دانشکده برق، کامپیوتر و فناوری های پیشرفته

گروه مهندسی برق قدرت

دستورکار آزمایشگاه ماشین‌های الکتریکی ۱

تهیه کنندگان:

آقای دکتر نیشابوری

آقای دکتر فرهادی

تاریخ تنظیم:

مهرماه ۱۴۰۳

نکات مهم ایمنی در آزمایشگاه

دانشجویان محترم با توجه به اینکه در این آزمایشگاه با ولتاژهای در حد **250 ولت مستقیم** کار خواهید کرد لازم است به بعضی موارد ایمنی به شرح زیر توجه نمایید.

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

- به هیچ عنوان برای ایجاد یک سیم بلند دو سیم را به همدیگر وصل نکنید. همچنین برای سیم‌بندی مدار خود بسته به فواصل از سیم‌های با بلندی مناسب استفاده کنید تا چک کردن و انجام تغییرات بعدی به‌راحتی امکان پذیر باشد.
- بعد از اتمام آزمایش و قبل از کندن سیم‌ها از قطع کلید اصلی منبع ولتاژ اطمینان حاصل کنید.
- لطفاً بعد از اتمام آزمایش خود سیم‌های استفاده شده را از انتهایی‌ترین قسمت گرفته و بکَنید و آنها را به ترتیب بلندیشان از گیره‌های مخصوص آویزان کنید. همچنین میز کار و صندلی‌های خود را مرتب نمایید. با این کار ، این امکان را فراهم می‌آورید که دوستانتان در جلسه بعدی آزمایش خود را راحت‌تر انجام دهند. البته چنین کاری را نیز متقابلاً دوستانتان برای شما انجام می‌دهند.

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

نکته و یادآوری

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

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

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

فهرست آزمایش‌ها

آزمایش اول: اندازه گیری مقاومت اهمی سیم پیچهای میدان و آرمیچر ماشین DC ۵

آزمایش دوم: مطالعه ژنراتور تحریک مستقل تحت شرایط بی‌باری و بارداری ۱۰

آزمایش سوم: مطالعه ژنراتور شنت تحت شرایط بی‌باری و بارداری ۱۶

آزمایش چهارم: مطالعه ژنراتور کمپوند اضافی و نقصانی ۲۰

آزمایش پنجم: مطالعه موتور DC شنت ۲۴

آزمایش ششم: مطالعه موتور DC کمپوند اضافی و نقصانی ۲۹

آزمایش هفتم: مطالعه موتور DC سری ۳۵

آزمایش اول: اندازه گیری مقاومت اهمی سیم پیچهای میدان و آرمیچر ماشینDC

اهداف: در این آزمایش، مقاومت اهمی سیم پیچ آرمیچر و مقاومتهای اهمی سیم پیچ میدان موجود در ماشین‌های DC با اتصال شنت و کمپوند اندازه گیری می‌شود.

تئوری آزمایش: در حالت کلی، هنگام محاسبه راندمان ماشین در شرایط مختلف کاری آن ،جهت محاسبه توان مصرفی سیم پیچهای موجود در داخل ماشین مقدار مقاومت سیم پیچها بایستی مشخص شود. در این آزمایش، مقاومت اهمی سیم پیچهای موجود در داخل ماشین اندازه‌گیری در درجه حرارت محیط انجام می‌گیرد. در حالت کلی هنگام انجام این آزمایش بایستی درجه حرارت ماشین کاملا با درجه حرارت محیط یکسان باشد. در غیر این صورت اثر دما در مقادیر اندازه‌گیری شده لحاظ شود.

مواد و روش: جهت اندازه‌گیری مقاومت سیم‌پیچ‌ها، از روش ولت-آمپر استفاده می‌شود. بدین صورت که با عبور دادن جریان از سیم‌پیچ، ولتاژ دو سر آن اندازه‌گیری می‌شود. از تقسیم ولتاژ بر جریان مقاومت سیم‌پیچ محاسبه می‌شود. همانگونه که روی بدنه ماشین‌های الکتریکی موجود در آزمایشگاه دیده می‌شود، ترمینال‌های D_1 و D_2 دو سر سیم‌پیچ میدان سری، ترمینال‌های E_1 و E_2 دو سر سیم‌پیچ میدان شنت، ترمینال‌های A_1 و A_2 دو سر سیم‌پیچ آرمیچر و ترمینال‌های B_1 و B_2 دو سر سیم‌پیچ جبرانگر را نشان می‌دهند.

? نقش هر کدام از سیم‌پیچ‌ها در ماشین DC چیست؟

مراحل انجام آزمایش:

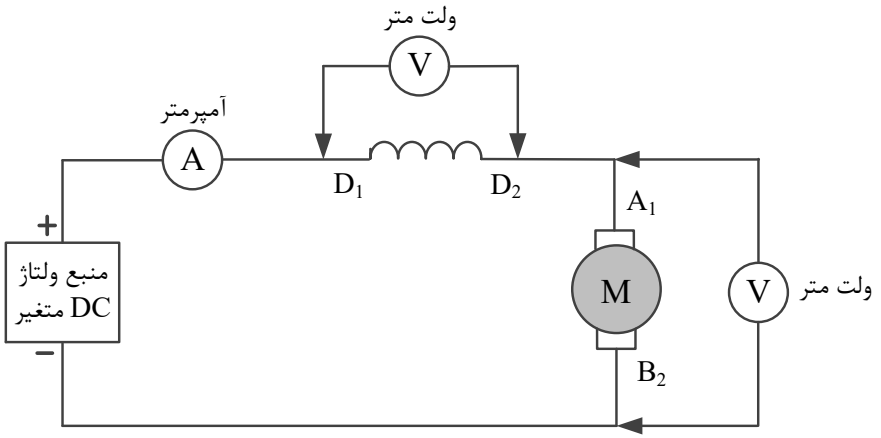
بخش اول: اندازه گیری مقادیر مقاومت سیم‌پیچ‌ها در **ماشین کمپوند**

۱- مدار شکل (۱-۱) را ببندید.

۲- منبع ولتاژ DC متغیر را روشن کنید (قبل از روشن کردن منبع تغذیه ولتاژ بایستی ولوم واریاک منبع را در خلاف جهت عقربه‌های ساعت آنقدر بچرخانید تا ولتاژ در لحظه شروع، برابر صفر باشد).

۳- ولوم واریاک منبع تغذیه DC متغیر را به آرامی در جهت عقربه‌های ساعت تا برقراری جریان ۱/۵ آمپر در مدار بچرخانید.

اندازه مقاومت سیم‌پیچ آرمیچر و سیم‌پیچ میدان سری در ماشین‌های DC کم است (**؟** چرا؟). از این رو در مدار شکل (۱-۱)، با دادن مقدار کم ولتاژ، جریان قابل توجهی در مدار برقرار می‌شود. باید مراقب باشید جریان سیم‌پیچ‌ها از ۱/۵ آمپر بیشتر نشود. (**؟** در صورت رخداد اضافه-جریان در سیم‌پیچ‌ها چه اتفاقی رخ می‌دهد؟)



شکل (۱-۱)

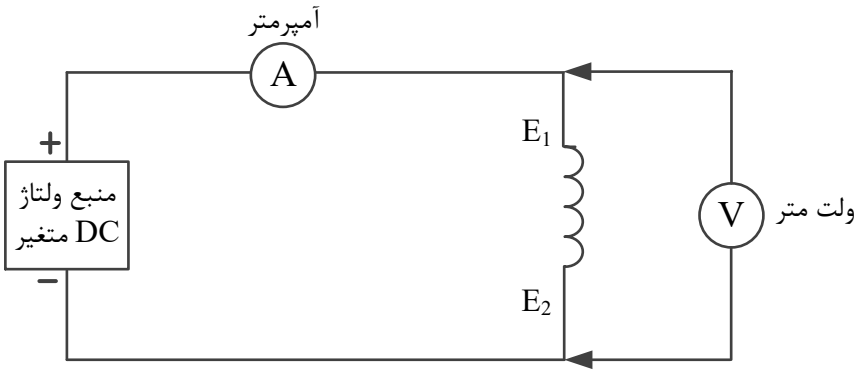
۴- مقادیر ولت‌متر و آمپرمتر موجود در مدار را در جدول زیر یادداشت نمائید و مقاومت سیم‌پیچ‌ها را محاسبه کنید (R=V/I).

پارامتر	R (Ohm)	Current (A)	Voltage (V)
مقاومت سیم‌پیچ آرمیچر + سیم‌پیچ جبرانگر			
مقاومت سیم‌پیچ میدان سری			

۵- پس از اتمام آزمایش، ولوم واریاک منبع تغذیه DC متغیر را به طور کامل در خلاف جهت عقربه‌های ساعت بچرخانید و سپس منبع تغذیه را خاموش کنید.

۶- در این مرحله، مقاومت سیم‌پیچ میدان شنت در ماشین کمپوند اندازه‌گیری می‌شود. جهت اندازه‌گیری آن مداری مطابق شکل (۱-۲) را ببندید.

۷- منبع ولتاژ DC متغیر را در حالت ولتاژ صفر روشن کنید.



شکل (۱-۲)

۸- ولوم واریاک منبع تغذیه DC متغیر را در جهت عقربه‌های ساعت تا برقراری جریان 0.2 آمپر در مدار بچرخانید.

۹- مقادیر ولت‌متر و آمپرمتر موجود در مدار را در جدول زیر یادداشت نمائید و مقاومت سیم‌پیچ را محاسبه کنید (R=V/I).

پارامتر	R (Ohm)	Current (A)	Voltage (V)
مقاومت سیم‌پیچ میدان شنت			

۱۰- پس از اتمام آزمایش، ولوم واریاک منبع تغذیه DC متغیر را به طور کامل در خلاف جهت عقربه‌های ساعت بچرخانید و سپس منبع تغذیه را خاموش کنید.

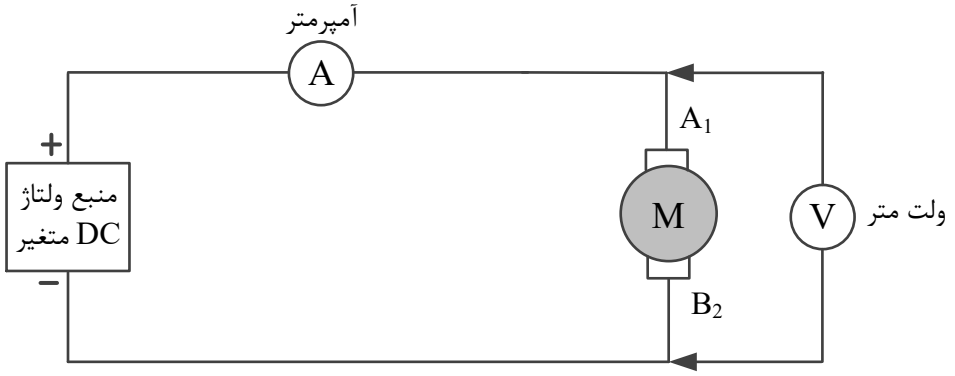
بخش دوم: اندازه گیری مقادیر مقاومت سیم‌پیچ‌ها در **ماشین شنت**

۱- مدار شکل (۱-۳) را ببندید.

۲- منبع ولتاژ DC متغیر را روشن کنید (قبل از روشن کردن منبع تغذیه ولتاژ بایستی ولوم واریاک منبع را در خلاف جهت عقربه‌های ساعت آنقدر بچرخانید تا ولتاژ در لحظه شروع، برابر صفر باشد).

۳- ولوم واریاک منبع تغذیه DC متغیر را به آرامی در جهت عقربه‌های ساعت تا برقراری جریان ۱/۵ آمپر در مدار بچرخانید.

اندازه مقاومت سیم‌پیچ آرمیچر در ماشین‌های DC کم است (**؟** چرا؟). از این رو در مدار شکل (۱-۳)، با دادن مقدار کم ولتاژ، جریان قابل توجهی در مدار برقرار می‌شود. باید مراقب باشید جریان سیم‌پیچ‌ها از ۱/۵ آمپر بیشتر نشود.

