



بسمه تعالی

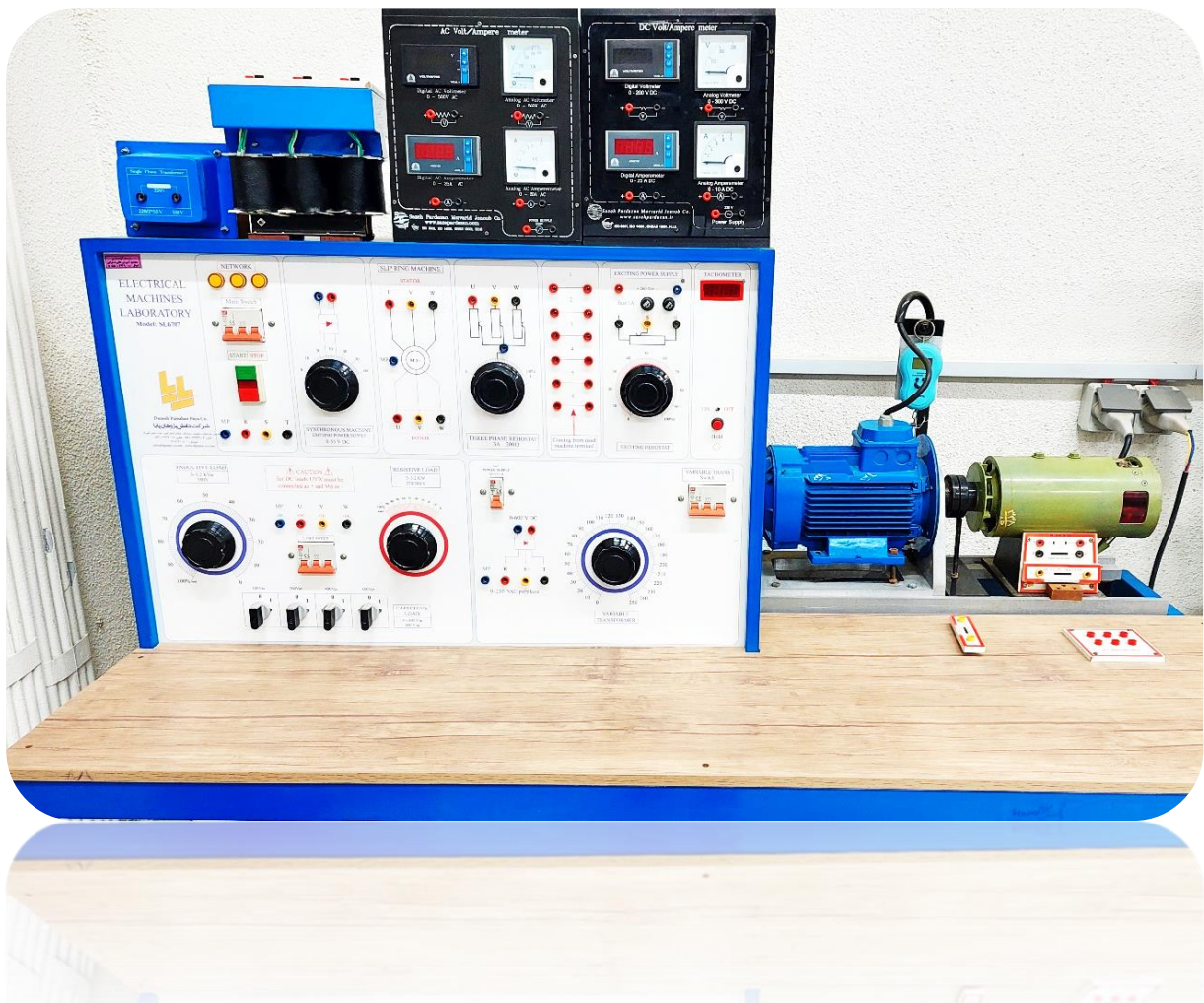
دستور کار آزمایشگاه ماشین های
الکتریکی (۱)



دانشگاه صنعتی اصفهان

دستور کار

آزمایشگاه ماشین های الکتریکی ۱



دکتر میثم هوشمند



دستور کار آزمایشگاه ماشین های
الکتریکی (۱)



دانشگاه صنعتی اصفهان

فهرست

فهرست	۲
نکات ایمنی	۳
تجهیزات آزمایشگاه ماشین	۵
نکات ایمنی و توضیحات تکمیلی:	۶
یادآوری: استفاده صحیح از دستگاه های اندازه گیری	۶
آزمایش (۱): منحنی مشخصه بی باری و بار داری ژنراتور DC تحریک مستقل	۹
آزمایش (۲): منحنی مشخصه بی باری و بار داری ژنراتور DC شنت	۱۵
آزمایش (۳): انواع ژنراتورهای DC سری و تعیین مشخصه بار داری آن ها	۲۱
آزمایش (۴): انواع ژنراتورهای DC کمپوند و تعیین مشخصه بار داری آن ها	۲۲
آزمایش (۵): موتور DC شنت و منحنی های گشتاور سرعت و گشتاور جریان	۲۷
آزمایش (۶): تعیین مشخصه های موتور DC سری و روش های کنترل سرعت آن	۳۴
آزمایش (۷): موتور DC کمپوند و رسم منحنی مشخصه آن	۳۸
آزمایش (۸): تلفات انرژی و راندمان در ماشین های DC	۴۱



دستور کار آزمایشگاه ماشین های
الکتریکی (۱)



دانشگاه صنعتی اصفهان



نکات ایمنی

• لطفاً قبل از شروع هرگونه آزمایش یا کار با تجهیزات، به موارد زیر توجه فرمائید:

- ۱- قبل از اینکه مدار توسط استاد آزمایشگاه کنترل شود، به هیچ وجه کلید (START) مدار را وصل نکنید. با توجه به بالا بودن ولتاژ، چنانچه مداری اشتباه وصل شده باشد؛ احتمال برق گرفتگی و آتش سوزی وجود دارد.
- ۲- 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 این صورت احتمال سوختن موتور به دلیل جریان راه اندازی بالا وجود دارد.
- ۳- هنگام انجام آزمایش و برق دار بودن مدار، از جابه جایی سیم های رابط و قطع و وصل مدار خودداری کنید.
- ۴- هنگامی که در مقادیر زیاد جریان کار می کنید، سعی کنید آزمایش را در کمترین مدت ممکن انجام داده و پس از آن، مدار را خاموش کنید.



دستور کار آزمایشگاه ماشین های
الکتریکی (۱)



دانشگاه صنعتی امیرکبیر

۵- 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 دستگاه ها می گردد.

۶- پس از اتمام آزمایش، صندلی و میز را مرتب کنید و فیش ها را در محل مربوطه قرار دهید.

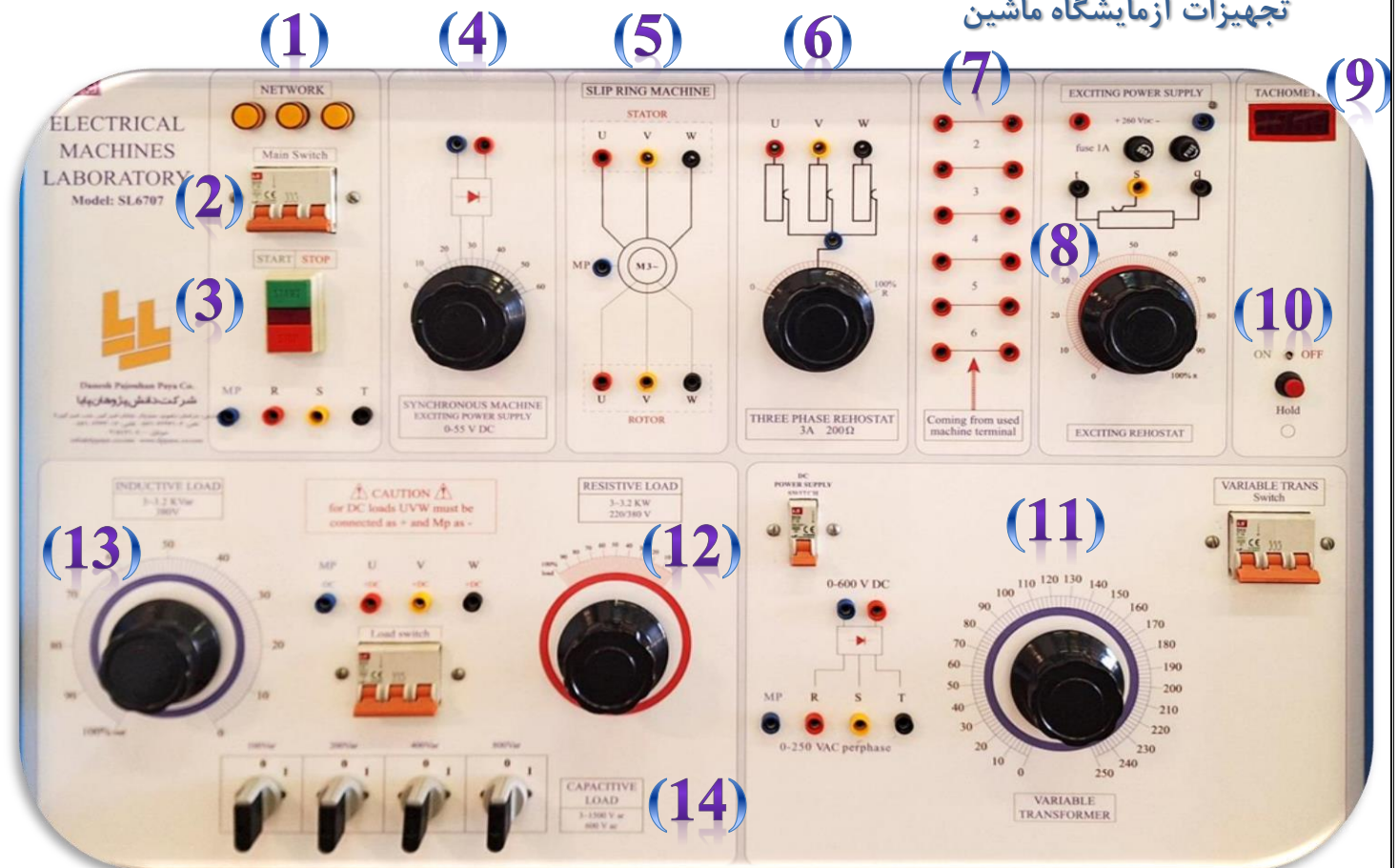
• نکات ایمنی در مورد برق گرفتگی

- ۱- جریان مجاز قابل تحمل بدن انسان در فرکانس ۵۰ هرتز، در حدود ۲۵ میلی آمپر می باشد.
- ۲- میزان برق گرفتگی وابسته به مقدار سطح تماس مستقیم بدن با جسم هادی است.
- ۳- در مقام مقایسه، خطر برق گرفتگی پشت دست به مراتب کمتر از کف دست است.
- ۴- برای اشخاص برق گرفته، تنفس مصنوعی کارایی بالایی دارد ولی ممکنه این کار چند ساعت طول بکشد.
- ۵- ولتاژ بیش از ۶۵ ولت برای انسان خطرناک است.

• مقاومت بدن انسان در مقابل جریان برق

- ۱- مقاومت بدن انسان بر دو نوع است: مقاومت داخلی (مقاومت اعضای زیر پوست)، مقاومت بیرونی (مقاومت پوست بدن)
- ۲- مقاومت تقریبی بدن در برابر جریان متناوب ۱۶۴۰ اهم می باشد.
- ۳- مقاومت تقریبی بدن در برابر جریان مستقیم ۴۲۵۰ اهم می باشد.
- ۴- بنابراین خطر برق گرفتگی در جریان متناوب بیشتر از جریان مستقیم است.

