



دستور کار آزمایشگاه ماشین های الکتریکی ۲

تهیه و تدوین

گروه مهندسی سیستم های انرژی الکتریکی

دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

۱۳۳۶

دانشگاه تبریز

مهر ۱۴۰۵

سپاسگزاری

با قدردانی از تمامی مشارکت کنندگان ذیل، این دستورکار توسط **دکتر هادی آقائی** تهیه و تدوین شده است.

مشارکت کنندگان به ترتیب حروف الفبا

الف) مشارکت کنندگان کنونی

کارشناسان آزمایشگاه

مهندس غلامرضا پیرو پیران

مهندس ابراهیم شغلی

استادان گروه مهندسی برق

دکتر هادی آقایی

دکتر رضا پاشائی

دکتر سینا رودنیل

دکتر عطاءاله صمدیان

دکتر وحید نعمت زاده

مهندس سینا نبی قدیم

مهندس حسین عبدی

ب) مشارکت کنندگان پیشین

مهندس قاسم اهرابیان

دکتر محمدباقر بناشریفیان

دکتر کاظم زارع

دکتر سعید قاسم زاده

دکتر سجاد گلوانی

دکتر محمدرضا فیضی

دکتر محمدعلی طینتی

مهندس محمد میرزایی

۱۳۳۶

دانشگاه تبریز

فهرست مطالب

- نکات ایمنی هنگام کار در آزمایشگاه‌های برق..... ۱
- شیوه نوشتن گزارش کار آزمایشگاه..... ۲
- آزمایش ۱: آزمایش تنظیم سرعت موتور آسنکرون به روش تغییر فرکانس تغذیه..... ۳
- آزمایش ۲: اتصال سه ترانسفورماتور تک‌فاز به صورت سه‌فاز..... ۵
- آزمایش ۳: بدست آوردن منحنی‌های V یک موتور سنکرون..... ۸
- آزمایش ۴: نتایج آزمایش مدارباز و اتصال کوتاه ترانسفورماتور سه‌فاز و بررسی جریان هجومی..... ۱۱
- آزمایش ۵: ترانسفورماتور Back to Back یا Sunpner..... ۱۵
- آزمایش ۶: آزمایش اتصال کوتاه و مدارباز ژنراتور سنکرون..... ۱۸
- آزمایش ۷: بررسی عملکرد و خودتحریکی ژنراتور القایی سه‌فاز..... ۲۱
- آزمایش ۸: کار موازی دو ژنراتور سنکرون..... ۲۴
- آزمایش ۹: اتصالات مختلف ترانسفورماتورهای سه‌فاز و روش موازی کردن آنها..... ۲۶
- آزمایش ۱۰: دیاگرام دایره‌ای موتور آسنکرون..... ۲۸
- آزمایش ۱۱: مشخصه‌های بارداری و اتصال کوتاه ناگهانی ژنراتور سنکرون..... ۳۱
- آزمایش ۱۲: اندازه‌گیری راکتانس‌های معکوس و هموپلر و راکتانس‌های عرضی و طولی برای ماشین سنکرون..... ۳۴
- آزمایش ۱۳: اتصال اسکات ترانسفورماتور برای تبدیل سه‌فاز به دوفاز..... ۳۸

۱۳۲۶

دانشگاه تبریز

نکات ایمنی هنگام کار در آزمایشگاه‌های برق

- پیش از هرگونه تغییر در مدار، منبع تغذیه را خاموش و از بی‌برق بودن مدار اطمینان حاصل کنید. 
- پس از تأیید استاد آزمایشگاه مجاز به وصل منبع تغذیه و شروع آزمایش هستید. 
- منبع تغذیه آخرین بخش مدار است که متصل می‌شود و اولین بخشی از مدار است که قطع می‌گردد. 
- تمام سیم‌ها، قطعات و تجهیزات مدار همیشه باید برق‌دار تصور شوند، مگر آن که یقین حاصل شود که بی‌برق هستند. 
- سیم‌ها را از روی اجسام متحرک یا در حال چرخش عبور ندهید و آن‌ها را بر روی زمین و یا جایی که محل رفت‌وآمد است، رها نکنید. 
- هرگز آمپر متر را به صورت موازی و ولت متر را به صورت سری در مدار قرار ندهید. 
- در هنگام کار، به قسمت‌های در حال چرخش موتور و ژنراتور نزدیک نشوید. 
- فقط استفاده از ابزار و دستگاه‌هایی که در محیط آزمایشگاه وجود دارد، مجاز است. اگر نیاز به استفاده از ابزار دیگری دارید باید مجوز لازم را از کارشناس آزمایشگاه کسب کنید. همچنین، از جابه‌جا نمودن وسایل آزمایشگاه خودداری کنید. 
- هرگز با دست خیس یا مرطوب کار نکنید و از دستکش عایق الکتریکی استفاده نمایید. 
- حتی‌المقدور از یک دست برای باز و بسته کردن مدار استفاده شود. 
- در هنگام کار از اشیای رسانا مانند ساعت با بند فلزی، حلقه، زنجیر و دست‌بند، قلم با بدنه فلزی، خط‌کش فلزی و ... استفاده نکنید. موهای بلند باید حتماً در پشت سر کاملاً جمع و بسته شوند. 
- خوردن، آشامیدن، شوخی کردن و استفاده از تلفن همراه در آزمایشگاه مطلقاً ممنوع است. 
- در هنگام کار مواظب باشید بدن شما با میز کار و تجهیزات الکتریکی در تماس نباشد. 
- هر نوع خرابی احتمالی در تجهیزات را سریعاً به استاد یا کارشناس آزمایشگاه گزارش کنید. در صورت نیاز به تعویض و یا تعمیر قطعات، به کارشناس آزمایشگاه اطلاع دهید. دانشجو نباید اقدام به این کار کند. 
- در هر جلسه کلاس، فقط دانشجویان ثبت‌نام‌شده در آزمایشگاه مربوط به آن جلسه مجاز به حضور هستند و حضور سایر دانشجویان به هر عنوان ممنوع می‌باشد. 
- برای ترک آزمایشگاه و یا ورود دوباره به آزمایشگاه به استاد یا کارشناس آزمایشگاه اطلاع دهید. 
- فقط در میز کار تعیین‌شده خود حضور یابید و از جابه‌جایی یا تجمع در یک میز خودداری نمایید. 
- هرگز از سیم‌های زخمی یا اتصالات لق استفاده نکنید. 
- استفاده از این دستور کارها برای انجام آزمایش با حضور و اجازه استاد و کارشناس آزمایشگاه خواهد بود. 

شیوه نوشتن گزارش کار آزمایشگاه

گزارش کار آزمایش ها باید بدین قالب باشد:

۱ عنوان آزمایش

۲ نویسنده: نام و نام خانوادگی - شماره دانشجویی

۳ مقدمه و هدف آزمایش

۴ وسایل مورد نیاز

۵ شرح انجام آزمایش

۶ نتایج

۷ پاسخ پرسش های دستور کار

۸ نتیجه گیری



دانشگاه تبریز

آزمایش ۱: آزمایش تنظیم سرعت موتور آسنکرون به روش تغییر فرکانس تغذیه

هدف:

بررسی کنترل سرعت موتور آسنکرون با تغییر فرکانس و حفظ نسبت ولتاژ به فرکانس، و مطالعه تغییرات سرعت، بازده، ضریب قدرت و جریان موتور.

مقدمه:

سرعت سنکرون موتور به فرکانس تغذیه و تعداد قطبها وابسته است؛ بنابراین با تغییر فرکانس می توان سرعت موتور را تنظیم کرد:

$$n_s = \frac{2\pi f}{p}$$

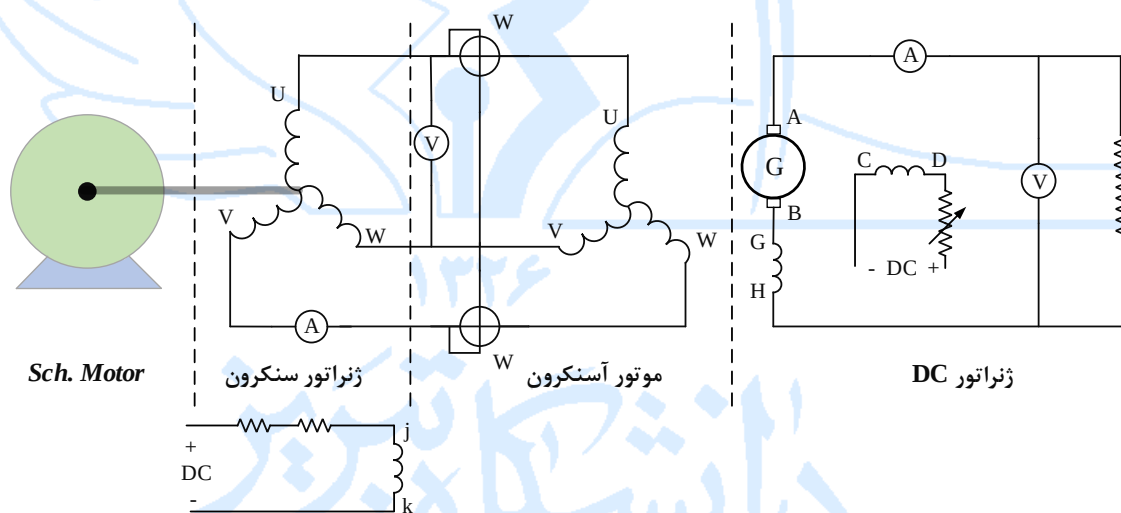
$$n_m = (1-s)n_s$$

در این روابط، (f) فرکانس بر حسب هرتز، (P) تعداد قطبها، (s) لغزش و (n_s) و (n_m) به ترتیب سرعت سنکرون و سرعت موتور بر حسب دور بر دقیقه هستند.

گشتاور یک موتور القایی که سرعت آن با تغییر فرکانس تنظیم می شود باید ثابت بماند. برای این منظور، شار مغناطیسی موتور باید ثابت باقی بماند. چون شار با نسبت ولتاژ به فرکانس متناسب است $(\phi = V/f)$ ، با کاهش فرکانس، ولتاژ نیز باید کاهش یابد و برعکس. در این آزمایش، تولید فرکانس متغیر به وسیله Sch. Motor انجام می گیرد.

مراحل انجام آزمایش:

۱- مدار شکل زیر را ببندید.



۲- در حالت بی باری، موتور Sch. را راه اندازی کنید و با تنظیم فرکانس و ولتاژ، سرعت موتور آسنکرون را به سرعت نامی برسانید؛ فرکانس ۵۰ هرتز و ولتاژ ۳۸۰ ولت.

۳- ولتاژ دو سر آرمیچر ژنراتور DC با تحریک مستقل را به ۲۲۰ ولت برسانید.

۴- ژنراتور DC را در حدود ۴/۵ آمپر باردار کنید. سپس فرکانس را از مقدار نامی به پایین تغییر دهید و کمیت‌های اندازه‌گیری شده را در جدول یادداشت کنید.

n_s	I_{dc}	V_{dc}	I_m	V_{ac}	f_s	n_m	$W_1 + W_2$	$\cos\phi$	η

۵- منحنی‌های تغییرات سرعت موتور $n_m(f)$ ، بازده $\eta(f)$ ، ضریب قدرت $\cos\phi(f)$ و جریان موتور $I_m(f)$ بر حسب فرکانس را در یک دستگاه محور مختصات رسم کنید.

سوالات آزمایش:

- ۱- چرا هنگام کاهش فرکانس باید ولتاژ تغذیه نیز کاهش یابد؟ ثابت ماندن ولتاژ چه اثری بر شار موتور دارد؟
- ۲- با استناد به نمودارها، تغییرات سرعت، بازده، ضریب قدرت و جریان موتور را هنگام کاهش فرکانس تحلیل کنید.

آزمایش ۲: اتصال سه ترانسفورماتور تک فاز به صورت سه فاز

هدف آزمایش:

آشنایی با اتصال های سه فاز ترانسفورماتورها، بررسی قطبیت و تعادل ولتاژها، مشاهده جریان مغناطیس کننده و مقایسه ظرفیت بارگذاری در اتصال مثلث کامل و مثلث باز.

مقدمه:

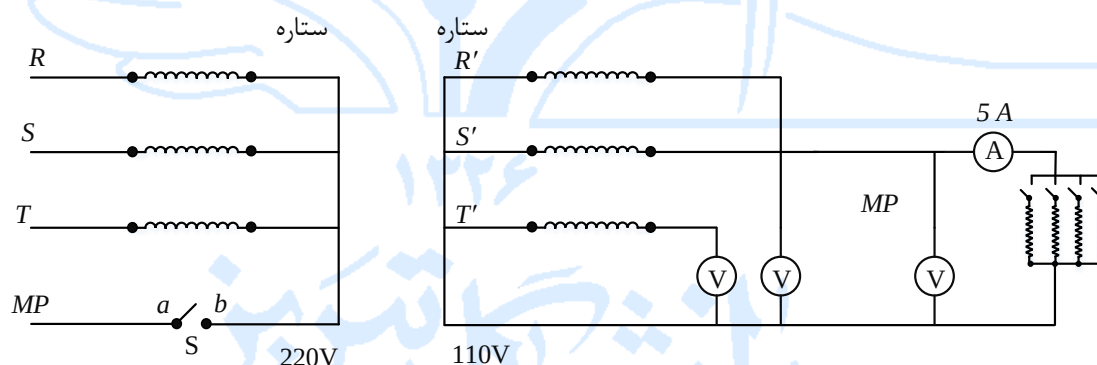
با اتصال مناسب سه ترانسفورماتور تک فاز مشابه، می توان یک مجموعه سه فاز تشکیل داد. رعایت قطبیت سیم پیچ ها برای صحت اتصال و جلوگیری از ایجاد جریان گردشی ناخواسته ضروری است. همچنین نوع اتصال و مسیر عبور جریان های هارمونیکی بر شکل موج ولتاژ و جریان مغناطیس کننده اثر می گذارد.

در اتصال مثلث، پیش از بستن حلقه باید صحت مجموع برداری ولتاژهای سه سیم پیچ بررسی شود. در اتصال مثلث باز، دو ترانسفورماتور می توانند بار سه فاز را تغذیه کنند؛ برای ترانسفورماتورهای همسان و بار متعادل، ظرفیت این اتصال حدود ۵۷٪ درصد ظرفیت مجموعه سه ترانسفورماتوری کامل است.

نحوه انجام آزمایش:

توجه: در بعضی قسمت های این آزمایش که با اسیلوسکوپ (CRO) کار می کنید بدنه CRO دارای پتانسیل فاز است؛ لذا در تماس همزمان با آن و بدنه های فلزی کلیدها اکیداً خودداری کنید.