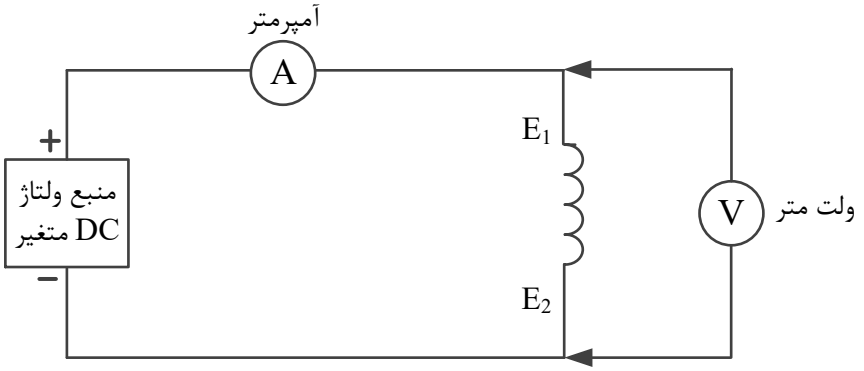


شکل (۱-۳)

۴- مقادیر ولت‌متر و آمپرمتر موجود در مدار را در جدول زیر یادداشت نمائید و مقاومت سیم‌پیچ را محاسبه کنید (R=V/I).

پارامتر	R (Ohm)	Current (A)	Voltage (V)
مقاومت سیم‌پیچ آرمیچر + سیم‌پیچ جبرانگر			

۵- پس از اتمام آزمایش، ولوم واریاک منبع تغذیه DC متغیر را به طور کامل در خلاف جهت عقربه‌های ساعت بچرخانید و سپس منبع تغذیه را خاموش کنید.



شکل (۱-۴)

۶- در این مرحله، مقاومت سیم‌پیچ میدان شنت در ماشین شنت اندازه‌گیری می‌شود. جهت اندازه‌گیری آن مداری مطابق شکل (۱-۴) را ببندید.

۷- منبع ولتاژ DC متغیر را در حالت ولتاژ صفر روشن کنید.

۸- ولوم واریاک منبع تغذیه DC متغیر را در جهت عقربه‌های ساعت تا برقراری جریان 0.4 آمپر در مدار بچرخانید.

۹- مقادیر ولت‌متر و آمپرمتر موجود در مدار را در جدول زیر یادداشت نمائید و مقاومت سیم‌پیچ را محاسبه کنید (R=V/I).

پارامتر	R (Ohm)	Current (A)	Voltage (V)
مقاومت سیم‌پیچ میدان شنت			

۱۰- پس از اتمام آزمایش، ولوم واریاک منبع تغذیه DC متغیر را به طور کامل در خلاف جهت عقربه‌های ساعت بچرخانید و سپس منبع تغذیه را خاموش کنید.

آزمایش دوم: مطالعه ژنراتور تحریک مستقل تحت شرایط بی‌باری و بارداری

هدف آزمایش: مطالعه منحنی مغناطیس شوندگی (تغییرات ولتاژ القائی آرمیچر نسبت به جریان سیم‌پیچ میدان) و منحنی مشخصه خارجی (تغییرات ولتاژ ترمینال نسبت به جریان بار) در ژنراتور تحریک مستقل

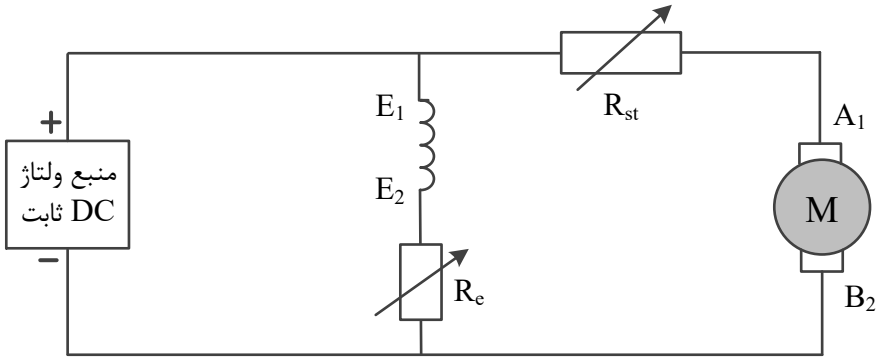
تئوری آزمایش: در ژنراتور DC با تحریک جداگانه، برای تحریک سیم پیچ میدان به یک منبع ولتاژ DC جداگانه ای نیاز داریم. بالعکس، اگر ولتاژ اعمال شده به سیم پیچ میدان توسط خود ژنراتور تامین شود در این حالت ژنراتور را، ژنراتور DC با تحریک خودی می‌نامند. همانطوری که می‌دانیم در اثر عبور جریان از سیم پیچ میدان (سیم‌پیچ استاتور) ژنراتور، شار مغناطیسی داخل ماشین بدست می‌آید و از طرفی روتور ژنراتور بوسیله نیروی محرکه خارجی در سرعت مشخص به حرکت در می آید در نتیجه سیم پیچ روتور (سیم‌پیچ آرمیچر) شار مغناطیسی تولید شده را قطع کرده و در دو سر آن ولتاژی القا (E_a) می‌شود که از رابطه $E_a = K_a \emptyset \omega$ به دست می‌آید. در این رابطه، E_a ولتاژ القایی در دو سر آرمیچر، $\emptyset$ شار حاصله توسط سیم پیچ میدان و ω سرعت زاویه ای ماشین را نشان می‌دهد. شار حاصله توسط سیم‌پیچ میدان نیز خود تابعی از جریان عبوری از سیم‌پیچ میدان است ($\emptyset \propto I_f$). در سرعت ثابت، منحنی مغناطیس شوندگی ماشین، تغییرات ولتاژ خروجی حالت بی باری ژنراتور نسبت به تغییرات جریان سیم پیچ میدان را نیز نشان می‌دهد ($E_a = f(I_f)$). در ژنراتور DC با تحریک جداگانه، با تغییر بار، ولتاژ ترمینال تغییر می‌کند. اگر به ژنراتور باری وصل نشود در این حالت جریان آرمیچر آن صفر بوده و در نتیجه ولتاژ ترمینال با ولتاژ القائی آرمیچر یکسان خواهد بود. در حالت بارداری، هر چه جریان بار افزایش یابد افت ولتاژ در ترمینال ژنراتور افزایش می‌یابد و منحنی مشخصه خارجی، تغییرات ولتاژ ترمینال نسبت به جریان بار در سرعت ثابت را نشان می‌دهد ($V_t = f(I_t)$).

مواد و روش: در این آزمایش ماشین شنت به عنوان موتور و ماشین کمپوند به صورت ژنراتور تحریک مستقل، مورد استفاده قرار می‌گیرد. موتور به منبع ولتاژ DC متصل می‌شود و ژنراتور را می‌چرخاند. ژنراتور در سمت خروجی الکتریکی خود به مقاومت بار متصل است و توان الکتریکی آن را تأمین می‌کند.

مراحل انجام آزمایش:

بخش اول: مطالعه منحنی مغناطیس شوندگی در ژنراتور تحریک مستقل

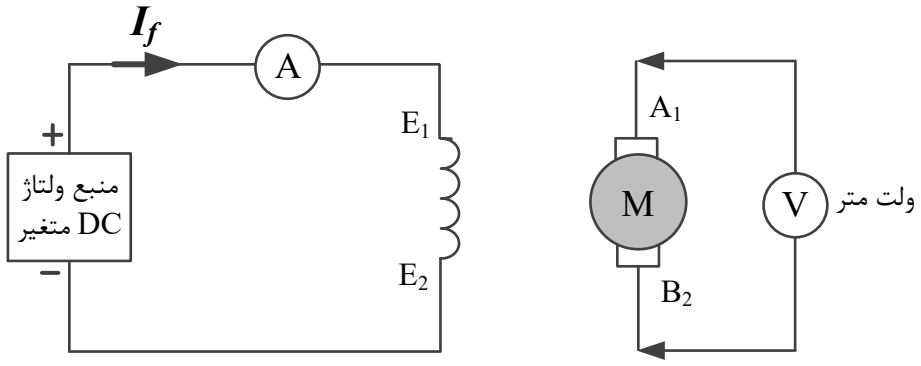
۱- در قسمت موتور، مداری مطابق شکل (۲-۱) را ببندید. (مطابق شکل، ماشین شنت به صورت موتور شنت مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرد).



شکل (۲-۱)

۲- در شکل (۲-۱)، R_{st} مقاومت راه انداز است که در مدار آرمیچر قرار می‌گیرد. همچنین، R_e مقاومت تحریک متغیر در مدار سیم‌پیچ میدان موتور است. (**؟** نقش مقاومت راه‌انداز و مقاومت تحریک متغیر در موتور شنت چیست؟). مقاومت راه‌انداز را به مقدار ماکزیمم و مقاومت تحریک متغیر را به مینیمم خود تنظیم نمائید. (قبل از وصل مدار به وسیله اهم متر، مقدار ماکزیمم و مینیمم مقاومت راه انداز و مقاومت تحریک متغیر موتور را اندازه-گیری و یادداشت نمائید).

۳- در قسمت ژنراتور، مداری مطابق شکل (۲-۲) را ببندید (مطابق شکل، ماشین کمپوند به صورت ژنراتور تحریک مستقل مورد استفاده قرار می‌گیرد). (**؟** ژنراتور شکل (۲-۲)، تحت بار است یا بی‌بار است؟)



شکل (۲-۲)

۴- منبع DC متغیر اعمال شده به سیم‌پیچ میدان ژنراتور را در شرایط صفر ولتاژ خروجی قرار دهید (همانطور که میدانیم، جهت صفر کردن ولتاژ منبع تغذیه DC متغیر، بایستی ولوم واریاک را در خلاف جهت عقربه‌های ساعت به طور کامل بچرخانیم).

۵- موتور DC موجود در مدار آزمایش را در ولتاژ ثابت 220 V راه‌اندازی نمائید.

۶- مقاومت راه‌انداز موتور را به تدریج به صفر اهم کاهش دهید.

۷- با تنظیم مقاومت تحریک متغیر موتور، سرعت موتور را روی مقدار نامی تنظیم کنید (سرعت نامی موتور 1500 دور بر دقیقه فرض می‌شود).

۸- ولت‌متر وصل شده به دو سر آرمیچر ژنراتور، ولتاژ القائی ناشی از شار پسماند قطب‌ها را نشان می‌دهد (**؟** چرا؟) در حالت کلی، اگر جهت حرکت ماشین‌ها و جهت جریان سیم‌پیچ تحریک متناسب با وضعیت کاری ماشین‌های DC باشد، در این حالت ولتاژ ترمینال B_2 نسبت به ترمینال A_1 مثبت خواهد بود. در غیر این صورت، می‌توان با تغییر مکان ترمینال‌های سیم‌پیچ میدان ژنراتور، ماشین‌های موجود در سیستم را در وضعیت مناسب کاری خود قرار داد.

۹- در صورت نیاز به تغییر مکان سیم‌پیچ میدان ژنراتور، بایستی سیستم به طور کامل خاموش شده و بعد از تغییر مکان سیم‌پیچ میدان ژنراتور، با تکرار مراحل فوق، دوباره سیستم راه‌اندازی شود.

۱۰- بعد از مشاهده و اندازه‌گیری ولتاژ القائی ناشی از شار پسماند و همچنین اندازه‌گیری جریان تحریک (I_f)، با تغییر ولوم واریاک منبع ولتاژ DC متغیر متصل به سیم‌پیچ میدان ژنراتور، جریان تحریک را افزایش دهید. به ازای هر جریان تحریک، ولتاژ القائی در دو سر آرمیچر را ثبت کنید. (جریان تحریک را در گام‌های ۰/۱ آمپر و تا رسیدن به ولتاژ آرمیچر حدود ۲۲۰ ولت افزایش دهید).

