بسمه تعالی

آزمایشگاه ماشین های الکتریکی AC

تهیه و تنظیم : آدینه لو و حسن آبادی

فهرست عنواین صفحه

فصل اول : ترانسفورماتور

۱-۱) آزمایش های ترانسفورماتور تک فاز..... ۵

۱-۲)آزمایش بی باری ترانسفورماتور..... ۱۱

۱-۳)آزمایش اتصال کوتاه ترانسفورماتور..... ۱۲

۱-۴)آزمایش بارداری ترانسفورماتور..... ۱۴

۱-۵)آزمایش موازی بستن ترانسفورماتور های تکفاز..... ۱۶

۱-۶)آزمایش تعیین گروه ترانسفورماتور سه فاز..... ۱۹

فصل دوم : ماشین های سه فاز

۲-۱)آزمایش بی باری موتور القایی رتور قفسی..... ۲۱

۲-۲)آزمایش بارداری موتور القایی رتور قفسی..... ۲۴

۲-۳)آزمایش موتور القایی رتور سیم پیچی شده..... ۲۷

۲-۴)آزمایش های مولد سنکرون..... ۳۴

۲-۵)موازی کردن ژنراتور سنکرون با شبکه قدرت الکتریکی..... ۴۲

مقادیرنامی برخی از ماشینهای الکتریکی آزمایشگاه..... ۴۹

منابع..... ۵۱

مقدمه:

ورود دانشجویان عزیز را به آزمایشگاه ماشینهای الکتریکی خوش‌آمد می‌گوییم مربیان آزمایشگاه امیدوارند که با رعایت مقررات کار در آزمایشگاه نتایج مطلوب از آزمایش ها گرفته و یک ترم پر بار در پیش رو داشته باشید.

مقررات کار در آزمایشگاه:

۱) فهرست کلی آزمایش‌هایی که هر هفته در آزمایشگاه انجام می‌شود در ابتدای ترم ارائه میگردد.

۲) هردانشجو باید برای انجام آزمایش مربوطه،اطلاعات تئوری کافی داشته باشد.در غیر این صورت از آزمایش انجام شده بهره خوبی نخواهد برد.

۳) با توجه به اینکه ایران اسلامی ما در شرایط خاص اقتصادی قرار دارد،تهیه وسایل آزمایشگاه مشکل و در بعضی موارد غیر ممکن است.بنابراین لازم است دانشجویان در موقع کار با احتیاط لازم کارکنند که خسارتی به آنها وارد نشود.

۴) اگر به دستگاهی خسارت وارد شود و دانشجو مقصر شناخته شود مخارج تعمیرات به عهده دانشجو خواهد بود.

۵) باز کردن و بستن اتصالاتی که تحت ولتاژ قرار دارند مطلقا ممنوع است.

۶) مدار هر آزمایش بایستی فقط بعد از کنترل به وسیله سرپرست یا مربی آزمایشگاه به منبع ولتاژ وصل شود.

۷) هر نفر از آزمایش کنندگان باید برای هر آزمایش یک گزارش کار تحویل دهد. این گزارش شامل مطالب زیر می‌باشد:

الف) شماره یا نام آزمایش

ب) اسامی دانشجویانی که در آن آزمایش همکاری داشته‌اند.

پ) نام گروه آزمایش کننده و روز هفته و ساعت آزمایش.

ج) هدف از آزمایش

د) کلیه مقادیری که در طول آزمایش ثابت هستند.

ر) ثبت کمیات اندازه‌گیری شده در جدول.

ز) رسم منحنی‌هاروی کاغذ میلیمتری.

و) تعیین متغیر و تابع و واحدهای‌کمیات را روی محورهای عمود بر هم درکاغذ میلیمتری.

ن) تعیین مقیاس محورها به طور مثال هرسانتیمتر معادل چند ولت است.

ی) نتیجه گیری و پاسخ به سوالات در پایان گزارش نوشته شود.

۸) پس از خاتمه آزمایش و قبل از خاموش کردن دستگاه ها به سرپرست یا مربی آزمایشگاه اطلاع دهید که آزمایش تمام شده است.

۹) بدیهی است همراه داشتن وسایل رسم از قبیل خط‌کش،گونیا،نقاله،کاغذمیلیمتری وهمچنین جهت انجام سریع محاسبات ماشین حساب ضروری می باشد.

موفق و موید باشید

فصل اول: ترانسفورماتور

۱-۱)آزمایش‌های ترانسفورماتور تک‌فاز:

هدف از آزمایش بر روی ترانسفورماتور، به‌دست آوردن مشخصات آن از قبیل نسبت تبدیل، تلفات توان، پارامترهای مدار معادل و... است همه این‌مشخصات به وسیله دو آزمایش بی‌باری و اتصال کوتاه به دست می‌آیند.

نسبت تبدیل ترانسفورماتور:

با اندازه‌گیری ولتاژهای اولیه و ثانویه در حالت بی‌باری ضریب تبدیل**K** به دست می آید.

$$\mathbf{K} = \frac{N_2}{N_1} = \frac{E_2}{E_1} \approx \frac{U_{02}}{U_{01}}$$

تلفات توان در ترانسفورماتور:

تلفات توان اکتیو در ترانسفورماتور شامل دو قسمت است:

الف) تلفات آهنی که از تلفات فوکو و هیسترزیس تشکیل میشود.

$$P_{FE} = P_F + P_H$$

ب) تلفات مسی (ژولی) که شامل توان تلف شده در مقاومت های سیم پیچی اولیه و ثانویه است

$$P_J = P_{CU} = R\,I_1{}^2 + R\,I_2{}^2$$

وقتی اولیه ترانسفورماتور به ولتاژ U_{01} وصل شود و ثانویه آن باز باشد (ترانسفورماتور بدون بار) جریان I_0 از سیم پیچی اولیه آن می‌گذرد،چنانچه ولتمتری در مدار اولیه قرار داده شود توان مصرفی ترانسفورماتور را (تلفات آهنی و مسی روی هم) اندازه‌گیری می‌شود.به علت ناچیز بودن جریان I_0 توان $R_1\,I_0{}^2$ نسبت به تلفات آهنی بسیار کوچک است و آن‌چه را که واتمتر نشان می‌دهد،تلفات آهنی فرض می‌شود.اگر ثانویه ترانسفورماتور اتصال کوتاه شود و به اولیه آن ولتاژی در حدود ۵ تا ۱۰ درصد ولتاژ نامی U_n (فشار ضعیف) داده شود به طوریکه از سیم پیچی های اولیه و ثانویه آن جریان نامی (I_n) بگذرد توان داده شده به ترانسفورماتور این بار هم صرف تلفات داخلی می‌شود چون آزمایش در ولتاژ کم انجام می‌شود تلفات آهنی ناچیز بوده می‌توان از آن صرف نظر کرد بنابراین توانی که واتمتر نشان می‌دهد مساوی تلفات ژولی ترانسفورماتور در جریان نامی است.

$$P_{SC} = P_J = P_{CU} = R_1\,I_{1n}{}^2 + R_2\,I_{2n}{}^2$$

P_{SC} عددی است که واتمتر نشان می‌دهد.

به نکات زیر توجه نمایید:

الف) چنانچه آزمایش اتصال کوتاه در طرف فشارقوی انجام شود به طوریکه طرف فشار ضعیف را اتصال کوتاه نموده و طرف فشارقوی را به منبع ولتاژ وصل کنیم باید ولتاژ داده شده خیلی کم و به قدری باشد که جریان نامی از طرف فشارقوی بگذرد.

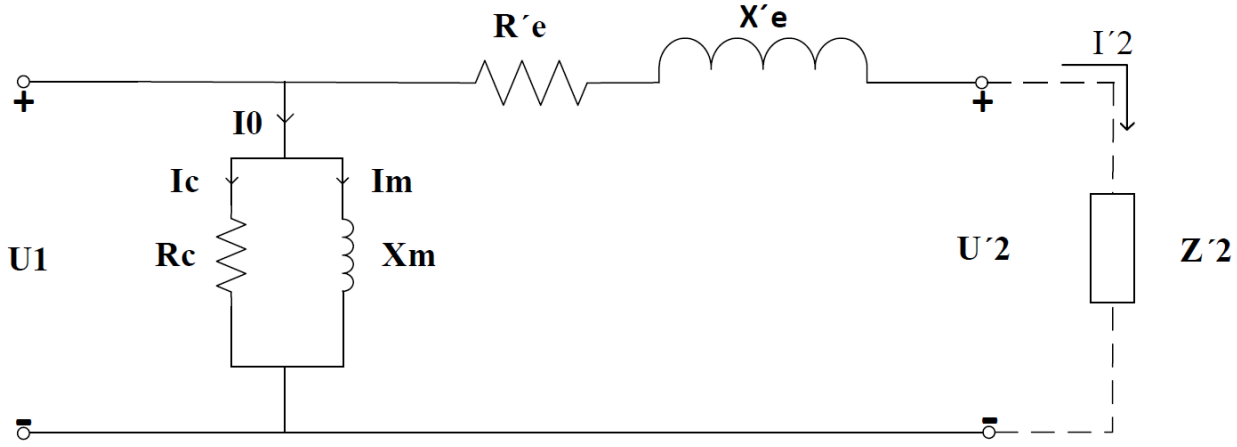
ب) چنانچه به دلیل محدودیت حداکثر مقدار سنجش وسایل اندازه گیری جریان نتوانیم جریان نامی را از ترانسفورماتور بگذرانیم می توانیم آزمایش اتصال کوتاه را در جریان کمتری انجام دهیم اگر I_{SC} و P_{SC} به ترتیب جریان و توان اندازه گیری شده باشند توان تلف شده در جریان نامی P_{jn} از رابطه زیر به دست می آید.

$$\frac{P_{SC}}{P_{jn}} = \left(\frac{I_{SC}}{I_n}\right)^2$$

مدار معادل ترانسفورماتور:

استفاده از مدار معادل در مهندسی برق متداول است. برای ترانسفورماتور آزمایشگاه مدار معادل تقریبی زیر را به کار ببرید، این مدار معادل، ارجاع داده‌شده یا انتقال داده‌شده به اولیه است.

در این مدار معادل روابط حاکم به صورت ذیل می باشد .

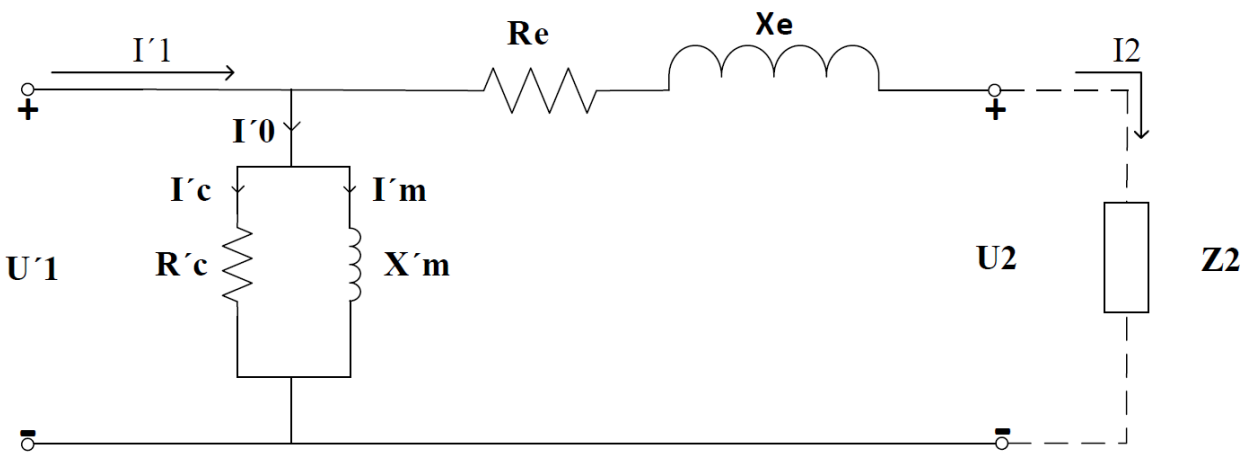


$$R'_2 = \frac{R_2}{K^2} \quad \text{و} \quad R'_2 = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 R_2 \quad \text{و} \quad R'_e = R_1 + R'_2$$

$$X'_2 = \frac{X_2}{K^2} \quad \text{و} \quad X'_e = X_1 + X'_2$$

$$I'_2 = K I_2 \quad \text{و} \quad U'_2 = \frac{U_2}{K}$$

در شکل زیر مدار معادل تقریبی ارجاع داده شده (منتقل شده) به سمت ثانویه نشان داده شده است.



که در آن

$$I'_1 = I_1 \times \frac{1}{K} \qquad U'_1 = U_1 \times K$$

$$R_e = R'_1 + R_2 \qquad R'_1 = R_1 \left(\frac{N_2}{N_1}\right)^2$$

$$R'_1 = R_1 \times K^2 \qquad X_e = X'_1 + X_2 \qquad X'_1 = X_1 \times K^2$$

$$R'_C = R_c \times K^2 \qquad X'_m = X_m \times K^2 \qquad I'_0 = I_0 \times \frac{1}{K}$$

$$I'_c = I_c \times \frac{1}{K} \qquad I'_m = I_m \times \frac{1}{K}$$

محاسبه درصد افت ولتاژها یا افت ولتاژ نسبی ترانسفورماتور:

درصد تغییر ولتاژ ترانسفورماتور را هنگامیکه جریان بار آن از صفر تا مقدار نامی تغییر کند درصد افت ولتاژ نسبی می گویند.

اگر سیم پیچی اولیه به منبع ولتاژ و سیم پیچی ثانویه به مصرف کننده وصل شود و جریان نامی را با ولتاژ نامی به بار بدهیم، چنانچه ولتاژ اولیه ثابت نگه داشته و بار را از طرف دوم جدا کنیم ولتاژ طرف دوم تغییر خواهد کرد. درصد نسبت تفاضل ولتاژ بی باری و ولتاژ بارداری نامی ثانویه ترانسفورماتور ، به ولتاژ نامی ثانویه افت ولتاژ نسبی نامیده می‌شود.

$$\Delta U\% = \frac{U_{20} - U_{2n}}{U_{2n}} \times ۱۰۰$$

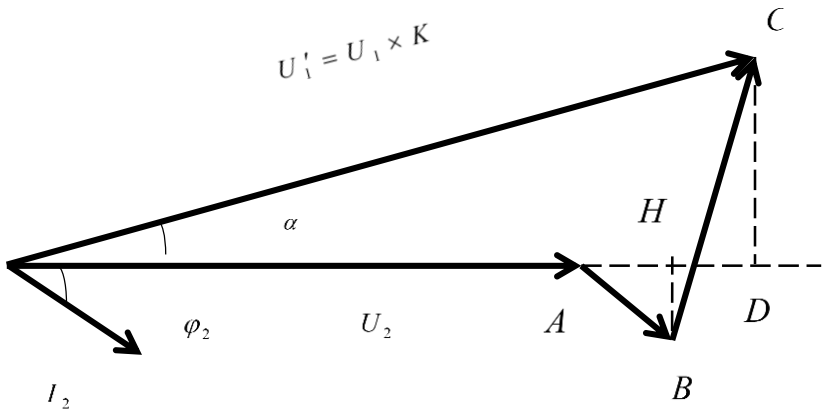
در حالت کلی اگر جریان بار نامی نباشد $I_L \neq I_n$ ولتاژ بار U_2 و ولتاژ اولیه تبدیل شده به طرف دوم

$$U'_1 = U_1 \times K$$

است "وقتی ولتاژ اولیه را ثابت نگه داریم و بار را از ترانسفورماتور جدا کنیم ولتاژ خروجی ترانسفورماتور از U_2 به $U_1 \times K$ افزایش می یابد و معادله بالا به صورت زیر تبدیل می‌شود.

$$\Delta U\% = \frac{U_{1K} - U_2}{U_2} \times ۱۰۰$$

دیاگرام برداری مدار معادل تبدیل شده به ثانویه در شکل زیر نشان داده شده است.



$$AH = AB \cos \varphi_2$$

$$HD = BC \sin \varphi_2$$

$$AH = I_2 \ R_e \cos \varphi_2$$

$$HD = I_2 \ X_2 \sin \varphi_2$$

چون زاویه α خیلی کوچک است میتوان طول OD را با OC مساوی فرض کرد

$$OC = OD \qquad U_1 K = U_2 + AH + HD$$

$$\Delta U = U_1 K - = AH + HD U_2 = I_2 \ R_e \cos \varphi_2 + I_2 \ X_e \sin \varphi_2$$

در رابطه $\Delta U\% = \frac{U_{1K} - U_2}{U_2} \times ۱۰۰$ مقدار $U_1 K - U_2$ را جایگزین می کنیم.

$$\Delta U\% = \frac{R_e \ I_2 \cos \varphi_2 \pm X_e \ I_2 \sin \varphi_2}{U_2} \times 100$$

علامت منفی مربوط به بار خازنی (پیش فاز) است.

