

مقصور دانشجو

آزمایشگاه ماشین‌های الکتریکی (1)

دانشگاه آزاد اسلامی واحد

تهیه شده در شرکت مهندسی مطالعاتی نوسان پرداز



مقررات آزمایشگاه ماشین‌های الکتریکی

1- قبل از حضور در آزمایشگاه، قبلاً تئوری آزمایش را از گزارش کار و سایر مراجع به دقت مطالعه نمائید.

2- قبل از اینکه مدار توسط استاد آزمایشگاه کنترل شود به هیچ وجه کلید مدار را وصل نکنید. با توجه به بالا بودن ولتاژ، چنانچه مدار آزمایشگاه اشتباه وصل شده باشد احتمال برق‌گرفتگی و آتش‌سوزی وجود دارد.

3- در راه اندازی موتور جریان مستقیم همیشه به خاطر داشته باشید که ولتاژ اتوترانسفورماتور قبل از شروع آزمایش روی مقدار صفر تنظیم شده باشد. در غیر اینصورت احتمال سوختن موتور به دلیل جریان راه‌اندازی بالا وجود دارد.

4- هنگام انجام آزمایش و برقرار بودن مدار، از جابجایی سیم‌های رابط و قطع و وصل مدار خودداری کنید.

5- هنگامی که در مقادیر زیاد جریان کار می‌کنید سعی کنید آزمایش را در کمترین مدت ممکن انجام داده و پس از آن، مدار را خاموش کنید.

6- پس از اتمام آزمایش، ابتدا ولتاژ منبع تغذیه را به آرامی صفر کرده سپس کلید مدار را قطع کنید. عدم رعایت این امر موجب ایجاد اضافه ولتاژ و سوختن دستگاهها می‌گردد.

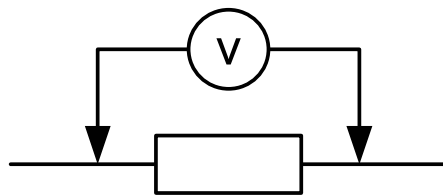
7- گزارش کار در هفته بعد از اتمام آزمایش بایستی تحویل استاد گردد. گزارش کار در کاغذهای با اندازه A4 تهیه گردد.

یادآوری: استفاده صحیح از دستگاههای اندازه گیری

استفاده صحیح از دستگاههای اندازه گیری در انجام آزمایشها برای جلوگیری از آسیب دیدن دستگاهها و استخراج نتایج صحیح از اهمیت بالایی برخوردار است. لذا قبل از شروع آزمایشها لازم است دانشجویان استفاده صحیح از ولت‌متر، آمپر‌متر و وات‌متر را یاد بگیرند.

الف) ولت‌متر

ولت‌متر در مدارات بصورت موازی وصل می‌شود و اختلاف ولتاژ دو نقطه از مدار را اندازه گیری می‌کند. از آنجا که مقاومت داخلی ولت‌متر بسیار زیاد است اگر بصورت اشتباه (سری) در مدار قرار گیرد مانع عبور جریان می‌شود ولی خود آسیبی نمی‌بیند.

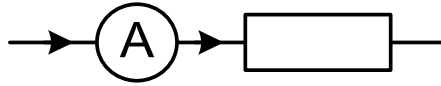


شکل 1: اتصال صحیح ولت‌متر

ب) آمپر‌متر

آمپر‌متر در مدارات بصورت سری وصل می‌شود و جریان عبوری را اندازه گیری می‌کند. از آنجا که کل جریان بار از آمپر‌متر عبور می‌کند برای اینکه خود آمپر‌متر به عنوان بار عمل نکند مقاومت داخلی آن را بسیار کوچک انتخاب می‌کنند.

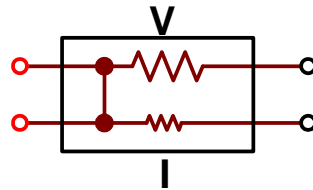
کنند. در نتیجه اگر آمپر متر اشتباها بصورت موازی با مدار قرار گیرد جریان بسیار زیادی از آن عبور کرده و باعث اتصال کوتاه و سوختن آمپر متر می‌گردد.



شکل 2: اتصال صحیح آمپر متر

ج) واتمتر

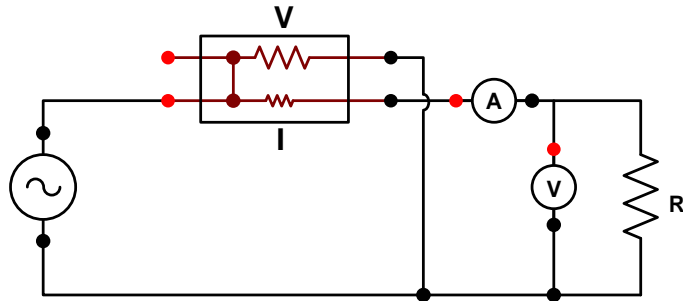
واتمتر دستگاهی است که توان عبوری را با ضرب $VI \cos \theta$ محاسبه می‌کند لذا لازم است جریان و ولتاژ را اندازه گیری نماید. برای همین منظور دستگاه دارای دو مدار و دو ورودی جداگانه برای ولتاژ و جریان می‌باشد. اما این دو ورودی یک نقطه مشترک دارند (فیش قرمز جریان و فیش سیاه ولتاژ) که این موضوع باید در بستن مدارات آزمایش حتما در نظر گرفته شود تا از به وجود آمدن اتصال کوتاه در مدار جلوگیری شود.



شکل 3: ساختمان داخلی واتمتر

نحوه قرار دادن صحیح این نوع واتمتر بدین صورت است که ابتدا سیم پیچ جریان را در مدار بصورت سری قرار می‌دهیم بصورتی که فیش قرمز ورودی (متصل به منبع) و فیش سیاه خروجی (متصل به بار) باشد. سپس فیش سیاه سیم پیچ ولتاژ را به نول وصل می‌کنیم. باید توجه شود که فیش قرمز ولتاژ از طریق مدارات داخلی به فاز وصل شده است و نیازی به اتصال دوباره آن نیست (برای

نشان دادن این مفهوم یک صفحه مسی کوچک خارجی نیز فیشهای قرمز ولتاژ و جریان را اتصال کوتاه کرده است).



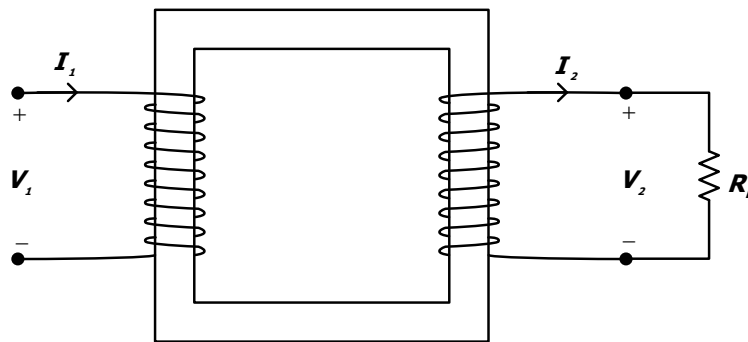
شکل 4: استفاده صحیح از واتمتر

آزمایش 1: مدار معادل ترانسفورماتور تک‌فاز

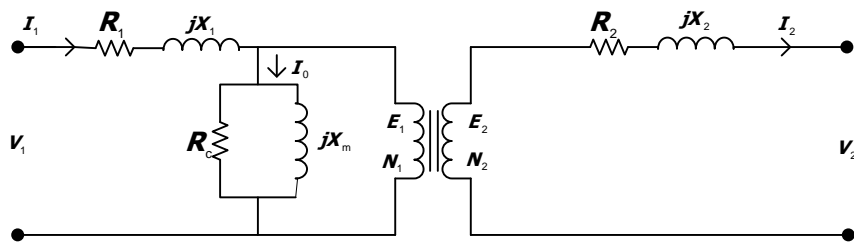
هدف: انجام آزمایشهای مدار باز و اتصال کوتاه و محاسبه پارامترهای مدار معادل

مقدمه

یک ترانسفورماتور تک‌فاز شامل سیم‌پیچی‌های اولیه و ثانویه و هسته مغناطیسی است که وظیفه تبدیل سطح ولتاژ را بعهده دارد و شماتیک آن بصورت زیر است:



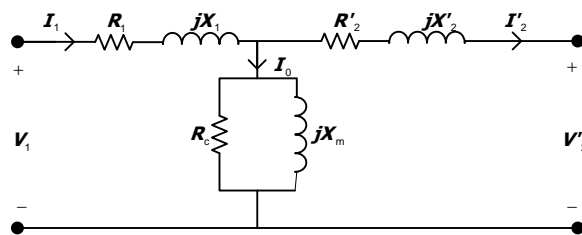
جهت بررسی رفتار ترانسفورماتور لازم است که مدار معادل الکتریکی آن را داشته باشیم. هرکدام از سیم‌پیچی‌های اولیه و ثانویه دارای مقاومت اهمی هستند که با $R1$ و $R2$ نشان داده می‌شوند. هم‌چنین مقداری از شار موجود در سیم‌پیچی‌های اولیه و ثانویه فقط خود سیم‌پیچی‌ها را دور می‌زنند که باعث ایجاد شار نشتی در هر کدام از سیم‌پیچی‌ها می‌گردند که با راکتانس‌های $X1$ و $X2$ نشان داده می‌شوند. از طرفی بخاطر اینکه هسته ترانسفورماتور ایده‌آل نیست در حالت بی‌باری ترانسفورماتور جریانی از سمت اولیه کشیده می‌شود که صرف مغناطیس کردن هسته و تلفات آهنی می‌گردد که مولفه‌های این جریان به ترتیب



شکل 1-1: مدار معادل کامل یک ترانسفورماتور تکفاز

چنانچه مقادیر ثانویه را به سمت اولیه منتقل کنیم مدار معادل ترانسفورماتور به صورت

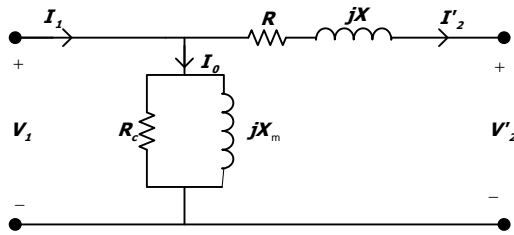
زیر درمی آید:



شکل 1-2: مدار معادل انتقال یافته به سمت اولیه

که در آن $R'_2 = R_2 \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2$ ، $X'_2 = X_2 \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2$ ، $V'_2 = V_2 \left(\frac{N_1}{N_2}\right)$ و $I'_2 = I_2 \left(\frac{N_2}{N_1}\right)$.

با بکار بردن کمی تقریب و انتقال شاخه موازی به ابتدای مدار داریم:



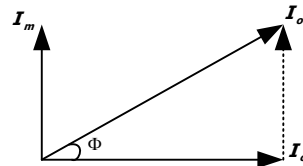
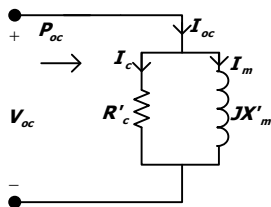
$$R = R_1 + R_2'$$

$$X = X_1 + X_2'$$

شکل 1-3: مدار معادل تقریبی انتقال یافته به سمت اولیه

محاسبه پارامترهای مدار معادل

جهت محاسبه پارامترها در مدار معادل تقریبی انتقال یافته به سمت اولیه، پارامترهای شاخه موازی (R_c و X_m) با استفاده از آزمایش مدار باز (بی‌باری) و پارامترهای شاخه سری (R و X) با استفاده از آزمایش اتصال کوتاه بدست می‌آیند. با توجه به اینکه آزمایش مدار باز در سمت فشار ضعیف (ثانویه $110V$) انجام می‌شود پس از محاسبه لازم است مقادیر آنها نسبت به طرف اولیه حساب شوند. مقادیر شاخه موازی را در سمت اولیه با R_c و X_m و در سمت ثانویه با R_c' و X_m' نشان می‌دهیم. روابط به صورت زیر می‌باشند.



$$R_c' = \frac{V_{oc}^2}{P_{oc}} \Rightarrow I_c = I_{oc} \cos \varphi = \frac{P_{oc}}{V_{oc}}, \quad R_c' = \frac{V_{oc}}{I_c}, \quad P_{oc} = V_{oc} I_{oc} \cos \varphi$$

$$X_m' = \frac{V_{oc}}{I_m} \Rightarrow I_m = \sqrt{I_{oc}^2 - I_c^2}$$

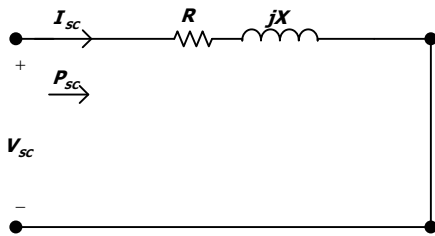
که در روابط فوق V_{oc} ، I_{oc} ، P_{oc} و مقادیر مربوط به نقطه کار ولتاژ نامی ($110V$) هستند.

