

بسمه تعالی



دانشکده مهندسی برق، کامپیوتر و فناوریهای پیشرفته

گروه مهندسی برق قدرت

# دستور کار آزمایشگاه ماشین‌های الکتریکی ۲

تهیه کنندگان:

دکتر سجاد گلوانی، دکتر بهروز طوسی

تابستان ۹۳

مواردی در رابطه با این آزمایشگاه:

دانشجویان محترم با توجه به اینکه در این آزمایشگاه با ولتاژهای در حد 120 ولت فاز و 208 ولت خط کار خواهید کرد لازم است به بعضی موارد ایمنی به شرح زیر توجه نمایید.

- ✎ قبل از شروع آزمایش ساعت، دستبند، انگشتر یا حلقه خود را در بیاورید.
- ✎ بعد از اینکه مدار خود را آماده کردید، به هیچ وجه بدون هماهنگی مجموعه خود را برق دار ننمایید.
- ✎ بعد از شروع آزمایش و برق دار نمودن مجموعه از دست زدن به تجهیزات و ترمینال‌های مورد استفاده و حتی بقیه ترمینال‌های آزاد خودداری کنید. مثلاً برای خواندن آمپر متر یا سایر دستگاه‌های اندازه‌گیری انگشت خود را زیر این دستگاه‌ها نگذارید.
- ✎ در طول انجام آزمایش به هیچ عنوان کفش‌های خود را (حتی برای لحظه‌ای کوتاه) در نیاورید.
- ✎ تا جایی که می‌توانید با یک دست کار کنید. مثلاً اگر جای دو ترمینال را می‌خواهید عوض کنید حتماً از یک دست استفاده کنید.
- ✎ در طول انجام آزمایش هیچ سیمی را ننگید و مدار خود را تغییر ندهید.
- ✎ در طول آزمایش اگر سیمی به صورت اتفاقی کنده شده و بر روی میز بیافتد قبل از وصل مجدد، آزمایش را متوقف و مجموعه را بی‌برق کنید.
- ✎ در صورت بروز هر اتفاق غیر منتظره قبل از هر چیز کلید منبع ولتاژ را سریعاً خاموش کنید. محل کلید منبع ولتاژ را خوب به خاطر بسپارید.
- ✎ از قرار دادن سیم‌های اضافی بر روی میز اکیداً خودداری کنید. احتمال اینکه سیم برق‌داری کنده شده و روی میز بیافتد و شما این سیم برق‌دار را با سیم‌های قبلی روی میز اشتباه بگیرید وجود دارد.
- ✎ در این آزمایشگاه لازم است تمام حواستان به انجام آزمایش باشد. غفلت شما و ناهماهنگی با هم‌گروهی‌هایتان در هر مرحله ممکن است خطراتی را به دنبال داشته باشد. بنابراین در طول انجام آزمایش به هیچ عنوان از تلفن همراه خود استفاده نکنید.
- ✎ (همیشه و نه فقط در این آزمایشگاه) به منظور گرفتن نتایج دقیق‌تر آزمایشات خود را در کمترین زمان ممکن انجام دهید و در خواندن سریع دستگاه‌های اندازه‌گیری مهارت کسب کنید.
- ✎ در طول انجام آزمایش میز کار خود را ترک ننمایید و به هیچ عنوان در آزمایش‌های گروه‌های دیگر شرکت ننمایید.

✎ به هیچ عنوان برای ایجاد یک سیم بلند دو سیم را به همدیگر وصل نکنید. همچنین برای سیم‌بندی مدار خود بسته به فواصل از سیم‌های با بلندی مناسب استفاده کنید تا چک کردن و انجام تغییرات بعدی به راحتی امکان پذیر باشد.

✎ بعد از اتمام آزمایش و قبل از کندن سیم‌ها از قطع کلید اصلی منبع ولتاژ اطمینان حاصل کنید.  
✎ لطفاً بعد از اتمام آزمایش خود سیم‌های استفاده شده را از انتهای ترین قسمت گرفته و بکنید و آنها را به ترتیب بلندیشان از گیره‌های مخصوص آویزان کنید. همچنین میز کار و صندلی‌های خود را مرتب نمایید. با این کار، این امکان را فراهم می‌آورید که دوستانتان در جلسه بعدی آزمایش خود را راحت‌تر انجام دهند. البته چنین کاری را نیز متقابلاً دوستانتان برای شما انجام می‌دهند.

همچنین به بعضی از علایم قراردادی که در این دستور کار از آنها استفاده شده توجه فرمایید تا با توضیحات مربوطه و رعایت موارد ضروری آزمایش‌های خود را به صورت کامل، ایمن و به بهترین نحو ممکن انجام دهید و به همه سوالات خواسته شده بتوانید پاسخ دهید.

✍ نکته و یادآوری،

► مراحل انجام آزمایش،

✎ احتیاط کامل در انجام آزمایش، عدم توجه به این موارد ممکن است باعث ایجاد خطر برای شما یا آسیب دیدن تجهیزات شود.

\*⚠ خطر جدی، مواردی که به هیچ عنوان نباید انجام بگیرد.

? سوال‌های مربوط به دانشجویان، سوال‌هایی که خود دانشجویان باید پاسخ دهند. لطفاً از پرسیدن این سوالات در آزمایشگاه خودداری کنید و در گزارش کاری که می‌نویسید به این سوالات پاسخ دهید.

## راهنمای محل انجام هر کدام از آزمایش‌ها

صفحه ۵	آزمایش اول: مشخصه مدار باز و مشخصه اتصال کوتاه ژنراتور سنکرون، میز شماره 1
صفحه ۱۱	آزمایش دوم: رفتار ژنراتور سنکرون تحت بارهای متفاوت، میز شماره 2
صفحه ۱۸	آزمایش سوم: موتور سنکرون، میز شماره 3
صفحه ۲۴	آزمایش چهارم: آزمایش اتصال کوتاه و مدار باز ترانسفورماتورهای تک‌فاز، میز شماره 4
صفحه ۳۱	آزمایش پنجم: اتوترانسفورماتور، میزهای شماره 1، 2، 3 و 4
صفحه ۳۵	آزمایش ششم: موازی کردن ژنراتور سنکرون با سیستم سه‌فاز برق شهری، میز شماره 2
صفحه ۳۹	آزمایش هفتم: کندانسور سنکرون، میز شماره 3
صفحه ۴۷	آزمایش هشتم: عملکرد ترانسفورماتورهای تک‌فاز موازی، میز شماره 4
صفحه ۵۴	آزمایش نهم: ترانسفورماتورهای سه‌فاز، میز شماره 1
صفحه ۶۱	آزمایش دهم: موتورهای القایی و راه‌اندازی آنها

## آزمایش اول

عنوان: مشخصه مدار باز و مشخصه اتصال کوتاه ژنراتور سنکرون

اهداف: اندازه‌گیری امپدانس سنکرون ژنراتور سنکرون و به دست آوردن مدار معادل ژنراتور سنکرون

بحث:

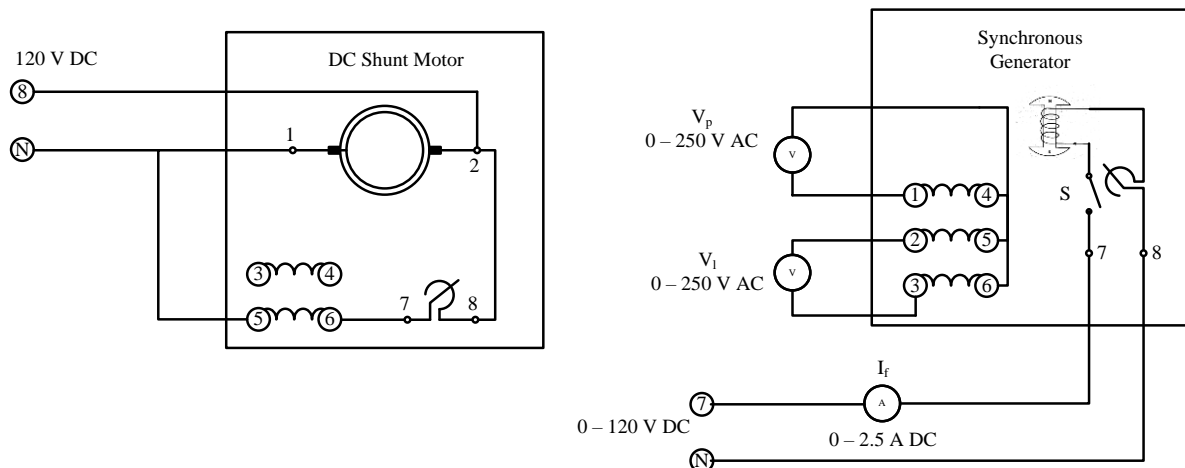
توضیح در رابطه با منبع ولتاژ مجموعه،

توضیح در مورد نقش موتور DC در این آزمایش،

توضیح در مورد مدل ژنراتور سنکرون،

مراحل انجام آزمایش:

► مدار شکل زیر را ببندید.



► از اتصال محور موتور DC به محور ژنراتور سنکرون توسط تسمه اطمینان حاصل کنید.

► مقدار مقاومت مسیر میدان موتور DC را با چرخاندن آن در جهت عقربه‌های ساعت در مقدار مینیمم تنظیم کنید.

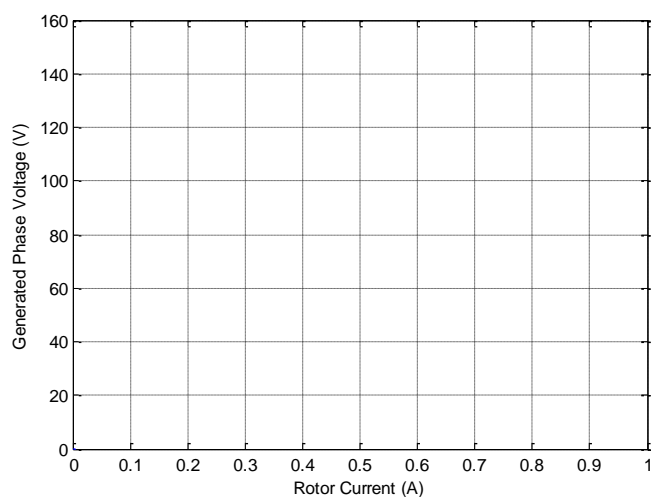
► مقدار مقاومت میدان یا تحریک (واقع در مسیر روتور ژنراتور سنکرون) را با چرخاندن آن در جهت عقربه‌های ساعت در مقدار مینیمم تنظیم کنید و کلید S را در حالت قطع قرار دهید.

- ✍ اکثر کلیدهای تجهیزات در تمامی مجموعه‌ها در موقعیت پایین قطع و در موقعیت بالا وصل می‌باشند.
- ▶ همچنین ولتاژ بین ترمینال‌های 7 و N منبع تغذیه را با چرخاندن تنظیم‌کننده ولتاژ منبع ولتاژ در جهت عکس عقربه‌های ساعت روی صفر ولت DC تنظیم کنید.
- ✍ ولتاژ بین دو ترمینال 8 و N منبع تغذیه همیشه 120 ولت DC می‌باشد و ارتباطی به موقعیت تنظیم‌کننده ولتاژ منبع ولتاژ ندارد.
- ▶ منبع ولتاژ را روشن کنید. موتور DC شروع به چرخش نموده و ژنراتور را نیز با خود به حرکت درمی‌آورد.
- ✍ توجه داشته باشید که موتور DC در این آزمایش نقش توربین را دارد که محور ژنراتور سنکرون را خواهد چرخاند.
- ▶ سرعت موتور DC را به 1500 دور بر دقیقه برسانید.
- ✍ سرعت موتور DC را با تغییر مقاومت مسیر میدان موتور DC تغییر دهید.
- ?** چرا با وجود اینکه جریان میدان تحریک صفر می‌باشد، ولتاژی (هر چند کم) در سیم‌پیچی‌های استاتور ژنراتور سنکرون تولید می‌شود؟
- ✍ اگر نمی‌توانید این ولتاژ را بخوانید از گستره‌های پایین‌تر ولت‌مترها استفاده کنید.
- ▶ کلید S را وصل کنید.
- ▶ به آرامی تنظیم‌کننده ولتاژ منبع ولتاژ را در جهت عقربه‌های ساعت بچرخانید تا با افزایش ولتاژ مسیر تحریک جریان تحریک ژنراتور سنکرون  $I_f$  نیز افزایش یابد.
- ✳️ از تماس دست با هر کدام از قسمت‌های مجموعه اکیداً خودداری نمایید.
- ▶ جدول زیر را کامل کنید.
- ✍ اجازه ندهید جریان تحریک بیشتر از 0.9 آمپر شود.
- ✍ اندازه‌گیری‌های خود را در جریان‌های میدان بیشتر از 0.5 آمپر در کمترین زمان ممکن انجام دهید.

جریان تحریک $I_f$ (A)	$V_1$ (V)	$V_p$ (V)
0		
0.1		
0.2		
0.3		
0.4		
0.5		
0.6		
0.7		

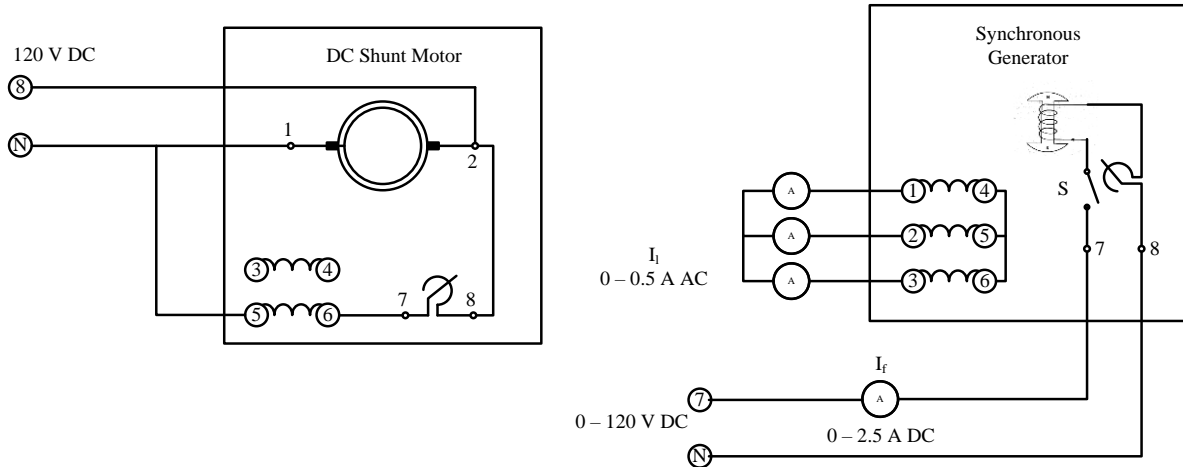
▶ ولتاژ فاز را برحسب جریان تحریک در نمودار شکل زیر رسم کنید.

✎ به این نمودار مشخصه مدار باز OCC ژنراتور سنکرون می‌گویند.



▶ کلید منبع ولتاژ را قطع کنید.

▶ مدار را به صورت شکل زیر تغییر دهید.



همان طور که ملاحظه می کنید خروجی استاتور ژنراتور سنکرون اتصال کوتاه شده است. همچنین به منظور قرائت جریان اتصال کوتاه از سه عدد آمپر متر نیز استفاده شده است.

► مجدداً ولتاژ بین ترمینال های 7 و N منبع تغذیه را با چرخاندن تنظیم کننده ولتاژ منبع ولتاژ در جهت عکس عقربه های ساعت روی صفر ولت DC تنظیم کنید.

► کلید S را در حالت قطع قرار دهید.

► منبع ولتاژ را روشن کنید تا موتور DC شروع به چرخش نماید. اگر سرعت موتور DC، 1500 دور بر دقیقه نباشد سرعت آن را به 1500 دور بر دقیقه برسانید.

☛ اطمینان حاصل کنید که تنظیم کننده ولتاژ منبع ولتاژ را کاملاً در جهت عکس حرکت عقربه های ساعت چرخانده اید و ولتاژ ترمینال های 7 و N را روی 0 ولت تنظیم کرده اید.

► کلید S را در حالت وصل قرار دهید.

► به آرامی و به مقدار بسیار بسیار کم تنظیم کننده ولتاژ منبع ولتاژ را در جهت حرکت عقربه های ساعت بچرخانید تا جریان در سیم پیچی های استاتور برقرار شود.

☛ جریان خروجی ژنراتور سه فاز (سیم پیچی های اتصال کوتاه شده) نباید بیشتر از 0.35 آمپر شود.

► جدول زیر را مرحله به مرحله و با احتیاط کامل پر کنید.

✎ اندازه گیری های خود را در کمترین زمان ممکن انجام دهید.

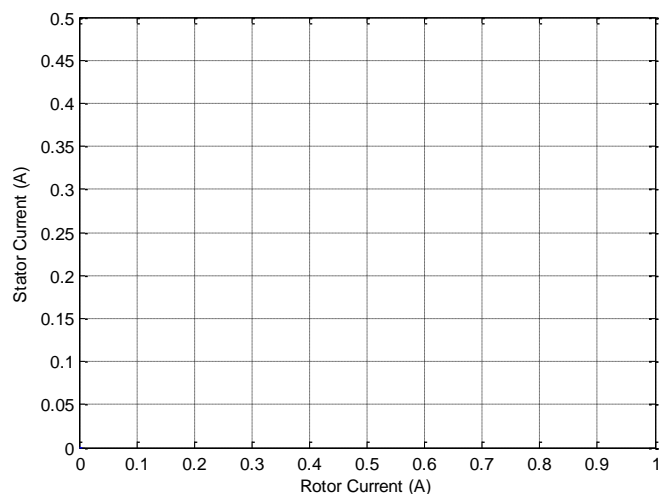


✍ با توجه به اینکه ژنراتور سه‌فازی که استفاده می‌کنید کاملاً متقارن است، سه آمپرتر در طول آزمایش یک عدد را نشان خواهند داد. حتی قرار دادن یک عدد آمپرتر در مسیر یک از فازها نیز کافی می‌باشد.

جریان استاتور $I_f$ (A)	جریان تحریک $I_l$ (A)
	0.05
	0.1
	0.15
	0.2
	0.25
	0.3
	0.35
	0.4

▶ جریان استاتور را برحسب جریان تحریک در نمودار شکل زیر رسم کنید.

✍ به این نمودار مشخصه اتصال کوتاه SCC ژنراتور سنکرون می‌گویند.



▶ منبع ولتاژ را خاموش نمایید.

▶ تمامی سیم‌بندی‌های مدار را باز کنید و با استفاده از اهم‌تر مقاومت یکی از سیم‌پیچی‌های استاتور را اندازه بگیرید.

✍ دو سر اهم‌تر را به ترمینال‌های 1 و 4 می‌توانید وصل کنید.

► جدول زیر را با استفاده از دو جدول و دو نمودار قبلی کامل و پارامترهای ژنراتور سنکرون را محاسبه و در همین جدول بنویسید.