محاسبه اجزاء مدار معادل تقریبی ترانسفورماتور:

۱) اجزاء شاخه موازی R_c و X_m از آزمایش بی باری در ولتاژ نامی به دست می‌آیند، این آزمایش معمولا در طرف فشار ضعیف انجام می‌شود.

چنانچه U_{0n} و I_0 و P_0 نتایج آزمایش بی باری باشند R_c و X_m از روابط زیر به دست می آیند.

$$R_c = \frac{{U_0}^2 n}{P_0} \qquad I_c = \frac{U_0}{R_c} \qquad I_m = \sqrt{{I_0}^2 - {I_c}^2}$$

$$X_m = \frac{U_0}{I_m}$$

توجه: اگر آزمایش بی باری در طرف فشار ضعیف ترانسفورماتور انجام شده است مقادیر R_m و X_m از دید طرف فشار ضعیف محاسبه شده اند.

۲) تعیین اجزاء شاخه سری (R_e و Xe) این اجزاء از نتایج آزمایش اتصال کوتاه و در جریان نامی محاسبه و به کمک روابط زیر تعیین می‌شوند.

$$X_e = \sqrt{{Z_e}^2 - {R_e}^2} \quad و \quad R_e = \frac{P_{SC}}{{I_{SC}}^2} \qquad Z_e = \frac{U_{SC}}{I_{SC}} \quad و \quad Z_e = \sqrt{{R_e}^2 + {X_e}^2}$$

تذکر: چون آزمایش اتصال کوتاه معمولا در طرف فشار قوی ترانسفورماتور انجام می‌شود بنابراین مقادیر R_e و X_e از دید فشار قوی محاسبه شده اند.

مدار معادل ترانسفورماتور از دید طرف فشارقوی:

اگر آزمایش اتصال کوتاه در طرف فشارقوی انجام شده باشد R_e و X_e به دست آمده از دید طرف فشارقوی هستند ولی R_c و X_m که از نتایج آزمایش بی باری در طرف فشار ضعیف به دست آمده اند به کمک روابط زیر به طرف فشارقوی تبدیل میشوند.

$$R'_c = R_c K^2 \quad و \quad K = \frac{N_2}{N_1} = \frac{U_0 2}{U_0 1} \quad و \quad U_0 2 > U_0 1 \quad و \quad X'_m = X_m K^2$$

۳) مدار معادل ترانسفورماتور از دید طرف فشار ضعیف:

اگر آزمایش بی باری در طرف فشار ضعیف انجام شده R_c و X_m به دست آمده از دید طرف فشار ضعیف هستند ولی R_e و X_e که از نتایج آزمایش اتصال کوتاه در طرف فشارقوی به دست آمده به کمک روابط زیر به طرف فشار ضعیف تبدیل میشوند.

$$R'_e = \frac{R_e}{K^2} \quad \text{و} \quad X'_e = \frac{X_e}{K^2} \quad \text{و} \quad \mathrm{K} = \frac{U_0 2}{U_0 1} \quad \text{و} \quad U_0 2 > U_0 1$$

محاسبه ضریب بهره ترانسفورماتور:

ضریب بهره ترانسفورماتور را به دو روش مستقیم و غیر مستقیم محاسبه می نمایند.

در روش مستقیم توان های اولیه و ثانویه (P_1 و P_2) را به دست آورده و از رابطه $\eta = \frac{P_2}{P_1}$ ضریب بهره را محاسبه می کنند، اما در ترانسفورماتورهای با قدرت زیاد با روش مستقیم نمی توان ضریب بهره را بدست آورد در اینگونه ترانسفورماتورها ضریب بهره به روش غیر مستقیم انجام می‌شود.

با توجه به دو آزمایش بی باری و اتصال کوتاه، تلفات ترانسفورماتور را در شرایط نامی یا غیر نامی به کمک روابط زیر می‌توان به دست آورد.

$$P_{cu} = P_j = {K_c}^2 \times P_{CUn} \quad \text{و} \quad K_c = \frac{I_2}{I_{2n}}$$

$$P_2 = K_c \times p_{2n} \quad \text{و} \quad p_{2n} = U_{2n}\, I_{2n} \cos\varphi_2 \quad \text{و} \quad p_2 = U_{2n}\, I_2 \cos\varphi_2$$

$$p_{2n} = S_n \cos\varphi_2 \quad \text{و} \quad S_{2n} = U_{2n}\, I_{2n}$$

به کمک روابط بالا ضریب بهره به روش غیر مستقیم چنین خواهد بود.

$$\%\eta = \frac{K_c P_{2n}}{K_c P_{2n} + {K_c}^2 P_{cun} + P_{Fe}} \times ۱۰۰$$

وقتی جریان بار K_c تغییر کند مقدار ماکزیمم ضریب بهرا از مشتق گیری μ نسبت K_c و مساوی صفر قراردادن آن به دست می آید پس از انجام عملیات خواهیم داشت

$$P_{FE} = {K_c}^2\, P_{CUn}$$

یعنی ضریب بهره در جریان باری ماکزیمم میشود که $P_{FE} = {K_c}^2 P_{CUn} = P_{CU}$ باشد. یا $P_{FE}=P_{CU}$ بنابراین وقتی که تلفات آهنی مساوی تلفات ژولی ترانسفورماتور شود ضریب بهره ماکزیمم میشود.

۲-۱) آزمایش بی باری ترانسفورماتور :

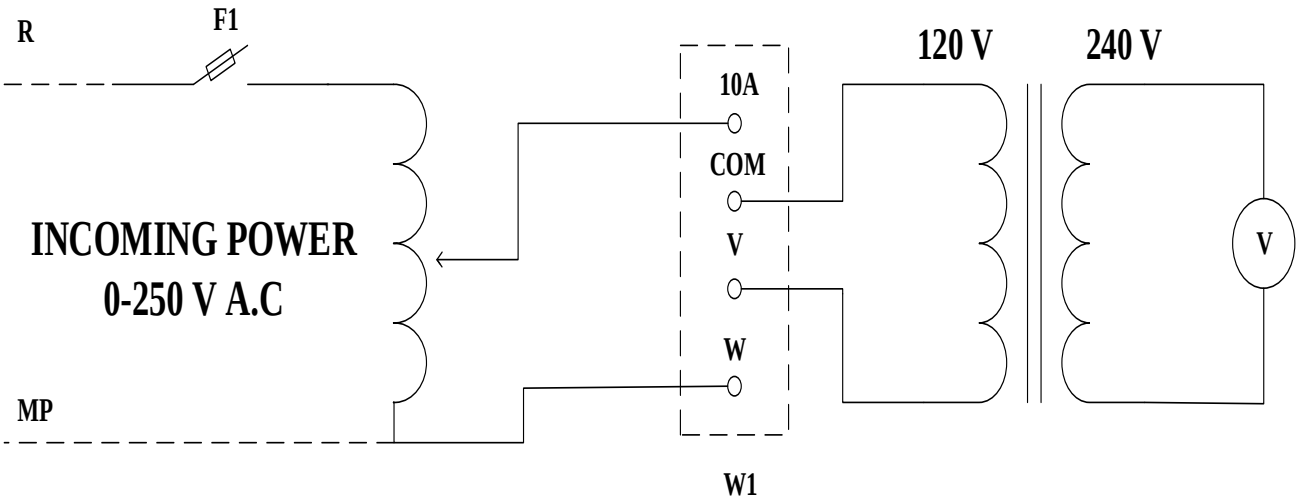
۱) توان ظاهری ترانسفورماتور مورد آزمایش S_n = ۶۰۰ VA است سایر مشخصات آنرا قبل از شروع آزمایش تعیین نمایید .

U_{1n} = ۱۲۰V و I_{1n} = K =

U_{2n} = ۲۴۰V و I_{2n} =

۲) مدار ترانسفورماتور را مطابق شکل زیر ببندید و به تایید مربی آزمایشگاه بر سانید .ممکن ا ست برای اندازه گیری جریان و ولتاژ و توان از دستگاه دیگری مثلا (دستگاه دیجیتالی) استفاده شود در این صورت نحوه اتصال دستگاه ها به ترانسفورماتور و منبع ولتاژ توسط مربی آزمایشگاه شرح داده میشود .

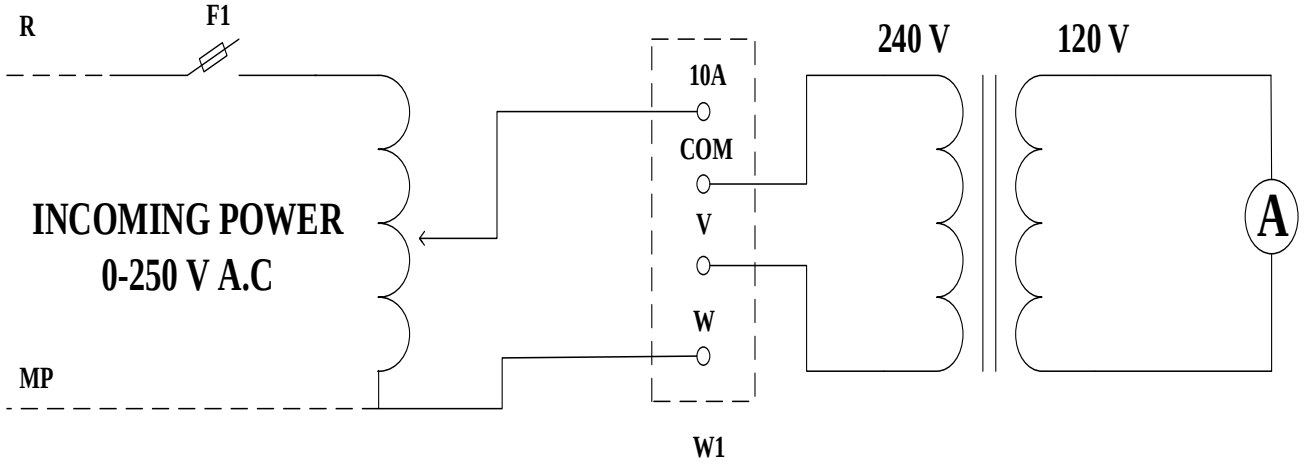
۳) پس از اطمینان از درستی رنج دستگاه های اندازه گیری و صفر بودن منبع ولتاژ متغیر (رگولاتور ولتاژ یا ....) کلید اصلی را وصل نموده ولتاژ ورودی مدار را به تدریج تا ولتاژ نامی افزایش دهید نتایج آزمایش را در جدول زیر ثبت نمایید .



[V] U_0							
I_0 $[A]$							
[W]P_0							

۳-۱) آزمایش اتصال کوتاه :

۱) مدار ترانسفورماتور را مطابق شکل زیر ببندید و به تایید مربی آزمایشگاه برسانید .



تذکر :

توجه نمایید که این بار طرف اولیه (۱۲۰ ولت) اتصال کوتاه شده و باید به طرف ثانویه ولتاژ خیلی کم داده شود .

۲) با اطمینان از صفر بودن منبع ولتاژ متغیر و درستی رنج دستگاه های اندازه گیری کلید اصلی را وصل نموده و با احتیاط کامل ولتاژ منبع را به تدریج افزایش دهید تا جایی که جریان از حد مجاز (نامی) بیشتر نشود در این حالت مقدار ولتاژ بسیار کمتر از ولتاژ نامی خواهد بود . (بین ۲ تا ۵ درصد)،مقدار ولتاژ و توانی که به ازاء آن در آزمایش اتصال کوتاه جریان به مقدار نامی میرسد به ترتیب ولتاژ و توان اتصال کوتاه نامیده می‌شود. نتیجه آزمایش را در جدول بنویسید.بلافاصله پس از پایان آزمایش مقاومتهای سیم پیچ های اولیه و ثانویه را در حالتی که هنوز گرم هستند اندازه گیری کنید اعداد به دست آمده از جدول و مقاومت ها را به تایید مربی آزمایشگاه برسانید . پس از آن کلید برق مدار را قطع نموده سیم ها را باز نمایید .

$R_1 =$ $R_2 =$

[V] U_{SC}							
$I_{SC}[A]$							
[W] P_{SC}							

محاسبات و پرسش ها:

۱) با توجه به آزمایش بی باری و اتصال کوتاه اجزاء مدار معادل تقریبی ترانسفورماتور مورد آزمایش را از دید فشارقوی (برده شده به طرف فشارقوی) محاسبه نمایید.

۲) مدار معادل ترانسفورماتور چه کاربردی دارد.

۳) منحنی تغییرات $P_0 = \mathrm{F}\ (I_0)$ و $U_0 = \mathrm{F}\ (I_0)$ و $Z_0 = \mathrm{F}\ (I_0)$ را در یک دستگاه مختصات روی کاغذ میلی متری رسم نمایید بطوریکه محور افقی محور I_0 باشد امپدانس $Z_0 = \frac{U_0}{I_0}$

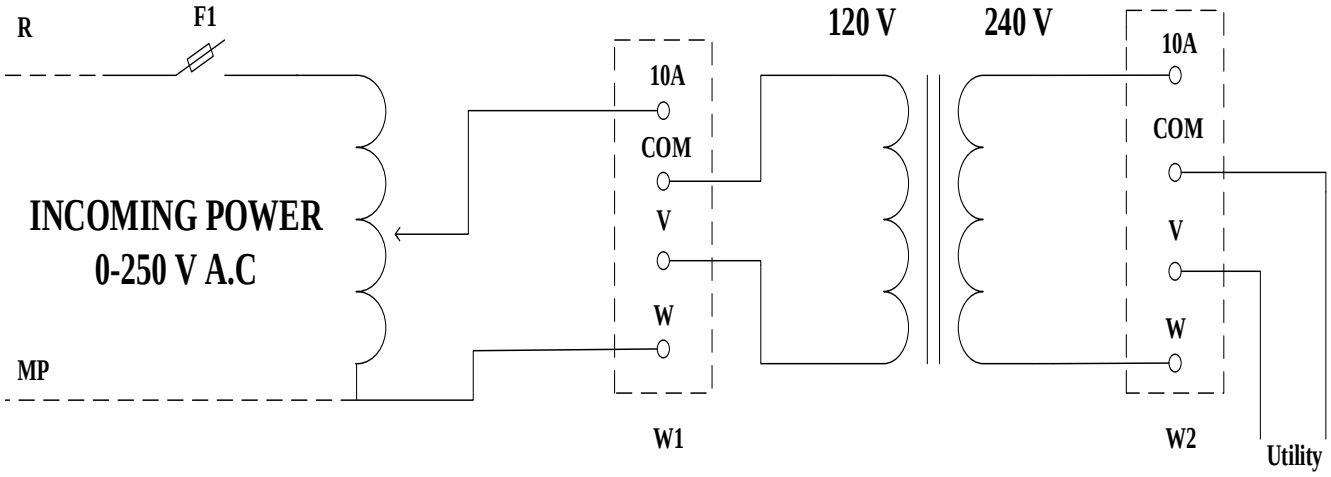
امپدانس ورودی ترانسفورماتور است.

۴) تحقیق نمایید آیا تساوی $P_{SC} = R_1\ {I_1}^2 n + R_2\ {I_2}^2 n$ برقرار است.

۴-۱) آزمایش بارداری ترانسفورماتور:

مدار آزمایش مانند شکل زیر است. مدار را ببندید وپس از تایید درستی آن توسط مربی، کلید اصلی برق را وصل کنید با افزایش بار مقادیر ولت مترها و آمپرمترها و واتمترها را در جدول ثبت نمایید.

دقت نمایید که جریان های ترانسفورماتور از حد مجاز بیشتر نشود و همچنین ولتاژ اولیه ترانسفورماتور همواره ثابت باشد. (۱۲۰ ولت)



U_1 [V]							
U_2 [V]							
I_1 [A]							
I_2 [A]							
P_1 [W]							
P_2 [W]							

محاسبات و پرسش ها:

۱) با استفاده از جدول بارداری، مشخصه خارجی ترانسفورماتور را رسم نمایید.