مقادیر شاخه موازی انتقال یافته به سمت اولیه به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{220}{110}, \quad X_m = X'_m \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2, \quad R_C = R'_C \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2$$

مقادیر پارامترهای شاخه سری نیز از آزمایش اتصال کوتاه به شکل زیر بدست می‌آیند

(در این حالت از شاخه موازی صرف‌نظر می‌کنیم):



$$Z = \frac{V_{SC}}{I_{SC}}, \quad R = \frac{P_{SC}}{I_{SC}^2}, \quad X = \sqrt{Z^2 - R^2}$$

چون آزمایش اتصال کوتاه در سمت فشار قوی (اولیه $220V$) انجام می‌شود نیازی به انتقال مقادیر نمی‌باشد. شایان ذکر است که امپدانس بدست آمده مجموع اولیه و ثانویه می‌باشد و در صورت نیاز با نصف کردن آن، مقادیر تقریبی امپدانس سری اولیه و ثانویه بدست می‌آید.

لازم به ذکر است که در آزمایش مدار باز، توان P_{oc} در هسته تلف می‌شود که شامل دو قسمت تلفات فوکو و هیستریزیس است که معمولاً به آن تلفات آهنی (P_{fe}) اطلاق می‌شود. همچنین در آزمایش اتصال کوتاه، توان P_{sc} در مقاومت سیم پیچی تلف می‌شود که به آن تلفات مسی (P_{cu}) گفته می‌شود.

شرح آزمایش

قبل از شروع آزمایش، مقادیر نامی ترانسفورماتور را از روی پلاک آن خوانده و در

جدول زیر

یادداشت نمایید.

	ولتاژ اولیه (V_{1Rated})
	ولتاژ ثانویه (V_{2Rated})
	توان نامی (S_{Rated})

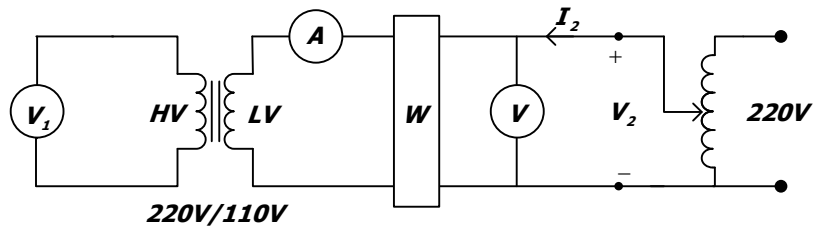
آزمایش مدار باز (*Open-Circuit Test*)

این آزمایش معمولاً از سمت فشار ضعیف (LV) انجام می‌شود در حالیکه سمت فشار

قوی (HV) ترانسفورماتور مدار باز است. مدار آزمایش را مطابق شکل زیر ببندید. به

ترتیب بستن آمپر متر، ولت متر و وات متر دقت شود. اندیس P معرف اولیه ($Primary$) و

S معرف ثانویه ($Secondary$) است.



شکل 1-4: آزمایش مدار باز

ولتاژ ورودی V_2 را به کمک اتوترانسفورماتور متغیر از صفر تا مقدار نامی ($110V$) تغییر داده و مقادیر را در جدول زیر یادداشت کنید. دقت کنید که مقدار ولتاژ از $110V$ بیشتر نشود.

$V_{oc} [V]$									
$I_{oc} [A]$									
$P_{oc} [w]$									
$V_1 [V]$									

آزمایش اتصال کوتاه (*Short-Circuit Test*):

این آزمایش معمولاً از سمت فشار قوی (HV) انجام می‌شود در حالیکه سمت فشار ضعیف (LV) اتصال کوتاه شده است. قبل از شروع آزمایش، جریان نامی اولیه ترانسفورماتور را به صورت زیر حساب نموده و یادداشت کنید.

$$I_{1Rated} = \left(\frac{S_{Rated}}{V_{1Rated}} \right)$$

خواسته های آزمایش

1- با استفاده از نتایج آزمایش‌ها، پارامترهای شاخه موازی و سری را برای ترانسفورماتور تحت آزمایش محاسبه نموده و مدار معادل ترانسفورماتور را در دو حالت کامل و تقریبی انتقال یافته به اولیه با ذکر مقادیر رسم کنید.

2- تلفات آهنی و تلفات مسی را در ولتاژ و جریان نامی برای ترانسفورماتور تحت آزمایش بدست آورید.

3- از روی نتایج آزمایش، منحنی تغییرات تلفات مسی بر حسب جریان اولیه ترانسفورماتور $P_{sc}(I_{sc})$ و منحنی تغییرات تلفات آهنی بر حسب ولتاژ اولیه ترانسفورماتور $P_{oc}(V_1)$ را رسم کنید.

سوالات

1- آیا تلفات هسته (تلفات آهنی) ترانسفورماتور به بار خروجی بستگی دارد؟ با ذکر دلیل توضیح دهید.

2- آیا تلفات مسی ترانسفورماتور به ولتاژ اعمال شده بستگی دارد؟ با ذکر دلیل توضیح دهید.

3- معمولاً آزمایش مدار باز را در طرف فشار ضعیف (LV) و آزمایش اتصال کوتاه را در طرف فشار قوی (HV) ترانسفورماتور انجام می‌دهند. دلایل آن را توضیح دهید.

4- کدام یک از پارامترهای مدار معادل ترانسفورماتور با تغییر ولتاژ و فرکانس تغییر می‌کنند؟ با ذکر دلیل و با استفاده از نتایج آزمایش توضیح دهید.

5- با فرض سینوسی بودن ولتاژ اعمال شده به ترانسفورماتور، جریان تحریک (جریان بی‌باری) دارای چه شکلی خواهد بود؟

آزمایش 2: بارداری ترانسفورماتور تکفاز

هدف: تعیین ضریب بهره و رگولاسیون ولتاژ ترانسفورماتور با روش مستقیم و

غیرمستقیم

مقدمه

راندمان (بازده) و رگولاسیون (تنظیم ولتاژ) جزو مشخصات اصلی یک ترانسفورماتور هستند که آنها را می‌توان از روش مستقیم (اندازه‌گیری) و یا روش غیرمستقیم (محاسبه) بدست آورد.

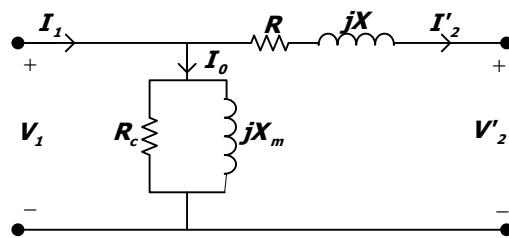
در روش مستقیم، ترانسفورماتور با یک بار واقعی باردار شده و پارامترهای فوق اندازه‌گیری می‌شوند. این روش با اینکه مستقیماً مشخصات ترانسفورماتور را اندازه‌گیری می‌کند و دقیق است ولی نیاز به تهیه بار واقعی دارد که پرهزینه است و باعث اتلاف انرژی زیادی نیز می‌گردد. در روش غیرمستقیم، ابتدا مدار معادل ترانسفورماتور به کمک آزمایش‌های مدار باز و اتصال کوتاه (موضوع آزمایش قبلی) تعیین می‌شود و سپس مشخصات ترانسفورماتور از روی آن محاسبه می‌گردد.

در روش مستقیم، جهت محاسبه راندمان و رگولاسیون به شرح زیر عمل می‌شود.

$$\text{Reg} = 100 \times \frac{V_{2NL} - V_{2FL}}{V_{2FL}}, \quad \eta = 100 \times \frac{P_2}{P_1}$$

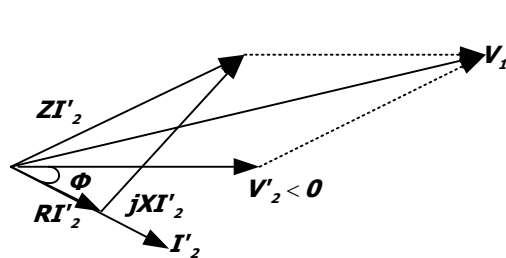
که در آن P_1 توان ورودی ترانس با بار نامی در ثانویه، P_2 توان خروجی ترانس با بار نامی در ثانویه، V_{2NL} ولتاژ ثانویه ترانس در حالت بی‌باری و V_{2FL} ولتاژ ثانویه ترانس در حالت بار نامی در ثانویه می‌باشد.

در روش غیرمستقیم، جهت محاسبه رگولاسیون ولتاژ مدار معادل انتقال یافته به سمت اولیه را در نظر می‌گیریم.



شکل 1-2: مدار معادل ترانسفورماتور تکفاز

دیاگرام برداری ولتاژهای اولیه و ثانویه به صورت زیر خواهند بود.



$$V_1 = (R + jX)I_2' + V_2'$$

$$V_1 = ZI_2' + V_2'$$

$$V_1 - V_2' = ZI_2'$$

$$\text{Reg} = 100 \times \frac{V_1 - V_2'}{V_2'}$$

شکل 2-2: دیاگرام برداری ولتاژهای ترانسفورماتور با بار پس‌فاز

بردار افت ولتاژ ZI_2' دارای مولفه‌های افقی در جهت V_2' و عمود بر V_2' می‌باشد. با توجه به اینکه معمولاً اختلاف فاز آن با V_2' کوچک می‌باشد با صرف‌نظر کردن از مولفه عمودی داریم:

$$\Delta V = V_1 - V_2' = ZI_2' = \begin{cases} RI_2' \cos \varphi + XI_2' \sin \varphi & \text{برای جریانهای پس فاز } I_2' \text{ (بار سلفی)} \\ RI_2' \cos \varphi - XI_2' \sin \varphi & \text{برای جریانهای پیش فاز } I_2' \text{ (بار خازنی)} \end{cases}$$

پس رابطه رگولاسیون ولتاژ به صورت زیر خواهد بود:

$$\text{Reg} = 100 \times \frac{RI_2' \cos \varphi \pm XI_2' \sin \varphi}{V_2'}$$

جهت محاسبه راندمان برای ترانسفورماتور با K درصد بار نامی داریم:

$$P_{in} = P_{out} + K^2 P_{cu} + P_{fe}, \quad P_{out} = K \times S \times \cos \varphi$$

که در آن S توان خروجی نامی ترانس، $\cos \varphi$ ضریب قدرت بار ثانویه، K درصد بارگذاری ترانسفورماتور، P_{cu} تلفات مسی ترانسفورماتور در بار نامی و P_{fe} تلفات آهنی ترانسفورماتور در ولتاژ نامی می باشد.

تلفات آهنی ترانسفورماتور تابع ولتاژ اولیه بوده و مقدارش در جریان‌های مختلف ثابت خواهد بود ولی تلفات مسی در جریانهای مختلف تابع توان دوم جریان خواهد بود. در نتیجه رابطه راندمان به صورت زیر درمی آید:

$$\eta = 100 \times \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{K \times S \times \cos \varphi}{K \times S \times \cos \varphi + K^2 P_{cu} + P_{fe}}$$

$\cos(\varphi_2)$											
	مراحل محاسباتی (با روش مستقیم)										
$\eta(\%)$											
$Reg(\%)$											

خواسته‌های آزمایش

1- با استفاده از نتایج بدست آمده در روش مستقیم، منحنی رگولاسیون ولتاژ را بر حسب جریان ثانویه رسم کنید.

2- مقدار رگولاسیون در بار نامی را با روش غیرمستقیم بدست آورده و با مقدار حاصل از روش مستقیم در بار نامی مقایسه کنید. کدامیک دقیق‌تر است و کدامیک عملی‌تر است؟ با ذکر دلیل توضیح دهید.

3- با استفاده از نتایج روش مستقیم، منحنی راندمان را بر حسب جریان ثانویه رسم کنید و تعیین کنید که حداکثر راندمان در چه باری اتفاق می‌افتد.

4- راندمان ترانسفورماتور در بار نامی را با روش مستقیم و غیرمستقیم بدست آورده و مقایسه کنید.

5- منحنی افت ولتاژ بر حسب ضریب قدرت بار $\Delta V(\cos\phi)$ را با استفاده از رابطه روش غیرمستقیم و با فرض جریان خروجی ثابت و برابر حداکثر مقدار آزمایش شده برای ترانسفورماتور تحت آزمایش رسم کنید.

سوالات

1- امکان منفی شدن رگولاسیون ولتاژ ترانسفورماتور در چه حالتی وجود دارد و چه مفهومی دارد؟

2- دیاگرام برداری ولتاژهای ترانسفورماتور را با بار پیش فاز رسم کنید.

