دانشکده مهندسی برق

گروه قدرت

دستورکار آزمایشگاه

ماشین های الکتریکی ۲

تهیه کننده گان :

دکتر عباس زاده

مهندس همتی

فهرست آزمایش ها

فصل اول : موتور القایی روتور سیم پیچی‌شده ---------- ۳

آزمایش ۱ : بدست آوردن مقاومت مناسب جهت استارتینگ ---------- ۵

آزمایش ۲ : مشخصات موتور اسلیپ رینگ روتور ---------- ۹

آزمایش ۳ : تولید ولتاژ متناوب با فرکانس متغیر ---------- ۱۵

فصل دوم : موتور دالاندر ---------- ۱۷

آزمایش ۴ : راه اندازی موتور دالاندر ---------- ۱۹

آزمایش ۵ : عمل موتور دالاندر در سرعت های بالا و پایین ---------- ۲۱

آزمایش ۶ : بازده، جریان و ضریب توان موتور دالاندر ---------- ۲۵

فصل سوم : ماشین سنکرون ---------- ۲۸

آزمایش ۷ : راه اندازی و مشخصه بی باری ژنراتور سنکرون ---------- ۳۷

آزمایش ۸ : مشخصه بارداری ژنراتور سنکرون ---------- ۴۰

آزمایش ۹ : سنکرون سازی و مشخصات کنترلی ژنراتور سنکرون ---------- ۴۳

آزمایش ۱۰ : راه اندازی و مشخصات بار موتور سنکرون ----------۴۶

آزمایش ۱۱ : منحنی V شکل موتور سنکرون ---------- ۴۹

فصل چهارم : ترانسفورماتور سه فاز ---------- ۵۳

آزمایش ۱۲ : تعیین گروه برداری ترانس سه فاز ---------- ۵۳

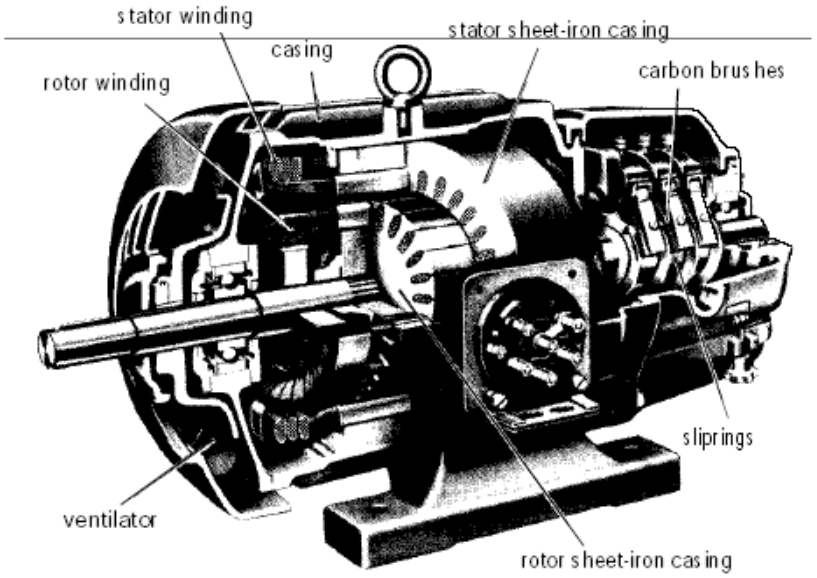
آزمایش ۱۳ : موازی کردن ترانسفورماتورهای سه فاز ----------۶۲

۱- موتور اسلیپ رینگ روتور

اسلیپ رینگ روتور به گروه موتورهای القایی تعلق دارد (موتور القایی با روتور سیم پیچی شده است). برخلاف موتورهای القایی سه فاز با روتور قفس سنجابی، روتور در موتورهای اسلیپ رینگ اتصال کوتاه نشده است و سرفازهای سه گانه‌ی روتور در دسترس میباشد. بنابر این برای افزایش تواناییهای استارتینگ، مقاومتهای سری میتواند در روتور قرار بگیرد.

۱-۱ ساختار موتور

ساختار مداری استاتور موتور اسلیپ رینگ همانند ساختار استاتور موتورهای القایی سه فازه روتور قفس سنجابی طراحی شده است. روتور و استاتور دارای قطبهای یکسان بوده سیم پیچیهای روتور در شیارهایی روی روتور جاسازی شده اند. سر کلافها به سه حلقه روی شفت روتور متصل شده که با جاروبکهایی از جنس کربن به ترمینالها منتقل شده اند. شکل ۱-۱ نمایانگر یک برش از موتور اسلیپ رینگ میباشد.



شکل ۱-۱ یک برش از موتور اسلیپ رینگ

علامت اختصاری برای اتصالات روتور به صورت K، L و M میباشد. توسط این ترمینالها، سیم پیچها میتوانند اتصال کوتاه شده و یا مقاومت خارجی جهت افزایش مشخصات استارتیگ به سیم بندی روتور اضافه شود.

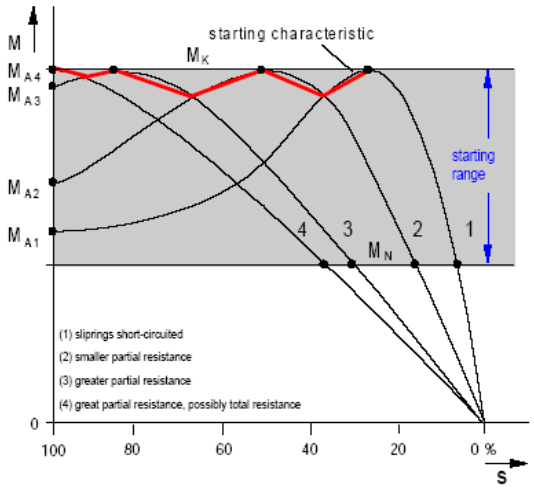
۱-۲ رفتار عملکردی

اتصال مقاومت به روتور تاثیرات زیر را در بر خواهد داشت.

- کاهش جریان راه اندازی

- کاهش اختلاف فاز بین جریان و ولتاژ روتور
- افزایش گشتاور راه اندازی

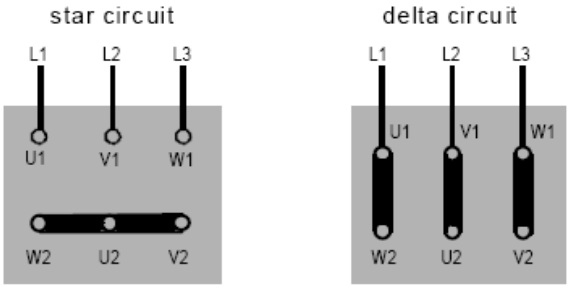
مشخصه موتور اسلیپ رینگ گشتاور راه اندازی بالا در جریانهای کمتر است. بنابراین در تجهیزات بالابر مورد استفاده قرار میگیرد.با اتصال کوتاه کردن ترمینالهای اسلیپ رینگ، موتور در وضعیتی مشابه موتور های قفس سنجابی به کار ادامه خواهد داد.اگر ترمینالهای روتور مدار باز بماند، راه اندازی نخواهد شد. چرا که استاتور و روتور مشابه یک ترانسفورمر عمل میکند. ولتاژ القا شده در سیم پیچهای روتور توسط میدان دوار استاتور با عنوان ولتاژ StandStill روی پلاک مشخصات موتور آورده شده است. از مشخصه گشتاور شکل ۱-۲ پیداست که منحنی با افزایش مقاومتهای روتور صاف تر شده، گشتاور بالاتری در راه اندازی بدست می‌آید. گشتاور استارتینگ با مقاومت نسبت مستقیم داشته به نحویکه مقاومت راه اندازی اپتیمم در حالتی خواهد بود که $M_k=M_A$ باشد.



شکل ۱-۲ مشخصه استارتینگ اسلیپ رینگ روتور

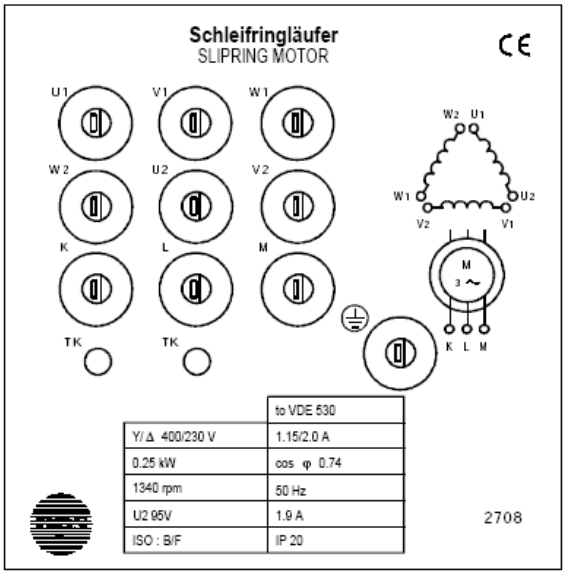
۱-۳ اتصالات موتور

شکل ۱-۳ نشانگر آنست که سیم پیچهای استاتور U1,V1,W1 و U2,V2,W2 میتوانند به صورت ستاره یا مثلث بسته شوند. کانکشنهای K,L,M روتور به طور مجزا به بیرون کشیده شده اند.



شکل ۱-۳ اتصالات ستاره و مثلث

در پلاک مشخصات موتور اسلیپ رینگ hps، (شکل ۱-۴)، علامت Y/D 400/230 V مشاهده میشود که نشاندهنده آن است که در حالتی که موتور به حالت Y بسته شده میتوان به آن ولتاژ ۴۰۰ ولت اعمال نمود و در حالت اتصال D تنها استفاده از ولتاژ ۲۳۰ ولت مجاز میباشد. در این حالت استفاده از ولتاژ ۴۰۰ ولت موجب داغ شدن موتور میشود.



شکل ۱-۴ پلاک مشخصات موتور اسلیپ رینگ

۱-۴ آزمایشاتی در مورد موتور اسلیپ رینگ

آزمایش ۱: بدست آوردن مقاومت مناسب جهت استارتینگ

هدف آزمایش:

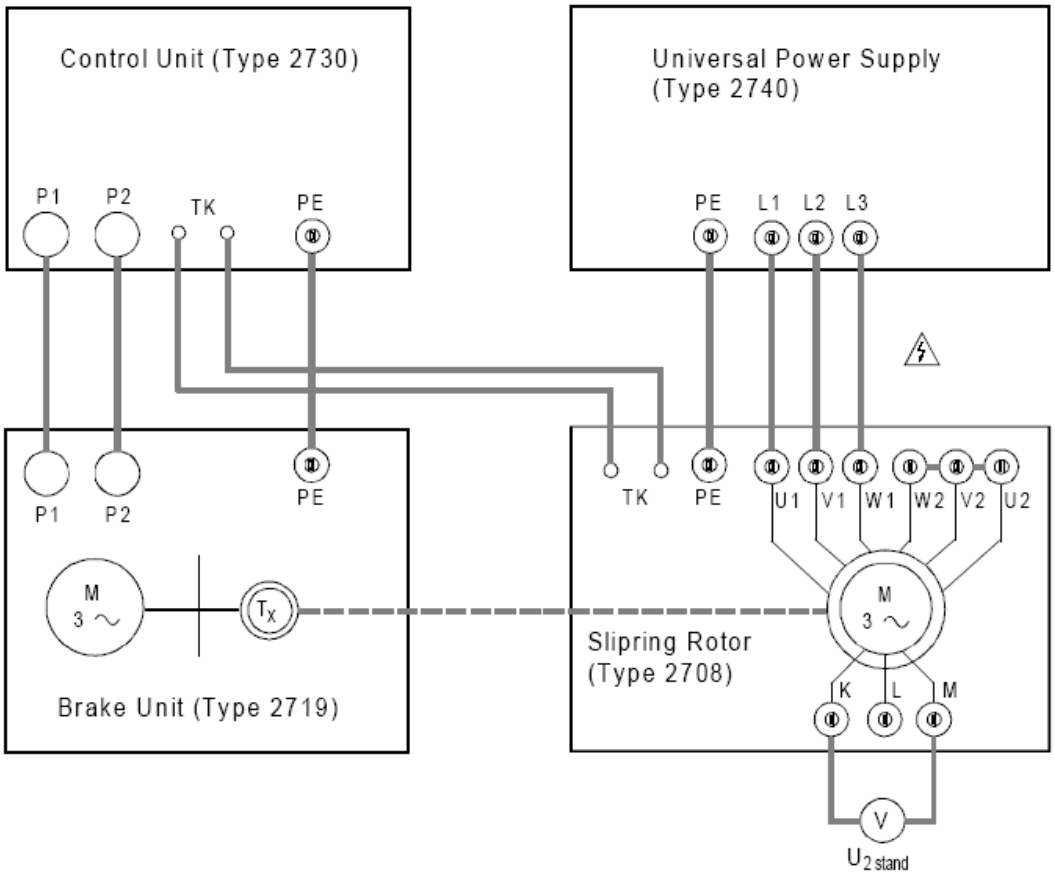
اندازه گیری ولتاژ StandStill روتور و جریان روتور و محاسبه مقاومت مناسب راه اندازی توسط این مقادیر.

تجهیزات مورد نیاز:

- موتور اسلیپ رینگ (type 2708)
- واحد ترمز (type 2719)
- واحد کنترل(Type 2730)
- منبع تغذیه (type 2740)
- ۲ عدد مولتی متر

شرح آزمایش

- ماشین آزمایشگاهی را به سمت واحد ترمز فشار داده و آنرا به ماشین ترمز کوپل کنید.
- مدار آزمایش را مانند شکل ۱-۵ برقرار کنید.
- منبع تغذیه را روشن کنید.
- ولتاژ Standstill روتور را اندازه گیری و یاد داشت نمایید.
- منبع تغذیه را خاموش نمایید.
- حال مدار را مانند شکل ۱-۶ برقرار نمایید به نحویکه ترمینالهای روتور اتصال کوتاه باشد.
- واحد کنترل را روشن کنید.
- منبع تغذیه را روشن کنید. **سرعت، گشتاور و جهت گردش** نشان داده خواهد شد.



شکل ۱-۵ مدار اندازه گیری ولتاژ Standstill روتور

- نمایشگر جهت گردش را مشاهده کنید. موتور باید به سمت راست بچرخد. در غیر این صورت، بعد از خاموش کردن منبع تغذیه، میتوان جهت اتصالات را عوض کرد.

- جهت گردش و سرعت را یادداشت کنید. ----------
- منبع تغذیه را خاموش کنید.
- تنظیمات زیر را روی واحد کنترل انجام دهید.
  - مد کارکرد روی manual
  - محدودیت سرعت را روی rpm ۱۸۰۰ قرار دهید.
  - سوئیچ ست پوینت Int/Ext را روی Internal قرار دهید.
  - جهت گردش را روی آنچه قبلا گفته شده قرار دهید.
  - ماشین ترمز را با فشردن کلید Start/Stop راه اندازی نمایید.
  - سرعت نشان داده شده را با آنچه قبلا یادداشت کرده بودید مقایسه کنید و در صورت نیاز با پتانسیومتر سرعت آن را تنظیم نمایید.
- منبع تغذیه را روشن کنید. در این حالت گشتاور باید صفر باشد. در صورت نیاز سرعت را با پتانسیومتر مربوطه تنظیم نمایید.
- با ترمز کردن موتور، تا رسیدن به جریان نامی، سرعت موتور را کاهش دهید.
- جریان روتور (I_2) را اندازه گیری کرده و یادداشت نمایید. ----------
- با کاهش بیشتر سرعت، سرعت در گشتاور ماکزیمم (n_k) را اندازه گیری کرده و یادداشت نمایید. ----------
- ابتدا منبع تغذیه و سپس واحد کنترل را خاموش نمایید.
- به کمک فرمولهای داده شده در زیر، مقاومت بهینه راه اندازی را محاسبه نمایید.

speed of rotary field: $n_0 = \frac{f_1}{p} \cdot 60s$

f_1 mains frequency
p number of pole pairs

at $M_A = M_K$ (maximum torque):

pull-out slip: $s_K = \frac{n_0 - n_K}{n_0}$

rotor voltage: $U_2 = s_k \cdot U_{2\,stand}$

rotor resistance for 1st phase: $R_2 = 1/2 \cdot \frac{U_2}{I_2}$

opt. starting resistance: $R_{a\,max} = R_2 \cdot (\frac{1}{s_K} - 1)$

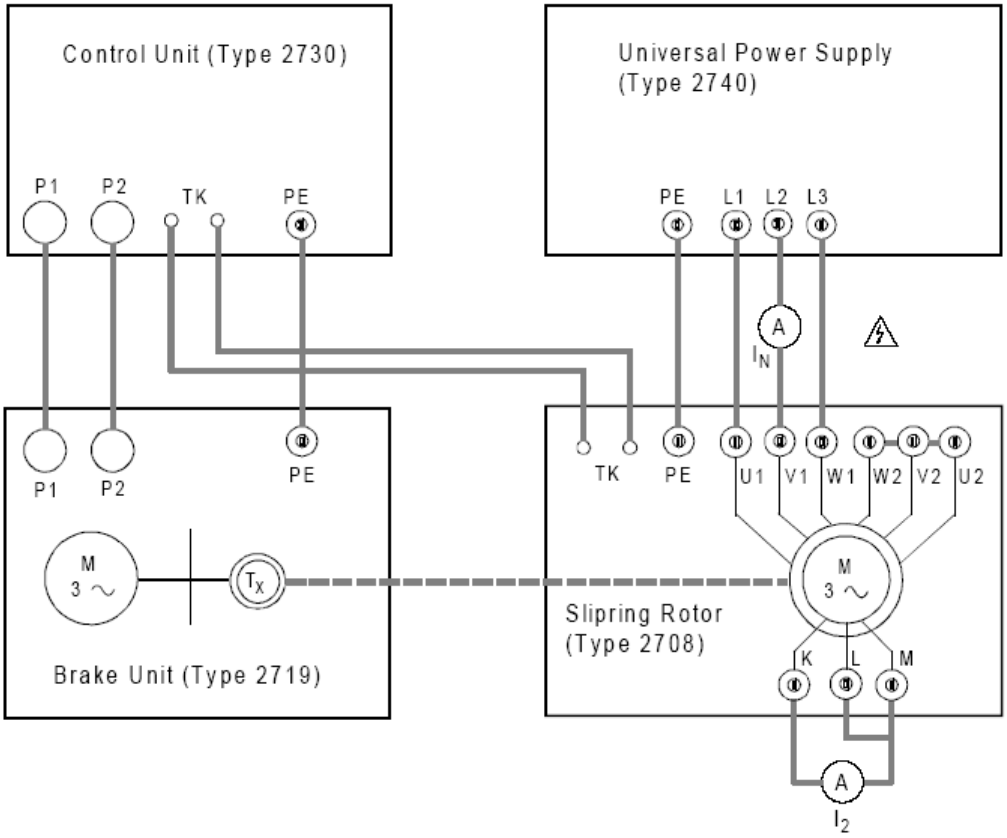
n_0 = ...

s_K = ...

U_2 = ...

R_2 = ...

$R_{a\,max}$ = ...



شکل ۱-۶ مدار اندازه گیری جریان روتور

آزمایش ۲: مشخصات اسلیپ رینگ روتور

هدف آزمایش:

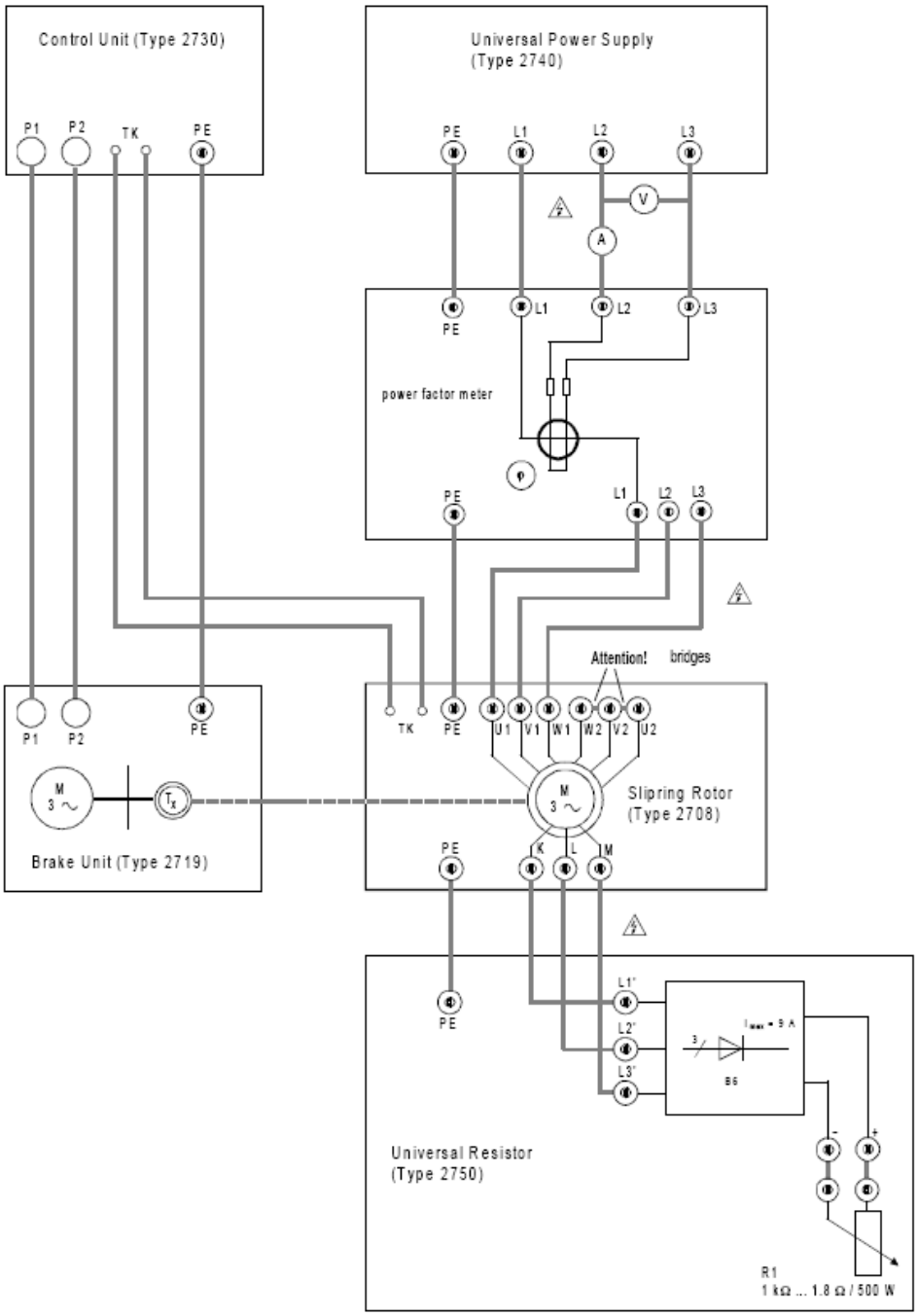
بدست آوردن مشخصات گشتاور، بازده، جریان و ضریب توان اسلیپ رینگ روتور با مقاومتهای راه انداز متفاوت. (اتصال کوتاه ترمینالهای روتور، کمترین مقاومت ممکن، ۳۰ درصد مقاومت بهینه و مقاومت بهینه).