۲) چنانچه $K_c = \frac{I_2}{I_{2n}}$ ضریب بار فرض شود، با توجه به نتایج آزمایش بارداری منحنی ضریب بهره بر حسب ضریب بار را پس از پرکردن جدول زیر رسم نمایید.

$\eta = \frac{p_2}{p_1}$

$\eta = F(K_c)$ ضریب بهره

η	
K_c	

۳) جدول تغییرات $\eta = F(K_c)$ را به روش غیر مستقیم و از روی نتایج آزمایش های بی‌باری و اتصال کوتاه به دست آورده و منحنی آنرا در روی همان محورهای مختصات سوال ۱ رسم نمایید. ضریب قدرت بار را واحد ($\cos\varphi = ۱$) فرض کنید.

η	
K_c	

۴) درصد افت ولتاژ ترانسفورماتور را به ازاء بار نامی و ضریب قدرت واحد یک بار به روش مستقیم و بار دیگر به روش غیر مستقیم تعیین نمایید.

۵) در شرایط بارنامی، تلفات مسی و تلفات آهنی ترانسفورماتور را به طور جداگانه محاسبه نمایید.

۶) در حلت های زیر ضریب بهره و درصد تنظیم ولتاژ ترانسفورماتور را تعیین نمایید.

الف) بار نامی با ضریب قدرت ۰/۸ پس فاز

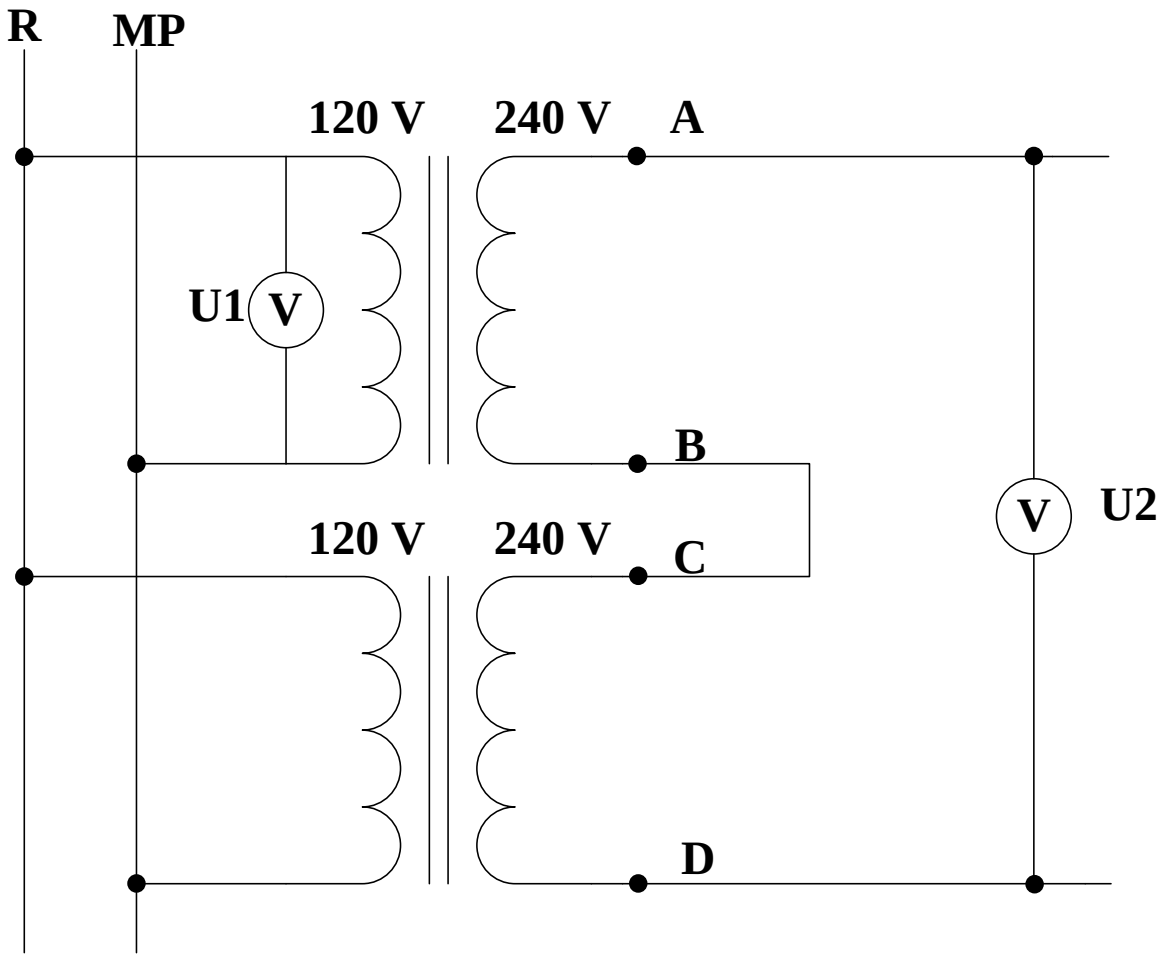
ب) نصف بار نامی با ضریب قدرت ۰/۸ پیش فاز

۵-۱) آزمایش موازی بستن ترانسفورماتورهای تک فاز:

در درس ماشین های الکتریکی و در بخش ترانسفورماتور، ضرورت و شرایط موازی کردن ترانسفورماتورها بررسی شده است.

چون ترانسفورماتورهای موجود در ست ترانسفورماتور آزمایشگاه همگی مشابه هستند، لذا برای موازی کردن آنها فقط باید نقاط هم پتانسیل ثانویه را معلوم کنیم برای این کار ترانسفورماتور را بدون بار مورد آزمایش قرار میدهیم.

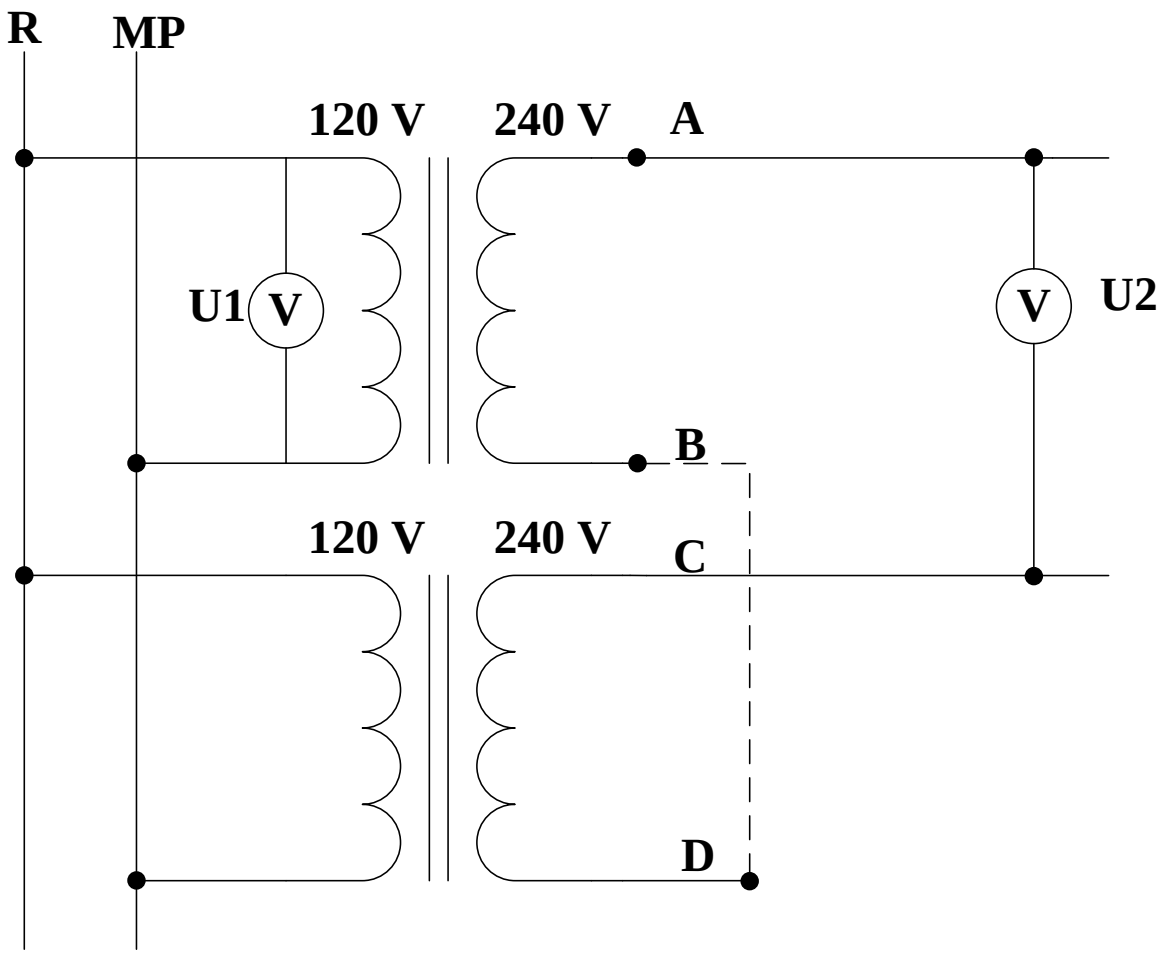
۱) مدار شکل های ۱ و ۲ را جداگانه بسته و پس از تایید مربی آزمایشگاه کلید برق را وصل کنید. در حالیکه ولتمتر عدد صفر را نشان دهد نقاط وصل شده به یکدیگر هم پتانسیل هستند و چنانچه ولتمتر دو برابر ولتاژ ثانویه را نشان میدهد نقاط وصل شده به یکدیگر غیر هم پتانسیل می باشند.



اتو ترانسفورماتور

شکل (۱)

احتیاط: ولتمتر در مدارهای داده شده باید توانایی اندازه گیری دو برابر ولتاژ ثانویه را داشته باشد

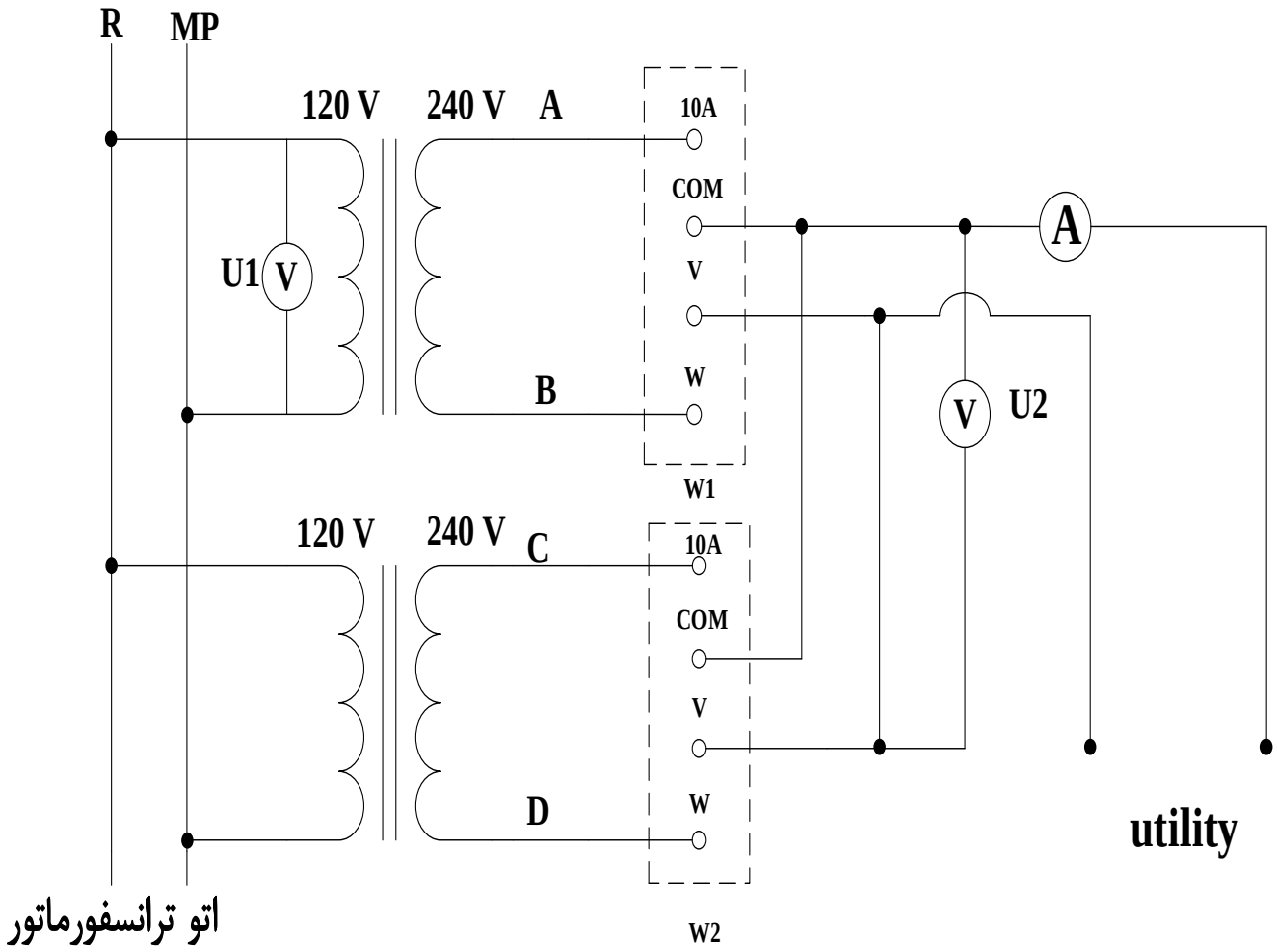


اتو ترانسفورماتور

شکل(۲)

۲) پس از تعیین سرهای هم پتانسیل ثانویه های دو ترانسفورماتور اکنون مدار شکل ۳ ببندید، بطوریکه نقاط هم پتانسیل به هم وصل شوند.

پس از تایید درستی مدار توسط مربی آزمایشگاه مدار شکل ۳ را به شبکه برق وصل کنید و بار را تا جایی افزایش دهید که دو ترانسفورماتور به حدود بار نامی خود در ثانویه برسند. اطلاعات خواسته شده در جدول را وقتی که ترانسفورماتورها از بار نامی تا حالت بدون بار برسند تعیین نمایید.



شکل ۳

U_2							
I_{21}							
I_{22}							
I_L							
P_{21}							
P_{22}							

رسم مشخصه ها و پرسش ها:

۱) مشخصه های $I_1 = \mathrm{F}\ (I_L)$ و $I_2 = \mathrm{F}\ (I_L)$ را روی یک دستگاه مختصات رسم نمایید.

۲) آیا توان بار به طور مساوی بین دو ترانسفورماتور توزیع شده است.

۳) آیا رابطه $I_1 + I_2 = I_L$ در هر حالت برقرار است ؟ بررسی نمایید.

۴) شرایط و ضرورت های موازی بستن ترانسفورماتورها را تحلیل نمایید.

۶-۱) آزمایش تعیین گروه ترانسفورماتور سه فاز:

سرهای سه ترانسفورماتور یک فاز $\frac{120}{240}$ را مانند شکل های نشان داده شده به هم وصل کنید و با اندازه گیری ولتاژهای خواسته شده و رسم کردن مثلث های ولتاژها، گروه ترانسفورماتورها را تعیین نمایید.

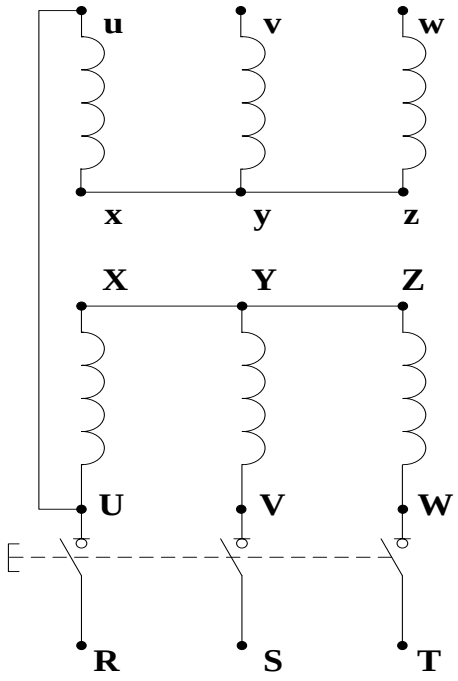
در هر حالت از روش دیاگرام برداری نیز گروه هر ترانسفورماتور را تعیین نمایید، تا از درستی نتایج آزمایش اطمینان پیدا کنید.