3- با استفاده از رابطه ضریب بهره (راندمان) روش غیرمستقیم تعیین کنید که از نظر تئوری، راندمان در چه درصدی از بار نامی ماکزیمم است و نتیجه بدست آمده را با نتیجه حاصل از روش مستقیم مقایسه کنید.

4- رگولاسیون ولتاژ با یک بار سلفی مشخص در یک ترانسفورماتور به چه عواملی بستگی دارد؟

5- با افزایش قطر سیم پیچی‌ها در یک ترانسفورماتور، راندمان و رگولاسیون ولتاژ چگونه تغییر می‌کنند؟ با ذکر دلیل توضیح دهید.

6- چنانچه در محاسبه $\cos\phi$ از روی نتایج بدست آمده، مقدار آن از یک بزرگتر بدست

آمد به چه معنی بوده و منشا خطا چه می‌تواند باشد؟

آزمایش 3: منحنی مشخصه بی‌باری و بارداري ژنراتور DC تحریک

مستقل

تئوری آزمایش

در ژنراتورهای DC تحریک مستقل (*Separately excited*)، سیم پیچی تحریک بوسیله یک منبع ولتاژ DC جداگانه تحریک می‌شود. در این نوع ژنراتورها به دلیل اینکه جریان تحریک مستقل از جریان بار است کنترل ولتاژ ساده‌تر و بهتر انجام می‌پذیرد. مدار معادل ژنراتور DC تحریک مستقل به صورت زیر می‌باشد.

R_f = مقاومت سیم پیچی تحریک میدان

(field)

V_f = ولتاژ تغذیه سیم پیچی تحریک

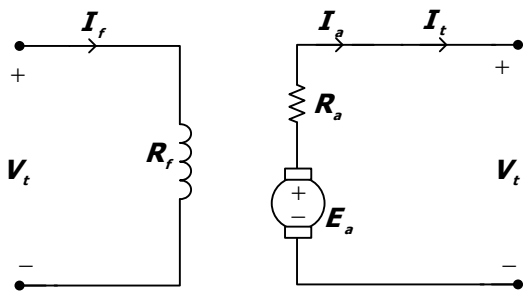
میدان

E_a = ولتاژ تولید شده توسط آرمیچر

R_a = مقاومت سیم پیچی آرمیچر

V_t, I_t = ولتاژ و جریان ترمینال

ژنراتور (بار)



یک ژنراتور DC تحریک مستقل دارای مشخصه‌های زیر است:

الف) مشخصه بی‌باری (مشخصه مغناطیسی)

مشخصه بی‌باری یک ژنراتور منحنی تغییرات ولتاژ آرمیچر بر حسب جریان تحریک $E_a(I_f)$ است در حالیکه ژنراتور بی‌بار است. با افزایش I_f مقدار فلوی ژنراتور مطابق با منحنی مغناطیسی هسته افزایش می‌یابد و طبق رابطه $E_a = K\Phi\omega$ با فرض ثابت بودن سرعت چرخش، ولتاژ آرمیچر نیز افزایش خواهد یافت. به دلیل رفتار هیستریزس هسته، منحنی رفت و برگشت بر روی هم منطبق نخواهند شد.

با فرض ثابت بودن جریان تحریک I_f ، ولتاژ تولیدی آرمیچر متناسب با سرعت خواهد بود. در نتیجه منحنی $E_a(I_f)$ متناسب با سرعت تغییر خواهد کرد.

ب) مشخصه بارداری (مشخصه خارجی)

مشخصه بارداری ژنراتور منحنی تغییرات ولتاژ ترمینال بر حسب جریان آرمیچر $V_t(I_a)$ است در حالیکه ژنراتور با مقادیر نامی خود (سرعت نامی و جریان تحریک نامی) کار می‌کند. با افزایش جریان بار، ولتاژ ترمینال طبق رابطه زیر افت خواهد کرد:

$$V_t = E_a - R_a I_a - \Delta V_{AR}$$

در رابطه فوق $R_a I_a$ مولفه مربوط به افت ولتاژ اهمی آرمیچر و ΔV_{AR} مولفه مربوط به افت ولتاژ ناشی از عکس‌العمل آرمیچر است. عکس‌العمل آرمیچر باعث می‌شود با افزایش جریان آرمیچر، تعادل فلوی به هم خورده و مقدار متوسط فلوی هسته کمتر شود که باعث کاهش ولتاژ آرمیچر می‌شود.

ج) مشخصه تنظیم

مشخصه تنظیم مختص ژنراتور تحریک مستقل بوده و منحنی تغییرات جریان تحریک بر حسب جریان بار $I_f(I_a)$ را نشان می‌دهد به این شرط که ولتاژ آرمیچر را بخواهیم ثابت نگه داریم. بعبارتی با افزایش جریان بار، می‌توان جهت جبران افت ولتاژ ژنراتور مقدار تحریک را طوری افزایش داد که ولتاژ خروجی ژنراتور همواره ثابت و برابر مقدار نامی بماند.

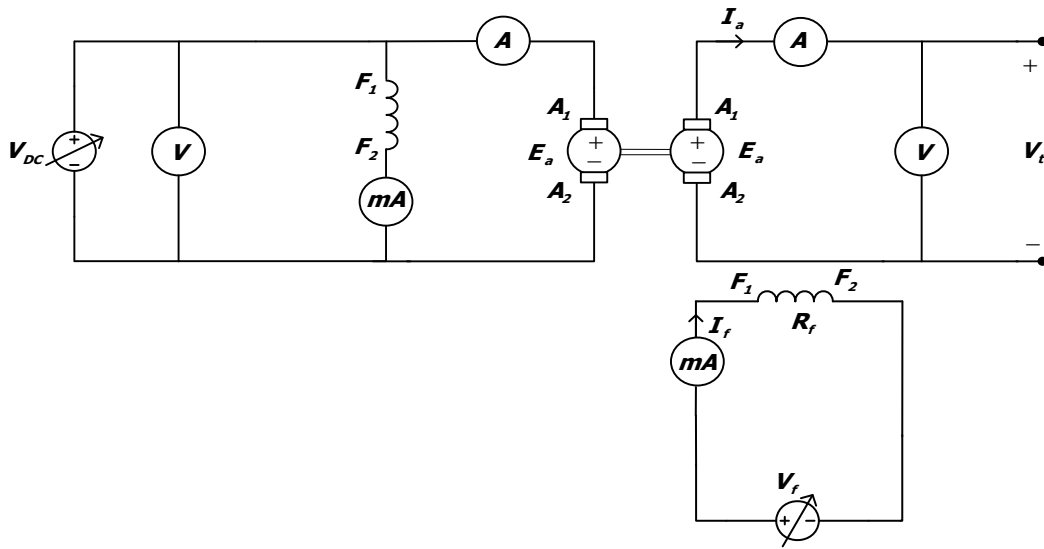
شرح آزمایش

در آزمایش‌های ژنراتور DC جهت به حرکت درآوردن محور ژنراتور و تولید برق نیاز به یک محرک مکانیکی می‌باشد که در صنعت ممکن است از یک موتور دیزل و یا یک توربین استفاده شود. در این آزمایشگاه از یک موتور DC به این منظور استفاده شده است.

قبل از شروع آزمایش، مقادیر نامی ژنراتور و موتور را از روی پلاک آنها خوانده و در جدول زیر یادداشت کنید.

	<i>Generator</i>	<i>Motor</i>
<i>Armature Rated Voltage</i>		
<i>Armature Rated Current</i>		
<i>Field Rated Current</i>		
<i>Rated Speed</i>		

مدار آزمایش را مطابق شکل ببندید. در ابتدا فقط مدار موتور را ببندید.



موتور DC شنت

ژنراتور DC تحریک مستقل

الف) آزمایش منحنی بی‌باری (مشخصه مغناطیسی)

پس از بستن مدار دقت کنید که هر دو منبع تغذیه موتور و تحریک ژنراتور روی مقدار صفر تنظیم شده باشند. ولتاژ دو سر موتور را به آرامی و با احتیاط بالا ببرید. دقت کنید که جریان موتور بیش از مقدار جریان نامی (طبق جدول بالایی) نگردد. در صورتیکه مدار اشتباه بسته شده باشد با افزایش مقدار خیلی کم ولتاژ، جریان شدیداً بالا خواهد رفت که این امر منجر به آتش‌سوزی و خرابی المانهای مدار خواهد شد. حال پس از کارکرد صحیح موتور، پس از کاهش ولتاژ به صفر، مدار را خاموش کرده و مدار ژنراتور را تکمیل کنید.

حال به آرامی ولتاژ دو سر موتور را افزایش دهید تا موتور به سرعت نامی خود برسد. با ثابت نگه داشتن سرعت، با استفاده از اتوترانس تحریک مقدار جریان تحریک

ژنراتور را از صفر تا مقدار نامی خود تغییر داده و اعداد مربوط به منحنی رفت را در جدول زیر یادداشت نمایید. سپس با کاهش جریان تحریک از مقدار نامی تا صفر، اعداد مربوط به منحنی برگشت را نیز در جدول زیر یادداشت نمایید. توجه داشته باشید که در هیچ کدام از منحنی‌ها به دلیل پدیده هیستریزیس مجاز نیستیم مقدار جریان را در جهت عکس تغییر دهیم. همچنین دقت کنید که سرعت در سراسر آزمایش ثابت بماند.

سرعت =											
تعداد نقاط		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
منحنی رفت	$I_f(mA)$										
	$E_a(V)$										
منحنی برگشت	$I_f(mA)$										
	$E_a(V)$										

اعداد فوق را برای 80٪ سرعت نامی نیز اندازه‌گیری کرده و در جدول زیر وارد نمایید.

سرعت =										
منحنی	$I_f(mA)$									
رفت	$E_a(V)$									
منحنی	$I_f(mA)$									
برگشت	$E_a(V)$									

در انتهای آزمایش ولتاژ را به آرامی صفر کرده و مدار را خاموش کنید.

ب) آزمایش منحنی بارداری (مشخصه خارجی)

در مدار قبلی، بار را به دو سر ترمینالهای ژنراتور وصل کنید. دقت کنید که بارها خاموش باشند. سپس به آرامی دور موتور را تا مقدار نامی افزایش داده و جریان تحریک ژنراتور را روی مقدار نامی آن تنظیم کنید. سپس با افزایش بار ژنراتور، جدول زیر را کامل کنید. توجه داشته باشید که سرعت و جریان تحریک ژنراتور در طول آزمایش ثابت باشد.

سرعت =									
بارها	0	1	2	3	4	5	6	7	8
$I_a(A)$									
$V_t(V)$									

در انتهای آزمایش ولتاژ را به آرامی صفر کرده و مدار را خاموش کنید.

ج) آزمایش منحنی تنظیم

به آرامی ولتاژ دو سر موتور را افزایش دهید تا به سرعت نامی خود برسد. سپس در حالیکه تمام بارها خاموش هستند جریان تحریک ژنراتور را روی مقدار نامی تنظیم کنید. دقت کنید که سرعت در طول آزمایش ثابت بماند. حال پس از روشن کردن تمام بارها، مقدار ولتاژ ترمینال ژنراتور را اندازه‌گیری کنید. حال با کاهش بار، جریان تحریک را طوری کاهش دهید که ولتاژ ترمینال ژنراتور ثابت بماند. بخاطر پدیده هیستریزیس، سعی کنید تا حد امکان جریان تحریک را در حالت عکس تغییر دهید. مقادیر اندازه‌گیری شده جریان آرمیچر و تحریک را برای منحنی برگشت در جدول زیر وارد کنید. حال با افزایش بار، جریان تحریک را طوری افزایش دهید که ولتاژ ترمینال در همان مقدار قبلی ثابت بماند و مقادیر منحنی رفت را در جدول زیر پر کنید.

سرعت =										
ولتاژ ترمینال =										
تعداد بارها		0	1	2	3	4	5	6	7	8
منحنی برگشت	$I_a(A)$									
	$I_f(mA)$									
منحنی رفت	$I_a(A)$									
	$I_f(mA)$									

در انتهای آزمایش ولتاژ را به آرامی صفر کرده و مدار را خاموش کنید.

خواسته‌های آزمایش

- 1- منحنی بی‌باری رفت و برگشت را برای ژنراتور مورد آزمایش در سرعت نامی و 80٪ سرعت نامی رسم کنید.
- 2- متوسط مقدار منحنی‌های بی‌باری را برای سرعت نامی و 80٪ سرعت نامی در یک نمودار رسم کرده و اختلاف دو منحنی را با روابط تئوری مقایسه کنید.
- 3- مشخصه خارجی را برای ژنراتور مورد آزمایش رسم کنید و درصد افت ولتاژ را در بار نامی حساب کنید.
- 4- مشخصه تنظیم را به ازای ولتاژ ترمینال ثابت و سرعت ثابت رسم کنید.