$I_f$ (A)	$V_p$ (V)	$I_l$ (A)	$Z_s$	R	$X_s$
		0.05			
		0.1			
		0.15			
		0.2			
		0.25			
		0.3			
		0.35			
		0.4			

? مدار معادل ژنراتور سنکرون مورد آزمایش را رسم کنید.

## آزمایش دوم

### عنوان: بارداری ژنراتور سنکرون

اهداف: مطالعه رفتار (رابطه بین کمیت‌های خروجی) ژنراتور سنکرون تحت بارهای متفاوت

بحث:

توضیح در رابطه با منبع ولتاژ مجموعه،

توضیح در مورد نقش موتور DC در این آزمایش،

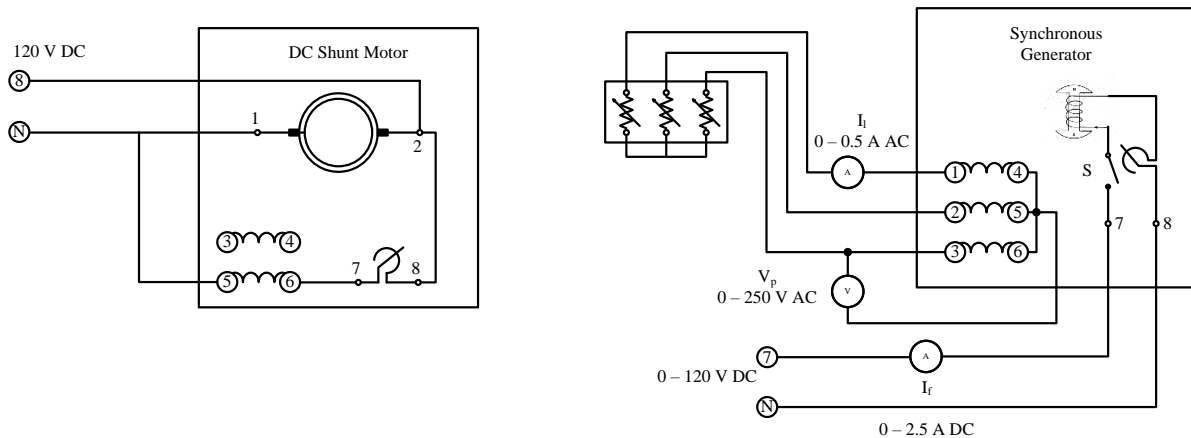
توضیح در مورد ماژول‌های بار سه‌فاز،

توضیح در مورد مشخصه‌های خروجی ژنراتور سنکرون،

توضیح در مورد ولتاژ داخلی و ولتاژ ترمینال ژنراتور سنکرون،

مراحل انجام آزمایش:

► مدار شکل زیر را ببندید.



► از اتصال محور موتور DC به محور ژنراتور سنکرون توسط تسمه اطمینان حاصل کنید.

► مقدار مقاومت مسیر میدان موتور DC را با چرخاندن آن در جهت عقربه‌های ساعت در مقدار مینیمم تنظیم

کنید.

▶ مقدار مقاومت میدان یا تحریک (واقع در مسیر روتور ژنراتور سنکرون) را با چرخاندن آن در جهت عکس حرکت عقربه‌های ساعت در مقدار ماکزیمم تنظیم کنید و کلید S را در حالت قطع قرار دهید.

✍ اکثر کلیدهای تجهیزات در تمامی مجموعه‌ها در موقعیت پایین قطع و در موقعیت بالا وصل می‌باشند.

▶ همچنین ولتاژ بین ترمینال‌های 7 و N منبع تغذیه را با چرخاندن تنظیم‌کننده در جهت عکس عقربه‌های ساعت روی 0 ولت DC تنظیم کنید.

✍ ولتاژ بین دو ترمینال 8 و N منبع تغذیه همیشه 120 ولت DC می‌باشد و ارتباطی به موقعیت تنظیم‌کننده منبع ولتاژ ندارد.

▶ تمام کلیدهای بار مقاومتی را نیز در حالت قطع قرار دهید.

▶ منبع ولتاژ را روشن کنید. موتور DC شروع به چرخش نموده و ژنراتور را نیز با خود به حرکت درمی‌آورد.

✍ توجه داشته باشید که موتور DC در این آزمایش نقش توربین را دارد که محور ژنراتور سنکرون را خواهد چرخاند.

▶ سرعت موتور DC را به 1500 دور بر دقیقه برسانید.

✍ سرعت موتور DC را با تغییر مقاومت مسیر میدان موتور DC تغییر دهید.

▶ کلید S را وصل کنید.

▶ تنظیم‌کننده ولتاژ منبع ولتاژ را به آرامی در جهت حرکت عقربه‌های ساعت بچرخانید تا جریان تحریک و به تبع آن ولتاژ خروجی افزایش یابد. این کار را تا جایی انجام دهید که ولتاژ فاز  $V_p$  ژنراتور سنکرون به 120 ولت (یا ولتاژ خط  $V_1$  ژنراتور سنکرون به 208 ولت) برسد.

✳️ از تماس دست با هر کدام از قسمت‌های مجموعه اکیداً خودداری نمایید.

▶ مقاومت‌های 1200 اهم را در هر سه فاز وارد مدار نکنید.

? دلیل کاهش ولتاژ  $V_1$  چیست؟

▶ سرعت موتور را اندازه بگیرید. اگر کاهش داشته باشد مجدداً سرعت موتور را با 1500 دور بر دقیقه برسانید.

؟ دلیل کاهش سرعت موتور چیست؟

▶ با وارد کردن سایر مقاومت‌ها جدول زیر را مرحله به مرحله تکمیل کنید.

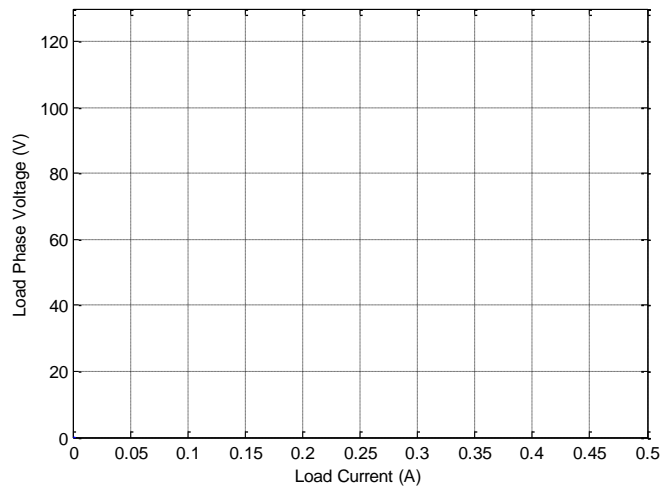
✍ حالت تقارن بین سه فاز را همیشه حفظ کنید.

✍ در هر مرحله سرعت موتور DC را روی 1500 دور بر دقیقه ثابت نگه دارید.

✍ توجه کنید که جریان بار بیشتر از 0.35 آمپر نشود.

سرعت درایو	بار مقاومتی	$V_p$ ولتاژ فاز بار	$I_1$ جریان بار
1500 rpm	1200 $\Omega$		
1500 rpm	600 $\Omega$		
1500 rpm	1200    600 $\Omega$		
1500 rpm	300 $\Omega$		
1500 rpm	1200    300 $\Omega$		
1500 rpm	600    300 $\Omega$		
1500 rpm	1200    600    300 $\Omega$		

▶ ولتاژ بار را برحسب جریان بار در نمودار شکل زیر رسم کنید.



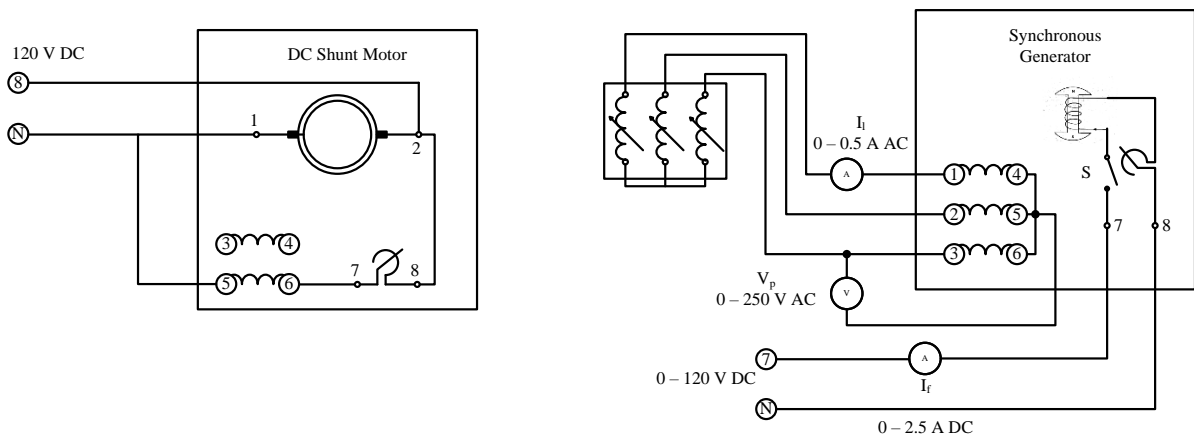
✍ به این منحنی مشخصه بارداری ژنراتور سنکرون برای بار مقاومتی می‌گویند.

**؟** دیاگرام فازوری بیان کننده رابطه بین ولتاژ داخلی ژنراتور سنکرون و ولتاژ ترمینال ژنراتور سنکرون را رسم کنید.

▶ تمام کلیدهای بار وصل شده را یکی یکی قطع و همزمان با این کار سرعت موتور DC را نیز به 1500 دور بر دقیقه برسانید.

▶ کلید اصلی منبع ولتاژ را قطع کنید.

▶ مدار شکل زیر را ببندید و مطابق با شکل بارهای مقاومتی را با بارهای سلفی جابجا کنید.



▶ تمام کلیدهای بار سلفی را در حالت قطع قرار دهید.

▶ کلید منبع ولتاژ را روشن کنید تا موتور DC شروع به چرخش نماید.

▶ سرعت موتور را به 1500 دور بر دقیقه برسانید.

✎ اگر اندازه ولتاژ مسیر تحریک ژنراتور سنکرون را تغییر نداده باشید ولتاژ فاز خروجی  $V_p$  ژنراتور سنکرون در این حالت باید 120 ولت و ولتاژ خط خروجی  $V_l$  باید برابر با 208 ولت باشد.

✎ در غیر این صورت با تغییر تنظیم کننده منبع ولتاژ جریان تحریک را به اندازه‌ای برسانید که ولتاژهای خروجی به مقادیر گفته شده برسد.

▶ با وارد کردن مرحله به مرحله بارهای سلفی جدول زیر را تکمیل کنید.

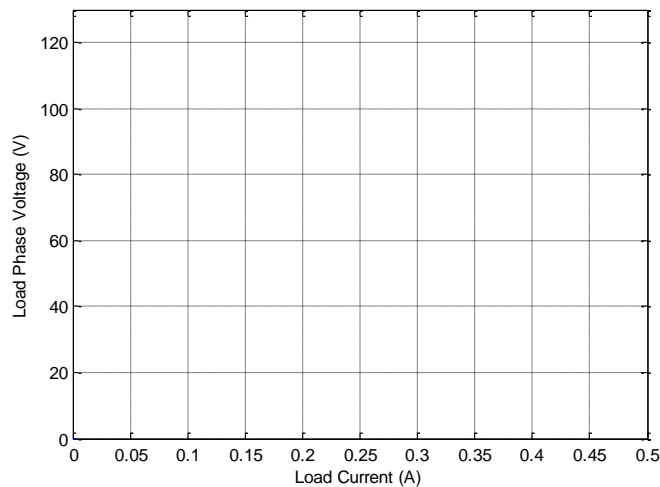
✎ حالت تقارن بین سه فاز را همیشه حفظ کنید.

در هر مرحله سرعت موتور DC را روی 1500 دور بر دقیقه ثابت نگه دارید.

توجه کنید که جریان بار بیشتر از 0.35 آمپر نشود.

سرعت درایو	بار سلفی	ولتاژ فاز بار $V_p$	جریان بار $I_1$
1500 rpm	3.8 H		
1500 rpm	1.9 H		
1500 rpm	3.8    1.9 H		
1500 rpm	0.95 H		
1500 rpm	3.8    0.95 H		
1500 rpm	1.9    0.95 H		
1500 rpm	3.8    1.9    0.95 H		

ولتاژ بار را برحسب جریان بار در نمودار شکل زیر رسم کنید.



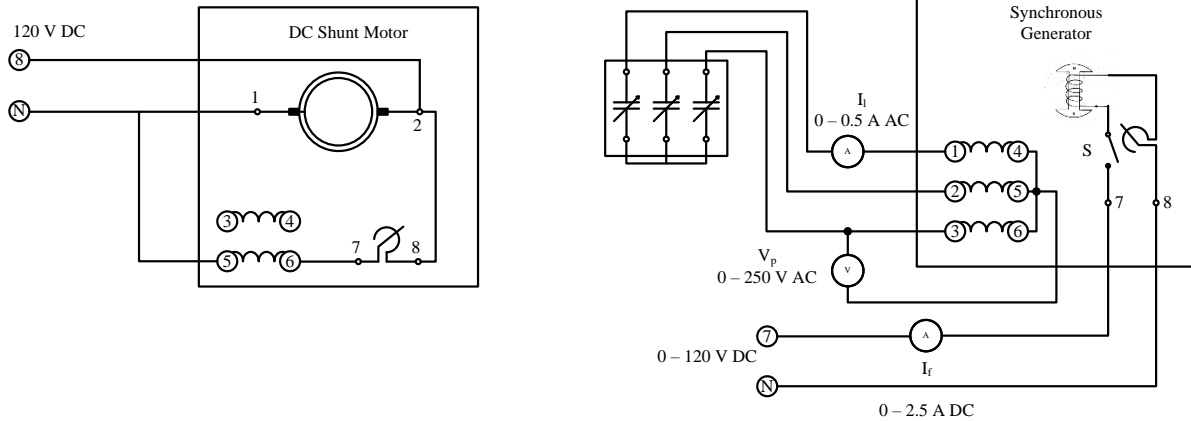
به این منحنی مشخصه بارداری ژنراتور سنکرون برای بار سلفی می گویند.

? دیاگرام فازوری بیان کننده رابطه بین ولتاژ داخلی ژنراتور سنکرون و ولتاژ ترمینال ژنراتور سنکرون را رسم کنید.

تمام کلیدهای بار وصل شده را یکی یکی قطع و همزمان با این کار سرعت درایو را نیز به 1500 دور بر دقیقه برسانید.

▶ کلید اصلی منبع ولتاژ را قطع کنید.

▶ مطابق با شکل زیر بارهای سلفی را با بارهای خازنی جابجا کنید.



▶ تمام کلیدهای بار خازنی را در حالت قطع قرار دهید.

▶ کلید منبع ولتاژ را روشن کنید.

▶ سرعت موتور را به 1500 دور بر دقیقه برسانید.

✍ اگر اندازه ولتاژ مسیر تحریک ژنراتور سنکرون را تغییر نداده باشید ولتاژ فاز خروجی  $V_p$  ژنراتور سنکرون در این حالت باید 120 ولت و ولتاژ خط خروجی  $V_l$  باید برابر با 208 ولت باشد.

✍ در غیر این صورت با تغییر تنظیم‌کننده منبع ولتاژ جریان تحریک را به اندازه‌ای برسانید که ولتاژهای خروجی به مقادیر گفته شده برسد.

▶ با وارد کردن مرحله به مرحله بارهای خازنی جدول زیر را تکمیل کنید.

✍ حالت تقارن بین سه فاز را همیشه حفظ کنید.

✍ در هر مرحله سرعت موتور DC را روی 1500 دور بر دقیقه ثابت نگه دارید.

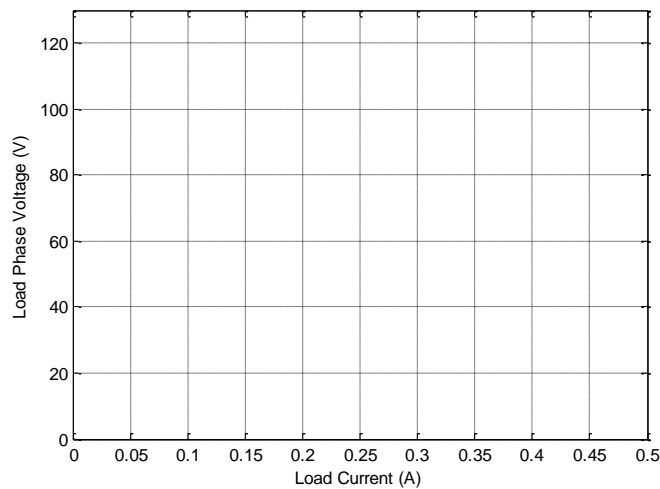
✍ توجه کنید که جریان بار بیشتر از 0.35 آمپر نشود.

? آیا با پدیده‌ی غیر منتظره‌ای در هنگام پر کردن جدول روبرو می‌شوید؟



سرعت درایو	بار خازنی	$V_p$ ولتاژ فاز بار	$I_1$ جریان بار
1500 rpm	2.6 $\mu$ F		
1500 rpm	5.3 $\mu$ F		
1500 rpm	2.6    5.3 $\mu$ F		
1500 rpm	10.6 $\mu$ F		
1500 rpm	2.6    10.6 $\mu$ F		
1500 rpm	5.3    10.6 $\mu$ F		
1500 rpm	2.6    5.3    10.6 $\mu$ F		

▶ ولتاژ بار را برحسب جریان بار در نمودار شکل زیر رسم کنید.



✍ به این منحنی مشخصه بارداري ژنراتور سنكرون برای بار خازنی می گویند.

**?** چرا با افزایش بار خازنی ولتاژ ترمینال ژنراتور سنكرون افزایش می یابد؟

**?** این پدیده از نظر فیزیکی چگونه توجیه می شود؟

**?** دیاگرام فازوری مربوط به این پدیده را نیز رسم کنید.

**?** چرا در بارهای مقاومتی (بر عکس بارهای سلفی و خازنی) با افزایش بار سرعت درایو کاهش چشم گیری پیدا

می کند؟ این اتفاق شما را مجبور به تنظیم سرعت در هر مرحله می کرد. در صورتی که در بارهای سلفی یا

خازنی کاهش سرعت درایو چشم گیر نبود و شما خیلی نیاز به تنظیم سرعت درایو نداشتید.