۱۱- پس از رسیدن به ولتاژ القائی ماکزیمم (حدود ۲۲۰ ولت) در دو سر آرمیچر ژنراتور، با چرخاندن ولوم واریاک منبع ولتاژ DC متغیر در خلاف جهت عقربه ساعت، جریان تحریک (I_f) را تا صفر آمپر کاهش دهید. به ازای هر جریان تحریک، ولتاژ القائی در دو سر آرمیچر را ثبت کنید. (جریان تحریک را در گام‌های ۰/۱ آمپر کاهش دهید).

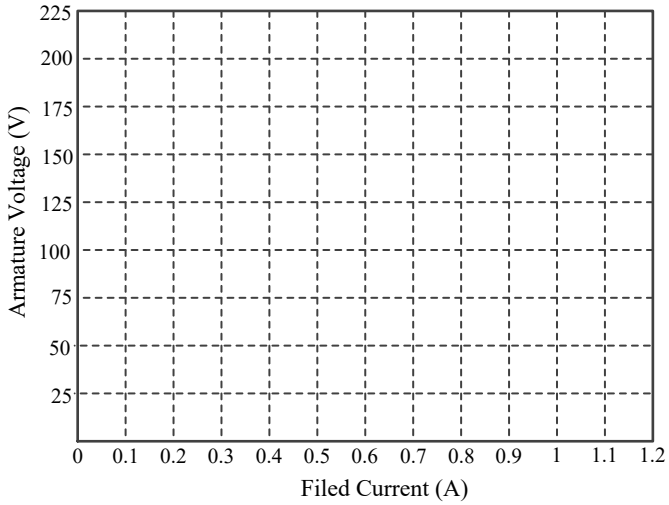
۱۲- مقادیر جریان تحریک و ولتاژ آرمیچر به دست آمده در مراحل ۱۰ و ۱۱ را در جدول زیر یادداشت کنید و منحنی مغناطیس شوندگی ژنراتور ($E_a = f(I_f)$) را رسم کنید. (در گزارش کار آزمایش، نمودار را به کمک نرم‌افزار Excel یا MATLAB رسم نمائید).

جدول: افزایش تدریجی جریان تحریک (منحنی رفت)

I_f (A)	0	0.1	0.2	0.3					x
E_a (V)									$\approx 220\,V$

جدول: کاهش تدریجی جریان تحریک (منحنی برگشت)

I_f (A)	x								0
E_a (V)	$\approx 220\,V$								



منحنی مغناطیس شوندگی ماشین DC

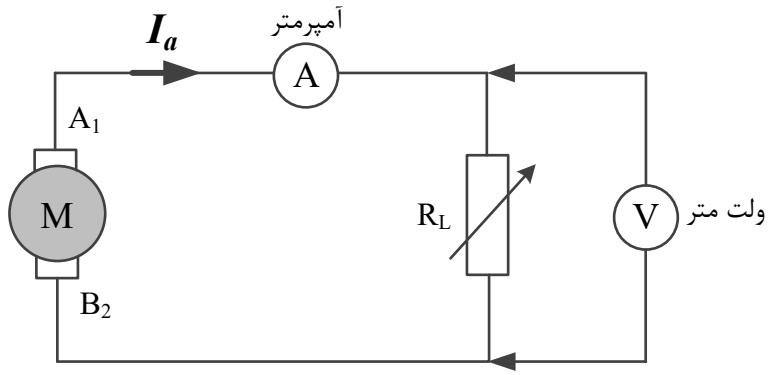
پس از اتمام آزمایش، ولتاژ منبع تغذیه متغیر را به صفر ولت کاهش داده، و هر دو منبع ولتاژ ثابت و متغیر را خاموش کنید.

? آیا منحنی‌های رفت و برگشت بر هم منطبق هستند؟ (بلی یا خیر) چرا؟

? به ازای جریان تحریک صفر، آیا ولتاژی در آرمیچر القا شده است؟ چرا؟

بخش دوم: مطالعه مشخصه خارجی ژنراتور DC تحریک مستقل

۱- جهت بررسی حالت بارداری ژنراتور، مدار قسمت آرمیچر ژنراتور تحریک مستقل را به صورت شکل (۲-۳) ببندید. (سایر قسمت‌های مدار را تغییر ندهید). در شکل (۲-۳)، R_L مقاومت بار را نشان می‌دهد.



شکل (۲-۳)

۲- با انجام مراحل ۱ الی ۱۰ روش آزمایش، ولتاژ ماکزیمم خروجی ژنراتور را در حالت بی باری به دست آورید. جریان تحریک را یادداشت نمائید. جهت ثابت نگه داشتن ولتاژ القائی ژنراتور با توجه به رابطه ولتاژ القائی، جریان سیم‌پیچ تحریک و همچنین سرعت ژنراتور در تمام مراحل آزمایش باید ثابت نگه داشته شود.

۳- با تغییر مقاومت بار (R_L)، جریان خروجی و ولتاژ خروجی ژنراتور را یادداشت نموده و جدول زیر را تکمیل نمائید. (با تغییر بار، سرعت ژنراتور تغییر می‌یابد. در این حالت با تنظیم مقاومت R_e سرعت ژنراتور را روی ۱۵۰۰ دور بر دقیقه تنظیم کنید).

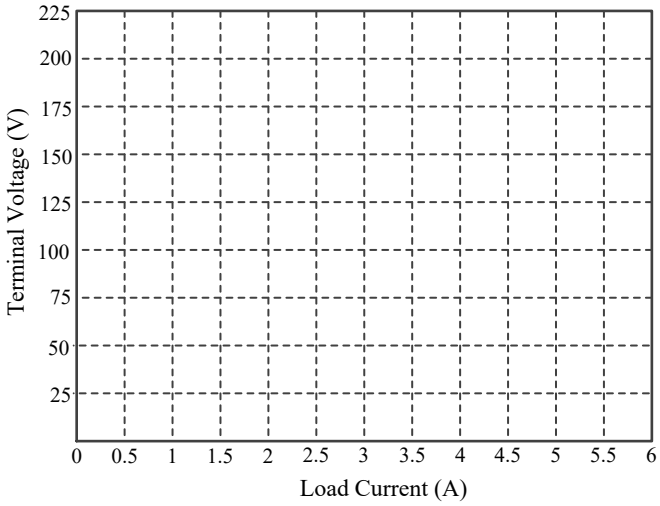
جدول: تغییر بار ژنراتور در سرعت ثابت

I_a (A)	V_t (V)	P_L (W)	R_L (Ω)

۴- بعد از اتمام آزمایش، ولتاژ اعمال شده به سیم‌پیچ میدان را به صفر ولت کاهش داده و سپس منابع تغذیه متغیر و ثابت را خاموش کنید.

۵- با توجه به مقادیر به دست آمده در جدول فوق، منحنی مشخصه خارجی ژنراتور تحریک مستقل ($V_t = f(I_t)$) را رسم کنید. (در گزارش کار آزمایش، نمودار را به کمک نرم‌افزار Excel یا MATLAB رسم نمائید).

? با تغییر جریان بار، ولتاژ خروجی ژنراتور چه تغییری می‌کند؟ علت این تغییر چیست؟



منحنی مشخصه خارجی ژنراتور تحریک مستقل

آزمایش سوم: مطالعه ژنراتور شنت تحت شرایط بی‌باری و بارداری

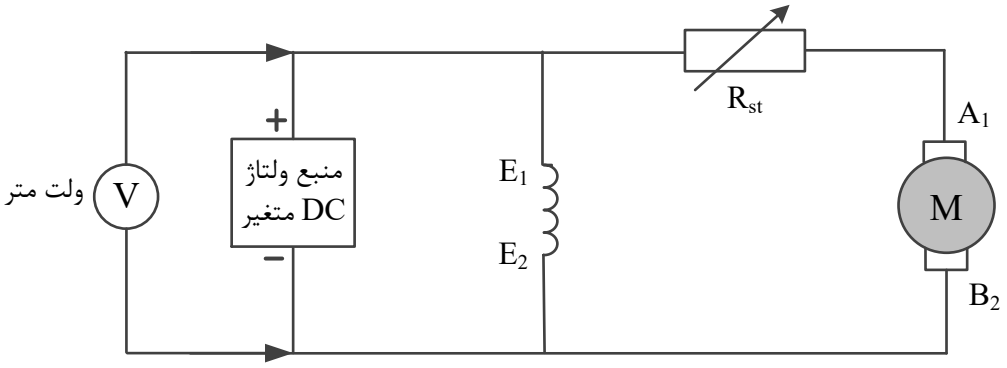
هدف آزمایش: مطالعه مشخصه خارجی (تغییرات ولتاژ ترمینال نسبت به جریان بار) در ژنراتور شنت

تئوری آزمایش: همانطوری که می‌دانیم جهت تغذیه سیم‌پیچ میدان ژنراتور تحریک مستقل، به منبع ولتاژ جداگانه نیاز است. لذا در عمل معمولاً از ژنراتور DC با تحریک خودی استفاده می‌کنند. در ژنراتورهای خودتحریک، سیم‌پیچ میدان ژنراتور را به آرمیچر ژنراتور متصل می‌کنند تا جریان تحریک ژنراتور از ولتاژ تولیدی خود ژنراتور تأمین شود. اگر سیم‌پیچ میدان با آرمیچر ژنراتور به صورت سری بسته شود، آن را ژنراتور سری و اگر سیم‌پیچ میدان با آرمیچر به صورت موازی بسته شود، آن را ژنراتور شنت می‌نامند. همچنین اگر ژنراتور دارای دو سیم‌پیچ میدان شنت و سری باشد، آن را ژنراتور کمپوند می‌نامند. ژنراتور DC با تحریک خودی بر اساس ولتاژ القائی تولید شده در آرمیچر توسط شار پسماند قطب‌ها کار می‌کند. پس از تولید ولتاژ القائی در آرمیچر، با توجه به مدار الکتریکی، جریان تحریک در سیم‌پیچ میدان برقرار می‌شود. این جریان باعث می‌شود که ولتاژ القائی در دو سر آرمیچر نسبت به حالت قبل افزایش یافته لذا جریان تحریک نیز افزایش خواهد یافت. این عمل باعث می‌شود ولتاژ آرمیچر نیز نسبت به حالت قبل افزایش یابد. طی این فرآیند، در نهایت ولتاژ آرمیچر به ولتاژ نامی بی‌باری ژنراتور می‌رسد. اگر ولتاژ القائی آرمیچر افزایش نیافت، در این حالت با تعویض ترمینال‌های سیم‌پیچ میدان، می‌توان این مشکل را برطرف نمود (**؟** چرا تعویض ترمینال‌های سیم‌پیچ میدان، باعث افزایش ولتاژ تولیدی در آرمیچر می‌شود؟).

مواد و روش: در این آزمایش ماشین شنت به عنوان موتور و ماشین کمپوند به صورت ژنراتور شنت، مورد استفاده قرار می‌گیرد. موتور به منبع ولتاژ DC متصل می‌شود و ژنراتور را می‌چرخاند. ژنراتور در سمت خروجی الکتریکی خود به مقاومت بار متصل است و توان الکتریکی آن را تأمین می‌کند. با تغییر مقاومت بار، جریان بار تغییر کرده و به دنبال آن ولتاژ خروجی ژنراتور تغییر می‌کند. هدف از این آزمایش، استخراج منحنی مشخصه خارجی ژنراتور شنت ($V_t = f(I_t)$) است که بیانگر تغییرات ولتاژ ترمینال ژنراتور به صورت تابعی از جریان بار آن است.