پرسش‌ها

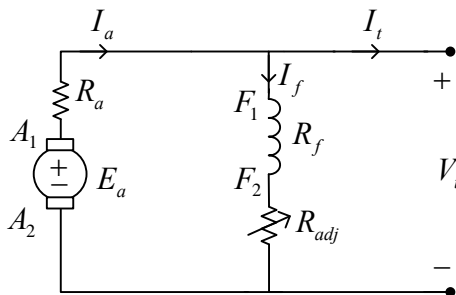
- 1- در یک ژنراتور DC تحریک مستقل چگونه می‌توان پلاریته ولتاژ خروجی را تغییر داد؟
- 2- اگر جریان تحریک را در طول آزمایش بی‌باری از 0/5 آمپر به 0/6 آمپر تغییر داده و سپس به 0/5 آمپر برگردانیم آیا مقدار ولتاژ آرمیچر برابر مقدار قبلی خواهد شد؟ با ذکر دلیل توضیح دهید.
- 3- تلفات هیستریزیس هسته چه رابطه‌ای با منحنی مغناطیسی ماشین دارد؟

آزمایش 4: مشخصه‌های بی‌باری و بارداری ژنراتور DC شنت

تئوری آزمایش

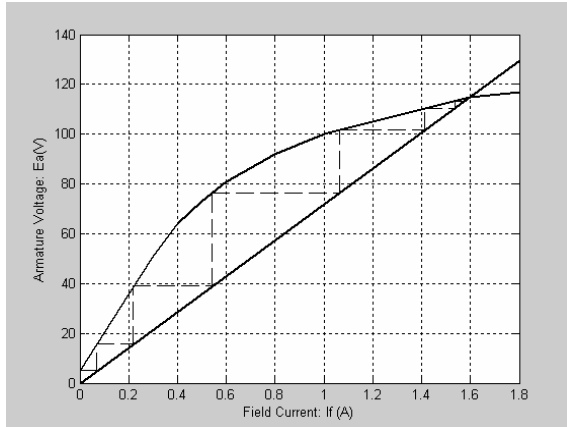
ژنراتورهای شنت بیش از انواع دیگر ژنراتورهای DC در صنعت مورد استفاده قرار می‌گیرند. در این نوع ژنراتورها، بر خلاف ژنراتور تحریک مستقل نیازی به منبع جداگانه برای تحریک سیم‌پیچی میدان نمی‌باشد و در حقیقت از خود ولتاژ تولیدی ژنراتور جهت تحریک میدان استفاده می‌شود. به دلیل اینکه سیم‌پیچی میدان موازی با آرمیچر قرار می‌گیرد این نوع ژنراتور را شنت می‌نامند.

مدار معادل ژنراتور DC شنت به صورت زیر می‌باشد.



یکی از شروط ایجاد ولتاژ در ژنراتور شنت وجود فلوی پس ماند در هسته می‌باشد.

نحوه تولید ولتاژ در این نوع ژنراتور به صورت شکل زیر است.



$$E_a = k\phi\omega$$

$$V_t = R'_f I_f$$

$$R'_f = R_f + R_{adj}$$

هنگامیکه ژنراتور با سرعت نامی به گردش درمی‌آید به دلیل وجود پس‌ماند مغناطیسی در هسته با اینکه جریان تحریک هنوز صفر است ولتاژ E_{a1} تولید می‌شود. این ولتاژ تولید شده منجر به افزایش جریان تحریک به مقدار I_{f1} می‌شود و این جریان ولتاژ E_{a2} را تولید می‌کند. به همین ترتیب ولتاژ آرمیچر طبق روند نشان داده شده در شکل فوق صعود کرده و در نقطه تقاطع دو منحنی به حالت پایدار می‌رسد (فرض می‌شود $E_a \approx V_t$).

بطوریکه در شکل نشان داده شده است نقطه کار وقتی موجود است که دو منحنی همدیگر را قطع کنند. با افزایش مقدار رئوستا، مقاومت شاخه شنت افزایش یافته و شیب خط افزایش می‌یابد. مقاومت بحرانی مقدار مقاومتی است که خط فوق مماس بر منحنی می‌شود. با افزایش مقاومت شنت به بیش از مقاومت بحرانی، ولتاژی در ژنراتور شنت تولید نخواهد شد. از طرفی به ازای مقاومت ثابتی، چنانچه سرعت از سرعت بحرانی کمتر باشد منحنی مغناطیسی پائین‌تر آمده و نقطه تقاطعی با خط نخواهد داشت. پس می‌توان شرایط ایجاد ولتاژ در ژنراتور شنت را به صورت زیر خلاصه کرد:

- فلوی پس ماند در هسته وجود داشته باشد.
- جهت چرخش ژنراتور در جهتی باشد که فلوی پس ماند را تقویت کند.
- مقاومت میدان از مقاومت بحرانی کمتر باشد.
- سرعت چرخش ژنراتور از سرعت بحرانی بیشتر باشد.

مشخصه خارجی ژنراتور شنت

با افزایش جریان بار در ژنراتور شنت، ولتاژ ترمینال افت زیادتری نسبت به نوع تحریک مستقل خواهد داشت. رابطه ولتاژ ترمینال به صورت زیر است.

$$V_t = E_a - R_a I_a - \Delta V_{AR}$$

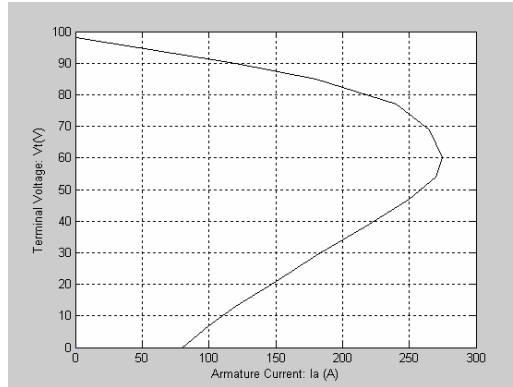
در این نوع ژنراتور بدلیل اینکه ولتاژ تحریک همان ولتاژ ترمینال است افت ولتاژ ترمینال منجر به کاهش جریان تحریک نیز خواهد شد که آن نیز به نوبه خود کاهش E_a راباعث می‌شود. در رابطه فوق $R_a I_a$ مولفه مربوط به افت ولتاژ اهمی آرمیچر و ΔV_{AR} مولفه مربوط به افت ولتاژ ناشی از عکس‌العمل آرمیچر است. عکس‌العمل آرمیچر باعث می‌شود با افزایش جریان آرمیچر، تعادل فلو به هم خورده و مقدار متوسط فلو هسته کمتر شود که باعث کاهش ولتاژ آرمیچر می‌شود.

جهت محاسبه افت ولتاژ ناشی از عکس‌العمل آرمیچر از رابطه زیر استفاده می‌شود:

$$\Delta V_{AR} = E_a - V_t - R_a I_a$$

که مقادیر I_a و V_t با اندازه‌گیری مستقیم و E_a از طریق اندازه‌گیری I_f و استفاده از منحنی $E_a(I_f)$ بدست می‌آید.

مشخصه نوعی باردارای ژنراتور شنت به صورت زیر است.



بطوریکه در شکل فوق نشان داده شده است حداکثر جریان دهی ژنراتور شنت محدود است و چنانچه با افزایش بار (کاهش امپدانس بار) جریان بخواهد از این مقدار بیشتر شود ژنراتور مقدار جریان و ولتاژ خروجی را کاهش خواهد داد.

یکی از مزایای ژنراتور شنت پایین بودن جریان اتصال کوتاه در ترمینالهای آن است. اتصال کوتاه متناظر با نقطه S در منحنی فوق ($V_t=0$) بوده و در این نقطه جریان تحریک صفر می‌باشد ($I_f=V_t/R'_f=0$). در نتیجه مقدار ولتاژ آرمیچر برابر با مقدار پس ماند بوده و جریان اتصال کوتاه بدین طریق محاسبه می‌شود:

$$I_{a(SC)} = \frac{E_{a(RES)}}{R_a} \quad , \quad E_{a(RES)} = \text{ولتاژ پس ماند} \quad , \quad R_a = \text{مقاومت آرمیچر}$$

که این مقدار معمولاً از جریان نامی نیز پایین‌تر است.

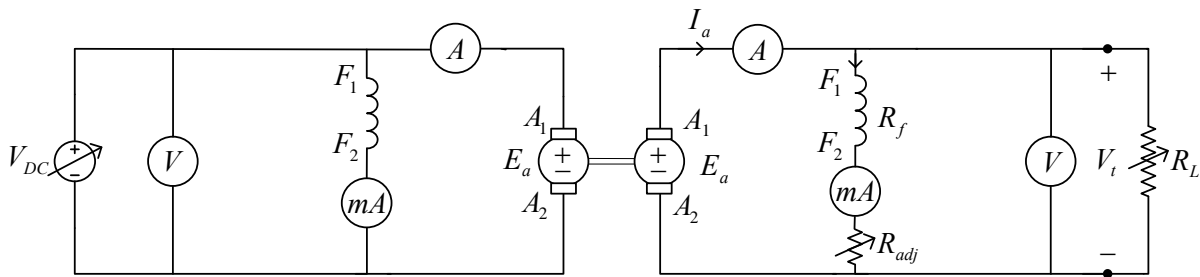
شرح آزمایش

قبل از شروع آزمایش، مقادیر نامی ژنراتور و موتور را از روی پلاک آنها خوانده و

در جدول زیر یادداشت کنید.

	<i>Generator</i>	<i>Motor</i>
<i>Armature Rated</i>		
<i>Armature Rated</i>		
<i>Field Rated Current</i>		
<i>Rated Speed</i>		

مدار آزمایش را مطابق شکل زیر ببندید. در ابتدا فقط مدار موتور را ببندید.



موتور DC شنت

ژنراتور DC شنت

الف) آزمایش منحنی بی‌باری (مشخصه مغناطیسی)

پس از بستن مدار دقت کنید که منبع تغذیه موتور روی مقدار صفر تنظیم شده باشد. ولتاژ دو سر موتور را به آرامی و با احتیاط بالا ببرید. دقت کنید که جریان موتور بیش از مقدار جریان نامی (طبق جدول بالایی) نگردد. در صورتیکه مدار اشتباه بسته شده باشد با افزایش مقدار خیلی کم ولتاژ، جریان شدیداً بالا خواهد رفت که این امر منجر به آتش‌سوزی و خرابی المانهای مدار خواهد شد. حال پس از کارکرد صحیح موتور، پس از کاهش ولتاژ به صفر، مدار را خاموش کرده و مدار ژنراتور را تکمیل کنید. رئوستای تحریک را در حداقل مقدار خود قرار دهید.

حال به آرامی ولتاژ دو سر موتور را افزایش دهید تا موتور به سرعت نامی خود برسد. چنانچه ژنراتور ولتاژ تولید نمی‌کند شروط ایجاد ولتاژ توسط ژنراتور شنت را بررسی کنید. پس از تولید ولتاژ، با ثابت نگه داشتن سرعت، مقدار رئوستای تحریک را افزایش داده و اعداد مربوط به منحنی برگشت را در جدول زیر یادداشت نمایید. سپس با کاهش رئوستا تا کمترین مقدار، اعداد مربوط به منحنی رفت را نیز در جدول زیر یادداشت نمایید. توجه داشته باشید که در هیچ کدام از منحنی‌ها به دلیل پدیده هیستریزیس مجاز نیستیم مقدار جریان را در جهت عکس تغییر دهیم. همچنین دقت کنید که سرعت در سراسر آزمایش ثابت بماند.

سرعت =											
منحنی برگشت	$I_f(mA)$										
	$E_a(V)$										
منحنی رفت	$I_f(mA)$										
	$E_a(V)$										

ب) آزمایش منحنی بارداری (مشخصه خارجی)

پس از خاموش کردن مدار قبلی، بار را به دو سر ترمینالهای ژنراتور وصل کنید. دقت کنید که بارها خاموش باشند. سپس به آرامی دور موتور را تا مقدار نامی افزایش داده و رئوستای تحریک ژنراتور را روی 5٪ (50 اهم) تنظیم کرده و مقدار آن را در

طول آزمایش تغییر ندهید. سپس با افزایش بار ژنراتور، جدول زیر را کامل کنید. توجه داشته باشید که سرعت ژنراتور در طول آزمایش ثابت باشد.

سرعت =									
بارها	0	1	2	3	4	5	6	7	8
$I_a(A)$									
$V_t(V)$									
$I_f(mA)$									
مراحل محاسباتی									
$E_a(V)$									

خواسته‌های آزمایش

1- منحنی رفت و برگشت و مقدار متوسط منحنی مغناطیسی ژنراتور شنت را روی یک نمودار رسم کنید.

2- از روی نتایج منحنی مغناطیسی، مقاومت بحرانی را بدست آورید.