تجهیزات آزمایشگاه ماشین



برق شبکه سه فاز (380v)	Network	1
کلید مینیاتوری، جهت حفاظت تجهیزات مدار در مقابل خطاهای اتفاقی	Main Switch	2
کلید اصلی جهت قطع و وصل ولتاژ ورودی	Start Stop Push Button Switch	3
منبع تغذیه تحریک ماشین DC (0 - 55v)	Synchronous Machine Exciting Power Supply (0 - 55V) DC	4
ترمینال های استاتور و روتور ماشین سنکرون	Slip Ring Machine(Stator, MP, Rotor)	5
رئوستای سه فاز (2000Ω , 3A)	Three Phase Rehostat(3A, 200Ω)	6



دستور کار آزمایشگاه ماشین های
الکتریکی (۱)



دانشگاه صنعتی اصفهان

ترمینال های ماشین تحت آزمایش	Coming from Used Machine Terminal	7
منبع تغذیه تحریک، رثوستای تحریک (مربوط به ماشین DC)	Exciting Power Supply, Exciting Rehostat	8
تاکومتر (اندازه گیری سرعت)	Tachometer	9
سوئیچ تاکومتر	Hold, ON - OFF	10
(0-600V) DC, (0-250VAC) perphase منبع تغذیه متغیر AC و DC	DC Power Supply Switch, Variable Transformer, Variable Trans Switch	11
بار اهمی	Resistive Load {3-3.2Kw, 220/380V}	12
بار سلفی	Inductive Load {3-3.2KVar, 300V}	13
بار خازنی	Capacitive Load {3-1500V ac, 600V ac}	14

نکات ایمنی و توضیحات تکمیلی:

- قبل از شروع کار و بستن آزمایش ها کلید محافظ جان و فیوز مینیاتوری را در حالت خاموش off قرار دهید.
- در هنگام راه اندازی موتور سنکرون، تحریک را در مقدار (55v) قرار دهید.
- مادگی های تعبیه شده بر روی اتوترانسفورمر ولتاژ ردیف 11 خروجی آن می باشد، اتصال اشتباه (دادن ولتاژ به خروجی آن) باعث سوختن اتوترانسفورمر می شود.
- برای یکسوسازها در ردیف 11 ورودی AC به اتوترانسفورمر متصل شده است. جهت استفاده کافی است کلید قطع و وصل آن تغییر وضعیت یابد.

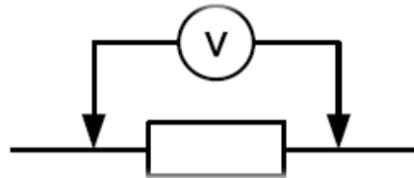
یادآوری: استفاده صحیح از دستگاه های اندازه گیری

استفاده صحیح از دستگاه های اندازه گیری در انجام آزمایش ها برای جلوگیری از آسیب دیدن دستگاه ها و استخراج نتایج صحیح از اهمیت بالایی برخوردار است. لذا قبل از شروع آزمایش ها لازم است دانشجویان استفاده صحیح از ولت متر، آمپر متر و وات متر را یاد بگیرند.



الف) ولت متر

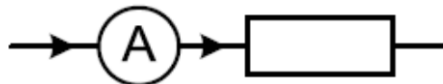
ولت متر در مدارات به صورت موازی وصل می شود و اختلاف ولتاژ دو نقطه از مدار را اندازه گیری می کند. از آنجا که مقاومت داخلی ولت متر بسیار زیاد است اگر به صورت اشتباه (سری) در مدار قرار گیرد مانع عبور جریان می شود ولی خود آسیبی نمی بیند.



اتصال صحیح ولت متر

ب) آمپر متر

آمپر متر در مدارات به صورت سری وصل می شود و جریان عبوری را اندازه گیری می کند. از آنجا که کل جریان بار از آمپر متر عبور می کند برای اینکه خود آمپر متر به عنوان بار عمل نکند مقاومت داخلی آن را بسیار کوچک انتخاب می کنند. در نتیجه اگر آمپر متر اشتباهاً به صورت موازی با مدار قرار گیرد جریان بسیار زیادی از آن عبور کرده و باعث اتصال کوتاه و سوختن آمپر متر می گردد، نحوه صحیح اتصال آمپر متر به صورت زیر می باشد.

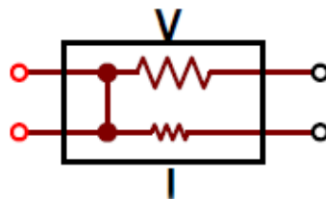


اتصال صحیح آمپر متر

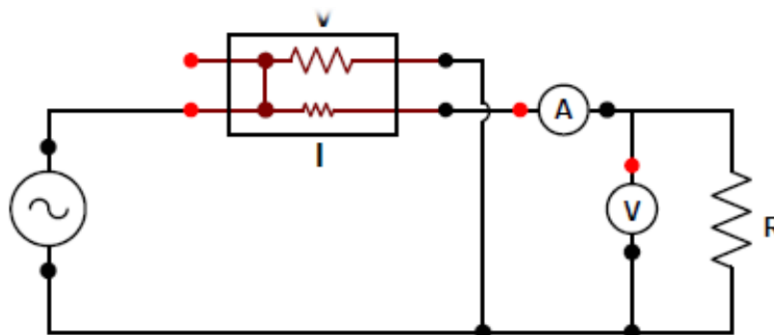
ج) وات متر

وات متر دستگاهی است که توان عبوری را با ضرب $VI \cos \theta$ محاسبه می کند؛ 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 می باشد. اما این دو ورودی یک نقطه مشترک دارند (فیش قرمز جریان و فیش

سیاه ولتاژ) که این موضوع باید در بستن مدارات آزمایش حتماً در نظر گرفته شود تا از به وجود آمدن اتصال کوتاه در مدار جلوگیری شود.



نحوه قرار دادن صحیح این نوع وات‌متر بدین صورت است که ابتدا سیم‌پیچ جریان را در مدار به صورت سری قرار می‌دهیم به صورتی که فیش قرمز ورودی (متصل به منبع) و فیش سیاه خروجی (متصل به بار) باشد. سپس فیش سیاه سیم‌پیچ 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).

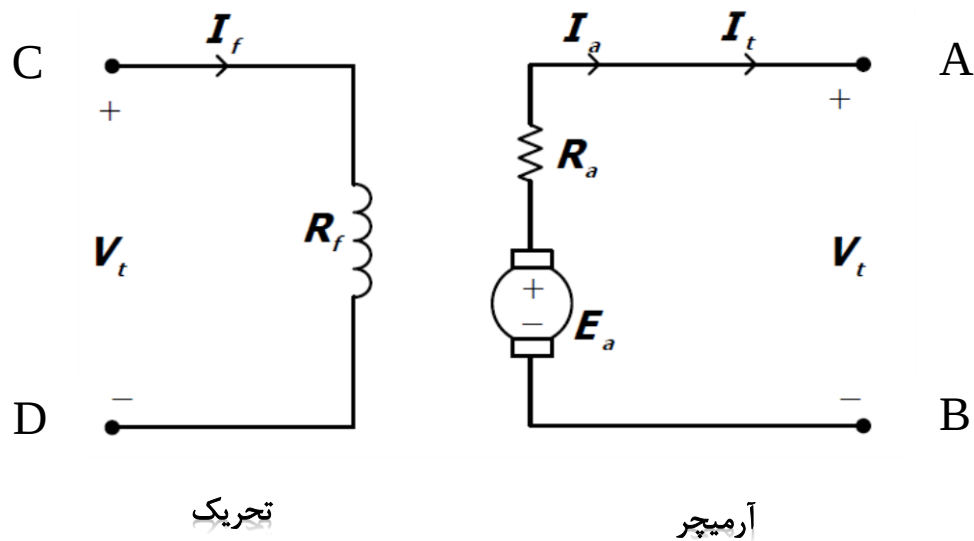


نحوه قرار گرفتن صحیح تجهیزات اندازه‌گیری در مدار

آزمایش (1): منحنی مشخصه بی‌باری و باردارگی ژنراتور DC تحریک مستقل

✓ تئوری آزمایش

در ژنراتورهای DC تحریک مستقل (Separately excited) سیم‌پیچی تحریک به وسیله 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 ژنراتورها DC تحریک مستقل به صورت زیر می‌باشد.



تحریک

آرمیچر

$$R_f = \text{مقاومت سیم‌پیچی تحریک میدان (field)}$$

$$V_f = \text{ولتاژ تغذیه سیم‌پیچی تحریک میدان}$$

$$E_a = \text{ولتاژ تولید شده توسط آرمیچر}$$

$$R_a = \text{مقاومت سیم‌پیچی آرمیچر}$$

$$V_t, I_t = \text{ولتاژ و جریان ترمینال ژنراتور (بار)}$$

➤ یک ژنراتور DC تحریک مستقل دارای مشخصه‌های زیر است:



الف) مشخصه بی باری (مشخصه مغناطیسی)

مشخصه بی باری یک ژنراتور منحنی تغییرات ولتاژ آرمیچر برحسب جریان تحریک I_f است درحالی که ژنراتور بی بار است. با افزایش I_f مقدار فلوی ژنراتور مطابق با منحنی مغناطیسی هسته افزایش می یابد و طبق رابطه $E_a = K\phi\omega$ با فرض ثابت بودن سرعت چرخش، ولتاژ آرمیچر نیز افزایش خواهد یافت. به دلیل رفتار هیستریزیس 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. درنتیجه $E_a(I_f)$ متناسب با سرعت تغییر خواهد کرد.

ب) مشخصه بارداری (مشخصه خارجی)

مشخصه بارداری ژنراتور منحنی تغییرات ولتاژ ترمینال برحسب جریان آرمیچر $V_t(I_a)$ است درحالی که ژنراتور با مقادیر نامی خود (سرعت نامی و جریان تحریک نامی) کار می کند، 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 $R_a I_a$ مؤلفه مربوط به افت ولتاژ اهمی آرمیچر و ΔV_{AR} مؤلفه مربوط به افت ولتاژ ناشی از عکس العمل آرمیچر است. عکس العمل آرمیچر باعث می شود با افزایش جریان آرمیچر، تعادل فلو به هم خورده و مقدار متوسط فلوی هسته کمتر شود که باعث کاهش ولتاژ آرمیچر می شود.

ج) مشخصه تنظیم

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



دستور کار آزمایشگاه ماشین های الکتریکی (۱)



دانشگاه صنعتی اصفهان

✓ شرح آزمایش:

در آزمایش های ژنراتور DC جهت به حرکت درآوردن محور ژنراتور نیاز به یک محرک مکانیکی است که در صنعت ممکن است از یک موتور دیزل و یا یک توربین استفاده شود. در این آزمایشگاه از یک موتور سنکرون استفاده شده است.