## آزمایش سوم

عنوان: موتور سنکرون

اهداف: مقایسه عملکرد موتور سنکرون و موتور القایی،

به دست آوردن مشخصه خروجی موتور القایی،

به دست آوردن مشخصه خروجی موتور سنکرون،

بحث:

توضیح در مورد مشکلات راه اندازی موتورهای سنکرون،

توضیح در مورد ساختار روتور مجهز به میله های قفس سنجابی ماشین های سنکرون،

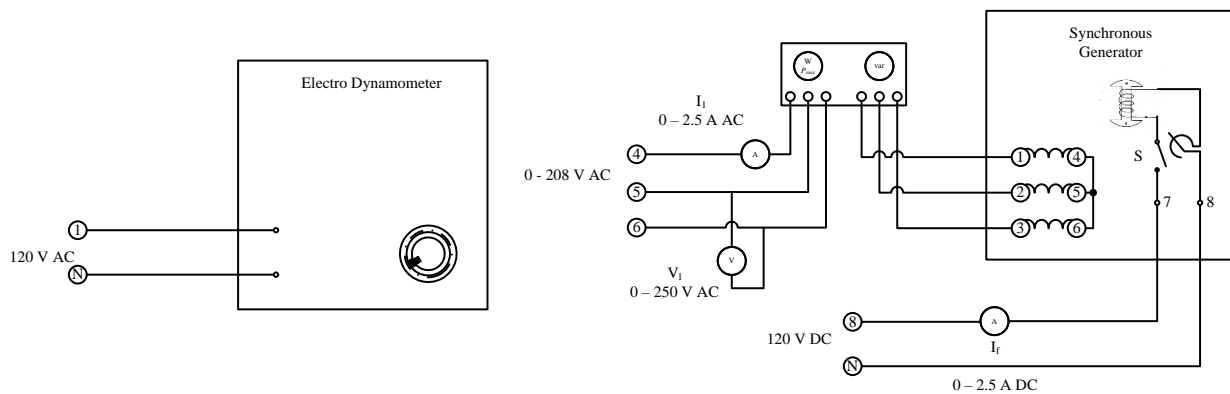
توضیح در مورد الکترو دینامومتر،

توضیح در مورد تلفات گردشی،

توضیح در مورد وات متر سه فاز،

مراحل انجام آزمایش:

► مدار شکل زیر را ببندید.



► از اتصال محور الکترو دینامومتر به محور موتور سنکرون توسط تسمه اطمینان حاصل کنید.

- ▶ کنترل کننده گشتاور الکترو دینامتر را کاملاً در جهت عکس حرکت عقربه‌های ساعت بچرخانید تا هیچ گشتاور مکانیکی را روی محور سنکرون موتور اعمال نکند.
- ▶ مقدار مقاومت میدان یا تحریک (واقع در مسیر روتور موتور سنکرون) را با چرخاندن آن در جهت عکس حرکت عقربه‌های ساعت در مقدار ماکزیمم تنظیم کنید و کلید S را در حالت قطع قرار دهید.
- ✎ اکثر کلیدهای تجهیزات در تمامی مجموعه‌ها در موقعیت پایین قطع و در موقعیت بالا وصل می‌باشند.
- ▶ همچنین ولتاژ خروجی AC ترمینال‌های 4، 5 و 6 منبع تغذیه را با چرخاندن تنظیم کننده ولتاژ در جهت عکس حرکت عقربه‌های ساعت روی صفر ولت AC تنظیم کنید.
- ✎ ولتاژ بین دو ترمینال 1 و N منبع تغذیه همیشه 120 ولت AC می‌باشد و ارتباطی به موقعیت تنظیم کننده منبع ولتاژ ندارد.
- ✎ ولتاژ بین دو ترمینال 8 و N منبع تغذیه همیشه 120 ولت DC می‌باشد و ارتباطی به موقعیت تنظیم کننده منبع ولتاژ ندارد.
- ▶ منبع تغذیه را روشن نمایید.
- ▶ با چرخاندن تنظیم کننده ولتاژ منبع ولتاژ در جهت حرکت عقربه‌های ساعت ولتاژ خط تغذیه موتور سنکرون را به آهستگی به 208 ولت برسانید.
- ✎\* از تماس دست با هر کدام از قسمت‌های مجموعه اکیداً خودداری نمایید.
- ▶ دقت نمایید جهت چرخش موتور طبق جهت نشان داده شده روی الکترو دینامومتر (در جهت حرکت عقربه‌های ساعت) باشد.
- ✎ به منظور جابجا کردن جهت چرخش موتور می‌توانید جای دو فاز دلخواه را عوض کنید.
- ✎\* قبل از جابجا کردن جای دو فاز حتماً ولتاژ ترمینال‌های 4، 5 و 6 منبع تغذیه را با چرخاندن تنظیم کننده ولتاژ در جهت عکس حرکت عقربه‌های ساعت روی صفر ولت AC تنظیم کنید.
- ✎ توجه داشته باشید در حالتی که کلید S قطع می‌باشد موتور سنکرون (با جریان تحریک صفر) همانند یک موتور القایی عمل خواهد کرد.

همچنین توجه داشته باشید که فعلاً گشتاوری به محور موتور اعمال نشده است و موتور به صورت بی بار کار می کند.

**?** توان خروجی موتور در این حالت چقدر است؟ با توجه به رابطه زیر به این سوال پاسخ دهید.

$$P_{out} = \omega \cdot \tau$$

**?** توان ورودی به موتور را توسط وات متر بخوانید. با توجه به اینکه توان خروجی موتور برابر صفر است چرا توان ورودی برابر صفر نیست؟

▶ توان تلفات اصطکاک (گردشی) را با استفاده از روابط زیر در بی باری موتور محاسبه کنید.

$$P_{in} = P_{out} + P_{loss} \Rightarrow P_{in} = P_{loss}$$

▶ با چرخاندن تنظیم کننده گشتاور الکترو دینامومتر در جهت حرکت عقربه های ساعت به تدریج به موتور القایی گشتاور مکانیکی اعمال کنید.

**?** چرا با افزایش بار مکانیکی روی محور موتور القایی جریان کشیده شده توسط موتور نیز افزایش می یابد؟

✎ توجه کنید که کنترل کننده گشتاور الکترو دینامومتر را آنقدر نچرخانید که جریان موتور بیشتر از 0.7 آمپر شود.

▶ جدول زیر را تکمیل کنید.

▶ اگر در هر مرحله ولتاژ خط موتور از 208 ولت کاهش یابد آنرا در 208 ولت ثابت نگه دارید.

✎ اندازه گیری های خود را در کمترین زمان ممکن انجام دهید.

✎ در جدول زیر ستون اول را مستقیماً از خود الکترو دینامومتر بخوانید و برای ستون پنجم نیز از روابط زیر کمک بگیرید.

$$P_{in} = \sqrt{3}V_l I_l \cos \phi$$

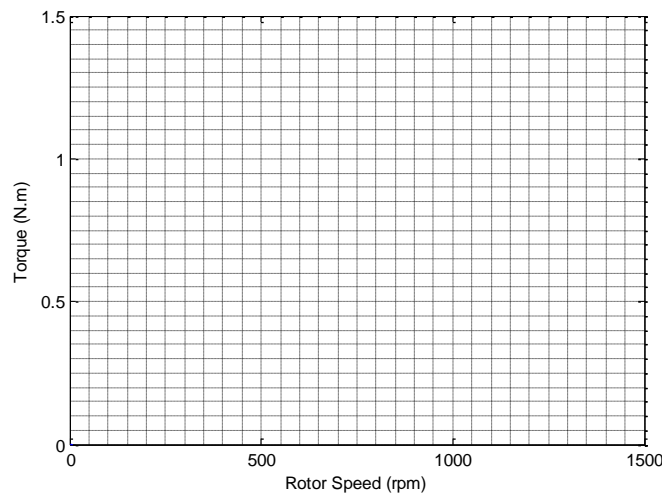
$$P_{out} = \omega \tau \quad \omega \left( \frac{rad}{s} \right) \quad \tau \left( \frac{N.m}{s} \right) \Rightarrow P_{out} = \frac{2\pi}{60} \omega \tau \quad \omega (rpm) \quad \tau \left( \frac{N.m}{s} \right)$$

$$P_{in} = P_{out} + P_{loss}$$

$$\tau = \frac{60 \times (P_{in} - P_{loss})}{2\pi \times \omega} \quad \omega (rpm)$$

سرعت موتور	گشتاور مکانیکی	توان جذب شده	جریان استاتور	ولتاژ خط	گشتاور مکانیکی
	$\approx 0$			208	
			0.6		
			0.65		
			0.7		
			0.75		
			0.8		

► منحنی تغییرات گشتاور بر حسب سرعت را برای این موتور القایی رسم کنید.



► به منحنی تغییرات گشتاور بر حسب سرعت، مشخصه بارداری موتور یا مشخصه خروجی موتور می‌گویند.

► کنترل‌کننده گشتاور الکترونی‌تر را کاملاً در جهت عکس حرکت عقربه‌های ساعت بچرخانید و گشتاور مکانیکی روی موتور القایی را به صفر برسانید.

▶ کلید S را وصل کنید.

✎ در این حالت یک موتور سنکرون خواهیم داشت که با سرعت سنکرون شبکه (1500 دور بر دقیقه) در حال چرخش می‌باشد.

✎ توجه داشته باشید که فعلاً گشتاوری به محور موتور اعمال نشده است و موتور به صورت بی‌بار کار می‌کند.

? توان خروجی موتور در این حالت چقدر است؟ با توجه به رابطه زیر به این سوال پاسخ دهید.

$$P_{out} = \omega \cdot \tau$$

? توان ورودی به موتور را توسط وات‌متر بخوانید. با توجه به اینکه توان خروجی موتور برابر صفر است چرا توان ورودی برابر صفر نیست؟

▶ توان تلفات اصطکاک (گردشی) را با استفاده از روابط زیر در بی‌باری موتور محاسبه کنید.

$$P_{in} = P_{out} + P_{loss} \Rightarrow P_{in} = P_{loss}$$

▶ با چرخاندن تنظیم‌کننده گشتاور الکترو دینامومتر در جهت حرکت عقربه‌های ساعت به تدریج به موتور سنکرون گشتاور مکانیکی اعمال کنید.

? چرا با افزایش بار مکانیکی روی محور موتور سنکرون جریان کشیده شده توسط موتور نیز افزایش می‌یابد؟

✎ توجه کنید که کنترل‌کننده گشتاور الکترو دینامومتر را آنقدر نچرخانید که جریان موتور بیشتر از 0.7 آمپر شود.

▶ جدول زیر را تکمیل کنید.

▶ اگر در هر مرحله ولتاژ خط موتور از 208 ولت کاهش یابد آنرا در 208 ولت ثابت نگه دارید.

✎ اندازه‌گیری‌های خود را در کمترین زمان ممکن انجام دهید.

✎ در جدول زیر ستون اول را مستقیماً از خود الکترو دینامومتر بخوانید و برای ستون پنجم نیز از روابط زیر کمک بگیرید.

$$P_{in} = \sqrt{3}V_l I_l \cos \phi$$

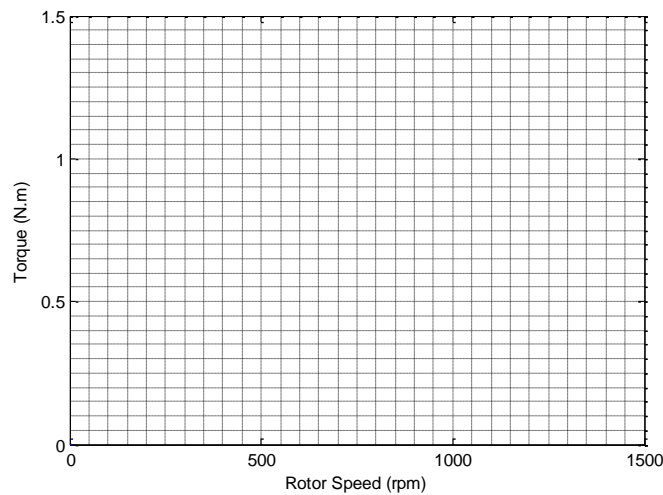
$$P_{out} = \omega \tau \quad \omega \left( \frac{rad}{s} \right) \quad \tau \left( \frac{N.m}{s} \right) \Rightarrow P_{out} = \frac{2\pi}{60} \omega \tau \quad \omega (rpm) \quad \tau \left( \frac{N.m}{s} \right)$$

$$P_{in} = P_{out} + P_{loss}$$

$$\tau = \frac{60 \times (P_{in} - P_{loss})}{2\pi \times \omega} \quad \omega (rpm)$$

سرعت موتور	گشتاور مکانیکی	توان جذب شده	جریان استاتور	ولتاژ خط	گشتاور مکانیکی
	$\approx 0$			208	
			0.3		
			0.4		
			0.5		
			0.6		
			0.7		
			0.8		

► منحنی تغییرات گشتاور بر حسب سرعت را برای این موتور سنکرون رسم کنید.



به منحنی تغییرات گشتاور بر حسب سرعت، مشخصه باردارای موتور یا مشخصه خروجی موتور می گویند.

## آزمایش چهارم

عنوان: آزمایش اتصال کوتاه و آزمایش مدار باز ترانس فورماتورهای تکفاز

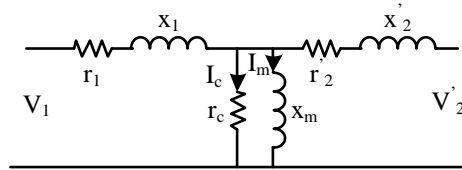
اهداف: به دست آوردن پارامترهای سری و موازی ترانس فورماتورهای تکفاز

بحث:

توضیح در مورد ساختار ترانس فورماتورهای موجود،

توضیح در مورد آزمایش‌های مدار باز و اتصال کوتاه و سمت انجام آزمایش در هر کدام،

مدار معادل ترانس فورماتور از دید طرف اولیه مطابق شکل زیر می باشد.



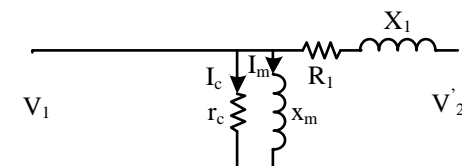
به طوری که

$$V_2' = V_2 \left( \frac{N_1}{N_2} \right)$$

$$x_2' = x_2 \left( \frac{N_1}{N_2} \right)^2$$

$$r_2' = r_2 \left( \frac{N_1}{N_2} \right)^2$$

با کمی تقریب می توان این مدار را به صورت مدار معادل تقریبی زیر در نظر گرفت.



$$R_1 = r_2' + r_1$$

$$X_1 = x_2' + x_1$$



که مقادیر پارامترهای سری این مدار معادل تقریبی به کمک آزمایش اتصال کوتاه و پارامترهای موازی به کمک آزمایش مدار باز تعیین می‌گردد.

الف) آزمایش مدار باز

در این آزمایش به طرف اولیه ترانسفورماتور در حالی که طرف ثانویه آن مدار باز است، ولتاژ نامی در فرکانس نامی اعمال می‌گردد. جریان برقرار شده در مدار جریان بی‌باری ( $I_{oc}$ ) جمع جریان مغناطیس‌کنندگی و جریان مربوط به تلفات آهن هسته می‌باشد. همچنین توان ورودی برابر با جمع تلفات آهن و تلفات مس اولیه ترانسفورماتور می‌باشد. اما بخاطر اینکه مؤلفه تلفات مس اولیه در مقایسه با تلفات آهن خیلی ناچیز است، صرفنظر می‌گردد.

در نتیجه خواهیم داشت:

$$\cos \varphi_{oc} = \frac{P_{oc}}{V_{oc} \cdot I_{oc}}$$

$$I_c = I_{oc} \cos \varphi_{oc}$$

$$I_m = I_{oc} \sin \varphi_{oc}$$

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

$$R_c = \frac{V_{oc}}{I_c}$$

ب) آزمایش اتصال کوتاه:

در این آزمایش در حالتی که طرف ثانویه ترانسفورماتور مستقیماً یا از طریق آمپر متر اتصال کوتاه شده، از طرف اولیه ولتاژ خیلی پایین به ترانسفورماتور اعمال می‌گردد تا جریان نامی از ترانسفورماتور بگذرد. از آنجایی که توانی که ترانسفورماتور از شبکه جذب می‌کند فقط در خودش تلف می‌شود بنابراین:

$$P_{sc} = P_{cu1} + P_{cu2} + P_c$$

ولی مقدار  $P_c$  در مقایسه با  $P_{cu1} + P_{cu2}$  در این آزمایش خیلی ناچیز بوده، بنابراین می‌توان جذب شده را برابر با تلفات مس سیم پیچی اولیه و ثانویه ترانسفورماتور فرض کرد. لذا خواهیم داشت:

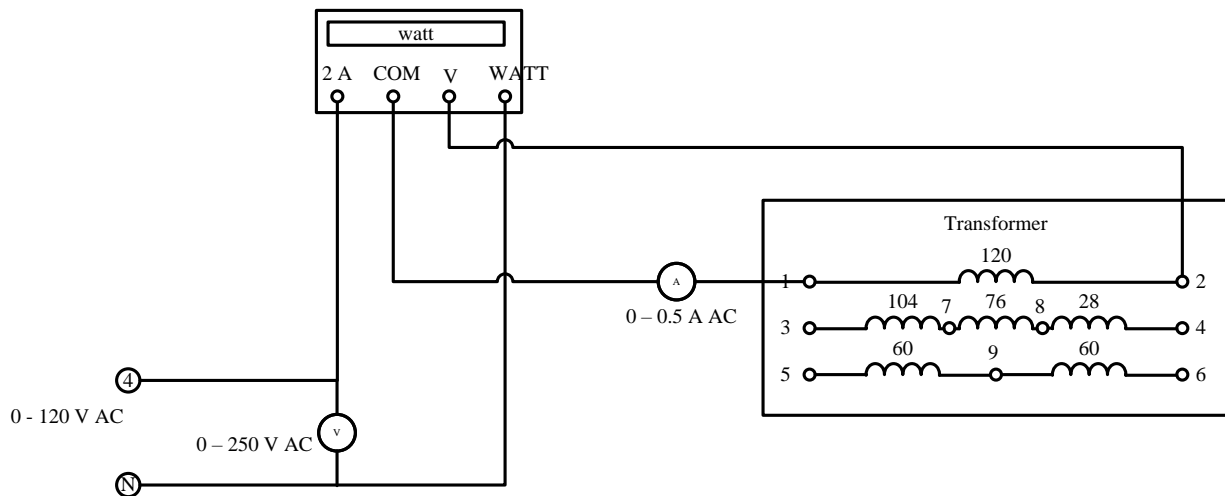
$$R_1 = \frac{P_{sc}}{I_{sc}^2}$$

$$Z_1 = \frac{V_{sc}}{I_{sc}}$$

$$X_1 = \sqrt{Z_1^2 - R_1^2}$$

مراحل انجام آزمایش:

► مدار شکل زیر را ببندید.



► همچنین ولتاژ بین ترمینال‌های 4 و N منبع تغذیه را با چرخاندن تنظیم‌کننده در جهت عکس عقربه‌های ساعت روی صفر ولت AC تنظیم کنید.

☛ توجه کنید که به هیچ عنوان ترانس فورماتور را با ولتاژ DC تغذیه نکنید.

► کلید منبع ولتاژ را روشن کنید.

► ولتاژ ورودی ترانس فورماتور را با چرخاندن تنظیم‌کننده ولتاژ منبع ولتاژ در جهت حرکت عقربه‌های ساعت به 120 ولت AC برسانید.

☛ از تماس دست با هر کدام از ترمینال‌های آزاد ترانس فورماتور اکیداً خودداری نمایید.