3- مشخصه بارداری ژنراتور شنت تحت آزمایش را رسم کنید.

4- درصد افت ولتاژ را در حداکثر بار مورد آزمایش بدست آورده و با مقدار حاصل از ژنراتور تحریک مستقل مقایسه کنید.

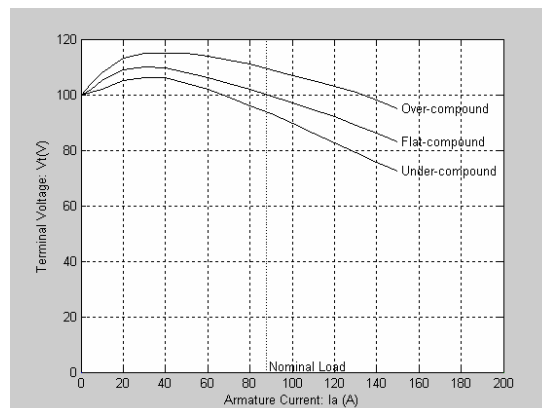
پرسش‌ها

- 1- در یک ژنراتور شنت چگونه می‌توان پلاریته ولتاژ خروجی را عوض کرد؟
- 2- اگر آرمیچر ژنراتور شنت در حال چرخش بوده ولی ولتاژی تولید نکند برای رفع آن چه اقداماتی باید انجام شود؟
- 3- با تغییر سرعت ژنراتور، مقدار مقاومت بحرانی چه تغییری می‌کند؟
- 4- مزایا و معایب ژنراتور DC شنت را نسبت به ژنراتور DC تحریک مستقل بیان کنید.

آزمایش 5: انواع ژنراتورهای DC کمپوند و تعیین مشخصه بارداری آنها

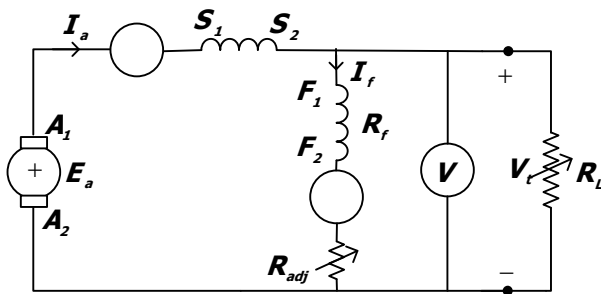
تئوری آزمایش

با افزودن سیم‌پیچی تحریک سری به ژنراتور شنت می‌توان ژنراتور کمپوند را ایجاد نموده و مشکل افت ولتاژ ژنراتور شنت در بارداری را حل نمود. سیم‌پیچ تحریک سری روی قطب‌های اصلی و به همراه آرمیچر پیچیده می‌شود. با افزایش جریان بار، جریان تحریک سری نیز افزایش می‌یابد که در نوع کمپوند اضافی باعث جبران افت ولتاژ ژنراتور می‌گردد. میزان جبران‌سازی یا درجه کمپوندی بستگی به تعداد دور سیم‌پیچی تحریک سری دارد. تعداد دورهای تحریک سری را می‌توان طوری انتخاب نمود که ولتاژ ژنراتور در بار کامل برابر با ولتاژ بی‌باری باشد که ماشین در این حالت کمپوند تخت (*Flat-compound*) نامیده می‌شود. اگر تعداد دورهای تحریک سری طوری باشد که ولتاژ بار کامل بیشتر از بی‌باری گردد ماشین فوق کمپوند (*Over-compound*) و اگر کمتر شود زیر کمپوند (*Under-compound*) نامیده می‌شود.

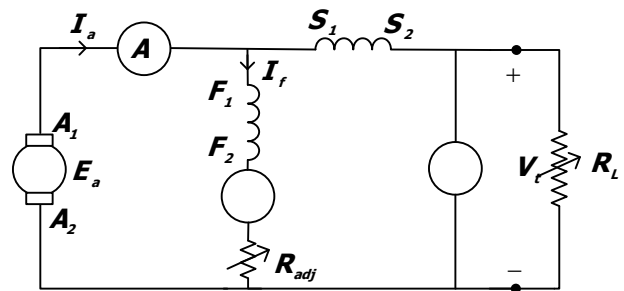


در صورتیکه سیم پیچ تحریک سری به صورت معکوس بسته شود به طوری که فلوی تحریک موازی را کم کند ژنراتور کمپوند نقصانی خواهیم داشت که در موارد خاص مثل ژنراتور جوش که نیاز به جریان ثابت دارد استفاده می‌شود چرا که منحنی آن تقریباً جریان ثابت است. در هر حالتی از کمپوند اضافی یا نقصانی، فلوی تحریک موازی بیشتر از سری است.

اتصال تحریک سری به دو صورت بلند و کوتاه انجام می‌شود که در شکل زیر نشان داده شده است.



ژنراتور DC کمپوند بلند



ژنراتور DC کمپوند کوتاه

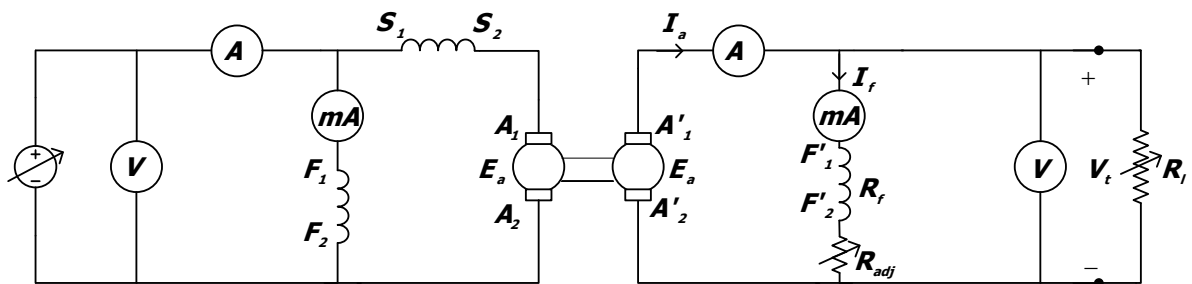
شرح آزمایش

قبل از شروع آزمایش، مقادیر نامی ژنراتور و موتور را از روی پلاک آنها خوانده و

در جدول زیر یادداشت کنید.

	Generator	Motor
Armature Rated		
Armature Rated		
Shunt Field Rated		
Rated Speed		

مدار آزمایش را مطابق شکل زیر ببندید. در ابتدا فقط مدار موتور را ببندید.



موتور DC شنت

ژنراتور DC کمپوند کوتاه

اضافی

آزمایش را برای حالت‌های مختلف ژنراتور کمپوند به شرح زیر انجام دهید. (در حالت

نقصانی، جهت تحریک سری را معکوس کنید).

خواسته‌های آزمایش

1- مشخصه‌های بارگذاری ژنراتور DC کمپوند تحت آزمایش را در چهار حالت آزمایش شده در یک نمودار رسم کرده و نوع کمپوند تخت، زیرکمپوند و فوق کمپوند بودن آنها را بررسی کنید.

2- حالت‌های مختلف کمپوند را از نظر حداکثر جریان دهی و درصد افت ولتاژ با هم مقایسه کنید.

پرسش‌ها

1- نتایج آزمایش بی‌باری ژنراتور کمپوند چه تفاوتی با نتایج بی‌باری ژنراتور شنت دارد؟ توضیح دهید.

2- تاثیر تحریک سری در حالت کمپوند بلند بیشتر است یا کمپوند کوتاه؟ با استفاده از نتایج و تئوری توضیح دهید.

3- مزایا و معایب ژنراتور کمپوند را نسبت به ژنراتور شنت بیان کنید.

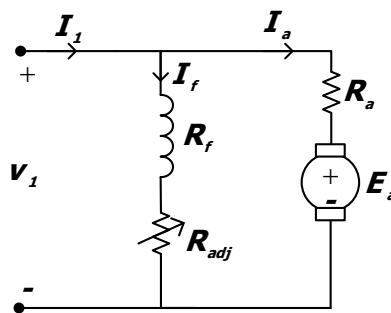
4- سیم پیچی‌های تحریک سری و شنت را از نقطه نظر مشخصات با هم مقایسه کنید.

آزمایش 6: موتور DC شنت و منحنی‌های گشتاور-سرعت و گشتاور-

جریان

تئوری آزمایش

موتورهای الکتریکی DC به دلیل قابلیت کنترل سرعت در محدوده وسیعی، در صنایع بکار می‌روند. مدار معادل موتور DC شنت مثل ژنراتور شنت بوده و بصورت شکل زیر است.



در این نوع موتور، ولتاژ ترمینال V_t ثابت بوده و جریان تحریک مستقل از جریان آرمیچر و بارگذاری موتور است. مشخصه‌های مهم موتور شنت به شرح زیر است.

الف) مشخصه سرعت $\omega(I_a)$

با افزایش بار مکانیکی روی محور موتور و بعبارتی افزایش گشتاور مکانیکی، جریان آرمیچر زیادتر شده و سرعت موتور افت خواهد کرد. رابطه سرعت به صورت زیر است.

$$\omega_m = \frac{V_t}{K\phi} - \frac{R_a I_a}{K\phi} \Rightarrow \begin{aligned} E_a &= K\phi\omega = V_t - R_a I_a \\ T &= K\phi I_a \end{aligned}$$

با توجه به رابطه بالا، ملاحظه می‌شود که با افزایش جریان آرمیچر سرعت موتور به دلیل افت $R_a I_a$ کم خواهد شد. از طرفی با افزایش جریان آرمیچر، مقدار عکس‌العمل آرمیچر نیز افزایش یافته و مقدار فلو در هسته کم می‌شود. با توجه به رابطه بالا کاهش فلو باعث افزایش سرعت می‌گردد. بعبارتی دیگر، عکس‌العمل آرمیچر قسمتی از مولفه $R_a I_a$ افت سرعت موتور را جبران می‌کند و این امر باعث می‌شود که سرعت موتور شنت از بی‌باری تا بارداری تقریباً ثابت بوده و تنها در حدود 5% افت کند که این یکی از مشخصه‌های جالب موتور شنت است. البته با افزایش گشتاور به بیشتر از مقدار نامی، اثر افت ولتاژ $R_a I_a$ بر اثر عکس‌العمل آرمیچر پیشی گرفته و افت سرعت زیادتر خواهد بود.

ب) مشخصه گشتاور $T(I_a)$

با توجه به رابطه $T = K \phi I_a$ با افزایش گشتاور مکانیکی، مقدار جریان آرمیچر افزایش می‌یابد. از طرفی علیرغم اینکه ولتاژ ترمینال ثابت بوده و در نتیجه جریان تحریک نیز ثابت است با افزایش جریان آرمیچر، فلو متوسط هسته به دلیل وجود عکس‌العمل آرمیچر کاهش خواهد یافت. در نتیجه در یک گشتاور ثابت، جریان آرمیچر به دلیل

کاهش فلو بطور خطی با گشتاور تغییر نمی‌کند. محاسبه گشتاور موتور از روی جریان آرمیچر به صورت زیر انجام می‌پذیرد.

توان ورودی

$$P_{in} = P_{out} + R_a I_a^2 + R_f I_f^2 + \Delta V_b I_a$$

موتور

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

توان خروجی

موتور

که در آن ΔV_b افت ولتاژ جارو بکهای موتور بوده و برابر $2V$ فرض می‌شود. با توجه به اینکه توان ورودی موتور $P_{in} = V_t I_t$ می‌باشد داریم:

$$T = \frac{V_t I_t - R_a I_a^2 - R_f I_f^2 - \Delta V_b I_a}{\omega} \Rightarrow V_t I_t = T \cdot \omega + R_a I_a^2 + R_f I_f^2 + \Delta V_b I_a$$

که در آن ω سرعت برحسب rad/s بوده و برابر است با $\omega(rad/s) = \frac{2\pi}{60} n(rpm)$

کنترل سرعت موتورهای DC

با توجه به رابطه سرعت $\omega_m = \frac{V_t}{K\phi} - \frac{R_a I_a}{K\phi}$ کنترل سرعت انواع موتورهای DC به

روشهای زیر امکان پذیر است. هنگام کنترل سرعت با یک پارامتر، بایستی بقیه پارامترها ثابت بمانند.

- کنترل ولتاژ آرمیچر (V_t) ($V_t \uparrow \Rightarrow \omega \uparrow$): در این روش، سرعت موتور از صفر

تا مقدار نامی قابل تغییر بوده و سرعت نسبت به سایر روشها آرام تر تغییر

می‌کند. این روش مستلزم استفاده از منبع تغذیه DC متغیر است که هزینه آن از

سایر روشها بیشتر است.