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

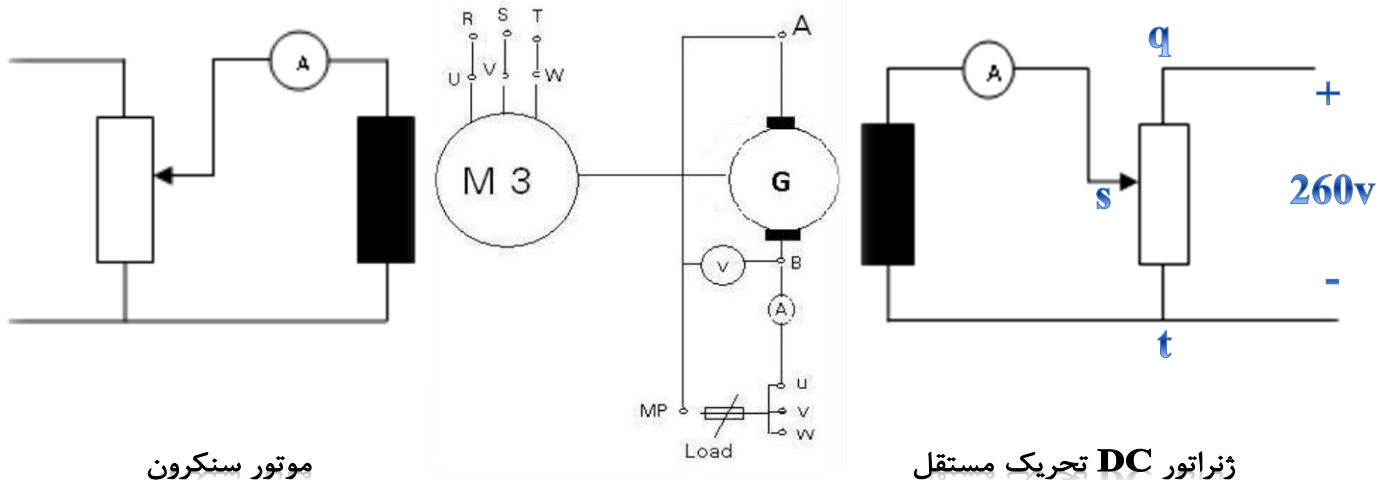
	Generator	Motor
Armature Rated Voltage		
Armature Rated Current		
Field Rated Current		
Rated Speed		

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

نحوه راه اندازی موتور سنکرون را در دو مرحله انجام می دهیم:

(۱) اتصال UVW از NETWORK به استاتور ماشین سنکرون (ردیف 5)

(۲) اتصال UV از روتور (ردیف 5) به تحریک ماشین سنکرون (ردیف 4)





دستور کار آزمایشگاه ماشین های
الکتریکی (۱)



دانشگاه صنعتی اصفهان

الف: تعیین مشخصه ولتاژ بی باری بر حسب جریان تحریک (مشخصه مغناطیسی)

مدار را مطابق شکل فوق ببندید. کلید بار قطع می باشد. به کمک موتور محرک دور ژنراتور را به مقدار نامی آن برسانید. قبل از وصل مدار تحریک، ولتاژ القا شده ناشی از این مانورها را یادداشت نمایید. جریان تحریک را از صفر تا 1.1 برابر مقدار نامی آن مرحله به مرحله افزایش دهید و ولتاژ القا شده را یادداشت نمایید. سپس برای رسم منحنی برگشت، جریان تحریک را مرحله به مرحله کاهش دهید و ولتاژ E_0 مربوطه را یادداشت نمایید. در تمام مدت آزمایش دور را به وسیله موتور متحرک ثابت است. دقت کنید که جریان منحنی رفت و برگشت با هم متفاوت است. برای تنظیم جریان تحریک مختلف نمی توان رؤستا را کم و زیاد نمود و دانشجو می بایست رؤستا را با دقت و احتیاط در هر یک از دو قسمت فقط در یک جهت تغییر دهد. در غیر این صورت لوپ های کوچک هیستریس در روی منحنی کل ایجاد می گردد. در برگشت نیز روی همان عددهای جریان تحریک که بالا رفته اید برگردید.

$I_f(A)$	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
رفت E_0											
برگشت E_0											

➤ سپس پلاریته جریان تحریک را عوض نموده و آزمایش را انجام دهید.

$-I_f(A)$	0	-0.1	-0.2	-0.3	-0.4	-0.5	-0.6	-0.7	-0.8	-0.9	-1
رفت E_0											
برگشت E_0											

➤ یک بار دیگر پلاریته را عوض نموده و آزمایش را تا ماکزیمم مثبت انجام دهید.

$+I_f(A)$	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
رفت E_0											



دستور کار آزمایشگاه ماشین های
الکتریکی (۱)



دانشگاه صنعتی اصفهان

ب: اندازه گیری مشخصه ولتاژ خروجی بر حسب جریان بار (مشخصه خارجی مولد)

مدار را مطابق شکل ببندید. دور ژنراتور را به مقدار نامی آن (۳۰۰۰ دور) برسانید و با تغییر جریان تحریک، ولتاژ القا شده را در مقدار نامی ۲۲۰ تنظیم کنید. مقاومت R_L را به ماکزیمم مقدار ممکنه برسانید و سپس کلید بار را وصل نمایید. با تقلیل مقاومت R_L جریان بار را مرحله به مرحله افزایش داده و ولتاژ خروجی را یادداشت نمایید. جریان تحریک و دور بایستی ثابت بمانند. (در این آزمایش نیاز به ۳ آمپر متر دارید).

I_a	0	1	2	3	4	5A
V_t						

پ: اندازه گیری مشخصه ولتاژ خروجی بر حسب جریان تحریک در بار ثابت (منحنی اشباع بارداری)
مدار را مطابق شکل ببندید. را در مقدار نامی (۳۰۰۰ دور) تنظیم نمایید. مقاومت R_L را به ماکزیمم مقدار ممکنه برسانید. سپس کلید بار را وصل نمایید. جریان تحریک را به ماکزیمم برسانید و با تنظیم مقاومت R_L جریان بار را در $\frac{2}{3}$ مقدار نامی آن ثابت نگه دارید. سپس جریان تحریک را مرحله به مرحله کاهش دهید. در هر مرحله جریان تحریک و ولتاژ خروجی را یادداشت نمایید. در تمام مدت آزمایش به کمک مقاومت R_L و موتور محرک، مقادیر جریان بار و دور را در مقدار نامی ثابت نگه دارید. مانند آزمایش (الف) روستا را در یک جهت تغییر دهید.

I_a	4A	4A	4A	4A	4A	4A	4A	4A	4A	4A
I_f	1	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1
V_t										

ت: در پایان آزمایش ها در حالی که مولد ساکن می باشد، مقاومت آرمیچر R_a را به کمک پل یا اهم متر دیجیتالی دقیق اندازه گیری نمایید.



دستورکار آزمایشگاه ماشین‌های
الکتریکی (۱)



دانشگاه صنعتی امیرکبیر

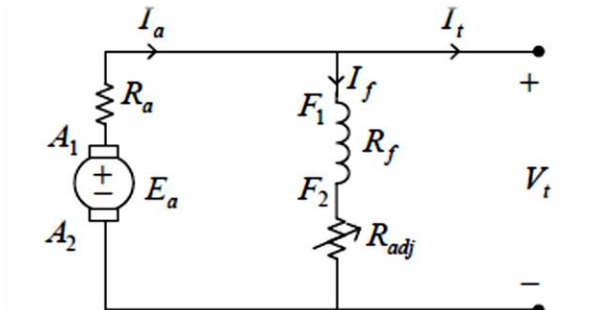
✓ خواسته‌های آزمایش

- ۱- مشخصه خارجی را برای ژنراتور مورد آزمایش رسم کنید و درصد افت ولتاژ رگولاسیون را در بار نامی حساب کنید.
- ۲- منحنی رفت و برگشت مشخصه مغناطیسی را برای دو دور روی یک دیاگرام رسم نمایید و منحنی میانگین هر کدام را بدست آورید.
- ۳- منحنی میانگین مشخصه مغناطیسی ۳۰۰ دور بیشتر از دور نامی بدست آورده و بر روی دیاگرام فوق رسم نمایید. طرز بدست آوردن آن را توضیح دهید.
- ۴- مشخصه خارجی مدار را رسم نمایید و از روی آن مشخصه داخلی و منحنی افت در اثر عکس-العمل بر حسب جریان بار را رسم نمایید و روش‌های کاهش عکس‌العمل آرمیچر را بیان کنید.
- ۵- مشخصه تنظیم را به ازای ولتاژ ترمینال ثابت و سرعت ثابت رسم کنید.
- ۶- مثلث مشخصاتی مولد را رسم نمایید.
- ۷- تلفات هیستریزیس هسته چه رابطه‌ای با منحنی مغناطیسی ماشین دارد؟

✓ سؤالات آزمایش

- ۱- چرا مشخصه ولتاژ بی‌باری بر حسب تحریک برای افزایش و کاهش جریان تحریک باهم اختلاف دارند؟
- ۲- ولتاژ نامی ماشین از روی کدام منحنی و در چه حدودی انتخاب می‌گردد؟ توضیح دهید.
- ۳- افت ولتاژ بر حسب جریان بار به چه عواملی بستگی دارد؟
- ۴- با توجه به پس‌ماند مشخصه اتصال کوتاه را تخمین زده و تا مقادیر نامی رسم نمایید؟
- ۵- مثلث مشخصاتی در چه ناحیه‌ای ثابت است؟
- ۶- چگونه می‌توان پلاریته ولتاژ خروجی را تغییر داد؟
- ۷- موارد استعمال ژنراتور تحریک مستقل را بیان کنید.

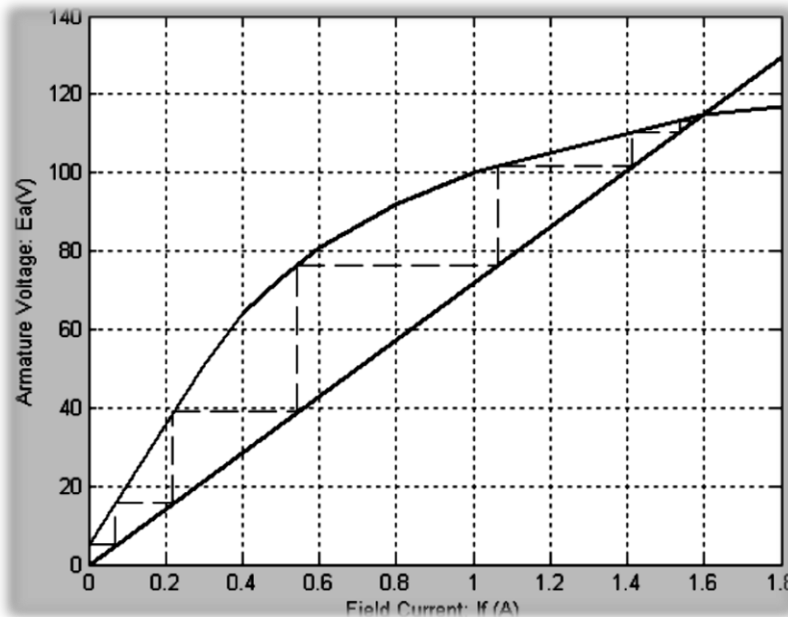
آزمایش (2): منحنی مشخصه بی باری و بار داری ژنراتور DC شنت



$$E_a = k\phi\omega$$

$$V_t = R_f I_f$$

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



✓ تئوری آزمایش

ژنراتورهای شنت بیش از انواع دیگر ژنراتورهای DC در صنعت مورد استفاده قرار می گیرند. در این نوع ژنراتورها، برخلاف ژنراتور تحریک مستقل نیازی به منبع جداگانه برای تحریک سیم پیچی میدان نمی باشد و در حقیقت از خود ولتاژ تولیدی ژنراتور جهت تحریک میدان استفاده می شود. به دلیل اینکه سیم پیچی میدان موازی با آرمیچر قرار می گیرد این نوع ژنراتور را شنت می نامند.



یکی از شروط ایجاد ولتاژ در ژنراتور DC شنت وجود فلوی پس ماند در هسته می باشد. مدار معادل ژنراتور DC شنت و نحوه تولید ولتاژ در این نوع ژنراتورها در شکل صفحه قبل نشان داده شده است.

هنگامی که ژنراتور با سرعت نامی به گردش درمی آید به دلیل وجود پس ماند مغناطیسی در هسته باینکه جریان تحریک هنوز صفر است ولتاژ E_{a1} تولید می شود. این ولتاژ تولید شده منجر به افزایش جریان تحریک به مقدار I_{f1} می شود و این جریان ولتاژ E_{a2} را تولید می کند. به همین ترتیب ولتاژ آرمیچر طبق روند نشان داده شده در شکل فوق صعود کرده و در نقطه تقاطع دو منحنی به حالت پایدار می رسد (فرض می شود $E_a \approx V_t$).