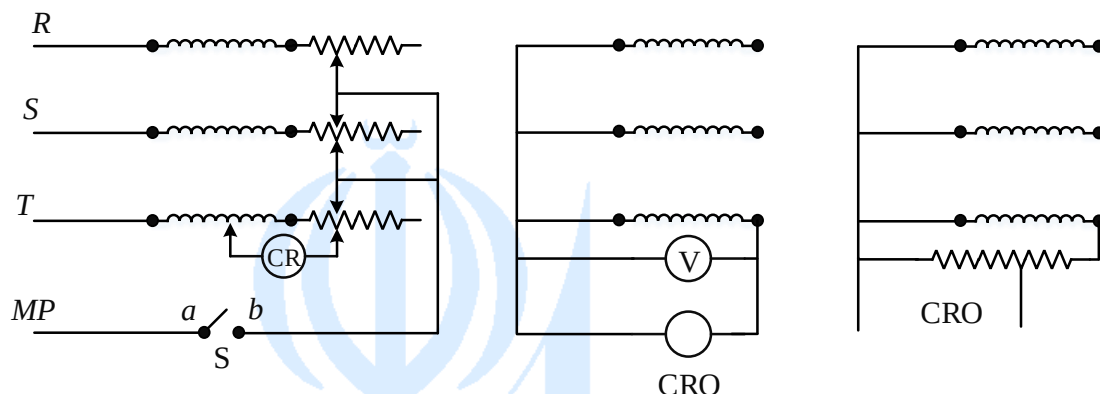
۱. با بررسی پلاک ترانسفورماتورها از مقادیر نامی کمیت های آنها اطلاعات حاصل نمایید.
۲. ترانسفورماتورها را مطابق مدل شکل زیر به صورت ستاره-ستاره اتصال دهید و ولتاژهای فاز و فاز و نول را در اولیه و ثانویه اندازه گیری کنید و از صحت اتصال ستاره-ستاره اطمینان حاصل نمایید. در غیر این صورت با تغییر دادن جهت اتصال سیم پیچی اولیه یا ثانویه یکی از ترانسفورماتورها، فازهای خروجی را متعادل کنید. این حالت را با رسم دیاگرام برداری توضیح دهید.



۳. مدار را مطابق شکل زیر تکمیل کرده و برای دو حالت باز و بسته بودن کلید S جدول زیر را پر کنید:

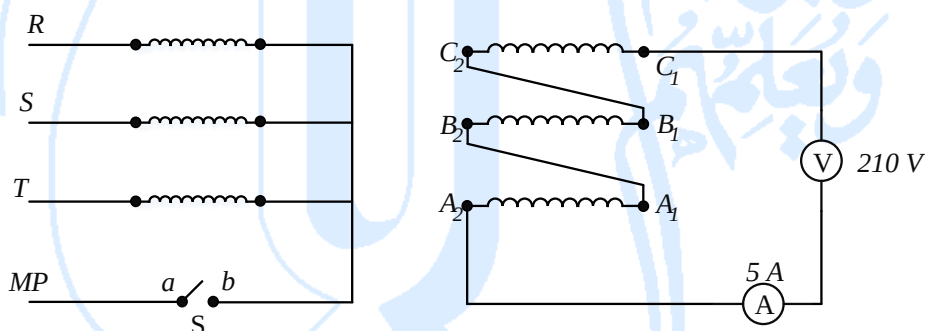
حالت باز کلید	V	
	I	
حالت بسته کلید	V	
	I	

۴. با استفاده از مدار زیر شکل موج جریان مغناطیسی را در دو حالت a و b ملاحظه کرده و رسم نمایید.



۵. علت متفاوت بودن مقادیر کمیت‌های V و I در دو حالت کلید S و شکل موج جریان مغناطیسی‌کنندگی را بررسی نمایید.

۶. ترانسفورماتورها را به صورت شکل زیر ببینید.



۷. برای اینکه اتصال ثانویه به صورت مثلث صحیح باشد، باید مجموع برداری ولتاژهای فازهای A ، B و C یعنی ولتاژ دو سر ولتمتر صفر باشد. در غیر این صورت ولتاژ در حدود ۲۲۰ ولت نشان می‌دهد که باید جهت یکی از سیم‌پیچی‌های A ، B ، C را تغییر داد و وقتی ولتاژ دو سر ولتمتر صفر شد، آرا اتصال کوتاه کنید. این حالت را برای هر دو حالت کلید انجام داده و مشاهدات خود را با رسم دیاگرام برداری شرح دهید.

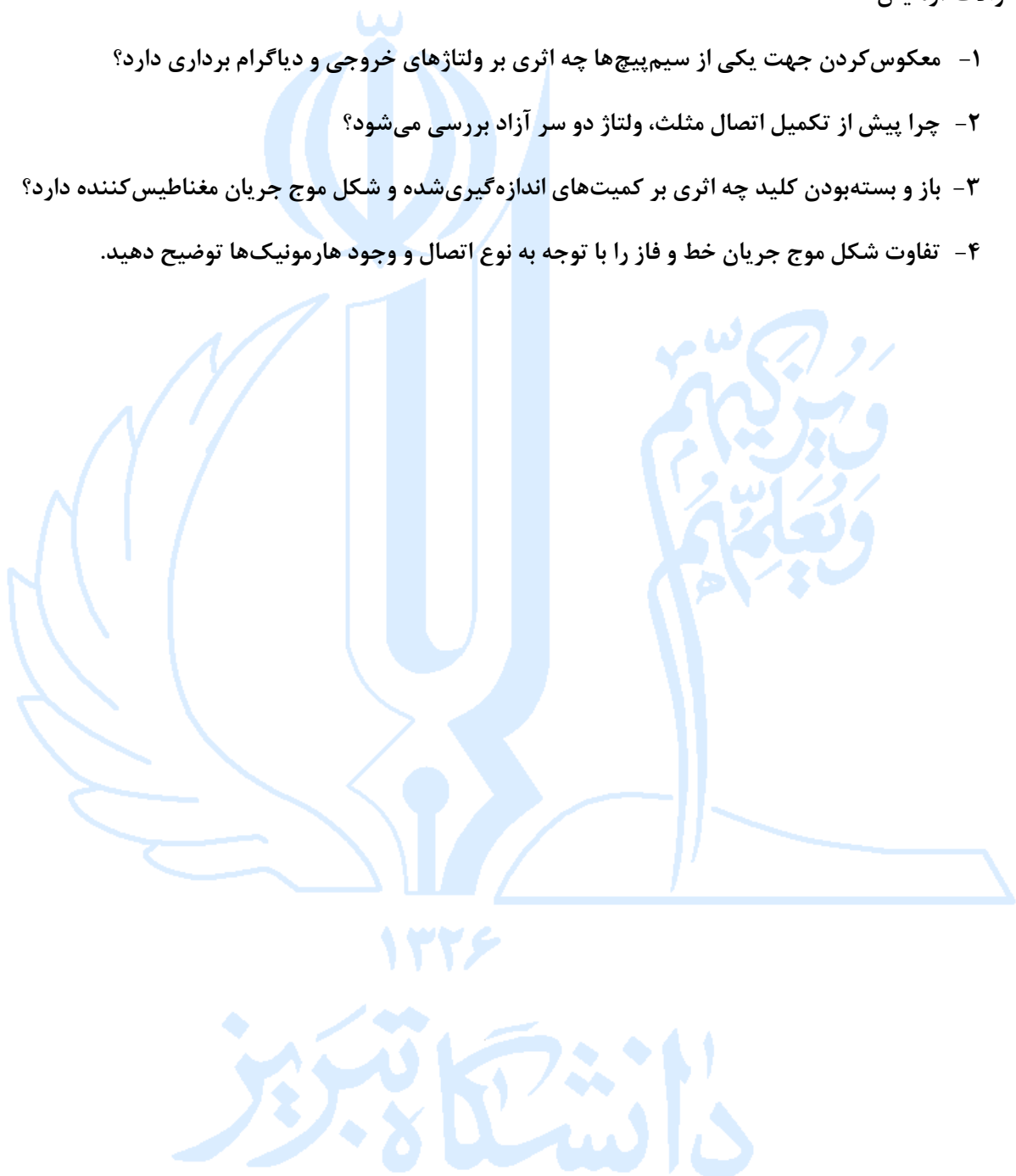
۸. ترانسفورماتورها را به صورت Δ/Δ اتصال دهید. با در نظر گرفتن ولتاژ نامی هر ترانسفورماتور $(220/110 \times 2)$ در طرف اولیه به شبکه‌ای که ولتاژ نامی آن ۲۲۰ ولت باشد (ولتاژ خط به خط بدان است که آرا با استفاده از یک اتوترانس ایجاد خواهید نمود). و برای اطلاع اتصال صحیح Δ/Δ ثانویه ترانسفورماتورها را مطابق بند ۶ ببینید. در صورت صفر بودن ولتاژ در هر ولتمتر آن را اتصال کوتاه کرده و از ترانسفورماتور Δ/Δ بار بگیرید. حداکثر جریان مجاز بار در این حالت چقدر است (باتوجه به مقادیر نامی ترانسفورماتورها)؟ در این حالت شکل موج جریان‌های خط و فاز را مطالعه نمایید.

۹. یکی از ترانسفورماتورها را بطور کلی از مدار خارج سازید. بطوریکه قسمت‌های دیگر آن دست‌نخورده باقی بماند. (اتصال V/V). از ترانسفورماتور سه‌فاز V/V بار بگیرید و حداکثر جریان مجاز آن را باتوجه به مقادیر نامی ترانسفورماتورها تعیین

نمائید. این مقدار با مقدار مشابه آن در اتصال Δ/Δ چه رابطه‌ای دارد؟ اتصال فوق یکی از مزایای Δ/Δ محسوب می‌شود؛ زیرا با خارج شدن یکی از ترانسفورماتورها، مجموعه قادر است حتی بیش از ۵۰٪ بار را تأمین می‌کند.

سوالات آزمایش:

- ۱- معکوس کردن جهت یکی از سیم‌پیچ‌ها چه اثری بر ولتاژهای خروجی و دیاگرام برداری دارد؟
- ۲- چرا پیش از تکمیل اتصال مثلث، ولتاژ دو سر آزاد بررسی می‌شود؟
- ۳- باز و بسته‌بودن کلید چه اثری بر کمیت‌های اندازه‌گیری‌شده و شکل موج جریان مغناطیس‌کننده دارد؟
- ۴- تفاوت شکل موج جریان خط و فاز را با توجه به نوع اتصال و وجود هارمونیک‌ها توضیح دهید.



آزمایش ۳: بدست آوردن منحنی‌های V یک موتور سنکرون

هدف آزمایش:

بررسی اثر جریان تحریک بر جریان آرمیچر و ضریب قدرت موتور سنکرون در بارهای مختلف، و مشاهده تغییرات زاویه بار و نوسان روتور.

مقدمه:

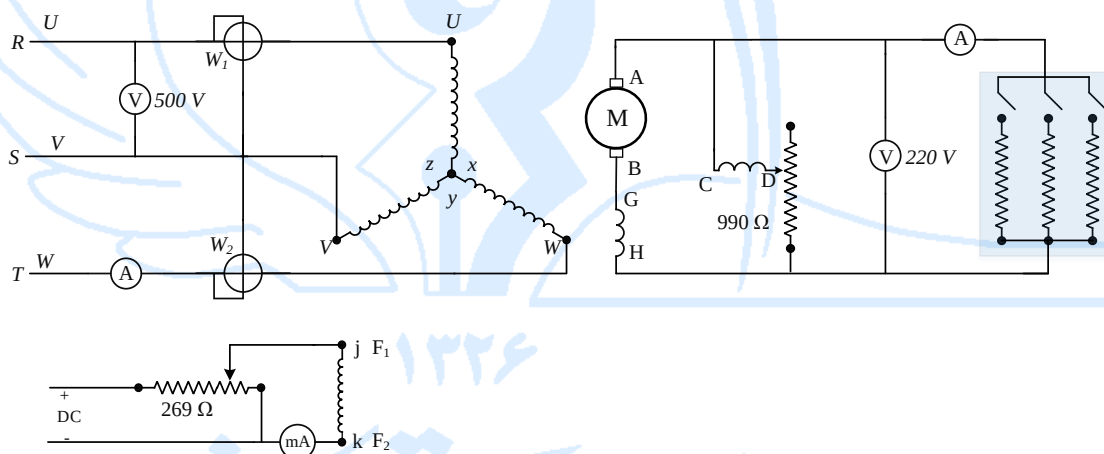
در ولتاژ و فرکانس ثابت و برای یک بار مشخص، با افزایش جریان تحریک، جریان آرمیچر موتور ابتدا کاهش می‌یابد و پس از رسیدن به مقدار کمینه، افزایش پیدا می‌کند. نمودار این تغییرات، منحنی V نام دارد.

در نقطه کمینه جریان، ضریب قدرت تقریباً برابر یک است. در ناحیه کم‌تحریکی، موتور دارای ضریب قدرت پس‌فاز و در ناحیه پرتحریکی، دارای ضریب قدرت پیش‌فاز است. بنابراین، تغییر تحریک می‌تواند حتی در بی‌باری نیز جریان آرمیچر را افزایش دهد.

نحوه انجام آزمایش:

توجه: جریان تحریک و جریان آرمیچر باید در محدوده مجاز باقی بمانند و موتور از حالت سنکرون خارج نشود. برای مشاهده ولتاژ مقاومت اندازه‌گیری با اسیلوسکوپ، از اتصال تفاضلی یا ایزوله مناسب استفاده کنید و زمین حفاظتی دستگاه را قطع نکنید.

۱. مدار شکل زیر را ببندید:



۲. موتور سنکرون را راه‌اندازی کرده و ژنراتور DC را که به آن کوپله مکانیکی شده است تحریک کنید تا ولتاژ نامی خود را تولید نماید.

۳. در حالت بی‌باری ژنراتور DC (و تقریباً بی‌باری موتور سنکرون) جریان تحریک موتور را از حداقل تا حداکثر مقدار ممکن و در چند مرحله تغییر داده و در هر مرحله نتایج به‌دست‌آمده در جدول صفحه بعد یادداشت کنید.

۴. حداقل و حداکثر جریان تحریک نامی چه پارامترهایی است؟

۵. یک موتور سنکرون چگونه ممکن است over load شود درحالی که هیچ بار مکانیکی روی محور آن وجود ندارد.

۶. ژنراتور DC را به تدریج باردار کنید و ضمن آن تغییرات زاویه بار را مشاهده کنید. تمام بارهای ژنراتور را در یک لحظه قطع یا وصل کنید و در لحظه قطع یا وصل شدن بار روتور را ملاحظه کنید. با قراردادن یک مقاومت مناسب در مسیر جریان آرمیچر شکل تغییرات جریان آرمیچر را در CRO مشاهده کنید. این قسمت را (بند ۶) یکبار با حداقل مقدار ممکن و بار دیگر با حداکثر مقدار ممکن آن و در شرایط بار مساوی انجام دهید و اختلاف آن را بررسی نمایید.

۷. در یکبار ثابت جریان تحریک ماشین سنکرون را تغییر دهید و تغییرات زاویه بار را بررسی کنید آیا تغییری مشاهده می شود. چرا؟

۸. ژنراتور D.C را تا حدود ۵۰٪ باردار کنید و قسمت ۳ را تکرار و نتایج حاصله را در جدول زیر وارد کنید.