- کنترل فلوی میدان (ϕ) ($\phi \uparrow \Rightarrow \omega \downarrow$): با قرار دادن یک رئوستا در مدار تحریک

می‌توان مقدار جریان تحریک را تغییر داده و سرعت را کنترل نمود. در این روش

باید دقت نمود که با کاهش زیاد جریان تحریک، سرعت موتور از مقدار نامی بیشتر نشود.

- کنترل مقاومت آرمیچر (R_a) ($\omega \downarrow \Rightarrow R_a \uparrow$): با قرار دادن یک مقاومت سری با آرمیچر، می‌توان با افزایش آن سرعت را از مقدار نامی کاهش داد. با توجه به اینکه جریان آرمیچر بالا می‌باشد در این روش تلفات رئوستای آرمیچر بالا می‌باشد. به همین دلیل از این روش کمتر استفاده می‌شود.

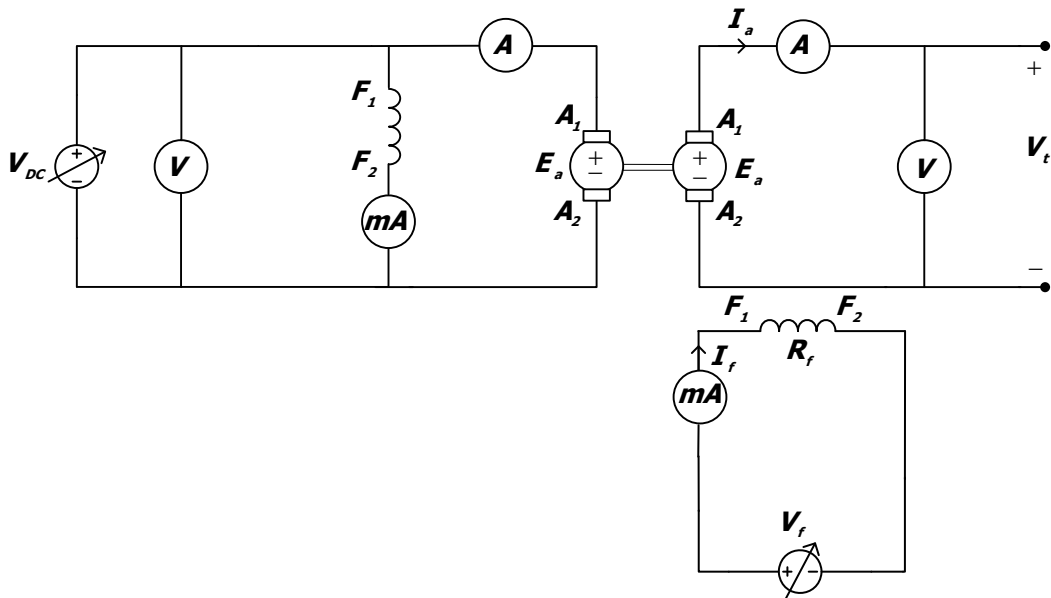
شرح آزمایش

در آزمایش موتورهای DC نیاز به گشتاور مکانیکی روی محور موتور می‌باشد که به عنوان بار موتور عمل نماید. در این آزمایشگاه به این منظور از یک ژنراتور DC استفاده شده است که با موتور کوپل شده است. با وصل بار الکتریکی به ژنراتور، گشتاور به موتور منتقل شده و به عنوان بار مکانیکی روی محور موتور عمل می‌کند.

قبل از شروع آزمایش، مقادیر نامی ژنراتور و موتور را از روی پلاک آنها خوانده و در جدول زیر یادداشت کنید.

	<i>Motor</i>	<i>Generator</i>
<i>Armature Rated</i>		
<i>Armature Rated</i>		
<i>Field Rated Current</i>		
<i>Rated Speed</i>		

مدار آزمایش را مطابق شکل زیر ببندید. در ابتدا فقط مدار موتور را ببندید.



موتور DC شنت

ژنراتور DC تحریک مستقل

الف) کنترل سرعت با ولتاژ

پس از بستن مدار دقت کنید که منبع تغذیه موتور روی مقدار صفر تنظیم شده باشد. در غیر اینصورت جریان راه اندازی موتور بالا بوده و احتمال سوختن آن وجود دارد. در صورتیکه مدار اشتباه بسته شده باشد با افزایش مقدار خیلی کم ولتاژ، جریان شدیداً بالا خواهد رفت که این امر منجر به آتش سوزی و خرابی المانهای مدار خواهد شد. رئوستای تحریک موتور را در مقدار 18٪ (180 اهم) قرار داده و ولتاژ دو سر موتور را به آرامی و با احتیاط تا مقداری بالا ببرید که سرعت برابر مقدار نامی گردد. حال با کاهش مقدار رئوستا، ولتاژ موتور را تا حدی کاهش دهید که جریان تحریک ثابت بماند و مقادیر را در

جدول زیر وارد کنید. دقت کنید که جریان و سرعت موتور بیش از مقادیر نامی (طبق جدول بالایی) نگردد.

$I_f = \dots\dots\dots$							
$R_{adj}(\Omega)$							
$V_t(V)$							
$\omega(rpm)$							

در انتهای آزمایش ولتاژ را با آرامی صفر کرده و مدار را خاموش کنید.

ب) کنترل سرعت با جریان تحریک

مقدار رئوستا را در حدود 35% (350 اهم) قرار دهید. منبع تغذیه موتور را روی مقدار صفر قرار داده و آنرا روشن کنید. ولتاژ ترمینال موتور را به آرامی و تا مقداری بالا ببرید که سرعت از مقدار نامی بیشتر نگردد و دقت کنید که در طول آزمایش ولتاژ ثابت بماند. حال با کاهش مقدار رئوستا، مقادیر جریان تحریک و سرعت را خوانده و در جدول زیر یادداشت کنید.

$\text{ولتاژ ترمینال} = \dots\dots\dots$							
$I_f(mA)$							
$\omega(rpm)$							

در انتهای آزمایش ولتاژ را به آرامی صفر کرده و مدار را خاموش کنید.

خواسته‌های آزمایش

1- با استفاده از نتایج بدست آمده بی‌باری (قسمت الف آزمایش)، منحنی کنترل سرعت (سرعت-ولتاژ $\omega(V_t)$ را برای موتور تحت آزمایش رسم کرده و با روابط تئوری مقایسه نمایید.

2- با استفاده از نتایج بدست آمده بی‌باری (قسمت ب آزمایش)، منحنی سرعت-جریان تحریک $\omega(I_f)$ را برای موتور تحت آزمایش رسم کرده و با روابط تئوری مقایسه نمایید.

3- با استفاده از نتایج آزمایش بارداری و محاسبه گشتاور، منحنی گشتاور $T(I_a)$ را رسم کرده و با روابط تئوری تطبیق دهید. مقاومت آرمیچر را برابر 5Ω و مقاومت تحریک را برابر 290Ω در نظر بگیرید.

4- با استفاده از نتایج آزمایش بارداری، منحنی سرعت $\omega(I_a)$ را رسم کرده و با روابط تئوری تطبیق دهید.

5- درصد افت سرعت موتور در حداکثر گشتاور آزمایش شده را محاسبه کنید.

پرسش‌ها

1- با استفاده از روابط تئوری توضیح دهید چنانچه موتور شنت بدون مقاومت راه‌اندازی به ولتاژ نامی وصل شود چه اتفاقی می‌افتد. مقدار جریان راه‌اندازی را برای موتور تحت آزمایش محاسبه کنید.

2- اگر مدار تحریک موتور شنت در حال کار قطع شود چه اتفاقی می‌افتد؟

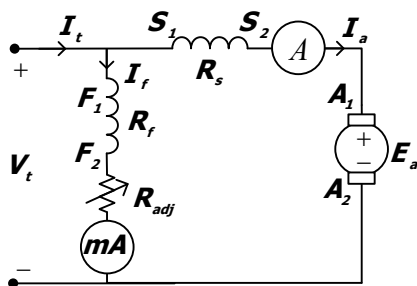
3- روشهای تغییر جهت چرخش موتور DC شنت را تشریح کنید.

4- چند نمونه از روشهای راه‌اندازی موتور DC شنت را بیان کنید.

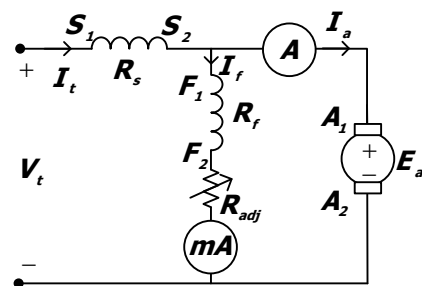
آزمایش 7: موتور DC کمپوند و رسم منحنی مشخصه آن

تئوری آزمایش

موتور DC کمپوند مثل ژنراتور DC کمپوند شامل تحریک سری و موازی است که با توجه به جهت اتصال سیم‌پیچی سری می‌تواند به دو صورت اضافی یا نقصانی باشد. هم‌چنین اتصال تحریک سری می‌تواند به دو صورت بلند و کوتاه انجام پذیرد. شکل شماتیک این نوع موتور به صورت زیر است.



موتور DC کمپوند بلند



موتور DC کمپوند کوتاه

روابط زیر را می‌توان برای کمپوند بلند نوشت:

$$\omega_m = \frac{V_t}{K\phi} - \frac{(R_a + R_s)I_a}{K\phi} \Rightarrow \begin{cases} E_a = K\phi\omega = V_t - (R_a + R_s)I_a \\ T = K\phi I_a \end{cases}$$

که در آن φ مجموع فلوی تحریک موازی و سری بوده و با توجه به رابطه فوق سرعت با عکس فلو متناسب است. در موتور کمپوند اضافی با افزایش بار، میزان فلوی هسته زیادتر شده و افت سرعت نسبت به موتور شنت زیادتر خواهد بود. ولی در نوع نقصانی، با افزایش جریان بار فلوی ماشین کم شده و سرعت افزایش خواهد یافت که به همین دلیل از این نوع موتور در صنعت استفاده نمی‌شود.

روابط گشتاور به صورت زیر می‌باشد.

توان ورودی

موتور

$$P_{in} = P_{out} + (R_a + R_s)I_a^2 + R_f I_f^2 + \Delta V_b I_a$$

توان خروجی

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

موتور

که در آن ΔV_b افت ولتاژ جاروبک‌های موتور بوده و برابر $2V$ فرض می‌شود. با توجه به اینکه توان ورودی موتور $P_{in} = V_t I_a$ می‌باشد داریم:

$$T = \frac{V_t I_t - (R_a + R_s)I_a^2 - R_f I_f^2 - \Delta V_b I_a}{\omega} \Rightarrow V_t I_t = T \cdot \omega + (R_a + R_s)I_a^2 + R_f I_f^2 + \Delta V_b I_a$$

که در آن ω سرعت برحسب rad/s بوده و برابر است با $\omega(rad/s) = \frac{2\pi}{60} n(rpm)$

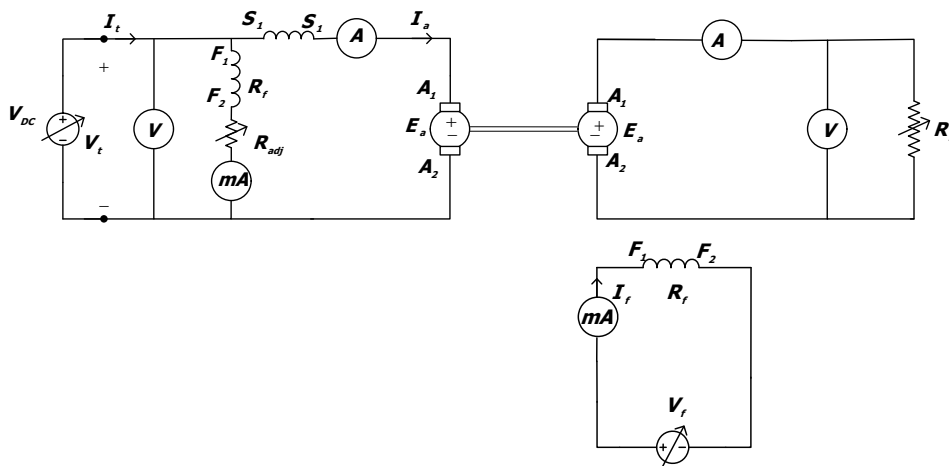
شرح آزمایش

قبل از شروع آزمایش، مقادیر نامی ژنراتور و موتور را از روی پلاک آنها خوانده و

در جدول زیر یادداشت کنید.

	<i>Motor</i>	<i>Generator</i>
<i>Armature Rated</i>		
<i>Armature Rated</i>		
<i>Field Rated Current</i>		
<i>Rated Speed</i>		

مدار آزمایش را مطابق شکل زیر ببندید. در ابتدا فقط مدار موتور را ببندید.



