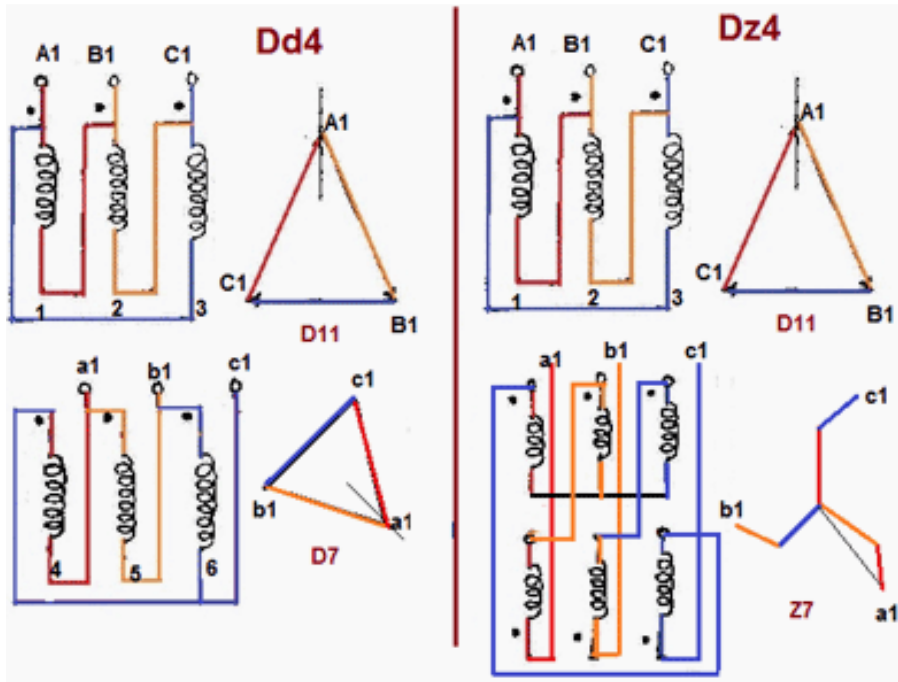
از بحث فوق می‌توان نتیجه گرفت که سربندی اتصالات در ترانسفورمر سه‌فاز باید متناسب با نیاز و با دقت کافی انجام گیرد. این مهم در بحث موازی کردن دو ترانس، اهمیت بیشتری می‌یابد. این مباحث تحت عنوان گروه‌های برداری ترانسفورماتور مطرح می‌شوند. بطوری کلی گروه برداری یک ترانس از سه عبارت تشکیل می‌شود. ۱- اتصال فشارقوی ترانس، ۲- اتصال فشار ضعیف ترانس، ۳- یک ضریب از عدد ۳۰ که مبین اختلاف فاز بین سمت فشار ضعیف و فشار قوی است.

بعنوان مثال گروه برداری اتصال شرح داده شده در فوق را می‌توان بصورت $Yd11$ بیان کرد. عدد ۱۱ معادل $۳۰ \times ۱۱ = ۳۳۰$ یا $۳۰ - ۳۰$ می‌باشد که بیانگر اختلاف فاز ۳۰- درجه ای بین سمت ستاره و مثلث است.

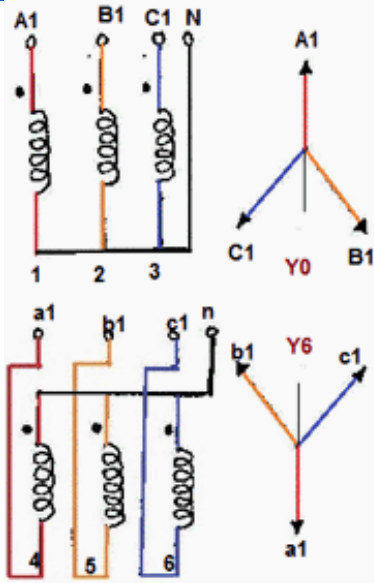
خلاصه جداول گروه‌های برداری در زیر آمده است:



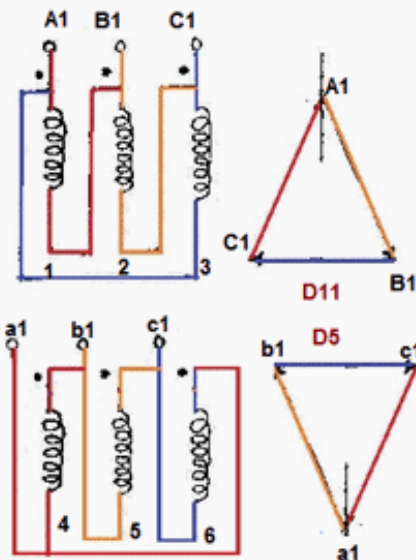




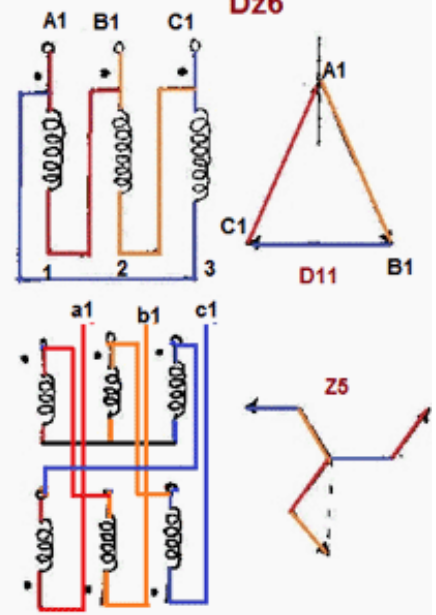
Yy6



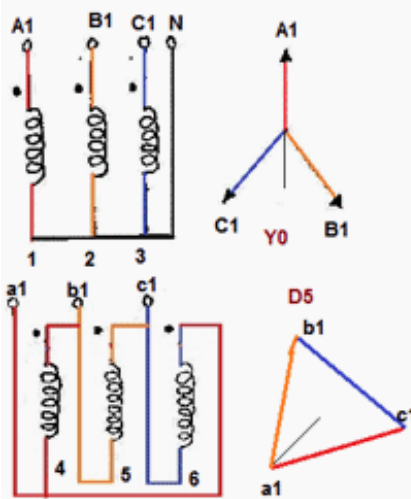
Dd6



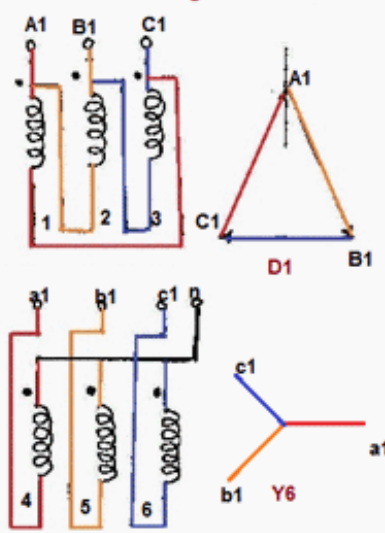
Dz6



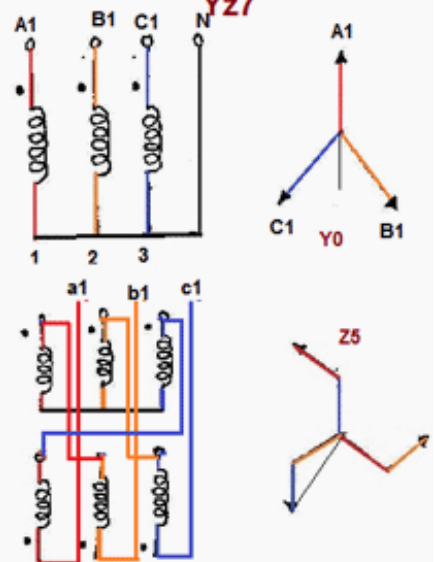
Yd7

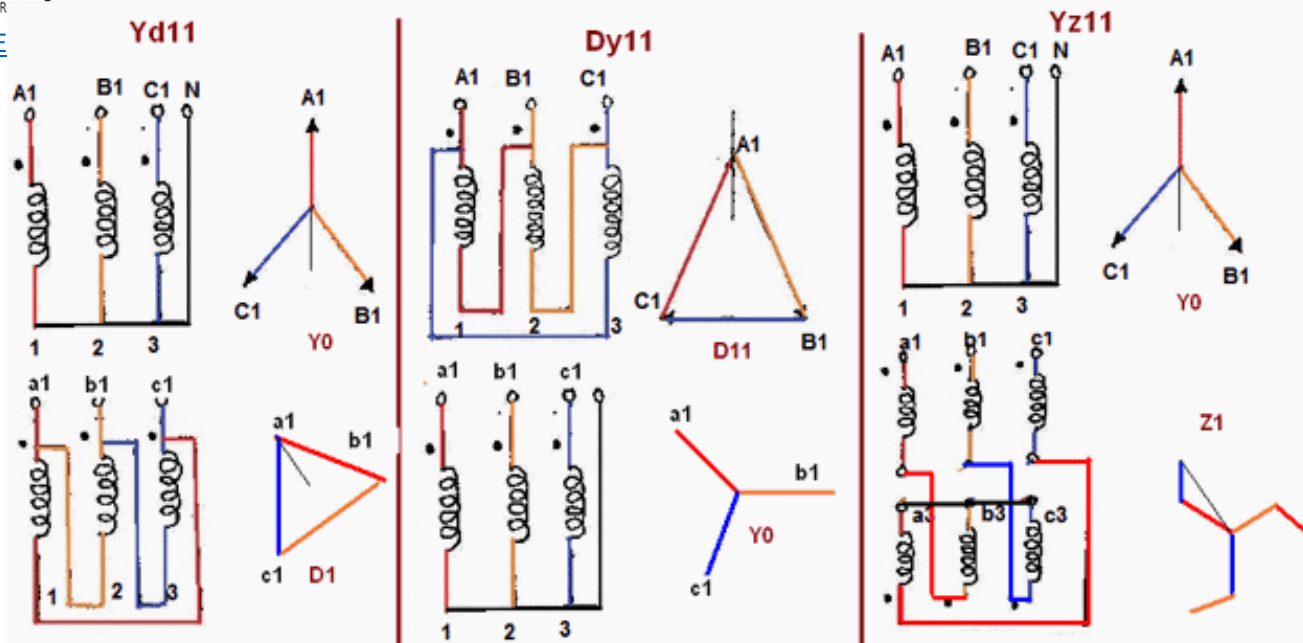


Dy7



Yz7





گروه‌های برداری را می‌توان از دو طریق تئوری و عملی بدست آورد. روش‌های تئوری آن نسبتاً مفصل است که بیان آن در این مجال نمی‌گنجد ولی روش‌های عملی آن در سه دسته قرار می‌گیرد. ۱- توسط اسیلوسکوپ، ۲- توسط وات‌متر، ۳- توسط ولت‌متر.

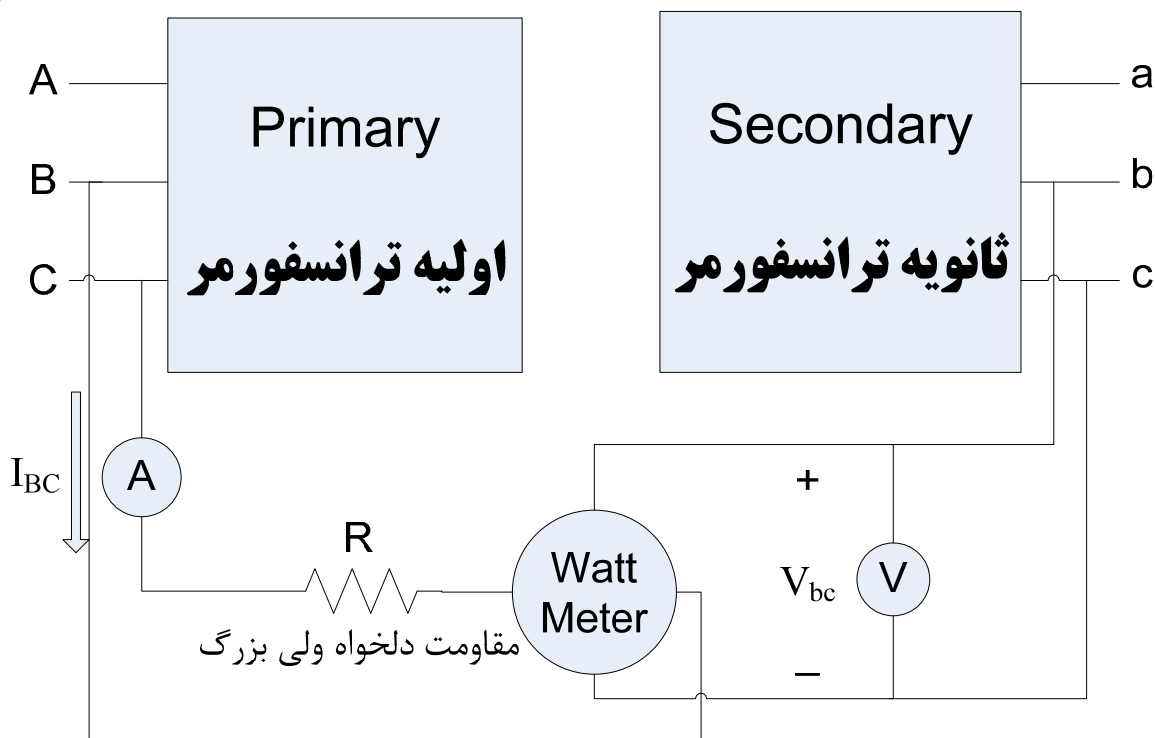
اگر بخواهیم توسط اسیلوسکوپ، گروه‌های برداری را بسنجیم، ولتاژ اولیه را به یک کانال و ولتاژ ثانویه را به کانال دیگری می‌دهیم و اختلاف فاز بین آن‌ها را اندازه‌گیری می‌نماییم.

در روش ولت‌متری ابتدا یک آرایش دلخواه را می‌بندیم و سپس V_{AB} (مربوط به فشارقوی) و V_{ab} (مربوط به فشارضعیف) را اندازه‌گیری می‌کنیم. بعد از آن نقطه B ره به b وصل کرده و V_{aA} را اندازه می‌گیریم. در نهایت مقدار زاویه θ را از رابطه زیر محاسبه می‌نماییم:

$$V_{aA}^2 = V_{ab}^2 + V_{AB}^2 - 2V_{ab}V_{AB} \times \cos(\theta)$$

زاویه محاسبه شده، مقدار اختلاف فاز بین اولیه و ثانویه ترانس است.

اگر بخواهیم بوسیله وات‌متر، همان زاویه θ را اندازه‌گیری کنیم، ابتدا مدار زیر را روی ترانس می‌بندیم:



در مدار فوق از سمت اولیه یک نمونه برداری جریان بوسیله یک مقاومت دلخواه و بزرگ انجام شده است. زاویه این جریان با زاویه ولتاژ سمت اولیه یکسان می‌باشد. از سمت ثانویه نیز از همان فازهای متناظر با اولیه ولتاژ به ورودی-های ولتاژ واتمتر داده می‌شود. همانطور که می‌دانیم ولت متر بر اساس رابطه $V \times I \times \cos\theta$ توان را محاسبه می‌کند. در مدار بالا نیز این عبارت بصورت زیر در می‌آید:

$$P = V_{bc} \times I_{BC} \times \cos(\theta)$$

در رابطه بالا مقدار P و V و I مشخص می‌باشد و تنها مجهول، زاویه θ است. با کمی دقت می‌توان دریافت که زاویه θ همان زاویه بین ولتاژ اولیه و ثانویه و یا بعبارت بهتر، زاویه گروه برداری ترانس می‌باشد.