ردیف	I_f	I_l	W_1	W_2	$\cos\phi$

ردیف	I_f	I_l	W_1	W_2	$\cos\phi$

ردیف	I_l	I_f	W_1	W_2	$\cos\phi$

۹. قسمت فوق را برای حالت بار کامل ژنراتور نیز تکرار کرده و نتایج را در جدول مربوطه (صفحه بعد) یادداشت کنید.

۱۰. منحنی‌های تغییرات I_a (I_f) برای سه حالت آزمایش در یک دستگاه محورهای مختصات رسم کنید.

۱۱. منحنی تغییرات $\cos\phi$ را بر حسب I_a در سه حالت فوق در همان دستگاه محورهای مختصات رسم کنید.

سوالات آزمایش:

۱- چرا موتور سنکرون معمولی بدون سازوکار کمکی، در اتصال مستقیم به شبکه خودراه‌انداز نیست؟
روش‌های راه‌اندازی آن کدام‌اند؟

۲- چرا منحنی جریان آرمیچر بر حسب جریان تحریک، V شکل است؟ ضریب قدرت در نقطه کمینه چه مقداری دارد؟

۳- در بار ثابت، تغییر جریان تحریک چه اثری بر زاویه بار دارد؟ علت نوسان روتور هنگام تغییر ناگهانی بار چیست؟

۱۳۲۶

دانشگاه تبریز

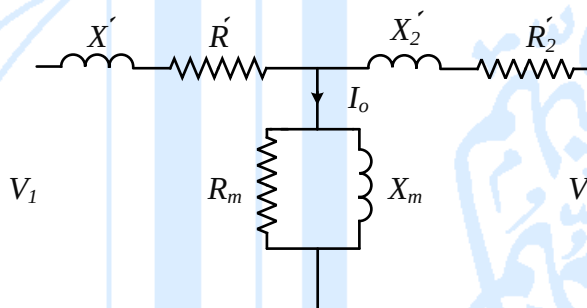
آزمایش ۴: نتایج آزمایش مدار باز و اتصال کوتاه ترانسفورماتور سه فاز و بررسی جریان هجومی

هدف آزمایش:

تعیین پارامترهای مدار معادل ترانسفورماتور با آزمایش‌های مدار باز و اتصال کوتاه، بررسی مشخصه مغناطیس‌شوندگی و مشاهده جریان هجومی هنگام وصل تغذیه.

مقدمه:

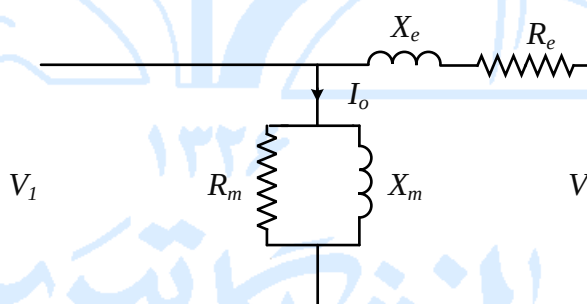
اگر مدار معادل هر فاز ترانسفورماتور را از دید اولیه بررسی کنیم، مدار به صورت زیر خواهد بود.



به طوریکه:

$$R_2' = R_2 \left(\frac{N_1}{N_2} \right)^2 \quad X_2' = X_2 \left(\frac{N_1}{N_2} \right)^2 \quad V_2' = V_2 \left(\frac{N_1}{N_2} \right)$$

مدار معادل بالا را می‌توان با کمی تقریب معادل مدار زیر فرض کرد:



که در مدار بالا:

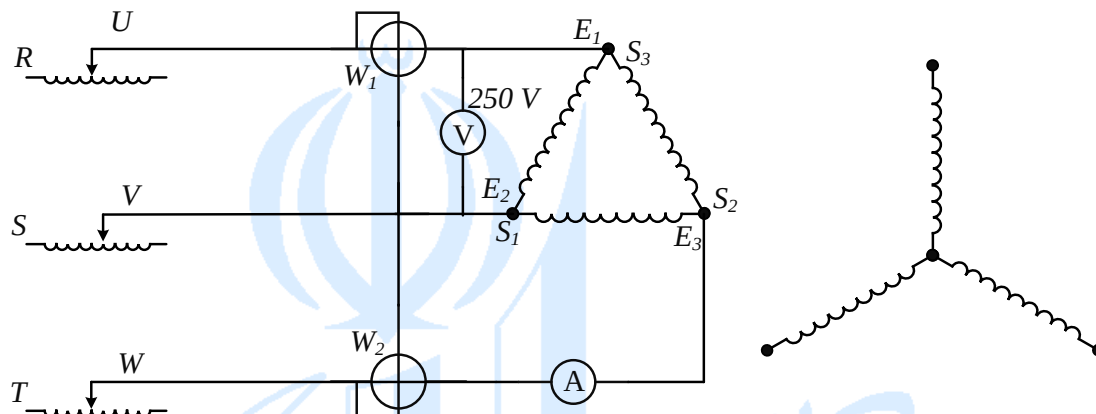
$$R_e = R_1 + R_2' \quad X_e = X_1 + X_2'$$

پارامترهای سری این مدار با استفاده از آزمایش اتصال کوتاه و پارامترهای موازی آن توسط انجام آزمایش مدار باز بدست می‌آیند. ترانسفورماتور مورد آزمایش یک ترانسفورماتور با ولتاژ 220 V / 220 V و توان ظاهری 4kVA است.

نحوه انجام آزمایش:

الف: آزمایش مدار باز

۱- مدار را مطابق شکل ببندید؛ ثانویه مدار باز است.



با قرائت کمیت‌های اندازه‌گیری شده و استفاده از روابط، مقادیر مقاومت (R_m) و راکتانس شاخه موازی (X_m) هر فاز را محاسبه کنید. توان کل برابر مجموع قرائت دو وات‌متر است. با صرف‌نظر از تلفات مس اولیه در این آزمایش، تلفات آهن هر فاز برابر یک‌سوم توان کل است.

$$P_o = W_1 \pm W_2$$

با صرف‌نظر از تلفات مس اولیه در این آزمایش، تلفات آهن هر فاز برابر یک‌سوم توان کل است. به این ترتیب خواهیم داشت:

$$\cos \varphi_0 = \frac{P_o}{\sqrt{3} U_1 I_o}$$

$$\begin{cases} I_w = \frac{I_o}{\sqrt{3}} \cos \varphi_0 \\ I_\mu = \frac{I_o}{\sqrt{3}} \sin \varphi_0 \end{cases} \quad \begin{cases} X_m = \frac{V_1}{I_\mu} = \frac{U_1}{\sqrt{3} I_\mu} \\ R_m = \frac{V_1}{I_w} = \frac{U_1}{\sqrt{3} I_w} \end{cases}$$

۲- ولتاژ اعمال شده را به صفر برگردانید. سپس آن را از صفر تا ۱/۲ برابر ولتاژ نامی تغییر دهید و جدول را تکمیل کنید.

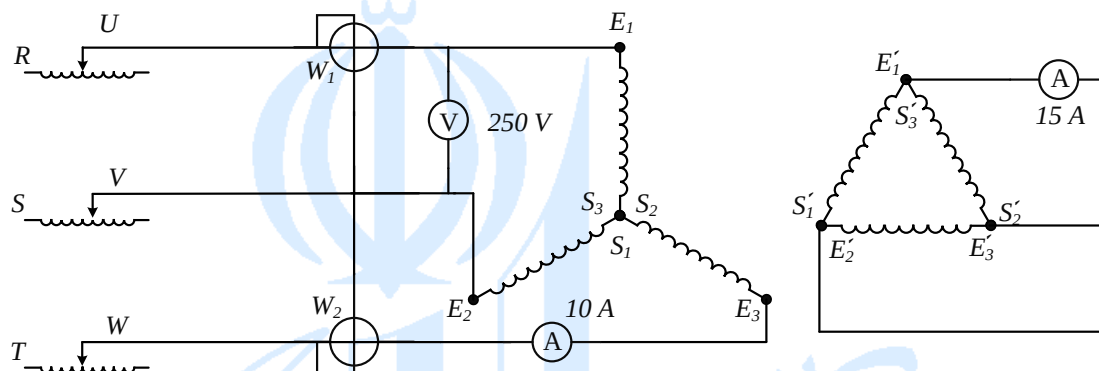
U_1	
I_o	
W_1	
W_2	
P_o	
I_μ	

با تکمیل جدول، منحنی‌های $I_o(U_1)$, $P_o(U_1)$, $V_1(I_\mu)$ را رسم کنید.

ب. آزمایش اتصال کوتاه:

۱- مدار را مطابق شکل ببندید.

ولتاژ اعمال شده را به آرامی و به مقدار کم افزایش دهید تا جریان نامی در اولیه و ثانویه برقرار شود. مقادیر متناظر جریان، ولتاژ و قرائت دو وات متر را یادداشت کنید.



توان جذب شده از شبکه در ترانسفورماتور تلف می شود و برابر مجموع تلفات مس اولیه، مس ثانویه و آهن است. چون تلفات آهن در مقایسه با تلفات مس بسیار ناچیز است، می توان توان جذب شده را برابر مجموع تلفات مس اولیه و ثانویه گرفت. لذا خواهیم داشت:

$$R_e = \frac{P_{sc}}{3I_{sc}^2} \quad Z_e = \frac{U_{sc}}{\sqrt{3}I_{sc}} \quad X_e = \sqrt{Z_e^2 - R_e^2}$$

با استفاده از روابط، مقاومت و راکتانس معادل را محاسبه کنید و مقادیر را به درصد یا پریونیت تبدیل کنید.

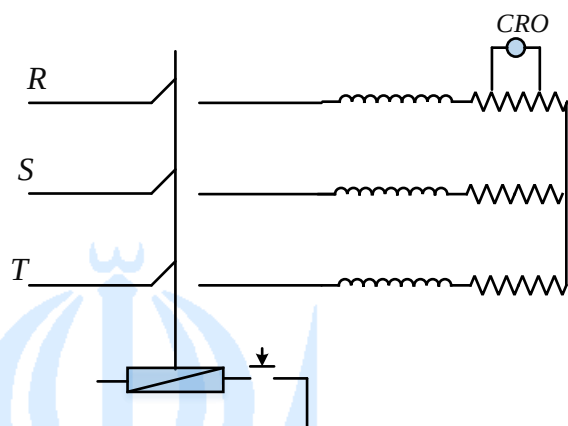
$$Z_e(p.u) = Z_e(\Omega) \frac{S(VA)}{U^2} \quad X_e(p.u) = X_e(\Omega) \frac{S(VA)}{U^2}$$

۲- مدار معادل تقریبی ترانس را از دید اولیه و ثانویه رسم و پارامترهای آن را تعیین کنید.

ج: مطالعه جریان هجومی

توجه: در بعضی قسمت های این آزمایش، هنگام کار با اسیلوسکوپ CRO ممکن است بدنه دستگاه دارای پتانسیل فاز باشد. از تماس هم زمان با آن و بدنه فلزی کلیدها و تجهیزات دیگر اکیداً خودداری کنید.

۲- مدار تصویر اصل صفحه را ببندید و اسیلوسکوپ را آماده ضبط کنید.



۳- با روشن کردن کنتاکتور، جریان هجومی را ضبط و بررسی کنید. آزمایش را چند بار تکرار کنید تا حالت‌های مختلف به دست آید. اسیلوسکوپ را چنان تنظیم کنید که دست کم ۳۰ تا ۴۰ سیکل دیده شود.

سوالات آزمایش:

- ۱- چرا در مدار باز از تلفات مس و در اتصال کوتاه از تلفات آهن صرف نظر می‌شود؟
- ۲- چرا رعایت علامت وات‌مترها و تفاوت کمیت‌های خط و فاز ضروری است؟
- ۳- چرا جریان هجومی در دفعات مختلف وصل یکسان نیست؟

۱۳۲۶

دانشگاه تبریز

آزمایش ۵: ترانسفورماتور Back to Back یا Sunpner

هدف آزمایش:

اندازه‌گیری تلفات آهن و مس دو ترانسفورماتور مشابه، برآورد بازده و افت ولتاژ و آشنایی با شبیه‌سازی شرایط گرم‌شدن در بار نامی، بدون استفاده از بار خارجی.

مقدمه:

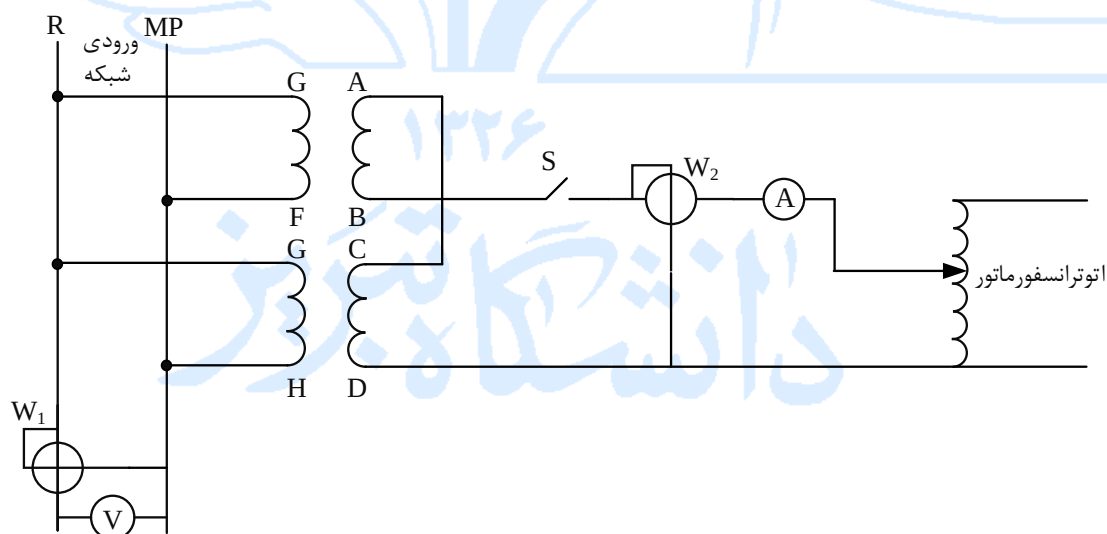
در آزمایش سامپنر، اولیه‌های دو ترانسفورماتور مشابه به صورت موازی به تغذیه نامی متصل می‌شوند و ثانویه‌ها به صورت سری و با ولتاژهای مخالف یکدیگر قرار می‌گیرند. در اتصال صحیح، پیش از تزریق ولتاژ کمکی، جریان گردشی ثانویه تقریباً صفر است.