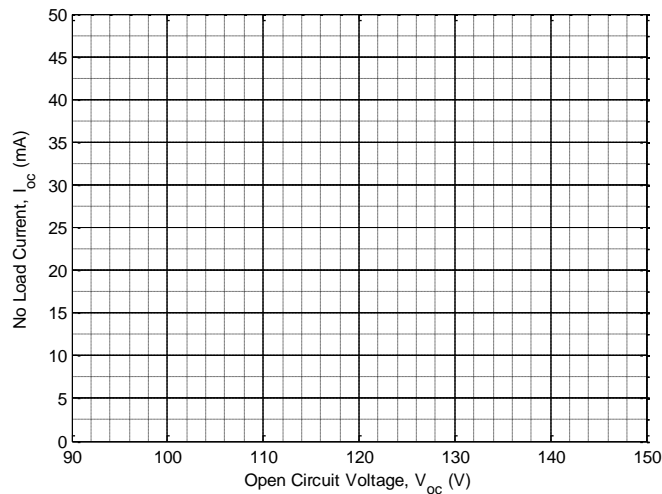
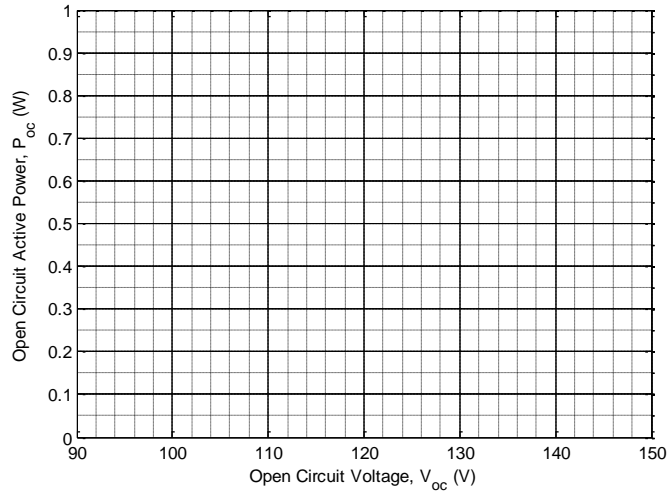
► با قرائت مقادیر دستگاه‌های اندازه‌گیری و با استفاده از روابط بررسی شده مقادیر  $R_m$  و  $X_m$  را محاسبه نمایید.

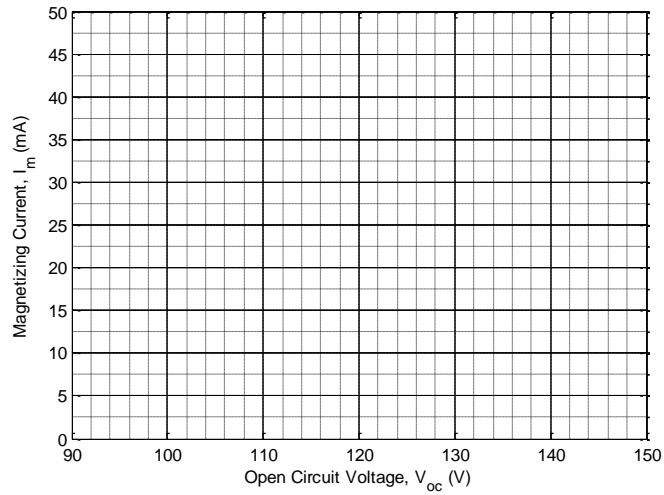
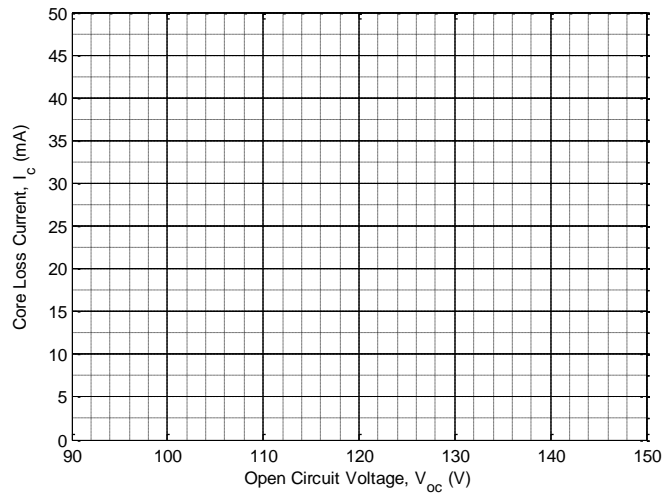
► مجدداً ولتاژ اعمال شده را به صفر برگردانید و با تغییر آن در فاصله 0.8 – 1.2 برابر ولتاژ نامی، جدول زیر را کامل کنید.

✎ اندازه‌گیری‌های خود را در ولتاژهای بالای 120 ولت سریع انجام دهید.

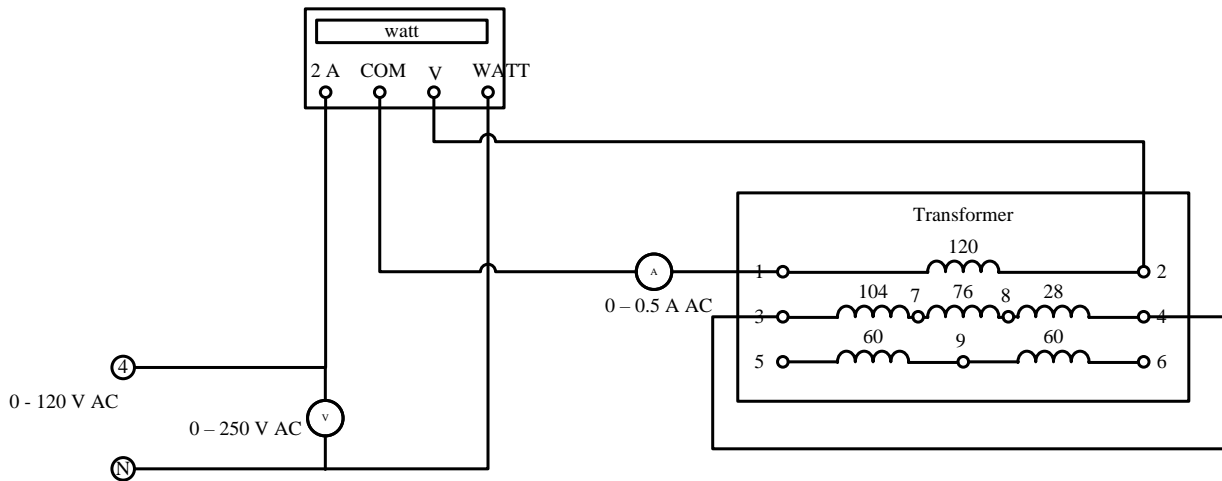
$V_{oc}$	$P_{oc}$	$I_{oc}$	$\cos \phi_{oc}$	$I_c$	$I_m$	$R_c$	$X_c$
108							
120							
132							

► بعد از تکمیل جدول، منحنی تغییرات توان جذب شده توسط ترانس‌فورماتور در حالت مدار باز، جریان بی‌باری، جریان مغناطیس‌کنندگی و جریان تلفات هسته را برحسب ولتاژ ورودی رسم کنید.





مدار را مطابق با شکل زیر تغییر دهید. ▶



\* قبل از انجام هر گونه تغییرات در مدار ولتاژ ورودی را با چرخاندن تنظیم کننده ولتاژ منبع ولتاژ در جهت عکس عقربه‌های ساعت به 0 ولت برسانید.

به مقدار بسیار جزئی تنظیم کننده ولتاژ منبع ولتاژ در جهت عقربه‌های ساعت بالا ببرید و در عین حال به جریان سیم‌پیچی اولیه توجه کنید.

\* جریان سیم‌پیچی اولیه ترانس فورماتور به هیچ عنوان نباید بیشتر از 0.5 آمپر شود.

? چرا جریان سیم‌پیچی اولیه ترانس فورماتور نباید بیشتر از 0.5 آمپر شود؟

جدول زیر را کامل کنید.

به تدریج و با احتیاط کامل ولتاژ اعمال شده را افزایش دهید تا جریان اتصال کوتاه ترانس فورماتور مطابق با جدول زیر باشد.

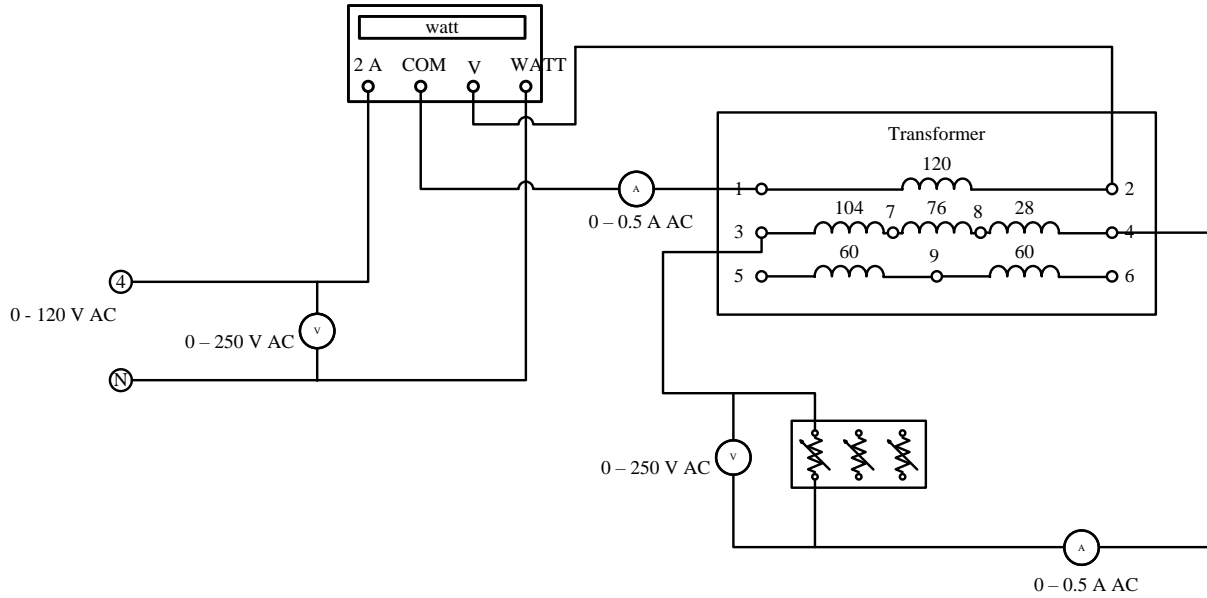
$V_{sc}$	$I_{sc}$	$P_{sc}$	$R_l$	$X_l$
	0.1			
	0.2			
	0.3			
	0.4			
	0.5			

? علت اینکه  $P_c$  در این آزمایش خیلی ناچیز بوده واز آن صرف نظر می‌گردد را توضیح دهید. آیا در کار نرمال ترانس فورماتور نیز از آن می‌توان صرف نظر کرد؟

? مدار معادل تقریبی ترانس فورماتور را هم از دیدگاه طرف اولیه و هم از دیدگاه طرف ثانویه رسم نموده و مقادیر پارامترهای آن را تعیین کنید.

مدار شکل زیر را ببندید.

\* قبل از انجام هر گونه تغییرات در مدار ولتاژ ورودی را با چرخاندن تنظیم کننده ولتاژ منبع ولتاژ در جهت عکس عقربه‌های ساعت به 0 ولت برسانید.



▶ کلیدهای بار مقاومتی را در حالت قطع قرار دهید.

▶ ولتاژ بین دو ترمینال 4 و N منبع تغذیه را با چرخاندن تنظیم کننده ولتاژ منبع ولتاژ در جهت حرکت عقربه‌های ساعت روی 70 ولت AC تنظیم کنید.

▶ با وصل کردن به تدریج کلیدهای بار جدول زیر را کامل کنید.

✎ توجه داشته باشید که جریان سمت ثانویه بیشتر از 0.3 آمپر نشود.

	$P_{in}$	$P_{out} = V_2 \times I_2$	$P_c = V_1^2 / R_c$	$R_1 \times I_1^2$	$P_{in} - P_{out}$	$P_c + R_1 \times I_1^2$
1200 $\Omega$						
600 $\Omega$						
1200    600 $\Omega$						
300 $\Omega$						
1200    300 $\Omega$						
600    300 $\Omega$						
1200    600    300 $\Omega$						

✎ ستون اول از سمت راست تلفات محاسبه شده و ستون دوم از راست تلفات اندازه‌گیری شده را نشان می‌دهد.

این دو ستون باید با هم برابر باشند.

## آزمایش پنجم

عنوان: اتوترانس فورماتور

اهداف: بررسی مزایا و معایب اتوترانس فورماتور و مقایسه آن با ترانس فورماتور معمولی،

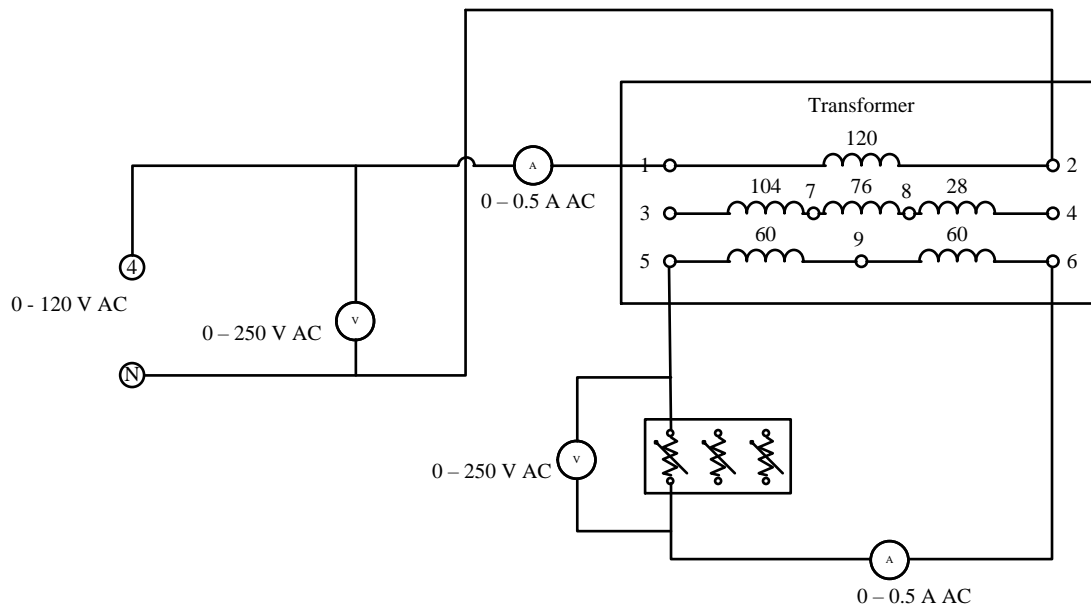
بحث:

عملکرد اتوترانس فورماتور و توان ظاهری آن،

ارتباط الکتریکی سمت اولیه و ثانویه،

مراحل انجام آزمایش:

► مدار شکل زیر در ارتباط با یک ترانس فورماتور معمولی را ببینید.



► ولتاژ ورودی را با چرخاندن تنظیم کننده ولتاژ منبع ولتاژ در جهت عکس حرکت عقربه‌های ساعت به 0 ولت برسانید.

► تمام کلیدهای بار در حالت قطع قرار دهید.

► کلید منبع ولتاژ را وصل کنید.

▶ ولتاژ ورودی ترانس فورماتور را با چرخاندن تنظیم کننده ولتاژ منبع ولتاژ در جهت حرکت عقربه‌های ساعت به 120 ولت برسانید.

✳️ از تماس دست با هریک از ترمینال‌های آزاد ترانس فورماتور اکیداً خودداری کنید.

▶ با وارد کردن تدریجی مقاومت‌ها به مدار جریان اولیه ترانس فورماتور را به مقدار نامی برسانید.

✍️ مقدار نامی هر کدام از سیم‌پیچی‌های ترانس فورماتور را از روی پانل ترانس فورماتور بخوانید.

$$I_{1n} = 0.5 \text{ و } I_{2n} = 0.5$$

✍️ توجه کنید که جریان سمت اولیه ترانس فورماتور از مقدار نامی بیشتر نشود.

▶ جدول زیر را کامل کنید.

		توان ورودی			توان خروجی
$V_{1n}$	$I_{1n}$	$S_{1n} = VA_{1n} = V_{1n} \times I_{1n}$	$V_{2n}$	$I_{2n}$	$S_{2n} = VA_{2n} = V_{2n} \times I_{2n}$

✍️ همانطور که ملاحظه می‌کنید در این حالت توان ظاهری ورودی برابر با  $V_{1n} \times I_{1n}$  و توان ظاهری خروجی برابر با مقدار  $V_{2n} \times I_{2n}$  می‌باشد و این دو مقدار نیز با هم برابرند.

? ثابت کنید توان ظاهری ورودی ترانس فورماتور با توان ظاهری خروجی ترانس فورماتور برابر می‌باشد.

کلید منبع ولتاژ را قطع کنید.

▶ ولتاژ ورودی را با چرخاندن تنظیم کننده ولتاژ منبع ولتاژ در جهت عکس حرکت عقربه‌های ساعت به 0 ولت برسانید.

▶ مدار شکل زیر را که استفاده اتوترانس فورماتوری همان ترانس فورماتور قبلی را نشان می‌دهد، ببندید.

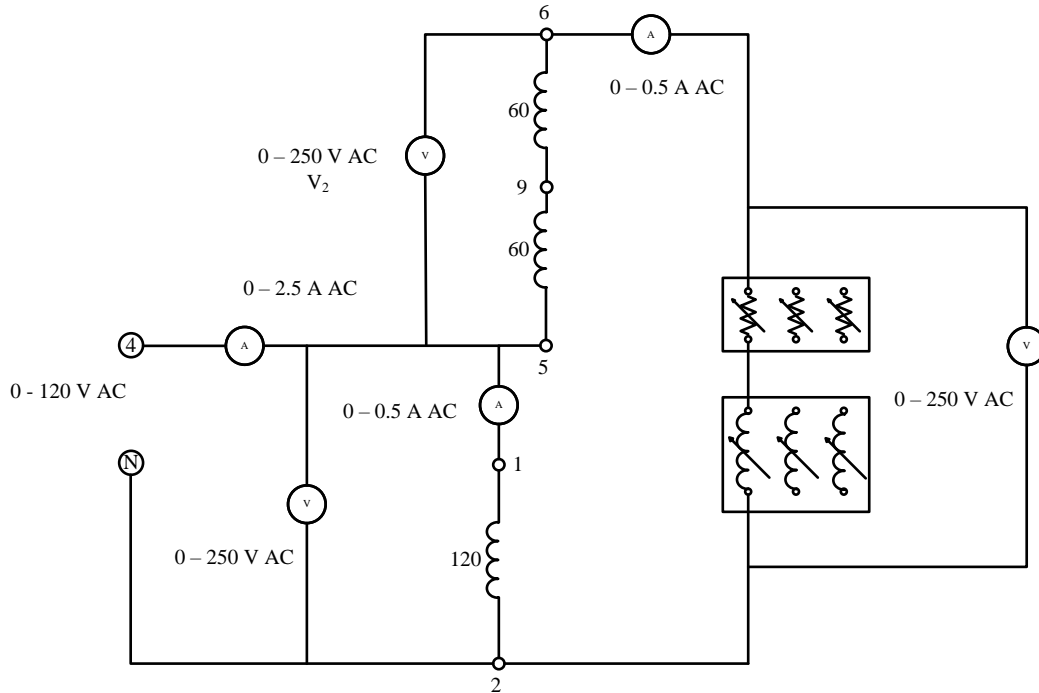
✍️ همان‌طور که ملاحظه می‌کنید در این حالت بار سلفی با بار مقاومتی سری شده است.