بطوریکه در شکل نشان داده شده است، نقطه کار وقتی موجود است که دو منحنی هم دیگر را قطع کنند. با افزایش مقدار رثوستا، مقاومت شاخه شنت افزایش یافته و شیب خط افزایش می یابد. مقاومت بحرانی مقدار مقاومتی است که خط فوق مماس بر منحنی می شود. 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 پایین تر آمده و نقطه تقاطعی با خط نخواهد داشت.

❖ پس می توان شرایط ایجاد ولتاژ در ژنراتور شنت را به صورت زیر خلاصه کرد:

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

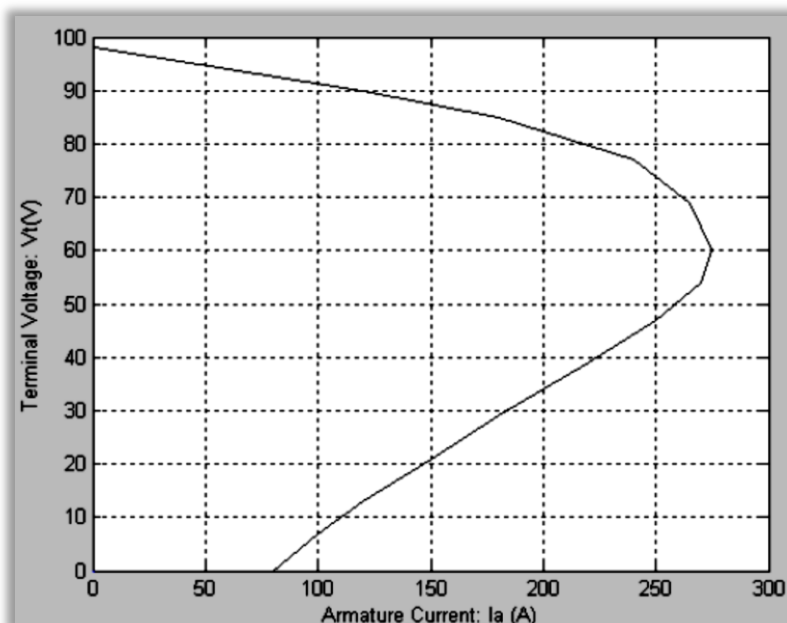
مشخصه خارجی ژنراتور شنت

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 به دلیل اینکه ولتاژ تحریک همان ولتاژ ترمینال است؛ افت ولتاژ ترمینال، منجر به کاهش جریان تحریک نیز خواهد شد که آن نیز به نوبه ی خود باعث کاهش E_a می شود. در رابطه فوق $R_a I_a$ مؤلفه ی مربوط به افت ولتاژ اهمی آرمیچر و ΔV_{AR} مؤلفه ی مربوط به افت ولتاژ ناشی از عکس العمل آرمیچر است. با افزایش جریان آرمیچر، عکس العمل آرمیچر باعث می شود که تعادل فلو به هم خورده و مقدار متوسط فلو ی هسته کمتر شود که نهایتاً باعث کاهش ولتاژ آرمیچر می شود.



➤ جهت محاسبه افت ولتاژ ناشی از عکس العمل آرمیچر از رابطه زیر استفاده می شود:

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

که مقادیر I_a و V_t با اندازه گیری مستقیم و E_a از طریق اندازه گیری I_f و استفاده از منحنی $E_a(I_f)$ بدست می آید. مشخصه نوعی بار داری ژنراتور شنت به صورت تصویر قبل است.



دستور کار آزمایشگاه ماشین های
الکتریکی (۱)



دانشگاه صنعتی اصفهان

کنید. با این تفاوت که نیمه منفی آن را نمی توان انجام داد. (در این آزمایش رئوستای تحریک باید در رنج 50% قرار بگیرد.)

$I_f(A)$	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
E_o رفت											
E_o برگشت											

ب: اندازه گیری مشخصه ولتاژ خروجی بر حسب جریان بار (مشخصه خارجی مولد)

به کمک موتور محرک دور را به مقدار نامی برسانید. سپس کلید بار را وصل کرده و جریان بار را به کمک R_L مرحله به مرحله افزایش دهید و در هر مرحله ولتاژ و جریان بار را یادداشت نمایید تا به حالت اتصال کوتاه برسید. دور بایستی ثابت باقی بماند. «در این مرحله دقت شود که ولتاژ را باید در حد ولتاژ نامی 220v با تغییر رئوستای تحریک تنظیم کنید.»

I_L									
U									
I_f									

ج: مقاومت اهمی سیم پیچ میدان و رئوستا و سیم پیچ آرمیچر را به کمک یک پل و یا از طریق دیگر اندازه بگیرید.

✓ خواسته های آزمایش

۱- منحنی رفت و برگشت و مقدار متوسط منحنی مغناطیسی ژنراتور شنت را در یک نمودار رسم کنید

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

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



دستور کار آزمایشگاه ماشین های
الکتریکی (۱)



دانشگاه صنعتی امیرکبیر

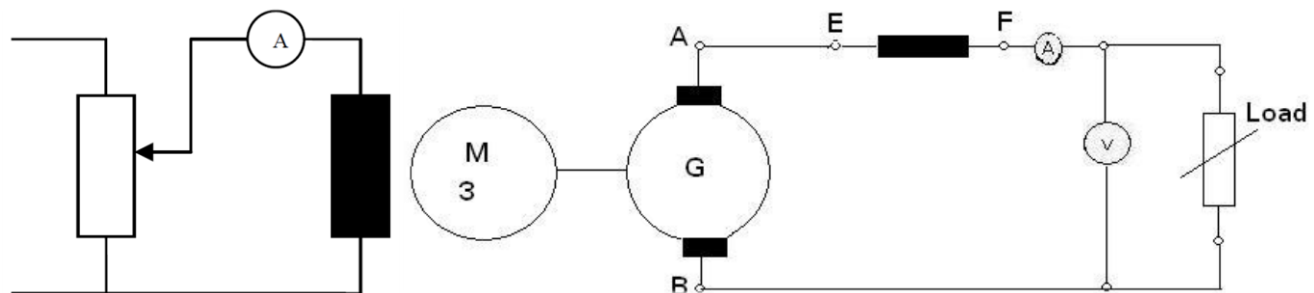
۴- درصد افت ولتاژ را در حداکثر بار مورد آزمایش بدست آورده و با مقدار حاصل از ژنراتور تحریک مستقل مقایسه کنید.

✓ سوالات آزمایش

- ۱- در یک ژنراتور شنت چگونه می توان پلاریته ولتاژ خروجی را عوض کرد؟
- ۲- با تغییر سرعت ژنراتور، مقدار مقاومت بحرانی چه تغییری می کند؟
- ۳- مزایا و معایب ژنراتور DC شنت را نسبت به ژنراتور DC تحریک مستقل بیان کنید.
- ۴- در آزمایش (الف) برای رسم لوپ کامل هیستریزیس چگونه می بایست عمل نمود. سطح لوپ فوق، نمایشگر کدام تلفات (فوکو یا هیستریزیس) در کدام قسمت خواهد بود؟
- ۵- اگر مولد با دور نامی به حرکت درآید ولی ولتاژ خروجی افزایش نیابد، علت چیست؟ در این حالت مقادیر ولتاژ و جریان تحریک چه حدودی خواهند داشت؟ از طریق ترسیمی مقادیر فوق را نشان دهید
- ۶- شرایط لازم برای راه اندازی یک مولد تحریک مستقل به صورت شنت چیست؟
- ۷- آیا عوامل افت ولتاژ در مولد شنت به دور بستگی دارد؟
- ۸- در آزمایش اندازه گیری مشخصه خارجی مولد شنت هنگامی که مقاومت R کاهش می یابد منحنی به چه صورت در می آید؟ اتصال کوتاه ناگهانی و یا به تدریج در مولد شنت چه اثری دارد؟
- ۹- موارد استعمال مولد شنت را بیان کنید؟
- ۱۰- مولدی مدتی بیکار مانده است هنگامی که آن را هم جهت دور می دهیم، ولتاژ تولید نمی کند. چه اشکالی پیش آمده است؟
- ۱۱- مولدی که به وسیله ی یک موتور سه فاز دور داده می شود، معکوس دور داده شده است و ولتاژ تولید نمی کند. چه اشکالی پیش آمده است؟

آزمایش (3): انواع ژنراتورهای DC سری و تعیین مشخصه بارداری آن‌ها

مولد سری | هدف مطالعه بارداری مولد سری و تعیین مشخصه بارداری آن



همانطور که در شکل دیده می‌شود، در مولد سری سیم پیچی تحریک با آرمیچر به صورت سری بسته می‌شود در نتیجه اگر مدار باز باشد مولد تحریک نخواهد شد. بنابراین مولد سری آزمایش بی-باری ندارد.

از مولد سری هرچه بار بیشتری بگیرند مولد بیشتر تحریک می‌شود و ولتاژ بیشتری تولید می‌کند به همین جهت مشخصه بارداری مولد سری شباهت زیادی مشخصه مغناطیسی دیگر مولدها دارد. مولد سری مستقلاً کاربرد ندارد. در قدیم که شبکه‌های انتقال DC وجود داشته است. در فاصله دور از مولد به خاطر مقاومت خط افت ولتاژ ایجاد می‌شده است، یک مولد سری که با خط سری می‌شده متناسب با مصرف، افت ولتاژ را رفع می‌نموده است.

آزمایش مولد سری

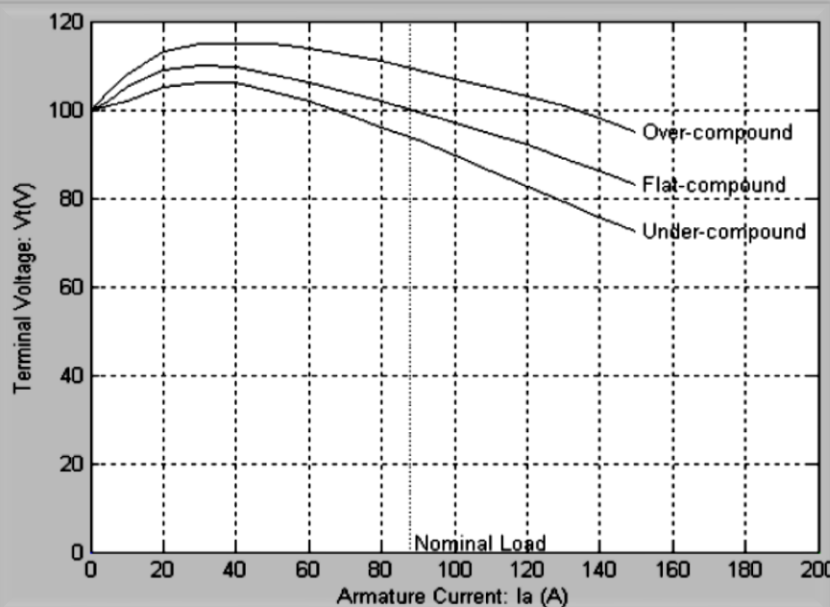
الف: مولد سری را روی میز نصب و مدار آن را مانند شکل فوق ببندید. با کم کردن مقاومت بار تغییرات ولتاژ مولد را نسبت به جریان بار تا بار نامی در جدول یادداشت نمایید.