دستور کار آزمایش شماره ۳

۳-۱- برای شروع آزمایش ابتدا سیستم سه فاز آزمایشگاه را بررسی نمایید. به همین منظور توسط ولت‌متر و کلید گردان متصل به آن وضعیت مقدار مؤثر هر سه فاز و هر سه ولتاژ خط را بررسی نمایید. در حالت طبیعی باید تمامی ولتاژهای فاز با هم و تمامی ولتاژهای خط با هم برابر باشند. اگر نابرابری مشاهده شد علت آن را بیان نمایید.

۳-۲- برای آشنایی و یادآوری بیشتر، نحوه بستن اتصالات YY و YΔ و ΔY و ΔΔ را بررسی نموده و صحت آن را با کمک مدرس آزمایشگاه بررسی نمایید. نحوه بستن آن‌ها را نیز در گزارش کار خود بیاورید.

۳-۳- در هر یک از اتصالات YY و YΔ و ΔY و ΔΔ مقدار نسبت تبدیل را با رابطه زیر بدست آورده و شرح دهید که چرا با وجود تغییر نکردن تعداد دورهای واقعی سیم‌پیچ‌ها، نسبت تبدیل‌ها با هم برابر نیستند.

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{V_1}{V_2}$$

۳-۴- چهار نوع اتصال مختلف را بطور دلخواه روی ترانسفورمر ببندید گروه برداری دو عدد از آن‌ها را با ولت‌متر و دوتای دیگر را بوسیله وات‌متر تعیین کنید.

۳-۵- اتصال ترانس را بصورت YY ببندید. اختلاف ولتاژ بین دو نقطه نول را اندازه‌گیری کنید. اگر این مقدار اندکی از صفر بیشتر بود علت بوجود آمدن آن را شرح دهید.

۳-۶- در خروجی اتصال YY دو بار مقاومتی سه فاز ببندید. یکی را بصورت ستاره و دیگری را بصورت مثلث انتخاب نمایید. مقدار جریان خط هر دو بار را اندازه گرفته و با هم مقایسه نمایید. این تفاوت چه مقداری باید داشته باشد و چرا؟ علت آن را شرح دهید.

۳-۷- علت تفاوت در نور لامپ‌های بار مقاومتی چیست؟ با توجه به این موضوع بیان کنید که چرا برای کار دائم موتور القایی پس از راه اندازی از اتصال مثلث استفاده می‌کنند؟ (البته برای ماشین‌هایی که بتوانند در اتصال مثلث در شبکه ایران راه‌اندازی شوند)

آزمایش شماره ۴ - ماشین القایی، بدست آوردن مدار معادل و بررسی عملکرد آن

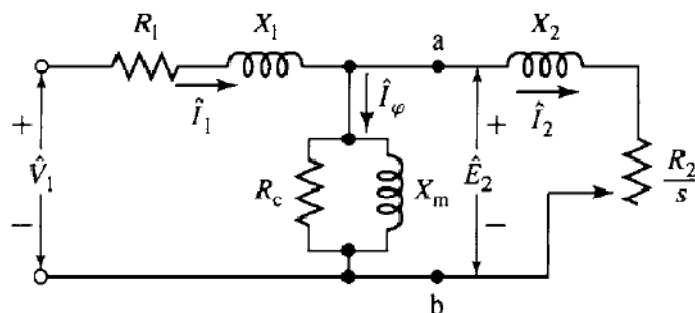
یکی از پرکاربردترین ماشین‌های الکتریکی در حالت موتوری، ماشین آسنکرون یا ماشین القایی می‌باشد. از مزایای موتور القایی می‌توان به هزینه نگهداری پایین، قیمت ارزان، وزن کمتر نسبت به سایر موتورها با قدرت مشابه، صدای کمتر و ... اشاره کرد. عمدتاً این ماشین در حالت تک‌فاز و سه‌فاز مورد استفاده قرار می‌گیرد. البته لازم به ذکر است که در برخی کاربردها مانند توربین‌های بادی، ماشین القایی در مود ژنراتوری نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد.

در یک تقسیم‌بندی، موتورهای القایی به دو دسته روتور سیم‌پیچ شده و روتور قفس سنجابی تقسیم می‌شوند. موتورهای قفسی یا قفس سنجابی نسبت به موتورهای روتورسیم‌پیچ شده متداول‌ترند. علت این موضوع را هم می‌توان در هزینه نگهداری پایین‌تر آن جستجو کرد. در موتورهای روتور سیم‌پیچ شده، می‌توان با وارد کردن مقاومت خارجی جریان راه اندازی را کاهش داد. همچنین با تغییر این مقاومت می‌توان گشتاور راه اندازی ماشین را نیز کنترل کرد.

در حالت عادی کنترل سرعت ماشین‌های القایی نسبت به ماشین‌های جریان مستقیم (DC) ضعیف‌تر می‌باشد ولی امروزه با پیشرفت‌های موجود در عرصه درایو و اینورتر این کار به راحتی امکان‌پذیر بوده و می‌توان این ماشین را در گستره زیادی از سرعت کنترل نمود.

در دروس مرتبط با ماشین‌های الکتریکی شرح کار ماشین القایی بررسی شده و مدار معادل و مسائل مرتبط با آن نیز مورد بررسی قرار گرفته است. استاتور این ماشین از سه دسته سیم‌پیچ تشکیل شده که با هم ۱۲۰ درجه اختلاف فاز مکانی دارد. وقتی به استاتور این ماشین ولتاژ سه‌فاز متعادل متصل می‌گردد، از آن جریان سه‌فاز متعادل عبور می‌کند. عبور این جریان که هر فاز آن با فاز دیگر ۱۲۰ درجه اختلاف فاز زمانی دارد از سیم‌پیچ‌هایی که با هم ۱۲۰ درجه اختلاف فاز مکانی دارند سبب ایجاد یک میدان گردان در ماشین می‌شود. این میدان گردان را می‌توان همانند یک آهنربایی که در درون ماشین در حال چرخش است در نظر گرفت. جزئیات بیشتر این موضوع را می‌توان در کتب مرجع درس ماشین‌های الکتریکی مشاهده نمود.

همانطور که می‌دانیم مدار معادل تک‌فاز ماشین القایی مطابق شکل زیر می‌باشد:

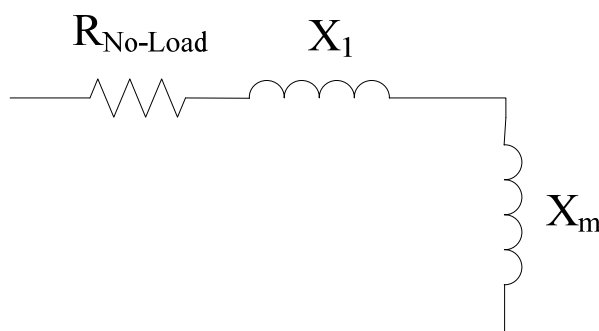


برای بدست آوردن پارامترهای ماشین القایی از سه آزمایش بی‌باری، روتور قفل شده و تست DC استفاده می‌گردد.

آزمایش DC این آزمایش جهت بدست آوردن مقدار مقاومت استاتور یا R_1 مدار معادل استفاده می‌شود. این کار توسط یک اهم‌تر انجام می‌گیرد و چون اهم‌تر توسط ولتاژ DC یک جریان DC در مدار ایجاد کرده و نسبت این دو مقدار را در خروجی می‌دهد این آزمایش به تست DC مشهور است. لازم به ذکر است که مقدار اهم خوانده شده باید در یک ضریب مانند $1/25$ یا $1/2$ ضرب گردد. این کار به جهت اعمال اثر پوستی یا Skin Effect انجام می‌پذیرد.