? دلیل اینکه در این آزمایش این دو بار با هم سری شده است چه چیزی می‌تواند باشد؟

▶ کلیدهای بار در موقعیت قطع قرار دهید.



▶ ولتاژ ورودی را با چرخاندن تنظیم کننده ولتاژ منبع ولتاژ در جهت حرکت عقربه‌های ساعت به 120 ولت برسانید.



? اگر ولتاژ خروجی با وجود افزایش ولتاژ ورودی در مقدار صفر باقی می‌ماند، علت را توضیح دهید.

▶ در صورتی که چنین اتفاقی بیافتد مطابق با شکل زیر جای ترمینال‌های شماره‌های ۵ و ۶ را جابجا کنید.

☛ قبل از اینکه هر گونه تغییری در مدار بدهید کلید منبع ولتاژ را قطع یا با چرخاندن تنظیم کننده ولتاژ منبع ولتاژ، ولتاژ را به 0 برسانید.

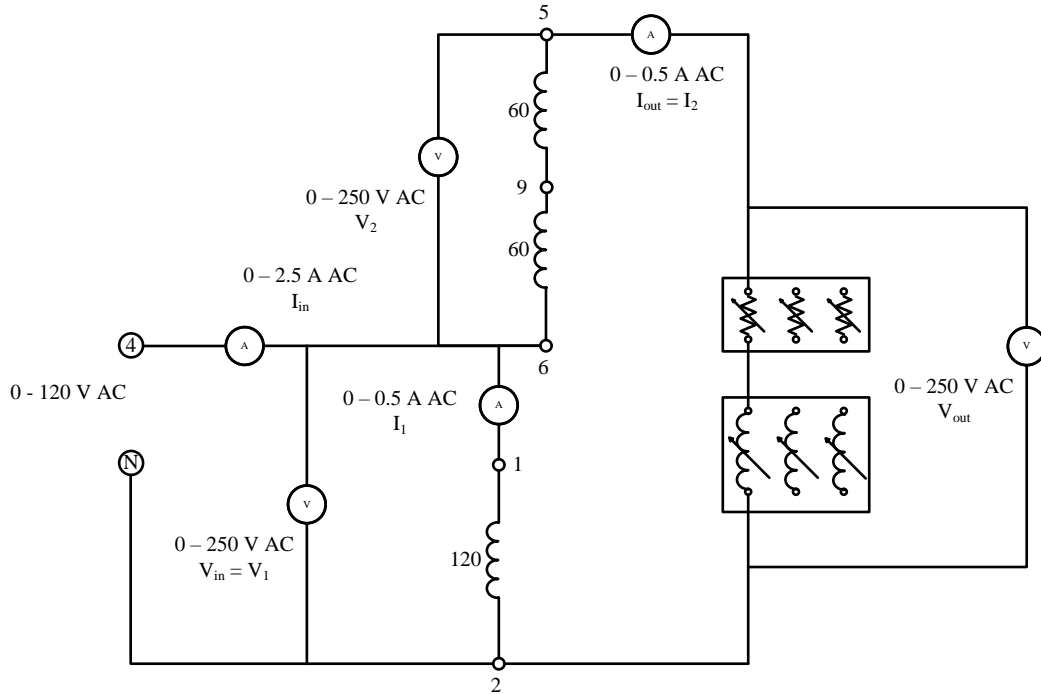
▶ مجدداً ولتاژ ورودی را با چرخاندن تنظیم کننده ولتاژ منبع ولتاژ در جهت حرکت عقربه‌های ساعت به 120 ولت برسانید.

✎ به ولتاژ سمت ثانویه توجه کنید.

☛ از تماس دست با هر کدام از ترمینال‌های آزاد ترانس فورماتور اکیداً خودداری کنید.

? دلیل افزایش ولتاژ تا این مقدار چه چیزی می‌باشد؟

? با توجه به مقدار ولتاژ ثانویه بار دیگر به جواب سوال قبل (دلیل سری کردن دو بار با هم) فکر کنید.



► بعد از اینکه ولتاژ سمت اولیه را به 120 ولت افزایش دادید، بارهای مقاومتی و سلفی را به تدریج و به صورت همزمان وارد مدار کنید.

► این کار را تا جایی انجام دهید که جریان سیم‌پیچی‌های ترانس‌فورماتور به مقدارهای نامی برسد.

$$I_{2n} = 0.5 \text{ و } I_{1n} = 0.5$$

✎ توجه کنید که جریان سیم‌پیچی‌های ترانس‌فورماتور از مقدار نامی بیشتر نشود.

► جدول زیر را کامل کنید.

		توان ورودی			توان خروجی
$V_{1n}$	$I_{1n}$	$S_{1n} = VA_{1n} = V_{in} \times I_{in}$	$V_{2n}$	$I_{2n}$	$S_{2n} = VA_{2n} = V_{out} \times I_{out}$

? با مقایسه دو جدول این آزمایش مزیت اتوترانس‌فورماتور نسبت به ترانس‌فورماتور را توضیح دهید.

? اگر تعداد دور سیم‌پیچی اولیه  $N_1$  و تعداد دور سیم‌پیچی ثانویه  $N_2$  باشد، رابطه توان ظاهری اتوترانس‌فورماتور را در مقایسه با ترانس‌فورماتور معمولی به‌دست بیاورید.

## آزمایش ششم

عنوان: موازی کردن ژنراتور سنکرون با سیستم سه فاز برق شهری

اهداف: بررسی شرایط لازم برای کار موازی دو سیستم فاز، مشاهده تاثیرات عدم رعایت کردن شرایط موازی کردن، قوانین تقسیم توان‌های اکتیو و راکتیو بین دو ژنراتور موازی

بحث:

توضیح در مورد دامنه ولتاژ برق شهری و دامنه ولتاژ تولیدی ژنراتور مورد آزمایش،

توضیح در مورد مازول سنکرون اسکوپ،

نحوه تغییر فرکانس ولتاژ خروجی ژنراتور سنکرون،

نحوه تغییر اندازه ولتاژ ژنراتور سنکرون،

شرایط لازم برای موازی کردن دو مجموعه سه فاز،

مراحل انجام آزمایش:

► مدار شکل زیر را ببینید.

✎ توجه داشته باشید که خروجی ژنراتور سنکرون توسط مازول سنکرون اسکوپ به ولتاژ خروجی ثابت منبع ولتاژ (ترمینال‌های شماره‌های 1، 2 و 3) وصل شده است.

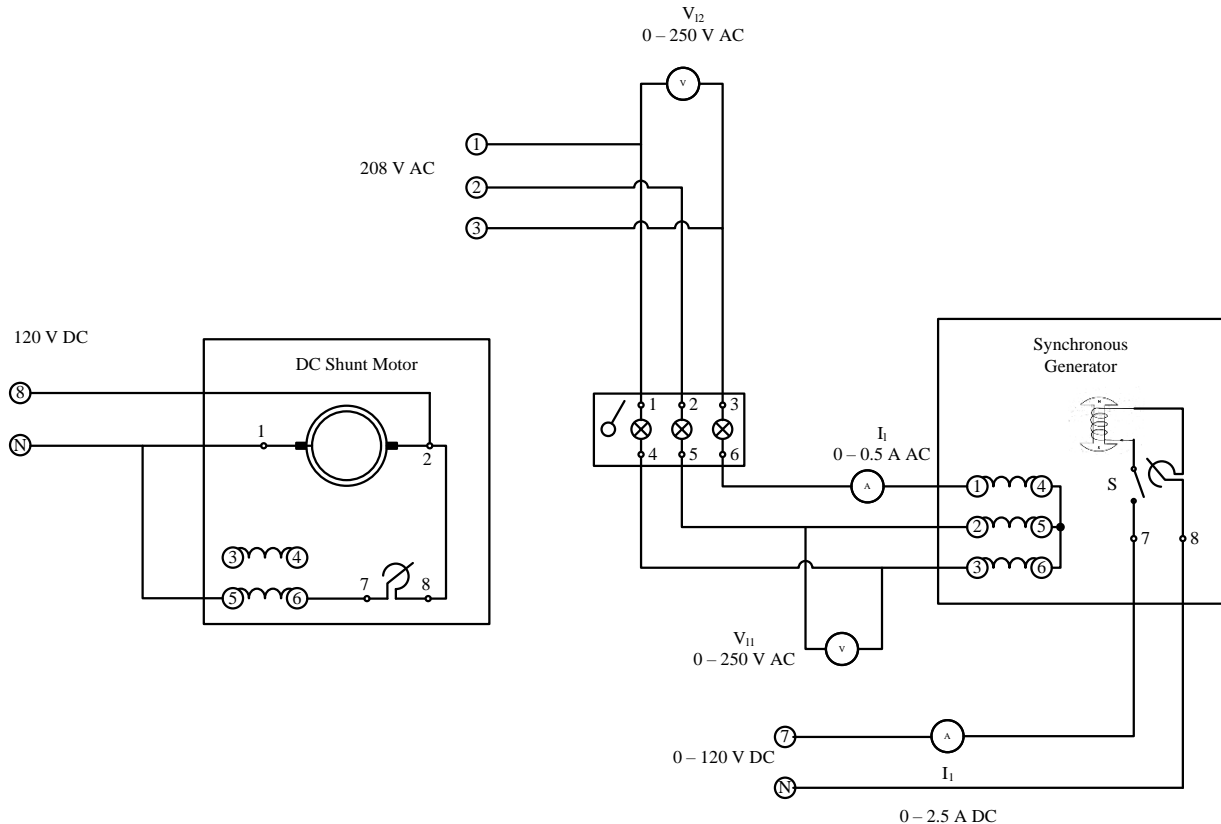
✎\* از تماس دست با هر کدام از قسمت‌های مجموعه اکیداً خودداری نمایید. با اینکه ژنراتور سنکرون راه‌اندازی نشده است ولی (ترمینال‌های شماره‌های 1، 2 و 3) از طریق منبع ولتاژ برق دار می‌باشند.

✎ روتور ماشین سنکرون به خروجی متغیر 0-120 ولت DC منبع ولتاژ (ترمینال‌های 7 و N) وصل شده است.

✎ موتور DC شنت به خروجی 120 ولت ثابت DC منبع ولتاژ (ترمینال‌های 8 و N) متصل شده است.

► از اتصال محور موتور DC به محور ژنراتور سنکرون توسط تسمه اطمینان حاصل کنید.

► مقدار مقاومت مسیر میدان موتور DC را با چرخاندن آن در جهت عقربه‌های ساعت در مقدار مینیمم تنظیم کنید.



► مقدار مقاومت میدان یا تحریک (واقع در مسیر روتور ژنراتور سنکرون) را با چرخاندن آن در جهت حرکت عقربه‌های ساعت در مقدار مینیمم تنظیم کنید و کلید S را در حالت قطع قرار دهید.

► اطمینان حاصل کنید کلید سنکرون اسکوپ که خروجی ژنراتور را به برق شهر متصل می‌کند، در حالت قطع می‌باشد.

► منبع ولتاژ را روشن کنید و سرعت موتور DC را به 1500 دور بر دقیقه برسانید.

► کلید S مربوط به روتور ژنراتور سنکرون را وصل کنید.

► به آرامی تنظیم‌کننده ولتاژ منبع ولتاژ را در جهت عقربه‌های ساعت بچرخانید تا با افزایش ولتاژ مسیر تحریک جریان تحریک ژنراتور سنکرون نیز افزایش یابد.

▶ به ولتاژ خط شبکه  $V_{12}$  توجه کنید. جریان تحریک ژنراتور سنکرون را تا جایی افزایش دهید که ولتاژ خط خروجی ژنراتور  $V_{11}$  به همین مقدار برسد.

✎ این دو ولتاژ تا آخر آزمایش باید با هم برابر باشند.

✎ همان طور که ملاحظه می کنید سه چراغ سنکرون اسکوپ شروع به چشمک زدن می کنند.

▶ فرکانس برق شهر (خروجی ترمینال های شماره های 1، 2 و 3) را با فرکانس متر بخوانید.

▶ با تنظیم دقیق سرعت موتور DC فرکانس ولتاژ خروجی ژنراتور را نیز به همان عدد برسانید.

☼ به هیچ عنوان اقدام به وصل کلید مازول سنکرون اسکوپ تا موقعی که شرایط آن طبق ادامه دستور کار فراهم نشده نکنید.

▶ به آرامی سرعت چرخش موتور DC را تغییر دهید تا فرکانس چشمک زدن چراغ ها کاملاً کم شود.

▶ اگر هر سه چراغ با هم روشن و خاموش نمی شوند (به ترتیب یکی پس از دیگری روشن و خاموش می شوند) جای دو فاز از ژنراتور سنکرون را با هم عوض کنید.

☼ این کار را اکیداً بعد از خاموش کردن ژنراتور سنکرون انجام دهید.

▶ مجدداً به آرامی و با دقت سرعت موتور DC را تنظیم کنید تا هر سه چراغ با هم و با سرعت بسیار کم شروع به چشمک زدن بکنند.

✎ موقعی که هر سه چراغ با هم خاموش می شوند فازهای شبکه برق و ژنراتور سنکرون از نظر توالی و زاویه فاز با هم یکسان می باشند.

✎ موقعی که هر سه چراغ با هم روشن می شوند فازهای شبکه برق و ژنراتور سنکرون از نظر توالی با هم یکسان و از نظر زاویه فاز با هم 180 درجه اختلاف دارند.

▶ مجدداً بررسی کنید که ولتاژهای خط شبکه  $V_{12}$  و ژنراتور سنکرون  $V_{11}$  با هم برابر هستند یا نه؟

▶ اگر برابر نباشند با تغییر جریان تحریک ژنراتور آنها را برابر کنید.

✎ موقعی که هر سه چراغ با هم خاموش می‌شوند در یک لحظه و خیلی سریع کلید سنکرون اسکوپ را وصل کنید تا خروجی ژنراتور سنکرون به برق شبکه متصل شود.

▶ در لحظه وصل کلید به مقدار جریان  $I_1$  توجه کنید.

✎ بار دیگر کلید سنکرون اسکوپ را موقعی که هر سه چراغ تقریباً خاموش (کمرنگ) هستند وصل کنید. به مقدار جریان  $I_1$  توجه کنید.

? مقدار جریان  $I_1$  در مقایسه با حالت قبلی چه تغییری می‌کند؟ این تغییر را چگونه توجیه می‌کنید؟

▶ بعد از اینکه ژنراتور سنکرون با شبکه موازی شد با تغییر مقاومت میدان موتور DC سعی کنید سرعت درایو و به تبع آن سرعت چرخش ژنراتور سنکرون را تغییر دهید.

? آیا موفق به این تغییر می‌شوید؟ چرا؟

▶ همچنین با تغییر جریان تحریک ژنراتور سنکرون سعی کنید ولتاژ ژنراتور سنکرون را تغییر دهید.

? آیا موفق به این تغییر می‌شوید؟ چرا؟

▶ در همین حال که مقاومت میدان موتور DC و همچنین جریان تحریک ژنراتور سنکرون را تغییر داده‌اید کلید S را قطع کنید و مشاهدات خود را به صورت کامل توضیح دهید.

## آزمایش هفتم

عنوان: کندانسور سنکرون

اهداف: استفاده از موتور سنکرون به عنوان منبع متغیر توان راکتیو (کندانسور)،

به دست آوردن منحنی  $V$  شکل

بحث:

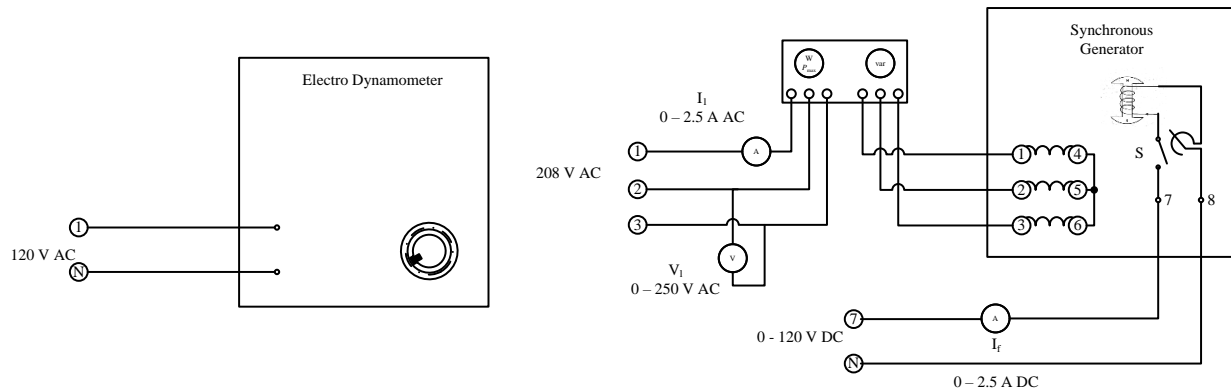
توضیح در مورد کندانسورهای سنکرون،

توضیح در مورد الکترو دینامومتر،

توضیح در مورد مازول اندازه گیری توان های اکتیو و راکتیو،

مراحل انجام آزمایش:

► مدار شکل زیر را ببندید.



► از اتصال محور الکترو دینامومتر به محور موتور سنکرون توسط تسمه اطمینان حاصل کنید.

► کنترل کننده الکترو دینامتر را کاملاً در جهت عکس حرکت عقربه های ساعت بچرخانید تا هیچ گشتاور مکانیکی را روی محور سنکرون موتور اعمال نکند.

► مقدار مقاومت میدان یا تحریک (واقع در مسیر روتور موتور سنکرون) را با چرخاندن آن در جهت عکس حرکت عقربه های ساعت در مقدار مینیمم تنظیم کنید و کلید S را در حالت قطع قرار دهید.