تجهیزات مورد نیاز:

- روتور اسلیپ رینگ (type 2708)
- واحد ترمز (type 2719)
- واحد کنترل(Type 2730)
- منبع تغذیه (type 2740)
- واحد مقاومت (type2750)
- دستگاه اندازه گیری ضریب توان
- ۲ عدد مولتی متر

شرح آزمایش

- مدار آزمایش را مانند شکل ۱-۷ برقرار کنید.
- مانند آنچه در آزمایش ۱ گفته شد ماشین را به حرکت درآورید. ماشین باید در جهت راست چرخش نماید.
- یک اتصال کوتاه در بار مقاومتی بین ترمینالهای (+) و (-) ایجاد نمایید. (اتصال ترمینال روتور بعد از یکسو کننده).
- مشخصات خواسته شده در جدول ۲-۱ را یادداشت نمایید. برای این منظور، سرعت و گشتاور را از نمایشگرهای واحد کنترل خوانده و از روی آن توان خروجی را محاسبه نمایید. مقادیر جریان، ولتاژ و ضریب توان را اندازه گیری نمایید. با این مقادیر، توان ورودی را محاسبه کرده و راندمان را بدست آورید.



شکل ۱-۷ مدار برای بدست آوردن مشخصات اسلیپ رینگ روتور

راهنمایی:

- تا حد امکان اندازه گیری ها را بدون وقفه انجام دهید. در صورت گرم شدن زیاد موتور، اندازه گیریها درست نبوده و میبایست موتور مجددا خنک شود.
- اندازه گیریها را اول برای بی باری، سپس بار نامی و بعد از آن گشتاور ماکزیمم و در آخر برای کمترین سرعت ممکن انجام دهید.

- مقادیر sub را در جدول خودتان بدست آورید. مطمئن شوید که تمامی نقاط روی منحنی دارای معنا هستند.

- ابتدا منبع تغذیه را خاموش کرده، سپس واحد کنترل را خاموش نمایید.
- اتصال کوتاه را خارج کرده و مقاومت R1 را جایگذاری نمایید. برای این مقاومت کمترین مقدار یعنی۱/۸ اهم را در نظر بگیرید.
- واحد کنترل و بعد از آن منبع تغذیه را روشن نمایید.
- مشخصات خواسته شده در جدول ۲-۲ را یادداشت نمایید.
- مانند آنچه در بالا اشاره شد، سیستم را خاموش کنید.
- یک سوم مقاومت بهینه راه اندازی که در آزمایش ۱ بدست آورده بودید را جایگذاری نمایید.
- مانند آنچه در بالا شرح داده شد سیستم را روشن نمایید.
- مشخصات خواسته شده در جدول ۲-۳ را یادداشت نمایید.
- سیستم را خاموش نمایید.
- مقدار بهینه مقاومت راه اندازی را جایگذاری نمایید.
- سیستم را روشن کنید.
- مشخصات خواسته شده در جدول ۲-۴ را یادداشت نمایید.
- سیستم را خاموش نمایید.
- مشخصات گشتاور را در شکل ۱-۸ و روی هم رسم نمایید. راندمان، جریان و ضریب توان را در حالت روتور اتصال کوتاه، در شکل ۱-۹ رسم نمایید.

جدول ۲-۱ : اتصال کوتاه

Characteristic points at	n / rpm	M / Nm	P_{out} / kW	U / V	I / A	cos φ	P_{in} / kW	η
no-load speed								
rated speed								
1st sub-value								
pull-out torque								
2nd sub-value								
3rd sub-value								
min. speed								

جدول ۲-۲ : کوچکترین مقاومت

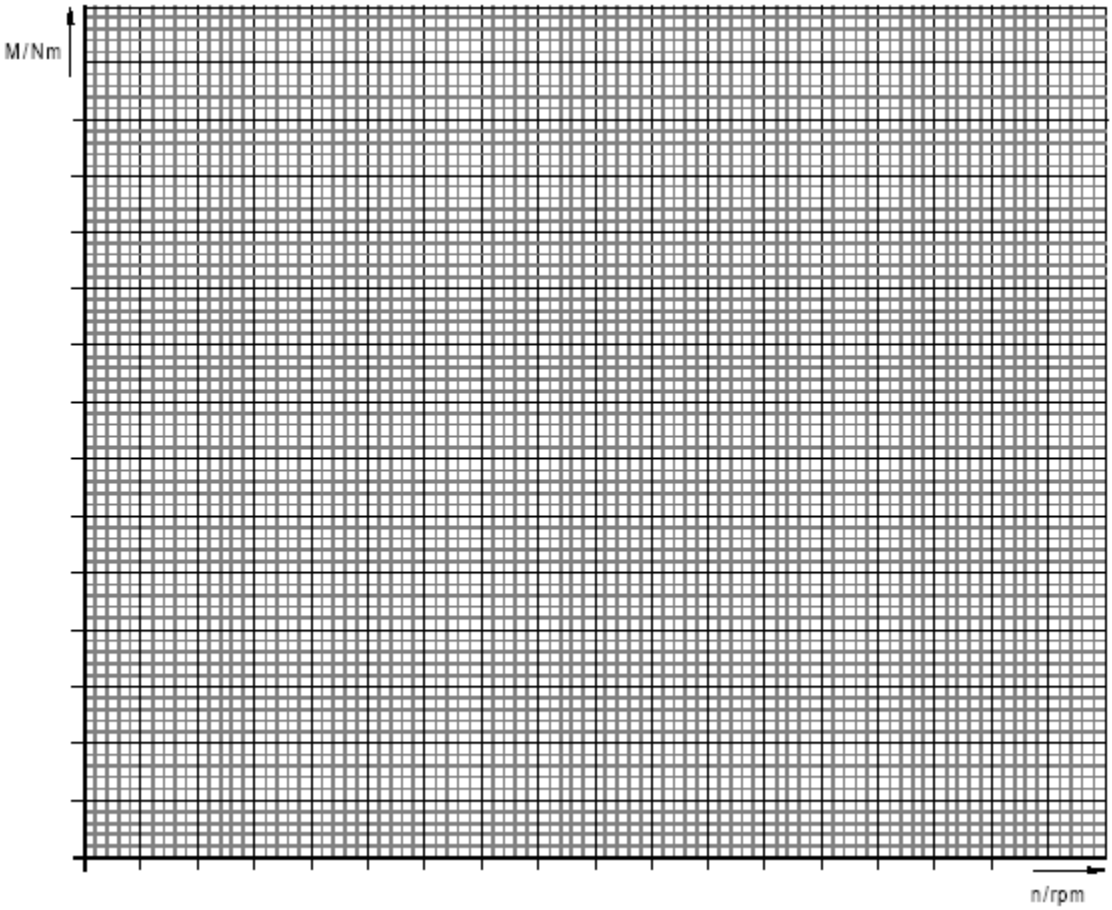
Characteristic points at	n / rpm	M / Nm
no-load speed		
rated speed		
1st sub-value		
pull-out torque		
2nd sub-value		
3rd sub-value		
min. speed		

جدول ۲-۳ : یک سوم مقاومت بهینه

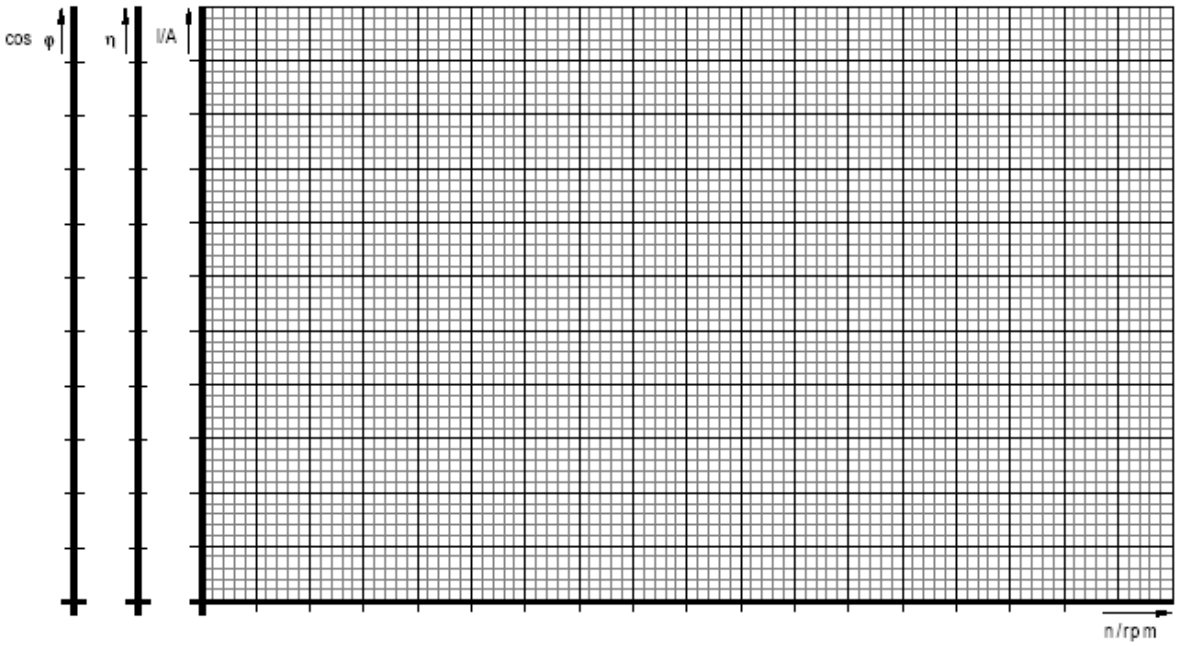
Characteristic points at	n / rpm	M / Nm
no-load speed		
rated speed		
1st sub-value		
pull-out torque		
2nd sub-value		
3rd sub-value		
min. speed		

جدول ۲-۴ : مقاومت بهینه استارتینگ

Characteristic points at	n / rpm	M / Nm
no-load speed		
rated speed		
1st sub-value		
2nd sub-value		
3rd sub-value		
pull-out torque		
min. speed		



شکل ۱-۸ : مشخصه های گشتاور در ۴ حالت مختلف



شکل ۱-۹ : مشخصات جریان، بازده و ضریب توان برای حالت روتور اتصال کوتاه

سوالات:

۱- مزایا و معایب موتور اسلیپ رینگ در مقایسه با موتور قفس سنجابی چیست؟

۲- منظور از ولتاژ standstill روتور چیست؟ توضیح دهید.

۳- طبق شکل ۱-۸ تاثیر مقاومت راه اندازی چه می باشد؟ توضیح دهید.

۴- علت تغییرات تک تک منحنی های شکل ۱-۹ را توضیح دهید.

آزمایش ۳ : تولید ولتاژ متناوب با فرکانس متغیر

هدف آزمایش:

هدف از این آزمایش، تولید ولتاژ متناوب با فرکانس متغیر با استفاده از یک موتور القایی رتور سیم‌پیچی شده است.

۳-۱ تئوری آزمایش

یکی از روش‌های تولید ولتاژ متناوب با فرکانس متغیر، استفاده از موتور آسنکرون سه فاز با رتور سیم‌پیچی شده است (موتور القایی از بسیاری جهات مشابه ترانسفورماتور است). در این آزمایش از یک موتور القایی با سیم‌پیچ‌های استاتور و رتور با سربندی ستاره استفاده می‌شود.

فرض کنید سیم‌پیچی رتور باز است، به طوری که جریان رتور صفر بوده و گشتاور الکترو مغناطیسی تولید نشود. با اعمال ولتاژ متعادل سه فاز با فرکانس f_1 به سیم‌پیچی استاتور، میدان دواری در فاصله هوایی تولید می‌شود. این میدان دوار، هادی‌های ساکن استاتور و رتور را در سرعت سنکرون قطع می‌کند و در نتیجه نیروی محرکه الکتریکی، با فرکانس (f_1)، در آنها القاء می‌شود. مقدار فازوری نیروی محرکه الکتریکی (E_1) که در سیم‌پیچی استاتور القاء می‌شود برابر است با:

$$E_1 = 4.44 N_1 K_{w1} \phi_p f_1 \qquad (۱-۳)$$

که در آن، N_1، تعداد دور سری هر فاز استاتور و K_{w1}، ضریب سیم‌پیچی استاتور است.

به همین ترتیب نیروی محرکه الکتریکی در سیم‌پیچی رتور (E_2) در حالت سکون برابر است با:

$$E_2 = 4.44 N_2 K_{w2} \phi_p f_1 \qquad (۲-۳)$$

که در آن، N_2، تعداد دور سری هر فاز رتور و K_{w2} ضریب سیم‌پیچی رتور است. فرکانس (f_1)، درعبارت E_2 نیز ظاهر شده است. زیرا رتور در حالت سکون است. در اینجا ϕ_p شار منتجه فاصله هوایی برای هر قطب است.

بنابراین موتور القایی رتور سیم‌پیچی شده در حال سکون مشابه ترانسفورماتور بی‌بار است. به علاوه شار متقابل حاصل در یک ترانسفورماتور، ناشی از ترکیب نیروهای محرکه مغناطیسی اولیه و ثانویه است. در ماشین‌های القایی نیز شار فاصله هوایی که با سرعت سنکرون می‌چرخد؛ ناشی از ترکیب نیروهای محرکه مغناطیسی استاتور و رتور است.

حال اگر محور رتور را توسط یک محرک به گردش درآوریم، دو حالت ممکن است رخ دهد. یا جهت دوران محور و میدان دوار استاتور یکی است که ولتاژ القایی و فرکانس نسبت به حالت سکون رتور کمتر می‌شود و یا دوران رتور در خلاف جهت میدان گردان است که ولتاژ و فرکانس رتور نسبت به حالت سکون بیشتر می‌شود. در این شرایط ماشین القایی به صورت یک مبدل ولتاژ و یا یک مبدل فرکانس عمل می‌کند.

برای فرکانس رتور در این دو حالت داریم:

حالت هم‌جهت: $f_r = s f_s$ (۳-۳)

(۴-۳) $f_r = (2-s) f_s$:حالت غیر هم‌جهت

که در آنها، f_s ، فرکانس ولتاژ و جریان استاتور، f_r ، فرکانس ولتاژ و جریان القایی رتور و S، لغزش است.

۳-۲ انجام آزمایش

آزمایش در دو حالت انجام می‌شود. وضعیتی که جهت دوران محور و میدان دوار استاتور یکسان است و وضعیتی که جهت دوران محور و میدان دوار استاتور یکسان نیست.

الف) وضعیتی که جهت دوران محور و میدان دوار استاتور یکسان است

- موتور القایی را به سمت واحد ترمز فشار داده و آنرا به ماشین ترمز کوپل کنید.
- مدار آزمایش را مانند شکل ۱-۵ برقرار کنید.(روتور مدار باز)
- استاتور موتور القایی را به شبکه سه فاز 50Hz و 380v متصل نمائید. در این حالت مقادیر ولتاژ و فرکانس رتور موتور القایی را یادداشت کنید (در این وضعیت، با توجه به اینکه واحد ترمز خاموش است، سرعت صفر می‌باشد).
- واحد کنترل را روشن نموده و سرعت محرک اولیه را تا حدود ۱۴۴۰ دور در دقیقه افزایش دهید و در هر مرحله، سرعت، ولتاژ و فرکانس رتور را در جدول ۳-۱، یادداشت کنید.
- پس از اتمام آزمایش ابتدا واحد کنترل و سپس منبع تغذیه را خاموش کنید.

جدول ۳-۱: نتایج آزمایش در وضعیتی که جهت دوران محور و میدان دوار استاتور یکسان است

سرعت (rpm)									
فرکانس رتور(Hz)									
ولتاژ رتور (V)									

ب) جهت دوران محور و میدان دوار استاتور یکسان نیست

جای دو فاز استاتور موتور القایی را عوض کنید و مراحل فوق را تکرار نمایید و نتایج را در جدول ۳-۲، یادداشت کنید.

جدول ۳-۲: نتایج آزمایش در وضعیتی که جهت دوران محور و میدان دوار استاتور یکسان نیست

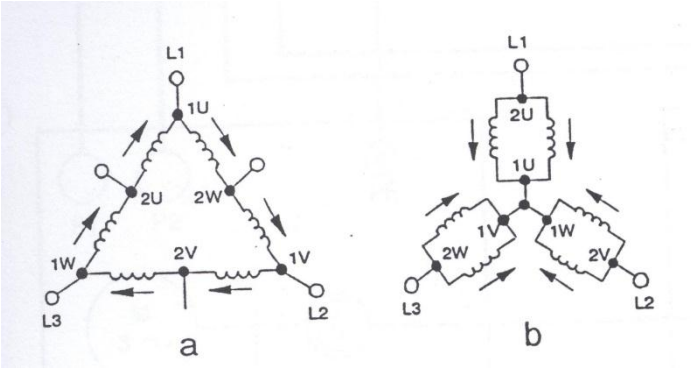
سرعت (rpm)									
فرکانس رتور(Hz)									
ولتاژ رتور (V)									

۲- موتور دالاندر

موتور دالاندر یک موتور القایی سه فاز با دو سرعت متفاوت که همیشه در یک نسبت ثابت ۲:۱ می باشند. موتور دالاندر همچنین به عنوان یک موتور جریان سه فاز با تعداد قطب متغیر معروف می باشد.

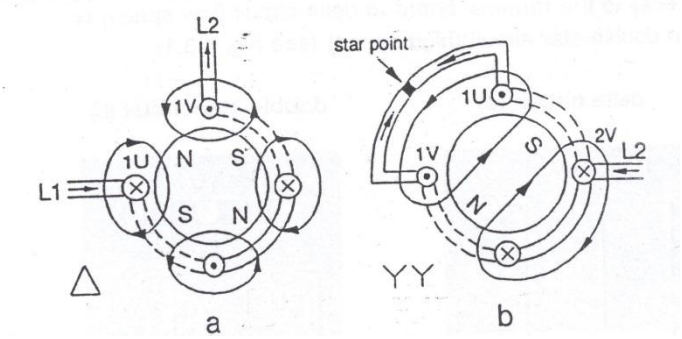
۲-۱ ساختار موتور

به استثنای سیم بندی استاتور ساختار یک موتور دالاندر مشابه با ساختار یک موتور القایی سه فاز قفس سنجابی می باشد. در موتور دالاندر سیم بندی هر فاز استاتور به دو تکه مساوی تقسیم می شود. این کار منجر بوجود آمدن تعداد قطب ها با نسبت های ۴:۲ ، ۸:۴ و یا ۱۲:۶ می شود. تغییر در تعداد قطب ها یا سرعت با ضریب ۲ ناشی از اصطلاحا مدار دالاندر[1] می باشد (شکل (۲-۱)).



شکل (۲-۱): دیاگرام مربوط به سیم بندی دالاندر

شکل (۲-۲) سیم بندی های دالاندر برای نسبت تعداد قطب ۴:۲ نشان می دهد. در موتور دالاندر ، رتور دقیقا مشابه با یک موتور القایی سه فاز می باشد.



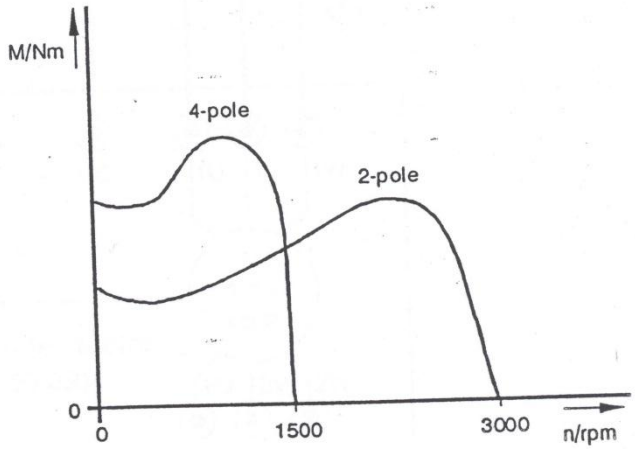
شکل (۲-۲): دیاگرام مربوط به یک فاز از سیم بندی دالاندر

۲-۲ رفتار موتور دالاندر

رفتار سرعت تحت بار و مقدار جریان راه اندازی در موتور دالاندر مشابه با یک موتور القایی سه فاز می باشد. همانطور که قبلا ذکر شد در یک موتور دالاندر سرعت می تواند به نسبت ۲:۱ تغییر کند یعنی اینکه سرعت می تواند ۳۰۰۰ یا ۱۵۰۰ دور بر دقیقه باشد.

[1] Dahlander circuit

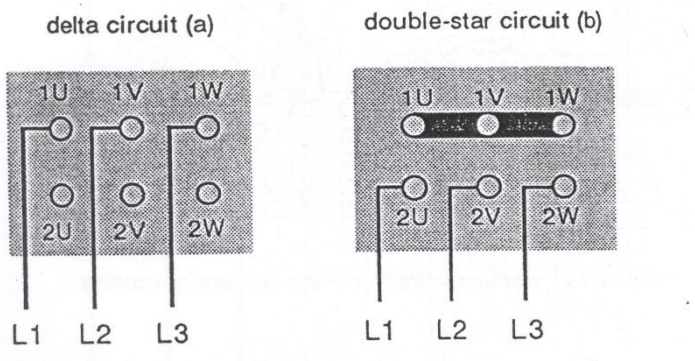
با تغییر اتصالات سیم بندی استاتور از حالت مثلث به ستاره دوبل با وجود دو برابر شدن سرعت ، توان حدودا تنها ۵۰ درصد افزایش می یابد. گشتاور برای هر دو سرعت حدودا مشابه می باشد.