توجه نمایید:

۱) در شکل ها ، U و V و W سرهای سیم پیچی فشارقوی هستند که ولتاژهای R و S و T توسط رگولاتور ولتاژ (۰ – ۳۸۰ V) به آنها وصل می شوند. u و v و w سرهای سیم پیچی فشار ضعیف هستند که مصرف کننده (بار) به آنها وصل خواهد شد.

۲) در شکل ها دو سر فاز سیم پیچی فشارقوی و فشار ضعیف (U و u) برای هم پتانسیل شدن با یک سیم به هم وصل شده اند.

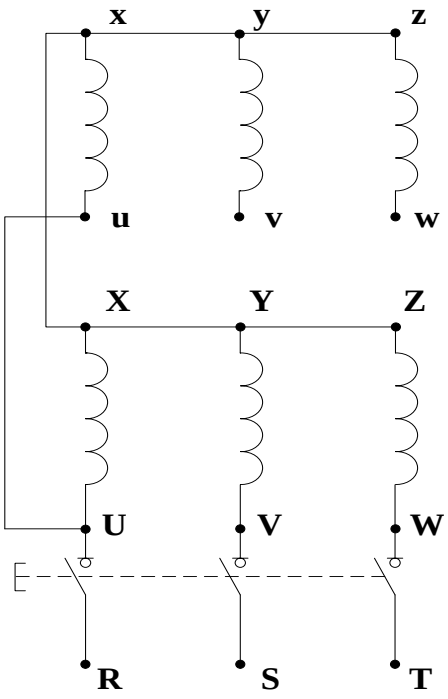
۳) برای رسم مثلث ها، مقیاس مناسب انتخاب نمایید به طور مثال هر ۵۰ ولت را معادل یک سانتی متر در نظر بگیرید و مثلث ولتاژها را رسم نمایید.



U UV = U uv =

U Vv = U Wv =

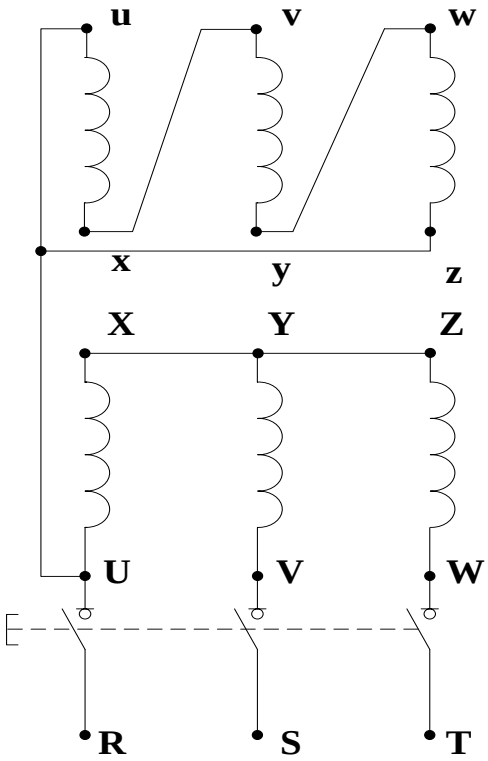
U Vw = U Ww =



U UV = U uv =

U Vv = U Wv =

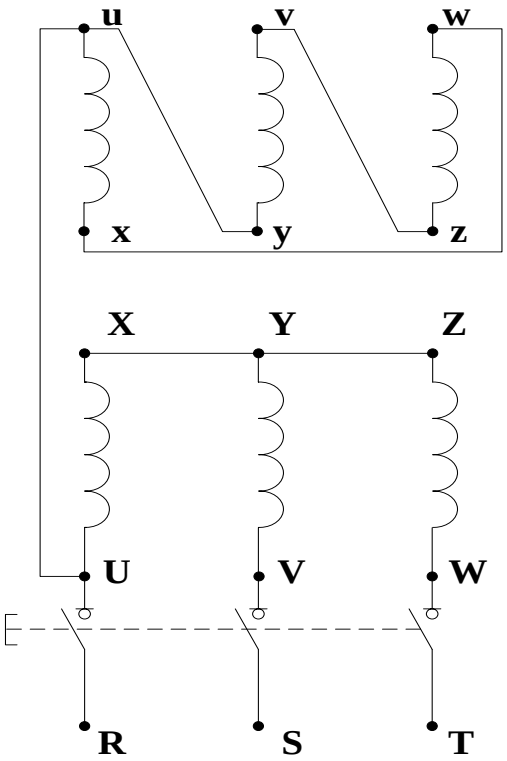
U Vw = U Ww =



U UV = U uv =

U Vv = U Wv =

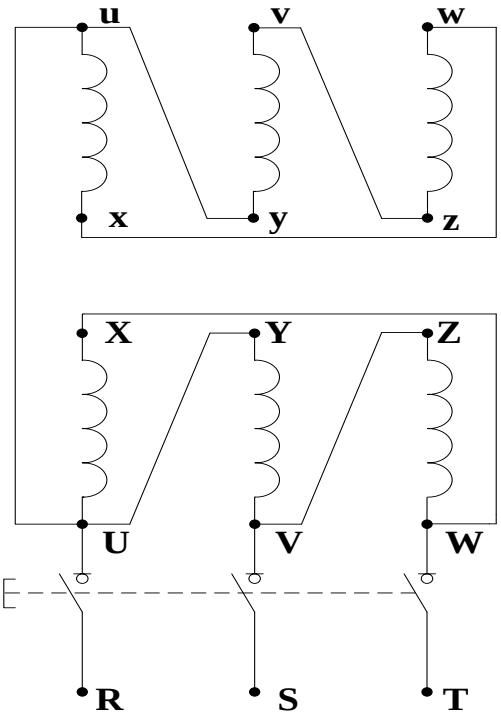
U Vw = U Ww =



U UV = U uv =

U Vv = U Wv =

U Vw = U Ww =



U UV = U uv =

U Vv = U Wv =

U Vw = U Ww =

فصل دوم : ماشین های الکتریکی سه فاز

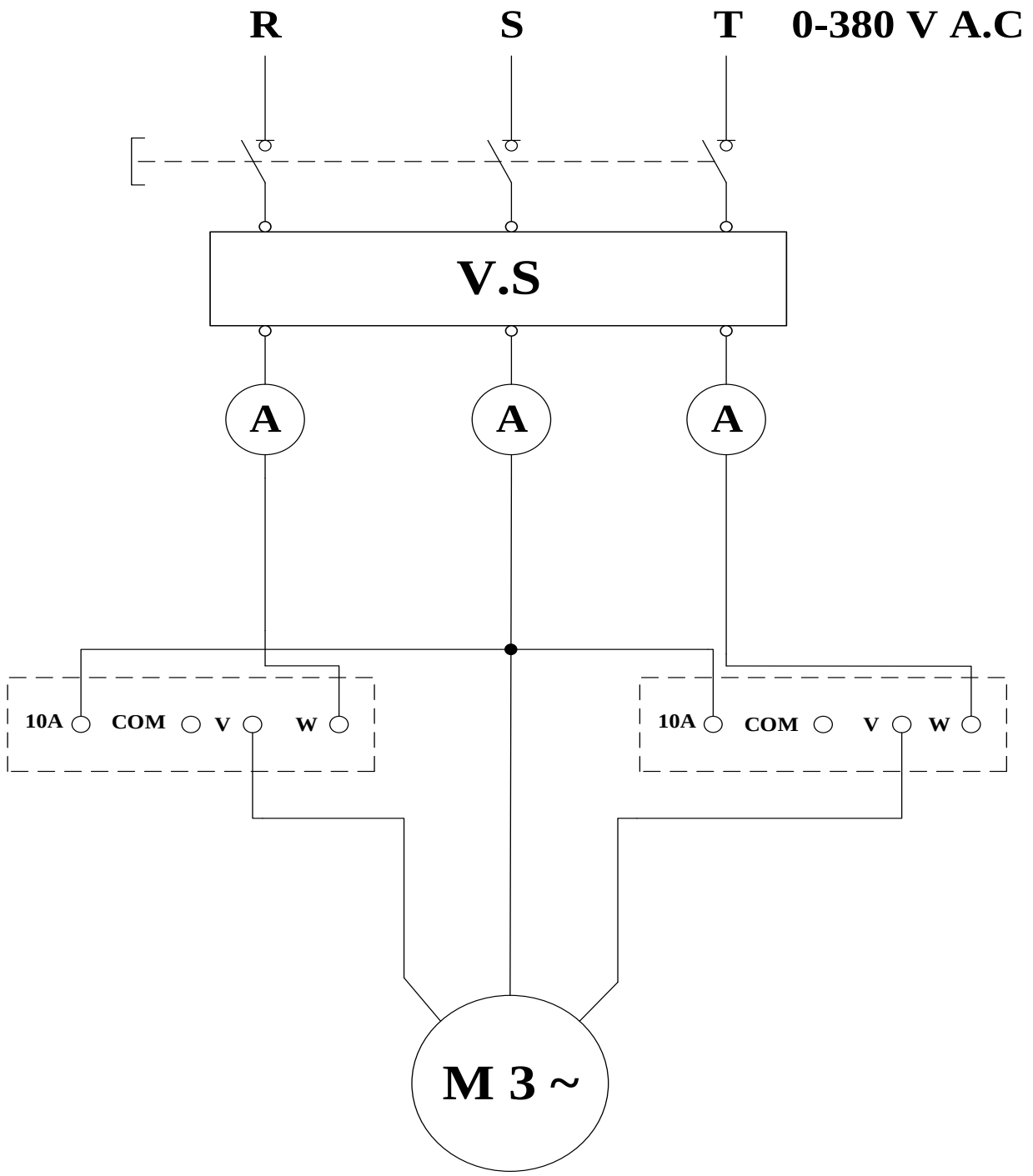
۱-۲) آزمایش بی باری موتور القایی روتور قفسی:

۱) مقادیر نامی موتور آزمایشگاه را یادداشت نمایید.

نوع سیم بندی استاتور:

۲) مشخصات ماشین DC هم محور را یادداشت نمایید.

۳) مدار موتور القایی را مطابق شکل ببندید.



۴) پس از تایید درستی مدار توسط مربی آزمایشگاه با اطمینان از اینکه دسته گردان منبع متغیر سه فاز روی صفر قرار دارد کلید برق منبع را وصل کنید با افزایش ولتاژ منبع در هر نقطه مقادیر ولتاژ، جریان، توان و سرعت روتور را قرائت و در جدول ثبت نمایید.

$[V]U_0$									
$[A]I_0$									
$[W]W_1$									
$[W]W_2$									
$P_0 = W_1+W_2$									
$[rpm]n_r$									

رسم منحنی ها و محاسبات:

۵) با استفاده از نتایج آزمایش بی باری به سوالات زیر پاسخ دهید.

۵-۱ نمودار $I_0 = F(U_0)$ و $P_0 = F(U_0)$ را روی صفحه مختصات رسم کنید. (هر دو منحنی با هم)

۵-۲ جریان، توان و ضریب قدرت بی باری ماشین را در ولتاژ نامی تعیین نمایید.

۵-۳ توان بی باری ماشین القایی که از شبکه دریافت میکند در کدام قسمت ماشین تلف میشود.

۵-۴ نسبت جریان بی باری به جریان نامی ماشین القایی آزمایشگاه چقدر است.

آیا این نسبت قابل قبول است ؟ چرا ؟ $\frac{I_0}{I_n} =$

آزمایش حالت سکون (روتور قفل شده):

۱) مدار آزمایش همان مدار قبلی است فقط باید با وسیله ای مانع حرکت یا چرخش روتور شد.

در این آزمایش ولتاژ ورودی بسیار کمتر از حد نامی بوده و مقدار افزایش ولتاژ تا حدی مجاز است که جریان موتور از مقدار نامی بیشتر نشود پس از تایید مدار توسط مربی آزمایشگاه ولتاژ منبع قدرت را از صفر به آرامی افزایش دهید تا جریان نامی از فاز های استاتور بگذرد اعداد مربوط به نقطه نامی $I_{SC} = I_n$ و U_{SC} و P_{SC} را در جدول زیر یادداشت نمود و به تدریج ولتاژ را کاهش دهید تا ولتاژ صفر شود.

$[V]U_{SC}$	
$[A]I_{SC}$	
$[W]W_1$	
$[W]W_2$	
$P_{sc}=W_1+W_2$	

2) به کمک نتایج آزمایش حالت سکون به سوالات زیر پاسخ دهید.

۲-۱) جریان و قدرت راه اندازی موتور تحت ولتاژ نامی را محاسبه نمایید.

$I_{start} =$ $P_{start} =$

۲-۲) نسبت $\frac{I_{start}}{I_n}$ تقریبا چقدر است.

۲-۳) قدرت جذب شده در حالت سکون در چه قسمت هایی در موتور ظاهر میشود.

۲-۴) قدرت خروجی موتور در راه اندازی چقدر است ؟

۲-۵) ضریب قدرت موتور در هنگام راه اندازی محاسبه کنید.

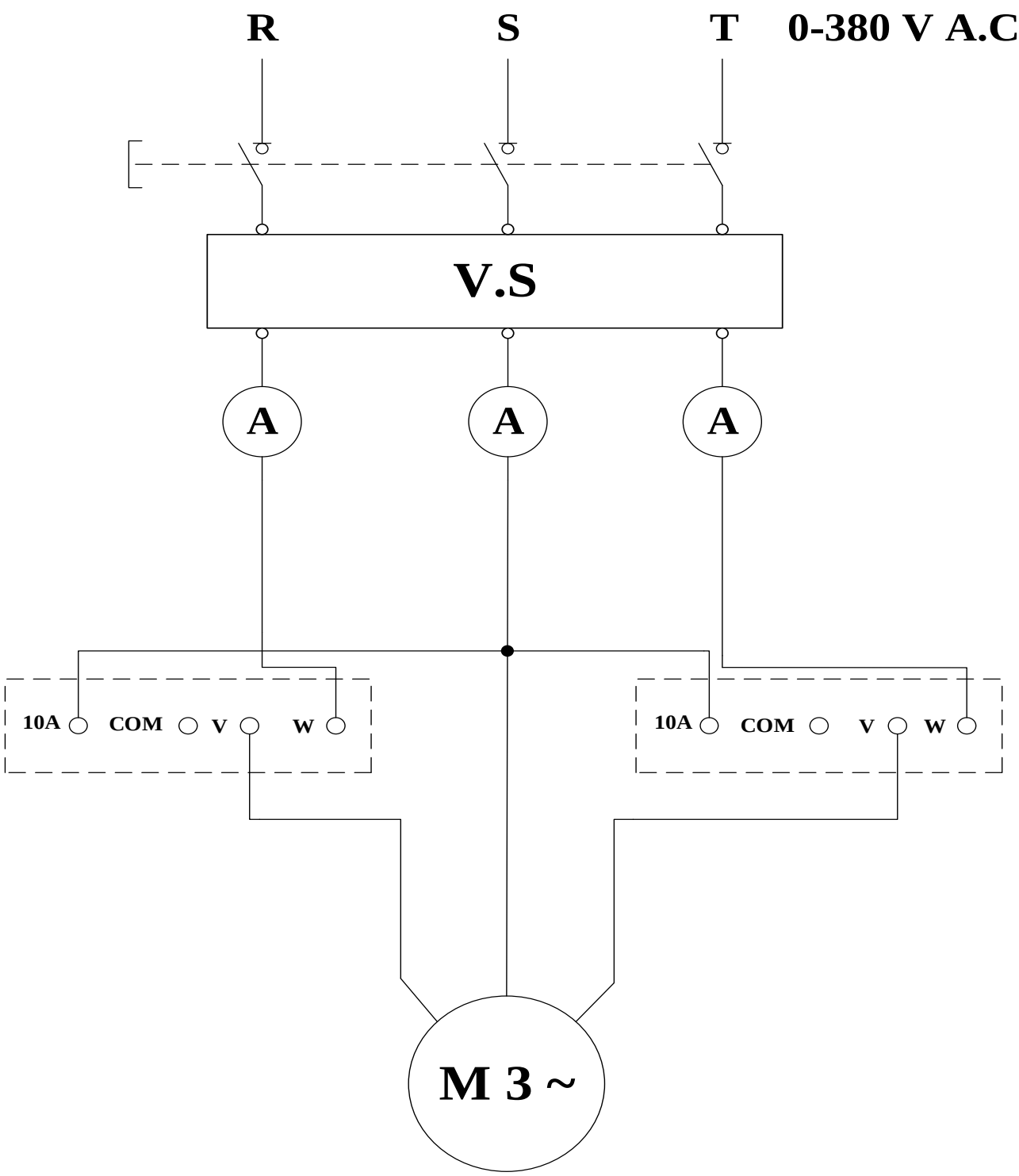
۲-۲) آزمایش بارداری موتور القایی روتور قفسی:

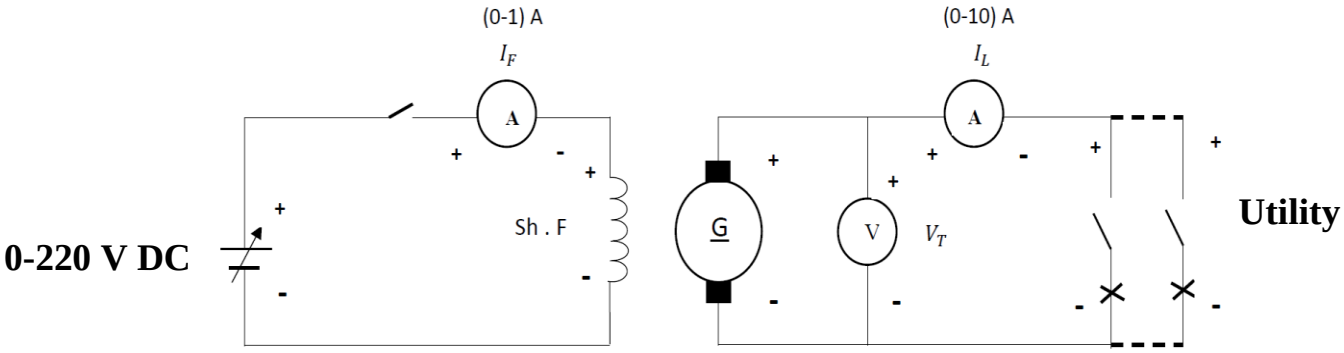
۱) مدار های شکل زیر را برای آزمایش بارداری ببندید.