با اعمال ولتاژ کمکی قابل تنظیم، جریان گردشی تا مقدار نامی افزایش می‌یابد. مؤلفه‌های بار جریان اولیه دو ترانس در محل اتصال مشترک تقریباً یکدیگر را خنثی می‌کنند؛ بنابراین، منبع اصلی عمدتاً تلفات آهن و منبع کمکی عمدتاً تلفات مس را تأمین می‌کند. در این وضعیت، شار و جریان سیم‌پیچ‌ها هم‌زمان نزدیک مقادیر نامی هستند.

برای آنکه مشخصات ماشین با شرایط واقعی کار آن تطبیق داشته باشد، مشخصات ترانسفورماتور را در زیر بار تعیین می‌کنند. آزمایش نام‌برده برای تعیین افت ولتاژ نسبی، ضریب بهره و گرم‌شدن ترانسفورماتور در زیر بار به کار می‌رود. انجام این آزمایش فقط هنگامی امکان‌پذیر است که دو ترانسفورماتور مشابه در اختیار داشته باشیم.

اولیه هر دو ترانسفورماتور را به یک شبکه تغذیه وصل می‌کنند. قطب‌های اتصال را به گونه‌ای انتخاب می‌کنند که پتانسیل نقاط A و C برابر و پتانسیل نقاط B و D نیز برابر باشد. در این شرایط، با اتصال A و C، جریانی از ثانویه‌ها عبور نمی‌کند و وضعیت مانند بی‌باری است.

اگر کلید S باز باشد، از اولیه هر ترانسفورماتور فقط جریان بی‌باری آن عبور می‌کند. جریان شبکه برابر مجموع جریان‌های بی‌باری و قرائت وات‌متر W برابر مجموع تلفات آهن دو ترانسفورماتور است؛ یعنی دو برابر تلفات آهن هر یک از آن‌ها.



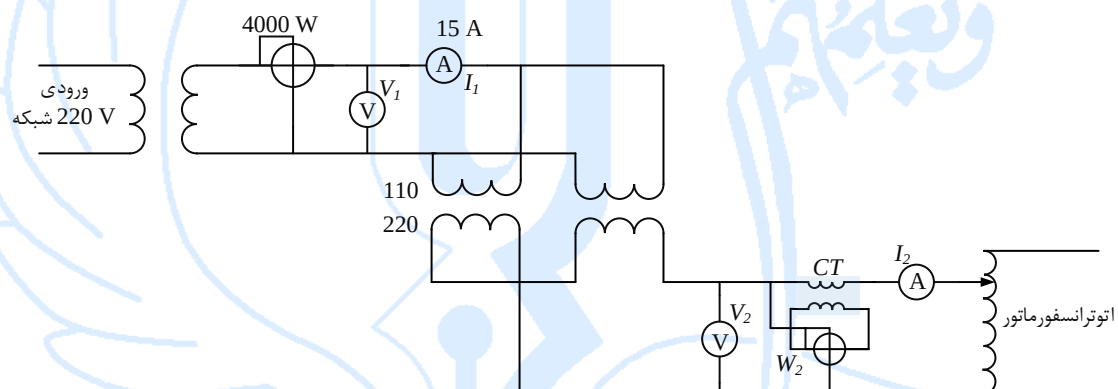
حال سیم‌پیچ ثانویه ترانسفورماتورها را مطابق شکل، به کمک ترانسفورماتور دارای ولتاژ ضعیف قابل تنظیم T (اتوترانسفورماتور) تغذیه کنید. ولتاژ را چنان تنظیم کنید که جریان نامی از ثانویه‌ها (I_{2n}) بگذرد. در این صورت جریان نامی ثانویه و جریان متناظر آن در اولیه‌ها (I_{1n}) جاری می‌شود.

جریان نامی اولیه از بوبین‌های اولیه می‌گذرد، ولی از مسیر وات‌متر W عبور نمی‌کند؛ زیرا سیم‌های JG و MF مسیر کم‌مقاومت‌تری برای بسته‌شدن آن فراهم می‌کنند. بنابراین جریان عبوری از W همچنان مجموع جریان‌های بی‌باری دو ترانسفورماتور ($2I_0$) است.

با وجود عبور جریان نامی در ثانویه، وات‌متر W تلفات مس دو ترانسفورماتور را نشان می‌دهد. این تلفات، تلفات ژولی سیم‌پیچ‌ها در شرایط گرم‌شدن سیم‌ها و بدنه است. مشخصات هر ترانسفورماتور 5 kVA و 220/110 V ولت است. جریان طرف فشار قوی حدود 22.5 A و جریان طرف فشار ضعیف حدود 45 A است. با توجه به کم‌بودن جریان نامی اتوترانسفورماتورهای آزمایشگاه، بهتر است اولیه ترانس 110 V و ثانویه آن 220 V انتخاب شود.

نحوه انجام آزمایش:

۱- مدار را مطابق شکل ببندید.



۲- ولتاژ خروجی اتوترانسفورماتور را از صفر افزایش دهید تا جریان نامی از ترانسفورماتورها عبور کند. برای مقادیر مختلف جریان، تلفات مس را به دست آورید و در جدول بنویسید. توان‌های اندازه‌گیری شده مربوط به تلفات مس و آهن هر دو ترانسفورماتور است؛ چون دو ترانس مشابه‌اند، می‌توان تلفات هر یک را تعیین کرد.

V_1	I_1	W_1	V_2	I_2	W_2	$P_{out}(V_{in}=220V)$		$P_{in}=P_{out}+W_1+W_2$	
						$\cos\phi=1$	$\cos\phi=0.8$	$\cos\phi=1$	$\cos\phi=0.8$

سوالات آزمایش:

- ۱- چرا دو ترانسفورماتور باید مشابه باشند؟
- ۲- آزمایش سامپنر نسبت به بارگذاری مستقیم چه مزیتی دارد و چرا برای بررسی گرم شدن مناسب است؟
- ۳- چرا با وجود جریان نزدیک به نامی در سیم پیچ ها، جریان منبع اصلی کوچک باقی می ماند؟
- ۴- اگر ولتاژهای ثانویه به جای مخالفت، با یکدیگر جمع شوند، چه اتفاقی می افتد؟

۱۳۲۶

دانشگاه تبریز

آزمایش ۶: آزمایش اتصال کوتاه و مدار باز ژنراتور سنکرون

هدف آزمایش:

هدف از این دو آزمایش تعیین امپدانس سنکرون و در نتیجه رگلاسیون ولتاژ با استفاده از مشخصه‌های مدار باز و اتصال کوتاه می‌باشد.

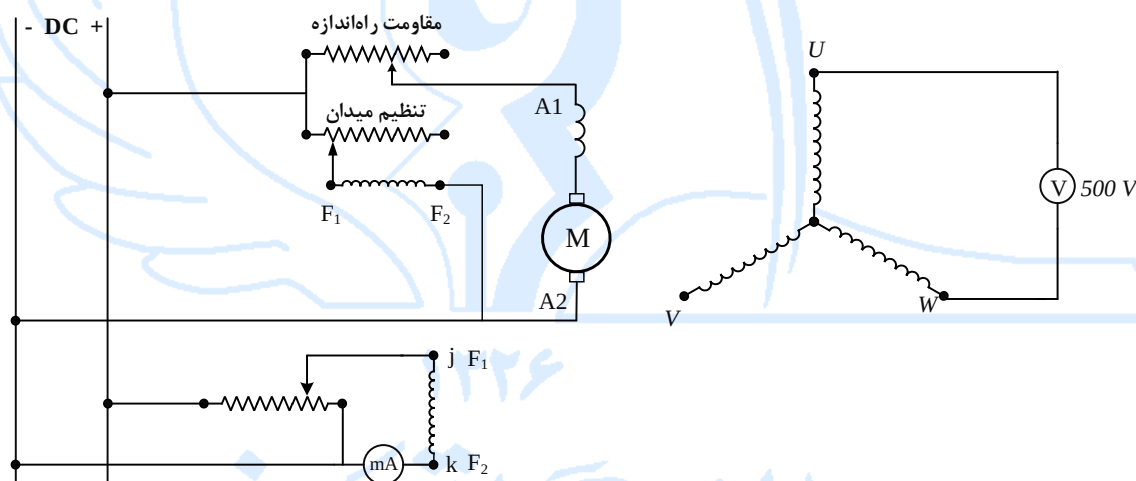
مقدمه:

مشخصه مدار باز بیانگر تغییرات ولتاژ ترمینال‌های ماشین بر حسب جریان تحریک در حالت بی‌باری و سرعت نامی ماشین می‌باشد که در این حالت ولتاژ القاء شده منحصراً بطور مستقیم متناسب با فلوی قطب‌ها در نتیجه متناسب با جریان تحریک است.

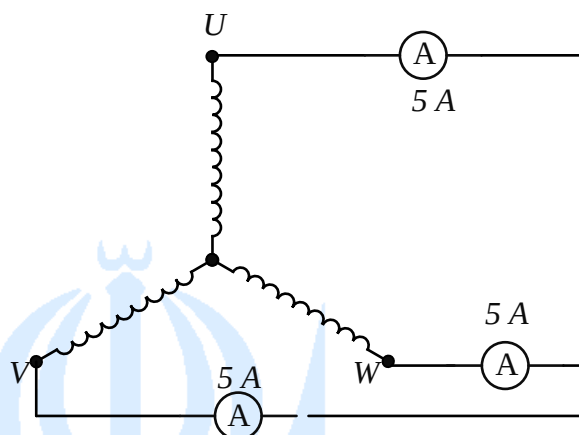
مشخصه اتصال کوتاه جریان آرمیچر را به صورت تابعی از جریان تحریک نشان می‌دهد در شرایطی که ژنراتور در اتصال کوتاه متقارن باشد. در این حالت جریان آرمیچر بستگی به امپدانس داخلی ماشین (مقاومت و راکتانس نشتی) و عکس‌العمل آرمیچر دارد. به علت پس‌فاز بودن جریان به اندازه 90° ، عکس‌العمل آرمیچر کاملاً مغناطیس‌زدا بوده در نتیجه بخاطر اینکه منحنی مغناطیسی به حالت اشباع نمی‌رسد مشخصه اتصال کوتاه یک خط مستقیم می‌باشد.

نحوه انجام آزمایش:

آزمایش مدار باز: مدار شکل زیر را ببندید و موتور محرک اولیه را راه‌اندازی کنید و با تنظیم سرعت آن، سرعت ژنراتور را به سرعت سنکرون برسانید. سپس با اعمال جریان‌های تحریک متفاوت مقدار نیروی محرکه تولید شده مدار باز را یادداشت نمایید.



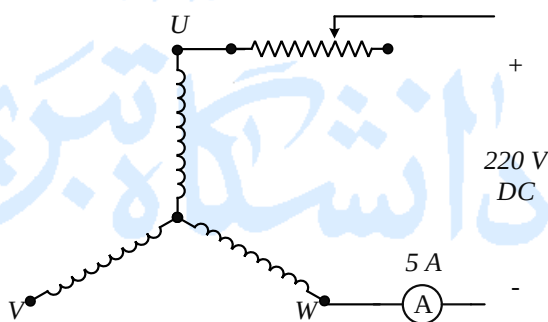
آزمایش اتصال کوتاه: در این آزمایش خروجی ژنراتور را مطابق شکل اتصال کوتاه کرده و سرعت روتور را توسط محرک اولیه به سرعت سنکرون برسانید سپس با تغییر جریان تحریک جداول زیر را پر کنید.



I_f	
I_{sc}	

اندازه‌گیری X_s :

۱. روش Source: با استفاده از دو آزمایش فوق به‌ازای I_f های مساوی، نسبت E/I_{sc} را تشکیل داده مقادیر به‌دست آمده، مقدار Z_s را بر حسب I_f نشان می‌دهد.
۲. روش Sink: در این روش مقدار Z_s فقط برای یک نقطه‌کار مشخص به‌دست می‌آید. در این روش در تحریک صفر ماشین درحالی‌که استاتور ژنراتور با یک ولتاژ سه‌فاز تغذیه می‌شود سرعت آن را توسط محرک اولیه به سرعت سنکرون برسانید، نسبت ولتاژ به جریان همان Z_s است (در ولتاژهای پایین Z_s اشباع نشده و خطی است و برای ولتاژهای بالا Z_s اشباع شده می‌باشد).
۳. امپدانس که به روش ترسیمی با رسم منحنی بر مسئله‌ی $E(I_f)$ از روش Source به‌دست می‌آید با امپدانس روش Sink مقایسه کنید.
۴. مطابق شکل زیر با اعمال ولتاژ DC به آرمیچر مقاومت اهمی DC آن را اندازه‌گیری کنید.



حال مقدار راکتانس سنکرون را با استفاده از رابطه زیر به دست آورده:

$$X_s = \sqrt{Z_s^2 - R_{AC}^2} \quad R_{AC} = 1.05 R_{DC}$$

و با رسم دیاگرام برداری، رگلاسیون ولتاژ را برای بار کامل با احتساب $\cos\phi=0.8$ محاسبه نمایید.

سوالات آزمایش:

۱- چرا مشخصه مدار باز غیر خطی و مشخصه اتصال کوتاه تقریباً خطی است؟

۲- چرا در روش Source باید جریان تحریک دو آزمایش یکسان باشد؟

۳- رگلاسیون در بارهای پس فاز و پیش فاز چه تفاوتی دارد؟



آزمایش ۷: بررسی عملکرد و خودتحریکی ژنراتور القایی سه فاز

هدف آزمایش:

بررسی عملکرد ژنراتور القایی متصل به شبکه، خودتحریکی با خازن و تأثیر سرعت، ظرفیت خازن و بار بر ولتاژ خروجی.

مقدمه:

ماشین القایی متصل به شبکه، با افزایش سرعت روتور به بیش از سرعت سنکرون، وارد حالت ژنراتوری می‌شود و توان اکتیو به شبکه تحویل می‌دهد. توان راکتیو لازم برای مغناطیس‌کنندگی از شبکه یا خازن‌ها تأمین می‌شود. در حالت مستقل، خازن‌ها تحریک لازم را فراهم می‌کنند و ولتاژ و فرکانس به سرعت، ظرفیت خازن و بار وابسته‌اند.

سرعت سنکرون و لغزش در یک موتور القایی برابر است با:

$$n_s = \frac{120 f}{p}$$
$$s = \frac{n_s - n_m}{n_s} \quad n_m > n_s \rightarrow s < 0$$

اندازه توان راکتیو تأمین‌شده توسط سه خازن یکسان:

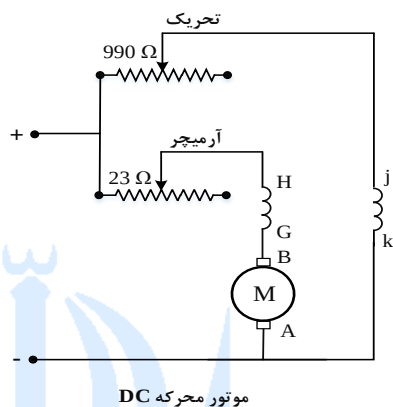
$$Q_c = 3(2\pi f)CV_c^2$$

پسماند مغناطیسی در شروع خودتحریکی نقش دارد؛ اما افت ولتاژ زیر بار فقط ناشی از پسماند ضعیف نیست و به ظرفیت خازن، سرعت و مشخصات ماشین نیز بستگی دارد. برای رسم دیاگرام برداری، جریان بار اهمی با ولتاژ هم‌فاز و جریان خازن نسبت به ولتاژ دو سر آن، ۹۰ درجه پیش‌فاز است.