شکل (۲-۳): مشخصه سرعت بر حسب گشتاور

۲-۳ اتصالات موتور دالاندر

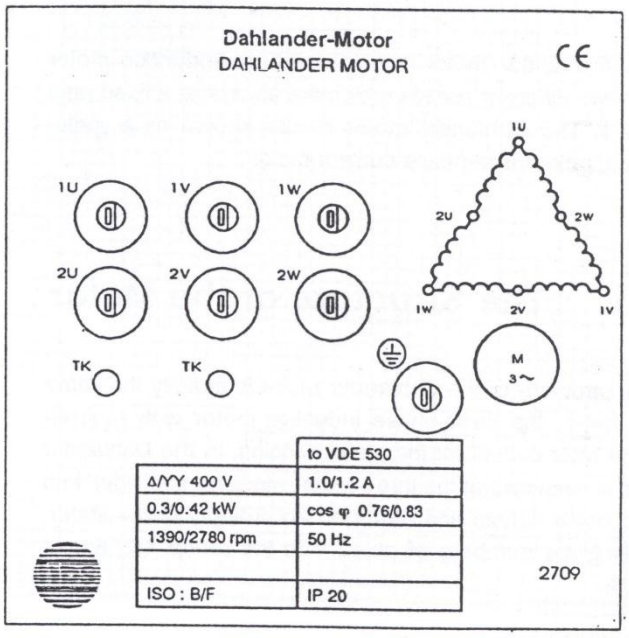
سیم بندی های یک موتور دالاندر هم در مدار مثلث (سرعت پایین) و هم در مدار ستاره دوبل (سرعت بالا) می توانند به صفحه ترمینال متصل شوند (شکل (۲-۴)).



شکل (۲-۴): اتصالات مثلث / ستاره دوبل

سوئیچینگ میان مدار مثلث و ستاره دوبل را با استفاده از یک سوئیچ تغییر دهنده قطب hps، موتور دالاندر (نوع ۲۲۳۶) و یا با کنترل مناسب یک کنتاکتور صورت می گیرد.

شکل (۲-۵) صفحه مشخصات نامی از یک موتور دالاندر hps (نوع ۲۷۹۰) در شکل (۲-۵) نشان داده شده است. به عنوان مثال مشخصه $\Delta/YY\ 400\ V$ مود کاری و مشخصات ولتاژ های استفاده شده را نشان می دهد؛ این بدان معنی است که موتور در مدار مثلث و ستاره دوبل از پورت های سه فاز ۴۰۰ ولت استفاده می کند.



شکل (۲-۵): صفحه مشخصات نامی

۲-۴ آزمایشات موتور دالاندر

آزمایش ۴: راه اندازی موتور دالاندر

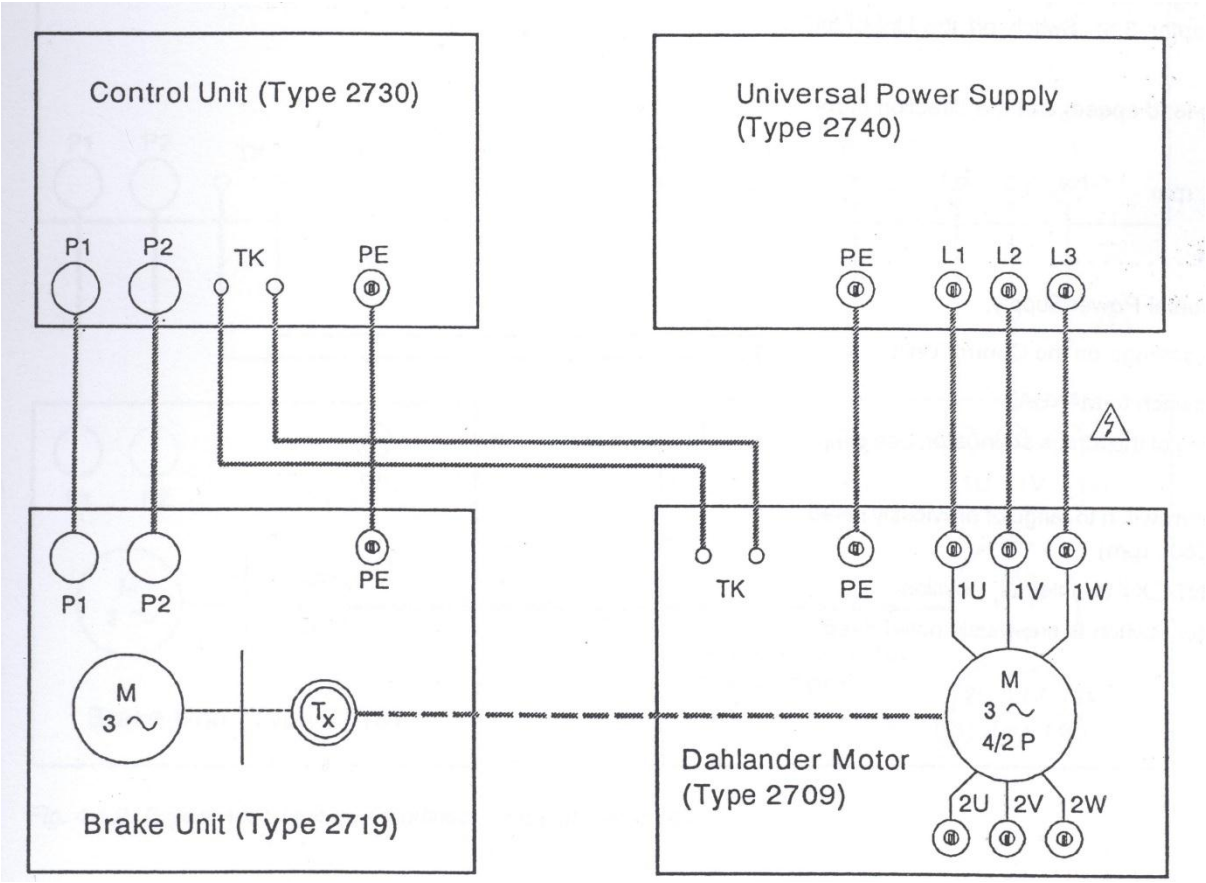
هدف آزمایش :

عمل موتور دالاندر در سرعت پایین در حالت بی باری

تجهیزات لازم :

- ✓ موتور دالاندر (نوع ۲۷۰۹)
- ✓ واحد ترمز (نوع ۲۷۹۱)
- ✓ واحد کنترل (نوع ۲۷۰۳)
- ✓ منبع تغذیه یونیورسال (نوع ۲۷۴۰)

مدار آزمایش:



شکل (۲-۶): مدار آزمایش: موتور دالاندر در سرعت پایین

شرح آزمایش :

- رعایت دستورالعمل های ایمنی مشابه با آزمایش های قبل
- موتور آزمایش را به سمت واحد ترمز فشار داده و آن را با ماشین ترمز کوپل کنید.
- به وسیله کشاندن اهرم clamping موقعیت ماشین آزمایش را در حالت کوپل شده با ماشین ترمز تثبیت کتید.
- مطابق با شکل (۲-۶) set up آزمایش را آماده کنید.
- موتور به پورت های ورودی ۴۰۰ ولت در مدار مثلث وصل کنید.
- واحد کنترل را روشن کنید.
- منبع تغذیه یونیورسال را روشن کنید. در این حالت سرعت، گشتاور و جهت چرخش نمایش داده می شود.

- جهت چرخش را مشاهده کنید. موتور باید به سمت راست بچرخد. در صورت لزوم جای دو تا از فازها را عوض کنید. البته برای این کار لازم است که ابتدا منبع تغذیه یونیورسال را خاموش کنید.
- سرعت بی باری و جهت چرخش را یادداشت کنید.

$$n_0 = \cdots\cdots\cdots \text{rpm}$$

جهت چرخش: ... ...

- منبع تغذیه یونیورسال را خاموش کنید.
- تنظیمات زیر را روی واحد کنترل انجام دهید:
  - مود کاری را روی manual قرار دهید.
  - پتانسیومتر گشتاور را کنترل کنید.
  - سوئیچ speed-preselection را روی ۱۸۰۰ یا ۳۶۰۰ دور بر دقیقه تنظیم کنید.
  - سوئیچ INT/EXT را روی مود internal قرار دهید.
  - با فشار دادن دکمه START/STOP ماشین ترمز را روشن کنید.
  - سرعت نمایش داده شده را با سرعت قبلی مقایسه کنید و در صورت نیاز با پتانسیومتر ست پوینت آن را تنظیم کنید.
  - منبع تغذیه یونیورسال را روشن کنید. گشتاور حالا باید صفر باشد. در صورت نیاز سرعت را با پتانسیومتر ست پوینت تنظیم کنید.
  - در انتهای آزمایش ابتدا منبع تغذیه یونیورسال و سپس واحد کنترل را خاموش کنید.

آزمایش ۵: عمل موتور دالاندر در سرعت های بالا و پایین

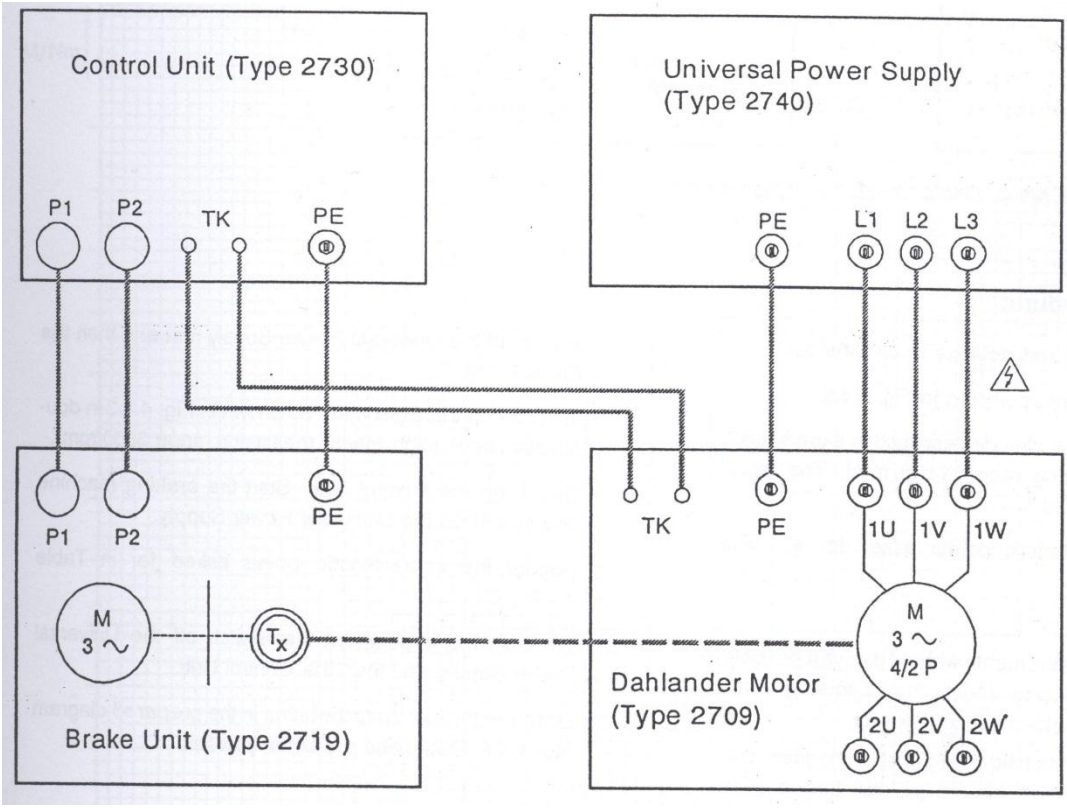
هدف آزمایش:

استفاده از موتور دالاندر ابتدا در سرعت پایین و سپس در سرعت بالا. تعیین مشخصه گشتاور

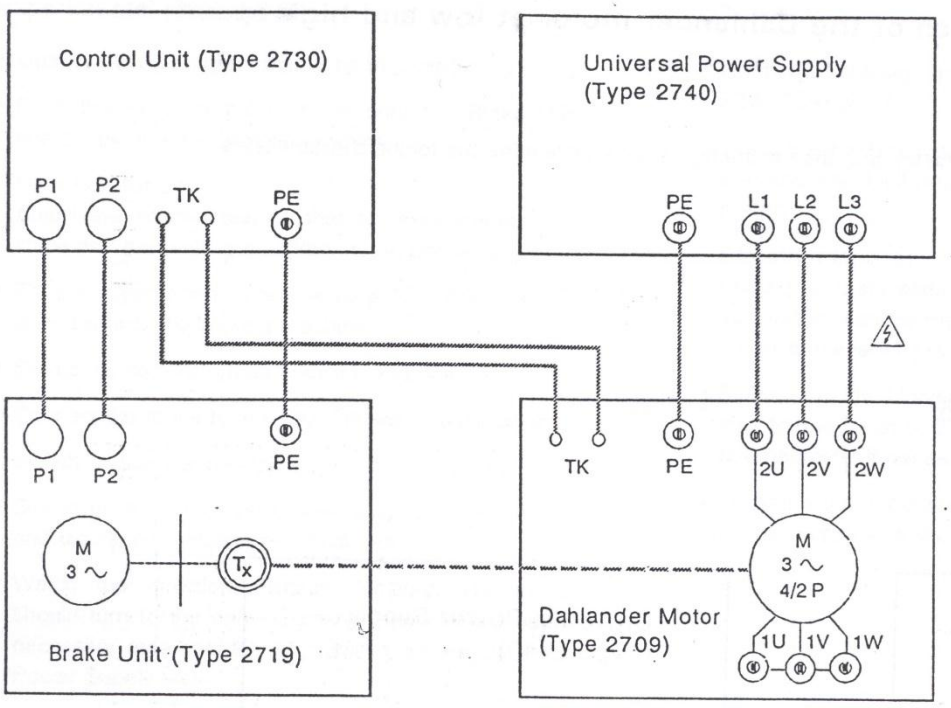
تجهیزات لازم:

- ✓ موتور دالاندر (Type 2709)
- ✓ واحد ترمز (Type 2719)
- ✓ واحد کنترل (Type 2730)
- ✓ منبع تغذیه یونیورسال (Type 2740)

مدار آزمایش:



شکل (۲-۷): مدار آزمایش: موتور دالاندر در سرعت پایین



شکل (۲-۸): مدار آزمایش: موتور دالاندر در سرعت بالا

شرح آزمایش:

- رعایت دستورالعمل های ایمنی مشابه با آزمایش های قبل
- مطابق با شکل (۲-۷) مدار آزمایش را آماده کنید.
- سیستم را مشابه با آزمایش قبل آماده کنید (سرعت پایین: رنج اندازه گیری سرعت ۱۸۰۰ دور بر دقیقه). موتور باید به سمت راست بچرخد.
- با استفاده از نتایج آزمایش جدول های (۲-۱) و (۲-۲) را پر کنید.

راهنمایی:

- تا جائیکه ممکن است اندازه گیری ها را بدون تاخیر انجام دهید. اگر موتور خیلی گرم شود نتایج اندازه گیری خیلی معتبر نیست و موتور باید خنک شود.
- نقاط مشخصه ابتدا برای حالت بی باری ، سپس برای سرعت نامی ، سپس برای گشتاور ماکزیمم و در نهایت برای کمترین سرعت ممکن ثبت کنید.
- مقادیر sub-value را در جدول خودتان تعیین کنید. مطمئن شوید که نقاط مشخصه دارای مفهوم می باشند.
- پتانسیومتر گشتاور را تنظیم کنید.
- ابتدا منبع تغذیه یونیورسال و سپس واحد کنترل را خاموش کنید.
- سپس مطابق با شکل (۲-۸) آزمایش برای مدار ستاره دوبل آماده کنید (سرعت بالا: رنج اندازه گیری ۳۶۰۰ دور بر دقیقه).
- واحد کنترل را روشن کنید. ماشین ترمز را راه انداخته و منبع تغذیه یونیورسال را روشن کنید.
- با استفاده از نتایج آزمایش جدول (۲-۲) را پر کنید.
- بعد از اتمام آزمایش ابتدا منبع تغذیه یونیورسال و سپس واحد کنترل را خاموش کنید.
- مشخصه گشتاور بر حسب سرعت را در دیاگرام نشان داده شده در شکل (۲-۹) رسم کنید. مقیاس را خودتان تعیین کنید.

سوالات:

۱- چه معیار کلیدی باعث می شود که موتور دالاندر دارای دو سرعت متفاوت باشد؟

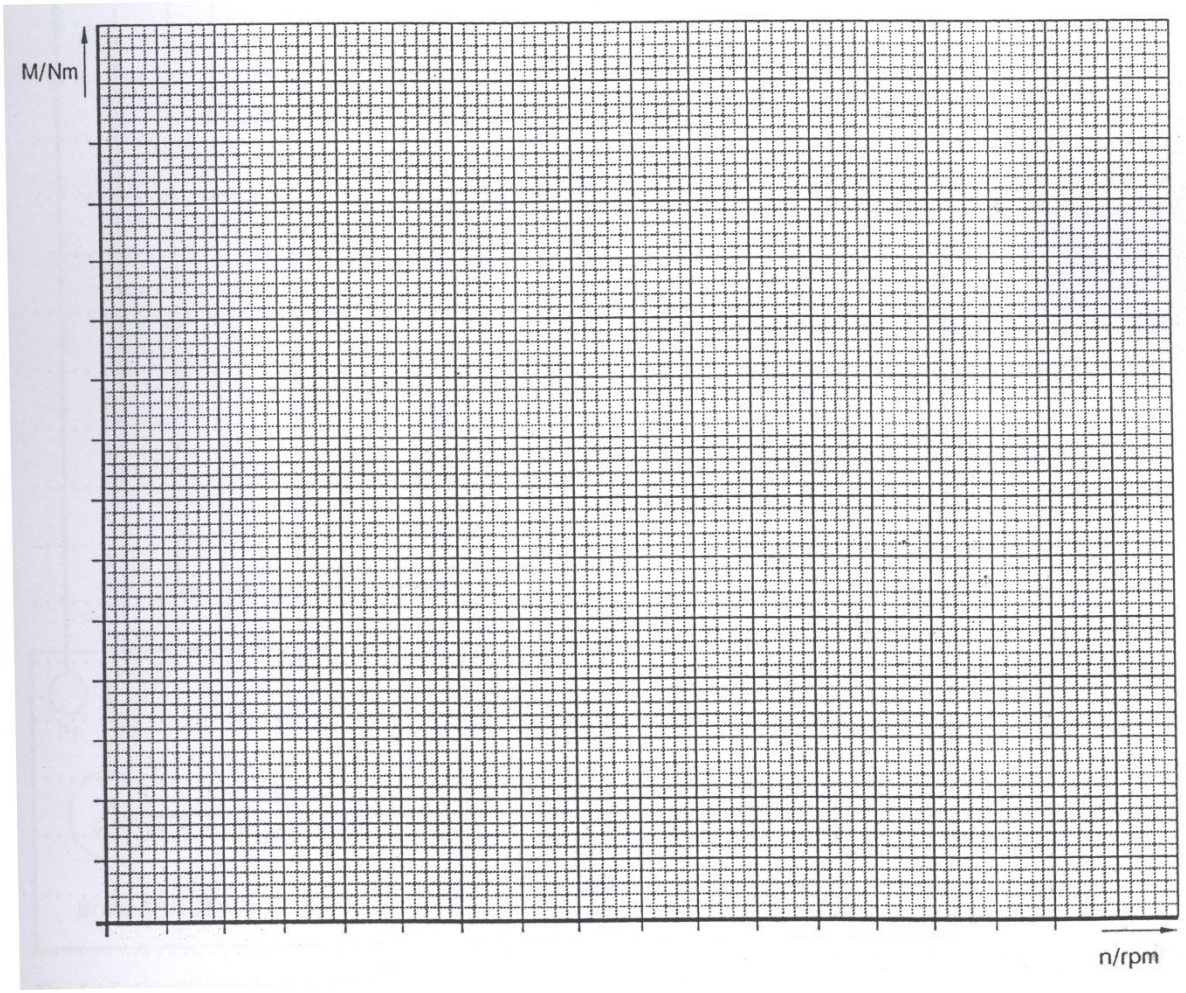
۲- رفتار گشتاور را در مدار مثلث و ستاره دوبل نشان داده شده در شکل (۲-۹) توضیح دهید؟

جدول (۲-۱): موتور دالاندر در مدار مثلث

Characteristic points at	n / rpm	M / Nm
no-load speed		
rated speed		
1st sub-value		
pull-out torque		
2nd sub-value		
3rd sub-value		
min. speed		

جدول (۲-۲): موتور دالاندر در مدار ستاره دوبل

Characteristic points at	n / rpm	M / Nm
no-load speed		
rated speed		
1st sub-value		
pull-out torque		
2nd sub-value		
3rd sub-value		
min. speed		