آزمایش بی‌باری No Load Test در این آزمایش، روتور ماشین بصورت آزاد و بدون بار رها شده و به استاتور ماشین ولتاژ نامی در فرکانس نامی داده می‌شود. سپس مقادیر ولتاژ و جریان و توان اندازه‌گیری شده و بر اساس روابط زیر پارامترهای ماشین محاسبه می‌گردد. در اندازه‌گیری‌های مرتبط با این آزمایش باید دقت لازم را مد نظر داشت. زیرا هدف، بدست آوردن مدار معادل تک‌فاز است و لذا اگر مقادیر سیستم در حالت سه‌فاز اندازه‌گیری شد باید بصورت تک‌فاز دربیاید. مثلاً اگر اتصال ماشین ستاره بود و ولتاژ خط و توان سه‌فاز اندازه‌گیری شد باید ولتاژ تقسیم بر رادیکال ۳ شده و توان تقسیم بر ۳ گردد. جریان فاز در این حالت برابر جریان خط می‌باشد. در محاسبات این قسمت فرض می‌شود که اتصال ماشین ستاره بوده و تمامی پارامترها بصورت سه‌فاز اندازه‌گیری شده‌اند.

مدار معادل تقریبی در آزمایش بی‌باری:



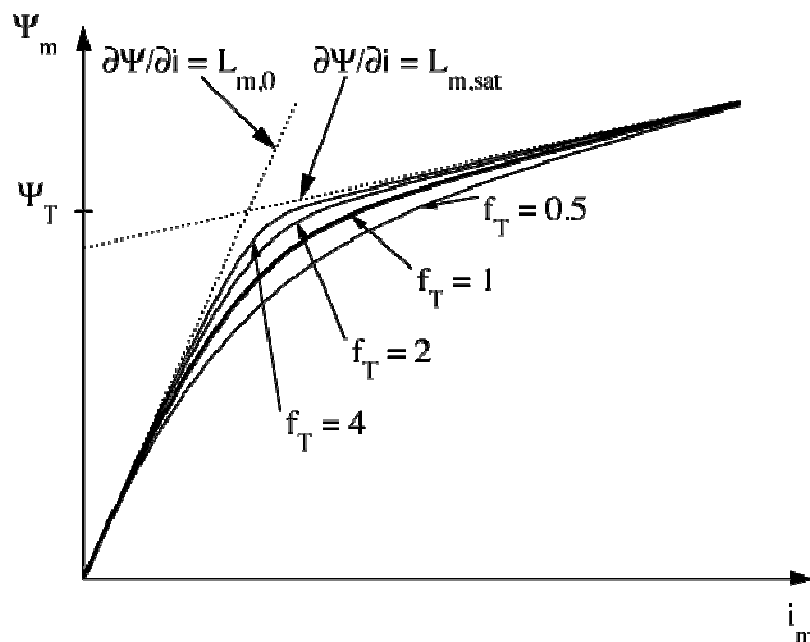
$$Z_{NL} = \frac{V_{NL}}{\sqrt{3} I_{NL}}, \quad R_{NL} = \frac{P_{NL}}{3 I_{NL}^2}$$

$$X_{NL} = X_1 + X_m = \sqrt{X_{NL}^2 - R_{NL}^2}$$

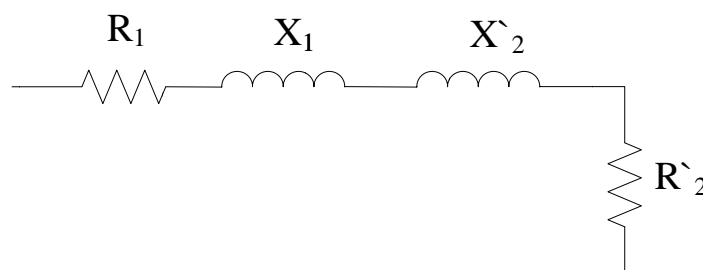
آزمایش روتور قفل شده Blocked Rotor Test در این آزمایش، روتور ماشین توسط پیچی که روی آن قرار گرفته قفل می‌شود یا توسط یک شخص قوی، نگه داشته می‌شود (البته برای ماشین‌های کوچک!) سپس توسط اتوترانس یا واریاک به ترمینال‌های ماشین ولتاژ متغییر از صفر تا زمانی که از ماشین جریان نامی بگذرد، داده می‌شود. لازم به ذکر است که در این تست، شفت ماشین ثابت نگه داشته شده و لذا مقدار لغزش ماشین برابر ۱ می‌شود.

باشد و بنابراین با افزایش مقدار کمی از ولتاژ، جریان بالایی از ماشین خواهد گذشت و این موضوع دقت بالایی کاربران را می‌طلبد. در ضمن این آزمایش باید به سرعت انجام شود چراکه ماشین در این حالت به شدت تحت فشار است.

استاندارد شماره ۱۱۲ از IEEE بیان می‌کند که برای ماشین‌های القایی بیشتر از ۲۵ اسب بخار، فرکانس آزمایش روتور قفل شده باید به ۰/۲۵ مقدار فرکانس نامی خودش برسد و سپس مقادیر راکتانس‌های محاسبه شده چهار برابر شوند (راکتانس با فرکانس متناسب است: $X=2\pi \times f \times L$). علت این موضوع به این صورت بیان می‌شود که وقتی جریان سیستم افزایش می‌یابد و به حدود مقادیر نامی خود می‌رسد احتمال اشباع شدن ماشین به شدت افزایش می‌یابد و لذا مقادیر اندوکتانس‌های محاسبه شده صحیح نخواهند بود. برای جلوگیری از این اتفاق، کاهش فرکانس پیشنهاد شده است.



مدار معادل تقریبی در آزمایش روتور قفل شده:



$$Z_{BR} = \frac{V_{BR}}{\frac{\sqrt{3}}{I_{BR}}}$$

$$R_{BR} = R_1 + R'_2 = \frac{P_{BR}}{I_{BR}^2}$$

$$X_{BR} = X_1 + X'_2 = \sqrt{Z_{BR}^2 - R_{BR}^2}$$

$$\Rightarrow R'_2 = R_{BR} - R_1$$

اگر فرض شود که : $X_1 = X_2 \approx X_{BR}/2$

$$X_m = X_{NL} - X_1$$

مشاهده می‌گردد که با آزمایش‌های فوق مقادیر R_1 و X_1 و X_2 و R_2 و X_m محاسبه می‌شوند. البته این محاسبات بصورت تقریبی بیان شده‌اند. برای جزئیات بیشتر می‌توان از مراجع مورد استفاده این دستور کار کمک گرفت.

دستور کار آزمایش شماره ۴

۴-۱- در آزمایشگاه ماشین حاضر، دو عدد ماشین القایی وجود دارد. پلاک هر دو را خوانده و پس از یادداشت کردن آن‌ها، درباره اطلاعات آن بحث کنید. همچنین این موضوع را بررسی کنید (برای هر دو ماشین) که آیا می‌توان آن‌ها را با هر اتصالی (ستاره یا مثلث) در شبکه ایران راه‌اندازی کرد؟ چرا؟

۴-۲- ابتدا بررسی کنید که شفت ماشین قفل نباشد. سپس ماشین القایی کوچکتر را در دو حالت ستاره و مثلث راه‌اندازی نمایید و جریان راه‌اندازی را اندازه‌گیری کنید (در راه‌اندازی مثلث، ترانس لازم است).