- ✎ اکثر کلیدهای تجهیزات در تمامی مجموعه‌ها در موقعیت پایین قطع و در موقعیت بالا وصل می‌باشند.
- ✎ ولتاژ AC خروجی ترمینال‌های 1، 2 و 3 منبع تغذیه همیشه 120 ولت فاز و 208 ولت خط می‌باشد و ارتباطی به موقعیت تنظیم‌کننده منبع ولتاژ ندارد.
- ✎ ولتاژ بین دو ترمینال 1 و N منبع تغذیه همیشه 120 ولت AC می‌باشد و ارتباطی به موقعیت تنظیم‌کننده منبع ولتاژ ندارد.
- ✎ ولتاژ بین دو ترمینال 7 و N منبع تغذیه بسته به موقعیت تنظیم‌کننده منبع ولتاژ از 0 تا 120 ولت DC تغییر می‌کند.
- ▶ ولتاژ بین دو ترمینال 7 و N منبع تغذیه را با چرخاندن تنظیم‌کننده ولتاژ منبع ولتاژ در جهت عکس حرکت عقربه‌های ساعت روی 0 ولت DC تنظیم کنید.
- ▶ منبع تغذیه را روشن نمایید.
- ✎\* از تماس دست با هر کدام از قسمت‌های مجموعه اکیداً خودداری نمایید.
- ▶ دقت نمایید جهت چرخش موتور طبق جهت نشان داده شده روی الکترو دینامومتر (در جهت حرکت عقربه‌های ساعت) باشد.
- ✎ به منظور جابجا کردن جهت چرخش موتور می‌توانید جای دو فاز دلخواه را بعد از قطع کلید منبع ولتاژ عوض کنید.
- ▶ کلید S را وصل کنید.
- ✎ در این حالت موتور سنکرون (با جریان تحریک صفر) به صورت موتور القایی کار می‌کند.
- ✎ توجه داشته باشید که فعلاً گشتاوری به محور موتور اعمال نشده است و موتور به صورت بی‌بار کار می‌کند.
- ?** چرا با وجود اینکه موتور بی‌بار است و توان خروجی آن صفر می‌باشد ولی توان اکتیو ورودی موتور صفر نیست؟
- ▶ همچنین توان راکتیو موتور را بخوانید و به علامت مثبت یا منفی آن توجه کنید.



؟ آیا موتور در این حالت توان راکتیو را از شبکه جذب می کند یا اینکه توان راکتیو به شبکه تزریق می کند؟

► به تدریج و به آهستگی تنظیم کننده ولتاژ منبع ولتاژ را در جهت حرکت عقربه های ساعت چرخانده و با افزایش جریان تحریک موتور سنکرون جدول زیر را کامل کنید.

✍ به علامت مثبت و منفی توان اکتیو توجه کافی داشته باشید.

✍ اندازه گیری های خود را در کمترین زمان ممکن انجام دهید.

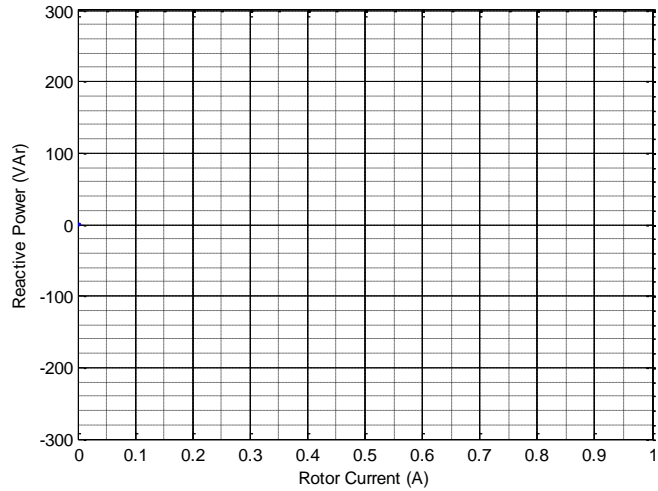
✍ توجه داشته باشید که جریان تحریک بیشتر از 0.9 آمپر نشود.

✍ برای محاسبه  $\cos \varphi$  از رابطه زیر استفاده کنید.

$$\cos \varphi = \frac{P_{in}}{\sqrt{3}V_l I_l}$$

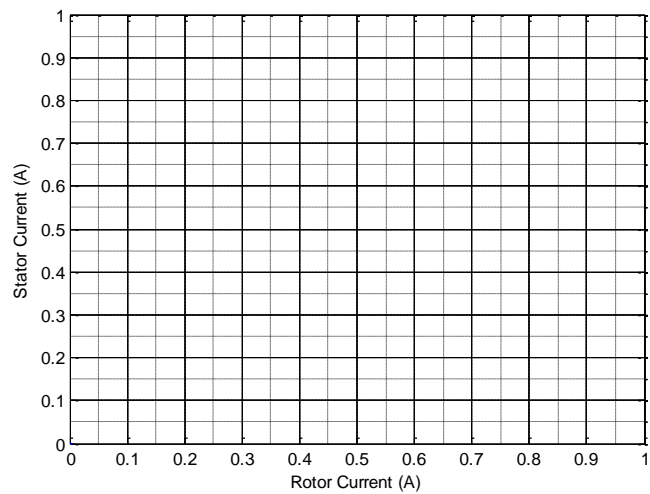
جریان تحریک	توان اکتیو	توان راکتیو	جریان استاتور	$\cos \varphi$
0				
0.05				
0.1				
0.15				
0.2				
0.25				
0.3				
0.35				
0.4				
0.45				
0.5				
0.55				
0.6				
0.65				
0.7				
0.75				

منحنی توان راکتیو جذب شده توسط موتور سنکرون از شبکه را بر حسب جریان تحریک در نمودار شکل زیر رسم کنید.

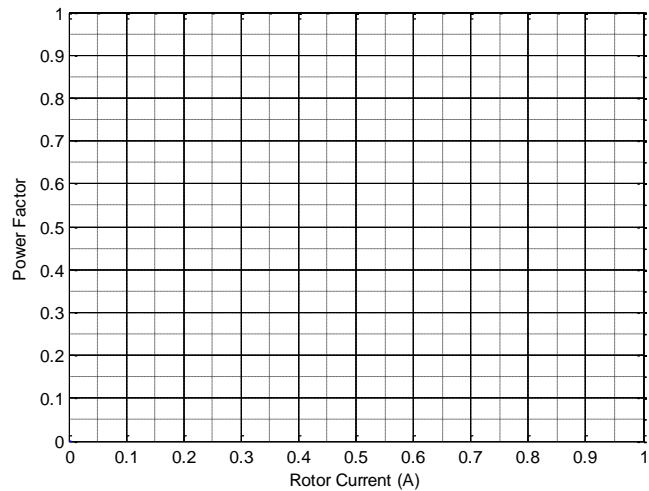


? توضیح دهید چگونه موتور سنکرون به عنوان یک منبع متغیر توان راکتیو می تواند عمل کند؟

منحنی جریان استاتور موتور سنکرون بر حسب جریان تحریک در نمودار شکل زیر رسم کنید.



همچنین منحنی ضریب توان موتور سنکرون بر حسب جریان تحریک در نمودار شکل زیر رسم کنید.



► مجدداً ولتاژ بین دو ترمینال 7 و N منبع تغذیه را با چرخاندن تنظیم‌کننده ولتاژ منبع ولتاژ در جهت عکس حرکت عقربه‌های ساعت روی 0 ولت DC تنظیم کنید.

► با چرخاندن تنظیم‌کننده گشتاور الکترو دینامومتر در جهت حرکت عقربه‌های ساعت به موتور سنکرون به اندازه 0.5 نیوتن متر گشتاور مکانیکی اعمال کنید.

✎ توجه کنید که کنترل‌کننده گشتاور الکترو دینامومتر را آنقدر نچرخانید که جریان موتور بیشتر از 0.7 آمپر شود.

? چرا با افزایش بار مکانیکی روی محور موتور سنکرون جریان کشیده شده توسط موتور نیز افزایش می‌یابد؟

? به توان اکتیو موتور توجه کنید. در مقایسه با حالت قبلی بیشتر یا کمتر شده است؟ چرا؟

✎ به علامت مثبت یا منفی توان راکتیو توجه کنید.

? آیا موتور در این حالت توان راکتیو را از شبکه جذب می‌کند یا اینکه توان راکتیو به شبکه تزریق می‌کند؟

► به تدریج و به آهستگی تنظیم‌کننده ولتاژ منبع ولتاژ را در جهت حرکت عقربه‌های ساعت چرخانده و با افزایش جریان تحریک موتور سنکرون جدول زیر را کامل کنید.

✎ به علامت مثبت و منفی توان اکتیو توجه کافی داشته باشید.

✎ اندازه‌گیری‌های خود را در کمترین زمان ممکن انجام دهید.

توجه داشته باشید که جریان تحریک بیشتر از 0.9 آمپر نشود.

جریان تحریک	توان اکتیو	توان راکتیو	جریان استاتور	$\cos \varphi$
0				
0.05				
0.1				
0.15				
0.2				
0.25				
0.3				
0.35				
0.4				
0.45				
0.5				
0.55				
0.6				
0.65				
0.7				
0.75				

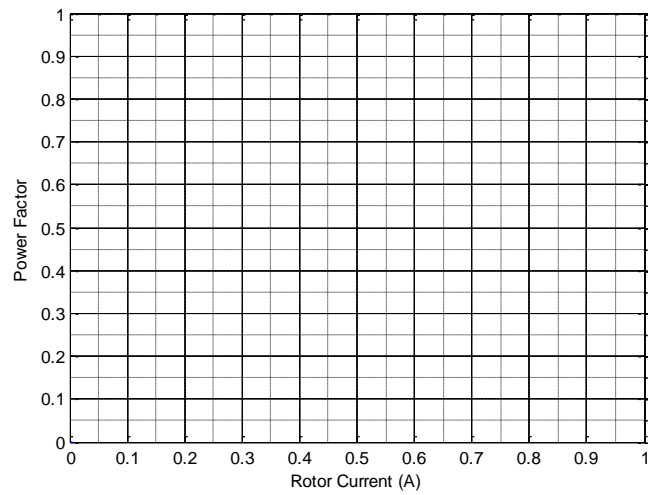
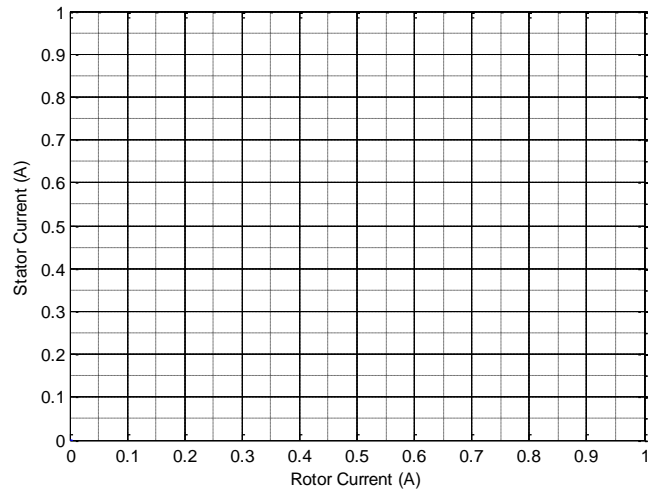
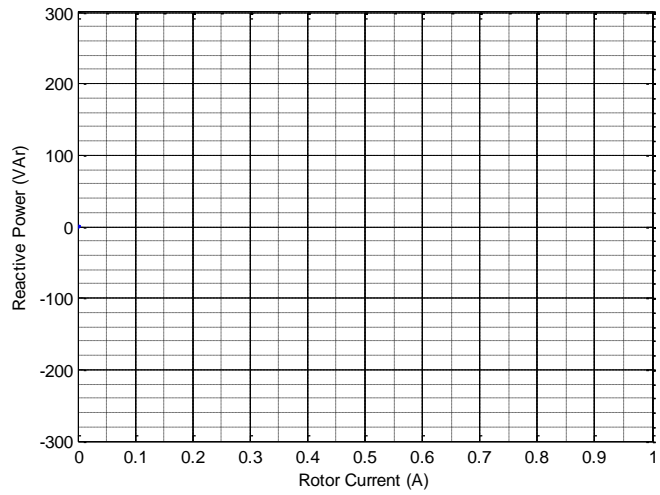
▶ منحنی توان راکتیو جذب شده توسط موتور سنکرون از شبکه را بر حسب جریان تحریک در نمودار شکل زیر رسم کنید.

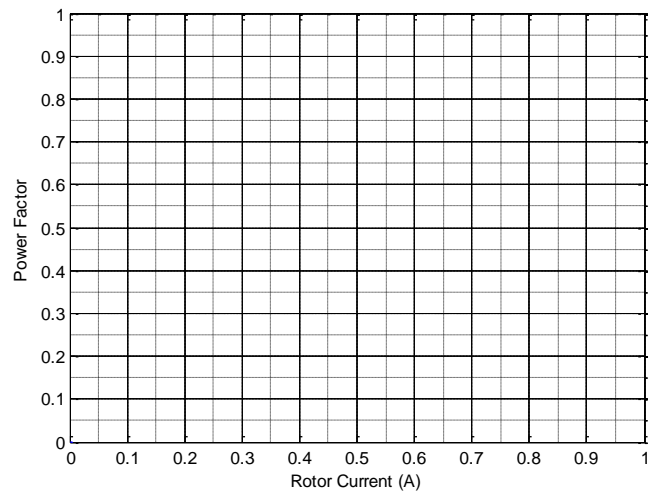
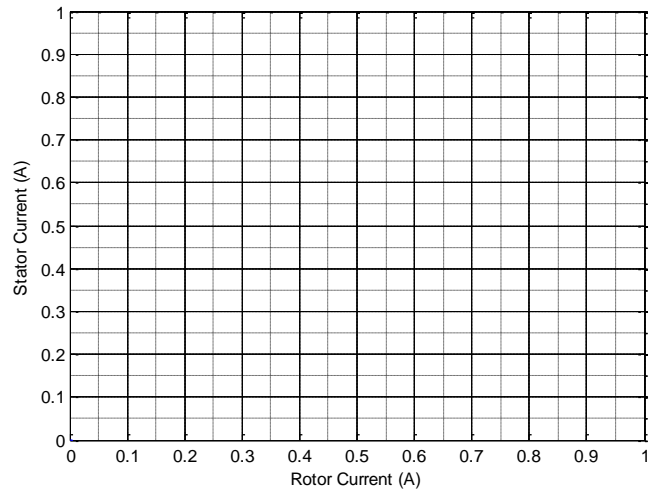
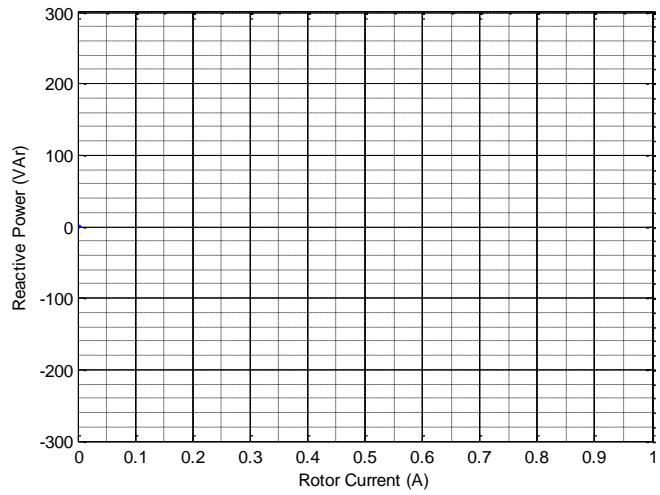
? توضیح دهید چگونه موتور سنکرون به عنوان یک منبع متغیر توان راکتیو می تواند عمل کند؟

▶ منحنی جریان استاتور موتور سنکرون بر حسب جریان تحریک در نمودار شکل زیر رسم کنید.

▶ همچنین منحنی ضریب توان موتور سنکرون بر حسب جریان تحریک در نمودار شکل زیر رسم کنید.

همچنین منحنی های توان راکتیو جذب شده توسط موتور سنکرون از شبکه، جریان استاتور موتور سنکرون و ضریب توان موتور سنکرون بر حسب جریان تحریک را برای هر دو حالتی که آزمایش کردید روی منحنی های واحدی رسم کنید.





## آزمایش هشتم

عنوان: عملکرد موازی ترانسفورماتورهای تک‌فاز

اهداف: بررسی شرایط لازم برای موازی کردن ترانس‌فورماتورهای تک‌فاز،

مطالعه ترانس‌فورماتورهای موازی تک‌فاز باردار

بحث:

توضیح در مورد لزوم موازی کردن ترانس‌فورماتورها،

اگر توان یک ترانس‌فورماتور برای تامین مصرف‌کننده کافی نباشد یا باید از یک ترانس‌فورماتور با ظرفیت بزرگ‌تر استفاده نمود و یا اینکه از چند ترانس‌فورماتور که به صورت موازی به هم اتصال می‌یابند استفاده کرد. مزیت استفاده از چند ترانس‌فورماتور جداگانه به جای یک ترانس‌فورماتور بزرگ‌تر قابلیت اطمینان تامین بار را نیز بالا می‌برد.

مراحل انجام آزمایش:

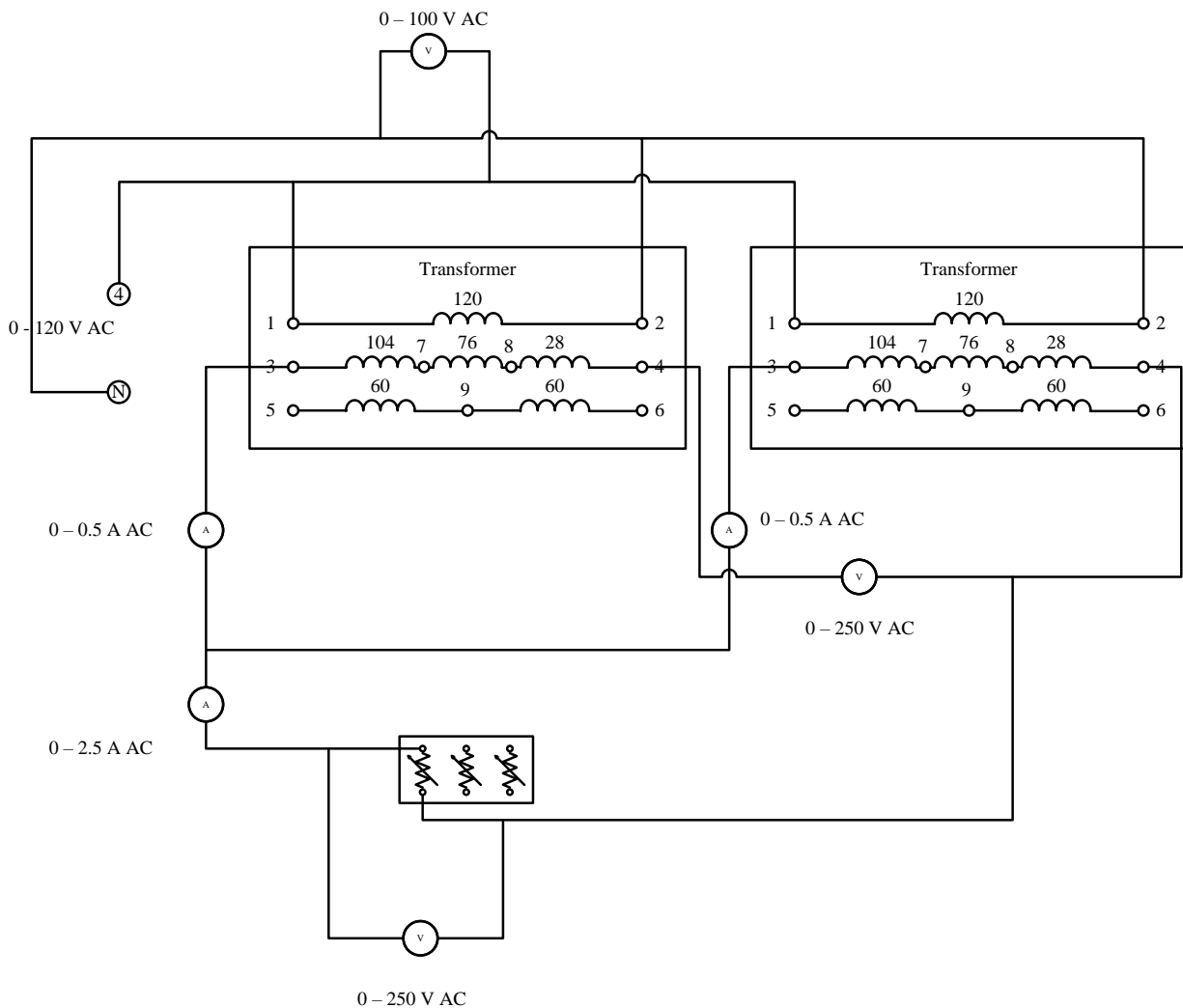
► مدار شکل زیر را ببندید.