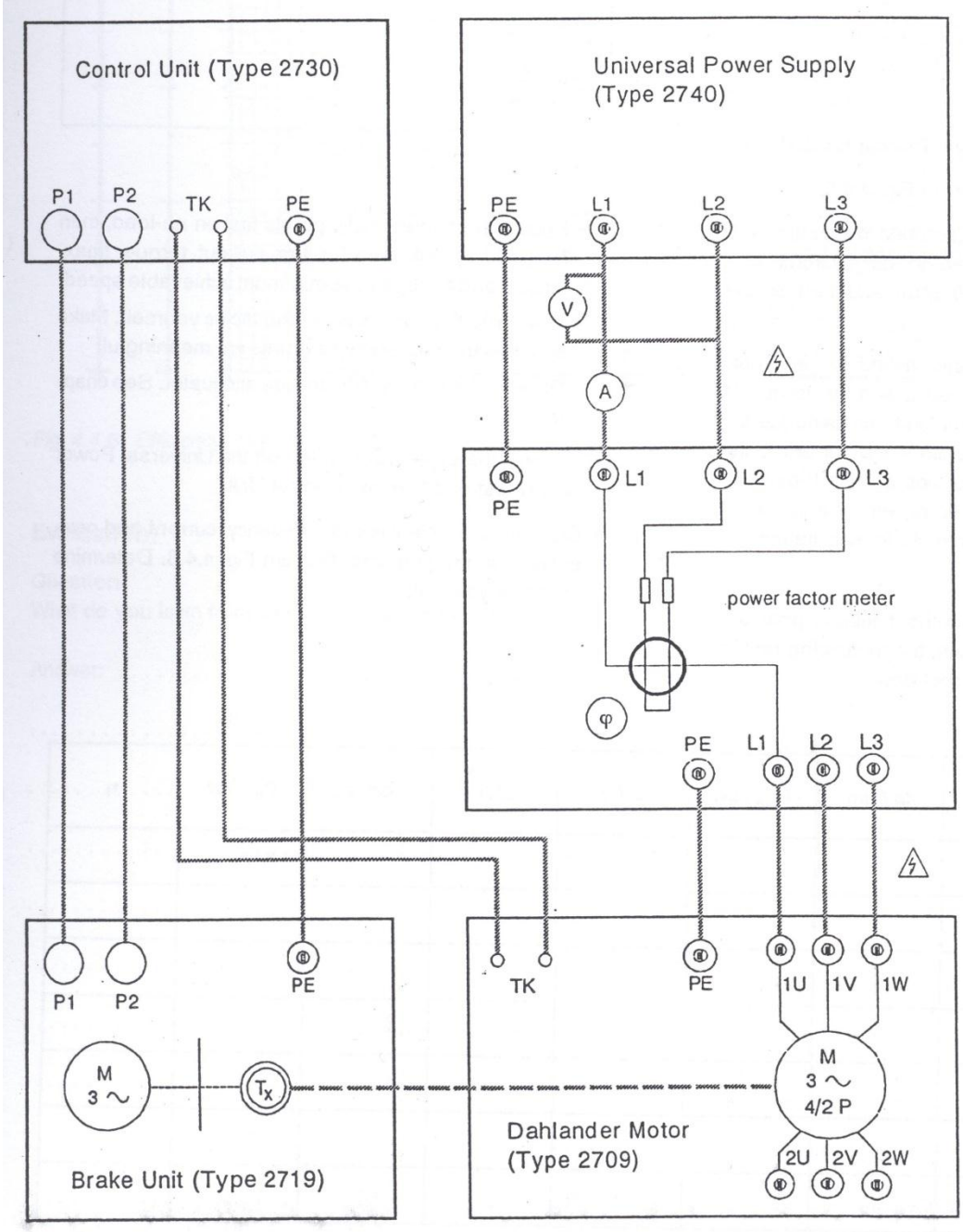
شکل (۲-۹): مشخصه گشتاور مربوط به یک موتور دالاندر در مدار مثلث و ستاره دوبل

آزمایش ۶ : بازده، جریان و ضریب توان موتور دالاندر

هدف آزمایش:

تعیین مشخصه بازده، جریان و ضریب توان موتور دالاندر در سرعت پایین

مدار آزمایش:



شکل (۲-۱۰): مدار آزمایش برای تعیین مشخصه های بازده، جریان و ضریب توان موتور دالاندر

تجهیزات لازم:

- ✓ موتور دالاندر (Type 2709)
- ✓ واحد ترمز (Type 2719)
- ✓ واحد کنترل (Type 2730)
- ✓ منبع تغذیه یونیورسال (Type 2740)
- ✓ سنجه ضریب توان (10 A)
- ✓ دو عدد مولتی متر

شرح آزمایش:

- رعایت دستورالعمل های ایمنی مشابه با آزمایش های قبل
- مدار آزمایش را مطابق با شکل (۲-۱۰) آماده کنید.
- سیستم را مشابه با آزمایش شماره ۱ راه اندازی کنید. موتور باید در مدار مثلث (سرعت پایین: رنج اندازه گیری ۱۸۰۰ دور بر دقیقه) کار کند و به سمت راست بچرخد.
- نقاط مشخصه خواسته شده را در جدول (۲-۳) ثبت کنید.

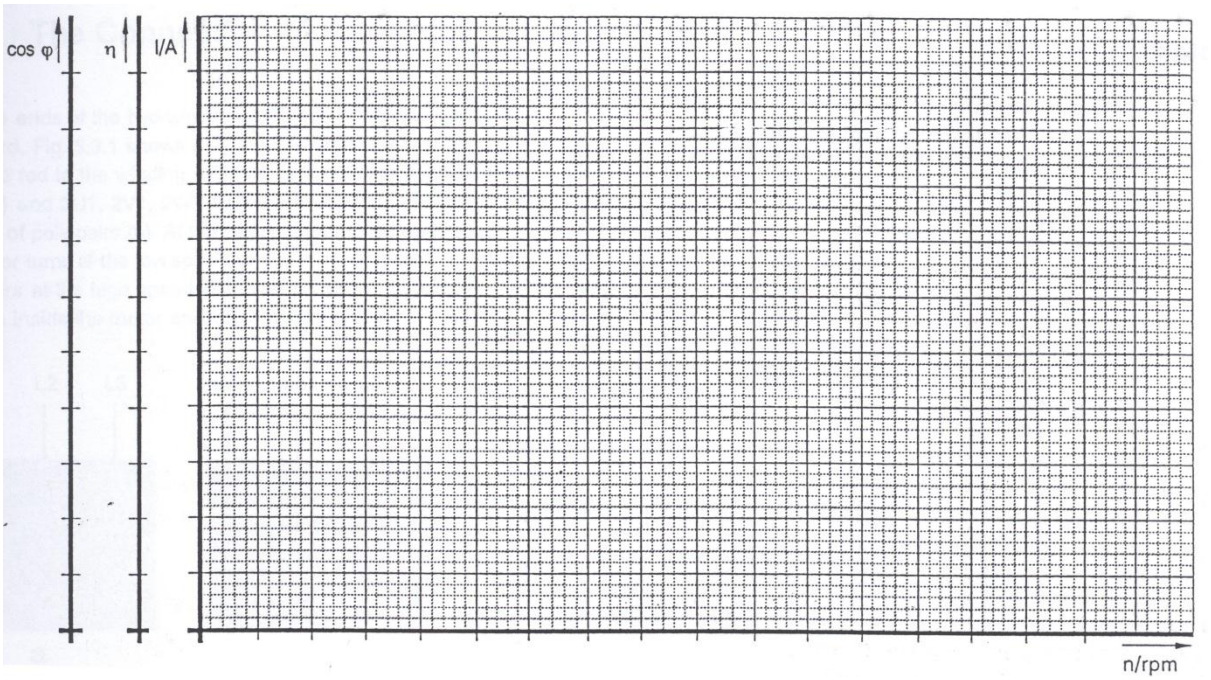
راهنمایی:

- تا جائیکه ممکن است اندازه گیری ها را بدون تاخیر انجام دهید. اگر موتور خیلی گرم شود نتایج اندازه گیری خیلی معتبر نیست و موتور باید خنک شود.
- نقاط مشخصه ابتدا برای حالت بی باری ، سپس برای سرعت نامی ، سپس برای گشتاور ماکزیمم و در نهایت برای کمترین سرعت ممکن ثبت کنید.
- مقادیر sub-value را در جدول خودتان تعیین کنید. مطمئن شوید که نقاط مشخصه دارای مفهوم می باشند.
- پتانسیومتر گشتاور را تنظیم کنید.
- ابتدا منبع تغذیه یونیورسال و سپس واحد کنترل را خاموش کنید.
- سپس مطابق با شکل (۲-۸) آزمایش برای مدار ستاره دوبل آماده کنید (سرعت بالا: رنج اندازه گیری ۳۶۰۰ دور بر دقیقه).
- واحد کنترل را روشن کنید. ماشین ترمز را راه انداخته و منبع تغذیه یونیورسال را روشن کنید.
- با استفاده از نتایج آزمایش جدول (۲-۳) را پر کنید.
- بعد از اتمام آزمایش ابتدا منبع تغذیه یونیورسال و سپس واحد کنترل را خاموش کنید.

- مشخصه های بازده، جریان و ضریب توان را در دیاگرام نشان داده شده در شکل (۲-۱۱) رسم کنید. مقیاس را خودتان تعیین کنید.

جدول (۲-۳): بازده، جریان و ضریب توان موتور دالاندر

Characteristic points at	n / rpm	M / Nm	P_{out} / kW	U / V	I / A	cos φ	P_{in} / kW	η
no-load speed								
rated speed								
1st sub-value								
pull-out torque								
2nd sub-value								
3rd sub-value								
min. speed								



شکل (۲-۱۱): مشخصه های بازده،جریان و ضریب توان برای موتور دالاندر

سوالات:

۱- از مشخصه های رسم شده در شکل (۲-۱۱) چه نتیجه ای میتوان گرفت؟

۳-ماشین سنکرون

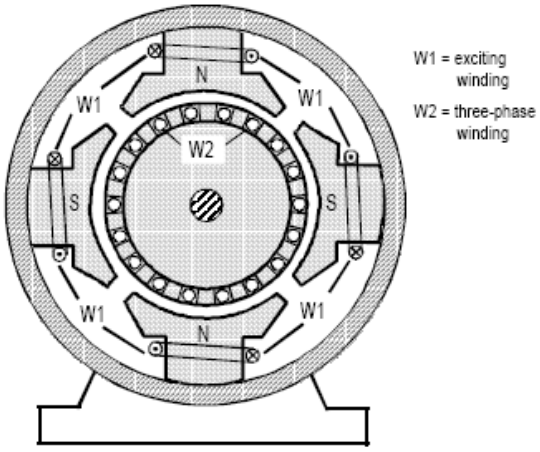
ماشینهای سنکرون سه فازه به عنوان موتور و ژنراتور مورد استفاده قرار میگیرند. در ماشینهای سنکرون، سرعت روتور، برابر یا سنکرون با میدان دوار استاتور است بنابر این بدون لغزش کار میکند (S=0)
در حالت ژنراتوری، میدان دوار توسط چرخش یک آهنربای دائم و یا از طریق الکترومغناطیسی به وجود می آید. و در حالت موتوری، جریان سه فاز به سیم پیچی های استاتور اعمال میشود.
در حالیکه ماشینهای آسنکرون بیشتر به عنوان موتور مورد استفاده قرار میگیرند، ماشینهای سنکرون عموما به عنوان ژنراتور مورد استفاده قرار میگیرند. انرژی الکتریکی تولید شده در نیروگاهها یا واحدهای تولید برق، عمدتا توسط ژنراتورهای سنکرون تولید میشود.

۳-۱ ساختار ماشین

ماشینهای سنکرون از یک استاتور که در بردارنده سیم پیچی سه فاز است و یک روتور که شامل سیم پیچی تحریک است تشکیل شده است.
طراحیهای متفاوتی بسته به نوع و محل استفاده به شرح زیر موجود میباشد :

۳-۱-۱ ماشین با قطب خارجی

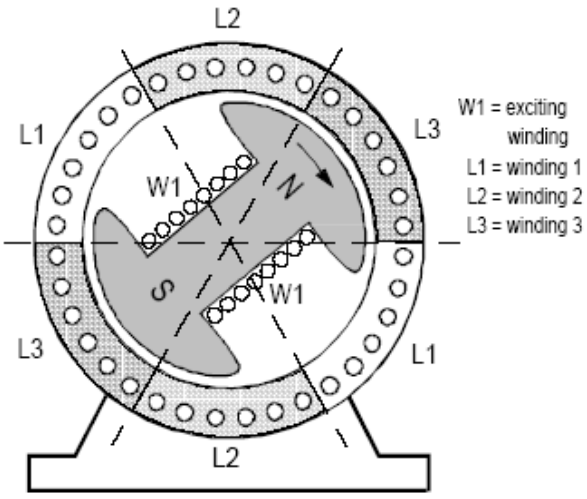
در این نسخه، استاتور ساختاری همانند ماشینهای DC قطب برجسته دارد. سیم پیچیهای تحریک روی قطبها قرار دارند. توان بالای سه فاز توسط اسلیپ رینگ از روتور اخذ میشود. از معایب این امر، نیاز به جاروبکها و اسلیپ رینگهای توان بالا و عایق بندی بزرگ برای ماشین است. ماشینهای قطب خارجی محدود به توانهای تا 50KVA میباشند. شکل ۳-۱ نشاندهنده اصول یک ماشین قطب خارجی میباشد.



شکل ۳-۱ : ساختار ماشین با قطب خارجی

۳-۱-۲ ماشین با قطب داخلی

در ماشینهای قطب داخلی، استاتور در بردارنده توان سه فاز بوده و از این حیث مشابه ماشینهای آسنکرون میباشد. در اینجا توان پایین میدان توسط اسلیپ رینگ به روتور وارد میشود. بنابراین ماشینهای قطب داخلی مناسب برای توانها و جریانهای بالا میباشند. ماشینهای قطب داخلی برای توانهای تا 2.6 GVA ساخته شده اند. شکل ۳-۲ اصول یک ماشین قطب داخلی را نشان میدهد.



شکل ۳-۲ : ساختار ماشین با قطب داخلی (قطب برجسته)

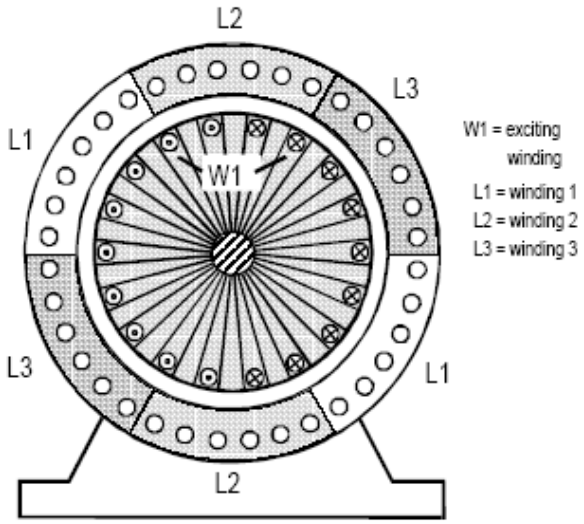
ماشینهای با قطب داخلی به دو دسته تقسیم میشوند:

- **ماشین قطب برجسته**

در ماشینهای قطب برجسته، (شکل ۳-۲) روتور یک چرخ قطبی با قطبهای شعاعی است که شامل قطبها و سیم پیچهای تحریک میباشد. این ماشینها عمدتا برای سرعتهای پایین مناسب هستند. (برای مثال توربینهای آبی) ماشینهای قطب برجسته با نامهای روتورهای قطب برجسته یا روتورهای تک قطبی شناخته میشوند.

- **ماشینهای قطب صاف**

در ماشینهای قطب صاف، (شکل ۳-۳) یک روتور سیلندری مورد استفاده قرار میگیرد. سیم پیچهای تحریک داخل شیارهای روتور قرار گرفته اند. این ماشین عمدتا برای سرعتهای بالا مناسب هستند. (برای مثال توربینهای بخار و گازی). ماشینهای قطب صاف با نامهای روتور قطب صاف، روتور غلطکی، روتور سیلندری، روتور استوانه ای یا توربو روتور شناخته میشوند.



شکل ۳-۳ : ساختار ماشین با قطب داخلی (قطب صاف)

۳-۱-۳ سیم پیچهای میرا کننده

در برخی ماشینهای سنکرون، روتور مجهز به سیم پیچهای میرا کننده (قفس سنجابی) است که وظیفه آن میرا کردن ارتعاشات روتور ناشی از تغییرات و یا شوکهای بار است.

سیم پیچهای میرا کننده موارد زیر را انجام میدهند:

- ضمانت پایداری شبکه در حالت موازی کار کردن ژنراتورها
- جلوگیری از تولید هارمونیک ناشی از تغییرات آنی بار.
- راه اندازی آسنکرون ماشین سنکرون.

۳-۲ انواع تحریک ژنراتور سنکرون

یک میدان مغناطیسی که ناشی از عبور جریان مستقیم از سیم پیچهای روتور است برای تولید انرژی مورد نیاز است. توان مورد نیاز برای تحریک بسته به سایز ماشین بین۰/۲۵٪ تا ۵٪ توان نامی ماشین است.

در ماشینهای سنکرون، سه نوع تحریک موجود است:

- تحریک خودی

این حالت وقتی به وقوع میپیوندد که قسمتی از توان تولیدی ژنراتور برای تحریک مورد استفاده قرار گیرد.

- تحریک مستقیم

جریان تحریک توسط یک ژنراتور کوچکتر که روی شفت قرار دارد تولید شده و ژنراتور اصلی را تغذیه میکند. این نوع تحریک به جهت مقاصد ایمنی ترجیه داده میشود.

- تحریک مستقل

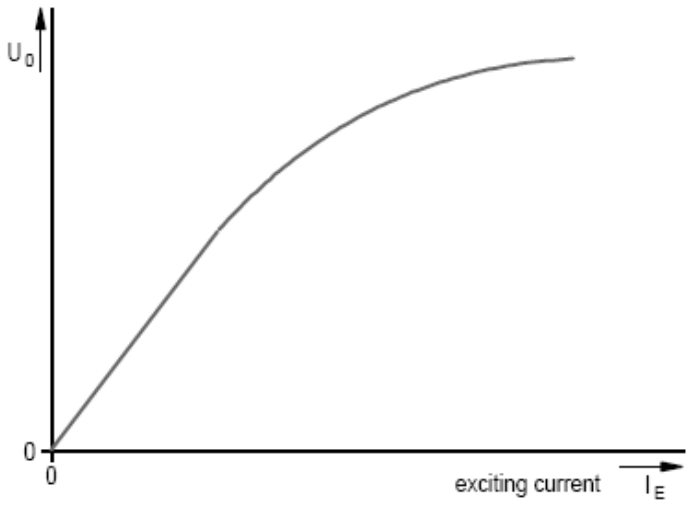
در این نوع تحریک، انرژی مورد نیاز تحریک توسط یک منبع خارجی تولید میشود.

اگر ژنراتور به خط وصل شده و جریان تحریک آن بالا برود، ولتاژ داخلی بالا خواهد رفت. اما به دلیل انعطاف ناپذیر بودن ولتاژ شبکه، ولتاژ ترمینال افزایش نخواهد یافت. بنابراین جریان پس فازی به وجود خواهد آمد که توان راکتیو ایندکتیو تولید خواهد کرد و ژنراتور مانند یک خازن در شبکه عمل خواهد کرد. این رفتار میتواند برای جبرانسازی خازنی مورداستفاده قرار بگیرد.

کاهش تحریک موجب جذب توان راکتیو از شبکه خواهد شد. در این حالت ژنراتور مانند یک بار سلفی عمل خواهد کرد.

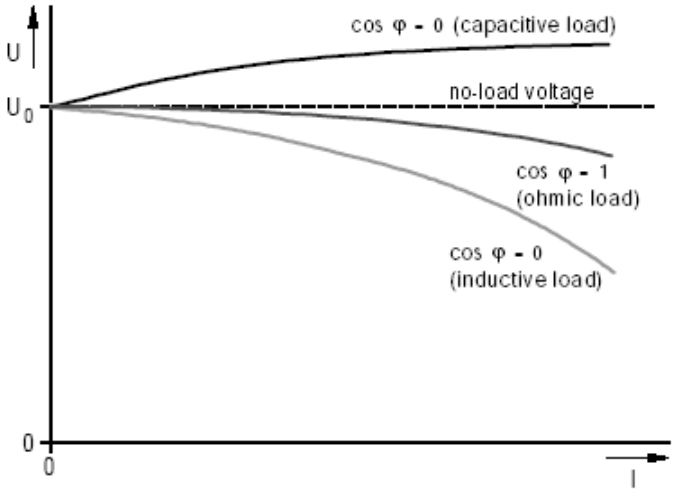
۳-۳ رفتار عملکردی ماشین سنکرون در غالب یک ژنراتور

قطب تحریک شده داخلی ماشین که در حال چرخش میباشد، یک ولتاژ سینوسی روی سیم بندیهای استاتور القا میکند. با افزایش جریان تحریک از صفر تا مقدار نامی در حالت بی باری ژنراتور، منحنی مغناطیس شوندگی یا بی باری ژنراتور به دست خواهد آمد. شکل ۳-۴ مشخصه بی باری یک ژنراتور سنکرون را در نشان میدهد.



شکل ۳-۴ : مشخصه بی باری یک ژنراتور سنکرون

هنگامیکه انرژی ژنراتور مستقیما به بار تزریق میشود، اصطلاحا تولید به صورت جزیره ای خواهد بود. در این حالت نیازی به برقراری شرایط سنکرونیزاسیون نبوده و ولتاژ و فرکانس بسته به مصرف بار باید تنظیم گردند. شکل ۳-۵ مشخصات بارداری یک ژنراتور سنکرون را در حالت جزیره ای نشان میدهد. در حالت جریان ثابت تحریک و کارکرد جزیره ای، ولتاژ خروجی به نوع بار وابسته خواهد بود. برای دستیابی به ولتاژ ثابت، تحریک برای بارهای اهمی میبایست پایین باشد. در بارهای سلفی بالاتر و در بارهای خازنی اندکی کمتر باشد.