۴-۳- سرعت ماشین (توسط تاکومتر) و توان آن را در هر دو حالت ستاره یا مثلث بدست آورید و از آنجا گشتاور ماشین را محاسبه نمایید و با هم مقایسه کنید. (تذکر اینکه برای استفاده از رابطه گشتاور و سرعت، سرعت باید بر حسب رادیان بر ثانیه باشد)

۴-۴- توسط اتوترانس ماشین القایی کوچکتر را در حالت ستاره راه‌اندازی کرده و ولتاژ آن را به آرامی از صفر تا مقدار نامی افزایش دهید. تغییرات جریان راه‌اندازی نسبت به حالتی که بدون اتوترانس راه‌اندازی کرده بودید چگونه می‌باشد؟

۴-۵- پارامترهای ماشین را توسط آزمایش‌های شرح داده شده در دستور کار بدست آورید. درباره اندازه‌گیری‌های انجام شده از لحاظ مقادیر فازی یا خطی دقت لازم را بعمل آورید.

۴-۶- ماشین القایی بزرگتر را توسط اینورتر موجود در آزمایشگاه راه‌اندازی نموده و جریان آن را در موقع استارت و ترمز مشاهده کنید و نتیجه را یادداشت نمایید.

۴-۷- سرعت کار ماشین القایی توسط کلیدهای اینورتر قابل تغییر است. مقدار فرکانس و ولتاژ ماشین را از صفر تا ۵۰ هرتز در پله‌های ۵ تایی یادداشت نمایید و نتیجه را با توجه به نسبت ولتاژ به فرکانس، تحلیل کنید. فرکانس کاری اینورتر روی صفحه نمایشگر آن قابل مشاهده است. جهت سهولت، برای مشاهده ولتاژ نیز از یک ولت‌متر پرتابل کمک بگیرید.

سؤالات آزمایش شماره ۴

- ۱- آیا می‌توان برای ماشین کوچکتر موجود در آزمایشگاه کلید ستاره- مثلث نصب کرد؟ برای ماشین بزرگتر چگونه؟
- ۲- آیا تست DC برای مقاومت R_1 پاسخ درستی می‌دهد؟ چرا؟
- ۳- علت جریان راه‌اندازی بالا در ماشین القایی چیست؟
- ۴- برای راه‌اندازی و کار دائم ماشین القایی از چه اتصالاتی استفاده می‌کنند؟ چرا؟ پاسخ خود را با استفاده از روابط ماشین و سیستم سه‌فاز اثبات کنید.



آزمایش شماره ۵- آشنایی با ژنراتور سنکرون، بدست آوردن مشخصه بی باری و اتصال کوتاه آن

اکثر سیستم‌های تولید انرژی الکتریکی در دنیا از ژنراتور سنکرون استفاده می‌کنند. موتور سنکرون نیز در برخی کاربردها که به سرعت ثابت نیازمند است مورد استفاده قرار می‌گیرد. از دیگر کاربردهای ماشین سنکرون می‌توان به کندانسور سنکرون اشاره کرد. این وسیله، یک موتور سنکرون بی‌بار است که قابلیت جذب یا تزریق توان راکتیو دارد و از آن برای جبران‌سازی راکتیو شبکه استفاده می‌کنند ولی هزینه بالایی دارد.

ژنراتور سنکرون دارای استاتور شبیه به استاتور ماشین القایی است و روتور آن در دو گونه قطب صاف و قطب برجسته موجود می‌باشد. روتورهای قطب صاف در نیروگاه‌های سرعت بالا مانند نیروگاه‌های بخار استفاده می‌شوند و دارای طول زیاد و قطر کم می‌باشند. و بطور افقی روی زمین قرار می‌گیرند. روتورهای قطب برجسته در نیروگاه‌های سرعت پایین مانند نیروگاه‌های برق آبی (سدها) مورد استفاده قرار می‌گیرند. آن‌ها دارای طول کم و قطر زیاد بوده و بطور عمودی در نیروگاه‌ها قرار می‌گیرند. بعلاوه سرعت پایین در اینگونه نیروگاه‌ها مجبور به افزایش قطر سیستم هستند و به برخی دلایل دیگر مجبور به کاهش قطر آن می‌باشند. بنابراین آن‌ها باید بصورت عمودی روی زمین قرار بگیرند و لذا توربین آبی در بالای آن قرار می‌گیرد.