موتور DC کمپوند بلند اضافی

ژنراتور DC تحریک مستقل

آزمایش را برای حالت‌های مختلف موتور کمپوند به شرح زیر انجام دهید.

الف) کمپوند کوتاه اضافی ب) کمپوند بلند اضافی

پس از بستن مدار دقت کنید که منبع تغذیه موتور روی مقدار صفر تنظیم شده باشد. در غیر اینصورت جریان راه‌اندازی موتور بالا بوده و احتمال سوختن آن وجود دارد. رئوستا را در حداقل مقدار قرار دهید. پس از افزایش کم ولتاژ و اطمینان از کارکرد موتور، مدار را خاموش نموده و مدار ژنراتور را طبق شکل تکمیل کنید. کلید بارها را خاموش کنید. ولتاژ موتور را به آرامی تا رسیدن به سرعت نامی آن بالا ببرید و دقت کنید که در طول آزمایش ثابت بماند. حال ولتاژ تولیدی ژنراتور را چک کنید و چنانچه ولتاژ تولید نمی‌کند شرایط ایجاد ولتاژ توسط ژنراتور شنت را بررسی کنید. پس از تولید ولتاژ توسط ژنراتور، با افزایش بار خروجی ژنراتور، مقادیر جریان آرمیچر و سرعت موتور را در جدول زیر یادداشت کنید.

الف) موتور کمپوند بلند اضافی									
ولتاژ ترمینال موتور =									
بارها	0	1	2	3	4	5	6	7	8
$I_a(A)$									
$\omega(rpm)$									
مراحل محاسباتی									
$T(N.m)$									
ب) موتور کمپوند کوتاه اضافی									

ولتاژ ترمینال موتور =									
بارها	0	1	2	3	4	5	6	7	8
$I_a(A)$									
$\omega(rpm)$									
مراحل محاسباتی									
$T(N.m)$									

خواسته‌های آزمایش

1- با استفاده از نتایج آزمایش، منحنی سرعت $\omega(I_a)$ را در یک نمودار شامل کمپوند کوتاه و بلند رسم کرده و با هم مقایسه کنید.

2- با استفاده از نتایج آزمایش و با محاسبه گشتاور، منحنی گشتاور-جریان $T(I_a)$ را در یک نمودار شامل کمپوند کوتاه و بلند رسم کرده و با هم مقایسه کنید. مقاومت آرمیچر را برابر 5Ω و مقاومت تحریک موازی را برابر 290Ω و تحریک سری را 0.5Ω و افت ولتاژ جاروبکها را $2V$ در نظر بگیرید.

3- با استفاده از نتایج آزمایش و مقادیر محاسبه شده، منحنی گشتاور-سرعت $T(\omega)$ را در یک نمودار برای کمپوند کوتاه و بلند رسم کرده و با هم مقایسه کنید.

4- درصد افت سرعت موتور کمپوند کوتاه و بلند را در حداکثر گشتاور آزمایش شده محاسبه کنید.

پرسش‌ها

1- با استفاده از نتایج این آزمایش و آزمایش قبلی، مزایا و معایب موتور کمپوند را نسبت به موتور شنت بیان کنید.

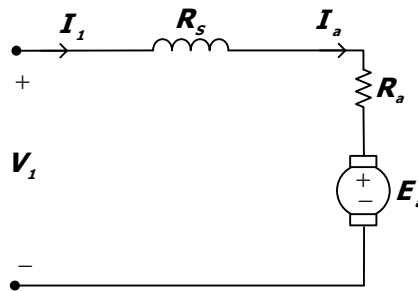
2- نتایج آزمایش بی‌باری موتور کمپوند چه تفاوتی با موتور شنت دارد؟ توضیح دهید.

آزمایش 8: تعیین مشخصه‌های موتور DC سری و روش‌های کنترل

سرعت آن

تئوری آزمایش

در یک موتور DC سری، سیم پیچ تحریک سری به طور سری با آرمیچر قرار گرفته و این نوع موتور فاقد تحریک موازی است. در این نوع موتور جریان تحریک همان جریان آرمیچر بوده $(I_f = I_a)$ و مدار معادل آن به صورت زیر است.



با فرض اینکه سیستم مغناطیسی خطی باشد (فلوی هسته متناسب با جریان تحریک باشد) معادلات این موتور به صورت زیر نوشته می‌شود.

$$\begin{aligned} E_a &= K_{sr} I_a \omega & E_a &= K \phi \omega \\ T &= K_{sr} I_a^2 & T &= K \phi I_a \\ & & K \phi &= K_{sr} I_a \end{aligned} \Rightarrow$$

از طرفی با توجه به رابطه $E_a = V_t - (R_a + R_s) I_a$ داریم:

$$\omega_m = \frac{V_t}{\sqrt{K_{sr} T}} - \frac{(R_a + R_s)}{K_{sr}}, \quad \omega_m = \frac{V_t}{K_{sr} I_a} - \frac{(R_a + R_s)}{K_{sr}}$$

با توجه به روابط بالا مشاهده می‌شود با کاهش گشتاور موتور DC سری، سرعت موتور افزایش می‌یابد و در حالت بی‌باری سرعت موتور به حد خطرناکی می‌رسد. پس همواره بایستی گشتاور بار بر روی محور موتور سری قرار گرفته باشد و هیچ‌گاه نباید موتور سری را بدون بار راه‌اندازی کرد.

همچنین با توجه به روابط بالا ملاحظه می‌شود که گشتاور با توان دوم جریان آرمیچر متناسب است و این بدان معنی است که این موتور قادر است هم با ولتاژ DC و هم با ولتاژ AC کار کند و گشتاور تولیدی آن همواره مثبت خواهد بود.

از دیگر خواص این موتور آن است که گشتاور راه‌اندازی بالایی دارد (با توجه به روابط بالا مقدار گشتاور در حالت سکون زیاد است). از این جهت در ترن‌های برقی بیشتر از این نوع موتور استفاده می‌شود.

محاسبه گشتاور از روی جریان آرمیچر به صورت زیر انجام می‌پذیرد.

$$\begin{aligned} T &= K\phi I_a \\ E_a &= K\phi\omega \end{aligned} \Rightarrow \begin{aligned} E_a &= V_t - (R_a + R_s)I_a, & \frac{T}{E_a} &= \frac{I_a}{\omega} \\ T &= \frac{I_a}{\omega} [V_t - (R_a + R_s)I_a] \end{aligned}$$

که در آن ω سرعت برحسب rad/s بوده و برابر است با $\omega(rad/s) = \frac{2\pi}{60} n(rpm)$

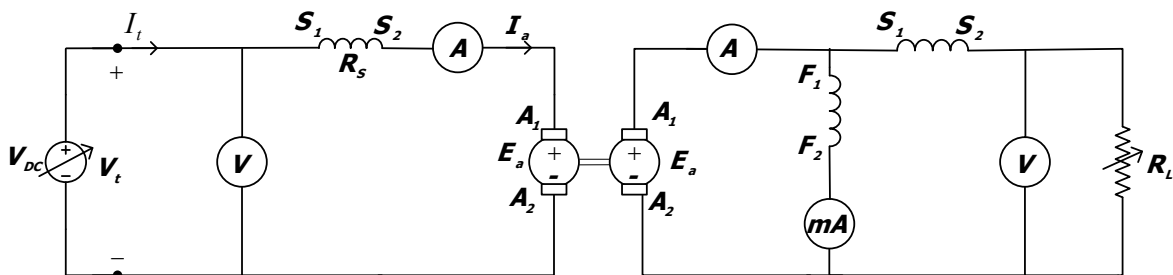
شرح آزمایش

قبل از شروع آزمایش، مقادیر نامی ژنراتور و موتور را از روی پلاک آنها خوانده و

در جدول زیر یادداشت کنید.

	<i>Motor</i>	<i>Generator</i>
<i>Armature Rated</i>		
<i>Armature Rated</i>		
<i>Field Rated Current</i>		
<i>Rated Speed</i>		

مدار آزمایش را مطابق شکل زیر بطور کامل ببندید.



موتور DC سری

ژنراتور DC کمپوند اضافی

دقت کنید تمام بارها روشن باشند. منبع تغذیه موتور را ابتدا روی مقدار صفر تنظیم

کرده و سپس آن را روشن کنید. ولتاژ دو سر موتور را به آرامی بالا ببرید تا سرعت آن به

1250 rpm برسد. ولتاژ تولیدی ژنراتور را چک کنید و اگر ولتاژ تولید نمی‌کند شرایط

ایجاد ولتاژ توسط ژنراتور شنت را بررسی کنید. حال با ثابت نگه داشتن ولتاژ، با کاهش بار جدول زیر را پر کنید. در طول آزمایش توجه کنید سرعت از مقدار نامی بالاتر نرود.

ولتاژ ترمینال =									
بارها	0	1	2	3	4	5	6	7	8
$I_a(A)$									
$\omega(rpm)$									
مراحل محاسباتی									
$T(N.m)$									

خواسته‌های آزمایش

1- منحنی سرعت $\omega(I_a)$ را رسم کرده و با نتایج تئوری مقایسه نمایید.

2- با استفاده از نتایج آزمایش، گشتاور را برای نقاط بدست آمده محاسبه کرده و در جدول بالایی وارد کنید. مقاومت آرمیچر را برابر 5Ω و مقاومت تحریک سری را برابر 0.5Ω در نظر بگیرید. منحنی گشتاور-جریان $T(I_a)$ را برای موتور تحت آزمایش رسم کرده و با روابط تئوری مقایسه نمایید.

3- با استفاده از نتایج محاسبه شده، منحنی گشتاور-سرعت $T(\omega)$ را برای موتور تحت آزمایش رسم کرده و با روابط تئوری مقایسه نمایید.

4- درصد افت سرعت موتور DC سری را برای حداکثر بار آزمایش شده محاسبه کنید.

پرسش‌ها

1- چند نمونه از روشهای راه‌اندازی موتور DC سری را بیان کنید.

2- روشهای تغییر جهت چرخش موتور DC سری را تشریح کنید.

3- برای حفاظت موتور DC سری در برابر افزایش سرعت چه راههایی وجود دارد؟

آزمایش 9: تلفات انرژی و راندمان در ماشین‌های DC

تئوری آزمایش

قسمتی از توان تحویل داده شده به ماشین DC بصورت تلفات در ماشین از بین می‌رود که در نهایت به صورت حرارت باعث گرم شدن قسمت‌های مختلف ماشین می‌گردد. مولفه‌های تلفات در ماشین DC شامل تلفات آهنی (P_{fe})، تلفات مسی (P_{cu}) و تلفات چرخشی مکانیکی (P_{rot}) است. راندمان یک ماشین DC در حالت کار موتوری با حالت ژنراتوری اختلاف دارد که این اختلاف راندمان در ماشین‌های بزرگتر کمتر است. تلفات آهنی شامل تلفات فوکو (P_e) و تلفات هیستریزیس (P_h) بوده و متناسب با سطح ولتاژ و فرکانس می‌باشد. تلفات مسی شامل تلفات مقاومتهای آرمیچر و تحریک موازی و سری و تلفات افت ولتاژ جاروبکها می‌باشد. تلفات چرخشی مکانیکی (P_{rot}) نیز تابع سرعت بوده و تلفات مکانیکی را شامل می‌شود.

برای یک موتور و ژنراتور DC شنت که با هم کوپل شده‌اند هنگامیکه هیچ باری به ژنراتور وصل نبوده و ولتاژ نامی به دو سر موتور وصل است توان الکتریکی جذب شده از ترمینالهای موتور صرف تلفات بی‌باری موتور و ژنراتور می‌گردد. در این حالت، توان بی‌باری جذب شده شامل تلفات چرخشی، تلفات هسته و تلفات تحریک موتور و ژنراتور است که مقدار این تلفات در بی‌باری و بارداری تقریباً ثابت است. در صورتیکه موتور و ژنراتور مشابه باشند با تقسیم

توان بی‌باری بین موتور و ژنراتور، تلفات بی‌باری هر کدام به صورت زیر بدست می‌آید.

$$P_{loss(N.L.)} = \frac{1}{2}(V_{tM} \cdot I_{tM})_{N.L.}$$

که در این رابطه $N.L.$ معرف حالت بی‌باری ($No Load$) بوده و V_{tM} و I_{tM} ولتاژ و جریان ترمینالهای موتور هستند.

در بارداری، تلفات کامل برای موتور و ژنراتور به شرح زیر خواهد بود (تلفات مقاومت تحریک در تلفات بی‌باری منظور شده است):

$$P_{loss} = P_{loss(N.L.)} + R_a I_a^2 + \Delta V_b I_a$$

که در آن ΔV_b افت ولتاژ جاروبکهاست که در حدود $2V$ در نظر گرفته می‌شود. در نتیجه مقدار راندمان برای موتور و ژنراتور با استفاده از پارامترهای الکتریکی به صورت زیر محاسبه خواهد شد.

$$P_{inM} = V_{tM} I_{tM}$$

$$P_{outG} = V_{tG} I_{tG}$$

$$P_{outM} = P_{inM} - P_{lossM}$$

$$P_{inG} = P_{outG} + P_{lossG}$$

$$\eta_M = 100 \frac{P_{outM}}{P_{inM}}$$

$$\eta_G = 100 \frac{P_{outG}}{P_{inG}}$$

که در روابط فوق M و G به ترتیب معرف موتور و ژنراتور هستند.