مراحل انجام آزمایش:

۱- در قسمت موتور مداری مطابق شکل زیر (۳-۱) ببندید. (مطابق این شکل، ماشین شنت را به صورت موتور شنت می‌بندیم)



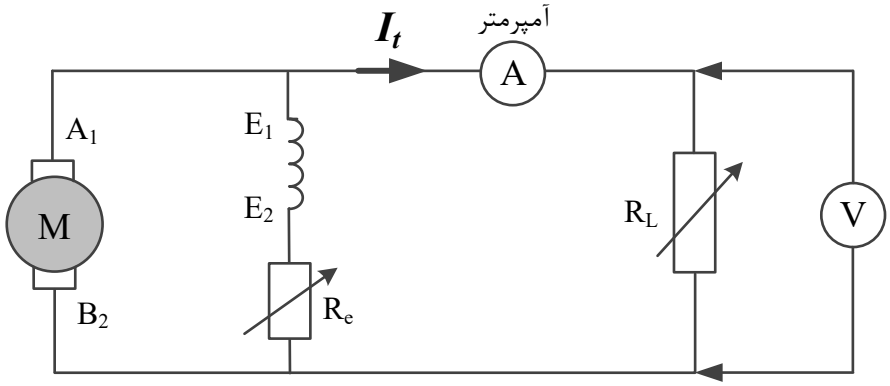
شکل (۳-۱)

۲- در شکل (۳-۱)، R_{st} مقاومت راه‌انداز موتور است که به صورت سری با آرمیچر بسته شده است. همانطور که می‌دانیم استخراج مشخصه خارجی ژنراتور، باید در سرعت ثابت ژنراتور انجام شود (**؟** با افزایش جریان بار ژنراتور، سرعت موتور که ژنراتور را میچرخاند چه تغییری می‌کند؟ چرا؟).

۳- برای ثابت نگه داشتن سرعت موتور و در نتیجه ژنراتور، از منبع ولتاژ منبع DC متغیر استفاده شده است. (با افزایش ولتاژ منبع DC متغیر، سرعت موتور کم می‌شود یا زیاد؟ چرا؟)

یادآوری: قبل از وصل کامل مدار ژنراتور، کلیه منابع باید خاموش باشند.

۴- در قسمت ژنراتور، مداری مطابق شکل (۳-۲) ببندید (ماشین کمپوند را به صورت ژنراتور شنت می‌بندیم).



شکل (۳-۲)

۵- مقاومت بار R_L را روی وضعیت off (حالت مدار باز) قرار دهید. همچنین مقاومت متغیر جهت تنظیم جریان سیم‌پیچ میدان را روی مقدار مینیمم خود ($R_e = 0$) قرار دهید.

۶- جهت به حرکت در آوردن موتور، منبع تغذیه DC متغیر را روشن کرده و با چرخش ولوم واریاک در جهت عقربه‌های ساعت، ولتاژ ورودی موتور را به ۲۲۰ ولت افزایش دهید. به تدریج مقاومت راه‌انداز موتور (R_{st}) را از مدار خارج کنید. اگر ولتاژی در ترمینال ژنراتور DC القا نشود در این حالت منبع تغذیه را خاموش کرده و ترمینال‌های سیم‌پیچ شنت را عوض کنید. سپس با وارد کردن دوباره مقاومت راه‌انداز به مدار جهت به حرکت در آوردن موتور، منبع DC متغیر را مانند حالت قبل روشن کرده و به تدریج مقاومت راه‌انداز موتور را از مدار خارج کنید. با تنظیم ولوم واریاک منبع ولتاژ ورودی موتور، سرعت موتور را روی ۱۵۰۰ دور بر دقیقه تنظیم کنید.

۷- چنانچه ولتاژ بی‌باری ژنراتور ۲۲۰ ولت نباشد، با تغییر مقاومت R_e در مدار ژنراتور، ولتاژ ترمینال آن را روی ۲۲۰ ولت تنظیم کنید. (در مراحل بعدی آزمایش، مقاومت R_e را تغییر ندهید).

۸- با تغییر مقاومت بار، جدول زیر را تکمیل کنید (با تغییر مقاومت بار ژنراتور، سرعت موتور تغییر خواهد یافت. لذا با تغییر ولوم واریاک منبع DC متغیر، می‌توان سرعت موتور را روی ۱۵۰۰ دور بر دقیقه تنظیم نمود).

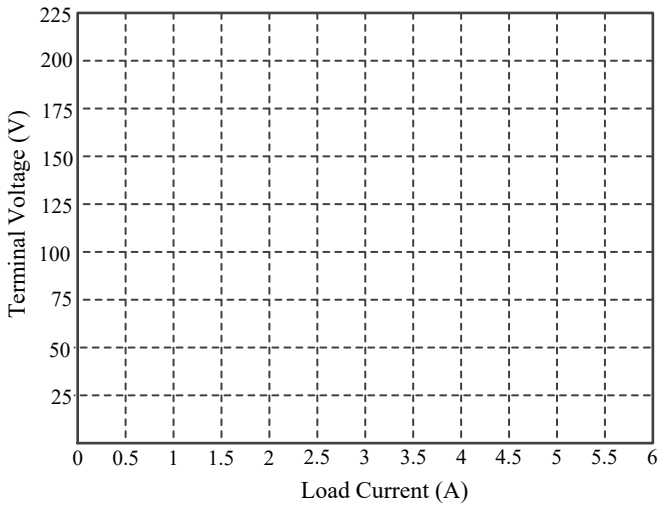
جدول: تغییر بار ژنراتور در سرعت ثابت

I_t (A)	V_t (V)	P_L (W)	R_L (Ω)

۹- پس از اتمام آزمایش، ولوم واریاک منبع تغذیه متغیر را در خلاف جهت عقربه‌های ساعت به طور کامل چرخانده و سپس منابع تغذیه را خاموش کنید.

۱۰- منحنی مشخصه خارجی ژنراتور ($V_t = f(I_t)$) را رسم کنید. (در گزارش کار آزمایش، نمودار را به کمک نرم‌افزار Excel یا MATLAB رسم نمائید).

? با تغییر جریان بار، ولتاژ خروجی ژنراتور چقدر افت می‌کند؟ عامل افت ولتاژ در خروجی ژنراتور چیست؟



منحنی مشخصه خارجی ژنراتور شنت

آزمایش چهارم: مطالعه ژنراتور کمپوند اضافی و نقصانی

هدف آزمایش: مطالعه مشخصه خارجی (تغییرات ولتاژ ترمینال نسبت به جریان بار) در ژنراتور کمپوند و طریقه اتصال ژنراتور در حالت‌های اضافی و نقصانی.

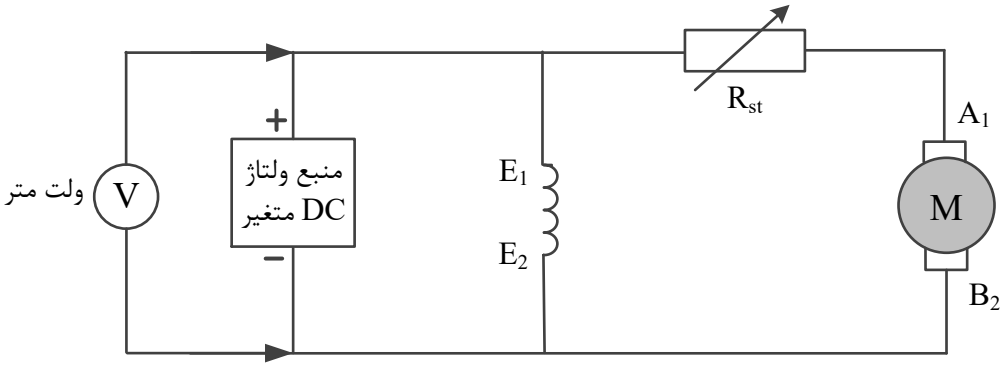
تئوری آزمایش: یکی از انواع ژنراتورهای خودتحریک، ژنراتور کمپوند است که دارای دو سیم‌پیچ میدان شنت و سری است. با توجه به طرز اتصال سیم‌پیچ میدان سری می‌توان گفت اگر شار ناشی از سیم‌پیچ میدان سری با شار تولید شده توسط سیم‌پیچ میدان شنت در یک جهت باشد - که در این صورت، شار سیم‌پیچ سری، شار سیم‌پیچ شنت را تقویت می‌کند – به این ژنراتور، کمپوند اضافی می‌گویند و بالعکس، اگر شار تولید شده توسط سیم‌پیچ میدان سری خلاف جهت سیم‌پیچ میدان شنت باشد – که در این صورت، شار سیم‌پیچ سری، شار سیم‌پیچ شنت را تضعیف می‌کند – به این ژنراتور، کمپوند نقصانی می‌گویند (**؟** چگونه ژنراتور کمپوند اضافی را به نقصانی تبدیل کنیم و بالعکس؟). در آزمایش قبل همانطور که دیدیم، ولتاژ ترمینال ژنراتور شنت با افزایش جریان بار به طور قابل ملاحظه‌ای افت می‌کند. در ژنراتور کمپوند اضافی کاهش شار میدان شنت ناشی از افزایش جریان بار، به وسیله شار تولید شده در میدان سری جبران می‌شود که این موضوع از مزایای ژنراتور کمپوند اضافی است.

مواد و روش: در این آزمایش ماشین شنت به صورت موتور شنت و ماشین کمپوند به صورت ژنراتور کمپوند، مورد استفاده قرار می‌گیرد. موتور به منبع ولتاژ DC متصل می‌شود و ژنراتور را می‌چرخاند. ژنراتور در سمت خروجی الکتریکی خود به مقاومت بار متصل است و توان الکتریکی آن را تأمین می‌کند. با تغییر مقاومت بار، جریان بار تغییر کرده و به دنبال آن ولتاژ خروجی ژنراتور تغییر می‌کند. هدف از این آزمایش، استخراج منحنی مشخصه خارجی ژنراتور کمپوند ($V_t = f(I_t)$) در دو حالت اضافی و نقضانی است که بیانگر تغییرات ولتاژ ترمینال ژنراتور به صورت تابعی از جریان بار آن است.

مراحل آزمایش:

۱- در قسمت موتور مداری مطابق شکل (۴-۱) ببندید. (مطابق شکل، ماشین شنت به صورت موتور شنت مورد استفاده قرار می‌گیرد).

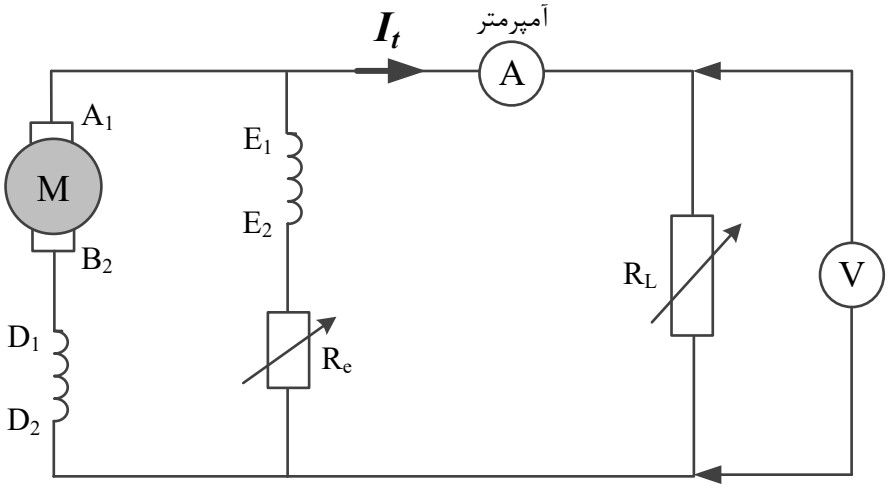
۲- همانطور که می‌دانیم با تغییر بار ژنراتور سرعت موتور تغییر می‌یابد (**؟** چرا؟) لذا با تنظیم لوم واریاک منبع متغیر در ورودی موتور می‌توان سرعت موتور را ثابت و و برابر سرعت نامی آن (۱۵۰۰ دور بر دقیقه) تنظیم نمود.



شکل (۴-۱)

یادآوری: قبل از وصل کامل مدار (هم موتور و هم ژنراتور)، کلیه منابع باید خاموش باشند.

۳- در قسمت ژنراتور مداری مطابق شکل (۴-۲) را ببندید. کلید مقاومت بار (R_L) را روی وضعیت off (مدار باز) قرار دهید (**؟** جریان بار در این وضعیت چقدر خواهد بود؟). همچنین مقاومت متغیر مدار شنت را روی مقدار مینیمم خود قرار دهید (R_e=0).