www.WikiPG.com

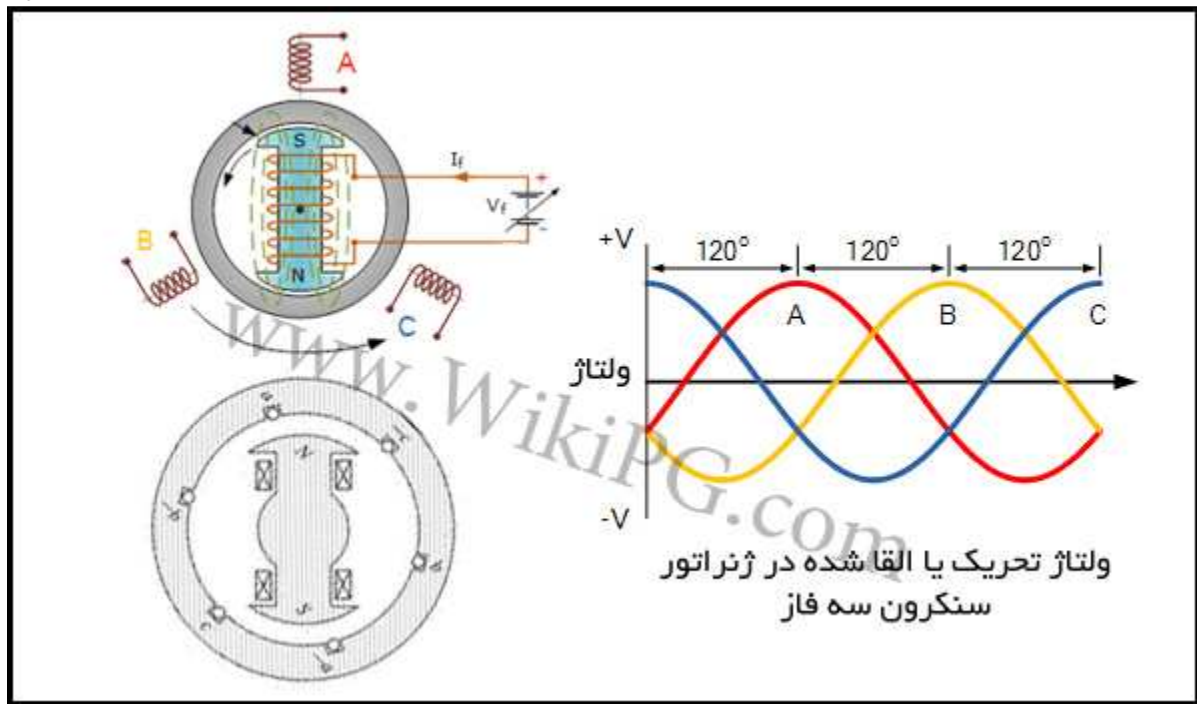


رتور با قطب برجسته

www.WikiPG.com



رتور با قطب صاف



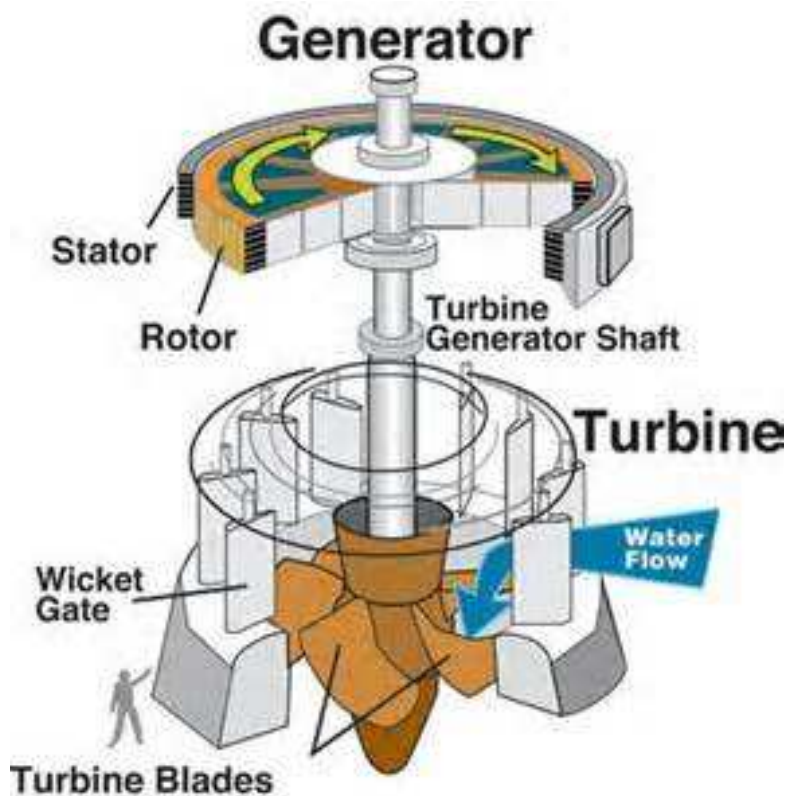
روتور قطب صاف



ژنراتور قطب صاف



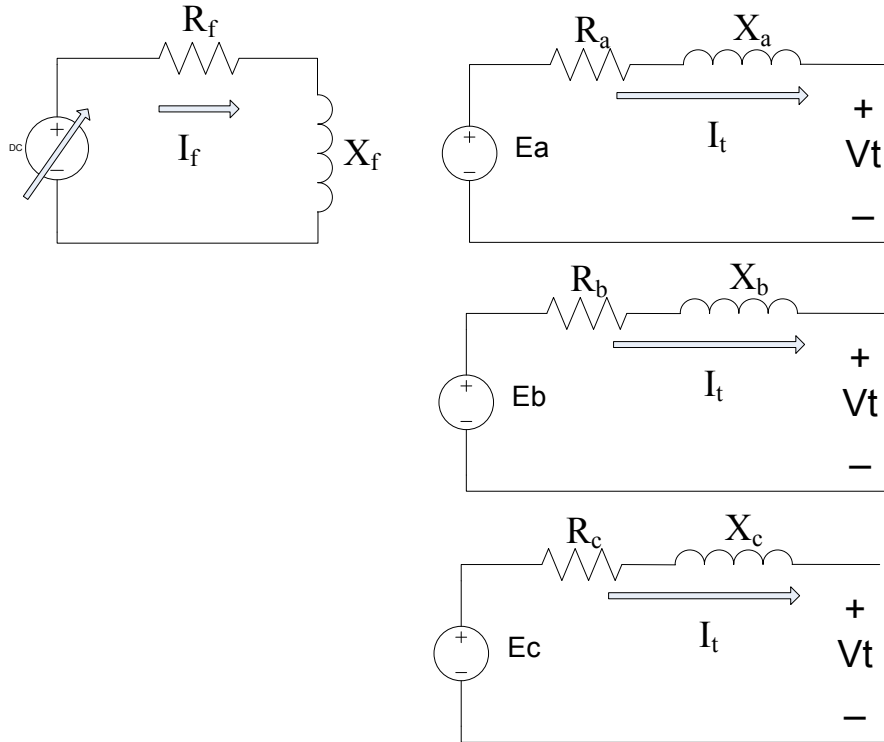
ژنراتور قطب برجسته



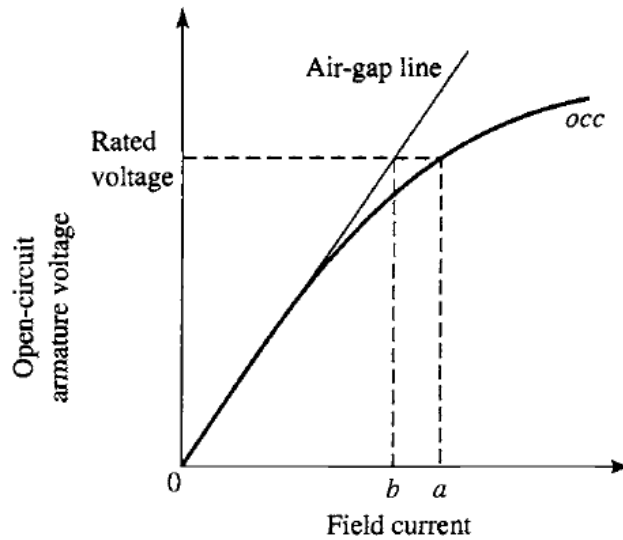


تحریک ژنراتور سنکرون که روی روتور آن قرار می‌گیرد، DC است و توسط یک محرک که معمولاً توربین می‌باشد به حرکت درمی‌آید. آرمیچر (قسمتی که ولتاژ در آن القا می‌شود) ژنراتور سنکرون نیز روی استاتور آن قرار گرفته است.

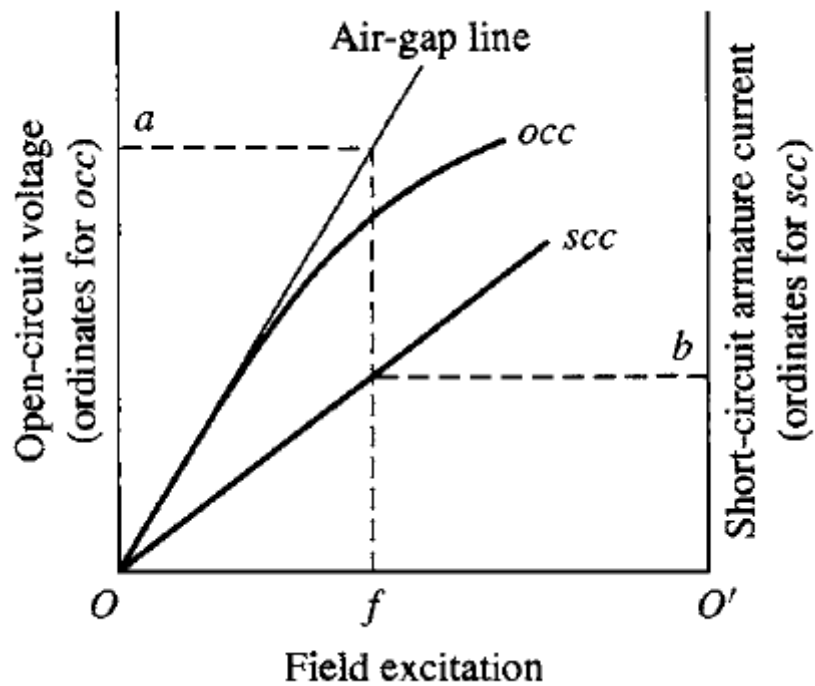
بنابراین مدار معادل ماشین سنکرون بصورت زیر در می‌آید:



آزمایش بی‌باری ماشین سنکرون: از این آزمایش می‌توان منحنی بی‌باری ماشین را بدست آورد. برای بدست آوردن آن، ترمینال ژنراتور سنکرون را بدون بار الکتریکی قرار می‌دهیم و سپس مقادیر ولتاژ ترمینال را (که برابر ولتاژ آرمیچر است) برحسب جریان تحریک در سرعت ثابت بدست می‌آوریم. باید دقت کرد که در انجام این آزمایش، نباید برگشت و ولتاژ پله قبلی را خواند چرا که بعلت پدیده هیستریزس منحنی رفت و برگشت یکسان نیستند.



آزمایش اتصال کوتاه: در این آزمایش تغییرات جریان آرمیچر ماشین سنکرون بر حسب تغییرات جریان تحریک ماشین در حالتی که ترمینال ماشین اتصال کوتاه شده است و با سرعت ثابت می‌چرخد بدست آورده می‌شود. در این آزمایش باید دقت کرد که مقادیر جریان آرمیچر و تحریک از مقدار نامی خود بیشتر نشوند.