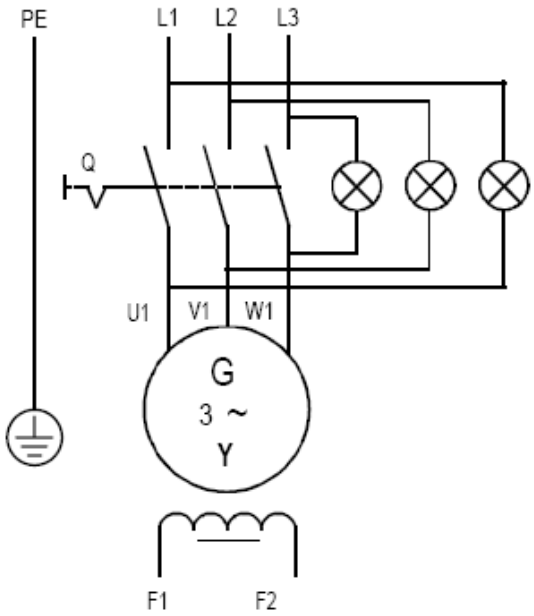
شکل ۳-۵ : مشخصه بارداری یک ژنراتور سنکرون

۳-۴ سنکرون سازی در مد ژنراتوری

اگر یک ژنراتور سنکرون یه صورت موازی در شبکه قرار بگیرد، اول باید سنکرون شود بدان معنا که شرایط زیر بین شبکه و ژنراتور برقرار شود:

- ✓ ولتاژ برابر
- ✓ فرکانس یکسان
- ✓ توالی فاز یکسان
- ✓ اختلاف فاز یکسان

اگر این شرایط کاملا برقرار نباشند، جریان تحریک بالایی برقرار شده و ممکن است ژنراتور دستخوش آسیب شود. راههای مختلفی برای چک کردن این شرایط وجود دارد. یک راه ساده، سنکرون سازی با روش لامپهای خاموش (سنکرون سازی تاریک) مطابق با آنچه در شکل ۳-۶ نشان داده است میباشد. در این روش، لامپهای التهابی در هر فاز میان ژنراتور و شبکه قرار میگیرند. در توالی فاز صحیح و دامنه برابر، ولی اندکی تفاوت در فرکانس، لامپ شروع به چشمک زدن میکند. وقتی لامپها خاموش شوند، نشاندهنده آن است که ژنراتور با شبکه سنکرون شده است. در این حالت میتوان سوئیچی که ژنراتور را به شبکه متصل میکند را بست.



شکل ۳-۶ : سنکرون سازی با روش لامپهای خاموش (سنکرون سازی تاریک)

جدول ۳-۱ شرح دقیقی از سنکرون سازی با روش سنکرون سازی تاریک را ارائه میدهد.

جدول ۳-۱ : سنکرون سازی با روش سنکرون سازی تاریک

Condition	Check	Condition satisfied	Condition not satisfied	Remedy
same voltage	Measure the mains voltage and the voltage on the machine.	Mains voltage and voltage on the machine are the same.	Mains voltage and voltage on the machine are not the same.	Change the excitation until voltages match.
same frequency	synchronizing dark method	All lamps are dark.	All lamps light together and rhythmically.	Match the speed of the machine by „fine" increase or reduction.
same phase sequence	synchronizing dark method	All lamps go on and off regularly (frequencies not the same) or all lamps are dark.	revolving light	Exchange any two phases on the machine.
same phase position	synchronizing dark method	All lamps are dark.	All lamps light.	Reduce the speed briefly, then increase the speed again.

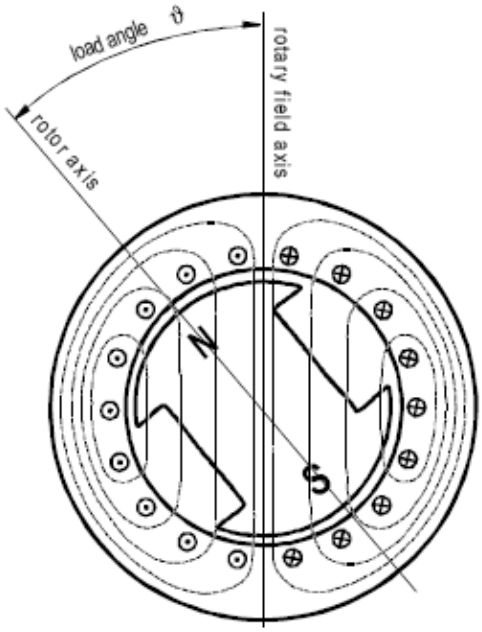
۳-۵ عملکرد موتوری یک ماشین سنکرون

هنگامیکه سرعت ثابت مد نظر باشد، ماشین سنکرون میتواند در مد موتوری به کار گرفته شود.

۳-۵-۱ رفتار عملکردی در حالت موتوری

اگر سیم بندیهای استاتور ماشین به برق سه فاز متصل شوند، میدان دوار استاتور فورا به سرعت میدان دوار خواهد رسید. به دلیل وجود اینرسی، روتور نمیتواند به سرعت سنکرون برسد. سیم بندیهای میرا کننده که در بخشهای قبل شرح آنها آورده شد، یک راه را پیش روی قرار میدهند. بدان معنا که موتور سنکرون میتواند به صورت آسنکرون راه اندازی شده، سپس در سرعت سنکرون به کار خود ادامه دهد.

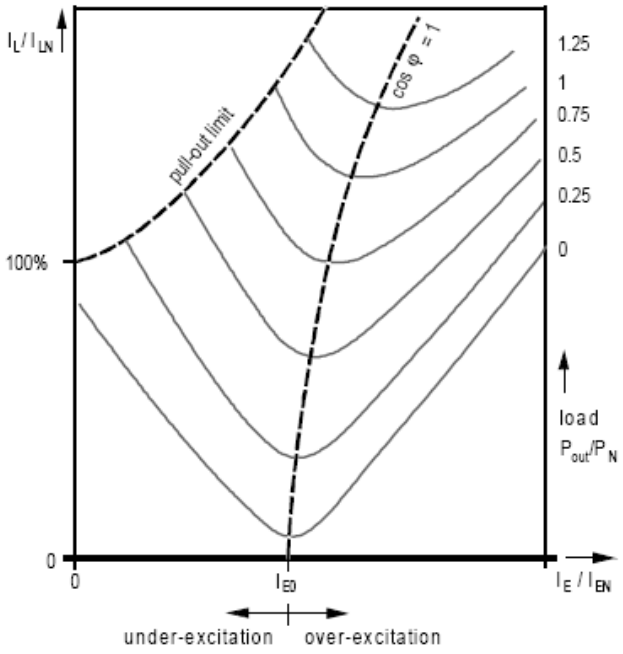
در ماشین سنکرون باید از over load شدن آن جلوگیری شود چراکه میتواند وارد ناحیه ناپایدار شده و دمای آن افزایش یابد. ماشین تنها میتواند در ناحیه بین بی باری و گشتاور ماکزیمم به کار گرفته شود. یک راه اندازه گیری بار ماشین سنکرون، زاویه بار میباشد. (شکل ۳-۷). روتور بسته به میزان بار، همواره عقب تر از میدان قرار خواهد گرفت. افزایش زاویه بار منجر به رسیدن به گشتاور ماکزیمم و سپس ناحیه ناپایدار میشود.



شکل ۳-۷ : زاویه بار (Load Angle)

۳-۵-۲ موتور سنکرون فوق تحریک

اگر یک موتور سنکرون بیش از مقدار خود تحریک شود، توان راکتیو به شبکه تزریق خواهد کرد. به طور مثال مانند یک خازن عمل کرده و بارهای سلفی را جبران مینماید. فرقی نمیکند که موتور باردار بوده یا در شرایط بی باری کار کند. همچنین موتور میتواند توان راکتیو جذب کند تا هنگامیکه مقدار ماکزیمم جریان از سیم بندیهای استاتور کشیده شود. اگر این جریانها را برای توانهای اکتیو متفاوت بر حسب تحریک رسم کنید منحنیهای V شکل بدست خواهند آمد که در شکل ۳-۸ مشاهده میشود. در این شکل منحنی پایینی یک جریان راکتیو خالص بوده و هر چه بالاتر بروید جریان مربوط به توانهای اکتیو بیشتر میشود.



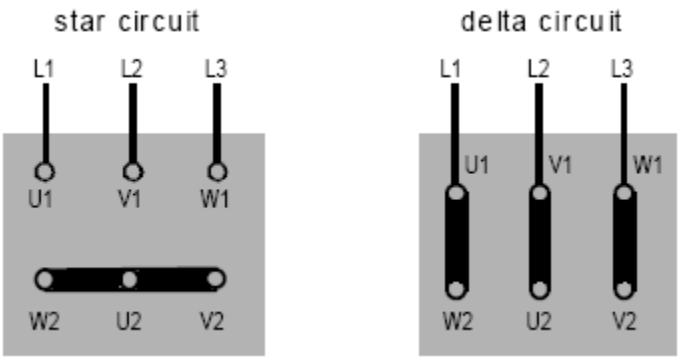
شکل ۳-۸ : منحنیهای V شکل موتور سنکرون

۳-۵-۳ کنترل سرعت موتور سنکرون

سرعت موتور سنکرون بستگی به فرکانس استاتور و تعداد قطبها دارد. اگر یک مبدل فرکانس برای دستیابی به فرکانسهای ۰ تا ۵۰ هرتز در اختیار داشته باشید، سرعت میتواند از صفر تا مقدار ماکزیمم تغییر نماید. راه اندازی موتور توسط مبدل فرکانسی به آرامی صورت میپذیرد. با این حال تنها هنگامیکه کنترل سرعت پیوسته مد نظر باشد، این روش ارزش به کارگیری را دارد.

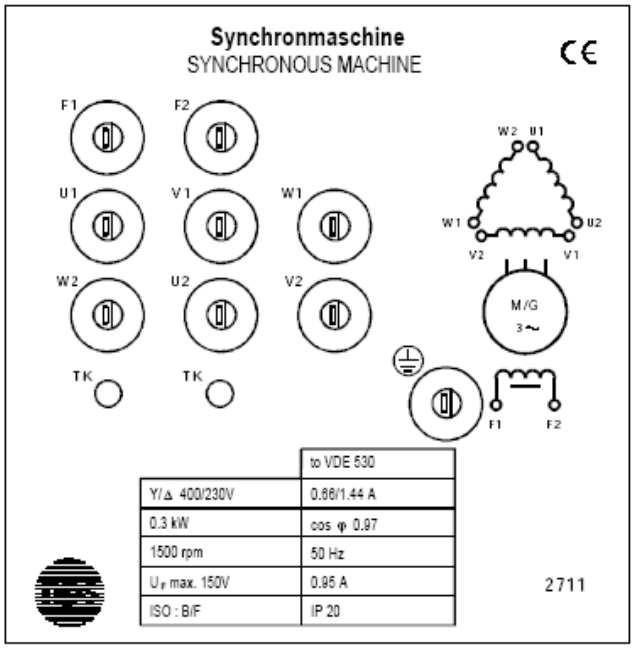
۳-۶ اتصالات ماشین سنکرون

شکل ۳-۹ نشان میدهد که سیم بندی استاتور U1,V1,W1 و U2,V2,W2 یک ماشین سنکرون میتواند به صورت ستاره یا مثلث بسته شود. کانکشنهای F1 & F2 نیز به طور جداگانه بیرون آورده شده اند. اگر ماشین سنکرون به عنوان ژنراتور عمل نماید، تنها تحریک باید بسته شود. کانکشنهای U2,V2,W2 باید برای دستیابی به حالت ستاره به یکدیگر بسته شوند. در حالت موتوری، کانکشنهای U1,V1,W1 به فازهای L1,L2,L3 متصل خواهند شد.



شکل ۳-۹ : اتصالات ستاره و مثلث ماشین

در پلاک مشخصات موتور اسلیپ رینگ hps، (شکل ۳-۱۰) علامت Y/D 400/230 V مشاهده میشود که نشاندهنده آن است که در حالتی که موتور به حالت Y بسته شده میتوان به آن ولتاژ ۴۰۰ ولت اعمال نمود و در حالت اتصال D تنها استفاده از ولتاژ ۲۳۰ ولت مجاز میباشد. در این حالت استفاده از ولتاژ ۴۰۰ ولت موجب داغ شدن میشود.



شکل ۳-۱۰ : پلاک مشخصات ماشین

۳-۷ آزمایشهای ژنراتور سنکرون

آزمایش ۷: راه اندازی و مشخصه بی باری ژنراتور سنکرون

هدف آزمایش

عملکرد ماشین سنکرون به عنوان یک ژنراتور و بررسی مشخصه بی باری $U_0 = f(I_E)$

وسایل موردنیاز

- ✓ ماشین سنکرون (Type 2711)
- ✓ واحد ترمز (Type 2719)
- ✓ واحد کنترل (Type 2730)
- ✓ منبع تغذیه (Type 2740)

مراحل انجام آزمایش

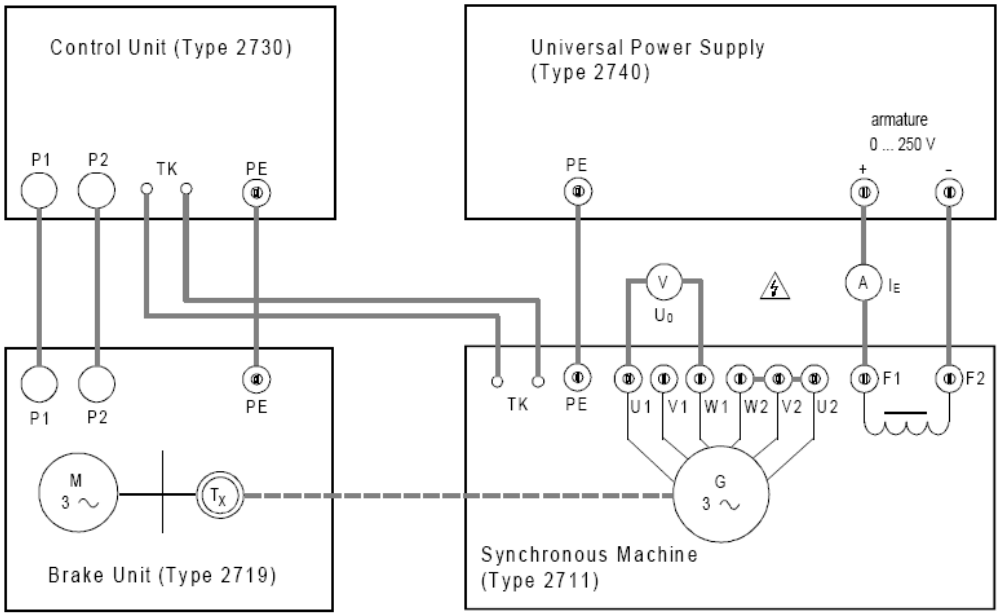
- ماشین آزمایشگاهی را به سمت واحد ترمز فشار داده و آنرا به ماشین ترمز کوپل کنید.
- مدار آزمایش را مطابق با شکل ۳-۱۱ برقرار کنید.
- پیچ منبع تغذیه را تا انتها به سمت چپ بچرخانید (0V).
- واحد کنترل و ماشین ترمز را روشن کنید.
- منبع تغذیه را روشن کنید.
- نمایشگر جهت گردش را مشاهده کنید. موتور باید به سمت راست بچرخد. میتوانید از واحد کنترل جهت گردش را عوض کنید.
- منبع تغذیه را خاموش کنید.
- تنظیمیات زیر را روی واحد کنترل انجام دهید.
  - ✓ مد کارکرد روی manual
  - ✓ محدوده سرعت را روی rpm ۱۸۰۰ قرار دهید.
  - ✓ سوئیچ ست پوینت Int/Ext را روی Internal قرار دهید.
  - ✓ سرعت را روی 1500 rpm تنظیم نمایید (سرعت نامی)
- منبع تغذیه را روشن کنید.

- تحریک را قدم به قدم مطابق با آنچه در جدول ۳-۲ آمده است افزایش دهید. ولتاژ بی باری را اندازه گیری نمایید (U0) سرعت باید روی ۱۵۰۰ دور بر دقیقه ثابت باشد.

توجه: با توجه به پلاک مشخصات، جریان تحریک IE نباید به بیشتر از ۰/۹۵ آمپر برسد.

- برای پایان دادن به آزمایش ابتدا منبع تغذیه و سپس واحد کنترل را خاموش کنید.

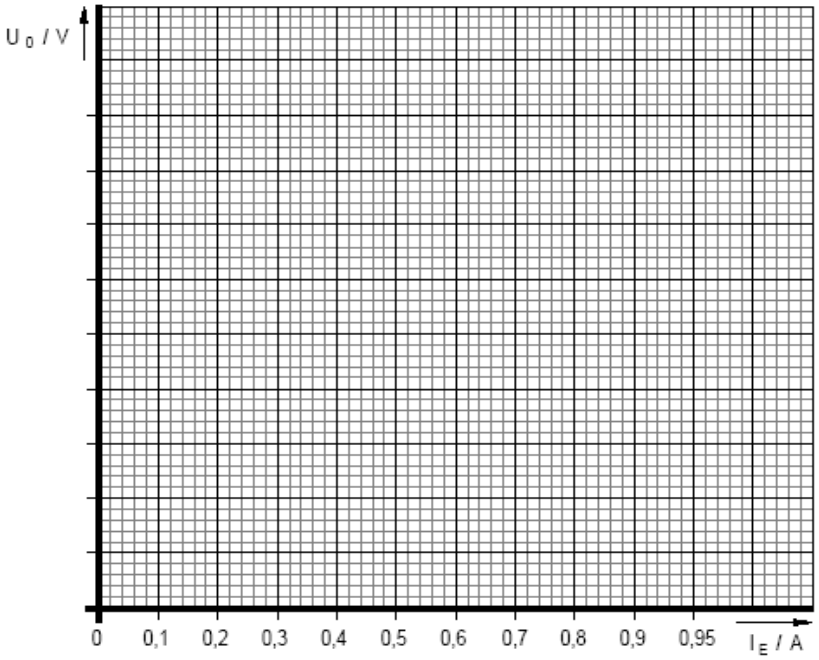
مشخصه بی باری را در شکل ۳-۱۲ رسم نمایید. از منحنی بدست آمده جریان تحریک در ۴۰۰ ولت را بدست آورید.



شکل ۳-۱۱ : مدار آزمایش مشخصه بی باری ژنراتور سنکرون

جدول ۳-۲ : ولتاژ بی باری

I_E / A	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	0.95
U_0 / V											



شکل ۳-۱۲ : منحنی بی باری ژنراتور سنکرون

سوالات :

۱- درباره منحنی به دست آمده در شکل ۲-۱۲ توضیح دهید.

۲- نوع تحریک ژنراتور در این آزمایش چگونه بود؟

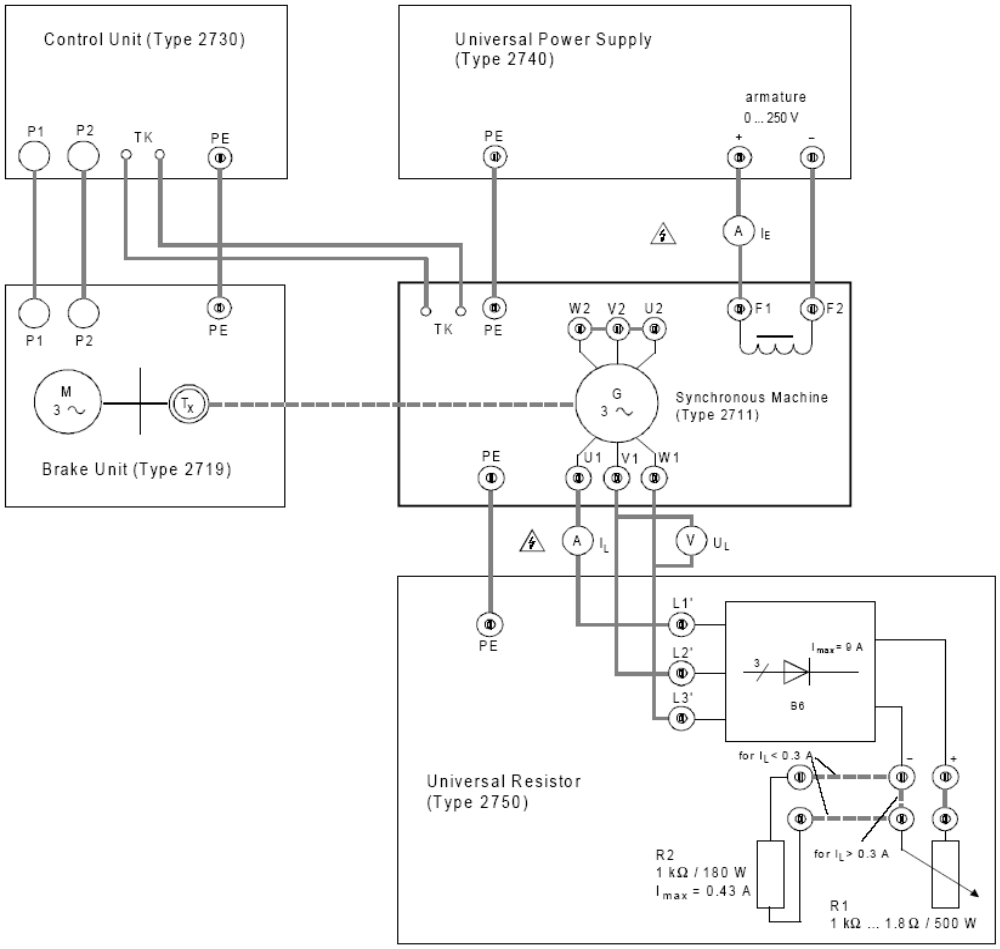
آزمایش ۸ : مشخصه بارداری ژنراتور سنکرون

هدف آزمایش

عملکرد ماشین سنکرون به عنوان ژنراتور و بدست آوردن مشخصه بارداری

وسایل مورد نیاز

- ✓ ماشین سنکرون (Type 2711)
- ✓ واحد ترمز(Type 2719)
- ✓ واحد کنترل (Type 2730)
- ✓ منبع تغذیه(Type 2740)
- ✓ مقاومت (Type 2750)
- ✓ سه عدد مولتی متر (ترجیحا آنالوگ)



شکل ۳-۱۳ : مدار آزمایش بارداری ژنراتور سنکرون

شرح آزمایش

- مدار آزمایش را مطابق شکل ۳-۱۳ برقرار کنید.
- سیستم را مانند آنچه در آزمایش ۱ توصیف شد روشن کنید. ماشین باید در جهت راست به گردش در آید.
- سرعت را روی 1500 rpm و جریان تحریک را روی 0.95A تنظیم کنید.

توجه :

جریان تحریک و سرعت را مانیتور کنید. این دو مقدار باید در کلیه مراحل آزمایش ثابت نگه داشته شوند.

- پتانسیومتر R1 را تا آخر به سمت چپ بچرخانید.(1k اهم)
- مقادیر جریان بار را مطابق جدول ۳-۳ به ترتیب تغییر دهید. و ولتاژ بار که توسط ژنراتور تولید میشود را اندازه گیری نمایید.