► ولتاژ بین دو ترمینال 4 و N منبع تغذیه را با چرخاندن تنظیم‌کننده ولتاژ منبع ولتاژ در جهت عکس حرکت عقربه‌های ساعت روی 0 ولت AC تنظیم کنید.

► کلیدهایبار مقاومتی را در حالت قطع قرار دهید.

✍ همانطور که ملاحظه می‌کنید اولیه هر دو ترانس‌فورماتور نظیر به نظیر به هم وصل و با هم موازی شده و به منبع ولتاژ وصل شده‌اند. همچنین ثانویه‌های هر دو ترانس‌فورماتور از یک سر توسط دو آمپر متر با هم وصل شده‌اند و از سر دیگر توسط یک ولت‌متر به هم وصل شده‌اند.

✍ موقعی که ترمینال‌های دو ترانس‌فورماتور به هم‌دیگر وصل می‌شوند باید اطمینان حاصل شود که ترمینال‌های مذکور با هم هم‌پتانسیل می‌باشند. بنابراین اگر ولت‌متر عدد 0 ولت را نشان دهد می‌توان دو سر شماره 8 ترانس‌فورماتورها را به هم وصل کرد. در غیر این صورت باید جای دو ترمینال ثانویه را در یکی از ترانس‌فورماتورها عوض کرد.



▶ کلید منبع ولتاژ را روشن کنید.

☛ توجه کنید که به هیچ عنوان ترانس فورماتور را با ولتاژ DC تغذیه نکنید.

▶ ولتاژ بین دو ترمینال 4 و N منبع تغذیه را با چرخاندن تنظیم کننده ولتاژ منبع ولتاژ در جهت حرکت عقربه‌های ساعت روی 70 ولت AC تنظیم کنید.

▶ اگر ولت‌متر مقداری را نشان می‌دهد منبع ولتاژ را خاموش و جای ترمینال‌های 3 و 8 را در یکی از ترانس فورماتورها با هم عوض کنید و مجدداً منبع ولتاژ را روشن کنید.

▶ به ولت‌متر بین دو ترانس فورماتور توجه کنید.



▶ اگر ولت‌متر مقداری را نشان نمی‌دهد کلید منبع ولتاژ را قطع کنید. ولت‌متر را از مدار خارج و دو ترمینال شماره 8 هر دو ترانس فورماتور را با سیم به هم‌دیگر وصل کنید.

▶ بار دیگر منبع ولتاژ را روشن کنید.

✍ اکنون دو ترانس فورماتور با هم موازی شده‌اند.

✳ از تماس دست با به ترمینال‌های ترانس فورماتورها حتی ترمینال‌هایی که مورد استفاده قرار نگرفته‌اند اکیداً خودداری کنید.

▶ ولتاژ سمت ثانویه را با استفاده از ولت‌متر بخوانید. اگر این ولتاژ 120 ولت می‌باشد کلید  $1200 \Omega$  بار مقاومتی را وصل کنید و به جریان‌های هر کدام از ترانس فورماتورها و همچنین جریان بار توجه کنید.

▶ جدول زیر را کامل کنید.

✍ توجه کنید که جریان ثانویه ترانس فورماتورها بیشتر از 0.3 آمپر نشود.

✍ اندازه‌گیری‌های خود را در سریع‌ترین زمان ممکن انجام دهید.

	$V_1$	$V_2$	$I_1$	$I_2$	$I_L$
1200 $\Omega$					
600 $\Omega$					
1200    600 $\Omega$					
300 $\Omega$					
1200    300 $\Omega$					
600    300 $\Omega$					
1200    600    300 $\Omega$					

▶ کلید منبع ولتاژ را قطع کنید و بارهای مقاومتی را با بارهای سلفی جایگزین کنید.

▶ کلیدهای بار سلفی را در حالت قطع قرار دهید.

▶ کلید منبع ولتاژ را روشن کنید.

▶ با واردن کردن به تدریج بارهای سلفی به مدار جدول زیر را کامل کنید.

توجه کنید که جریان ثانویه ترانس فورماتورها بیشتر از 0.3 آمپر نشود.

اندازه‌گیری‌های خود را در سریع‌ترین زمان ممکن انجام دهید.

	$V_1$	$V_2$	$I_1$	$I_2$	$I_L$
3.8 H					
1.9 H					
3.8    1.9 H					
0.95 H					
3.8    0.95 H					
1.9    0.95 H					
3.8    1.9    0.95 H					

بعد از کامل نمودن جدول مربوط به بارهای سلفی بار دیگر کلید منبع ولتاژ را قطع کنید و بارهای سلفی را با بارهای خازنی جایگزین کنید.

کلیدهای بار خازنی را در حالت قطع قرار دهید.

کلید منبع ولتاژ را روشن کنید.

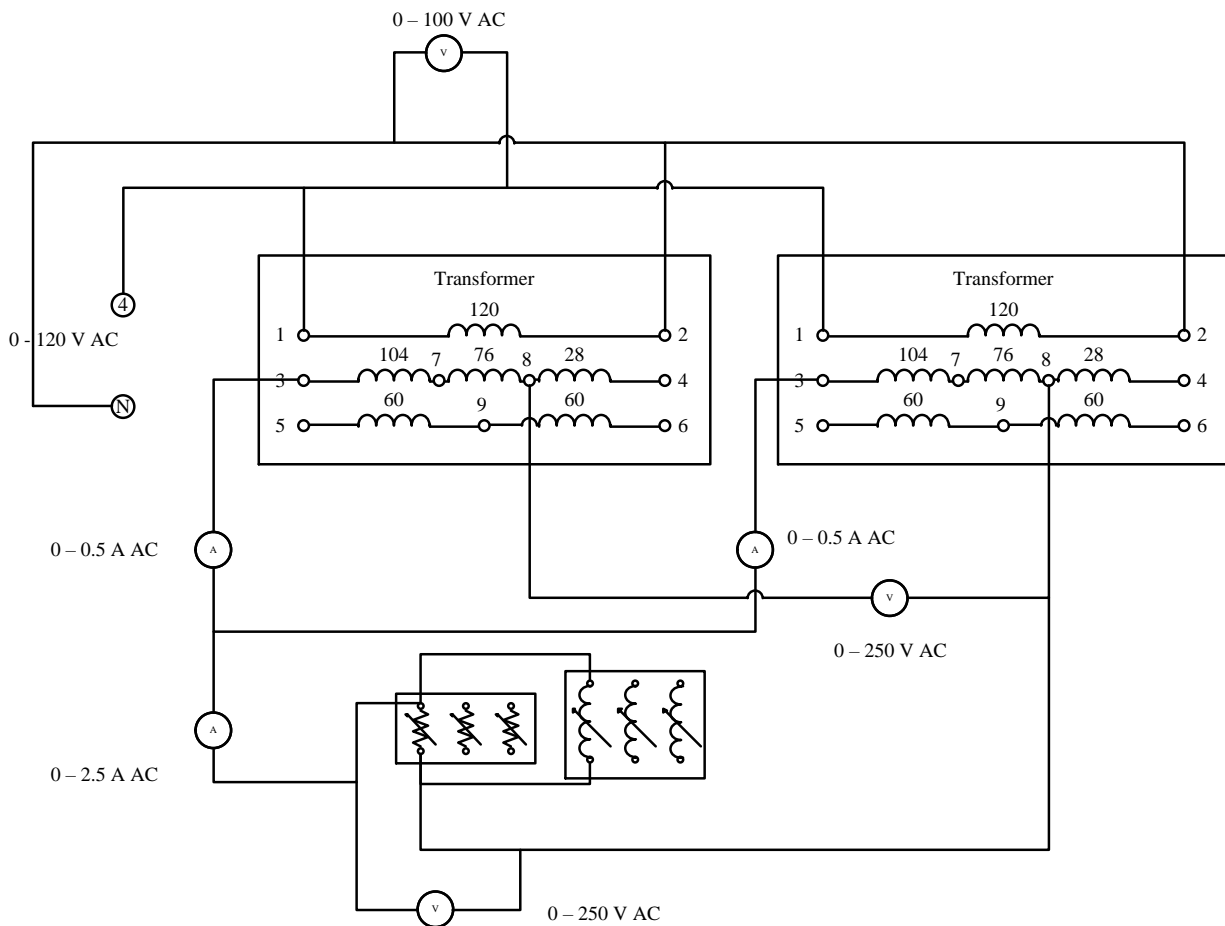
با واردن کردن به تدریج بارهای خازنی به مدار جدول زیر را کامل کنید.

توجه کنید که جریان ثانویه ترانس فورماتورها بیشتر از 0.3 آمپر نشود.

اندازه‌گیری‌های خود را در سریع‌ترین زمان ممکن انجام دهید.

	$V_1$	$V_2$	$I_1$	$I_2$	$I_L$
2.6 $\mu$ F					
5.3 $\mu$ F					
2.6    5.3 $\mu$ F					
10.6 $\mu$ F					
2.6    10.6 $\mu$ F					
5.3    10.6 $\mu$ F					
2.6    5.3    10.6 $\mu$ F					

کلید منبع ولتاژ را قطع کنید و بارهای ترکیبی مقاومتی و سلفی را مطابق با شکل زیر در مدار قرار دهید.



▶ کلیدهای بارها را در حالت قطع قرار دهید.

▶ کلید منبع ولتاژ را روشن کنید.

▶ با واردن کردن به تدریج بارهای مقاومتی و سلفی به مدار جدول زیر را کامل کنید.

✎ توجه کنید که جریان ثانویه ترانس فورماتورها بیشتر از 0.3 آمپر نشود.

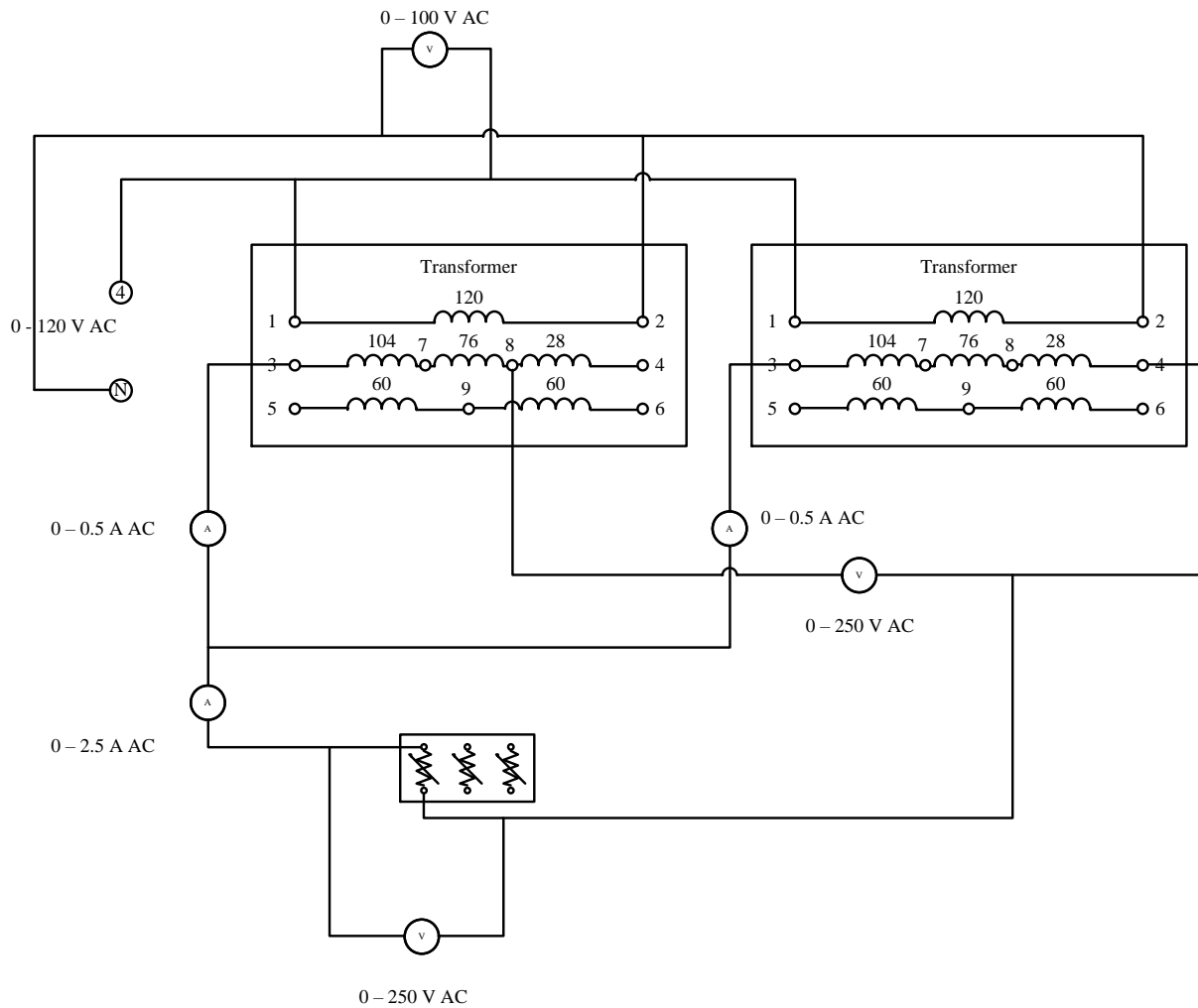
✎ اندازه‌گیری‌های خود را در سریع‌ترین زمان ممکن انجام دهید.

▶ کلید منبع ولتاژ را قطع کنید.

▶ ولتاژ بین دو ترمینال 4 و N منبع تغذیه را با چرخاندن تنظیم‌کننده ولتاژ منبع ولتاژ در جهت عکس حرکت عقربه‌های ساعت روی 0 ولت AC تنظیم کنید.

▶ بار دیگر مدار را به صورت شکل زیر ببندید.

	$V_1$	$V_2$	$I_1$	$I_2$	$I_L$
$1200 \Omega \& 3.8 \text{ H}$					
$600 \Omega \& 1.9 \text{ H}$					
$1200 \parallel 600 \Omega \& 3.8 \parallel 1.9 \text{ H}$					
$300 \Omega \& 0.95 \text{ H}$					
$1200 \parallel 300 \Omega \& 3.8 \parallel 0.95 \text{ H}$					
$600 \parallel 300 \Omega \& 1.9 \parallel 0.95 \text{ H}$					
$1200 \parallel 600 \parallel 300 \Omega \& 3.8 \parallel 1.9 \parallel 0.95 \text{ H}$					



▶ کلیدهای بار مقاومتی را در حالت قطع قرار دهید.

✍ همانطور که ملاحظه می‌کنید در این حالت ثانویه‌های دو ترانس‌فورماتور دارای ولتاژ یکسان نخواهند بود! بنابراین موازی کردن آنها درست به نظر نمی‌آید. در ادامه می‌خواهیم تاثیر این مورد را بررسی کنیم.

► ولتاژ بین دو ترمینال 4 و N منبع تغذیه را با چرخاندن تنظیم‌کننده ولتاژ منبع ولتاژ در جهت حرکت عقربه‌های ساعت روی 70 ولت AC تنظیم کنید.

✍ همانطور که ملاحظه می‌کنید با اینکه جریان بار 0 می‌باشد ولی جریان نسبتاً زیادی (در حد جریان نامی) از هر دو ترانس‌فورماتور عبور می‌کند.

✍ کلید  $1200 \Omega$  را وارد مدار کنید و سریعاً جریان‌های هر دو ترانس‌فورماتور و جریان بار را بخوانید و کلید را مجدداً قطع کنید.

► جدول زیر را کامل کنید.

✍ کلیدهای بار را فقط به مدت چند ثانیه وصل و اندازه‌گیری‌های خود را انجام دهید و سپس سریعاً کلیدها را قطع کنید.

	$V_1$	$V_2$	$I_1$	$I_2$	$I_L$
$1200 \Omega$					
$600 \Omega$					
$300 \Omega$					

? در مقایسه با حالت اول (بارهای مقاومتی) آیا در این حالت ترانس‌فورماتورها قادر به تامین بار مورد نیاز می‌باشند؟

## آزمایش نهم

عنوان: ترانسفورماتورهای سه فاز

اهداف: مطالعه انواع اتصالات ترانسفورماتورهای سه فاز،

بررسی شرایط لازم برای موازی کردن ترانسفورماتورهای سه فاز

بحث:

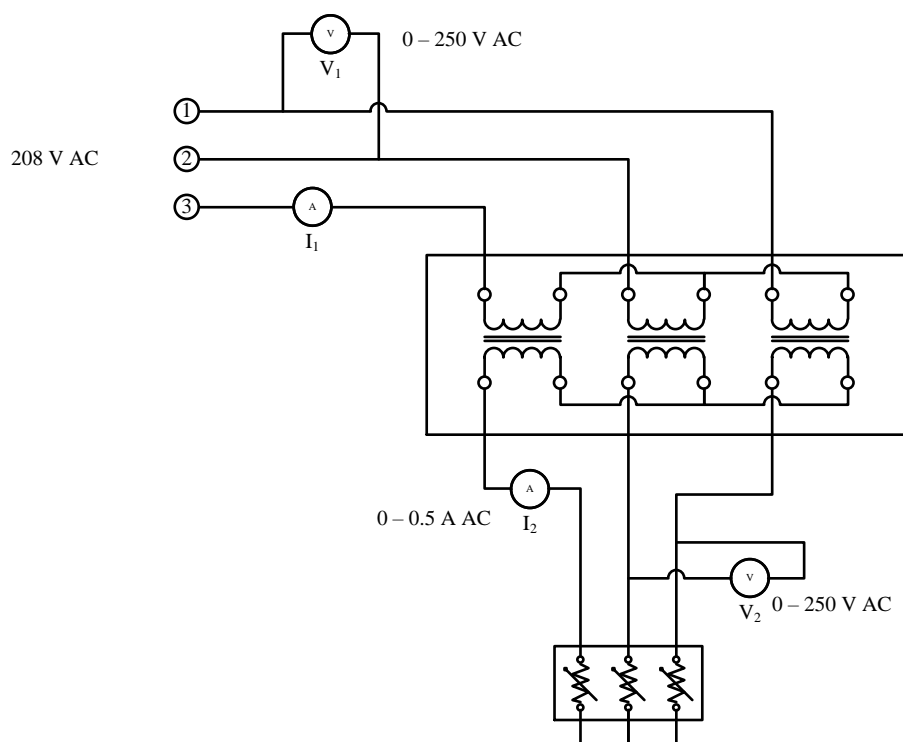
توضیح در مورد انواع اتصالات ترانسفورماتورهای سه فاز،

توضیح در مورد گروه‌های برداری ترانسفورماتورهای سه فاز،

توضیح در مورد شرایط لازم برای موازی کردن ترانسفورماتورهای سه فاز،

مراحل انجام آزمایش:

► مدار شکل زیر را که آرایش ستاره ستاره ترانسفورماتور سه فاز را نشان می‌دهد، ببندید.