دستور کار آزمایش شماره ۵

۵-۱- مشخصات درج شده روی پلاک ماشین سنکرون را خوانده و آن‌ها را شرح دهید. این ماشین چند قطب است؟

۵-۲- تحریک DC را توسط سیم‌های موجود در آزمایشگاه از پانل ماشین‌های DC با رعایت مثبت و منفی آن به ورودی تحریک ژنراتور متصل نمایید. قبل از شروع از صفر بودن ولوم آن و پایین بودن فیوز آن اطمینان حاصل کنید. پس از قرار دادن ولت‌متر و آمپرترهای لازم، اینورتر را روشن و آن را روی سرعت نامی ژنراتور تنظیم نمایید. سپس به آرامی مقدار تحریک را افزایش داده و منحنی بی‌باری ماشین را رسم کنید.

منحنی رفت														
I_f	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1	1.1	1.2	1.3
Ea														

منحنی برگشت														
I_f	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1	1.1	1.2	1.3
Ea														

۵-۳- ترمینال ژنراتور را اتصال کوتاه کرده و در آن یک آمپرتر نیز قرار دهید. سپس به طریق قبل منحنی اتصال کوتاه آن را بدست آورده و رسم کنید.

منحنی رفت														
I_f	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1	1.1	1.2	
Ia														

منحنی برگشت														
I_f	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1	1.1	1.2	
Ia														

سوالات آزمایش شماره ۵

- ۱- آیا منحنی رفت و برگشت بی‌باری با هم برابرند؟ چرا؟
- ۲- آیا منحنی رفت و برگشت اتصال کوتاه با هم برابرند؟ چرا؟
- ۳- چگونه ژنراتور سنکرون برق AC تولید می‌کند؟ برای پاسخ به این سؤال می‌توانید به کتب مرجع درس ماشین مراجعه کنید.
- ۴- اگر سرعت توربین (یا موتور) متصل به ژنراتور کاهش یابد چه اتفاقی می‌افتد؟
- ۵- اگر ولتاژ تحریک ژنراتور سنکرون کاهش یابد چه اتفاقی می‌افتد؟

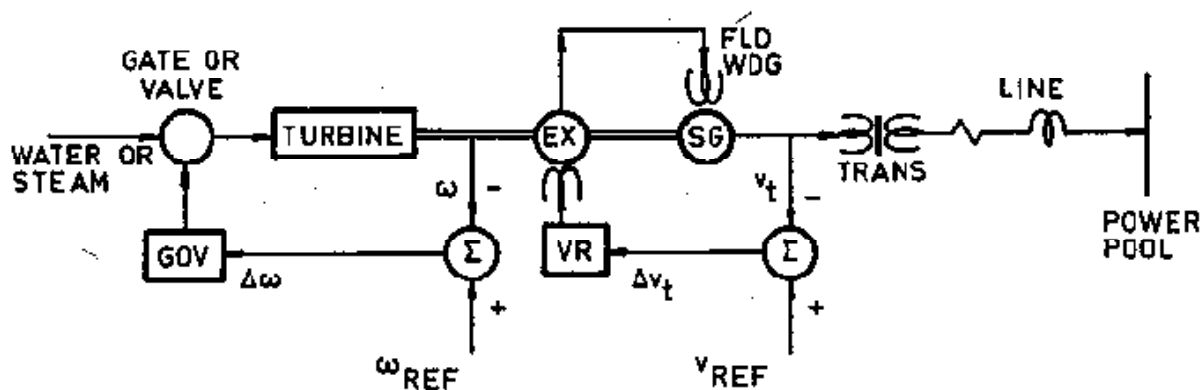
آزمایش شماره ۶- بار داری ژنراتور سنکرون

در سیستم‌های قدرت، سیستم‌های حفاظتی و کنترلی مختلفی برای نگهداری شبکه در وضعیت مطلوب خود وجود دارند. در بخش تولید دو سیستم کنترلی بنام سیستم^۱ AVR و سیستم گاورنر^۲ برای حفظ ولتاژ (یا توان راکتیو) و حفظ فرکانس (یا توان اکتیو) مورد استفاده قرار می‌گیرند.

سیستم AVR: این حلقه کنترلی از ولتاژ ترمینال ژنراتور فیدبک می‌گیرد و آن را با مقدار مرجع که توسط نیروگاه مرجع تعیین می‌شود مقایسه نموده و با توجه به کمبود یا افزونگی آن نسبت به تحریک ژنراتور، فرمان افزایش یا کاهش تحریک را می‌دهد. اگر ژنراتوری به شبکه قدرت متصل شده باشد (سنکرون شده باشد) ولتاژ آن توسط خود شبکه حفظ می‌شود و نقش این سیستم بیشتر در تأمین توان راکتیو سیستم (Q) خواهد بود.

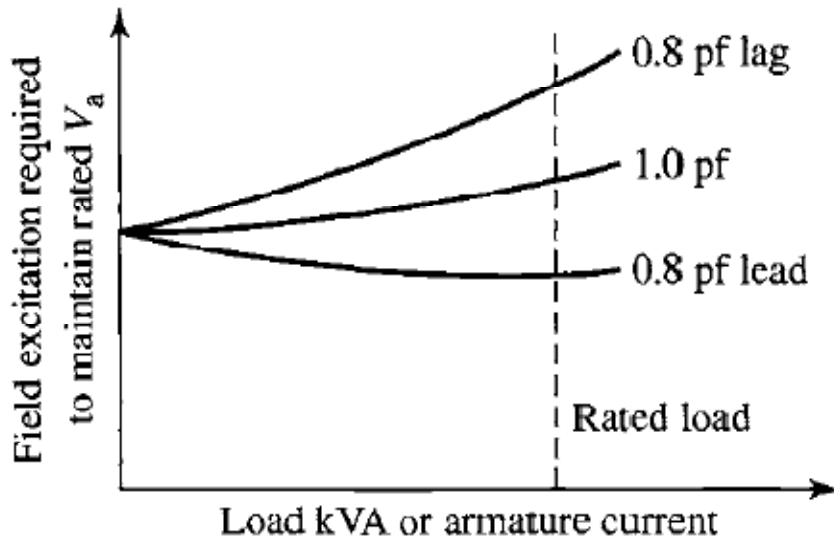
سیستم گاورنر: این سیستم نیز مانند AVR از فرکانس شبکه فیدبک می‌گیرد و آن را با فرکانس Set Point یا فرکانس مرجع تعیین شده مقایسه می‌کند و کمبود یا افزونگی آن را با تغییر سرعت شفت که با باز یا بسته کردن دریچه بخار انجام می‌شود، جبران می‌کند. در حالتی که ژنراتور به شبکه قدرت متصل است فرکانس توسط خود شبکه نگه داشته می‌شود و نقش این سیستم بیشتر در تأمین توان اکتیو (P) خواهد بود.

در ادامه تصویر این دو سیستم کنترلی با هم نمایش داده شده است.



در نمودار زیر مقدار تحریک لازم برای حفظ ولتاژ ترمینال در مقدار نامی بر حسب جریان بار (یا همان جریان آرمیچر) نشان داده شده است:

¹ Automatic Voltage Regulator
² Governor System



همانطوری که مشاهده می‌شود مقدار جریان تحریک مورد نیاز برای بارها اهمی و پس‌فاز با افزایش بار، افزایش می‌یابد ولی برای بارهای پیش‌فاز، باید جریان تحریک را کاهش داد. زیرا بارهای خازنی (پیش‌فاز) هرچه بیشتر شوند (برخلاف بارهای اهمی و سلفی) سبب افزایش ولتاژ می‌گردند.