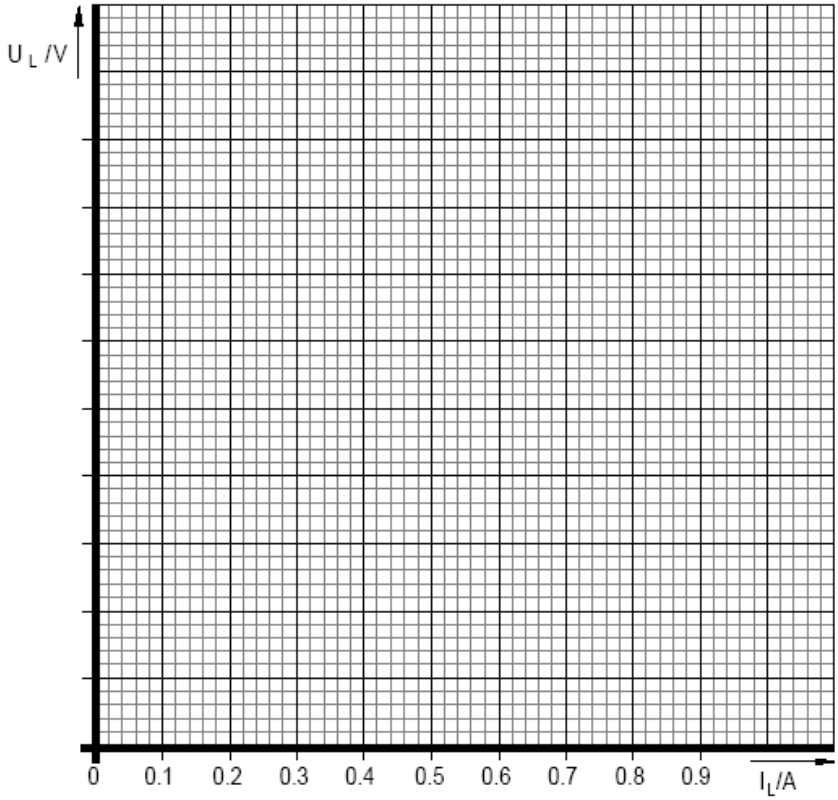
توجه:

- ✓ به یاد داشته باشید که برای جریان بار کمتر از ۰/۳ آمپر، R1,R2 به صورت سری وصل شده باشند. برای جریانهای بزگتر از ۰/۳ آمپر فقط از R1 استفاده کنید. برای این کار بعد از خاموش کردن سیستم، اتصالات R2 باید حذف شوند و فقط R1 در مدار باقی بماند. سپس پتانسیومتر بار R1 را تا آخر به سمت چپ بچرخانید.(1k اهم)
- ✓ تا حد امکان اندازه گیری ها را بدون تاخیر انجام دهید. اگر ماشین خیلی گرم شود، اندازه گیریها دقیق نخواهد بود و باید ماشین دوباره خنک شود.
- اول منبع تغذیه و سپس واحد کنترل را خاموش کنید.

در دیاگرام ۳-۱۴ مشخصه بارداری را رسم کنید.

جدول ۳-۳ : ولتاژ ترمینال ژنراتور

I_L / A	.....	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	.....
U_L / V							
Load resistor	R1 + R2	R1 + R2	R1	R1	R1	R1	R1



شکل۳-۱۴ : منحنی بار داری ژنراتور سنکرون

سوالات:

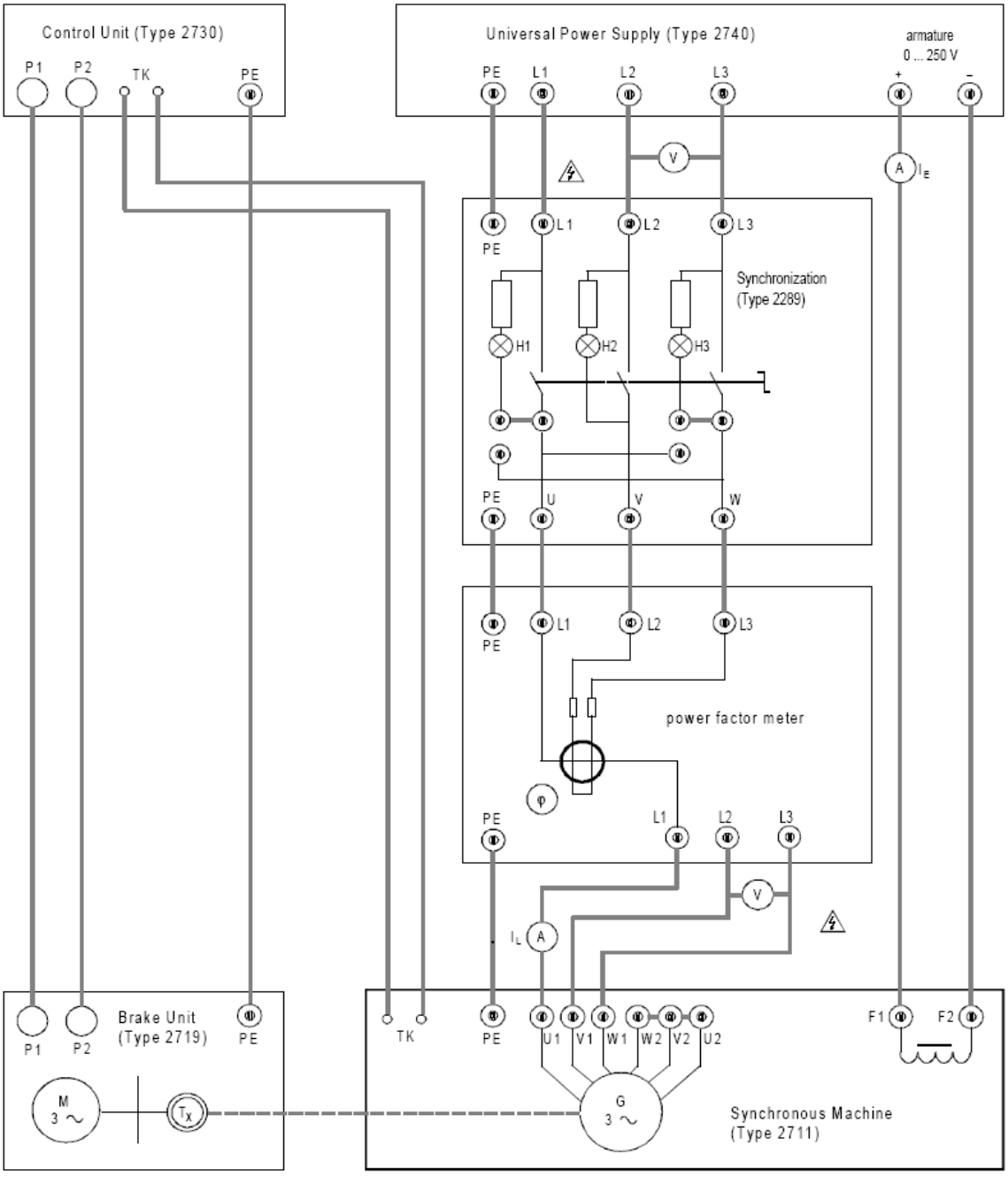
۱- ژنراتور سنکرون در این آزمایش در چه وضعیتی کار میکرد؟ توضیح دهید.

۲- از شکل ۳-۱۴ چه مفهمید؟ توضیح دهید.

آزمایش ۹ : سنکرون سازی و مشخصات کنترلی ژنراتور سنکرون

هدف آزمایش:

سنکرون سازی ژنراتور سنکرون با شبکه سه فاز توسط روش لامپهای تاریک و محاسبه توان اکتیوی که ژنراتور به شبکه تزریق میکند همچنین بدست آوردن مشخصات کنترلی برای ضریب توان واحد.



شکل ۳-۱۵ : مدار آزمایش سنکرون کردن ژنراتور با شبکه

وسایل مورد نیاز

- ماشین سنکرون (Type 2711)
- واحد ترمز(Type 2719)
- واحد کنترل (Type 2730)
- منبع تغذیه(Type 2740)
- سه عدد لامپ
- عدد مولتی متر (ترجیحا آنالوگ)
- میتر ضریب توان

شرح آزمایش

- مدار آزمایش را مطابق با شکل ۳-۱۵ برقرار کنید.
- سیستم را مانند آنچه در آزمایش ۱ توصیف شد روشن کنید. ماشین باید در جهت راست به گردش در آید.
- ولتاژ منبع تغذیه را تا آخر به سمت چپ بچرخانید (0V)
- سرعت را روی 1500 rpm و جریان تحریک را روی 0.95A تنظیم کنید.

توجه:

جریان تحریک و سرعت را مانیتور کنید. این دو مقدار باید در کلیه مراحل آزمایش ثابت نگه داشته شوند.

- توسط هر دو ولتمتر چک کنید که ولتاژ تولیدی توسط ژنراتور و ولتاژ شبکه یکی باشد. در غیر این صورت ولتاژ را با تحریک برابر کنید.
- لامپهای سنکرون سازی را مشاهده نمایید. اگر هر سه لامپ خامش باشند، ژنراتور سنکرون خواهد بود. در غیر این صورت جدول ۳-۱ را برای شرایط سنکرون سازی و حذف خطا مشاهده کنید.
- کلید سنکرون ساز را در حالتیکه ژنراتور سنکرون است وصل کنید.
- ولتاژ U_L، جریان I_L و ضریب توان را اندازه بگیرید. مقادیر را یاد داشت کنید.
- مقادیر I_L و ضریب توان را مطابق جدول ۳-۴ یکی پس از دیگری تنظیم کنید و جریان تحریک متناظر را اندازه بگیرید.

راهنمایی:

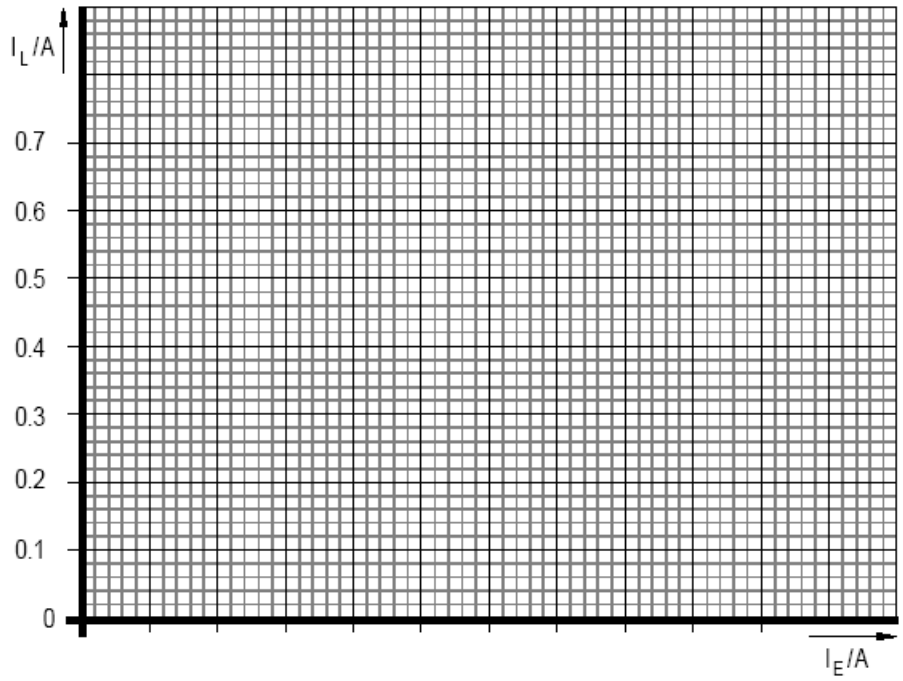
جریان I_L را میتوان با پتانسیومتر ست پوینت واحد کنترل تنظیم کرد و ضریب توان را میتوان توسط تحریک کنترل کرد.

تنظیمات در $I_L = 0.7$ آمپر به بالا بحرانی میشود.

- سیستم را خاموش کنید.
- توان اکتیوی را که ژنراتور به شبکه تزریق میکند محاسبه کنید.
- مشخصات کنترلی را در شکل۳-۱۶ رسم کنید.

جدول ۳-۴ : جریان تحریک

I_L / A	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	cos φ
I_E / A									1



شکل ۳-۱۶ : مشخصه کنترلی ژنراتور سنکرون در ضریب توان واحد

سوالات:

۱- از مشخصه کنترلی شکل ۳-۱۶ چه میفهمید؟ توضیح دهید.

۳-۸ آزمایش های موتور سنکرون

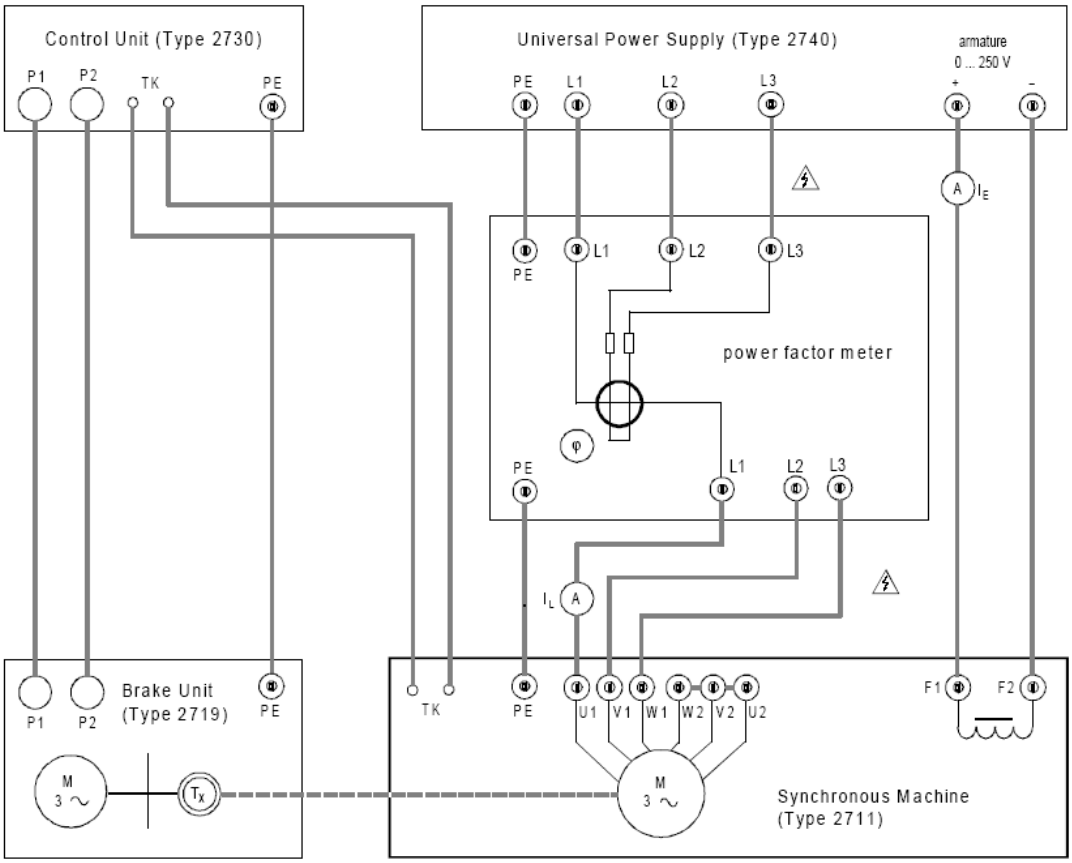
آزمایش ۱۰ : راه اندازی و مشخصات بار موتور سنکرون

هدف آزمایش:

عملکرد ماشین سنکرون به عنوان موتور و تعیین مشخصه بارداری

تجهیزات موردنیاز

- ماشین سنکرون
- بخش ترمز
- بخش کنترل
- منبع تغذیه
- ضریب توان سنج
- دو عدد مولتی متر



شکل ۳-۱۷ : مدار آزمایش موتور سنکرون

روند آزمایش

- ماشین آزمایشگاهی را به سمت واحد ترمز فشار داده و آنرا به ماشین ترمز کوپل کنید.
- مدار آزمایش را مطابق با شکل ۳-۱۷ برقرار کنید.
- تحریک را بر روی منبع تغذیه تا آخر به سمت چپ بچرخانید.
- بخش کنترل را روشن کنید.
- منبع تغذیه را روشن کنید. سرعت، گشتاور و جهت چرخش نمایش داده میشود.

توجه : به جهت چرخش نگاه کنید. ماشین باید به سمت راست بچرخد. اگر نیاز است جهت چرخش بر روی بخش کنترل را تغییر دهید.

- سرعت (بدون بار) و جهت چرخش را یادداشت کنید.
- منبع تغذیه را خاموش کنید.
- تنظیمات زیر را بر روی بخش کنترل اعمال کنید.
  - مد عملیات را بر روی manual قرار دهید.
  - محدودیت سرعت را روی 1800rpm قرار دهید.
  - سوئیچ int/ext را بر روی int قرار دهید.
- ماشین ترمز را با فشار کلید start/stop روشن کنید.
- سرعت را بر روی 1500 rpm قرار دهید.(سرعت نامی)
- منبع تغذیه را روشن کنید.
- تحریک را طوری تنظیم کنید که ضریب توان برابر ۱ شود.
- توسط پتانسیومتر ست پوینت و در صورت نیاز به تنظیم دقیقتر با پتانسیومترکاهش دهنده گشتاور، طبق مقادیر گشتاور معین شده در جدول ۳-۵ به موتور بار دهید.
- جریان بار را اندازه گیری کنید.

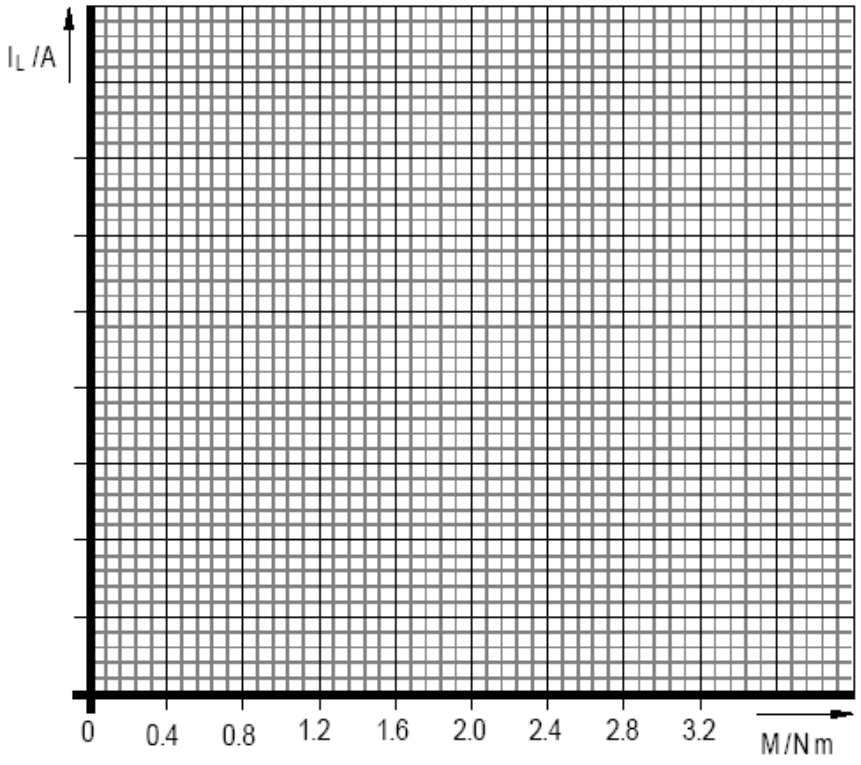
توجه :

- ✓ در حین آزمایش باید ضریب توان بر روی ۱ ثابت نگه داشته شود.
- ✓ اندازه گیریها را در صورت ممکن بدون تاخیر انجام دهید. اگر ماشین بیش از حد گرم شود نتایج اندازه گیری صحیح نخواهد بود و ماشین باید خنک شود.

- در پایان ابتدا تحریک را برابر صفر قرار دهید و سپس منبع تغذیه و بعد از آن بخش کنترل را خاموش کنید.
- مشخصه بار را در دیاگرام تهیه شده در شکل ۳-۱۸ رسم کنید.

جدول ۳-۵ : جریان خط

M / Nm	0 (cos φ = 1)	0.4	0.8	1.2	1.6	2.0	2.4	2.8	3.2
I_L / A									



شکل ۳-۱۸ : مشخصه بار موتور سنکرون

سوالات :

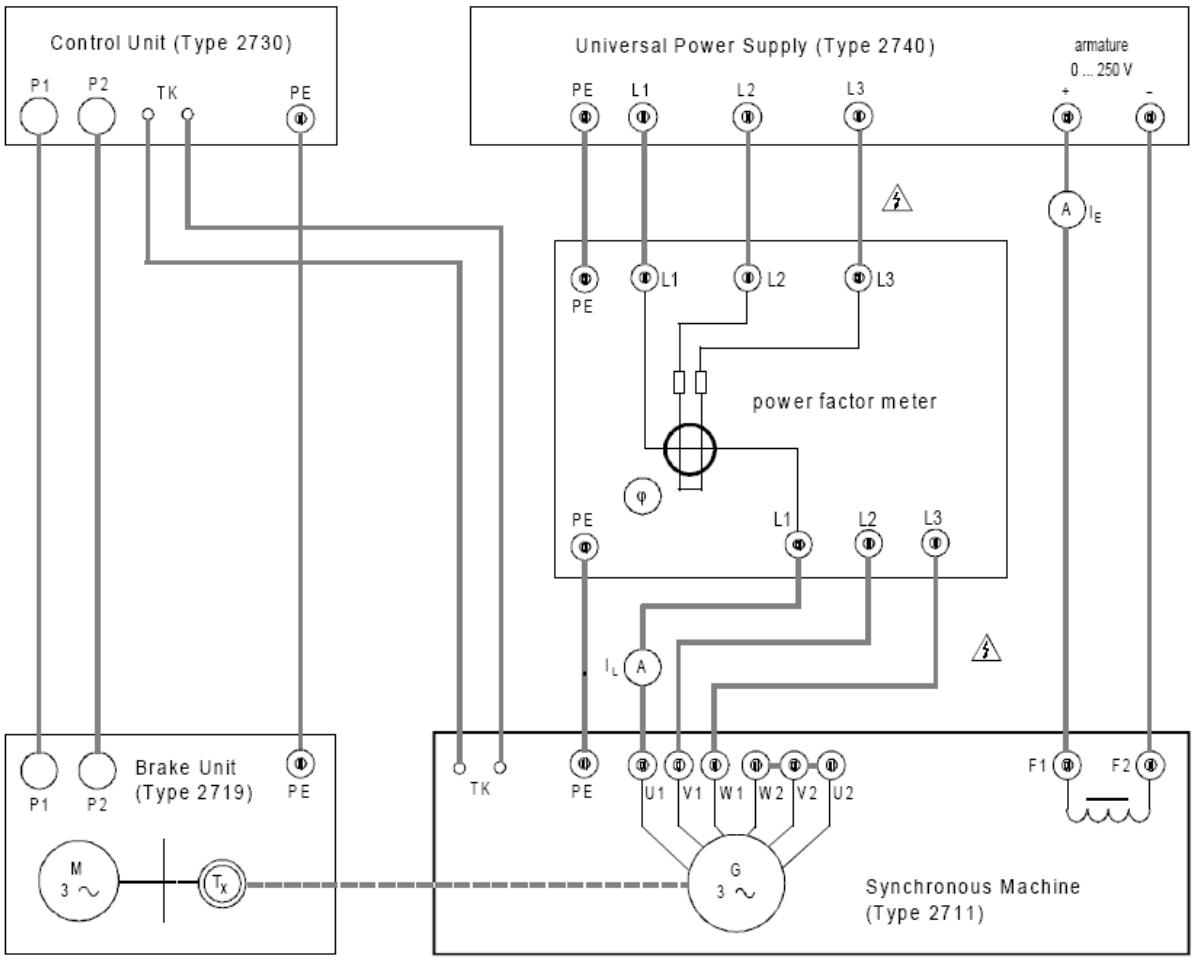
۱- از منحنی مشخصه بار موتور سنکرون چه میفهمید؟ توضیح دهید.