شکل (۴-۲)

۴- جهت به حرکت در آوردن موتور، منبع تغذیه متغیر را روشن کرده و با چرخاندن ولوم واریاک منبع، ولتاژ ورودی موتور را تا ولتاژ نامی (۲۲۰ ولت) افزایش دهید. سپس به تدریج مقاومت راه‌انداز موتور (R_{st}) را از مدار خارج کنید. اگر ولتاژی در ترمینال ژنراتور DC القا نشود، در این حالت منبع تغذیه را خاموش کرده و ترمینال‌های سیم‌پیچ شنت را عوض کنید. (**؟** این کار چه کمکی به تولید ولتاژ در ژنراتور می‌کند؟) سپس با وارد کردن دوباره

مقاومت راه‌انداز به مدار جهت به حرکت در آوردن موتور، منبع DC متغیر را روشن کرده و پس از افزایش ولتاژ ورودی به ۲۲۰ ولت به تدریج مانند حالت قبل، مقاومت راه انداز را از مدار خارج کنید.

۵- با تغییر مقاومت R_e ولتاژ ترمینال ژنراتور را روی مقدار نامی اش (۲۲۰ ولت) تنظیم کنید.

۶- با تغییر مقاومت بار، ولتاژ خروجی ژنراتور و جریان بار را اندازه گیری کرده و جدول زیر را تکمیل کنید. (با تغییر مقاومت بار ژنراتور، سرعت موتور تغییر خواهد یافت (**?** چرا؟) لذا با تغییر ولوم واریاک منبع DC متغیر، می‌توان سرعت موتور را روی ۱۵۰۰ دور بر دقیقه تنظیم نمود).

جدول: تغییر بار ژنراتور در سرعت ثابت

I_t (A)	V_t (V)	P_L (W)	R_L (Ω)

۷- بعد از اتمام آزمایش ولوم واریاک منبع تغذیه متغیر را در خلاف جهت عقربه‌های ساعت به طور کامل چرخانده و سپس منابع تغذیه را خاموش کنید.

۸- در مدار ژنراتور، ترمینال‌های سیم‌پیچ میدان سری را عوض کنید. (**?** با تعویض ترمینال‌های سیم‌پیچ سری چه اتفاقی می‌افتد؟)

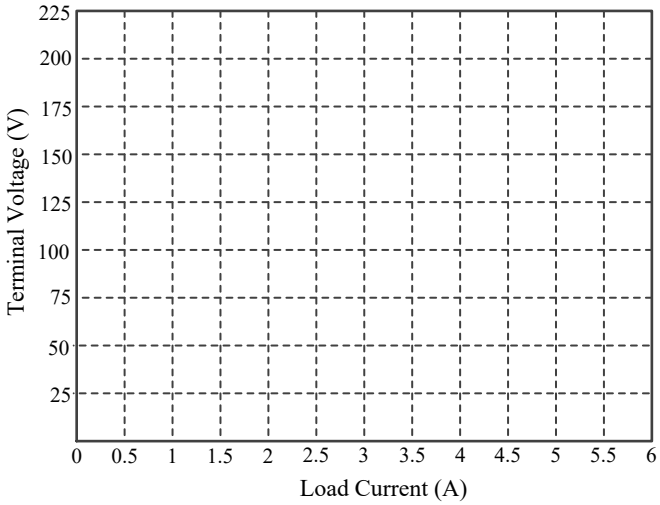
۹- مراحل ۱ تا ۷ آزمایش را تکرار کنید و مجددا در همان سرعت ثابت قبلی، با تغییر مقاومت بار، ولتاژ خروجی ژنراتور و جریان بار را اندازه گیری کرده و جدول زیر را تکمیل کنید.

جدول: تغییر بار ژنراتور در سرعت ثابت

I_t (A)	V_t (V)	P_L (W)	R_L (Ω)

۱۰- با توجه به مقادیر به دست آمده در دو جدول فوق، مشخصه خارجی ژنراتور ($V_t = f(I_t)$) در وضعیت کمپوند اضافی و کمپوند نقصانی را روی یک نمودار رسم کنید. (در گزارش کار آزمایش، نمودار را به کمک نرم‌افزار Excel یا MATLAB رسم نمائید).

؟ منحنی‌های به دست آمده را مقایسه و تحلیل کنید. کدام منحنی مربوط به کمپوند اضافی و کدامیک مربوط به کمپوند نقصانی است. چرا؟



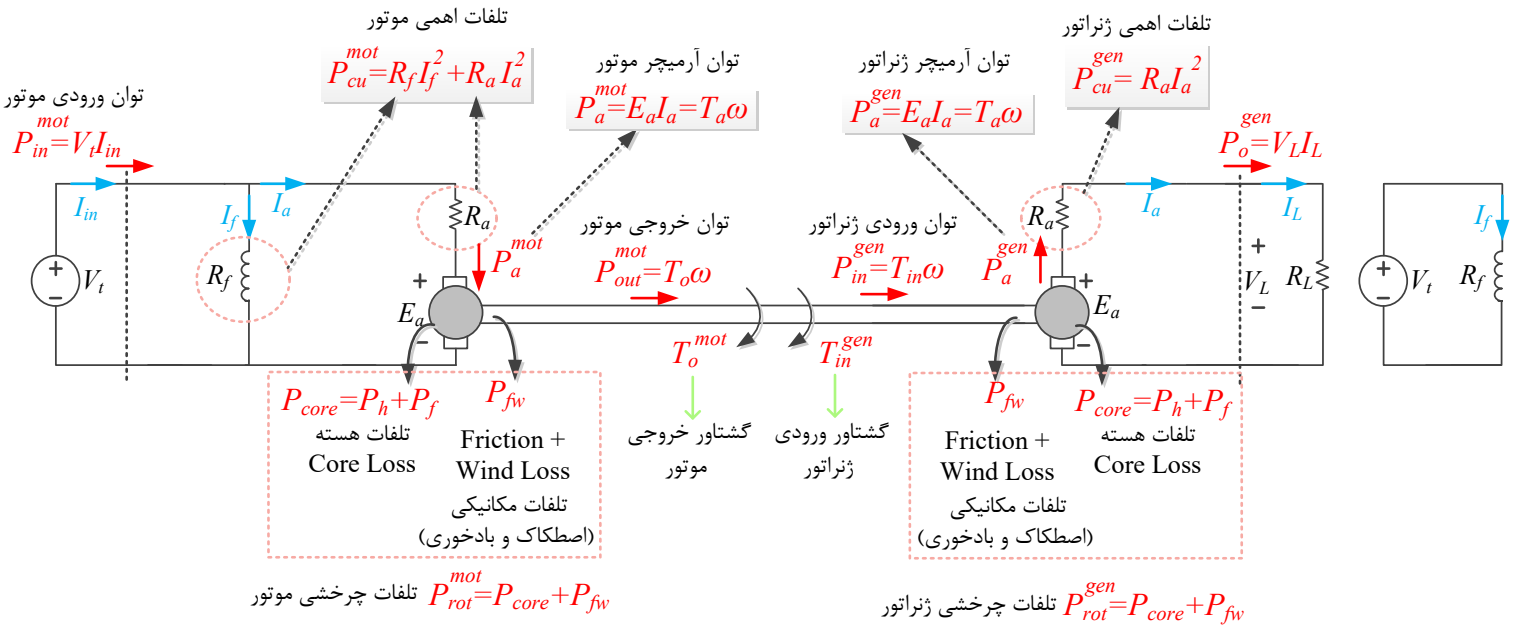
منحنی مشخصه خارجی ژنراتور کمپوند در دو حالت اضافی و نقصانی

آزمایش پنجم: مطالعه موتور DC شنت

هدف آزمایش: مطالعه مشخصه سرعت-گشتاور (تغییرات سرعت نسبت به گشتاور بار) در موتور شنت و محاسبه تلفات و راندمان موتور شنت

تئوری آزمایش: مشخصه سرعت-گشتاور ($\omega = f(T_a)$) یک موتور DC تغییرات سرعت موتور را به صورت تابعی از گشتاور موتور نشان می‌دهد. در حالت کلی، مطابق رابطه $E_a = K_a \emptyset \omega$ سرعت موتور تابعی از ولتاژ اعمال شده به آرمیچر و شار مغناطیسی موتور است. همچنین مطابق رابطه $T_a = K_a \emptyset I_a$ جریانی که آرمیچر موتور از منبع تغذیه می‌کشد به گشتاور آرمیچر و شار مغناطیسی موتور بستگی دارد. در یک موتور شنت، با افزایش گشتاور بار، آرمیچر، جریان بیشتری می‌کشد و با افزایش جریان آرمیچر، به دلیل افزایش افت ولتاژ ناشی از مقاومت آرمیچر، ولتاژ آرمیچر کاهش می‌یابد. با کاهش ولتاژ آرمیچر، سرعت موتور نیز کاهش خواهد یافت. بنابراین با افزایش گشتاور بار، سرعت موتور شنت کاهش می‌یابد. هر چه مقاومت آرمیچر کمتر باشد، افت سرعت موتور نیز با افزایش گشتارو بار، کمتر خواهد بود. (**؟** رابطه مشخصه سرعت-گشتاور موتور شنت را به دست آورید).

مواد و روش: مطابق شکل (۵-۱) در این آزمایش، ماشین کمپوند به صورت موتور شنت و ماشین شنت به صورت ژنراتور تحریک مستقل مورد استفاده قرار می‌گیرد. در واقع، ژنراتور به صورت بار موتور عمل می‌کند. با تغییر



شکل (۵-۱)

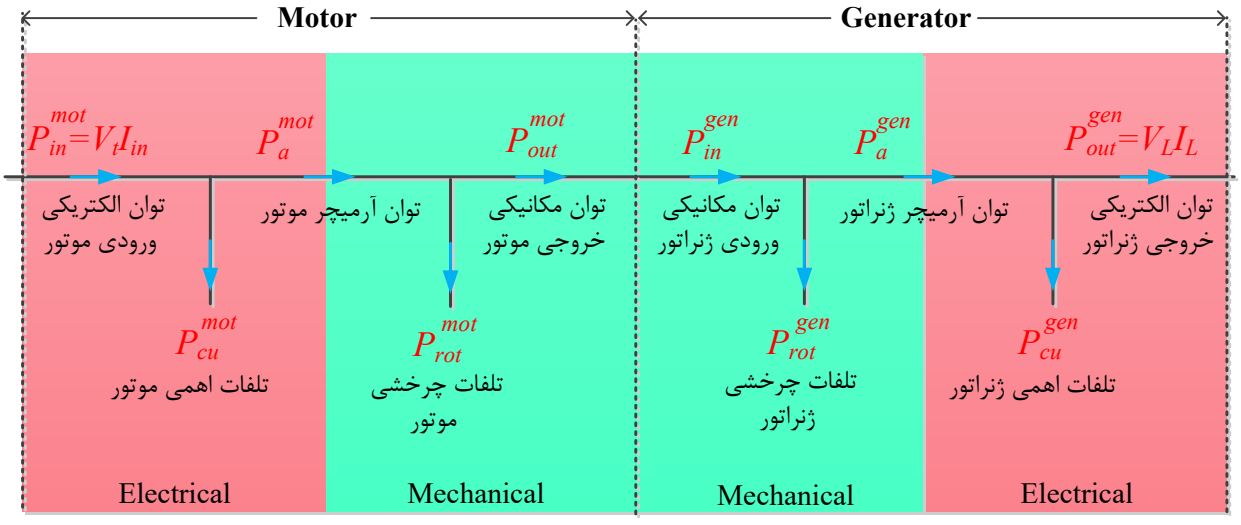
مقاومت بار ژنراتور، گشتاور مورد نیاز برای چرخاندن ژنراتور تغییر می‌کند (**؟** چرا؟) و این بدین معناست که گشتاور بار موتور نیز تغییر یافته است. بنابراین می‌توان گشتاورهای بار مختلف به موتور DC اعمال کرد و سرعت و راندمان موتور را به ازای هر حالت اندازه‌گیری کرد. شکل (۵-۲)، دیاگرام توزیع توان در سیستم مورد آزمایش (موتور شنت و ژنراتور تحریک مستقل) را نشان می‌دهد. توان ورودی به این سیستم، توان الکتریکی موتور (P_{in}^{mot}) است که از منبع تغذیه تأمین می‌شود. بخشی از توان ورودی به موتور، به صورت تلفات اهمی در مقاومت سیم-پیچ‌های موتور تلف می‌شود که با P_{cu}^{mot} نشان داده شده است. توان باقیمانده وارد آرمیچر می‌شود که با P_a^{mot} نشان داده شده است.

$$P_a^{mot} = P_{in}^{mot} - P_{cu}^{mot}$$

در آمیچر، توان الکتریکی به توان مکانیکی تبدیل می‌شود ($P_a^{mot} = E_a I_a = T_a \omega$). بخشی از توان مکانیکی تولید شده در آرمیچر، در قالب تلفات چرخشی موتور (P_{rot}^{mot}) تلف شده و توان باقیمانده به توان مکانیکی مفید در خروجی موتور تبدیل می‌شود.

$$P_{out}^{mot} = P_a^{mot} - P_{rot}^{mot}$$

منظور از تلفات چرخشی موتور، مجموع تلفات هسته (تلفات آهن) و تلفات اصطکاک مکانیکی است که سهم تلفات مکانیکی غالباً بیشتر است. تلفات مکانیکی یک ماشین را به صورت $P_{rot}^{mot} = A + B\omega + C\omega^2$ می‌توان نوشت که در آن ω سرعت ماشین و ضرایب A ، B و C به ساختمان ماشین بستگی دارد و به طور کلی با افزایش سرعت ماشین تلفات مکانیکی هم بیشتر می‌شود.