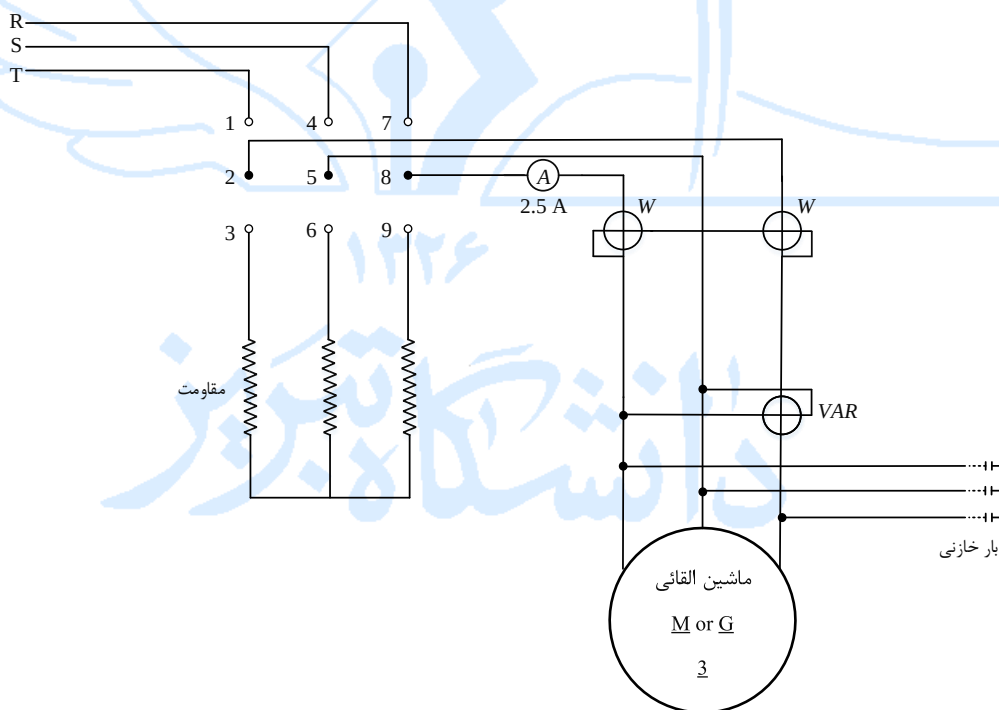
نحوه انجام آزمایش:

۱. مدار موتور DC و ماشین القایی را به صورت زیر ببندید:

- موتور DC را روشن نموده و جهت حرکت آنرا مشخص نموده و آنرا خاموش نمایید.
- کلید دوطرفه را در وضعیت یک قرار داده و ماشین القایی را به صورت موتور القایی راه‌اندازی کنید و جهت آنرا مشخص کنید؛ اگر جهت حرکت آن با موتور DC یکسان باشد، موتور محرک را آماده حرکت کنید.
- اگر جهت حرکت، مخالف جهت حرکت موتور DC باشد، بعد از خاموش کردن، جای دوفاز موتور را عوض نمایید.



۲. موتور DC را روشن نموده و سرعت آن را به حدود ۱۴۵۰ دور در دقیقه برسانید و موتور القایی را هم روشن کنید، سپس سرعت موتور را تا حداکثر افزایش دهید که واتمتر منفی نشان دهد.
 ۳. خازن‌ها را وارد مدار نموده به طوری که VAR هم منفی نشان دهد؛ در این صورت کلید را به وضعیت ۲ برده و موتور به ژنراتور تبدیل می‌شود.
 ۴. با تغییر سرعت موتور محرک و همچنین تغییر مقدار خازن، ولتاژ تولیدی ژنراتور را به حدود ۴۰۰ ولت تنظیم کنید و سپس بار اهمی در نظر گرفته شده را به تدریج وارد مدار نموده و منحنی برداری را رسم کنید.
 ۵. پس از خاتمه آزمایش، موتور محرک (موتور DC) را خاموش کنید بدون اینکه خازن را از مدار خارج کنید؛ مجدداً موتور محرک را روشن نموده و نحوه خودتحریک شدن ژنراتور القایی را بررسی نمایید.
- توجه: به علت اینکه موتور القایی دارای پسماند مناسب نبوده، افت ولتاژ ژنراتور القایی تحت بار مقداری زیاد می‌باشد.



سوالات آزمایش:

- ۱- چرا سرعت روتور در حالت ژنراتوری از سرعت سنکرون بیشتر است؟
- ۲- خازن‌ها چه نقشی در خودتحریکی دارند و تغییر ظرفیت آن‌ها چه اثری بر ولتاژ دارد؟



آزمایش ۸: کار موازی دو ژنراتور سنکرون

هدف آزمایش:

آشنایی با شرایط اتصال موازی دو ژنراتور سنکرون و بررسی روش‌های سنکرون کردن با لامپ و سنکرونسکوپ.

مقدمه:

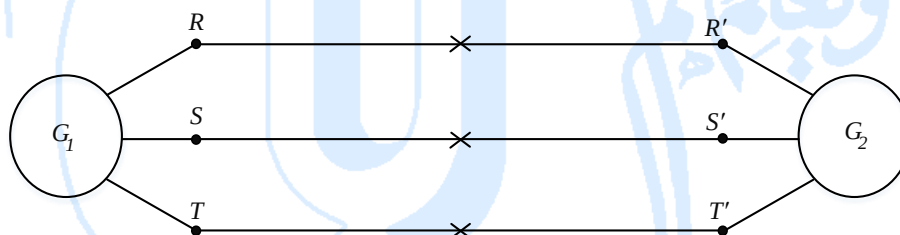
دو ژنراتور سنکرون را وقتی می‌توان با هم موازی کرد که دارای شرایط زیر باشند:

(الف) ترتیب فاز یکسان. (ب) هم‌فاز بودن ولتاژهای خروجی (برای فازهای مشابه). بدیهی است در این صورت فرکانس‌های دو ژنراتور نیز باید مساوی باشند. (ج) ولتاژهای انتهائی مساوی.

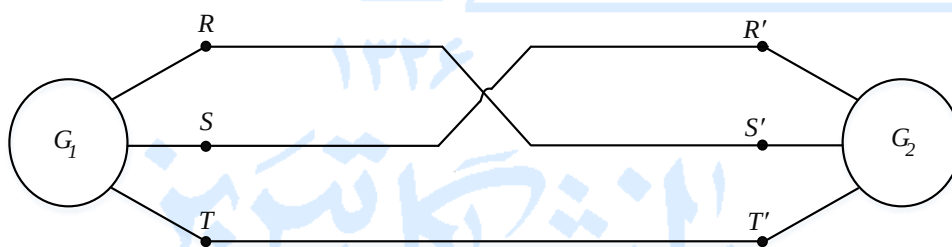
(الف) برای تشخیص ترتیب فاز روش‌های مختلفی وجود دارد از جمله استفاده از یک نوع خاص موتور آسنکرون که با تغییر ترتیب فاز جهت چرخش آن عوض می‌شود.

(ب) بعد از یکسان کردن ترتیب فاز دو ژنراتور، به یکی از روش‌های زیر هم‌فاز بودن ولتاژها را می‌توان تشخیص داد:

۱. با استفاده از لامپ‌های حالت خاموش: مطابق مداري که در زیر داده شده است، اگر ولتاژهای خروجی دو ژنراتور هم‌فاز باشند هر سه لامپ خاموش خواهد بود (البته در صورت مساوی بودن ولتاژهای خروجی و در غیر این صورت هر سه با دور کم ولی مساوی روشن خواهد شد).



۲. استفاده از لامپ حالت روشن: در این صورت از مدار زیر استفاده می‌شود؛ در صورت هم‌فاز بودن، دو لامپ بالایی روشن و لامپ پایینی خاموش خواهد شد (البته در صورت مساوی بودن ولتاژهای انتهائی ژنراتورها).



۳. استفاده از سنکرونسکوپ: که اختلاف فاز بین ولتاژهای مشابه (R, S) و (R', S') را نشان می‌دهد؛ بنابراین اگر این دو ولتاژ هم‌فاز باشند عقربه روی صفر و در غیر این صورت در یکی از دو جهت منحرف می‌شود.

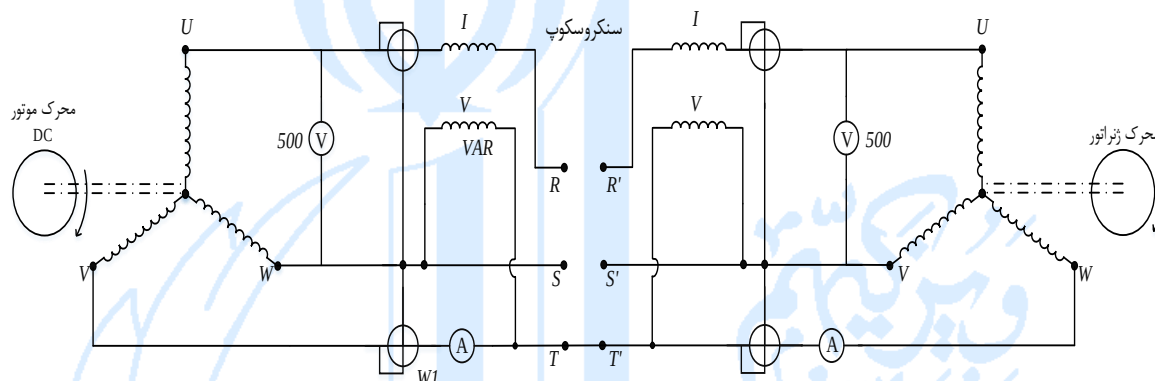
(ج) مساوی بودن ولتاژهای انتهائی: به وسیله ولت‌متر تشخیص داده می‌شود.

شرح آزمایش:

۱. مشخصات ژنراتورهایی که در اینجا به طور موازی اتصال داده خواهند شد عبارتند از:

ولتاژ نامی	سرعت	فرکانس	محرك اولیه ژنراتور
380 V	1500 rpm	50 Hz	موتور آسنکرون (سرعت قابل تغییر)
380 V	1500 rpm	50 Hz	موتور دالاندر / دالاندر-شنت (سرعت قابل تغییر)

۲. مدار را به صورت شکل زیر ببندید:



۳. ترتیب فازها را بررسی کنید. در صورت اختلاف، پس از توقف ماشین و قطع تغذیه، جای دو فاز خروجی یکی از ژنراتورها را عوض کنید.

۴. مدار لامپ‌های خاموش، دو روشن و یک خاموش یا سنکرونسکوپ را مطابق شکل مربوط بررسی کنید. سرعت ژنراتور دوم را طوری تنظیم کنید که تغییر روشنایی لامپ‌ها یا چرخش عقربه بسیار آهسته شود. تغییر سیم‌بندی فقط در حالت قطع تغذیه انجام شود.

۵. پس از احراز تمام شرایط سنکرون شدن، کلید موازی را در لحظه مناسب و مطابق دستور دستگاه ببندید. وضعیت لامپ‌ها، عقربه و قرائت ابزارها را ثبت کنید.

۶. در پایان، ابتدا کلید اتصال موازی را باز کرده و سپس ماشین‌ها را خاموش کنید.

سوالات آزمایش:

۱- چرا برابری ولتاژ و فرکانس، به تنهایی برای اتصال موازی کافی نیست؟

۲- جهت و سرعت چرخش عقربه سنکرونسکوپ چه اطلاعاتی می‌دهد؟

۳- اتصال ژنراتورها با اختلاف فاز یا ترتیب فاز نادرست چه پیامدی دارد؟

آزمایش ۹: اتصالات مختلف ترانسفورماتورهای سه فاز و روش موازی کردن آنها

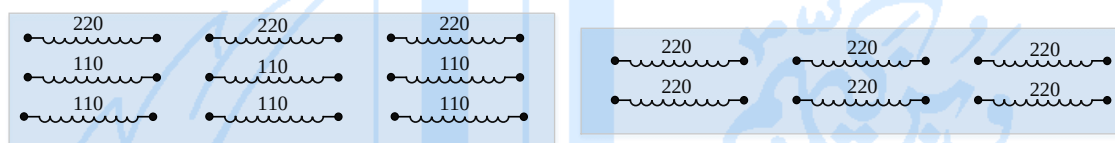
هدف آزمایش:

بررسی اتصالات ستاره-ستاره، ستاره-مثلث و ستاره-زیگزاگ، تعیین گروه برداری، مطالعه اثر نول در بار نامتعادل و موازی کردن دو ترانسفورماتور.

مقدمه:

اتصال داخلی ترانسفورماتور سه فاز، برحسب مورد استفاده، به یکی از حالت‌های مثلث-مثلث، ستاره-مثلث، ستاره-ستاره یا زیگزاگ-ستاره انجام می‌شود.

توان هر دو ترانسفورماتور مورد آزمایش در اینجا 4 kVA است. ترتیب قرارگرفتن ترمینال‌های خروجی آن‌ها در تصویر زیر نشان داده شده است.



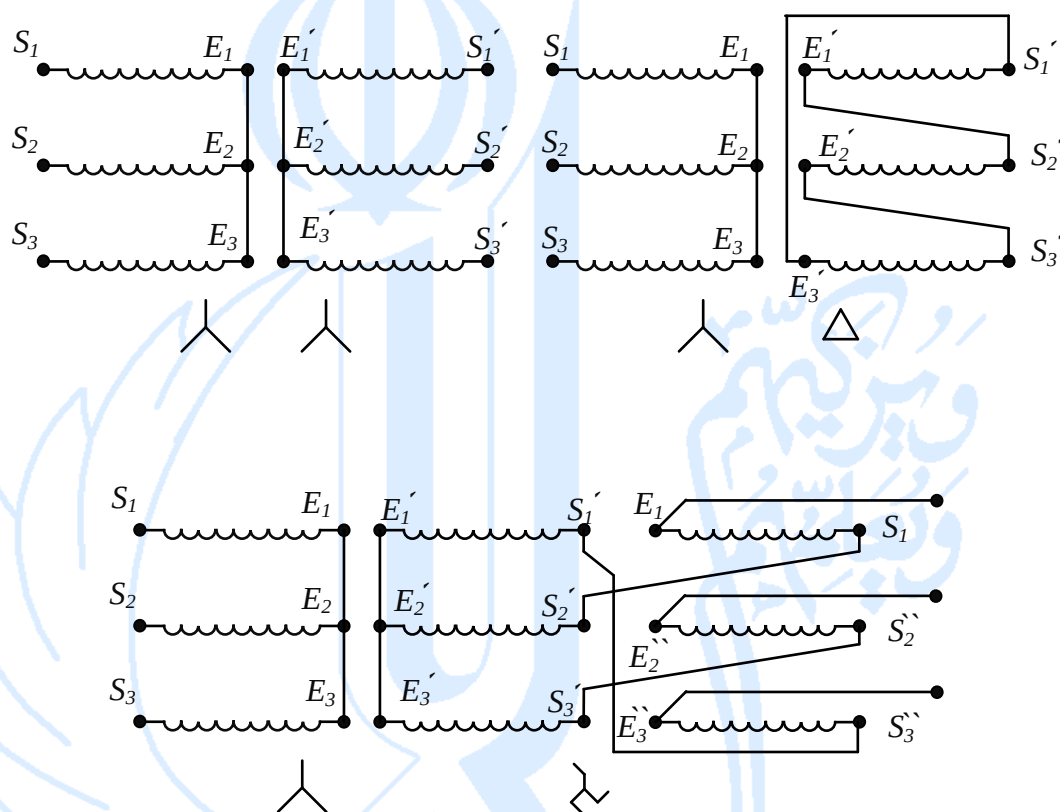
اعداد نوشته شده روی پلاک‌ها، ولتاژهای نامی هر سیم‌پیچ هستند. با توجه به ولتاژهای نامی ترانس‌ها، اتصال مثلث-مثلث برای شبکه برق شهر 380/220 V ولت امکان‌پذیر نیست؛ بنابراین اتصالات دیگر انجام می‌شود.