۲- چرا موتور سنکرون خود راه انداز نیست؟

آزمایش ۱۱ : منحنی V شکل موتور سنکرون

هدف آزمایش

را ه اندازی ماشین سنکرون به عنوان موتور و تعیین منحنیهای **V شکل**.



شکل ۳-۱۹ : مدار آزمایش منحنیهای V شکل موتور سنکرون

تجهیزات مورد نیاز

- ماشین سنکرون
- بخش ترمز
- بخش کنترل
- منبع تغذیه

- ضریب توان متر
- دو عدد مولتی متر

روند آزمایش

- مدار آزمایش را مطابق شکل ۳-۱۹ برقرار نمایید.
- همانطور که در آزمایش ۱ بیان شد سیستم را راه اندازی نمایید.
- ماشین باید با 1500RPM به راست بچرخد.
- گشتاور نامی را به کمک مشخصات نوشته شده در پلاک موتور محاسبه نمایید.
- تحریک را طوری تنظیم نمایید که ضریب توان برابر ۱ شود.
- ست پوینت را طوری تنظیم نمایید که موتور با ۰/۲۵ گشتاور نامی بارگذاری شود.
- جریان تحریک و جریان بار را اندازه گیری نمایید. مقادیر را در جدول ۳-۶ یادداشت نمایید.
- به کمک جریان تحریک موتور را مرحله به مرحله فوق تحریک و زیر تحریک نمایید تا به حد ناپایداری خود برسد.
- سپس مقادیر را در جدول ۳-۶ یاداشت نمایید.

توجه :

- ✓ دقت نمایید که حد پایداری یا گشتاور ماکزیمم، از حد معین فراتر نرود. زیرا در غیر این صورت موتور از کار افتاده و می ایستد.
- ✓ اندازه گیریها را در صورت ممکن بدون تاخیر انجام دهید اگر ماشین بیش از حد گرم شود، نتایج اندازه گیری صحیح نخواهد ود و ماشین باید خنک شود.

- این آزمایش را برای گشتاورهای ۰/۵ ، ۰/۷۵ ، ۱ و ۱/۲۵ گشتاور نامی تکرار کنید و نتایج را در جدولهای ۳-۶ . . . ۳-۹ ثبت کنید.
- ابتدا تحریک را برابر ۰ قرار دهید و سپس منبع تغذیه و بعد بخش کنترل را خاموش کنید.
- منحنیهای V شکل را دیاگرام آماده شده در شکل ۳-۲۰ رسم کنید.
- حد پایداری و نقاط مربوط به ضریب توان برابر ۱ را در دیاگرام رسم کنید.

جدول ۳-۶ : جریان تحریک و جریان بار در گشتاور ۰/۲۵ برابرگشتاور نامی

0.25 x M_N	stability limit	under-excited					cos φ = 1	over-excited				
I_E / A												
I_L / A												

جدول ۳-۷ : جریان تحریک و جریان بار در گشتاور ۰/۵ برابرگشتاور نامی

0.5 x M_N	stability limit	under-excited					cos φ = 1	over-excited				
I_E / A												
I_L / A												

جدول ۳-۸ : جریان تحریک و جریان بار در گشتاور ۰/۷۵ برابرگشتاور نامی

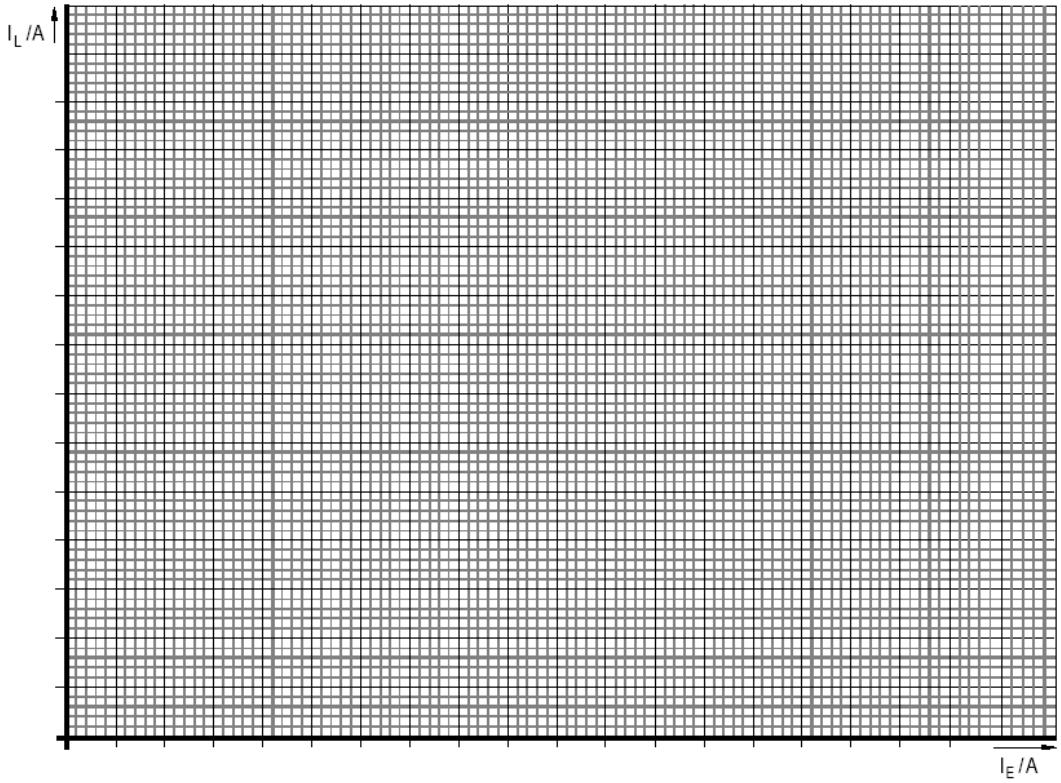
0.75 x M_N	stability limit	under-excited					cos φ = 1	over-excited				
I_E / A												
I_L / A												

جدول ۳-۹ : جریان تحریک و جریان بار در گشتاور نامی

M_N	stability limit	under-excited					cos φ = 1	over-excited				
I_E / A												
I_L / A												

جدول ۳-۱۰ : جریان تحریک و جریان بار در گشتاور ۱/۲۵ برابرگشتاور نامی

1.25 x M_N	stability limit	under-excited					cos φ = 1	over-excited				
I_E / A												
I_L / A												



شکل ۳-۲۰ : منحنیهای V شکل موتور سنکرون

سوالات :

۱- از منحنیهای V شکل موتور سنکرون در شکل ۳-۲۰ چه میفهمید؟ توضیح دهید.

۲- تجاوز از گشتاور ماکزیمم چه اثری روی موتور سنکرون دارد؟

۳- چگونه یک موتور سنکرون میتواند خود راه انداز شود؟

۴- مزایا و معایب موتور سنکرون در مقایسه با موتور آسنکرون چیست؟

۴-ترانسفورماتور سه فاز

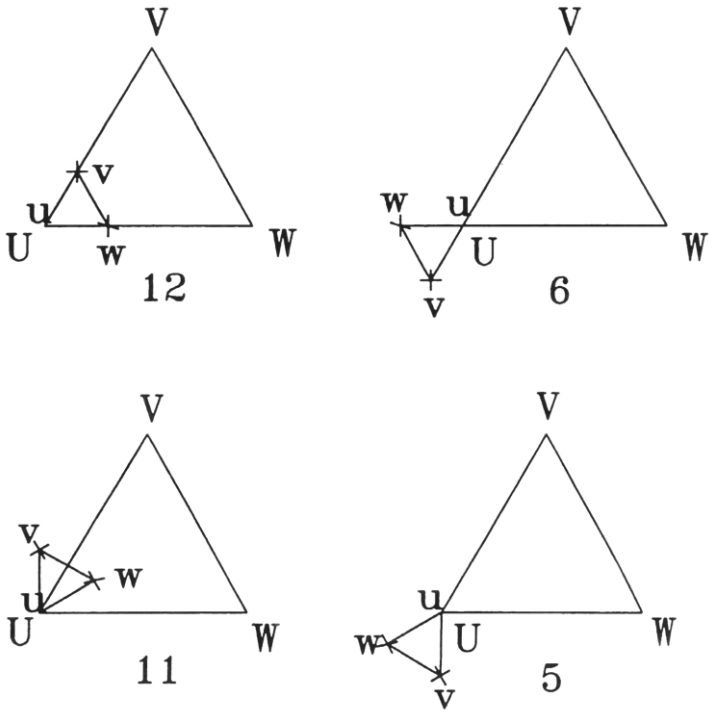
آزمایش ۱۲ : تعیین گروه برداری ترانس سه فاز

هدف آزمایش :

هدف از این آزمایش تعیین گروه در یک ترانسفورماتور سه فاز است.

تئوری آزمایش

اختلاف زاویه (فاز) بین ولتاژهای (یا جریان‌های) خطی (یا فازی) اولیه و ثانویه ترانسفورماتور، نشان دهنده گروه ترانسفورماتور می‌باشد. این اختلاف فاز به نوع اتصال اولیه و ثانویه بستگی دارد و همواره مضرب صحیحی از ۳۰ درجه است. برای نشان دادن این زاویه‌ها از اعداد صفر تا ۱۲، استفاده می‌شود.
متداول‌ترین گروه ترانسفورماتورها ۵، ۱۱، ۶ و ۱۲ می‌باشند که در شکل ۴-۱، نشان داده شده است.



شکل ۴-۱: متداول‌ترین گروه ترانسفورماتورها

ترانسها را با توجه به گروه برداریشان در استانداردهای آلمانی و امریکایی به صورت زیر دسته بندی می‌کنند:

جدول۴-۱ گروه برداری ها در استاندارد آلمانی

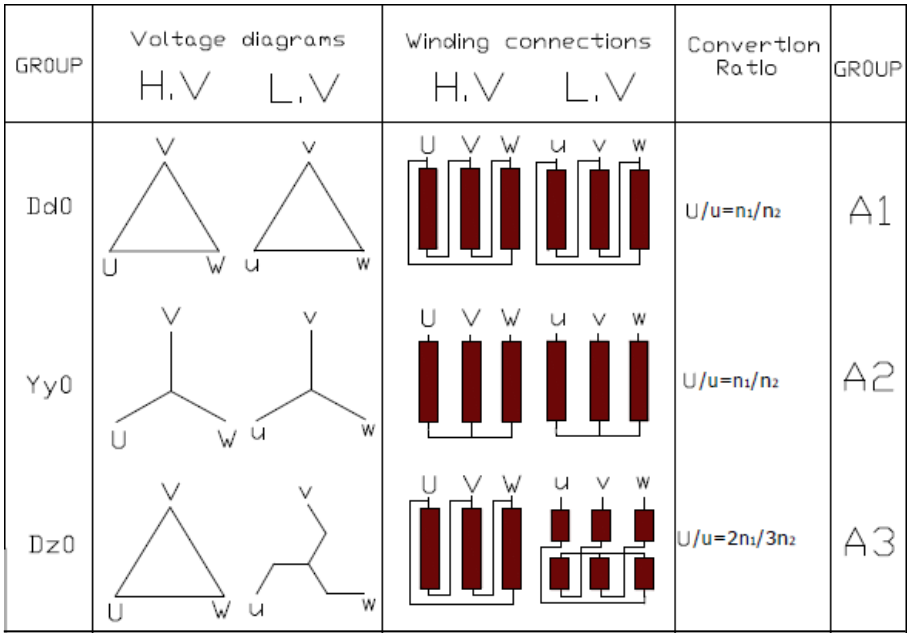
Clock face number	*Phase shift*	*Group*
0	*0*	*A*
6	*180*	*B*
5	*-150*	*C*
11	*+30*	*D*

جدول۴-۲ گروه برداری در استاندارد امریکایی

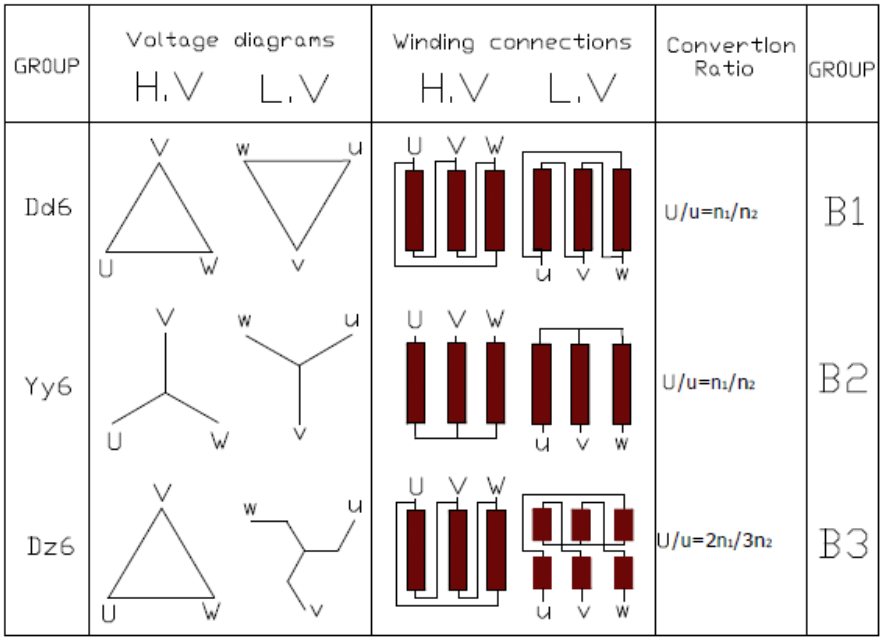
Clock face number	*Phase shift*	*Group*
0	*0*	*1*
6	*180*	*2*
1	*-30*	*3*
11	*+30*	*4*

توجه داشته باشید که در این استاندارد مثلا گروه برداری ۳ (اختلاف فاز -۳۰ درجه) به معنای این است که بردار خط فشار ضعیف نسبت به بردار خط فشارقوی ۳۰ درجه پس فاز است.

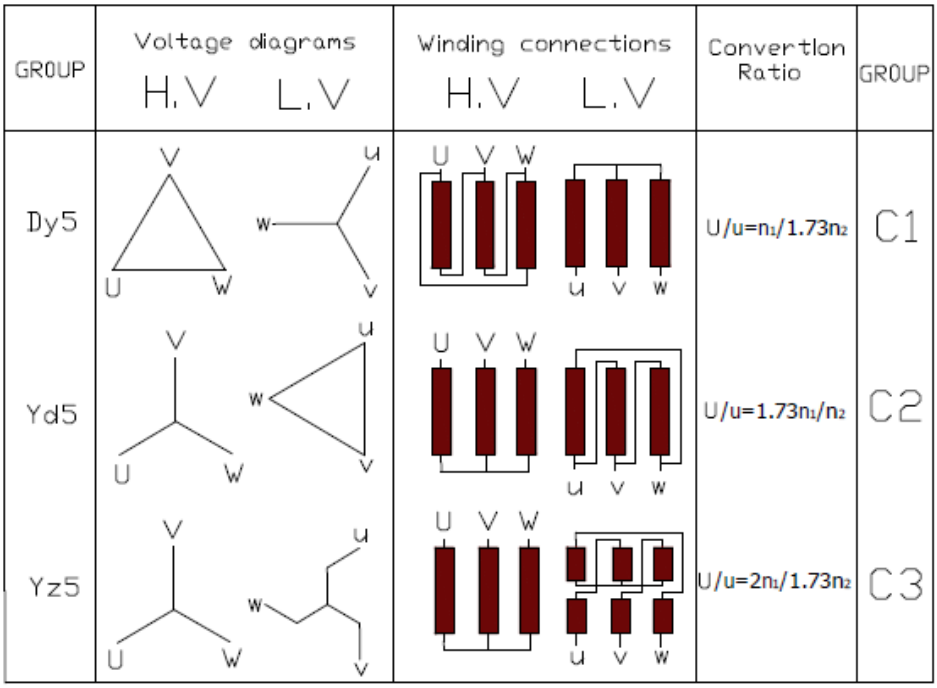
برای درک بهتر مطلب، گروه برداری های مختلف در شکل های زیر نمایش داده شده اند:



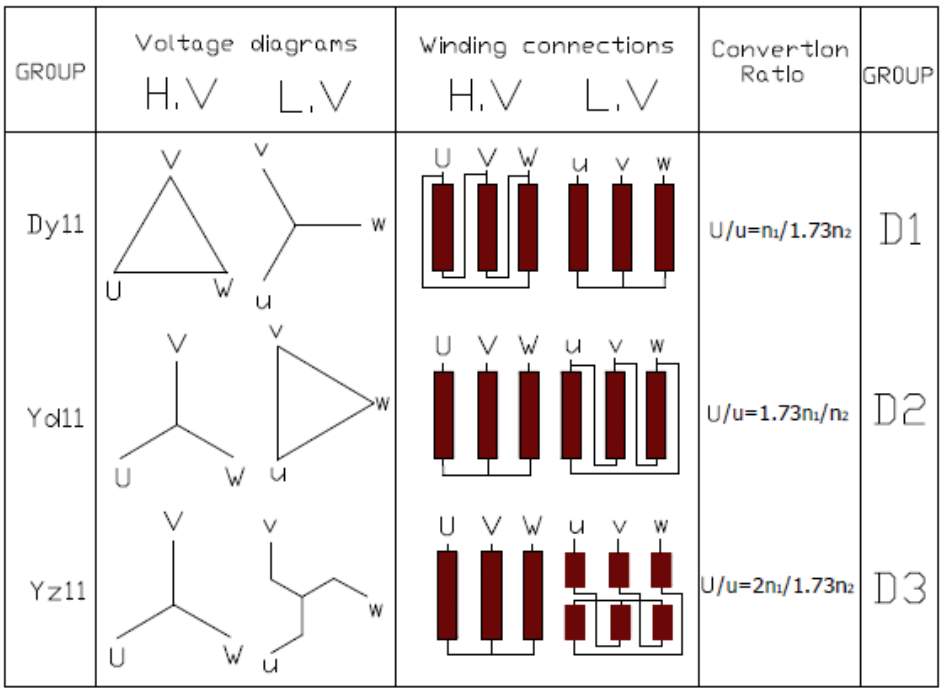
شکل۴-۲ : گروه برداری شماره‌ی ۱ (اختلاف فاز صفر درجه)



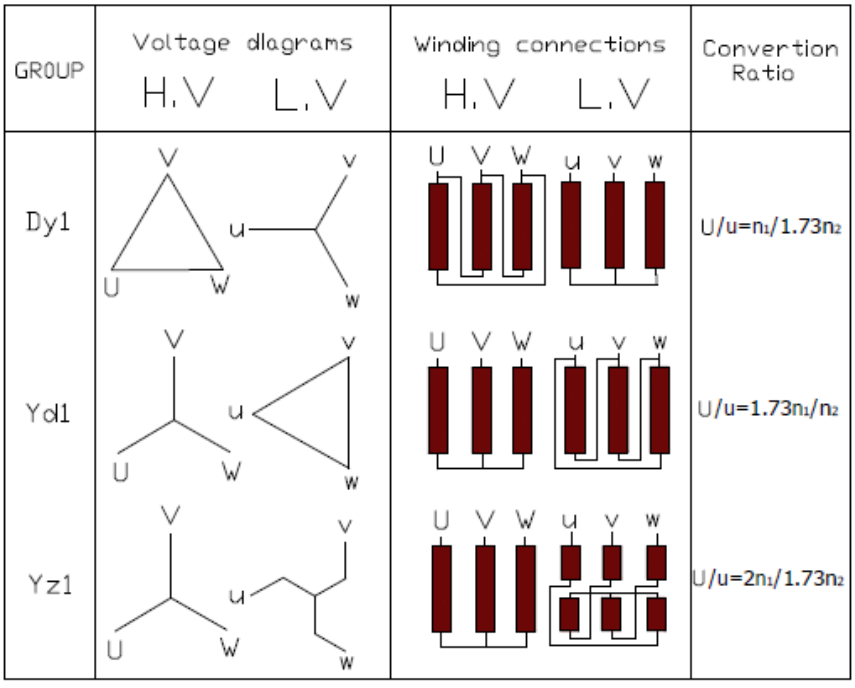
شکل۴-۳ : گروه برداری شماره ی ۲ (اختلاف فاز ۱۸۰ درجه)



شکل ۴-۴ : اختلاف فاز ۱۵۰ درجه



شکل ۴-۵ : گروه برداری شماره‌ی سه (اختلاف فاز -۳۰ درجه)



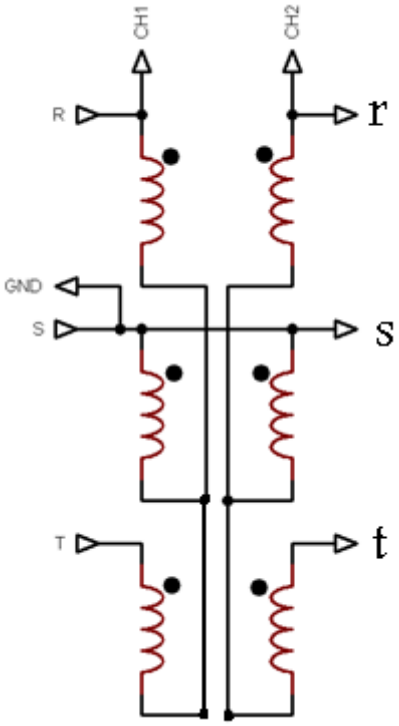
شکل ۴-۶ گروه برداری شماره ی ۴ (اختلاف فاز +۳۰ درجه)

روش های عملی تعیین گروه برداری:

۱- استفاده از اسیلوسکوپ
۲- روش سه ولتمتری
۳- روش واتمتری
۴- روش صنعتی

روش اول: اسیلوسکوپ

برای استفاده از اسیلوسکوپ، مشابه شکل زیر عمل می کنیم:



شکل ۴-۱ : اتصال اسکوپ به ترانس

در واقع برای تعیین اختلاف فاز بین ولتاژ خط اولیه و ثانویه توسط اسکوپ، باید یک ولتاژ خط اولیه و ثانویه‌ی متناظر را انتخاب کرده و به اسیلوسکوپ بدهیم. برای اینکه ولتاژها نسبت به هم قابل مقایسه باشند باید زمین مشترکی داشته باشیم، برای این منظور باید یکی از سرهای هم پلاریته‌ی ولتاژهای انتخابی را به هم وصل کرده و از دو سر دیگر به کانال های CH1 و CH2 وصل نماییم.