✍ قبل از بستن مدار از قطع بودن کلید منبع ولتاژ اطمینان حاصل کنید.

► کلید منبع ولتاژ را وصل کنید.

✳️ از تماس دست با هر کدام از ترمینال‌های ترانس فورماتور و سایر قسمت‌های مدار اکیداً خودداری کنید.

▶ با وارد کردن تدریجی بارهای مقاومتی جدول زیر را کامل کنید.

	$V_1$	$V_2$	$I_1$	$I_2$
$1200 \Omega$				
$600 \Omega$				
$300 \Omega$				

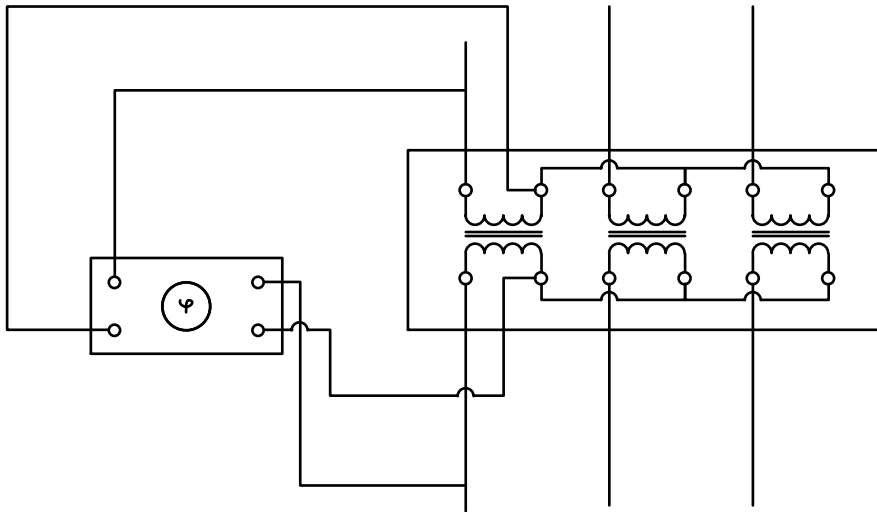
? رابطه بین  $V_1$  و  $V_2$  را چگونه توجیه می‌کنید؟

? رابطه بین  $I_1$  و  $I_2$  را چگونه توجیه می‌کنید؟

✍️ ترانس فورماتورهای سه‌فاز موجود دارای نسبت تبدیل  $\frac{N_1}{N_2} = 1$  می‌باشند.

▶ کلید منبع ولتاژ را قطع کنید.

▶ ماژول اندازه‌گیری اختلاف زاویه فاز را به ترتیب شکل زیر به مدار اضافه کنید.

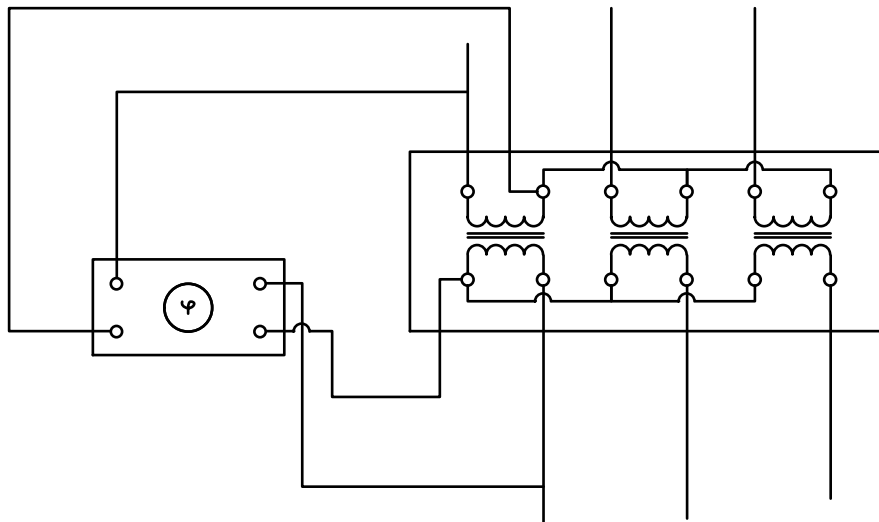


▶ کلید منبع ولتاژ را وصل کنید.

? گروه برداری ترانس فورماتور را تعیین کنید.

✍️ گروه برداری ترانس فورماتور عددی است که اختلاف فاز بین دو فاز هم‌نام در سمت اولیه و ثانویه را مشخص می‌کند.

▶ مجدداً کلید منبع ولتاژ را قطع کنید و مدار قبلی را به صورت شکل زیر تغییر دهید.



? گروه برداری ترانس فورماتور را تعیین کنید.

▶ کلید منبع ولتاژ را قطع کنید.

▶ مدار شکل زیر را آرایش ستاره مثلث ترانس فورماتور سه فاز را نشان می‌دهد، ببندید.

✎ همان‌طور که ملاحظه می‌کنید در سمت ثانویه یک مسیر بسته از طریق سه سیم پیچ ثانویه و یک عدد ولت‌متر تشکیل شده است.

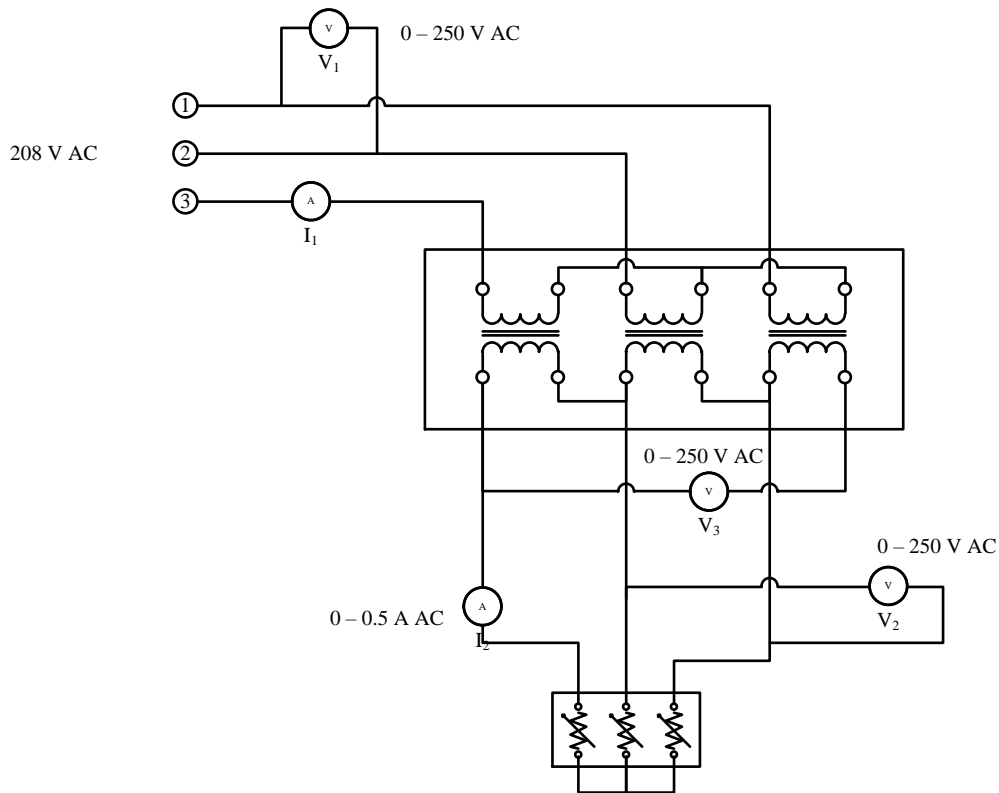
▶ کلید منبع ولتاژ را وصل کنید.

▶ اگر ولت‌متر  $V_3$  مقدار 0 را نشان دهد سیم‌بندی مدار اتصال مثلث درست می‌باشد. در این صورت کلید منبع ولتاژ را قطع کنید و ولت‌متر را از مدار خارج و به جای آن از یک سیم استفاده کنید.

▶ در غیر این صورت مجدداً کلید منبع ولتاژ را قطع و جای دو ترمینال ثانویه از یک فاز را جابجا کنید. مجدداً منبع ولتاژ را وصل کنید. اگر ولت‌متر  $V_3$  مقدار 0 را نشان دهد سیم‌بندی مدار اتصال مثلث درست می‌باشد. در این صورت کلید منبع ولتاژ را قطع کنید و ولت‌متر را از مدار خارج و به جای آن از یک سیم استفاده کنید.

▶ مجدداً کلید منبع ولتاژ را وصل کنید.





با وارد کردن تدریجی بارهای مقاومتی جدول زیر را کامل کنید. ►

	$V_1$	$V_2$	$I_1$	$I_2$
1200 $\Omega$				
600 $\Omega$				
300 $\Omega$				

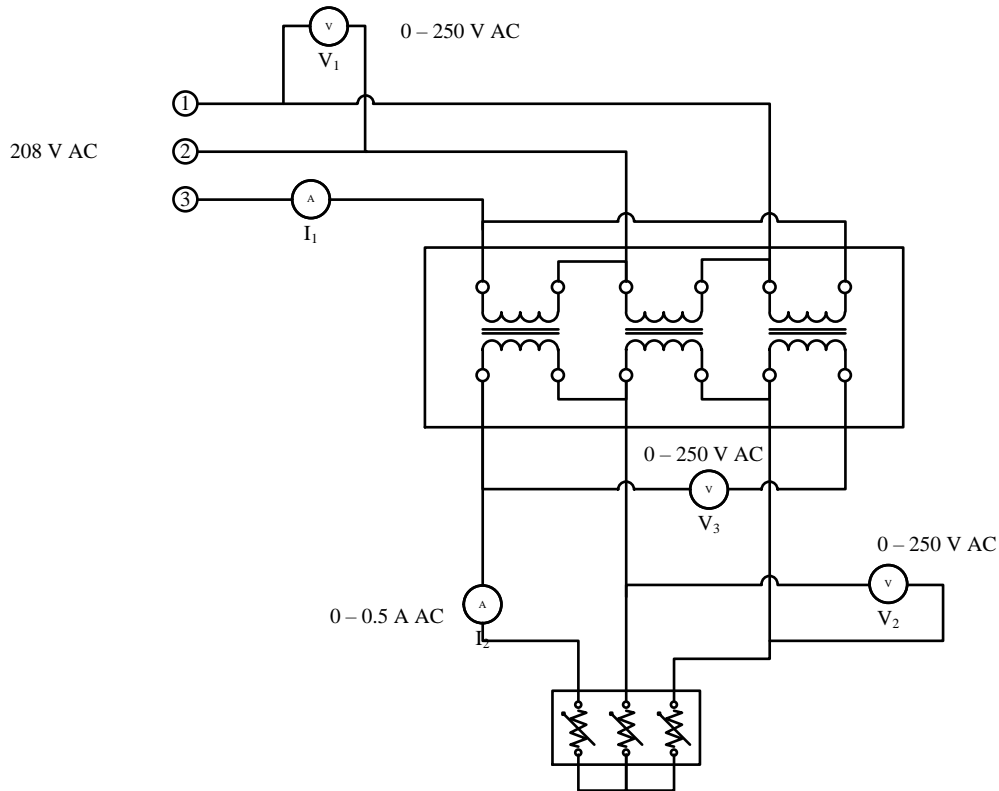
? رابطه بین  $V_1$  و  $V_2$  را چگونه توجیه می کنید؟

? رابطه بین  $I_1$  و  $I_2$  را چگونه توجیه می کنید؟

✍ ترانس فورماتورهای سه فاز موجود دارای نسبت تبدیل  $\frac{N_1}{N_2} = 1$  می باشند.

► کلید منبع ولتاژ را قطع کنید.

► مدار شکل زیر را که آرایش مثلث مثلث ترانس فورماتور سه فاز را نشان می دهد، ببندید.



در سمت اولیه مسیر بسته‌ای از طریق سه سیم‌پیچ اولیه ایجاد شده است.

در سمت ثانویه نیز یک مسیر بسته از طریق سه سیم‌پیچ ثانویه و یک عدد ولت‌متر تشکیل شده است.

▶ کلید منبع ولتاژ را وصل کنید.

▶ اگر ولت‌متر  $V_3$  مقدار 0 را نشان دهد سیم‌بندی مدار اتصال مثلث درست می‌باشد. در این صورت کلید منبع ولتاژ را قطع کنید و ولت‌متر را از مدار خارج و به جای آن از یک سیم استفاده کنید.

▶ در غیر این صورت مجدداً کلید منبع ولتاژ را قطع و جای دو ترمینال ثانویه از یک فاز را جابجا کنید. مجدداً منبع ولتاژ را وصل کنید. اگر ولت‌متر  $V_3$  مقدار 0 را نشان دهد سیم‌بندی مدار اتصال مثلث درست می‌باشد. در این صورت کلید منبع ولتاژ را قطع کنید و ولت‌متر را از مدار خارج و به جای آن از یک سیم استفاده کنید.

▶ مجدداً کلید منبع ولتاژ را وصل کنید.

▶ با وارد کردن تدریجی بارهای مقاومتی جدول زیر را کامل کنید.

	$V_1$	$V_2$	$I_1$	$I_2$
1200 $\Omega$				
600 $\Omega$				
300 $\Omega$				

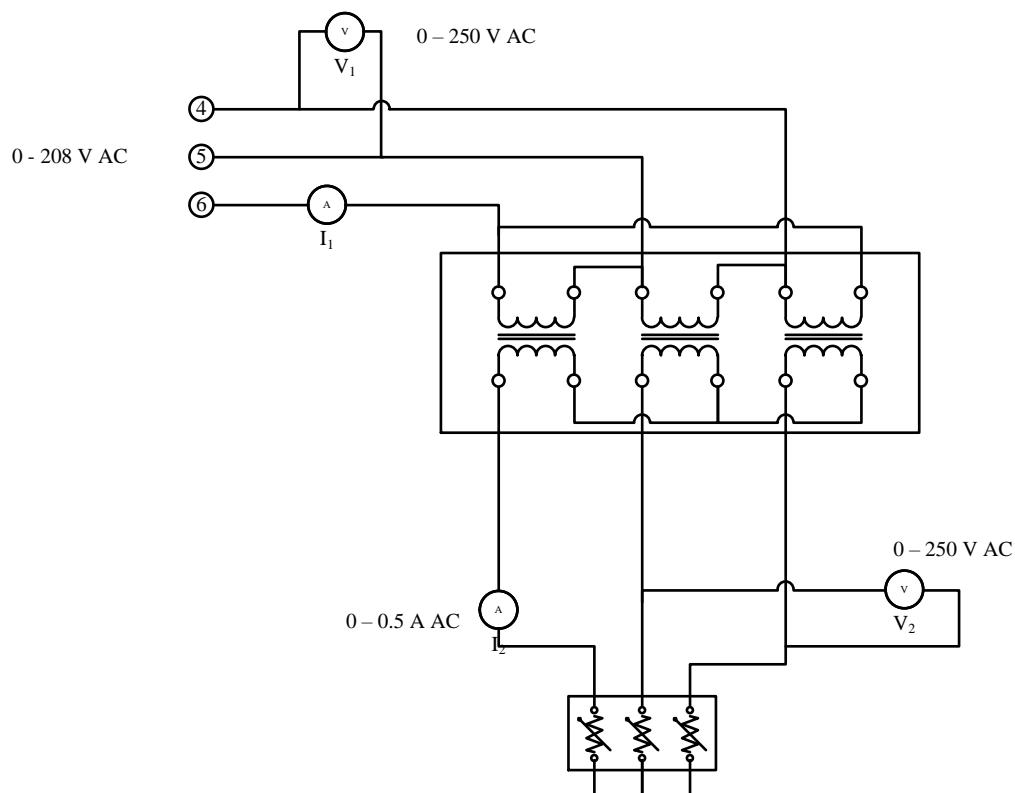
? رابطه بین  $V_1$  و  $V_2$  را چگونه توجیه می کنید؟

? رابطه بین  $I_1$  و  $I_2$  را چگونه توجیه می کنید؟

✍ ترانس فورماتورهای سه فاز موجود دارای نسبت تبدیل  $\frac{N_1}{N_2} = 1$  می باشند.

► کلید منبع ولتاژ را قطع کنید.

► مدار شکل زیر را آرایش مثلث ستاره ترانس فورماتور سه فاز را نشان می دهد، ببندید.



✍ همانطور که ملاحظه می کنید در سمت اولیه مسیر بسته ای از طریق سه سیم پیچ اولیه ایجاد شده است.

► برخلاف مدارهای قبلی برای تغذیه سمت اولیه ترانس فورماتور در این آرایش از ترمینال های شماره های

4، 5 و 6 استفاده کنید.

▶ تنظیم کننده ولتاژ منبع ولتاژ را در جهت عکس حرکت عقربه‌های ساعت چرخانده و ولتاژ را روی 0 ولت AC تنظیم کنید.

▶ کلید منبع ولتاژ را وصل کنید.

به تدریج ولتاژ را با چرخاندن تنظیم کننده ولتاژ منبع ولتاژ را در جهت حرکت عقربه‌های ساعت تا 120 ولت AC بالا ببرید.

**؟** چرا بر خلاف حالت‌های قبلی در این آرایش ولتاژ خط را تا 120 ولت باید بالا برد نه تا 208 ولت؟

▶ با وارد کردن تدریجی بارهای مقاومتی جدول زیر را کامل کنید.

	$V_1$	$V_2$	$I_1$	$I_2$
1200 $\Omega$				
600 $\Omega$				
300 $\Omega$				

**؟** رابطه بین  $V_1$  و  $V_2$  را چگونه توجیه می‌کنید؟

**؟** رابطه بین  $I_1$  و  $I_2$  را چگونه توجیه می‌کنید؟

✍ ترانس فورماتورهای سه‌فاز موجود دارای نسبت تبدیل  $\frac{N_1}{N_2} = 1$  می‌باشند.