شکل (۵-۲)

توان مکانیکی خروجی موتور را به صورت حاصلضرب گشتاور مکانیکی خروجی در سرعت می‌توان نوشت.

$$P_{out}^{mot} = T_o\omega$$

از طرف دیگر، توان مکانیکی خروجی موتور، همان توان مکانیکی ورودی ژنراتور است ($P_{in}^{gen} = P_{out}^{mot}$) که صرف چرخاندن ژنراتور می‌شود. بخشی از توان ورودی به ژنراتور به صورت تلفات چرخشی تلف می‌شود و مابقی وارد آرمیچر می‌شود.

$$P_a^{gen} = P_{in}^{gen} - P_{rot}^{gen}$$

توان مکانیکی وارده به آرمیچر، به توان الکتریکی تبدیل می‌شود ($P_a^{gen} = T_a\omega = E_aI_a$). بخشی از توان الکتریکی تولید شده در آرمیچر ژنراتور، به صورت تلفات اهمی در سیم‌پیچ‌ها تلف شده و مابقی توان مصرفی مقاومت بار را تأمین می‌کند که همان توان الکتریکی خروجی ژنراتور است.

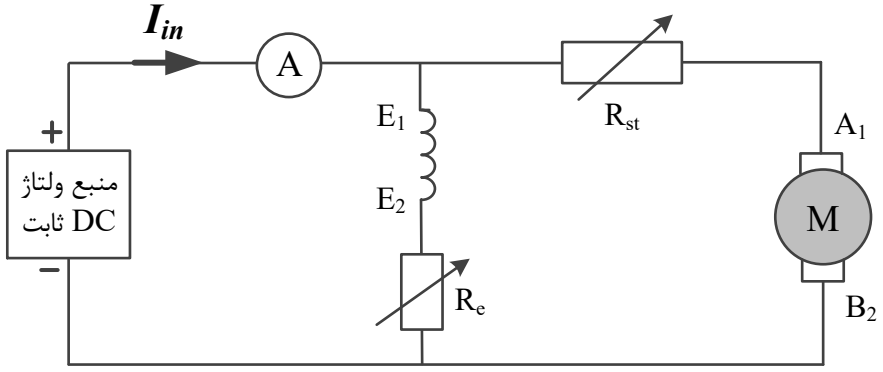
$$P_{out}^{gen} = P_a^{gen} - P_{cu}^{gen}$$

در این آزمایش، برای رسم مشخصه سرعت-گشتاور موتور ($\omega = f(T_a)$)، سرعت به وسیله تاکومتر اندازه‌گیری می‌شود. با داشتن توان آرمیچر و سرعت موتور، گشتاور آرمیچر را می‌توان از رابطه $T_a^{mot} = P_a^{mot}/\omega$ به دست آورد. توان ورودی موتور (P_{in}^{mot}) با داشتن ولتاژ و جریان ورودی موتور به دست می‌آید. تلفات اهمی موتور (تلفات مس) با استفاده از مقادیر مقاومت و جریان سیم‌پیچ‌ها به دست می‌آید. تلفات چرخشی را نمی‌توان مستقیماً اندازه‌گیری کرد. با فرض اینکه تلفات چرخشی موتور و ژنراتور برابر است، تلفات چرخشی را می‌توان از رابطه $P_{rot}^{mot} = P_{rot}^{gen} = \left(P_a^{mot} - P_a^{gen}\right)/2$ به دست آورد. (**؟** چرا؟) در نهایت بازده موتور به دست می‌آید:

$$\eta = P_{out}^{mot}/P_{in}^{mot} = \frac{P_{in}^{mot} - P_{cu}^{mot} - P_{rot}^{mot}}{P_{in}^{mot}};\ \ P_{in}^{mot} = V_tI_{in}$$

مراحل آزمایش:

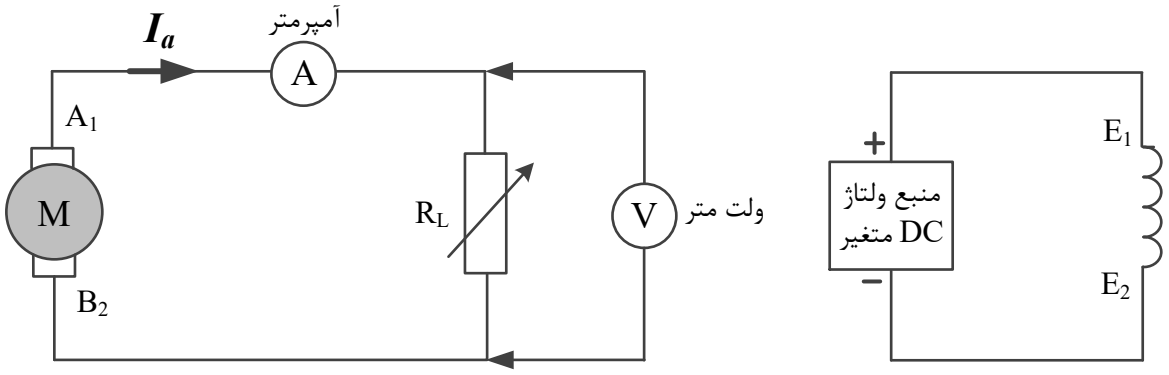
۱- در قسمت موتور، مداری مطابق شکل (۵-۳) را ببندید. (ماشین کمپوند به صورت موتور شنت بسته می‌شود).



شکل (۵-۳)

۲- مقاومت راه‌انداز R_{st} را در مقدار ماکزیمم و مقاومت تنظیم کننده جریان سیم‌پیچ میدان (R_e) را در مقدار مینیمم خود قرار داده و منبع ولتاژ DC ثابت در ورودی موتور را در حالت خاموش نگه دارید.

۳- در قسمت ژنراتور مداری مطابق شکل (۵-۴) را ببندید (ماشین شنت به صورت ژنراتور تحریک مستقل بسته می‌شود).



شکل (۵-۴)

۴- مقاومت بار وصل شده به خروجی ژنراتور را در وضعیت بی‌نهایت (مدار باز) و ولتاژ متغیر DC اعمال شده به سیم‌پیچ میدان ژنراتور را در حالت خاموش نگه دارید.

۵- جهت به حرکت در آوردن موتور، منبع تغذیه DC ثابت را روشن کرده و به تدریج مقاومت راه‌انداز موتور را از مدار خارج کنید. با تنظیم مقاومت R_e سرعت موتور را به ۱۵۰۰ دور بر دقیقه برسانید.

۶- منبع ولتاژ متغیر را روشن کنید. با چرخاندن ولوم واریاک در جهت عقربه‌های ساعت، ولتاژ القائی در دو سر آرمیچر ژنراتور تحریک مستقل را به ۲۲۰ ولت افزایش دهید. در صورت تغییر سرعت موتور، با تغییر مقاومت R_e سرعت موتور را روی ۱۵۰۰ دور بر دقیقه تنظیم کنید.

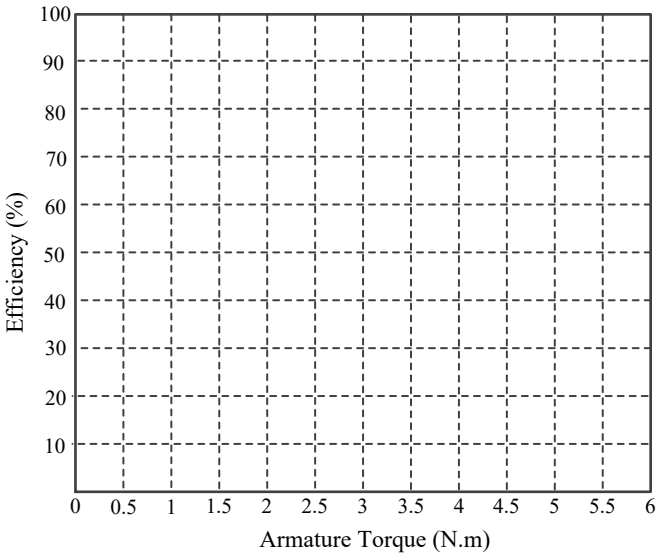
۷- مقاومت بار وصل شده به خروجی ژنراتور را تغییر دهید و جدول زیر را تکمیل کنید.

R_L	V_t	I_{in}	V_L	I_L	N (rpm)	ω (rad/s)	T_a^{mot}	T_o^{mot}	P_{in}^{mot}	P_{cu}^{mot}	P_{rot}^{mot}	P_{out}^{mot}	η

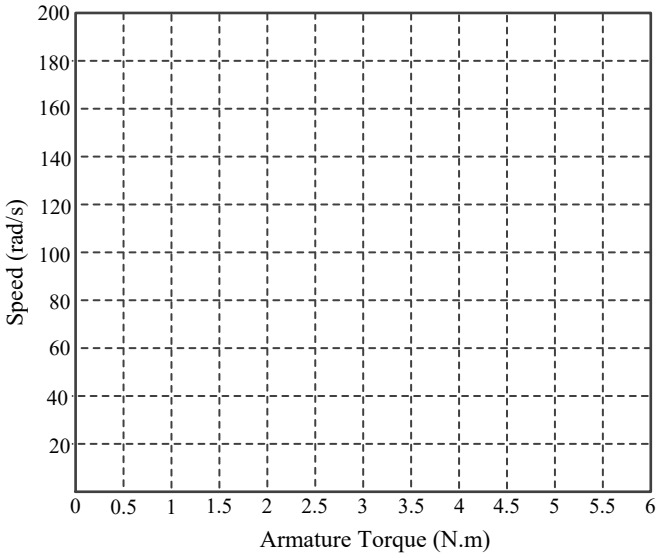
۸- با استفاده از جدول فوق، مشخصه سرعت – گشتاور موتور ($\omega = f(T_a)$) را رسم کرده و آن را تحلیل نمائید.

۹- منحنی تغییرات راندمان موتور نسبت به گشتاور آرمیچر (گشتاور الکتریکی) موتور ($\eta = f(T_a)$) را رسم کرده و آن را تحلیل نمائید.