دستور کار آزمایش شماره ۶

۶-۱- ابتدا توسط سیم‌های موجود در آزمایشگاه، تحریک DC ماشین را همانند آزمایش قبل وصل نمایید. سپس در حالت بی‌باری، پس از قرار دادن یک ولت‌متر در ترمینال ماشین، اینورتر را روشن نموده و تا سرعت سنکرون، آن را بالا ببرید. مشاهده می‌شود که با تحریک صفر، مقداری ولتاژ وجود دارد. این موضوع را تحلیل کنید.

۶-۲- با کمک مدرس آزمایشگاه، سه سری بار مقاومتی بصورت ستاره را به ترمینال ماشین متصل نمایید ولی به هیچ وجه کلید آن‌ها را وصل ننمایید. ولت‌متر و آمپرمترهای مناسب را در مدار قرار دهید. پس از Run کردن اینورتر، مقدار تحریک را از صفر تا مقداری که ولتاژی حدود ولتاژ نامی در ترمینال ماشین ایجاد شود بالا ببرید. بارهای مقاومتی را با احتیاط وارد کنید. اثرات آن را روی ولتاژ و جریان ترمینال مشاهده کنید. چگونه می‌توان آن را جبران کرد؟

۶-۳- بند شماره دو آزمایش را با بار مقاومتی و بار سلفی تکرار نمایید. چگونه می‌توان آن را جبران کرد؟

۶-۴- یک سری بار مقاومتی ستاره و یک بانک خازنی را به مدار وصل کنید ولی کلید نزنید. سپس ولتاژ خط ترمینال را تا حدود ۸۰ ولت پایین بیاورید. پس از ورود بار مقاومتی، بار خازنی را با احتیاط تحت نظر مسئول آزمایشگاه وارد مدار نموده و نتیجه را تحلیل کنید. چگونه می‌توان این وضعیت را اصلاح کرد؟

۶-۵- اکنون بجای ولت‌متر از فرکانس متر استفاده کنید و دو بار مقاومتی و یک بار سلفی را در حالت ستاره وارد مدار کنید. چه رخ می‌دهد؟ و راه اصلاح آن چیست؟

سوالات آزمایش شماره ۶

۱- کدام یک از فعالیت‌هایی که در این آزمایش انجام داده‌اید مربوط به سیستم AVR و کدام یک مربوط به سیستم Governor می‌باشد؟

۲- ورود بار سلفی و خازنی در ترمینال ژنراتور چه اثری دارد؟

آزمایش شماره ۷۵ – سنکرونیزاسیون

در این آزمایش به سنکرون یا هم‌زمان کردن یک ژنراتور با سیستم قدرت می‌پردازیم. ولتاژی که در یک ژنراتور جدا از شبکه تولید می‌شود برای متصل شدن به شبکه باید شرایطی داشته باشد. در غیر اینصورت سبب شارش جریان و توان از سمت شبکه به ژنراتور شده و احتمال آتش سوزی و شکستن محور ژنراتور وجود خواهد داشت.

شرایط سنکرونیزاسیون عبارتند از:

۱- دامنه ولتاژهای برابر بین شبکه و ژنراتور

۲- فاز ولتاژ برابر بین شبکه و ژنراتور

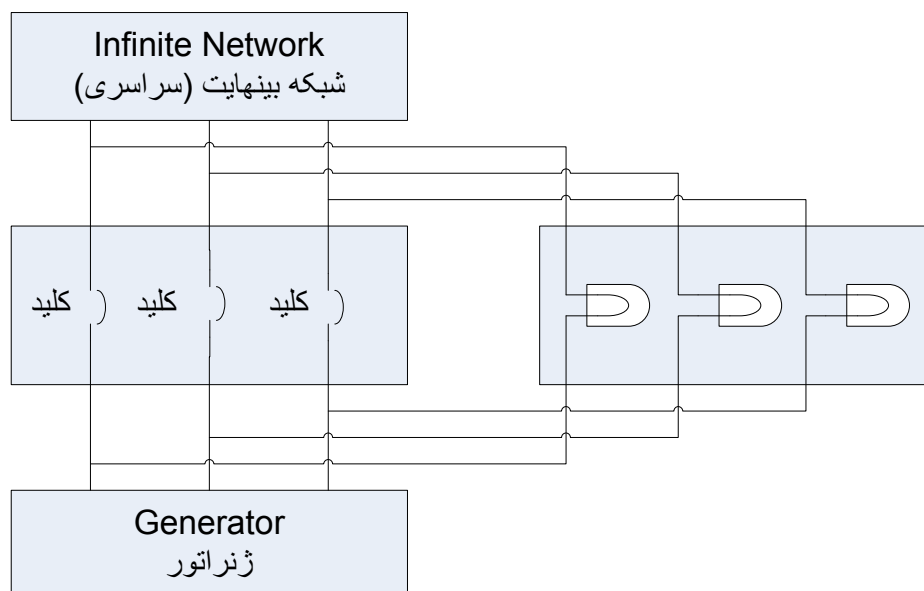
۳- فرکانس برابر بین شبکه و ژنراتور

۴- توالی فاز یکسان بین شبکه و ژنراتور

بررسی این شرایط مستلزم انجام دو مرحله کار است:

الف) استفاده از ولت‌متر: برای بررسی مقدار مؤثر ولتاژ (و در نتیجه، دامنه ولتاژ)

ب) استفاده از روش سه‌لامپی: در این مرحله، توسط سه عدد لامپ، مقدار فاز، فرکانس و توالی فاز را بررسی می‌شود و هر زمانی که همگی لامپ‌ها با هم خاموش شدند کلید مابین شبکه و ژنراتور را باید وصل کرد.



دستور کار آزمایش شماره ۷

۷-۱- سه سیم از سه فاز شبکه را از پانل سه فاز موجود در آزمایشگاه و سه سیم از ترمینال ژنراتور به پانل سنکرونیزاسیون بیاورید و مطابق نقشه‌های موجود روی پانل، آن‌ها را وصل نمایید. سپس از قطع بودن کلید اطمینان حاصل نموده و ژنراتور را راه‌اندازی کنید. برق شبکه را هم وصل کنید.

۷-۲- در مرحله بعد توسط ولت‌مترها، مقدار ولتاژ دو طرف را مساوی کنید. این کار را برای فرکانس دو طرف نیز انجام دهید. اگر باز هم لامپ‌ها روشن ماندند، توالی فاز سیستم اشتباه بسته شده است. با جابجا کردن آن‌ها این مشکل را برطرف کنید. اگر لامپ‌ها به نوبت خاموش و روشن می‌شدند فرکانس‌ها را مجدداً بررسی نمایید. در پایان در لحظه‌ای که همه لامپ‌ها خاموش هستند، کلید پارالل (بین شبکه و ژنراتور) را وصل کنید.

۷-۳- اگر تحت هیچ شرایطی لامپ‌ها خاموش نشدند، به هیچ وجه کلید پارالل را وصل ننمایید چراکه احتمال خسارت رسیدن به ژنراتور در این آزمایش بالا است.

سؤالات آزمایش شماره ۷

۱- در صورت برقرار نبودن هر یک از شروط سنکرونیزاسیون، وضعیت نور لامپ‌ها چگونه خواهد بود؟

- [1]. A.E. Fitzgerald, C. Kingsley, S.D. Umans, "Electric Machinery", McGraw-Hill, 6th Ed., 2003
- [2]. yn Yu, "Electric power system dynamics", New York: Academic Press, 1983.
- [3]. مهندس حسین نیلی، "دستور کار آزمایشگاه ماشین‌های الکتریکی ۲"، دانشکده برق و کامپیوتر دانشگاه صنعتی اصفهان.
- [4]. آزمایشگاه ماشین‌های الکتریکی دانشگاه آزاد، تهیه شده در شرکت مهندسی مطالعاتی نوسان پرداز.
- [5]. <http://electrical-engineering-portal.com/understanding-vector-group-transformer-1>
- [6]. <http://www.plexim.com/plecs/machines>