I_t	0	1	2	3	4	5	5A
V_t							

آزمایش (4): انواع ژنراتورهای DC کمپوند و تعیین مشخصه بارداری آن ها

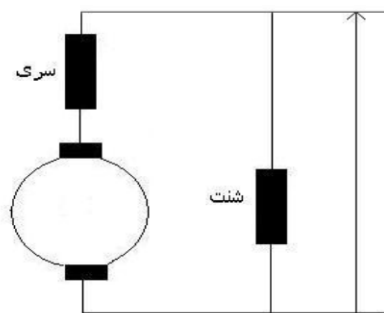
✓ تئوری آزمایش

با افزودن سیم پیچی تحریک سری به ژنراتور شنت می توان ژنراتور کمپوند را ایجاد نموده و مشکل افت ولتاژ ژنراتور شنت در بارداری را حل نمود. سیم پیچی تحریک سری روی قطب های اصلی و به همراه آرمیچر پیچیده می شود. میدان سیم پیچی های سری و شنت می تواند موافق یا مخالف یکدیگر باشند. اگر موافق باشد، مولد کمپوند اضافی و اگر مخالف باشد مولد کمپوند نقصانی به وجود می آید. با افزایش جریان بار، جریان تحریک سری نیز افزایش می یابد که در نوع کمپوند اضافی باعث جبران افت ولتاژ ژنراتور می گردد. میزان جبران سازی یا درجه کمپوندی در کمپوند اضافی بستگی به تعداد دور سیم پیچی تحریک سری دارد. تعداد دورهای تحریک سری را می توان طوری انتخاب نمود که ولتاژ ژنراتور در بار کامل برابر با ولتاژ بی باری باشد که ماشین در این حالت کمپوند تخت (Flat-compound) نامیده می شود. اگر تعداد دورهای تحریک سری طوری باشد که ولتاژ بار کامل بیشتر از بی باری گردد ماشین فوق کمپوند (Over-compound) و اگر کمتر شود زیر کمپوند (Under-compound) نامیده می شود.

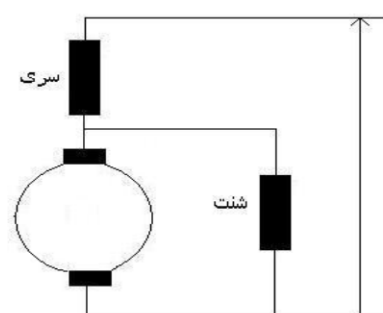


مولدهای کمپوند نقصانی که مشخصه آن زیر مشخصه شنت می باشد، تثبیت جریان می نمایند، یعنی با تغییرات وسیع ولتاژ جریان ثابت می ماند که برای شارژ باتری و جوشکاری قوس الکتریکی از آن استفاده می شود.

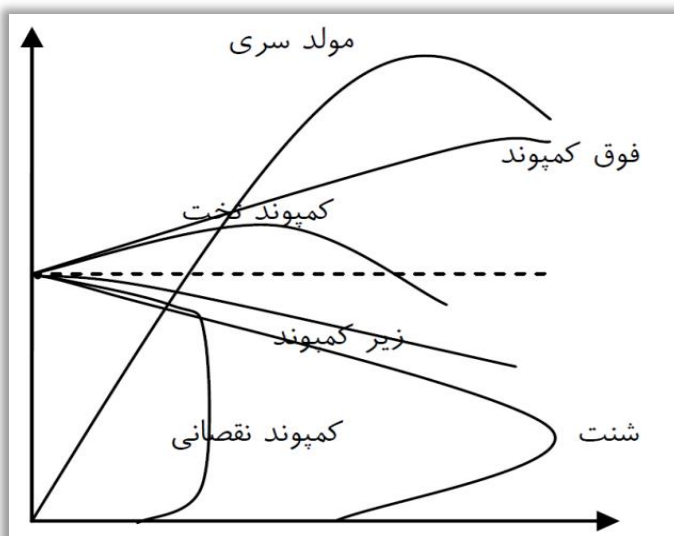
در هر حالتی از کمپوند اضافی یا نقصانی، فلوی تحریک موازی بیشتر از سری است. بسته به اینکه انشعاب سیم پیچی شنت، قبل از سیم پیچی سری یا بعد از آن باشد، مولد کمپوند با شنت کوتاه یا بلند به وجود می آید. اثر سیم پیچی سری در مولد شنت بلند بیشتر است. مولد کمپوند با شنت کوتاه و بلند در شکل زیر نمایش داده شده است.



کمپوند بلند



کمپوند کوتاه

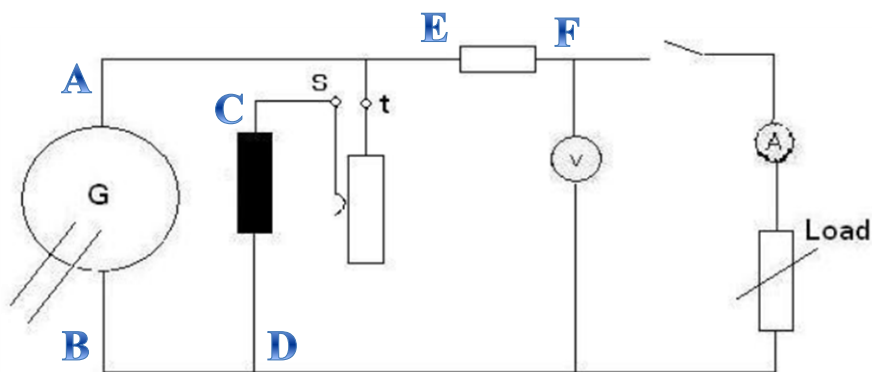


همچنین نمودارهای ولتاژ خروجی انواع ژنراتور در شکل مقابل نشان داده شده است. همانگونه که در این شکل مشاهده می شود مولد کمپوند تحت کمترین تغییرات ولتاژ را بار دارد.

در صورتی که 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 می شود چرا که منحنی آن تقریباً جریان ثابت است. در هر حالتی از کمپوند اضافی یا نقصانی، فلوی تحریک موازی بیشتر از سری است.

❖ آزمایش مولد کمپوند

الف: رسم مشخصه بار داری مولد کمپوند (مشخصه خارجی)



مدار را به شکل مقابل ببندید. ابتدا مدار موتور را ببندید. با تغییر رئوستای شنت ولتاژ را در مقدار ولتاژ نامی 220v تنظیم می نماییم. سپس مقاومت بار را کم می نمائیم و در هر مرحله با تغییر جریان بار ولتاژ را اندازه می گیریم. این عمل را تا جریان نامی ادامه می دهیم. در تمام طول آزمایش وضعیت رئوستای شنت بایستی ثابت بماند.

$I_R(A)$	0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5		4	4.5	5
V_t												

• دو سر سیم پیچ سری را معکوس نموده و آزمایش فوق را تکرار می کنیم.



دستور کار آزمایشگاه ماشین های
الکتریکی (۱)



دانشگاه صنعتی اصفهان

$I_R(A)$									
V_t									

- محل انشعاب سیم پیچ شنت را عوض نموده و آزمایش را یک بار به صورت کمپوند اضافی و بار دیگر به صورت کمپوند نقصانی تکرار می کنیم.

$I_R(A)$									
V_t									

$I_R(A)$									
V_t									

ب: مقاومت سیم پیچ های سری و شنت و مقاومت آرمیچر را اندازه بگیرید.

✓ خواسته های آزمایش

۱- منحنی های مشخصه بار داری مولد سری و کمپوند را روی یک دیاگرام رسم و با حالت شنت مقایسه کنید.

۲- مقاومت، تعداد دور و سایر سیم پیچ های شنت و سری آرمیچر را باهم مقایسه کنید.

✓ سوالات آزمایش

۱- نتایج آزمایش بی باری ژنراتور کمپوند چه تفاوتی با نتایج آزمایش بی باری ژنراتور شنت دارد؟ توضیح دهید.

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

۳- سیم پیچی های تحریک سری و شنت را از نقطه نظر مشخصات با هم مقایسه کنید.



دستور کار آزمایشگاه ماشین های
الکتریکی (۱)



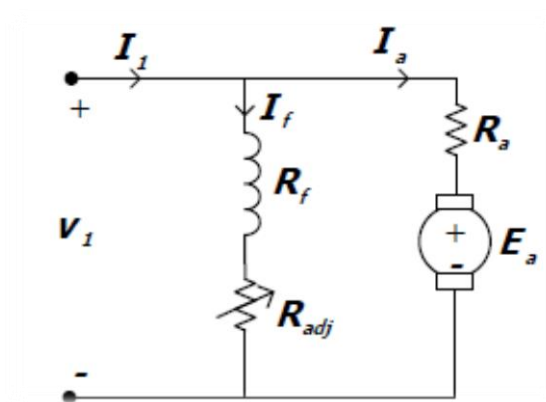
دانشگاه صنعتی اصفهان

- ۴- اثر میدانی سیم پیچ سری در حالت کمپوند بلند بیشتر است یا در حالت کمپوند کوتاه؟ توضیح دهید.
- ۵- اثر افزایش تعداد دور سیم پیچ سری در کمپوند اضافی و نقصانی چیست؟
- ۶- روش های تغییر امپر دور سیم پیچ سری و شنت را توضیح دهید.
- ۷- اثر اتصال کوتاه را در انواع مولد کمپوند بررسی نمائید؟
- ۸- چگونه می توان پلاریته ولتاژ خروجی را عوض نمود در دو حالت: الف: حالت تغییر کند. ب: حالت تغییر نکند.
- ۹- موارد استعمال انواع ژنراتور کمپوند و سری را به تفصیل توضیح دهید.

آزمایش (5): موتور DC شنت و منحنی های گشتاور | سرعت و گشتاور | جریان

✓ تئوری آزمایش

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



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

الف) مشخصه سرعت $\omega(I_a)$

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

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

با توجه به رابطه بالا، ملاحظه می شود که با افزایش جریان آرمیچر سرعت موتور به دلیل افت $R_a I_a$ کم خواهد شد. از طرفی با افزایش جریان آرمیچر، مقدار عکس العمل آرمیچر نیز افزایش یافته و مقدار فلو در هسته کم می شود. با توجه به رابطه بالا کاهش فلو باعث افزایش سرعت می گردد. به عبارتی دیگر، عکس العمل آرمیچر قسمتی از مؤلفه $R_a I_a$ افت سرعت موتور را جبران می کند و این



امر باعث می شود که سرعت موتور شنت از بی باری تا بارداری تقریباً ثابت بوده و تنها در حدود ۵٪ افت می کند که این یکی از مشخصه های جالب موتور شنت است. البته با افزایش گشتاور به بیشتر از مقدار نامی، اثر افت ولتاژ $R_a I_a$ بر اثر عکس العمل 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 می یابد. 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 عکس العمل آرمیچر کاهش خواهد یافت. در نتیجه در یک گشتاور ثابت، جریان آرمیچر به دلیل کاهش فلو به طور خطی با گشتاور تغییر نمی کند. محاسبه گشتاور موتور از روی جریان آرمیچر به صورت زیر انجام می پذیرد.

$$P_{in} = P_{out} + R_a I_a^2 + R_f I_f^2 + \Delta V_b I_b \quad \checkmark \text{ توان ورودی موتور}$$

$$P_{out} = T\omega \quad \checkmark \text{ توان خروجی موتور}$$

که در آن ΔV_b افت ولتاژ جاوربک های موتور بوده و برابر V_t فرض می شود با توجه به اینکه توان ورودی موتور $P_{in} = V_t I_t$ می باشد داریم:

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

که در آن ω سرعت بر حسب rad/s بوده و برابر است با

$$\omega (\text{rad} / \text{s}) = \frac{2\pi}{60} n (\text{rpm})$$



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 روش های زیر

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

- کنترل ولتاژ آرمیچر: $(V_t \uparrow \Rightarrow \omega \uparrow)$

در این روش، سرعت موتور از صفر تا مقدار نامی قابل تغییر بوده و سرعت نسبت به سایر روش ها آرام تر تغییر می کند. این روش مستلزم استفاده از منبع تغذیه DC متغیر است که هزینه آن از سایر روش ها بیشتر است.