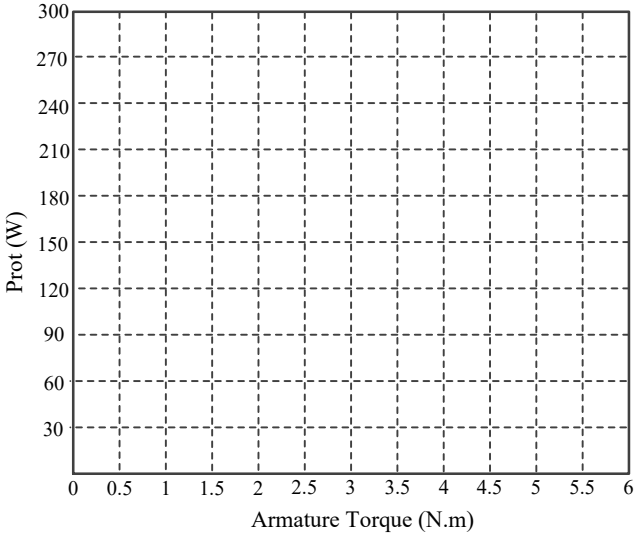
۱۰- منحنی تغییرات تلفات مس و تلفات چرخشی موتور نسبت به گشتاور آرمیچر موتور را رسم کرده و آنها را تحلیل نمائید ($P_{cu} = f(T_a)$) و ($P_{rot} = f(T_a)$).



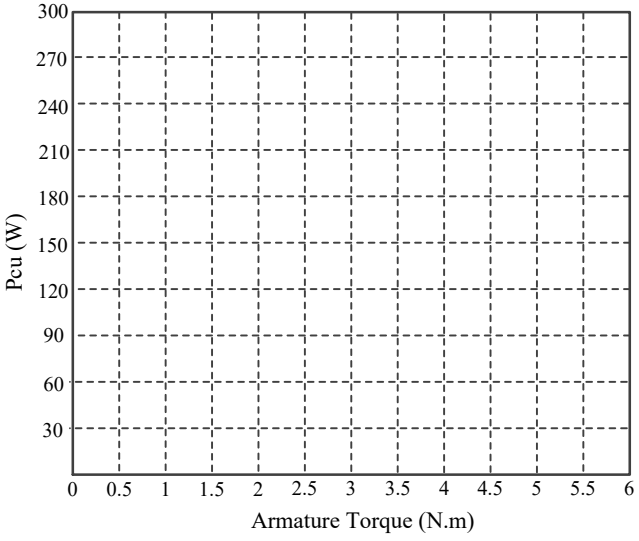
منحنی تغییرات راندمان نسبت به بار موتور



مشخصه سرعت – گشتاور موتور شنت



منحنی تغییرات تلفات چرخشی نسبت به بار موتور



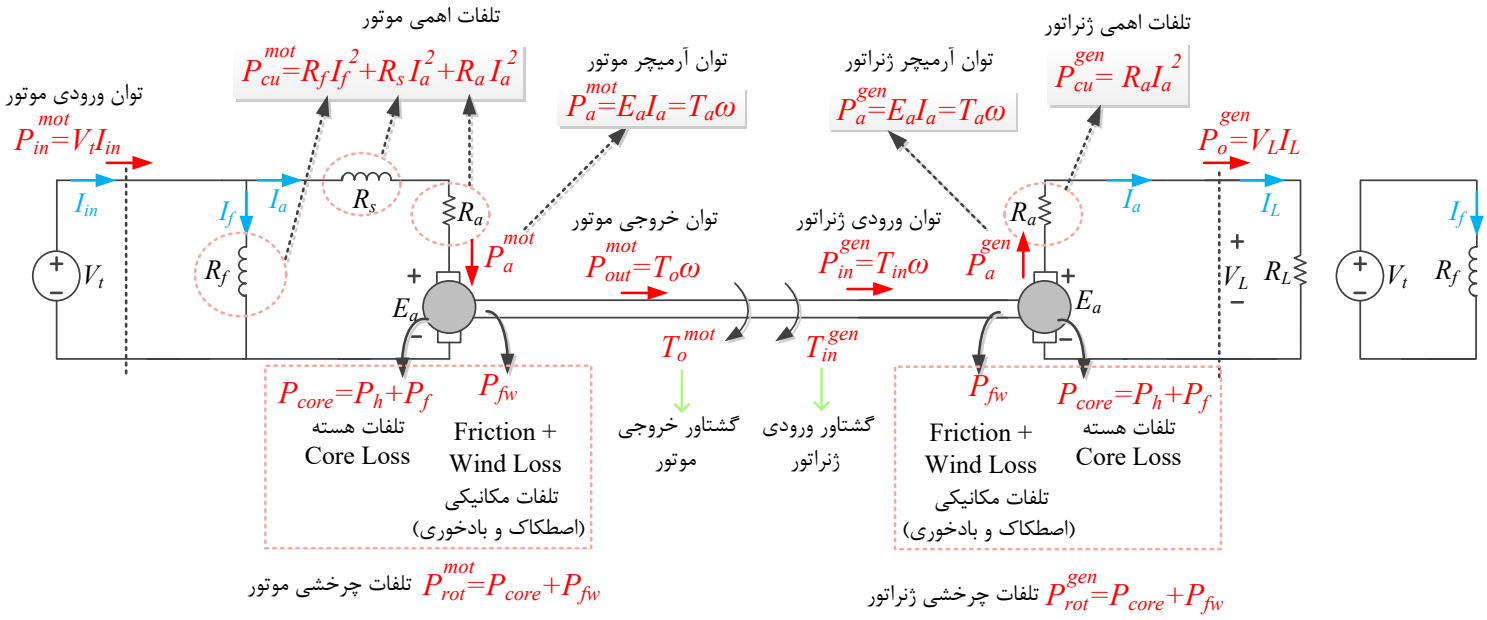
منحنی تغییرات تلفات اهمی نسبت به بار موتور

آزمایش ششم: مطالعه موتور DC کمپوند اضافی و نقصانی

هدف آزمایش: مطالعه مشخصه سرعت-گشتاور (تغییرات سرعت نسبت به گشتاور بار) در موتور کمپوند در دو حالت اضافی و نقصانی و محاسبه تلفات و راندمان موتور کمپوند

تئوری آزمایش: موتور کمپوند از دو سیم‌پیچ میدان شنت و سری تشکیل شده است. اگر شار مغناطیسی تولید شده توسط سیم‌پیچ سری با شار سیم‌پیچ شنت در یک جهت باشد و آن را تقویت کند، این موتور را کمپوند اضافی و اگر در خلاف جهت باشد و آن را تضعیف کند، این موتور را کمپوند نقصانی می‌نامند.

مشخصه سرعت-گشتاور ($\omega = f(T_a)$) یک موتور DC تغییرات سرعت موتور را به صورت تابعی از گشتاور موتور نشان می‌دهد. در حالت کلی، مطابق رابطه $E_a = K_a \emptyset \omega$ سرعت موتور تابعی از ولتاژ اعمال شده به آرمیچر و شار مغناطیسی موتور است. همچنین مطابق رابطه $T_a = K_a \emptyset I_a$ جریانی که آرمیچر موتور از منبع تغذیه می‌کشد به گشتاور آرمیچر و شار مغناطیسی موتور بستگی دارد. در یک موتور شنت، با افزایش گشتاور بار، آرمیچر، جریان بیشتری می‌کشد و در نتیجه شار تولید شده توسط سیم‌پیچ سری هم بیشتر می‌شود. اگر موتور، کمپوند نقصانی باشد، شار کل کاهش می‌یابد ($\phi = \phi_{shunt} - \phi_{seri}$). کاهش شار به افزایش سرعت می‌انجامد. به طور عکس،



شکل (۶-۱)

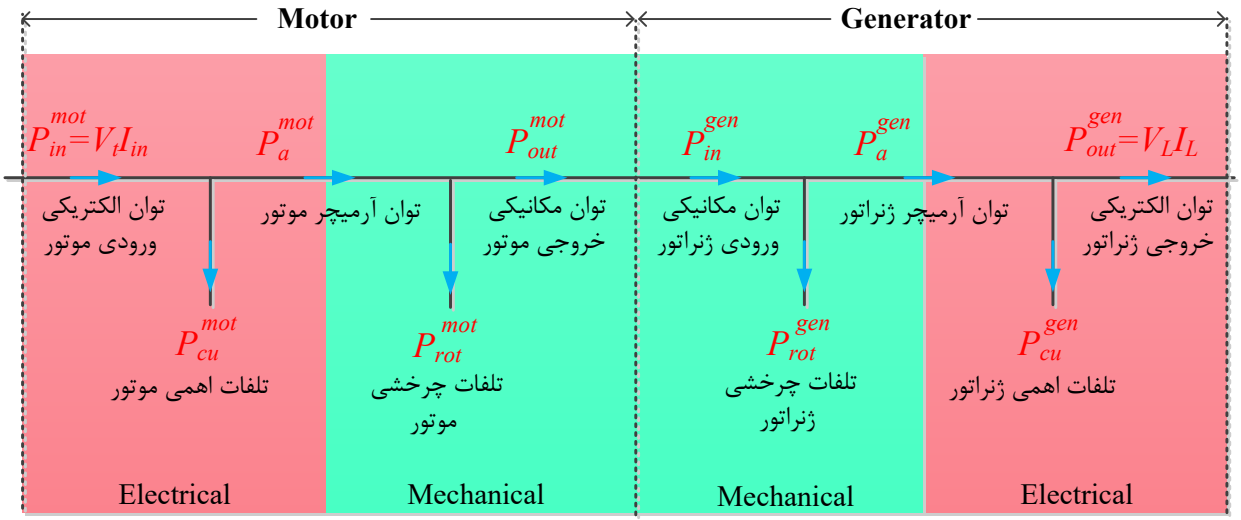
اگر موتور کمپوند اضافی باشد، شار کل افزایش می‌یابد ($\phi = \phi_{shunt} + \phi_{seri}$). افزایش شار به کاهش سرعت موتور منجر می‌شود.

؟ رابطه مشخصه سرعت- جریان آرمیچر در موتور کمپوند را به دست آورید و تفاوت آن را در وضعیت اضافی و نقصانی شرح دهید.

؟ چگونه می‌توان موتور کمپوند اضافی را به نقصانی تبدیل کرد و بالعکس؟

مواد و روش: مطابق شکل (۶-۱) در این آزمایش، ماشین کمپوند به صورت موتور کمپوند و ماشین شنت به صورت ژنراتور تحریک مستقل مورد استفاده قرار می‌گیرد. در واقع، ژنراتور به صورت بار موتور عمل می‌کند. با تغییر مقاومت بار ژنراتور، گشتاور مورد نیاز برای چرخاندن ژنراتور تغییر می‌کند (**؟** چرا؟) و این بدین معناست که گشتاور بار موتور نیز تغییر یافته است. بنابراین می‌توان گشتاورهای بار مختلف به موتور DC اعمال کرد و سرعت و راندمان موتور را به ازای هر حالت اندازه‌گیری کرد. شکل (۶-۲)، دیاگرام توزیع توان در سیستم مورد آزمایش (موتور شنت و ژنراتور تحریک مستقل) را نشان می‌دهد. توان ورودی به این سیستم، توان الکتریکی موتور (P_{in}^{mot}) است که از منبع تغذیه تأمین می‌شود. با توجه به دیاگرام توزیع توان روباط زیر را می‌توان نوشت.

$$P_a^{mot} = P_{in}^{mot} - P_{cu}^{mot}$$
$$P_{out}^{mot} = P_a^{mot} - P_{rot}^{mot}$$
$$P_{out}^{mot} = T_o \omega$$
$$P_{in}^{gen} = P_{out}^{mot}$$



شکل (۶-۲)

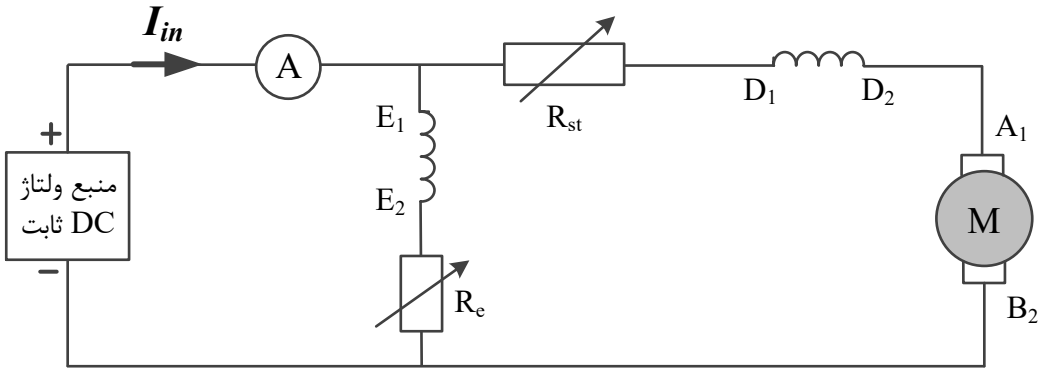
$$P_a^{gen} = P_{in}^{gen} - P_{rot}^{gen}$$
$$P_{out}^{gen} = P_a^{gen} - P_{cu}^{gen}$$