مشخصات موتور و مولد را مجددا یادداشت نمایید.

مشخصات موتور: N= I_M = U=

مشخصات مولد: N= I_G = U =





مولد تحریک ستقل(بار موتور)

2) پس از تایید درستی مدار با نظارت مربی آزمایشگاه ،موتور را راه اندازی کنید. مولدDC تحریک مستقل هم محور با موتور را تحریک نموده و به تدریج بار را افزایش دهید تا جریان موتور القایی به مقدار نامی برسد. جدول آزمایش بارداری را تکمیل نمایید.

$[V]U_L$									
$[A]I_L$									
$[W]W_1$									
$[W]W_2$									
$P_1 = W_1+W_2$									
$[rpm]n_r$									

۳) با توجه به نتایج آزمایش بارداری، برای کلیه نقاط به دست آمده در جدول آزمایش بارداری، جدول صفحه بعد را کامل نمایید.

۴) پس از انجام محاسبات جدول، نمودارهای زیر را رسم نمایید.

الف) $I_S = F(S)$ استاتور

ب) $\cos\varphi = F(S)$

ج) $T_e = F(S)$ گشتاور الکترومغناطیسی

د) آیا موتور القایی در حالت بارداری با ضریب قدرت بیشتری کار می کند یا در حالت بی باری دلیل این نکته را شرح دهید.

$P_{js}=P_{cus}$								
%S								
$P_r = P_e$								
T_e[N.m]								
$P_{jr}=P_{cur}$								
P_2 [W]								
T_u[N.m]								
$\cos\varphi$								
η %								

۳-۲) آزمایش موتور القایی روتور سیم پیچی شده:

هدف های آزمایش:

الف) آشنایی با موتور القایی سه فاز روتور سیم پیچی شده

ب) آشنایی با جریان تحریک، سرعت سنکرون و لغزش در یک موتور القایی بدون بار

ج) مشاهده اثر گردش میدان و اثر افزایش سرعت روتور بر ولتاژ القاء شده در روتور بدون بار

وقتی که استاتور یک موتور سه فاز به منبع قدرت سه فاز وصل می‌شود، جریان ها در سه سیم پیچ استاتور جاری شده و یک میدان گردان مغناطیسی به وجود می آورند. این سه جریان را جریانهای تحریک می‌نامیم، این جریان ها باعث برقراری میدان دوار مغناطیسی و در نتیجه توان راکتیو و همچنین مصرف توان اکتیو به صورت تلفات مسی و آهنی و مکانیکی موتور می‌شوند.

سرعت چرخش میدان مغناطیسی گردان کاملا بوسیله فرکانس منبع قدرت تعیین می‌شود که به آن سرعت سنکرون می‌گوییم . رابطه سرعت سنکرون N_S با فرکانس شبکه برق $\mathbf{F}$ و تعداد قطبهای موتور $\mathbf{2P}$ به صورت $N_S = \frac{F}{P}$ دور در ثانیه یا $N_S = \frac{60\,F}{P}$ دور در دقیقه است.

در این فرمول ها $\mathbf{P}$ تعداد زوج قطب است.

بعضی از مولفین تعداد قطب های موتور را با $\mathbf{P}$ نشان می‌دهند .در این صورت فرمول بالا به صورت $N_S = \frac{2\times 60\,F}{P}$ یا $N_S = \frac{120\,F}{P}$ دور در دقیقه خواهد شد.

روتور سیم بندی شده،از یک هسته با سه سیم پیچی به جای میله های هادی روتور قفس سنجابی،تشکیل شده است. در این صورت در سیم پیچی ها وقتی سرهای سیم پیچی به هم متصل شوند جریان های روتور برقرار می‌شوند.

در هر صورت، مزیت استفاده از روتور سیم پیچی شده در این است که سر سیم های روتور می توانند به وسیله حلقه های لغزشی بیرون آورده شوند و به این ترتیب با سری کردن مقاومت های متغیر با هر فاز روتور، جریان گذرنده از هر سیم پیچی و نیز سرعت روتور قابل کنترل است.

میدان دوار استاتور یک ولتاژ متناوب در هر یک از سیم پیچی های روتور القاء می کند (ولتاژ استاتور $E_1 = U_1$ و ولتاژ القایی روتور را E_2 می نامیم) وقتی که روتور نمی چرخد و متوقف یا ساکن است، فرکانس ولتاژ القاء شده برابر فرکانس ولتاژ منبع قدرت (شبکه) است. $F_1 = F_2$

حال اگر روتور به وسیله محرک دیگری (موتور $\mathbf{DC}$) در جهت گردش میدان مغناطیسی استاتور بچرخد، میزان ولتاژ القایی آن به علت آنکه شار مغناطیسی با سرعت کمتری سیم پیچی روتور را قطع می کند کاهش می یابد.

یعنی هم ولتاژ آن (E_2) و هم فرکانس آن (F_2) کمتر از حالت بدون چرخش روتور (حالت سکون) است. وقتی که روتور با سرعت مساوی سرعت میدان دوار و در جهت چرخش میدان دوار استاتور می‌چرخد، ولتاژ القاء شده و همچنین فرکانس آن تا صفر کاهش می یابد (سرعت روتور سرعت سنکرون است)، برعکس اگر روتور با سرعت سنکرون ولی در خلاف جهت چرخش استاتور بچرخد، ولتاژ القاء شده و همچنین فرکانس آن به دو برابر مقدار اولیه خود (وقتی که روتور بی حرکت بود) میرسد . اگر چه روتور در این آزمایش به وسیله یک موتور خارجی چرخانده می‌شود ولی باید توجه داشت که برای یک سرعت داده شده به روتور، تغییرات ولتاژ القاء شده با تغییرات فرکانس آن هم جهت هستند، حتی اگر روتور خودش به چرخش درآید.

آزمایش های حالت سکون (روتور باز)

۱) مشخصات موتور القایی روتور سیم پیچی شده را یادداشت نمایید.

مشخصات استاتور:

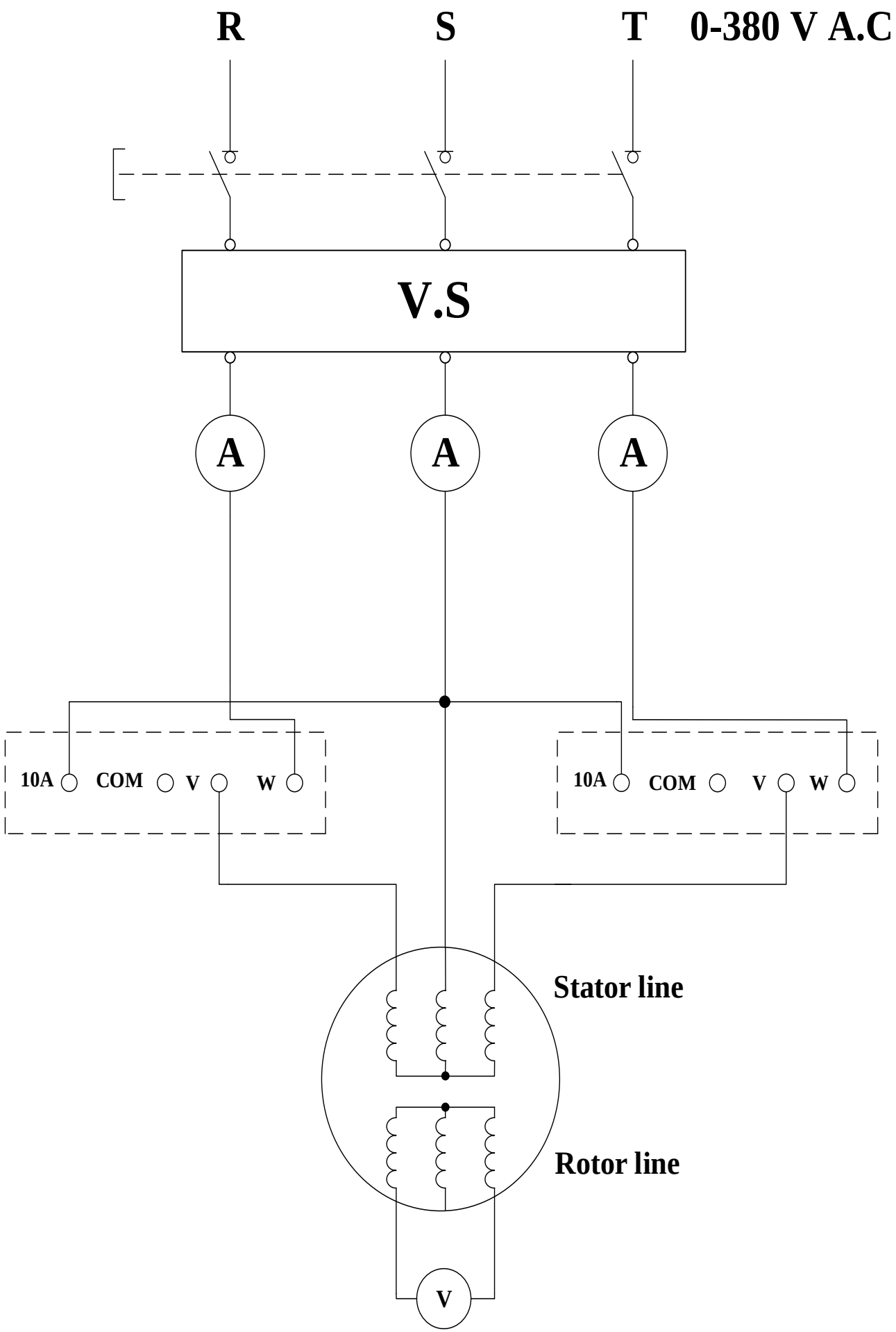
اتصال فازها: ستاره R_P استاتور = I_S= U_S =

مشخصات روتور:

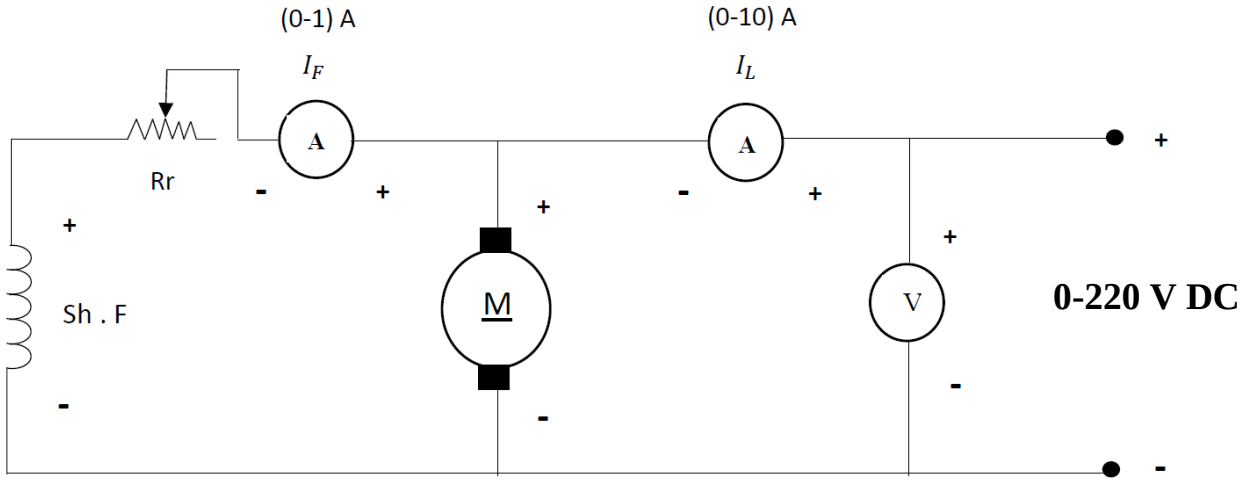
اتصال فازها: ستاره

مشخصات موتور DC: N = I= U=

۲) مدار استاتور و روتور موتور القایی رتور سیم پیچی شده را مطابق شکل ببندید.


R
S
T
0-380 V A.C
V.S
A
A
A
10A
COM
V
W
10A
COM
V
W
Stator line
Rotor line
V

۳) موتور DC کوپل شده با موتور القایی را به صورت شنت ببندید.



مدار الکتریکی موتور شنت (موازی)

۴) پس از کنترل مدار توسط مربی آزمایشگاه کلید برق سه فاز را به موتور وصل کنید، چون دسته کنترل ولتاژ متغیر DC روی صفر است، موتور DC نباید بچرخد، مقادیر زیر را اندازه‌گیری کرده و یادداشت کنید:

$E_1=$ $W_1=$ $W_2=$ $E_2=$

$I_1=$ $I_2=$ $I_3=$

۵) مقادیر زیر را محاسبه کنید.

الف) توان ظاهری

ب) توان حقیقی (اکتیو)

ج) توان غیر حقیقی (راکتیو)

د) ضریب قدرت

۶) با نظارت مربی آزمایشگاه منبع قدرت سه فاز را روشن کرده و همچنین ولتاژ متغیر منبع DC برای راه اندازی موتور DC را نیز از صفر به آرامی افزایش دهید تا سرعت موتور به ۷۵۰ دور در دقیقه برسد،اگر مقدار E_2 از آنچه که در قسمت ۴ بود کمتر است ،منبع قدرت سه فاز را خاموش کرده و با نظارت مربی آزمایشگاه جای دوتا از سه سیم استاتور را با هم عوض کنید.

الف) حالا مقادیر زیر را اندازه گرفته و یادداشت نمایید.

$E_1=$ $W_1=$ $W_2=$ $E_2=$

$I_1=$ $I_2=$ $I_3=$

ب) آیا توان حقیقی نسبت به حالت قبل تغییر کرده است؟

۷) حالا سرعت موتور DC را به ۱۵۰۰ دوردر دقیقه برسانید.

الف) مقادیر زیر را اندازه گیری نموده و یادداشت نمایید.

$E_1=$ $W_1=$ $W_2=$ $E_2=$

$I_1=$ $I_2=$ $I_3=$

ب) ولتاژ موتور DC را به صفر برگردانده و هر دو منبع قدرت الکتریکی را خاموش نمایید.رئوستای سری با تحریک شنت را حداقل کرده و دسته کنترل ولتاژ DC را روی صفر قرار دهید.

ج) در حالت های ۶ و ۷ روتور در جهت موافق گردش میدان دوار استاتور می گردید یا در جهت مخالف ؟ توضیح دهید.