- کنترل فلو میدان: $(\phi \uparrow \Rightarrow \omega \downarrow)$

با قراردادن یک رئوستا در مدار تحریک می توان 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: $(R_a \uparrow \Rightarrow \omega \downarrow)$

با قرار دادن یک مقاومت سری با آرمیچر، می توان با افزایش آن سرعت را از مقدار نامی کاهش داد. با توجه به اینکه جریان آرمیچر بالا می باشد. در این روش تلفات رئوستای آرمیچر بالا می باشد. به همین دلیل از این روش کمتر استفاده می شود.

✓ شرح آزمایش

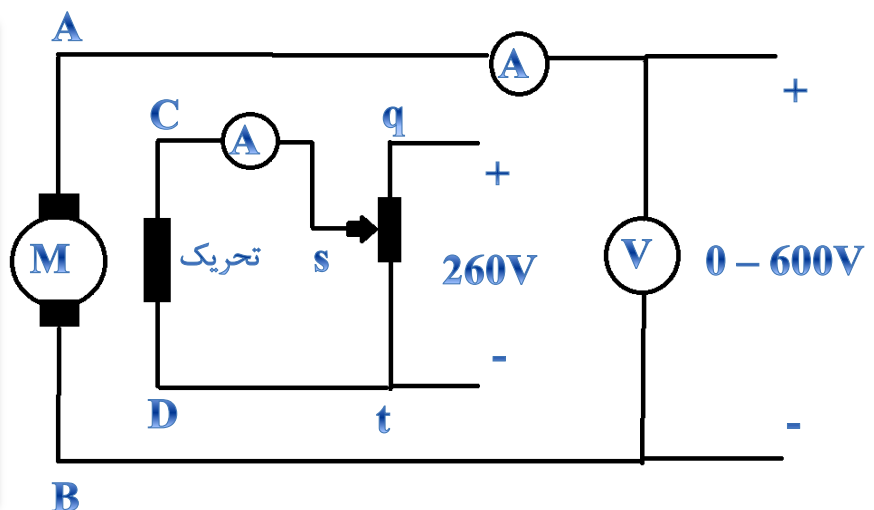
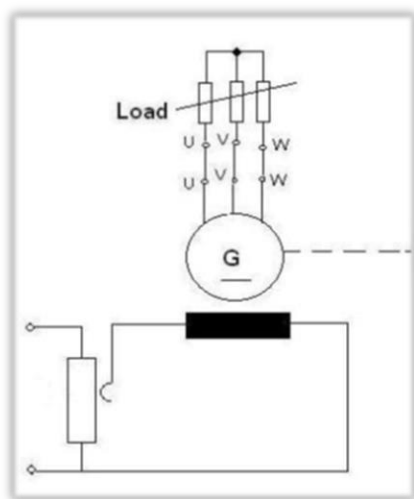
در آزمایش موتورهای DC نیاز به گشتاور مکانیکی روی محور موتور می باشد که به عنوان بار موتور عمل نماید. در این آزمایشگاه به این منظور از یک ژنراتور سنکرون استفاده شده است که با موتور کوپل شده است. با وصل بار الکتریکی به ژنراتور، گشتاور به موتور منتقل شده و به عنوان بار مکانیکی روی محور موتور عمل می کند.

الف: تعیین مشخصه های موتور شنت

$$V = cte \quad l_f = cte \quad n = f(l_a) \quad l_a = f(T) \quad n = f(T)$$

مدار آزمایش را مطابق شکل صفحه ی بعدی ببینید. در ابتدا فقط مدار ژنراتور (ترمز دینامیکی) را

ببینید. (در این آزمایش به ۳ مولتی متر نیاز است).



ترمز دینامیکی

ولتاژ تحریک در ماکزیمم مقدار خود تنظیم شود. (رئوستای تحریک (ردیف ۸) را در وضعیت R_{max} قرار دهید). مواظب باشید منبع تغذیه روی صفر و بار موتور هم صفر باشد (رئوستای راه انداز نیاز نمی باشد). اکنون مجموعه را استارت نموده و ولتاژ موتور را آهسته تا ولتاژ نامی 220v بالا ببرید. به وسیله رئوستای تحریک جریان تحریک را چنان تنظیم کنید که در زمانیکه موتور بی بار می باشد، سرعت 2520rpm باشد. مقادیر جریان آرمیچر و سرعت را در جدول یادداشت نمایید. اکنون بار اهمی را که به ژنراتور سه فاز وصل کرده اید تا حدود 20% بچرخانید و جریان تحریک مولد (ردیف 4) را افزایش دهید تا گشتاور سنج نیم نیوتن متر را نشان دهد. جریان تحریک و



دستور کار آزمایشگاه ماشین های
الکتریکی (۱)



دانشگاه صنعتی اصفهان

ولتاژ موتور DC بایستی ثابت باشد. به همین ترتیب با پله های نیم نیوتنی از موتور بار بگیرید تا جریان آرمیچر به جریان نامی برسد. (5A)

I_a	0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5A
T											
N											

ب: تنظیم سرعت با ولتاژ

با توجه به رابطه سرعت $n = \frac{V - R_a I_a}{K\phi}$ برای مطالعه سرعت نسبت به ولتاژ تمام عوامل غیر از ولتاژ بایستی ثابت شود. $V = cte, T = cte, n = f(V)$ برای ثابت شدن جریان آرمیچر گشتاور ثابتی که در حدود $\frac{2}{3}$ گشتاور نامی باشد به موتور اعمال می نمائیم. اکنون مانند بخش قبل، رئوستای تحریک را در R_{max} قرار داده و ولتاژ آرمیچر را به 220v رسانده و با تغییر جریان تحریک، سرعت را در مقدار نامی تنظیم می نمائیم. با قرار دادن گشتاور ثابت 2 نیوتنی روی موتور ($I_a = 4A$)، ولتاژ را با گام های 20 ولتی کاهش می دهیم و تغییرات سرعت و جریان آرمیچر را در جدول یادداشت می نمائیم.

V	220	200	180	160	140	120	100	80	60v
$n(\text{rpm})$	2520								
$I_a(A)$	4								

ج: کنترل سرعت با جریان تحریک

$$V = cte, T = cte, n = f(I_f)$$



دستور کار آزمایشگاه ماشین های
الکتریکی (۱)



دانشگاه صنعتی اصفهان

با مدار قبل موتور را راه اندازی نموده و جریان تحریک را حداکثر نمائید. گشتاور ثابت 2 نیوتنی روی موتور اعمال کنید اکنون سرعت و جریان آرمیچر را در جدول یادداشت نمائید. از این به بعد جریان تحریک را با گام های 0.1 آمپری کم نموده و سرعت و جریان آرمیچر را در جدول یادداشت نمائید. سرعت نباید از 3500rpm تجاوز نماید.

I_f	1	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	Danger
n									
I_a									

د: آزمایشهای ب و ج را در شرط $T=0$ انجام دهید .

برای صفر کردن واقعی گشتاور موتور DC را خلاص می کنیم. یعنی پیچ های پایه را باز کرده و آنرا عقب می کشیم طوری که کوپلینگ آن از درگیری با کوپلینگ ماشین مقابل خلاص شود. پیچ های پایه را بسته و سنسور دور شمار را زیر کوپلینگ ماشین DC تنظیم و آزمایش ها را مانند دو آزمایش قبل تکرار می نمائیم.

✓ خواسته های آزمایش

- ۱- از آزمایش الف مشخصه دور بر حسب گشتاور را رسم و بحث کنید.
- ۲- منحنی ضریب بهره و گشتاور و دور رابر حسب جریان آرمیچر برروی یک دیاگرام رسم و بحث نمائید.
- ۳- با استفاده از فرمول $R_{eg} = \frac{N_0 - N}{N_0}$ ، رگولاسیون دور را برای جریان نامی محاسبه نمائید.
- ۴- از آزمایش ب و د منحنی کنترل سرعت با تغییر ولتاژ آرمیچر را در بی باری و بارداری بر روی یک دیاگرام رسم کنید.



دستور کار آزمایشگاه ماشین های
الکتریکی (۱)



دانشگاه صنعتی امیرکبیر

۵- از آزمایش ج و د منحنی کنترل سرعت با تغییر جریان تحریک را در بی باری و بارداری بر روی یک
دیاگرام رسم کنید

✓ سوالات آزمایش

۱- با استفاده از روابط تئوری توضیح دهید چنانچه موتور شنت بدون مقاومت راه اندازی به ولتاژ
نامی وصل شود چه اتفاقی می افتد، مقدار جریان راه اندازی را برای موتور تحت آزمایش محاسبه
کنید.

۲- اگر مدار تحریک موتور شنت در حال کار قطع شود چه اتفاقی می افتد؟

۳- روش های تغییر جهت چرخش موتور DC شنت را تشریح کنید.

۴- چرا جریان تحریک را قبل از اعمال ولتاژ آرمیچر ماکزیمم می کنیم؟

۵- چرا سرعت موتور شنت با افزایش گشتاور کمی کاهش می یابد؟

۶- موارد استعمال موتور شنت را بیان نمائید؟

۷- مزایای کنترل سرعت موتورهای DC بر موتورهای AC بیان نمائید (روش قدیم)؟

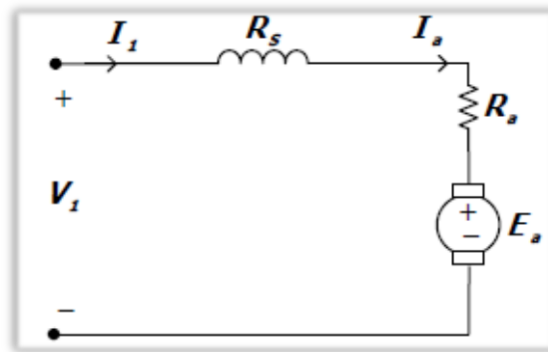
۸- برتری روش کنترل سرعت با ولتاژ نسبت به کنترل سرعت با جریان تحریک را بیان نمائید؟

۹- یک مزیت کنترل سرعت با جریان تحریک را بر نوع ولتاژ بیان کنید.

آزمایش (6): تعیین مشخصه‌های موتور DC سری و روش‌های کنترل سرعت آن

✓ تئوری آزمایش

در یک موتور DC سری، سیم‌پیچ تحریک سری به‌طور 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 به‌صورت زیر است.



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

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

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

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

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 باربر روی محور موتور سری قرار گرفته باشد و هیچ‌گاه نباید موتور سری را بدون بار راه‌اندازی کرد.

همچنین با توجه به روابط بالا ملاحظه می شود 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 راه اندازی بالایی دارد (با توجه به روابط بالا مقدار گشتاور در حالت سکون زیاد است). از این جهت در ترن های برقی بیشتر از این نوع موتور استفاده می شود.