شرح آزمایش:

- ۱- یکی از ترانس‌ها را به صورت ستاره-ستاره اتصال دهید. آیا بدون امتحان کردن ولتاژهای خروجی می‌توان از صحت اتصال اطمینان حاصل کرد؟
- ۲- پس از یافتن اتصال صحیح، گروه ترانس را تعیین کنید. گروه آن Yy_0 یا Yy_6 خواهد بود که با تغییر جهت سیم‌پیچ‌های یک طرف به یکدیگر تبدیل می‌شوند.
- ۳- از ترانس ستاره-ستاره، یک‌بار با سیم نول و بار دیگر بدون سیم نول در اولیه، بار تک‌فاز از ثانویه بگیرید و تغییرات ولتاژ بار را در دو حالت بررسی کنید.
- ۴- ترانس دیگر را نیز به صورت ستاره-ستاره اتصال دهید؛ به گونه‌ای که با تغذیه از همان ترتیب فاز، گروه آن با ترانس اول یکسان باشد.
- ۵- نسبت تبدیل هر دو ترانس را با ولت‌متر به دقت به دست آورید و مقایسه کنید.
- ۶- پس از بررسی هم‌گروه بودن و برابری نسبت تبدیل، ترمینال‌های متناظر ثانویه را به ولت‌مترهای مناسب وصل کنید. ولتاژهای T_1-T_2 و S_1-S_2 را اندازه بگیرید. اگر هر سه صفر باشند، دو ترانس آماده موازی شدن هستند. این کار را با تابلوی کنتاکتور سه فاز انجام دهید.
- ۷- مدار را باز کنید و یکی از ترانسفورماتورها را به صورت ستاره-مثلث اتصال دهید. پیش از وصل برق، از صفر بودن ولتاژ حلقه ثانویه مطمئن شوید. اتصال مثلث را از یک نقطه باز کرده، ولت‌متر 500 V را دو سر آن قرار دهید و کلید سه فاز را روشن کنید. اگر ولتاژ حلقه صفر باشد، جهت‌ها صحیح است؛ در غیر این صورت باید جهت یکی از سیم‌پیچ‌ها تغییر کند.

۸- گروه ترانسفورماتور را با رسم دیاگرام برداری پیش‌بینی کنید و با اندازه‌گیری ولتاژهای فاز و نول طرف اولیه و ثانویه و ولتاژ بین فازهای مشابه در اولیه و ثانویه، آن را بررسی کنید.

۹- ترانسفورماتوری که قابلیت اتصال ستاره-زیگزاگ دارد را انتخاب کنید و اتصال آن را به همان صورت ستاره-زیگزاگ ببینید. بار نامتعادل تک‌فاز از ثانویه بگیرید و تقسیم جریان در سه فاز ورودی را بررسی کنید. این عمل را یک‌بار با سیم نول و بار دیگر بدون آن، در اتصال قابل استفاده انجام دهید و تغییرات ولتاژ بار را بررسی کنید.



سؤالات آزمایش:

۱- آیا بدون اندازه‌گیری ولتاژها می‌توان از صحت اتصال ستاره-ستاره مطمئن شد؟

۲- بستن حلقه مثلث با ولتاژ اختلافی غیرصفر چه پیامدی دارد؟

۳- قطع نول اولیه چه اثری بر ولتاژ بار نامتعادل در اتصالات ستاره-ستاره و ستاره-زیگزاگ دارد؟

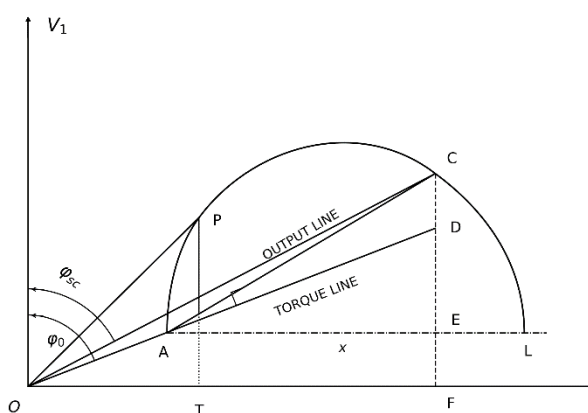
آزمایش ۱۰: دیاگرام دایره‌ای موتور آسنکرون

هدف آزمایش:

رسم دیاگرام دایره‌ای، برآورد مشخصه‌های عملکرد موتور و تعیین پارامترهای مدار معادل از آزمایش‌های بی‌باری، روتور قفل‌شده و مقاومت DC.

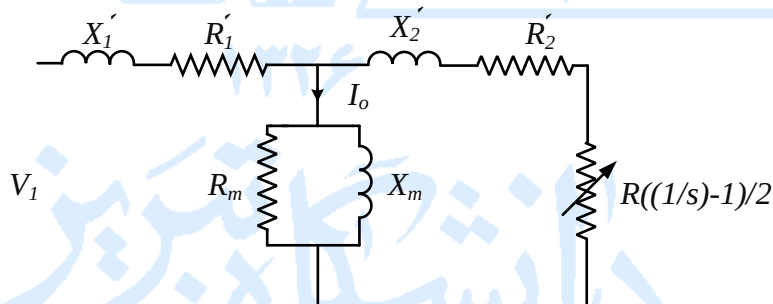
مقدمه:

دیاگرام دایره‌ای یکی از مهم‌ترین مشخصه‌های ماشین آسنکرون است. با استفاده از آن و با داشتن قدرت خروجی، می‌توان کمیت‌هایی مانند گشتاور، لغزش، ضریب قدرت و راندمان را تعیین کرد. برای رسم دیاگرام، دانستن دو نقطه A و C کافی است. نقطه A مربوط به بی‌باری ماشین و نقطه C مشخص‌کننده حالت اتصال کوتاه یا روتور قفل‌شده است.



تعیین مدار معادل

مدار معادل کلی موتور آسنکرون برای یک فاز در شکل زیر نشان داده شده است.



توان جذب‌شده در بی‌باری شامل تلفات آهن، اصطکاک و باد، و تلفات مس است که مقدار آن کم است. با کم کردن تلفات مس استاتور از توان ورودی، مجموع تلفات مکانیکی و آهن به دست می‌آید.

$$P_{fe+rot} = P_o - 3I_o^2 R_1$$

در بی‌باری، به علت کم‌بودن لغزش، می‌توان شاخه روتور را باز فرض کرد. در این حالت، راکتانس ورودی برابر مجموع راکتانس ناشی استاتور و راکتانس مغناطیس‌کننده است. روابط مورد استفاده برای محاسبه این پارامترها و راکتانس اتصال کوتاه در ادامه آمده است.

$$X_{nl} = X_1 + X_m \quad X_{nl} = \frac{V_1}{I_o \sin \varphi_o}$$

در آزمایش اتصال کوتاه، لغزش برابر یک و مقاومت روتور کوچک است؛ بنابراین امپدانس معادل موازی شاخه مغناطیس‌کننده و روتور به امپدانس روتور نزدیک خواهد بود. چون ولتاژ اعمال‌شده نیز پایین است، جریان شاخه مغناطیس‌کننده قابل صرف‌نظر کردن است و راکتانس اتصال کوتاه برابر مجموع راکتانس‌های ناشی استاتور و روتور خواهد بود.

$$X_{sc} = X_1 + X'_2$$

اندازه‌گیری مقاومت‌های موتور

مقاومت DC (R_{DC}) استاتور را اندازه بگیرید. با ضریب ۱/۱۵، مقاومت AC ($R_{AC}=1.15R_{DC}$) را محاسبه کنید. با مشخص شدن مقاومت AC و تلفات مس، تلفات آهن از تفاضل توان بی‌باری، تلفات مس و تلفات مکانیکی به دست می‌آید. تلفات مکانیکی را می‌توان با برون‌یابی منحنی تعیین کرد.

$$P_{fe} = P_o - 3R_1 I_o^2 - P_{mech}$$

از منحنی توان برحسب ولتاژ که در قسمت قبلی بدست آوردید، تلفات مکانیکی را به دست آورید و بعد از آن مقاومت شاخه مغناطیس‌کننده را محاسبه کنید.

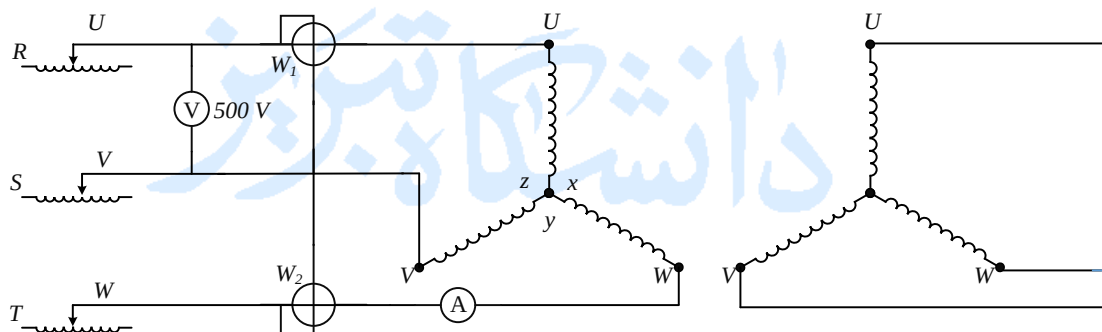
با استفاده از کمیت‌های اندازه‌گیری‌شده از آزمایش روتور قفل‌شده مقدار مقاومت ورودی در این حالت را به دست آورید و با در دست داشتن این کمیت‌ها و رابطه روبرو:

$$R_{in,LR} = R_1 + \frac{X_m^2}{(R'_2)^2 + (X_m + X'_2)^2}$$

که مقاومت مدار معادل در شاخه موازی روتور و شاخه مغناطیس‌کنندگی می‌باشد. مقدار مقاومت روتور محاسبه می‌گردد.

شرح آزمایش:

۱- مدار زیر را ببندید.



- ۲- ولتاژ را به تدریج تا مقدار نامی بالا ببرید تا موتور راه اندازی شود. کمیت‌های اندازه‌گیری شده در ولتاژ نامی را برای تعیین نقطه A یادداشت کنید.
- ۳- ولتاژ را در چند مرحله از ۱۱۰ درصد تا حدود ۲۰ تا ۳۰ درصد مقدار نامی پایین بیاورید. کمیت‌ها را در مراحل مختلف کاهش ولتاژ در جدول ثبت کنید. ثبت داده‌ها را فقط تا جایی ادامه دهید که سرعت ثابت باقی بماند.

V_L	
I_L	
$W_1 \pm W_2$	
$\cos \varphi$	

آزمایش اتصال کوتاه

- ۱- نقطه C مشخص‌کننده اتصال کوتاه ماشین در ولتاژ نامی است. مدار قبلی را به کار ببرید، اما در این آزمایش موتور باید ایستاده باشد؛ از حرکت روتور جلوگیری کنید.
- ۲- ولتاژ ورودی را چنان تنظیم کنید که جریان 13 A از موتور عبور کند. با اندازه‌گیری ولتاژ، جریان و توان جذب‌شده، مقادیر متناظر اتصال کوتاه را از روابط زیر به دست آورید.

$$\cos \varphi_{sc} = \frac{P_{sc}}{\sqrt{3} V_{Lsc} I_{Lsc}}$$

- الف) از نتایج دو آزمایش، دیاگرام دایره‌ای را رسم کنید و خطوط گشتاور، راندمان، لغزش و خروجی را تعیین کنید.
- ب) با استفاده از دیاگرام، منحنی تغییرات راندمان، لغزش، گشتاور و ضریب قدرت را برحسب توان خروجی در یک دستگاه مختصات رسم کنید.
- ج) تغییرات توان بی‌باری، جریان و ضریب قدرت را برحسب ولتاژ در یک دستگاه مختصات رسم کنید.
- د) مدار معادل کلی موتور آسنکرون برای یک فاز در شکل زیر نشان داده شده است.
- پس از محاسبه پارامترها، مدار معادل ماشین را با درج مقادیر رسم کنید.

سوالات آزمایش:

- ۱- چرا ضریب قدرت موتور در بی‌باری پایین است؟
- ۲- چرا برای تعیین تلفات مکانیکی، تلفات مس از توان بی‌باری کم می‌شود و سرعت باید تقریباً ثابت بماند؟
- ۳- چه فرض‌هایی باعث تقریبی بودن دیاگرام دایره‌ای و پارامترهای محاسبه‌شده می‌شوند؟

آزمایش ۱۱: مشخصه‌های بارداری و اتصال کوتاه ناگهانی ژنراتور سنکرون

هدف آزمایش:

بررسی اثر نوع بار بر ولتاژ ژنراتور و سرعت محرک، و مشاهده جریان گذرای ناشی از اتصال کوتاه ناگهانی..

مقدمه:

در سرعت و جریان تحریک ثابت، ولتاژ خروجی ژنراتور به مقدار و ضریب قدرت بار وابسته است. بار سلفی معمولاً افت ولتاژ بیشتری ایجاد می‌کند؛ در بار خازنی ممکن است ولتاژ افزایش یابد. نیاز مکانیکی محرک نیز به توان اکتیو بار و تلفات تأمین‌شده از محور وابسته است.