۸) جای دو تا از سیم های وصل شده به استاتور را با هم عوض کنید و با نظارت مربی آزمایشگاه منبع برق سه فاز و منبع DC را روشن کنید و موتور را راه اندازی کنید.

الف) سرعت موتور را به ۷۵۰ دور در دقیقه تنظیم نمایید.

ب) مقادیر زیر را اندازه گرفته و یادداشت نمایید.

$E_1=$ $W_1=$ $W_2=$ $E_2=$

$I_1=$ $I_2=$ $I_3=$

۹) سرعت موتور را به ۱۵۰۰ دور در دقیقه برسانید.

الف) مقادیر زیر را اندازه گرفته و یادداشت نمایید.

$E_1=$ $W_1=$ $W_2=$ $E_2=$

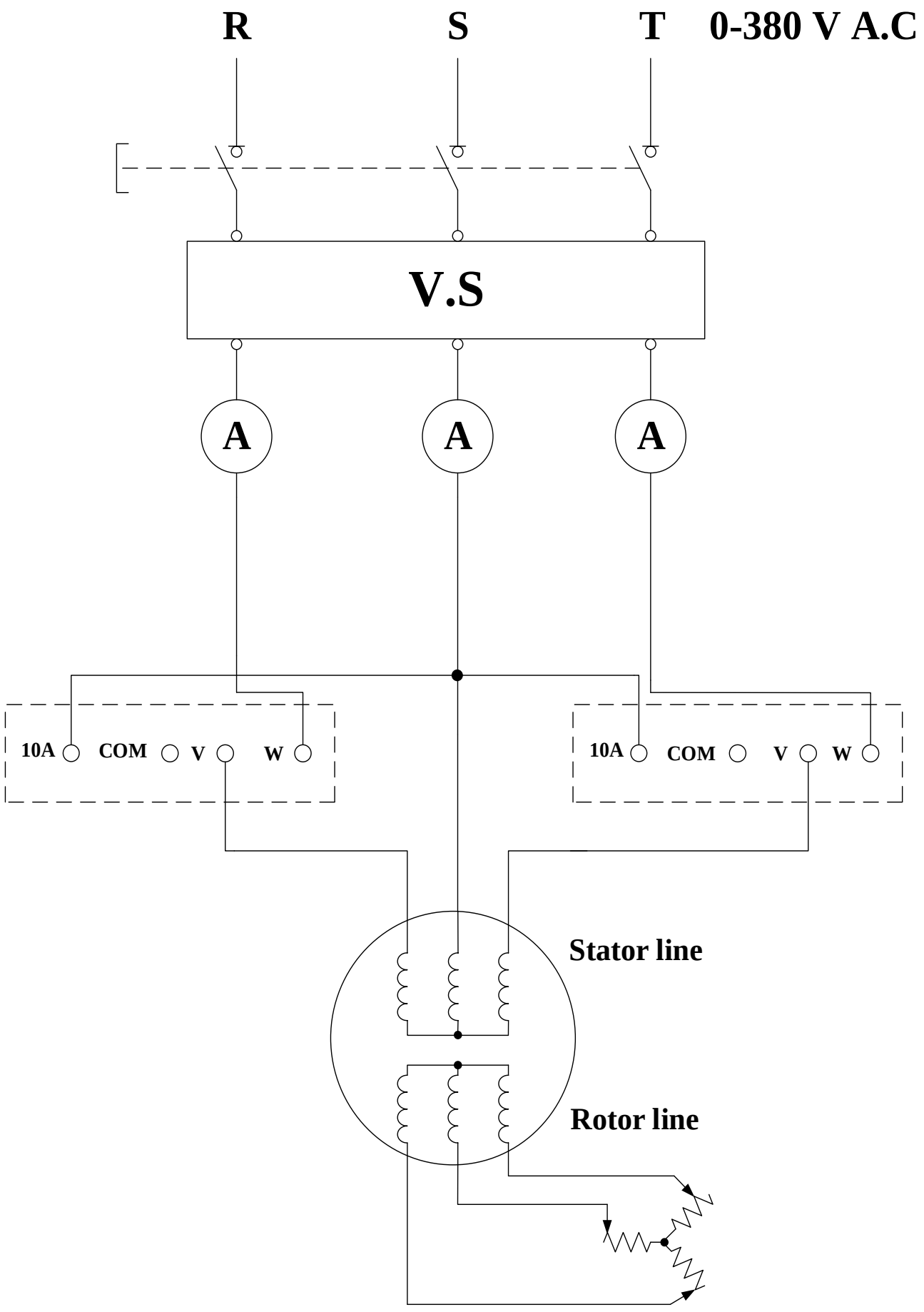
$I_1=$ $I_2=$ $I_3=$

ب) هر دو منبع ولتاژ را خاموش کرده و اعداد به دست آمده را به مربی آزمایشگاه نشان دهید و پس از تایید مقادیر یادداشت شده مدار موتور القایی و DC را باز کنید.

۱۰) موتور را به صورت بی باری مطابق شکل راه اندازی کرده و مقادیر را یادداشت نمایید .

$E_1=$ $W_1=$ $W_2=$

$I_1=$ $I_2=$ $I_3=$


R
S
T
0-380 V A.C
V.S
A
A
A
10A
COM
V
W
10A
COM
V
W
Stator line
Rotor line

محاسبات و پرسش ها:

۱) در حالت های ۸ و ۹ جهت چرخش روتور با جهت چرخش میدان مغناطیسی استاتور موافق بود یا مخالف ؟ توضیح دهید.

۲) چنانچه ولتاژ القاء شده در روتور وقتی سرعت روتور به سرعت سنکرون می‌رسد صفر باشد، در این صورت سرعت سنکرون این موتور چقدر است؟

۳)چنانچه معادله سرعت سنکرون $N_S = \frac{60\,F}{P}$ دور در دقیقه و فرکانس $\mathbf{F = 50}$ سیکل بر ثانیه باشد،تعداد قطب های موتور القایی را به دست آورید.

۴) سرعت لغزش عبارت است از

سرعت روتور - سرعت سنکرون = سرعت لغزش

با توجه به رابطه بالا سرعت لغزش را در حالت های ۴ و ۶ و ۷ و ۸ و ۹ حساب کنید.

۵) درصد لغزش را در حالت های ۴ و ۶ و ۷ و ۸ و ۹ پیدا کنید.

۶) آیا جریان های تحریک موتور القایی روتور سیم پیچی شده به سرعت روتور بستگی دارد ؟

۷) چه مقدار توان برای تولید میدان مغناطیسی در موتور لازم است.

۸) چنانچه مقاومت اهمی هر فاز استاتور موتور القایی روتور سیم پیچی شده ۳ اهم باشد چه مقدار توان صرف تلفات آهنی موتور در آزمایش شماره ۴ میشود ؟

۹) تلفات آهنی در آزمایش شماره ۴ در کدام قسمت موتور (هسته استاتور یا هسته روتور) مصرف می‌شود ؟ شرح بدهید.

۱۰) مشخصه تغییرات سرعت و ولتاژ روتور را روی نمودار نشان دهید، آیا این مشخصه یک خط راست است؟

۱۱) مشخصه تغییرات $E_2 = \mathbf{F}\,(\mathbf{S})$ که در آن $\mathbf{S}$ درصد لغزش است رسم نمایید، آیا این مشخصه یک خط راست است؟

۱۲) با توجه به آزمایش های انجام شده تلفات مکانیکی و آهنی استاتور و آهنی رتور را به دست آورید .

۴-۲) آزمایش های مولد سنکرون:

آزمایش های مولد سنکرون در مجموعه ای از ماشین های الکتریکی که از سه ماشین هم محور (کوپل شده) با هم تشکیل شده انجام می‌شود.

مجموعه ماشین های الکتریکی که آنها را ست سنکرون می نامیم عبارتند از:

۱) ماشین سنکرون که به عنوان ژنراتور سنکرون روی آن آزمایش انجام می‌شود با مشخصات نامی:

اتصال سیم بندی سه فاز به صورت ستاره

$U_L = 230\ V$ $\quad U_P = \frac{230}{\sqrt{3}}$ و در حالت موتوری $\quad I_L = 15.7\ A$ و در حالت مولدی $\quad I_L = 5\ A$

تعداد قطب ها $2P = 4$ و $F = 50\ CPS$ و $P = 6.23\ KW$ $\quad N_S = 1500\ RPM$

۲) ماشین جریان مستقیم (DC) که محرک (گرداننده) مجموعه ماشین ها است و به صورت شنت بسته می‌شود. مشخصات نامی آن عبارتند از:

$P=3.2\ KW$ و $i = 14.5\ A$ و $N = 1500\ RPM$ و $U = 220\ V$

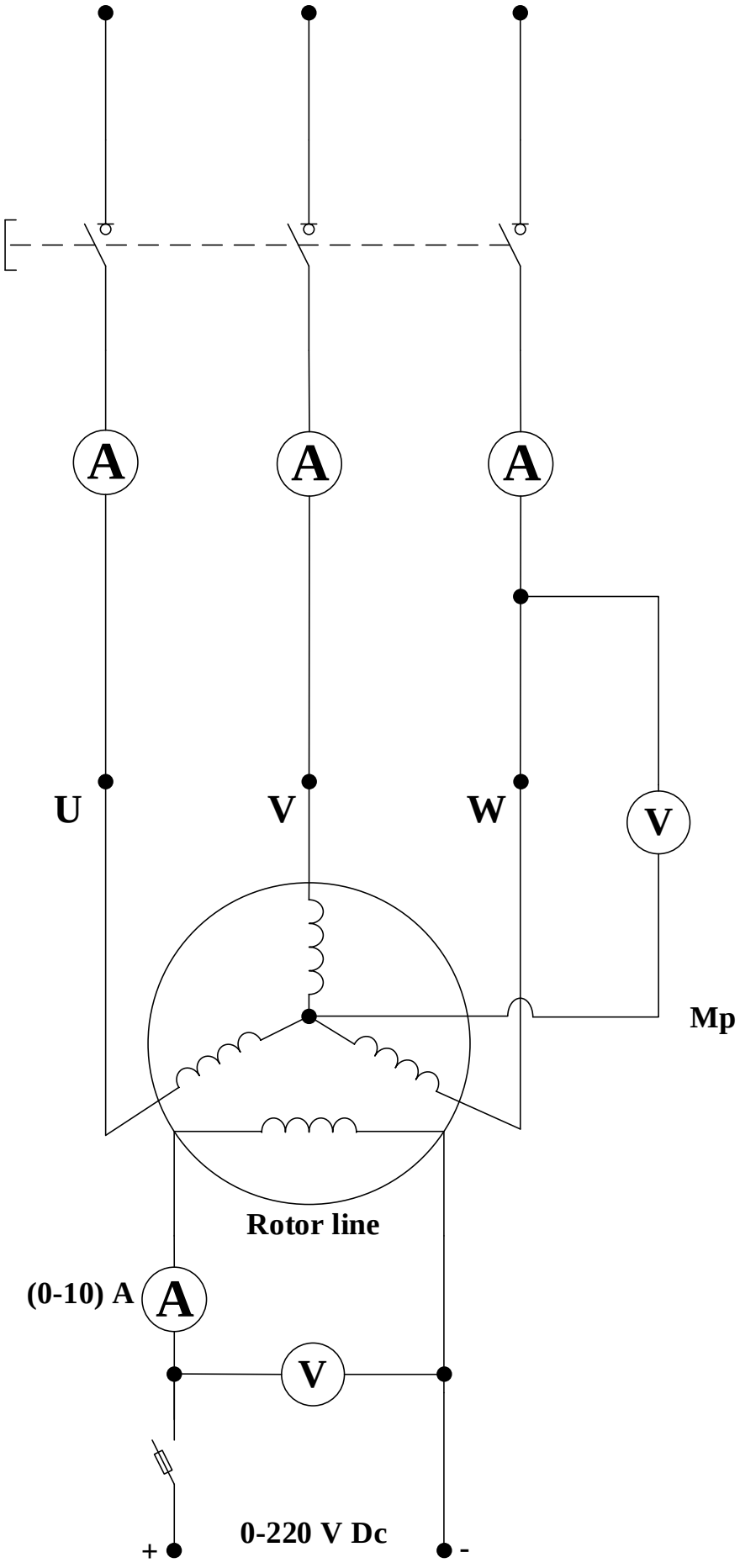
۳) ماشین جریان مستقیم (DC) که جریان تحریک قطب های مغناطیسی روتور را فراهم می‌کند و به آن EXITER هم می‌گویند، به صورت تحریک مستقل بسته می‌شود.

مشخصات آن: $U_G = 220\ V$ و $i = 4.6\ A$ و $P = 0.75\ KW$

برای تحریک قطب های روتور مولد سنکرون، از منبع ولتاژ جریان مستقیم (0-220) ولت که نقشه آن هم در صفحه بعد رسم شده است استفاده کنید.

پس از اینکه درستی اتصالات مدار ماشین مربوطه توسط مربی آزمایشگاه بررسی شد با نظارت مربی موتور DC را راه اندازی نموده و آزمایش های مولد سنکرون را انجام دهید.

Utility or short circuit



آزمایش بی باری:

همانطور که میدانید منظور از آزمایش بی باری تعیین مشخصه $E = F(I_F)$ یعنی نیروی محرکه القایی برحسب تغییرات جریان تحریک قطب های روتور است.برای این کار دو آزمایش بی باری انجام می دهید.

۱) مشخصه بی باری که از $I_F = 0$ شروع شده و جریان تحریک را تا وقتی که $E_P = 140$ ولت بشود به تدریج (و فقط در جهت کم به زیاد) افزایش دهید. اعداد به دست آمده را در جدول بی باری که آن را رفت می‌نامند ثبت نمایید. ولتاژ پسماند را هم یادداشت نمایید.

I_F [A]									
E_p[V]									
N[rpm]									

تذکر:

الف) به دلیل پدیده هیسترزیس از کم و زیاد کردن جریان تحریک برای تنظیم یک ولتاژ دلخواه اجتناب کنید و همواره جریان تحریک را افزایش دهید. در غیر این صورت منحنی بی باری که به دست خواهید آورد از مسیر اصلی خارج خواهد شد.

ب) در تمام طول آزمایش های بی باری، بارداری و اتصال کوتاه سرعت چرخش موتور باید ثابت و مساوی 1500 RPM باشد.

۲) جدول مشخصه بی باری (برگشت) را که از همان ولتاژ $E_P = 140$ شروع شده و به ولتاژ پسماند به ازاء $I_F = 0$ ختم میشود به دست آورید. برای این کار جریان تحریک را به تدریج و در جهت کم شدن تغییر دهید و ولتاژهای E_P را به ازاء I_F های متفاوت به دست آورده ، در جدولی مانند جدول زیر یادداشت نمایید.

I_F [A]									
E_p[V]									
N[rpm]									

آزمایش اتصال کوتاه:

۳) جریان تحریک مولد سنکرون را حداقل قرار داده و سرهای فازهای استاتور را اتصال کوتاه نمایید.

جریان تحریک را آن قدر اضافه کنید تا تقریبا ۱/۱ جریان نامی از فازهای مولد سنکرون بگذرد و دور موتور همواره **N = 1500 RPM** ثابت باشد. توجه نمایید که جریان اتصال کوتاه از I_{SC}= **5.5 A** بیشتر نشود.

I_F [A]									
I_{sc}[A]									
N[rpm]									

4) مقاومت اهمی هر فاز مولد را اندازه گیری کنید.