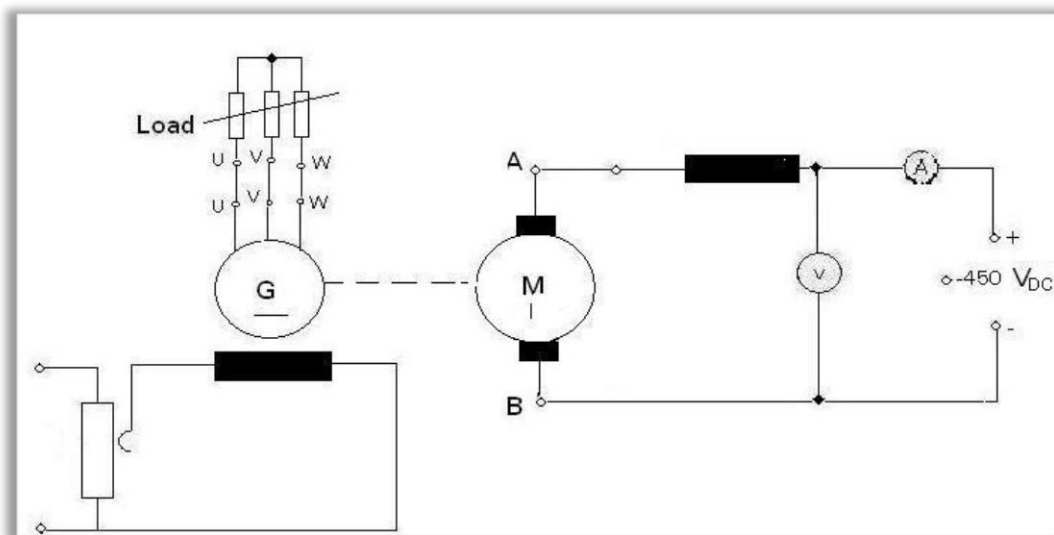
محاسبه گشتاور از روی جریان آرمیچر به صورت زیر انجام می پذیرد.

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

که در آن ω سرعت برحسب rad/s بوده و برابر است با

$$\omega (rad / s) = \frac{2\pi}{60} n (rpm)$$

موتور سری





همانگونه که در شکل فوق دیده می شود در موتور سری سیم پیچی تحریک با جریان آرمیچر به صورت سری بسته می شود و $I_f = I_a$ از طرفی $I_f \propto \varphi$ پس رابطه گشتاور بدین صورت در می آید $I_a^2 \propto \varphi$ ، با توجه به اینکه در لحظه استارت موتور جریانی حدود 6 تا 7 برابر جریان نامی می کشد شار مغناطیسی قطب ها هم شدیداً تقویت شده و سبب راه اندازی قوی گشتاور می شود که این از محاسن موتور سری می باشد که می تواند زیر بار حرکت کند. نظر به اینکه در نتیجه بارهای مختلف جریان آرمیچر و در نتیجه جریان تحریک و شار مغناطیسی قطب ها تغییر می نمایند موتور سری سرعت ثابت ندارد به ازای هر باری سرعتی دارد برعکس موتور شنت که سرعت آن تقریباً ثابت است اگر موتور کم بار شود سرعت آن به طور تصاعدی تا حد خطرناکی بالا می رود که ممکن از موجب متلاشی شدن آرمیچر گردد به همین علت موتور سری را نباید به وسیله تسمه کوپل کرد و این یکی از معایب موتور سری می باشد با یک دیورتور می توان سرعت موتور سری را نسبت به بار معین تنظیم کرد.

✓ شرح آزمایش

الف: آزمایش موتور سری

هدف مطالعه مشخصه های $V = cte$ $\eta = f(T)$ $I_a = f(T)$ $n = f(T)$

مدار را مانند شکل فوق ببندید. توجه کنید منبع تغذیه (DC اتوترانس) روی صفر باشد. بار ژنراتور را در حالت 50% و جریان تحریک موتور سنکرون را حداکثر تنظیم نمائید و مجموعه را استارت کنید. پس از آنکه موتور شروع به دور زدن کرد بار را طوری تنظیم کنید که موتور جریان نامی (8A) بگیرد. ولتاژ را به مقدار نامی (220v) برسانید و مقادیر جریان آرمیچر و سرعت را در جدول یادداشت نمائید. سپس بار را کم نموده به ازای مقادیر مختلف گشتاور جریان I_a و سرعت را در جدول یادداشت نمائید. در کم کردن بار سرعت نباید از 3500rpm بیشتر شود.



دستور کار آزمایشگاه ماشین های
الکتریکی (۱)



دانشگاه صنعتی اصفهان

T									
I_a	8A								
n									

✓ خواسته های آزمایش

- ۱- منحنی سرعت $\omega(I_a)$ را رسم کرده و با نتایج تئوری مقایسه نمایید.
- ۲- با استفاده از نتایج محاسبه شده، منحنی گشتاور - سرعت $T(\omega)$ را برای موتور تحت آزمایش رسم کرده و با روابط تئوری مقایسه نمایید.
- ۳- درصد افت سرعت موتور DC سری را برای حداکثر بار آزمایش شده محاسبه کنید.

✓ سؤالات آزمایش

- ۱- چند نمونه از روش های راه اندازی موتور DC سری را بیان کنید.
- ۲- روش های تغییر جهت چرخش موتور DC سری را تشریح کنید.
- ۳- برای حفاظت موتور DC سری در برابر افزایش سرعت چه راه هایی وجود دارد؟
- ۴- چرا موتور سری را نباید بدون بار یا بار کم راه اندازی کرد؟
- ۵- موارد استعمال موتور سری را بیان کنید.

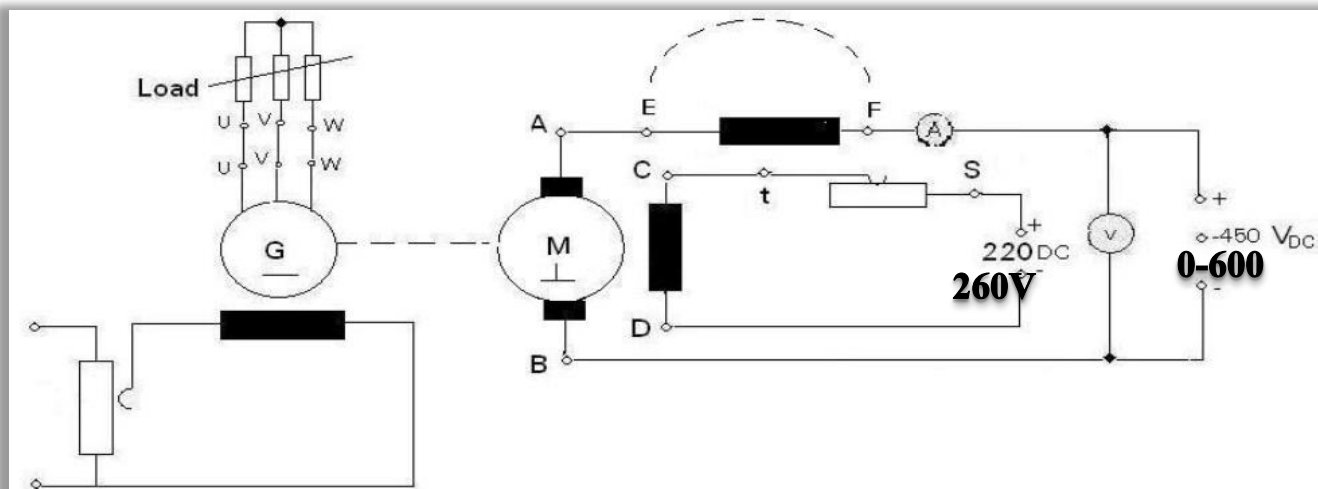
آزمایش (7): موتور DC کمپوند و رسم منحنی مشخصه آن

✓ تئوری آزمایش

از ترکیب موتور سری و شنت موتور کمپوند بوجود می‌آید. در موتور کمپوند ممکن است میدان سیم پیچی‌های سری و شنت یکدیگر را تقویت یا تضعیف کنند. در صورت تقویت موتور کمپوند اضافی و برعکس کمپوند نقصانی بوجود می‌آید.

موتور کمپوند اضافی مقدار زیادی خصوصیات موتور سری را دارد با این تفاوت که فرار سرعت ندارد. یعنی در مقایسه با موتور شنت، گشتاور استارت بیشتر و به ازای بارهای مختلف، جریان کمتری دارد. از این موتور برای بارهای ناصاف استفاده می‌کنند. (مثلاً دستگاه سنگ‌شکن یا خلال چغندر در کارخانه قند). با توجه به اینکه نسبت جریان و گشتاور خطی نمی‌باشد. در بارهای ناصاف نوسان کمتری نسبت به موتور شنت دارد. البته سرعت تغییر می‌کند.

هدف مطالعه روی مشخصه موتور کمپوند اضافی



{نکته (۲)}

دقت شود که ولتاژ شنت حتماً باید ۲۲۰ ولت باشد. در غیر اینصورت دور موتور برعکس شده و جریان زیادی می‌کشد.

{نکته (۱)}

دقت شود که برای راه‌اندازی موتور به دلیل جریان راه‌اندازی بالا حتماً ولتاژ از صفر شروع شود.

الف: مدار را مانند شکل فوق ببینید.



دستور کار آزمایشگاه ماشین های
الکتریکی (۱)



دانشگاه صنعتی اصفهان

ب: سیم پیچ تحریک سری را اتصال کوتاه نمائید

ج: موتور را بصورت بی بار راه اندازی نموده و سرعت آن را در سرعت نامی تنظیم نمائید اکنون اتصال کوتاه سیم پیچ را باز نموده و آن را فعال نمایید. اگر سرعت موتور زیاد باشد موتور از نوع کمپوند نقصانی می باشد، خاموش نموده و جای F و E را عوض کنید. اگر سرعت کم شد آزمایش را ادامه دهید. از موتور، گشتاورهای مختلف بگیرید. مقادیر جریان آرمیچر و سرعت را در جدول یادداشت نمائید.

T	0						
n	2520						
I_a							8A

موتور کمپوند نقصانی

در این موتور جهت میدان سیم پیچی شنت و سری مخالف یکدیگرند. یعنی چنانچه بار موتور افزایش یابد سرعت بالا می رود و جریان آرمیچر افزایش می یابد که خود موجب افزایش مجدد سرعت می شود. میدان شنت را به سمت صفر برده و گذر از صفر بوجود می آید. به همین علت موتور در راه-اندازی جریان شدیدی مصرف نموده و در حین راه اندازی ناگهان جهت گردشش عوض می شود. به همین دلیل باید سیم پیچ سری آن را اتصال کوتاه نمود. این موتور تحمل بار اضافه را ندارد. در اضافه بار سرعت به شدت بالا رفته و جریان آرمیچر نیز بالا می رود که خود موجب تضعیف بیشتر ϕ میشود که در صورت گذر از صفر ϕ ناگهان در همان سرعت بالا چپگرد می شود که خیلی خطرناک است. به همین دلیل از موتور کمپوند نقصانی کمتر استفاده می شود. در آزمایشگاه چنانچه بخواهند



دستور کار آزمایشگاه ماشین های
الکتریکی (۱)



دانشگاه صنعتی اصفهان

این آزمایش را بی خطر انجام دهید، جریان تحریک را طوری تنظیم کنید که سرعت ۲۴۰ دور شود و با رعایت مسائل ایمنی این آزمایش را می توانند انجام دهند.

✓ خواسته های آزمایش

۱- مشخصه های مکانیکی موتور سری و کمپوندها را در یک دیاگرام رسم و بحث نمایید.

✓ سوالات آزمایش

- ۱- با استفاده از نتایج این آزمایش و آزمایش قبلی، مزایا و معایب موتور کمپوند را نسبت به موتور شنت بیان کنید.
- ۲- نتایج آزمایش بی باری موتور کمپوند چه تفاوتی با موتور شنت دارد؟ توضیح دهید.
- ۳- مشخصه های موتور کمپوند نقصانی چگونه هستند و توضیح دهید در اضافه بار و راه اندازی موتور چگونه عمل خواهد نمود؟
- ۴- چرا در آزمایشگاه رثوستا را بصورت موازی به دو سر میدان وصل می نمائیم. در حالت موازی و سری را با هم مقایسه کنید. در عمل کدام طریقه بیشتر مورد استفاده است؟
- ۵- موارد استعمال موتور کمپوند را بیان کنید؟
- ۶- چرا هنگام راه اندازی هر موتور کمپوند ناشناخته بایستی سیم پیچ تحریک سری را اتصال کوتاه نمود؟
- ۷- چرا هنگامی که سیم پیچ سری را از اتصال کوتاه خارج می نمائیم، اگر سرعت بالا رود، موتور کمپوند نقصانی می باشد.
- ۸- چرا در بارهای ناصاف از موتور کمپوند اضافی استفاده می شود؟ استفاده کردن از موتور شنت چه عیبی دارد؟



آزمایش (8): تلفات انرژی و راندمان در ماشین های DC

✓ تئوری آزمایش

قسمتی از توان تحویل داده شده به ماشین DC به صورت تلفات در ماشین از بین می رود که در نهایت به صورت حرارت باعث گرم شدن قسمت های مختلف ماشین می گردد. مؤلفه های 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 ماشین های بزرگتر کمتر است.