نکته:

اگر زمین اسکوپ وصل باشد به محض وصل کردن GND به محل نشان داده شده، فیوز عمل خواهد کرد. بنابراین در این روش سیم ارت اسیلوسکوپ نباید زمین شده باشد.

نکته:

ولتاژ ورودی را توسط منبع ولتاژ متغیر سه فاز اعمال می کنیم و باید **بسیار کوچک** باشد تا به اسکوپ آسیبی وارد نشود.

قبل از هر کاری صفر اسکوپ را تنظیم می کنیم. سپس برای مشاهده‌ی دو موج به صورت همزمان از حالت Dual استفاده خواهیم کرد. برای اندازه گیری اختلاف فاز موج های مشاهده شده کافیست ببینیم هر دوره‌ی تناوب چند خانه طول کشیده است، این عدد را b می نامیم. سپس نقاط آغازین دو موج را در نظر می گیریم و فاصله‌ی آنها را حساب کرده و a می نامیم. برای بدست آوردن اختلاف فاز بین دو موج (x) از رابطه ی زیر استفاده می کنیم:

$$\frac{a}{b} = \frac{x}{360^{\circ}}$$

نکته:

در مثال فوق می توان با اینورت کردن کانال ورودی بین ساعت های 0 و 6 سوییچ کرد و لازم نیست اتصالات را تغییر دهیم. (این کار را برای سایر اتصالات نیز می توان انجام داد)

روش دوم: استفاده از سه ولتمتر

در این روش ولتاژ های خطِ V_{AB} در اولیه و V_{ab} در ثانویه را اندازه گیری می کنیم. سپس V_{Aa} را نیز اندازه خواهیم گرفت. با استفاده از فرمول زیر می‌توان به اختلاف فاز بین ولتاژهای اولیه و ثانویه پی برد:

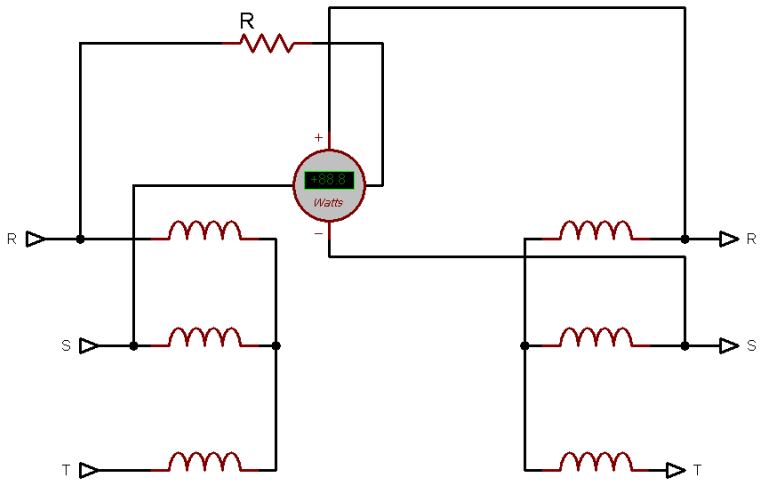
$$V_{Aa}^2 = V_{ab}^2 + V_{AB}^2 - 2V_{AB}V_{ab}\cos\phi$$

(با داشتن اندازه ی سه ضلع یک مثلث می توان به زوایای داخلی آن پی برد)

توجه داشته باشید که برای اندازه گیری V_{Aa} حتما باید B به b متصل شده باشد.

روش سوم: روش واتمتری

این روش در شکل زیر نمایش داده شده است:



شکل ۴-۲ : روش واتمتری برای تشخیص گروه برداری ترانس

جریان عبوری از مقاومت همفاز ولتاژ خط اولیه است، این جریان از واتمتر عبور می کند، ولتاژ اعمالی به واتمتر از طریق ثانویه اعمال می شود. توان اندازه گیری شده به صورت زیر خواهد بود:

$$P = V'_{RS} I_1 \cos\phi$$

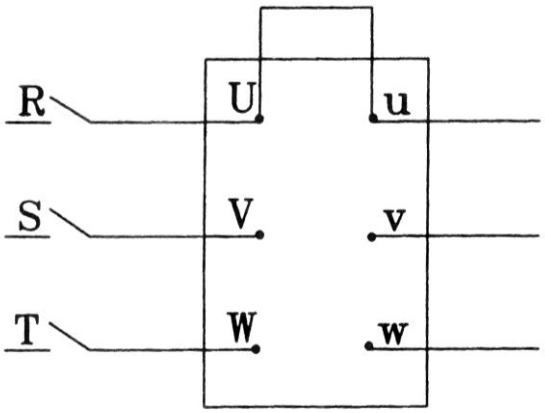
بنابراین با اندازه گیری جریان مقاومت و ولتاژ ثانویه و نیز داشتن توان اندازه گیری شده توسط واتمتر می‌توان اختلاف فاز بین اولیه و ثانویه ترانس را محاسبه کرد.

توجه:

مقاومت به کار رفته باید به اندازه ی کافی بزرگ باشد.

روش چهارم : روش صنعتی

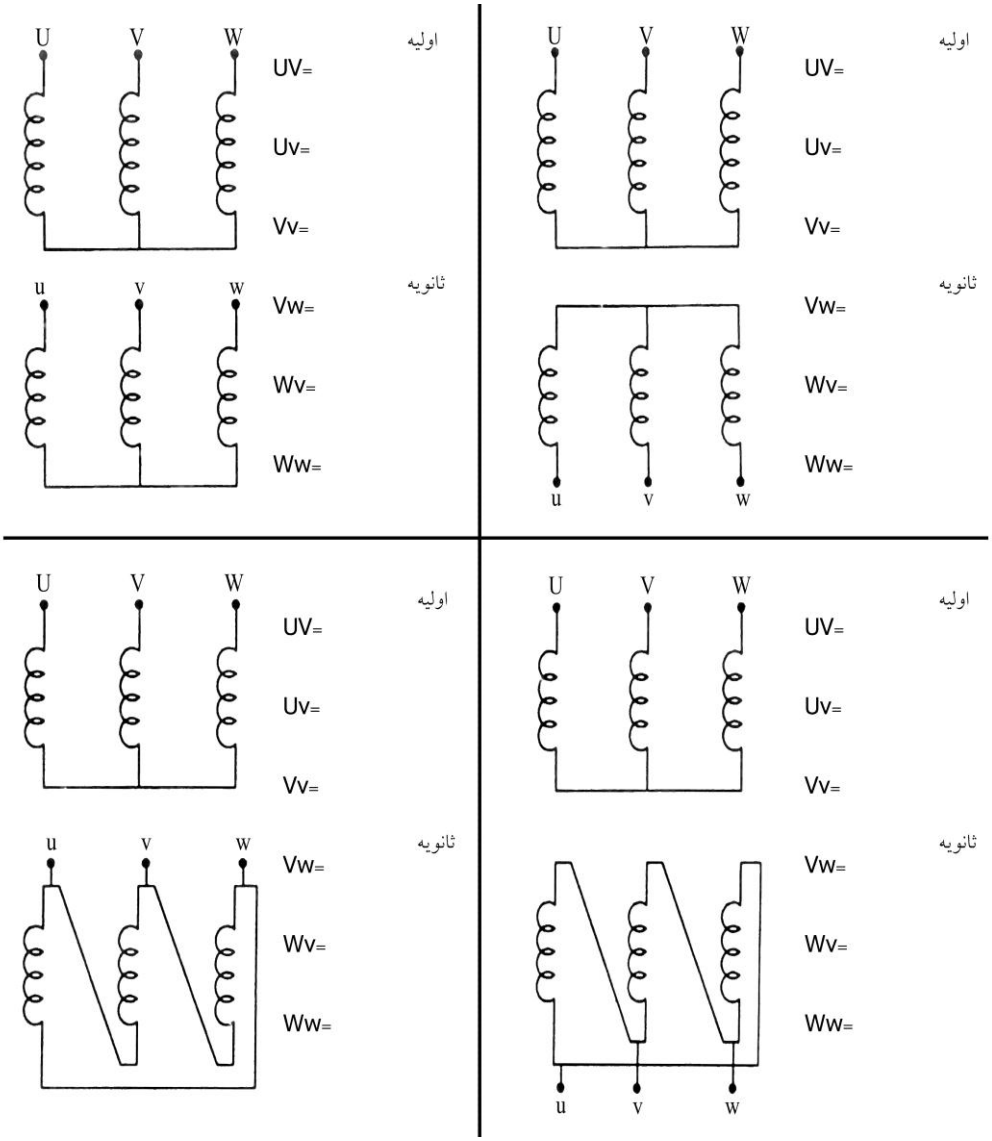
فرض کنید سه اتصال ورودی ترانسفورماتور U،V،W و سه اتصال خروجی آن u،v،w در دسترس باشند. ابتدا جهت هم پتانسیل کردن یک نقطه از مثلث ولتاژ اولیه و ثانویه، دو اتصال U و u را مطابق شکل ۴-۳، به هم وصل نمایید. سپس ترانسفورماتور را به شبکه وصل نمایید. با اندازه‌گیری ولتاژ اتصال W،V مثلث ولتاژهای اولیه را با مقیاس مناسبی رسم نمایید.



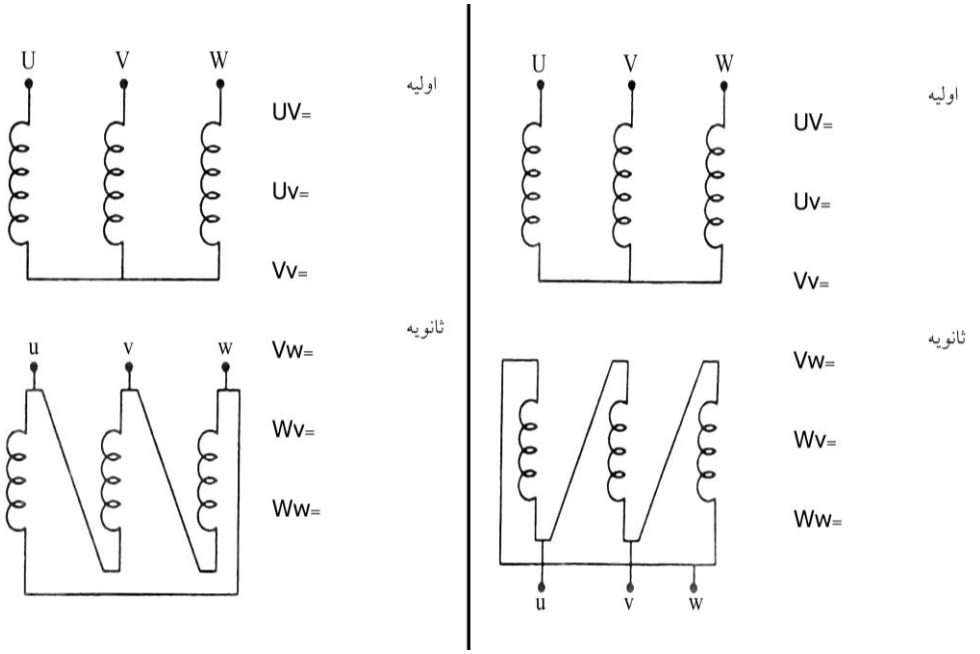
شکل ۴-۳ : مدار تعیین گروه ترانسفورماتور سه فاز

با اندازه‌گیری ولتاژ بین نقاط V,v و W,v طول بردار Vv و Wv مشخص می‌شود. با توجه به مقیاس قبلی بوسیله پرگار به مرکز V و W دو قوس رسم نمایید. محل برخورد دو قوس نقطه v خواهد بود. به همین ترتیب با اندازه‌گیری ولتاژ بین نقاط Vw و Ww و رسم دو قوس و بدست آوردن نقاط برخورد، نقطه w بدست می‌آید. پس از رسم مثلث ولتاژها در اولیه و ثانویه، زاویه بین ولتاژ اولیه و ثانویه در جهت عقربه‌های ساعت، گروه ترانسفورماتور را مشخص می‌کند.

در هر یک از اتصالات شکل ۴-۴، گروه ترانسفورماتور را با هر چهار روش گفته شده در بالا تعیین و با هم مقایسه کنید.



شکل ۴-۴: اتصالات مربوط به آزمایش ۱



ادامه شکل ۴-۴: اتصالات مربوط به آزمایش ۱

آزمایش ۱۳ : موازی کردن ترانسفورماتورها

هدف از انجام آزمایش :

در این آزمایش اثر موازی کردن ترانسفورماتورهای سه فاز، بر روی عملکرد آنها و اثر امپدانس اتصال کوتاه ترانسفورماتورها، بر روی نحوه پخش بار بین آنها، بررسی می‌شود.

تئوری آزمایش

معمولا در شبکه‌های گسترده، تعداد زیادی ترانسفورماتور وجود دارد. هرگاه فقط اولیه این ترانسفورماتورها موازی کار کنند و ثانویه هر یک به مصرف کننده جداگانه جریان بدهد، اشکالی پیش نمی‌آید. منظور از موازی بستن ترانسفورماتور این است که اولیه آنها به شبکه و ثانویه آنها هم روی یک شبکه مشترک کار کنند.

شرایط موازی بستن ترانسفورماتورها عبارتند از:

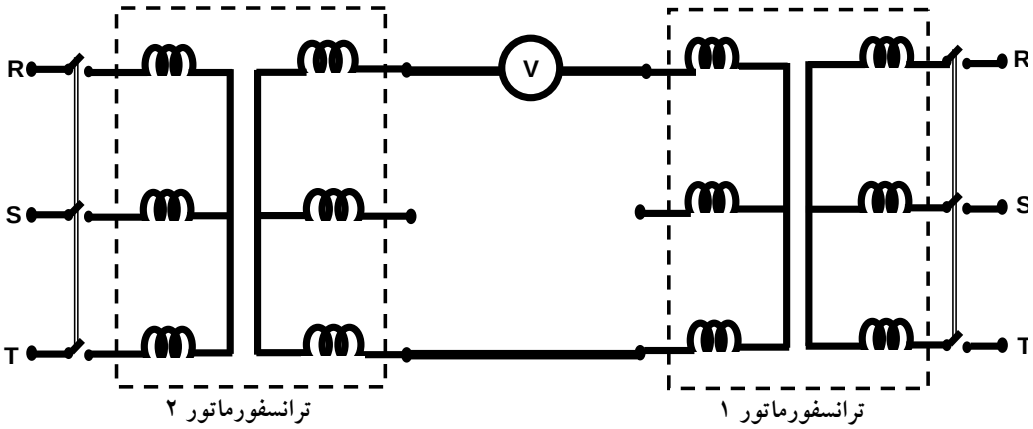
۱. یکسان بودن نسبت تبدیل دو ترانسفورماتور
۲. هم‌گروه بودن در ترانسفورماتورهای سه فاز
۳. اتصال فازهای هم‌نام
۴. تساوی امپدانس اتصال کوتاه (P.U.) آنها

برقراری شرایط ۱ تا ۳، الزامی می‌باشد. اما وجود شرط چهارم بخاطر توزیع بار متناسب با توان ظاهری ترانسفورماتورها روی ترانسفورماتورها، می‌باشد.

انجام آزمایش

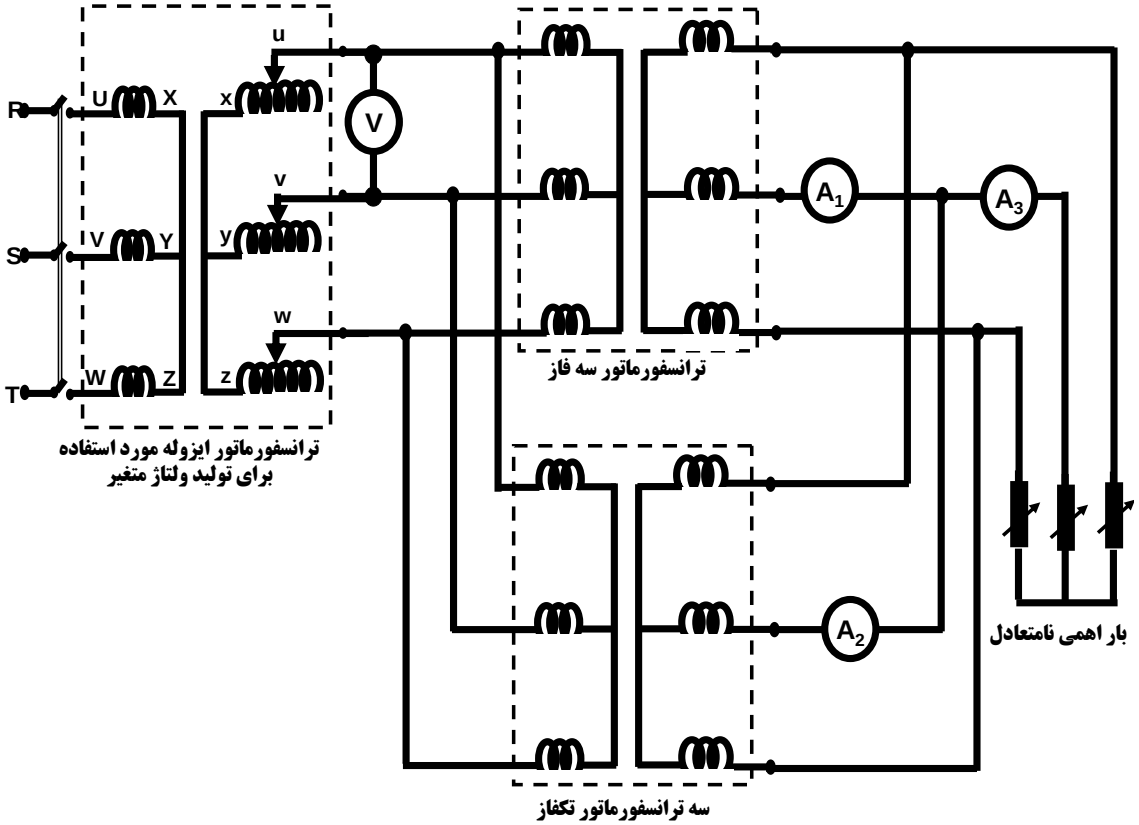
ابتدا مقادیر نامی ترانسفورماتورها را یادداشت کنید و بر اساس این مقادیر و مدار آزمایش دستگاه‌های اندازه-گیری را انتخاب کنید.

- به کمک روش نشان داده شده در شکل ۴-۵ و با استفاده از قرار دادن یک ولت‌متر بین سرهای خروجی ترانسفورماتورها، فازهای یکسان را بیابید. در واقع در این روش وقتی دو سر یک فاز (در اینجا فاز سوم) به هم وصل می‌شود، ولتاژ القایی بین دو فاز دیگر باید صفر باشد. در غیر اینصورت، فازهای دو ترانسفورماتور یکسان نیستند.



شکل ۴-۵: تشخیص فازهای هم‌نام ترانسفورماتورها

- با توجه به مدار شکل ۴-۶، ترانسفورماتورها را با هم موازی کنید و به یک بار مقاومتی وصل کنید. ولتاژ تغذیه را روی ۳۸۰ ولت تنظیم کنید و با تغییر بار اهمی، از مجموعه ترانسفورماتورها جریانی در حدود ۱۰ آمپر بکشید. در این حالت جریان هر یک از ترانسفورماتورها را یاداشت کنید. در مرحله بعد، ابتدا ولتاژ تغذیه را روی صفر ولت تنظیم کنید. سپس، ترانسفورماتورها را از هم جدا کنید. ترانسفورماتور اول (سه فاز) را با استفاده از آمپرمتر اتصال کوتاه کنید و با افزایش ولتاژ تغذیه، جریان اتصال کوتاه را به مقدار جریان نامی برسانید. در این حالت ولتاژ اعمالی را قرائت کنید. سپس همین آزمایش را روی ترانسفورماتور دوم تکرار کنید.



شکل ۴-۶: مدار آزمایش

پرسش و محاسبه

۱- امپدانس اتصال کوتاه ترانسفورماتورها را محاسبه کنید.

۲- بر مبنای امپدانس محاسبه شده، در حالت اتصال موازی و جریان بار ۱۰ آمپر، جریان هر یک از ترانسفورماتورها را محاسبه کنید. این جریان را با مقدار اندازه گیری شده مقایسه کرده و در صورت اختلاف علت را توضیح دهید.

۳- چگونه می‌توان توزیع قدرت بین دو ترانسفورماتور موازی شده را یکنواخت کرد؟