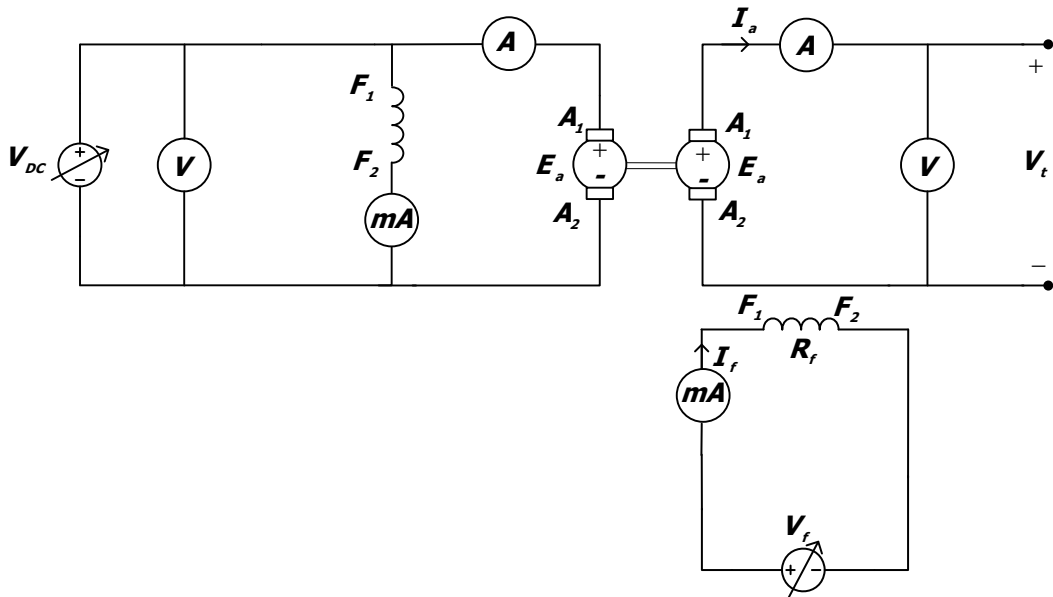
شرح آزمایش

قبل از شروع آزمایش، مقادیر نامی ژنراتور و موتور را از روی پلاک آنها خوانده و

در جدول زیر یادداشت کنید.

	<i>Motor</i>	<i>Generator</i>
<i>Armature Rated</i>		
<i>Armature Rated</i>		
<i>Field Rated Current</i>		
<i>Rated Speed</i>		

مدار آزمایش را مطابق شکل زیر ببندید. در ابتدا فقط مدار موتور را ببندید.



موتور DC شنت

ژنراتور DC تحریک مستقل

خواسته‌های آزمایش

1- با استفاده از نتایج آزمایش، منحنی راندمان موتور و ژنراتور را در یک نمودار به ازای بارهای مختلف رسم کرده و علت افزایش یا کاهش آن را توضیح دهید. مقاومت آرمیچر را برابر 5Ω و تحریک را 290Ω و افت ولتاژ جاروبکها را $2V$ در نظر بگیرید.

2- حداکثر راندمان و توان خروجی موتور و ژنراتور در چه نقطه‌ای بوده و مقدار آن چقدر است؟

3- با توجه به اینکه ماشین‌های تحت تست مشابه هستند با استفاده از نتایج، بررسی کنید که راندمان و توان خروجی یک ماشین DC در کدام حالت ژنراتوری یا موتوری بیشتر است.

پرسش‌ها

1- انواع تلفات و تقسیم‌بندی آنها را در یک ماشین DC ذکر کنید.

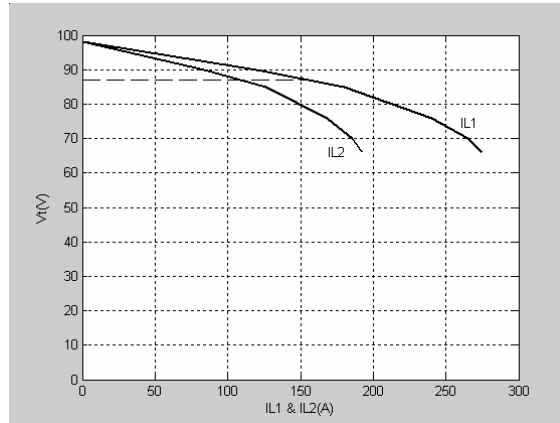
آزمایش 10: موازی کردن ژنراتورهای DC

تئوری آزمایش

در سیستم‌های قدرت، تغذیه بارهای بزرگ با ژنراتورهای موازی دارای مزیت‌های متعددی نسبت به استفاده از یک ژنراتور بزرگ دارد که بعنوان نمونه می‌توان به موارد زیر اشاره نمود.

- افزایش قابلیت اطمینان: با خروج ناگهانی یکی از واحدها، فقط قسمتی از بار بدون تغذیه می‌ماند.
- تعمیر و نگهداری: در صورت نیاز به تعمیرات دوره‌ای یکی از واحدها، بقیه واحدها بار را تامین می‌کنند.
- افزایش راندمان: در صورت کاهش بار می‌توان یک یا چند واحد را از مدار خارج کرد تا بقیه واحدها با بار نامی کار کنند. راندمان ژنراتور در بار نامی ماکزیمم است.
- برنامه توسعه بار: با افزایش بار در آینده می‌توان با نگهداری واحدهای موجود، واحد جدیدی را به شبکه اضافه نمود.
- محدودیت ساخت: از نظر فنی، امکان ساخت ژنراتور با توانهای بسیار بالا وجود نداشته و یا غیراقتصادی است.

تقسیم بار بین دو ژنراتور موازی با مشخصه خارجی آنها (ولتاژ-جریان ترمینال) انجام می‌شود. در صورتیکه مشخصه‌های خارجی یکسان نباشند مطابق شکل زیر بار به طور یکسان بین آن دو تقسیم نخواهد شد.



در شکل فوق V_L ولتاژ دو سر بار و I_{L1} و I_{L2} جریانهای تامین شده توسط دو ژنراتور است که جریان بار برابر با $I_L = I_{L1} + I_{L2}$ می‌باشد. در موازی کردن ژنراتورهای DC باید دقت شود که ولتاژ ترمینالها مساوی بوده و پلاریته‌های همنام به یکدیگر متصل شوند.

با توجه به اینکه در ژنراتورهای DC شنت، سیم پیچی تحریک بطور موازی با آرمیچر و بار قرار می‌گیرد موازی کردن ژنراتورهای شنت اشکالی را پیش نمی‌آورد و نقطه کار پایداری را ایجاد می‌کند. ولی موازی کردن ژنراتورهای DC سری و کمپوند به دلیل وجود تحریک سری نیازمند دقت خاصی است. یک ماشین DC تا وقتی به صورت ژنراتور کار می‌کند که ولتاژ آرمیچر بیشتر از ولتاژ ترمینال باشد. ($E_a > V_t$)

در صورتیکه دو ژنراتور سری یک بار را به طور مشترکی تغذیه کنند نوسانات جریان بار که همواره وجود دارد منجر به تغییر مقدار جریان ترمینال ژنراتورها می‌شود. از آنجائیکه جریان ترمینال همان جریان تحریک سری است مقدار ولتاژ آرمیچرها دستخوش تغییر خواهد شد. در چنین حالتی اگر ولتاژ

آرمیچر یکی از ژنراتورها به پائین تر از ولتاژ بار برسد این ماشین بصورت موتور کار کرده و جهت جریان در آرمیچر و سیم‌پیچ سری آن عوض خواهد شد که این امر به منزله اتصال کوتاه برای شبکه خواهد بود. جهت حل این مشکل، تحریک سری دو ژنراتور را با اتصال مقاومت کم هم‌ولتاژ می‌کنند تا جهت جریان معکوس نشده و مشکل اتصال کوتاه پیش نیاید. همچنین از کلیدهای اتوماتیک استفاده می‌شود تا در صورت معکوس شدن جهت جریان، ژنراتور مربوطه از شبکه قطع شود.

شرح آزمایش

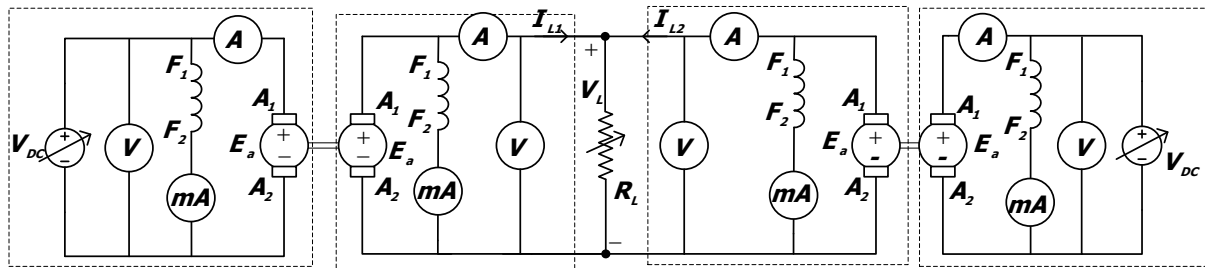
برای انجام آزمایش نیاز به دو ژنراتور DC داریم که هر کدام توسط یک موتور DC به حرکت درمی‌آید. پس در این آزمایش لازم است که از دو میز بطور همزمان استفاده شود.

قبل از شروع آزمایش، مقادیر نامی ژنراتور و موتورها را از روی پلاک آنها خوانده و در جدول زیر یادداشت کنید.

	<i>Motor 1</i>	<i>Generator</i>	<i>Motor 2</i>	<i>Generator</i>
<i>Armature Rated</i>				
<i>Armature Rated</i>				
<i>Field Rated Current</i>				
<i>Rated Speed</i>				

مدار آزمایش را مطابق شکل زیر ببندید. در ابتدا فقط مدار موتورها را ببندید. منبع تغذیه موتورها را ابتدا روی مقدار صفر تنظیم کرده و سپس آن را روشن کنید. ولتاژ دو سر موتور را به آرامی تا مقدار نامی بالا ببرید و ولتاژ تولیدی ژنراتور را چک کنید و اگر ولتاژ تولید نمی‌کند شرایط ایجاد ولتاژ توسط ژنراتور شنت را بررسی کنید.

قبل از روشن کردن مجموعه‌ها، اتصال بین دو میز را با استفاده از سیم رابط که مجهز به کلید است انجام داده و دقت کنید که کلید پارالل حتماً در حالت قطع بوده و پلاریته‌های هم‌نام به هم وصل شوند. کلیه بارها را خاموش کنید. با تنظیم اتوترانس‌های هر دو میز، ژنراتورها را روی سرعت نامی تنظیم کنید. سپس ولتاژ ژنراتوری را که بیشتر است با کاهش سرعتش دقیقاً برابر با ژنراتور دیگر تنظیم نمایید.



ژنراتور DC شنت اول ژنراتور DC شنت دوم
موتور DC شنت اول بار موتور DC شنت دوم

حال دو ژنراتور دارای ولتاژ تولیدی یکسان و آماده موازی کردن هستند. مقادیر سرعت‌های ژنراتورها را در جدول زیر یادداشت کرده و در طول آزمایش آنها را به کمک اتوترانس‌ها ثابت نگه دارید.

خواسته‌های آزمایش

- 1- منحنی تغییرات ولتاژ ترمینال بار را بر حسب جریانهای ژنراتورها بطوریکه در شکل تئوری همین آزمایش ذکر شد رسم کنید.
- 2- با استفاده از نتایج آزمایش بیان کنید که سهم کدام ژنراتور در تامین بار بیشتر است. در حداکثر بارگذاری درصد تامین بار توسط ژنراتورها را تعیین کنید. آیا دو ژنراتور کاملاً مشابهند؟

پرسش‌ها

- 1- در حالتیکه دو مجموعه موازی بدون بار هستند دو ژنراتور چه جریانی را نشان می‌دهند؟ بر روی مقدار آن بحث کنید.
- 2- دلیل عدم تقسیم مساوی بار بین دو ژنراتور بیان کنید. برای اینکه بار بطور مساوی بین ژنراتورها تقسیم شود چه عواملی را باید تغییر داد؟
- 3- در موازی کردن ژنراتورهای تک فاز و سه فاز AC چه شرایطی باید رعایت شود؟