رابطه تقریبی فازی ژنراتور:

$$E_{\phi} = V_{\phi} + (R_a + jX_s)I_a$$

توان اکتیو خروجی برای بار متعادل سه‌فاز:

$$P_{out} = \sqrt{3}V_L I_L \cos \phi$$

اتصال کوتاه ناگهانی:

در اتصال کوتاه ناگهانی، جریان شامل مؤلفه متناوب با دامنه متغیر و مؤلفه DC می‌رست:

$$i_k(t) = i_{ac}(t) + I_{dc}e^{-t/T_s}$$

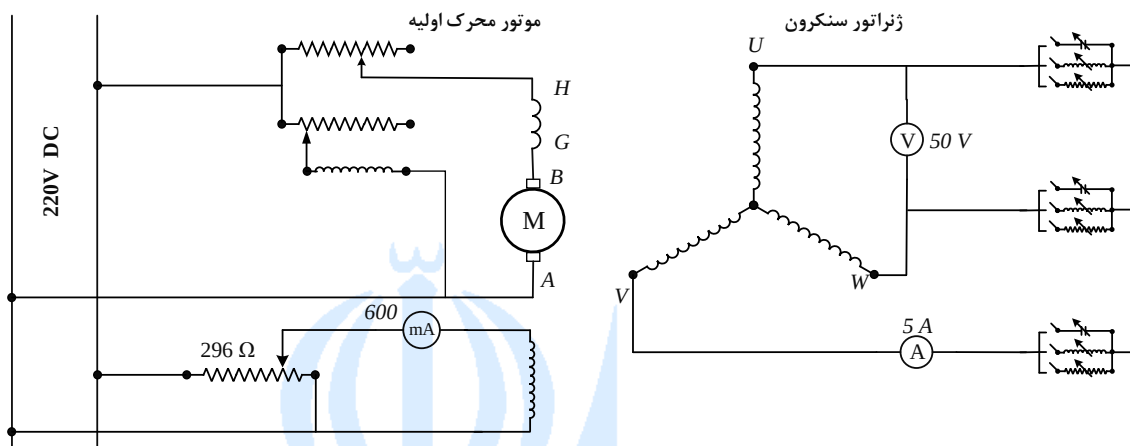
مقدار مؤثر اولیه مؤلفه متناوب، برای اتصال کوتاه سه‌فاز از حالت بی‌باری، تقریباً برابر است با:

$$I_k'' \approx \frac{E_{0,k}}{X_d''}$$

دامنه مؤلفه متناوب از حالت زیرگذرا به گذرا و سپس پایا تغییر می‌کند. مقدار اولیه مؤلفه DC به لحظه وقوع اتصال کوتاه نسبت به ولتاژ همان فاز وابسته است.

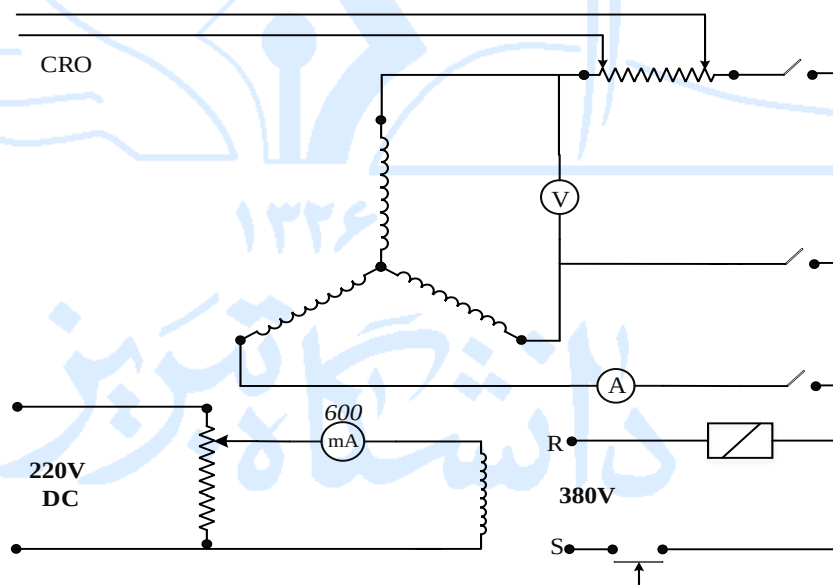
شرح آزمایش:

۱. با مطالعه پلاک موتور، آرایش مشخصات نامی آن را به دست آورید.
۲. محرک مکانیکی ماشین در اینجا یک موتور DC شنت است، مدار آن و نیز مدار ژنراتور سنکرون را مطابق شکل زیر ببینید:



۳. جریان تحريك ژنراتور را در صفر قرار داده، موتور DC را راه اندازی كنيد و سرعت آن را به سرعت سنكرون ماشين AC برسانيد. توجه داشته باشيد كه در تمامی مراحل آزمایش اين سرعت را بايد ثابت نگه داريد.
۴. در حالت بی بارى ژنراتور را تحريك كنيد و ولتاژ آن را به مقدار نامی خود برسانيد. در اين حالت سرعت موتور محرک به مقدار كمی افت می كند كه بايد جبران نمائيد. علت اين افت سرعت چیست؟
۵. ژنراتور را از صفر تا حداكثر مقدار مجاز خود به تدریج بار داده كرده و نتايج مهم را (ولتاژ و جريان) برای هر حالت بار (R, L, C, RL, RC) در جدول مربوطه خود در صفحه بعد بنويسيد. بدیهی است سرعت ماشين موقع قرائت دستگاهها بايد در مقدار سنكرون خود باشد.
۶. علت متفاوت بودن افت سرعت موتور در بارهای R و L و C حتی در جريانهای بار مساوی چیست؟

آزمایش اتصال کوتاه ناگهانی:



۱. در حالت تحريك صفر، ژنراتور، موتور محرک را روشن كرده و سرعت آن را به سنكرون برسانيد و سپس جريان تحريك ژنراتور را طوری تنظيم كنيد تا ولتاژ نامی خود را در مدار باز توليد نماييد.

۲. چنانچه در شکل مدار معلوم است با فشار دادن شستی، کنتاکتور عمل کرده و ژنراتور را اتصال کوتاه می‌کند. اسیلوسکوپ را آماده ضبط نموده و یکاهای مختلف آن را به‌صورت زیر تنظیم کنید: سرعت جاروب کردن روی $50 \frac{\text{msec}}{\text{cm}}$ ، کلید (Attenuator) V/cm روی $20 \frac{\text{mV}}{\text{cm}}$ ، تریگر روی حالت غیراتوماتیک و int (اطلاعات دیگر توسط مسئول آزمایشگاه داده خواهد شد).

۳. کلید Write اسیلوسکوپ را فشار داده و سپس شستی ز فشار دهید و حداقل تا یک‌بار جارو شدن صفحه اسیلوسکوپ آن را بسته نگه دارید.

۴. شکل موج ضبط شده در حافظه را از آن خارج کرده و آن را رسم نمایید.

۵. قسمت ۱۲ را چندین بار تکرار کرده و در هر بار شکل موج‌ها را رسم کنید.

۶. علت متفاوت بودن شکل موج‌های رسم شده چیست و اصولاً تابع چه پارامترهایی است؟

۷. بزرگترین پیک جریان اتصال کوتاه در چه حالتی پدید می‌آید؟ بیشترین مقدار مؤلفه DC (که میرا است) در چه صورت پیش خواهد آمد؟

۸. در صورتی که بخواهید چند شکل مختلف را بطور همزمان مشاهده کنید، سرعت جارو کردن را کمتر کرده ($20 \frac{\text{msec}}{\text{cm}}$) ولی یک‌بار جارو شدن صفحه اسیلوسکوپ عمل اتصال کوتاه را چندین بار تکرار کنید.

سوالات آزمایش:

۱. چنانچه می‌دانید جریان اتصال داخل ژنراتور سنکرون به‌صورت ستاره است و این اتصال عموماً در ماشین‌های سنکرون به کار گرفته شود، علت آن را توضیح دهید.

۲. علت افت سرعت محرک هنگام افزایش تحریک ژنراتور در بی‌باری چیست؟

۳. مؤلفه DC جریان یک فاز در چه لحظه‌ای از موج ولتاژ آن فاز بیشینه می‌شود و چه اثری بر بزرگ‌ترین پیک جریان دارد؟

۴. تفاوت شکل موج‌های اتصال کوتاه تکرار شده ناشی از چیست و به چه پارامترهایی وابسته است؟

آزمایش ۱۲: اندازه‌گیری راکتانس‌های معکوس و هموپلر و راکتانس‌های عرضی و طولی برای ماشین سنکرون

هدف آزمایش:

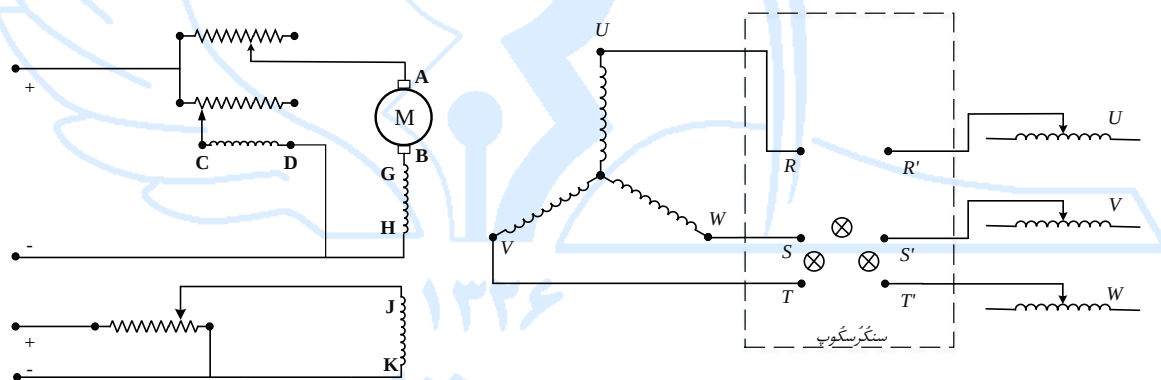
تعیین راکتانس مؤلفه معکوس، اندازه‌گیری راکتانس‌های طولی و عرضی به روش لغزش و آشنایی با روش اندازه‌گیری راکتانس مؤلفه صفر یا هموپلر.

مقدمه:

راکتانس معکوس (X_2) بیانگر رفتار ماشین در برابر جریان‌های با ترتیب فاز معکوس و راکتانس هموپلر (X_0) مربوط به جریان‌های سه‌فاز هم‌فاز است. راکتانس‌های طولی (X_d) و عرضی (X_q) نیز به مسیر شار در راستای محور قطب و محور بین قطب‌ها مربوط‌اند.

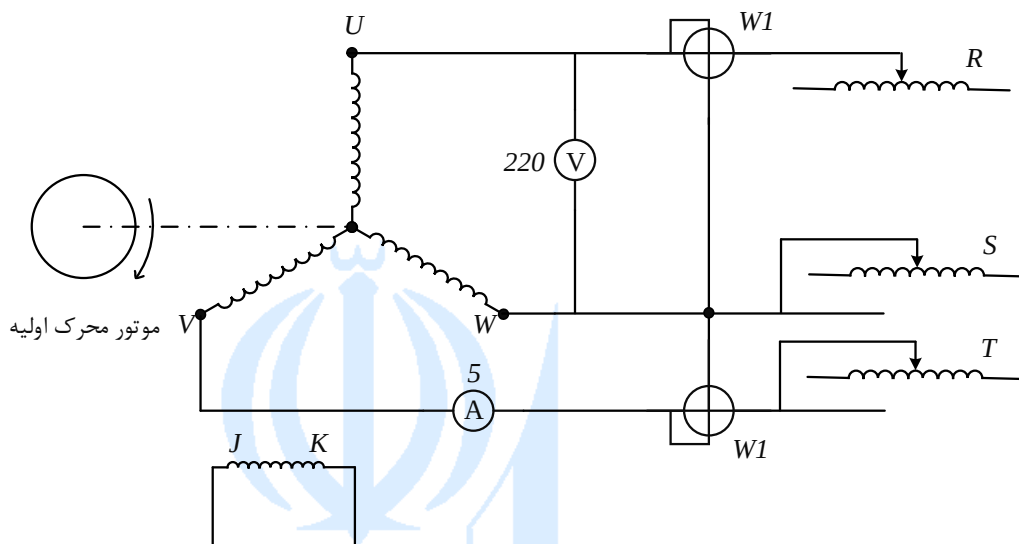
نحوه انجام آزمایش:

۱. اندازه‌گیری راکتانس معکوس - برای اندازه‌گیری راکتانس معکوس باید ماشین را در جهت مخالف حرکت میدان گردان با سرعت سنکرون بچرخانیم و برای داشتن این میدان گردان باید از استاتور با ولتاژ سه فاز متعادل پائین تغذیه نماییم، برای تعیین ترتیب فازهای ژنراتور محرک اولیه در یک جهت ثابت می‌چرخد می‌توان بترتیب زیر عمل نمود.
۲. مدار را شکل زیر را ببندید - موتور محرک اولیه را راه‌اندازی کنید.
۳. ژنراتور را تحریک کرده و با استفاده از تابلوی زیر ترتیب فازهای ژنراتور را باز روی ترتیب فازهای برق شهر تعیین کنید.



روش اول برای تعیین X_2

بعد از تعیین ترتیب فازها و علامت‌گذاری آنها در دو سر استاتور ماشین مدار شکل زیر را ببندید.

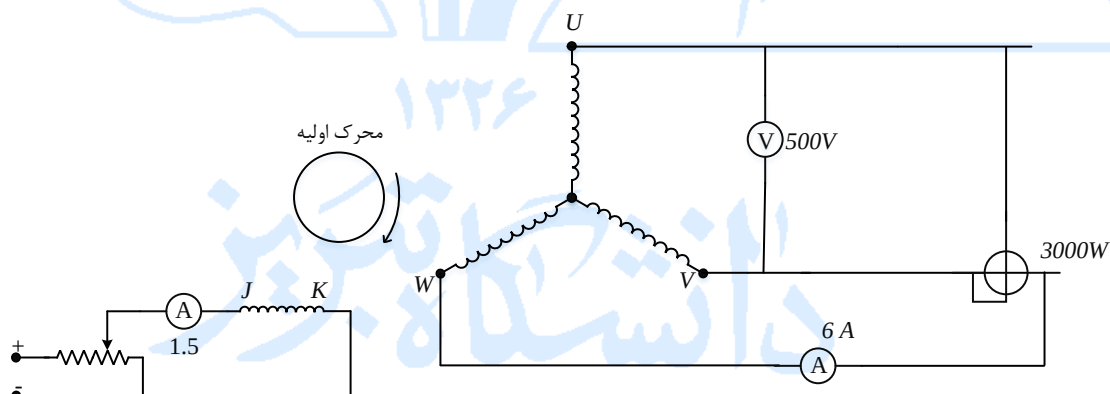


۱. دقت کنید که استاتور ماشین با یک سیستم سه فاز معکوس تغذیه می شود و مدار تحریک اتصال کوتاه شده است.
۲. موتور محرک اولیه را راه اندازی کرده و سرعت ماشین را به سرعت سنکرون برسانید و با استفاده از منحنی که توسط آن ترتیب فازهای ماشین را تعیین نموده اید یک ولتاژ سه فاز پائین (مطابق شکل سیستم معکوس) استاتور ماشین را تغذیه نمایید. دقت کنید جریان استاتور از مقدار نامی تجاوز نکند.
۳. کمیت های اندازه گیری شده را یادداشت کرده و با استفاده از روابط زیر، مقدار راکتانس معکوس ماشین را پیدا کنید:

$$Z_2 = \frac{U_2}{\sqrt{3}I_2} \quad \varphi = \cos^{-1} \frac{P}{\sqrt{3}V_2 I_2} \quad X_2 = Z_2 \sin \varphi$$

روش دوم برای تعیین X_2

۱. بعد از تکمیل مدار زیر، سرعت ماشین را توسط محرک اولیه به سرعت نامی برسانید.