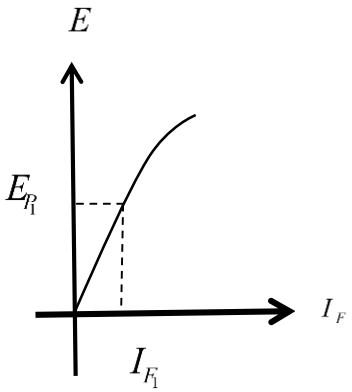
R_{Ph} =

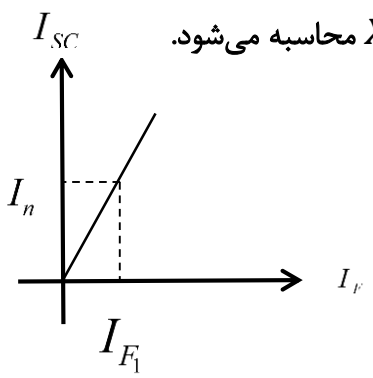
محاسبه امپدانس و راکتانس سنکرون:

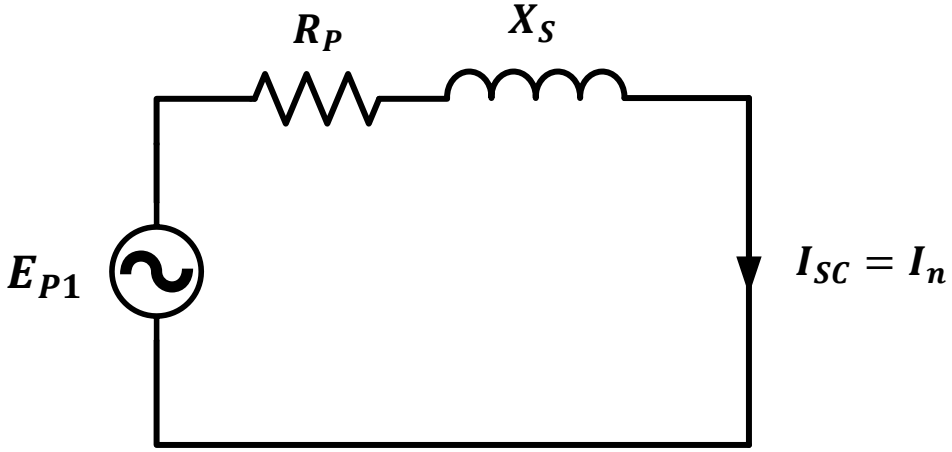
بررسی رفتار ژنراتورهای با توان زیاد در زیر بار و همچنین تعیین مشخصه های خارجی و درصد تنظیم ولتاژهای آنها به روش مستقیم عملا میسر نیست. معمولا این خصوصیات ژنراتورهای متناوب را به روش غیر مستقیم تعیین می-نمایند. برای این کار لازم است مقاومت القایی X_S مولد سنکرون تعیین می‌شود، در این جا دو روش برای محاسبه X_S شرح داده می شود.

۱) روشی که به روش محاسبه *امپدانس سنکرون* یا *روش بن اشنبورگ* معروف است و با داشتن مشخصه بی باری و اتصال کوتاه، مقدار Z_S و سپس X_S محاسبه می‌شود ، فرض کنیم به ازاء I_{F1} در حالت اتصال کوتاه جریان هر یک از فازهای ماشین سنکرون به مقدار نامی $I_{SC} = I_n$ می‌رسد، (مشخصه اتصال کوتاه) در این حالت به ازاء I_{F1} مقدار ولتاژ القایی E_{P1} چقدر است ؟

از روی منحنی بی باری E_{P1} به ازاء I_{F1} به دست می آید و از تقسیم $\frac{E_{P1}}{I_{SC}}$ مقدار Z_S و با داشتن مقاومت اهمی هر فاز ماشین سنکرون مقدار X_S محاسبه می‌شود.



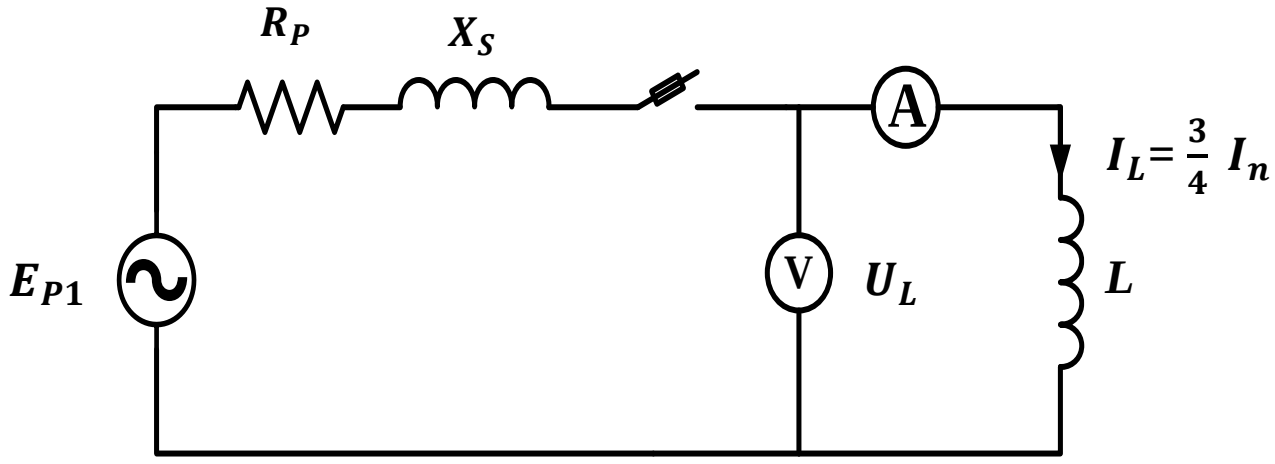


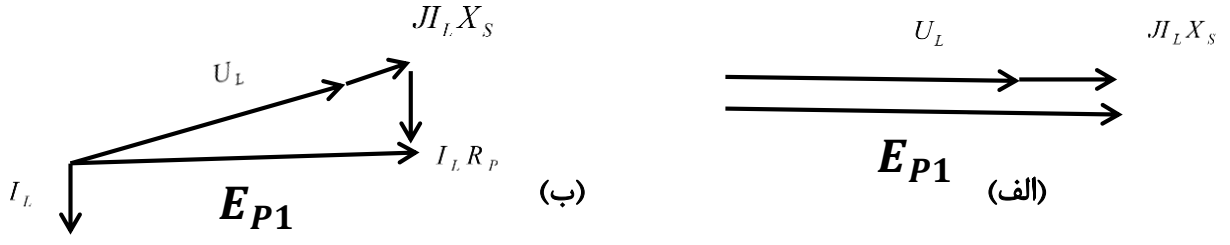


در این روش مقدار X_S از مقدار واقعی آن بیشتر بدست می‌آید.

۲) روش دیگر که گاهی روش تصحیح شده محاسبه امپدانس سنکرون گفته می شود در ادامه توضیح داده شده است.

مقدار ولتاژ بدون بار E_0 را نزدیک ولتاژ نامی یا مساوی آن تنظیم نموده و جریان تحریک آنرا به دست می‌آوریم. فرض کنیم $I_{F0} = E_0$ باشد.در این حالت مولد را به بار القایی خالص ($\cos\varphi = 0$) وصل می‌کنیم و آن قدر بار القایی می‌دهیم تا در ازاء همان جریان تحریک، جریان فازها $\frac{3}{4}$ جریان نامی شوند، جریان و ولتاژ بار را یادداشت می‌کنیم (I_L و U_L) توجه شود که در کلیه حالات ذکر شده سرعت چرخش روتور $N = 1500$ دور در دقیقه ثابت باشد. حال با رسم دیاگرام برداری ولتاژهای بی باری و بارداری مقدار X_S را محاسبه می‌کنیم.





اگر $R_P \ll X_S$ باشد یا $R_P \approx 0$ دیاگرام برداری الف) و اگر R_P قابل ملاحظه باشد. دیاگرام برداری (ب) را بکار می بریم مثلا از دیاگرام (الف) تفاضل E_0 و U_L مقدار $I_L X_S$ را مشخص می‌کند.

$$I_L X_S = E_0 - U_L \qquad \text{و} \qquad X_S = \frac{E_0 - U_L}{I_L}$$

در دیاگرام برداری (ب) با معلوم بودن R_P مقدار $I_L R_P$ معین می‌شود و از دو ضلع مثلث قائم الزاویه، ضلع سوم $U_L + I_L X_S$ معلوم شده و از آنجا X_S قابل محاسبه می‌شود.

$$X_S = \frac{\sqrt{{E_p}^2 - \left(R_p\ I_L\right)^2} - U_L}{I_L}$$

خواسته ها و پرسش ها:

۱) از روی جدول های رفت و برگشت ولتاژ های بی باری، منحنی کار (منحنی میانگین) را به ترتیب به‌دست آورید.

الف) در روی کاغذ میلی متری و با رسم محورهای مختصات عمود بر هم و با انتخاب مقیاس مناسب منحنی رفت را با خط نازک و کم رنگ (یا خط چین کم رنگ) رسم کنید به طوری که محور عمودی محور ولتاژها و محور افقی، محور جریان ها باشد.

ب) منحنی برگشت را مانند منحنی رفت و با همان مشخصات قبلی رسم کنید.

ج) منحنی میانگین ولتاژ را که در بین این دو منحنی واقع است (و حد متوسط دو ولتاژ به ازاء یک جریان تحریک است) با خط پر رنگ و ضخیم روی همان محورهای مختصات قبلی رسم نمایید. به این منحنی میانگین منحنی کار می‌گویند. و از این منحنی است که برای تعیین ولتاژهای بدون بار استفاده می‌شود.

۲) مشخصه اتصال کوتاه مولد ($I_{SC} = \mathrm{F}\ (I_F)$) را روی کاغذ میلی متری طوری رسم کنید که محور عمودی آن محور I_{SC} و محور افقی I_F است.

۳) مقاومت القایی سنکرون X_S را به هر دو روش محاسبه کنید.

۴) درصد تنظیم (رگولاسیون) ولتاژ را برای بارهای خازنی ($\cos\varphi = 0$) و اهمی ($\cos\varphi = 1$) و القایی ($\cos\varphi = 0$) به ازاء ولتاژ نامی $U_P = 133\ \mathrm{V}$ و $\mathrm{i} = 5\ \mathrm{A}$ و با استفاده از X_S به روش امپدانس سنکرون تصحیح شده (روش دوم) محاسبه نمایید. تعیین درصد تنظیم ولتاژ را که بدون آزمایش بارداری انجام می‌شود روش درصد تنظیم غیر مستقیم می‌گوییم.

۵) درصد تنظیم ولتاژ را برای بار $\cos\varphi = 0.8$ پس فاز به ازاء ولتاژ نامی$\mathrm{F} = 50\ \mathrm{CPS} = 133$ ولت و جریان بار $\mathrm{i} = 5$ آمپر و با X_S تصحیح شده محاسبه نمایید.

۶) آیا تعیین X_S به روش امپدانس سنکرون (روش اول) مورد استفاده ای دارد ؟ شرح آن را بنویسید.

تعیین مشخصه های خارجی مولد سنکرون:

مدار های موتور و مولد DC را مانند آزمایش قبل ببندید و پس از کنترل مدار توسط مربی آزمایشگاه آنها را راه اندازی کنید.

الف) سه فاز مولد سنکرون را به بار اهمی $\cos\varphi = 1$ وصل کنید و جدول مشخصه خارجی را تکمیل نمایید.

$I_F =$ F = 50 CPS N = 1500 RPM $\cos\varphi = 1$

U_P[V]									
I_L[A]									5

ب) سه فاز مولد سنکرون را به بار القایی (سلفی) $\cos\varphi = 0$ وصل کنید و جدول مشخصه خارجی را تکمیل نمایید.

$I_F =$ F = 50 CPS N = 1500 RPM $\cos\varphi = 0$

U_P[V]									
I_L[A]									5

ج) سه فاز مولد را به بار خازنی $\cos\varphi = 0$ وصل کنید و جدول مشخصه خارجی را تکمیل نمایید.

$I_F =$ F = 50 CPS N = 1500 RPM $\cos\varphi = 0$

U_P[V]									
I_L[A]									5

خواسته ها و پرسش ها:

۱) مشخصه خارجی (بارداری) مولد سنکرون در حالت های بار اهمی و سلفی و خازنی در روی کاغذ میلی متری و روی یک دستگاه محورهای مختصات و با مقیاس مناسب رسم نمایید به طوری که محور عمودی محورولتاژهاباشد.
$U_P = \mathrm{F}\ (I_L)$

۲) علت تفاوت منحنی ها را بررسی نمایید.

۳) درصد تنظیم ولتاژ (رگولاسیون) را برای هر سه نوع بار در جریان $I_L = 5\ \mathrm{A}$ به روش مستقیم به دست آورید و با روش محاسبه درصد تنظیم غیر مستقیم مقایسه نمایید.

۴) قطب برجسته یا صاف بودن مولد سنکرون را به کمک آزمایش های انجام شده بررسی نمایید.

۵-۲) موازی کردن ژنراتور سنکرون با شبکه قدرت الکتریکی:

یادآوری: شرایط موازی کردن ژنراتورهای سنکرون با هم برای تغذیه یک بار منفرد، با شرایط موازی کردن ژنراتورهای سنکرون با شبکه قدرت الکتریکی، پس از موازی شدن مانند هم می‌باشند. و در ضمن، کار نحوه تقسیم بار و عملکرد ژنراتورهایی که بار منفردی را تغذیه می کنند با شیوه تبادل توان های اکتیو و راکتیو ژنراتورهای سنکرون موازی شده با شبکه قدرت نامحدود تفاوت می کند. در این آزمایشگاه ژنراتور سنکرون را با شبکه سراسری قدرت موازی می‌کنیم. ایتدا شرایط موازی کردن را مرور می‌نماییم.

شرایط موازی کردن ژنراتورها با شبکه قدرت الکتریکی:

۱) مقادیر ولتاژهای موثر RMS ژنراتور با ولتاژهای موثر شبکه قدرت مساوی باشند.

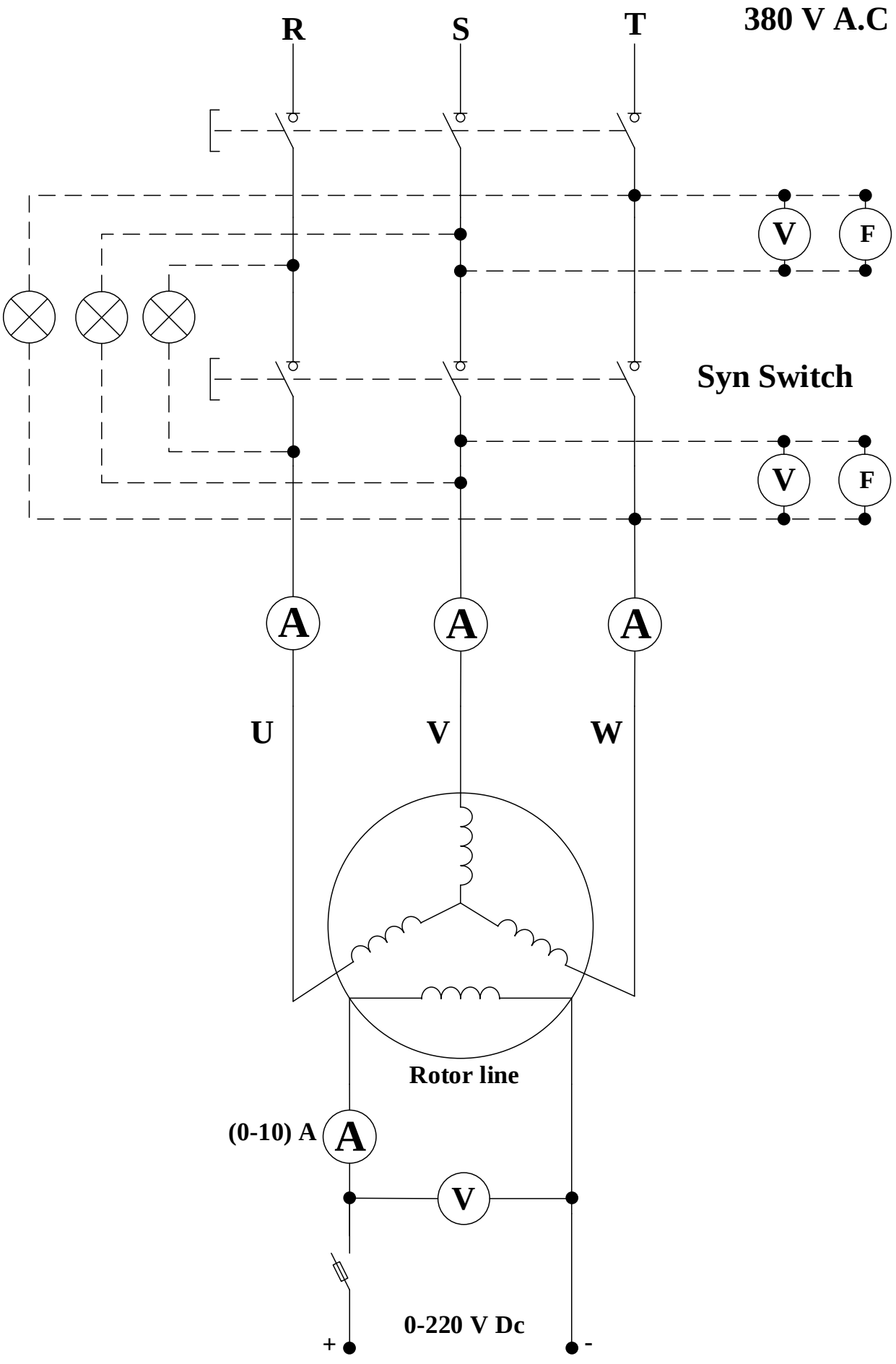
۲) توالی فازهای ژنراتور و شبکه یکسان باشند.