تلفات آهنی شامل تلفات فوکو (P_e) و تلفات هیستریزیس (P_h) بوده و متناسب با سطح ولتاژ و فرکانس می باشد. تلفات مسی شامل تلفات مقاومت های آرمیچر و تحریک موازی و سری و تلفات افت ولتاژ جاروبک ها می باشد. تلفات چرخشی مکانیکی (P_{rot}) نیز تابع سرعت بوده و تلفات مکانیکی را شامل می شود.

برای یک موتور و ژنراتور DC شنت که با هم کوپل شده اند. هنگامی که هیچ باری به ژنراتور وصل نبوده و ولتاژ نامی به دو سر موتور وصل است توان الکتریکی جذب شده از ترمینال های موتور صرف تلفات بی باری موتور و ژنراتور می گردد. در این حالت، توان بی باری جذب شده شامل تلفات چرخشی، تلفات هسته و تلفات تحریک موتور و ژنراتور است که مقدار این تلفات در بی باری و بارداری تقریباً ثابت است. در صورتی که موتور و ژنراتور مشابه باشند با تقسیم توان بی باری بین موتور و ژنراتور، تلفات بی باری هر کدام به صورت زیر بدست می آید.

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

که در این رابطه N.L. معرف حالت بی باری (No Load) بوده و V_{tm} و I_{tm} ولتاژ و جریان ترمینال های موتورند.



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

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

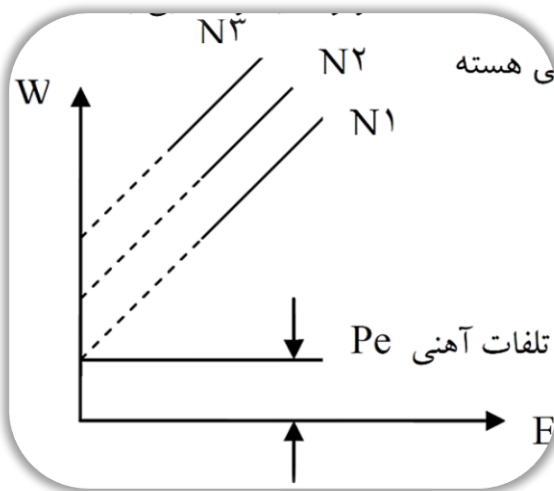
که در آن ΔV_b افت ولتاژ جاروبک‌هاست که در حدود $2V$ در نظر گرفته می‌شود. در نتیجه مقدار راندمان برای موتور و ژنراتور با استفاده از پارامترهای الکتریکی به صورت زیر محاسبه خواهد شد.

$P_{inM} = V_{tM} I_{tM}$ $P_{outM} = P_{inM} - P_{lossM}$ $\eta_M = 100 \frac{P_{outM}}{P_{inM}}$	$P_{outG} = V_{tG} I_{tG}$ $P_{inG} = P_{outG} + P_{lossG}$ $\eta_G = 100 \frac{P_{outG}}{P_{inG}}$
--	---

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

هدف | تعیین ضریب بهره یک ماشین DC به طریق غیرمستقیم

با استفاده از آزمایش بیماری برای تعیین ضریب بهره یک ماشین DC روش‌های مختلفی را



می‌توان به کار برد. اول اینکه به طور مستقیم ماشین را زیر بار قرار دهیم و توان ورودی و خروجی را به طور مستقیم اندازه‌گیری نماییم که به دلیل هزینه زیاد این روش مقرون به صرفه نیست. دیگر اینکه از دو ماشین مشابه کوپل با هم استفاده نماییم و یکی را به صورت موتور و دیگری را به صورت ژنراتور در شبکه قرار دهیم در نتیجه توان خالص دریافت شده از شبکه صرفات هر دو ماشین خواهد شد. یک روش

دیگر که بسیار مورد استفاده قرار می گیرد و با دقت خوبی با واقعیت تطبیق می کند، روش غیر مستقیم است که ابتدا تلفات گوناگون را در جریان های مختلف بار محاسبه کرده و سپس از فرمول

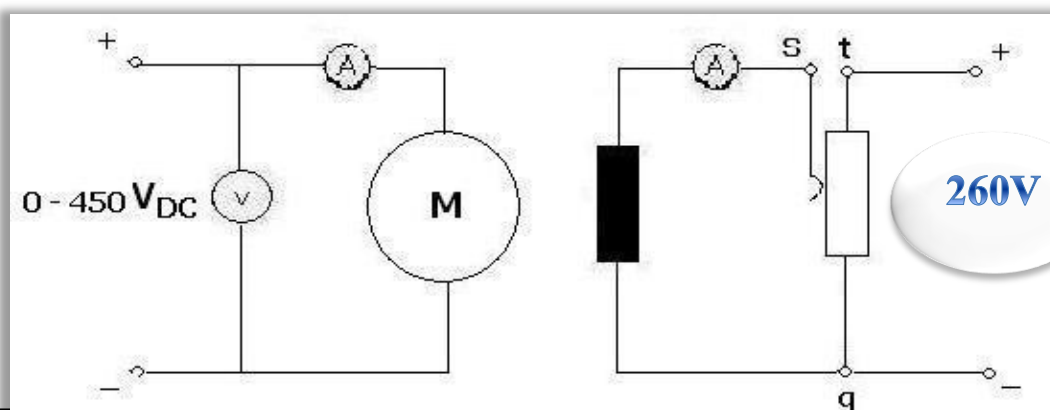
$$\eta = \text{توان ورودی} / (\text{تلفات} + \text{توان ورودی})$$

منحنی راندمان بر حسب توان ورودی را به دست می آوریم در یک ماشین DC تلفات بدین ترتیب خواهند بود.

تلفات مسی آرمیچر $R_a I_a^2$ - تلفات آهنی $R_a I_a^2$ - تلفات اهمی میدان $V_f I_f$ - تلفات در جاروبکها برای هر جاروبک اگر زغالی باشد $1 \times I_a$ و اگر مسی باشد $0.3 \times I_a$ تلفات آهنی هسته و تلفات مکانیکی و هسته، موتور را به صورت بی باری به گردش درآورده چون جریان آرمیچر کوچک است توان ورودی صرف تلفات اصطکاکی و آهنی هسته گردیده است. اگر ولتاژ ورودی را تغییر دهیم و دور را ثابت نگه داریم، تلفات مکانیکی ثابت و تلفات آهنی هسته تغییر می کند. از این رو اگر منحنی مجموع تلفات آهنی هسته و مکانیکی را بر حسب مجذور ولتاژ در دور ثابت رسم کنیم، با امتداد این منحنی ها جایی که $V=0$ می شود، تلفات آهنی هسته صفر و از آنجا تلفات مکانیکی به ازای دور معین به دست آورید.

✓ شرح آزمایش

قبل از شروع آزمایش، مقادیر نامی ژنراتور و موتور را از روی پلاک آن ها خوانده و در جدول زیر یادداشت کنید. مدار آزمایش را مطابق شکل زیر ببندید. در ابتدا فقط مدار موتور را ببندید.





دستور کار آزمایشگاه ماشین های
الکتریکی (۱)



دانشگاه صنعتی اصفهان

الف: مقاومت آرمیچر را با استفاده از پل اندازه بگیرید. برای اخذ نتایج دقیق تر با استفاده از یک باطری یک جریان ۲ الی ۳ آمپری در مقاومت آرمیچر برقرار نموده و افت ولتاژ را مستقیماً از روی تیغه های کموتاتور اندازه بگیرید. رتور را کمی با دست جابه جا نموده و اندازه گیری را تا پنج دفعه تکرار کنید و از مقادیر بدست آمده میانگین بگیرید. مقاومت قطب های کمکی و سیم پیچ سری (در صورت موجود بودن) و مقاومت سیم پیچ میدان را به همین طریق اندازه بگیرید.

ب: موتور را مطابق شکل ببندید و بدون بار آن را راه اندازی کنید. سپس جریان تحریک را در مقدار ماکزیمم ممکنه و دور را در مقدار نامی تنظیم کنید. سپس ولتاژ ورودی را کاهش داده و با تغییر جریان تحریک دور را ثابت نگه دارید. هر بار مقادیر V_a, I_a, I_a را یادداشت نمایید.

V_a									
I_a									
I_a									

آزمایش های فوق را برای دوره های $\frac{1}{3}N, \frac{2}{3}N, \frac{6}{5}N$ تکرار نمایید.

V_a									
I_a									
I_a									

V_a									
I_a									
I_a									



دستور کار آزمایشگاه ماشین های
الکتریکی (۱)



دانشگاه صنعتی اصفهان

V_a									
I_a									
I_a									

✓ خواسته های آزمایش

- ۱- با احتساب درجه حرارت مقاومتهای بدست آمده را برای کار دائم ماشین محاسبه نمائید.
- ۲- با استفاده از جداول آزمایش ب، ابتدا مقدار E نیروی محرکه القاء شده در موتور و سپس توان ورودی به آرمیچر $E I_a$ را نقطه به نقطه محاسبه کنید. سپس برای هر دور مقدار توان مصرف شده بر حسب مجذور E در یک دیاگرام رسم کنید.
- ۳- با استفاده از دیاگرام بدست آمده تلفات اصطکاکی را برای دوره های مختلف محاسبه نموده و منحنی تلفات اصطکاکی بر حسب دور را رسم نمائید.
- ۴- حال فرض کنید موتور بصورت شنت به شبکه با ولتاژ نامی متصل گشته است و به کمک یک رئوستای سری شده با میدان در بی باری با دور نامی بحرکت درآمده باشد. مقدار توان مصرفی تحریک و مقدار تلفات اصطکاکی و تلفات مغناطیسی را از روی جدول بنویسید. سپس فرض کنید مقدار بار بر روی موتور افزایش یافته است، به طوری که جریان آرمیچر بین مقدار بی باری و مقدار I_a ، ده مقدار مختلف پیدا می کند. بازه هر مقدار تلفات مختلف را در یک جدول محاسبه نمائید. دور و مقدار نیروی ضد محرکه را ثابت فرض می نمائیم. در نتیجه برای مقادیر مختلف جریان آرمیچر، تلفات اصطکاکی و مغناطیسی و تلفات میدان ثابت خواهند بود.
- ۵- با استفاده از مقادیر بدست آمده درخواست ۴ منحنی ضریب بهره بر حسب جریان آرمیچر را رسم نمائید.
- ۶- برای یک ماشین مورد آزمایش انواع تلفات را با یکدیگر مقایسه کنید.



دستورکار آزمایشگاه ماشین‌های
الکتریکی (۱)



دانشگاه صنعتی اصفهان

✓ سوالات آزمایش

- ۱- انواع تلفات و تقسیم‌بندی آن‌ها را در یک ماشین DC ذکر کنید.
- ۲- برای یک ماشین DC با قدرت متوسطه درصد تقریبی انواع تلفات را بنویسید؟
- ۳- ضریب بهره یک ماشین DC در چه حدود است؟
- ۴- روش‌های تعیین منحنی راندمان را با هم مقایسه کنید؟