۲. توسط یک آمپر متر و سیم پیچی جریان یک وات متر، دوفاز استاتور را مطابق شکل اتصال کوتاه کنید. سیم پیچی ولتاژ وات متر توسط ولتاژ فاز سوم تغذیه می شود.

۳. جریان تحریک را به تدریج بالا ببرید تا حدی که جریان فاز اتصال کوتاه شده از حد نامی تجاوز نکند. جریان مدار اتصال کوتاه را به خاطر محدودیت‌های حرارتی زیاد بالا نبرید.

۴. در این آزمایش چون از اتصال کوتاه دوفاز استفاده شده است، در نتیجه جریان فاز اتصال کوتاه مساوی است با $I_2 = \frac{U_2}{Z_1 + Z_2}$ (امپدانس‌های مستقیم و معکوس در آزمایش دخیل هستند) از آنجا که راکتانس سنکرون (مستقیم) را در آزمایش اتصال کوتاه و مدار باز ژنراتور سنکرون به دست آورده‌ایم، لذا می‌توان دو راکتانس مستقیم و معکوس را اینجا از هم تفکیک کرد.

۵. برای اندازه‌گیری راکتانس هموپلر به‌طریقه موازی کردن یا سری کردن سه‌فاز ژنراتور سنکرون می‌توان استفاده نمود به این ترتیب که ماشین را در حالت اتصال کوتاه مدار تحریک، در سرعت سنکرون می‌چرخانند و با اعمال یک ولتاژ به مدار سری یا موازی فازها و اندازه‌گیری جریان و ولتاژ اعمال شده، طبق روابط زیر مقدار X_0 را به دست می‌آورند:

• در حالت موازی: $Z_0 = \frac{3V_0}{I_0}$

• در حالت سری: $Z_0 = \frac{V_0}{3I_0}$

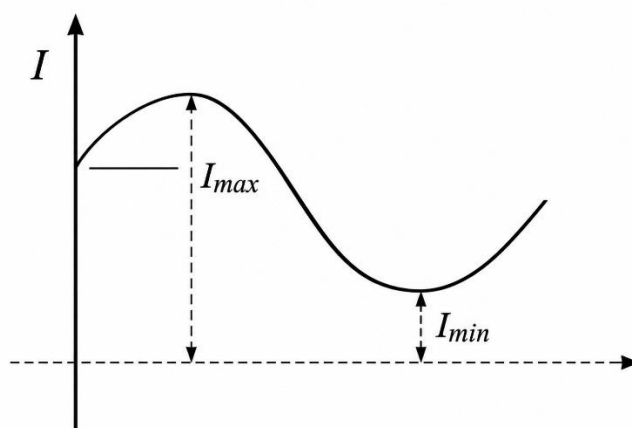
ولی به خاطر اینکه دسترسی به نقطه ستاره در ماشین مورد آزمایش در آزمایشگاه امکان‌پذیر نمی‌باشد، لذا اندازه‌گیری راکتانس هموپلر امکان‌پذیر نمی‌باشد.

تعیین راکتانس‌های عرضی و طولی (X_d, X_q) با روش Slip Test:

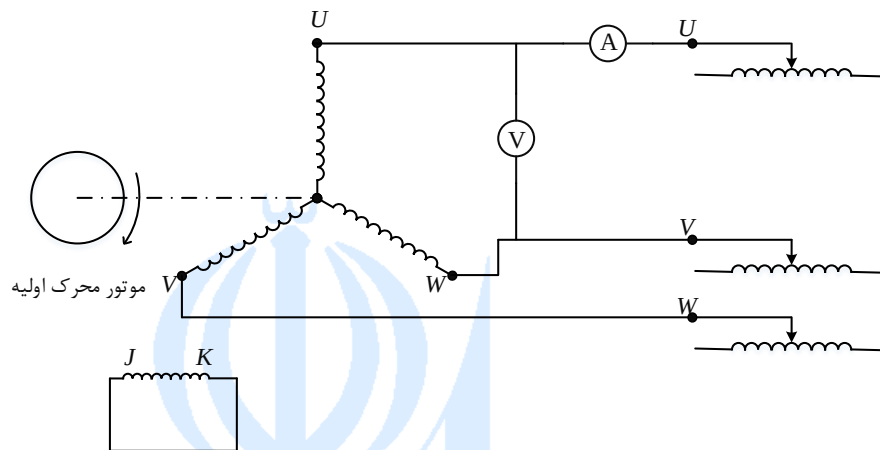
مقادیر راکتانس‌های عرضی و طولی اشباع‌نشده را می‌توان به‌طریق لغزش به دست آورد. در این روش، ماشین را با سرعتی خیلی نزدیک به سرعت سنکرون به گردش درمی‌آورند (بالا یا پایین سرعت سنکرون). استاتور را به وسیله یک سیستم سه‌فاز مستقیم با یک ولتاژ کوچک تغذیه می‌کنند، در حالی که مدار تحریک باز است.

شکل زیر تغییرات جریان استاتور را خواهد بود که دامنه مینیمم جریان مطابق است با وضعیت راکتانس ماکزیمم یعنی نشان‌دهنده وضعیت انطباق محور قطب و محور میدان گردان و برعکس دامنه ماکزیمم جریان مطابقت می‌کند با وضعیت راکتانس عرضی.

بنابراین $X_q = \frac{V_{min}}{I_{max}}$ و $X_d = \frac{V_{max}}{I_{min}}$



۱. مدار شکل زیر را ببندید:



۲. دقت کنید که ترتیب فازها مطابق شکل، میدان مستقیم را تشکیل دهند که جهت اطمینان از آن می‌توان ژنراتور را توسط محرک اولیه به سرعت سنکرون رسانده و تحریک کرده، سپس ترتیب ولتاژهای استاتور را با ترتیب فازهای برق شهر چک نمود.
۳. بعد از اطمینان از تغذیه استاتور مطابق شکل، موتور محرک اولیه را راه‌اندازی کرده و سرعت آن را به سرعتی نزدیک به سرعت سنکرون (زیر سنکرون یا بالای سنکرون) برسانید.
۴. توسط همان سیستم که ترتیب فازها را از روی آن تعیین نموده‌اید، یک ولتاژ کوچکی به استاتور ژنراتور بدهید درحالی‌که تحریک ماشین صفر است. ولت‌متر و آمپر‌متر اگر اتصال صحیح باشد، ولت‌متر و آمپر‌متر مطابق توضیحات بند ۱۳ خواهند نمود.
۵. ولتاژ اعمال شده را به تدریج بالا ببرید تا حد بالای جریان به مقدار نامی نزدیک شود.
۶. با استفاده از کمیت‌های اندازه‌گیری شده، مقدار X_d و X_q را محاسبه نمایید.

$$Z_d = \frac{\text{max-phase voltage}}{\text{min-phase current}}$$

$$X_d = (Z_d^2 - R_a^2)^{\frac{1}{2}}$$

$$Z_q = \frac{\text{min . phase voltage}}{\text{max . phase current}}$$

$$X_q = (Z_q^2 - R_a^2)^{\frac{1}{2}}$$

R=مقاومت

سوالات آزمایش:

- ۱- چرا میدان مؤلفه معکوس موجب گرم‌شدن روتور می‌شود؟
- ۲- چرا مدار تحریک در روش اول اتصال کوتاه و در آزمون لغزش باز است؟
- ۳- چرا اندازه‌گیری هموپلر با اتصال ستاره و نول غیرقابل دسترس امکان‌پذیر نیست؟

آزمایش ۱۳: اتصال اسکات ترانسفورماتور برای تبدیل سه فاز به دو فاز

هدف آزمایش:

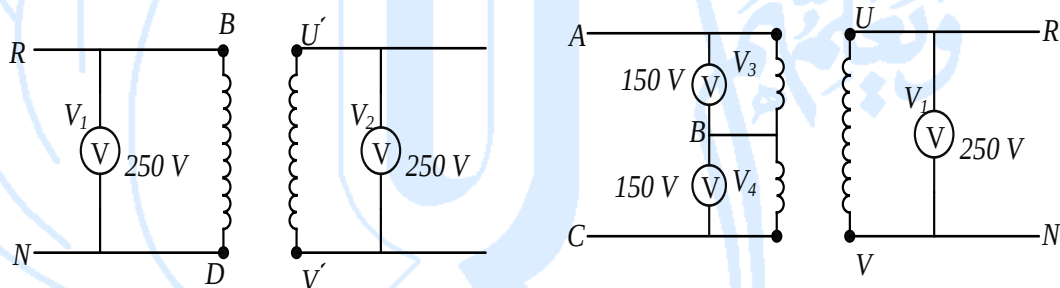
آشنایی با اتصال اسکات، تعیین نسبت تبدیل و ولتاژ نامی ورودی، بررسی تعادل جریان‌های سه فاز و محاسبه بازده ترانسفورماتورها.

مقدمه:

اتصال اسکات از دو ترانسفورماتور اصلی (Main) و تیزر (Teaser) تشکیل می‌شود. اولیه ترانس اصلی بین دو فاز شبکه و اولیه تیزر بین فاز سوم و نقطه میانی اولیه ترانس اصلی قرار می‌گیرد. با انتخاب نسبت تبدیل مناسب، دو ولتاژ خروجی هم‌اندازه با اختلاف فاز ۹۰ درجه حاصل می‌شود.

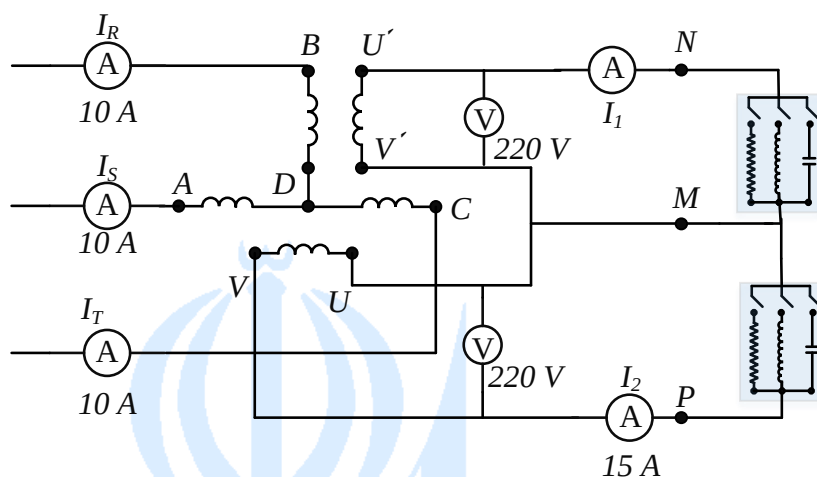
نحوه انجام آزمایش:

۱. مدار شکل (۱) را بسته و نسبت تبدیل ترانسفورماتور (Teaser) را پیدا کنید.
۲. مدار شکل (۲) را بسته و نسبت تبدیل ترانسفورماتور اصلی (Main) را پیدا کنید.



۳. باتوجه به پلاک مجموعه ترانسفورماتورهای Scott ملاحظه می‌شود که مقدار نامی ولتاژ خروجی آن 220 V است. با استفاده از این داده و نتایج که آزمایش‌های بالا به دست آورده‌اید، مقدار نامی ولتاژ شبکه سه فاز متعادل ورودی را تعیین نمایید.

۴. پس از تعیین ولتاژ نامی شبکه سه فاز ورودی، مدار مجموعه ترانسفورماتورهای Scott را به صورت زیر کامل نموده و ولتاژ نامی را به طرف سه فاز آن اعمال نمایید.



۵. از مجموعه ترانسفورماتورهای Scott بار متعادل دوفاز اهمی، سلفی، خازنی بگیرید و نتایج حاصل را در جدول از صفحه بعد وارد کنید. این عمل را در چند مرحله از حداقل تا حداکثر ممکن جریان انجام داده و وضعیت متعادل جریان‌های طرف سه‌فاز را بررسی نمایید.
۶. با رسم دیاگرام برداری چگونگی متعادل بودن جریان در شبکه سه‌فاز را با بارگیری مشابه از طرف دوفاز نشان دهید.
۷. آیا شبکه دوفاز بدست آمده از این اتصال را می‌توان طبق تعریف شبکه‌های چندفاز متعادل (که در آن ولتاژ فازها و نیز اختلاف فاز آنها برابر است) دوفاز متعادل تلقی کرد؟
۸. اگر مسئله متعادل بودن جریان‌های طرف سه‌فاز در بار متعادل دوفاز مطرح نباشد، طرح کنید که فقط با استفاده از یک ترانسفورماتور بتوان خروجی مشابه خروجی مجموعه Scott آورد. نسبت تبدیل ترانسفورماتور فوق را نیز مشخص سازید.
۹. آیا تلفات آهن در هر دو ترانسفورماتور مربوط به اتصال Scott یکسان‌اند؟
۱۰. آیا اتصال Scott می‌تواند یک مبدل دوفاز به سه‌فاز باشد (حالت دوطرفه باشد)؟

بار اهمی	
I_1	
V_1	
I_2	
V_2	
I_R	
I_S	
I_T	

	بار سلفی
I_1	
V_1	
I_2	
V_2	
I_R	
I_S	
I_T	

	بار خازنی
I_1	
V_1	
I_2	
V_2	
I_R	
I_S	
I_T	

	بار اهمی-سلفی
I_1	
V_1	
I_2	
V_2	
I_R	
I_S	
I_T	

	بار اهمی-خازنی
I_1	
V_1	
I_2	
V_2	
I_R	
I_S	
I_T	

۱۱. منحنی‌های تغییرات راندمان هر ترانسفورماتور را بر حسب تغییرات P_{out} با $\cos\phi=1$ و $\cos\phi=0.8$ رسم کنید.

۱۲. تحقیق کنید که راندمان وقتی ماکزیمم است که تلفات مس و آهن مساوی‌اند.

سوالات آزمایش:

- ۱- چرا نسبت تبدیل ترانس تیزر با ترانس اصلی متفاوت است؟
- ۲- مفهوم دوفاز متعادل با اختلاف فاز ۹۰ درجه چیست و چه تفاوتی با دو ولتاژ با اختلاف فاز ۱۸۰ درجه دارد؟
- ۳- آیا تلفات آهن دو ترانس لزوماً برابر است؟ چرا؟
- ۴- نشان دهید چرا در شرایط بیان‌شده، بازده هنگام برابری تلفات مس و آهن بیشینه می‌شود.