۳) فرکانس های آنها مساوی باشد.

۴) زاویه فازهای آن ها مساوی باشد. (هم فاز)

۵) برای موازی کردن مولد سنکرون با شبکه مداری مانند مدار زیر تشکیل می‌دهیم.

۶) اتصالات R و S و T شبکه را به سرهای بالایی کلید سنکرونیزاسیون وصل نمایید.


R
S
T
380 V A.C
V
F
Syn Switch
V
F
A
A
A
U
V
W
Rotor line
(0-10) A
A
V
0-220 V Dc
+
-

فراهم سازی شرایط موازی کردن مولد سنکرون با شبکه قدرت :

شرط ۱) به وسیله ولتمتر و یا یک ولتمتر دوبل کنترل می‌شود.

شرط ۲) توسط سه ولتمتر که دو برابر ولتاژ شبکه را بتوانند اندازه گیری کنند یا سه لامپ که دو برابر ولتاژ شبکه را بتوانند تحمل کنند کنترل می‌شود.

چنانچه ولتمترها با هم صفر یا ماکزیمم شوند و یا لامپ ها با هم پر نور و با هم خاموش شوند شرط توالی فازها برقرار شده است و اگر اینطور نباشد باید جای اتصال دو فاز را به کلید سنکرونزاسیون تغییر داد.برابر کردن ولتاژها با تغییر جریان تحریک قطب های روتور و سرعت روتور عملی می شود.

شرط ۳) برابری فرکانس ها با تغییر سرعت روتور امکان پذیر می‌شود.هنگامی که مقدار فرکانسها به هم نزدیک شدند تغییر ولتاژهای دو سیستم و در نتیجه پر نور و خاموش شدن لامپ ها بسیار آهسته و کند صورت می‌گیرد.زمانی که لامپ ها کاملا خاموش شدند می‌توانیم کلید سنکرونیزاسیون را ببندیم.

شرط ۴) وقتی که لامپ ها خاموش می شود برقرار میشود البته لحظه خاموشی مطلق لامپ ها را که ولتاژ دو سر آن ها صفر می شود نمی توان فهمید زیرا وقتی که ولتاژ لامپ ها از ۴۰ یا ۳۰ ولت کمتر شود خاموش می شوند چنانچه بخواهیم لحظه ای که ولتاژ دو سر لامپ ها صفر است تشخیص دهیم می‌توانیم از ولتمترهایی که در جهت نزدیک به صفر آنها خیلی باز و گسترده است استفاده کنیم و یا اینکه دستگاه سنکرونسکوپ را بکار ببریم.

سنکرونسکوپ موتوری است که اختلاف زاویه فازهای دو سیستم را نشان می‌دهد. اختلاف فاز صفر به معنی هم فاز بودن دو سیستم است. در این حالت عقربه رو به بالا (عمودی یا ساعت ۱۲) می‌ایستد و وقتی عقربه رو به پایین (ساعت ۶) قرار گیرد اختلاف فاز ۱۸۰ را نشان می‌دهد. اگر فرکانس ها اندکی تفاوت داشته باشند، عقربه با کندی به راست یا چپ می‌چرخد. اگر فرکانس ژنراتور قدری بیشتر از فرکانس شبکه باشد، که یک حالت مطلوب و مناسب است ،عقربه در جهت تند (ساعتگرد) به آرامی می‌چرخد. زمانی که عقربه رو به بالا بایستد یا به آرامی در جهت ساعتگرد حرکت کند، لحظه مناسب وصل کردن کلید سنکرونیزاسیون وقتی است که از ساعت ۱۲ (رو به بالا) عبور کند.

از سنکرونسکوپ به تنهایی نمی توان استفاده کرد زیرا سنکرونسکوپ فقط یک فاز از دو سیستم را کنترل می‌کند (مثلا فازهای R) و در مورد توالی فازها اطلاعاتی نمی‌دهد.

در ژنراتورهای نیروگاه ها که می‌خواهند به سیستم قدرت الکتریکی نامحدود متصل شوند. تمام فرآیند موازی‌کردن ژنراتور با شبکه به طور خودکار توسط کامپیوتر انجام می‌شود. ولی در مولدهای سنکرون با توان کم و کوچک، اپراتور می تواند با شرح و مراحلی که قبلا توضیح داده شدمولد را به شبکه برق متصل نماید.

سنکرونسکوپ یک موتور کوچک است. که استاتور آن دو قطب دارد چنانچه به استاتور آن ولتاژ شبکه داده شود. به روتور آن ولتاژ ژنراتور را وصل می کنند و یا برعکس وقتی به استاتور ولتاژ ژنراتور و به روتور ولتاژ شبکه را وصل نمی نمایند. روتور یا سه فاز سیم پیچی میشود و یا دو فاز که در صورت دو فاز بودن یک مقاومت **R** به یک فاز و یک سلف اندوکسیون یا مقاومت القایی X_L به فاز دیگر اضافه می‌شود تا جریان های سیم پیچی های دو فاز تقریبا از نظر الکتریکی ۹۰ درجه اختلاف فاز پیدا کنند به این ترتیب یک میدان دوار در روتور تولید می‌شود. این موتور بی بار در اثر اختلاف فرکانس روتور و استاتور گردش می‌کند. وقتی فرکانس ها مساوی شوند، روتور نمی‌چرخد و می‌ایستد. اما زمانی که عقربه رو به بالا بایستد، نه تنها فرکانس ها مساوی شده اند که اختلاف فاز بین موج های ولتاژ مولد سنکرون و شبکه نیز صفر شده است.

فراهم کردن شرایط سنکرونیزاسیون:

مدار های موتور **DC** و تحریک روتور مولد سنکرون را مانند آزمایش های قبل ببندید و آنها را آماده کار نمایید. برای مولد سنکرون نیز مدار این صفحه را ببندید.

دستگاه های توالی سنج، لامپ های سنکرونیزاسیون و سنکرونسکوپ از داخل تابلو بین ترمینال های کلید سنکرونیزاسیون وصل شده‌اند. نیازی نیست شما آنها را وصل کنید پس از اینکه مدارات توسط مربی آزمایشگاه کنترل شد و در صورت درستی اتصالات از ابتدا تا آخر آزمایش تحت نظارت مربی آزمایشگاه، این آزمایش را انجام دهید. ابتدا موتور **DC** و مولد **DC** را راه اندازی کنید. سرعت موتور را به **1500 RPM** نزدیک کنید. جریان روتور مولد سنکرون را زیاد کنید تا ولتاژ مولد سنکرون با ولتاژ شبکه برق مساوی شود. وقتی سرعت موتور **DC** تقریبا **1500 RPM** شود فرکانس برق مولد تقریبا **50 CPS** و نزدیک فرکانس برق شبکه می‌شود. در این حالت لامپ ها به آرامی خاموش و روشن می‌شوند و عقربه سنکرونسکوپ به آرامی می چرخد هنگامی که لامپ ها خاموش هستند و عقربه رو به بالا عبور می‌کند و ولتاژها هم برابر هستند می‌توانید کلید سنکرونیزاسیون را وصل کنید.

۱) پس از اینکه عمل سنکرونزاسیون انجام شد مقادیر جریان تحریک روتور و ضریب قدرت و I_S جریان ژنراتور را در وسط جدول (روی خط چین **AB**) بنویسید. در این حالت هیچ‌گونه توانی (اکتیو و راکتیو) بین مولد و شبکه برق مبادله نمی‌شوند.به این علت این حالت را شناور می‌نامند. آیا در این حالت ولتاژ و فرکانس ژنراتور تغییر می کند؟

A

I_F		
I_S		
$\cos\varphi$		

B

۲) جریان تحریک قطب ها را افزایش داده و در هر مرحله I_F و I_S و $\cos\varphi$ را در سمت راست **AB** بنویسید و افزایش را تا جایی که $I_S = I_n$ شود ادامه دهید.

۳) جریان تحریک را به حالت اول برگردانید (اندازه های اعداد روی خط چین **AB**) و جریان تحریک را به تدریج کم کنید و در هر مرحله I_F و I_S و $\cos\varphi$ را یادداشت نمایید تا $I_S = I_n$ شود این مقادیر را در سمت چپ بنویسید.

۴) جریان تحریک را افزایش دهید تا مساوی حالت شناور شود مجددا مقادیر I_F و I_S و $\cos\varphi$ را در جدول زیر روی خط چین **AB** بنویسید.

A

I_F		
I_S		
$\cos\varphi$		

B

۵) حالا جریان تحریک قطب های روتور را ثابت نگه داشته توان موتور (محرک) را زیاد کنید مقادیر جریان استاتور و ضریب قدرت را در هر مرحله در سمت راست (**AB**) بنویسید آزمایش را ادامه دهید تا جریان مولد و شبکه مساوی جریان نامی شوند.

۶) توان موتور محرک را کم کنید تا مجددا به حالت شناور (**AB**) برسد توان موتور را به تدریج کم کنید و در هر مرحله I_F و I_S و $\cos\varphi$ را در سمت چپ (**AB**) یادداشت نمایید تا جریان استاتور به مقدار نامی برسد.

۷) مجددا ژنراتور و شبکه برق را به وضعیت شناور برگردانید برای این کار توان موتور را که کم کرده بودید آن را زیاد کنید تا جریان مولد و شبکه برق به مقدار حالت شناور برسد.

۸) در این مرحله، آزمایش با توان محرک ثابت ($P_a = P_m = \text{CONST}$) انجام می‌شود.

توان موتور را زیاد کنید تا جریان ژنراتور و شبکه برق ۳ آمپر شود. حالا جریان تحریک مولد سنکرون را به آرامی افزایش دهید تا $\cos\varphi = 1$ شود مقادیر I_F و I_S و $\cos\varphi$ را روی خط چین (**AB**) جدول ۳ بنویسید.

جریان تحریک را زیاد کنید و در هر مرحله مقادیر I_F و I_S و $\cos\varphi$ را در سمت راست (**AB**) بنویسید تا جریان $I_S = I_n$ شود.

A

I_F		
I_S		
$\cos\varphi$		

B

۹) جریان تحریک مولد سنکرون را کم کنید تا جریان ژنراتور و شبکه ۳ آمپر شود حالا جریان تحریک مولد سنکرون را باز هم کم کنید و در هر مرحله جریان I_F و I_S و $\cos\varphi$ را یادداشت نمایید تا $I_S = I_n$ شود.

خواسته ها و پرسش ها:

۱) دیاگرام برداری E و U و I_S را در آزمایش های زیر رسم نمایید.

الف) در آزمایش (۱) حالت شناور

ب) در آزمایش (۲) وقتی که $I_S = I_n$ باشد.

ج) در آزمایش (۳) وقتی که $I_S = I_n$ باشد.

۲) منحنی تغییرات (I_F) $I_S = F$ مربوط به جدول شماره (۱) را روی کاغذ میلی متری رسم نمایید. (چون این منحنی به ازاء توان اکتیو $P_a = 0$ رسم شده است آن را به همین نام مشخص نمایید.)

۳) در دو آزمایش ۵ و ۶ دیاگرام برداری E و U و I_S را وقتی که $I_S = I_n$ باشند رسم نمایید.

۴) دیاگرام برداری E و U و I_S را در دو حالت زیر رسم کنید.

الف) در آزمایش (۸) وقتی که $I_S = I_n$ است.

ب) در آزمایش (۹) وقتی که $I_S = I_n$ است.

۵) منحنی تغییرات (I_F) $I_S = F$ را با استفاده از اعداد جدول شماره (۳)، روی صفحه مختصات منحنی جدول شماره (۱) که قبلا در پرسش شماره ۲ رسم کرده اید، رسم نمایید و آنرا منحنی $P > 0$ بنامید.

۶) ضریب قدرت نامی $\cos\varphi_n$ ژنراتور را به دست آورید.

۷) با آزمایش هایی که انجام داده اید حالا می توانید بگویید که در حالت کار موازی سنکرون با شبکه برق، تغییر جریان تحریک موتور DC و تغییر جریان تحریک قطب های روتور ژنراتور سنکرون چه تاثیری در شبکه برق می‌گذارند

و اگر مولد سنکرون به طور منفرد باری را تغذیه کند (با شبکه موازی نباشد) تغییرات این دو چه تاثیری در کار مولد خواهد داشت.

۹) اکر در حالت کار موازی مولد سنکرون با شبکه برق، موتور (DC) خاموش شود، ماشین سنکرون چه رفتاری خواهد داشت.

۱۰) چرا تقریبا همه نیروگاه های بزرگ دارای مولدهای سنکرون هستند.

مقادیرنامی برخی از ماشینهای الکتریکی آزمایشگاه:

۱) مشخصات ست DC – DC

مشخصات نامی موتور DC:

U_m = 220 V I_m = 11.5 A N = 1400 R.P.M P = 2 KW

R_a = 2 Ω R_F = 353 Ω R_{se} = 0.375 Ω

مشخصات نامی ژنراتور DC:

U_g = 220 V I_g = 5.5 A N = 1500 R.P.M P = 1 KW

R_a = 3 Ω R_F = 1180 Ω R_{se} = 0.4 Ω

۲) مشخصات ست موتور القایی روتور قفسی و ماشین DC

مشخصات نامی موتور:

U_m = 380 V I_L = 7 A 2P = 4 F = 50 C.P.S

اتصال سیم بندی استاتور مثلث است.

R_F = 7.2 Ω N = 1500 R.P.M P = 3 KW

مشخصات ماشین DC (ژنراتور):

U_g = 220 V I_g = 5.5 A N = 1500 R.P.M P = 1 KW

R_a = 2.9 Ω R_F = 1375 Ω R_{se} = 0.4 Ω

۳) مشخصات ست سنکرون

مشخصات نامی ماشین الکتریکی سنکرون:

اتصال سیم بندی استاتور به صورت ستاره است. U_L = 220 V

حالت ژنراتور I_L = 6 A در حالت موتور I_L = 5A U_P = 135

مقاومت روتور Rr= 2.3 Ω مقاومت هر فاز استاتور R_p = 0.6 Ω

P = 5KW F = 50 C.P.S 2P = 4 تعداد قطب های روتور و استاتور

مشخصات مولد DC تحریک کننده (Exiter) ژنراتور:

U_g = 220 V I_g =4.61 N = 1500 R.P.M P =0.75 KW

R_a = 7,2 Ω R_F = 416 Ω R_{se} = 0.6 Ω

مشخصات نامی موتور DC:

U_m = 220 V I = 18.5 A N = 1500 R.P.M P =3.2 KW

R_a =1.6 Ω R_F = 232 Ω

۴) *مشخصات ست موتور القایی روتور سیم پیچی شده و مولد DC*

مشخصات نامی موتور القایی:

اتصال سیم بندی استاتور و روتور به صورت ستاره است.

هر فاز U_L = 380 V I_L = 6 A 2P = 4 R_S = 3 Ω

مشخصات نامی مولد DC:

R_F = 1625 Ω R_s = 0.45 Ω U_g = 220 V I_g = 5.5 A
P = 1 KW R_a = 218 Ω

۵) *مشخصات نامی ست ترانسفورماتور*

ست ترانسفورماتور از سه ترانسفورماتور یک فاز که توان ظاهری هر یک ۶۰۰ ولت آمپر می باشد تشکیل شده است.

مشخصات نامی هر ترانسفورماتور عبارتند از:

S = 600 V.A U_1 = 120 V U_2 = 240 V

در طرف فشار قوی سر دیگر هم (سر وسط) در روی تابلو در دسترس است.

منابع:

۱) ماشینهای الکتریکی پروفسور بیم‌بهارا

۲) ماشینهای الکتریکی استفان‌جی‌چاپمن

۳) ماشینهای الکتریکی **ac**و**dc** دکتر مطلبی

۴) آزمایشگاه ماشینهای الکتریکی دانشکده فنی و حرفه‌ای انقلاب اسلامی