مشابه آزمایش ۵، در این آزمایش نیز، برای رسم مشخصه سرعت-گشتاور موتور ($\omega = f(T_a)$)، سرعت به وسیله تاکومتر اندازه‌گیری می‌شود. با داشتن توان آرمیچر و سرعت موتور، گشتاور آرمیچر را می‌توان از رابطه $T_a^{mot} = P_a^{mot}/\omega$ به دست آورد. توان ورودی موتور (P_{in}^{mot}) با داشتن ولتاژ و جریان ورودی موتور به دست می‌آید. تلفات اهمی موتور (تلفات مس) با استفاده از مقادیر مقاومت و جریان سیم‌پیچ‌ها به دست می‌آید. تلفات چرخشی را نمی‌توان مستقیماً اندازه‌گیری کرد. با فرض اینکه تلفات چرخشی موتور و ژنراتور برابر است، تلفات چرخشی را می‌توان از رابطه $P_{rot}^{mot} = P_{rot}^{gen} = \left(P_a^{mot} - P_a^{gen}\right)/2$ به دست آورد. (**؟** چرا؟) در نهایت بازده موتور به دست می‌آید:

$$\eta = P_{out}^{mot}/P_{in}^{mot} = \frac{P_{in}^{mot} - P_{cu}^{mot} - P_{rot}^{mot}}{P_{in}^{mot}};\ \ P_{in}^{mot} = V_t I_{in}$$

مراحل آزمایش:

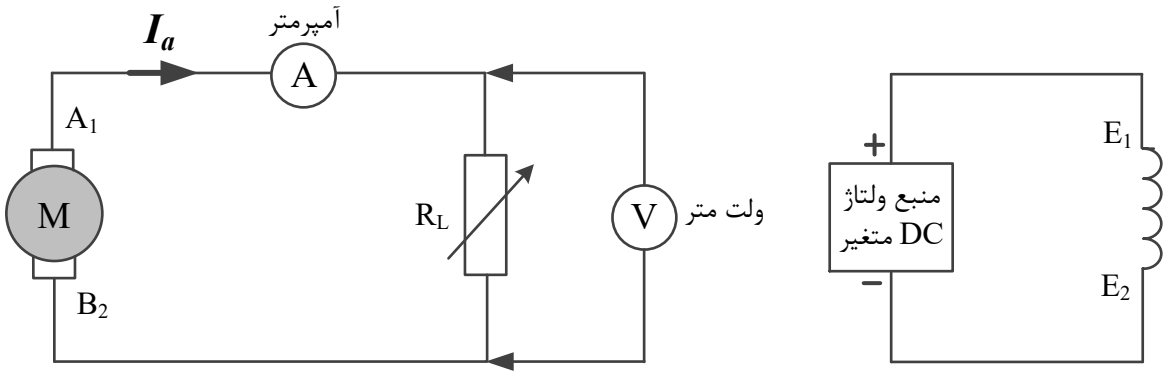
۱- در قسمت موتور، مداری مطابق شکل (۶-۳) را ببندید. (ماشین کمپوند به صورت موتور کمپوند بسته می‌شود).



شکل (۶-۳)

۲- مقاومت راه‌انداز R_{st} را در مقدار ماکزیمم و مقاومت تنظیم کننده جریان سیم‌پیچ میدان (R_e) را در مقدار مینیمم خود قرار داده و منبع ولتاژ DC ثابت در ورودی موتور را در حالت خاموش نگه دارید.

۳- در قسمت ژنراتور مداری مطابق شکل (۶-۴) را ببندید (ماشین شنت به صورت ژنراتور تحریک مستقل بسته می‌شود).



شکل (۶-۴)

۴- مقاومت بار وصل شده به خروجی ژنراتور را در وضعیت بی‌نهایت (مدار باز) و ولتاژ متغیر DC اعمال شده به سیم‌پیچ میدان ژنراتور را در حالت خاموش نگه دارید.

۵- جهت به حرکت در آوردن موتور، منبع تغذیه DC ثابت را روشن کرده و به تدریج مقاومت راه‌انداز موتور را از مدار خارج کنید. با تنظیم مقاومت R_e سرعت موتور را به ۱۵۰۰ دور بر دقیقه برسانید.

۶- منبع ولتاژ متغیر را روشن کنید. با چرخاندن ولوم واریاک در جهت عقربه‌های ساعت، ولتاژ القائی در دو سر آرمیچر ژنراتور تحریک مستقل را به ۲۲۰ ولت افزایش دهید. در صورت تغییر سرعت موتور، با تغییر مقاومت R_e سرعت موتور را روی ۱۵۰۰ دور بر دقیقه تنظیم کنید.

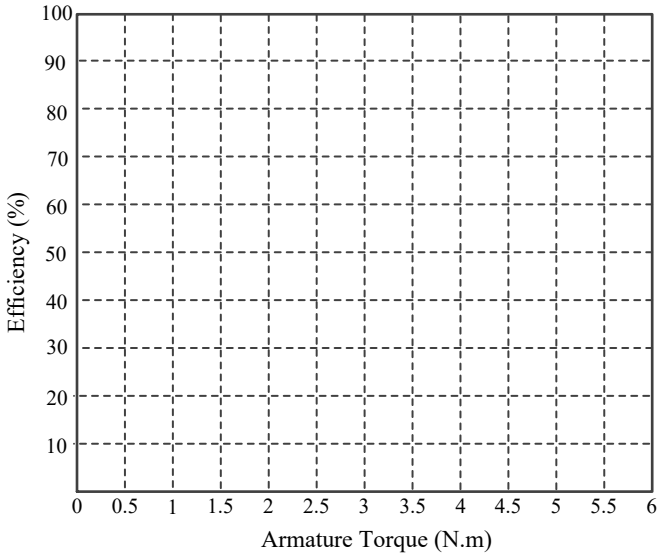
۷- مقاومت بار وصل شده به خروجی ژنراتور را تغییر دهید و جدول زیر را تکمیل کنید.

R_L	V_t	I_{in}	V_L	I_L	N (rpm)	ω (rad/s)	T_a^{mot}	T_o^{mot}	P_{in}^{mot}	P_{cu}^{mot}	P_{rot}^{mot}	P_{out}^{mot}	η

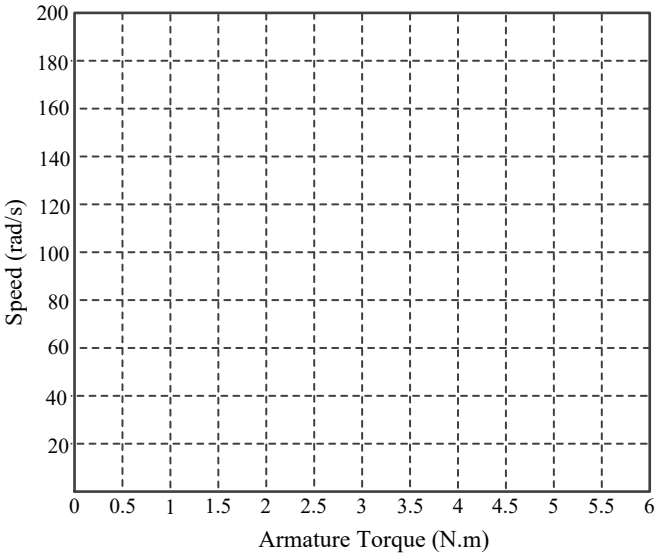
۸- با استفاده از جدول فوق، مشخصه سرعت – گشتاور موتور ($\omega = f(T_a)$) را رسم کرده و آن را تحلیل نمائید.

۹- منحنی تغییرات راندمان موتور نسبت به گشتاور آرمیچر (گشتاور الکتریکی) موتور ($\eta = f(T_a)$) را رسم کرده و آن را تحلیل نمائید.

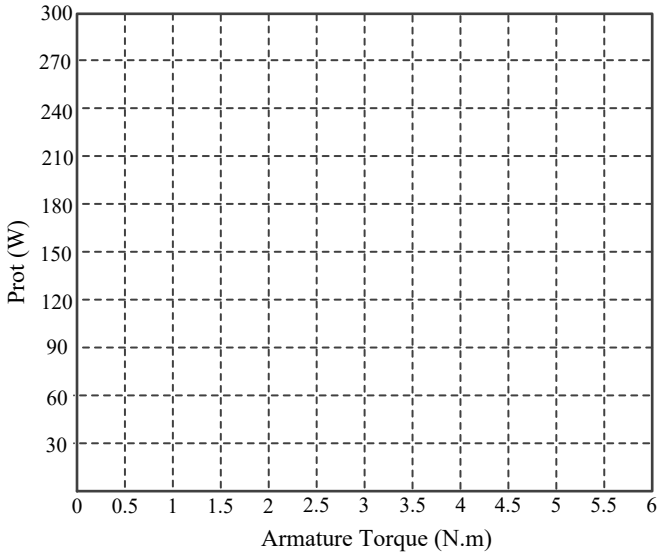
۱۰- منحنی تغییرات تلفات مس و تلفات چرخشی موتور نسبت به گشتاور آرمیچر موتور را رسم کرده و آنها را تحلیل نمائید ($P_{cu} = f(T_a)$) و ($P_{rot} = f(T_a)$).



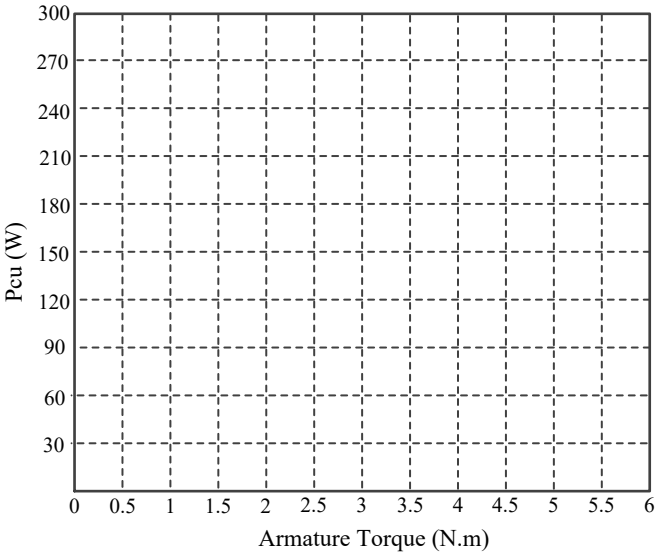
منحنی تغییرات راندمان نسبت به بار موتور



مشخصه سرعت – گشتاور موتور شنت



منحنی تغییرات تلفات چرخشی نسبت به بار موتور



منحنی تغییرات تلفات اهمی نسبت به بار موتور

۱۱- منابع تغذیه DC ثابت و متغیر را خاموش کنید.

۱۲- محل اتصال ترمینال‌های سیم‌پیچ میدان سری موتور را با همدیگر عوض کنید (**؟** با این کار چه تغییری ذر عملکرد موتور رخ می‌دهد؟)

۱۳- مراحل ۲ تا ۶ را تکرار کنید.

۱۴- مقاومت بار وصل شده به خروجی ژنراتور را تغییر دهید و جدول زیر را تکمیل کنید.

R_L	V_t	I_{in}	V_L	I_L	N (rpm)	ω (rad/s)	T_a^{mot}	T_o^{mot}	P_{in}^{mot}	P_{cu}^{mot}	P_{rot}^{mot}	P_{out}^{mot}	η

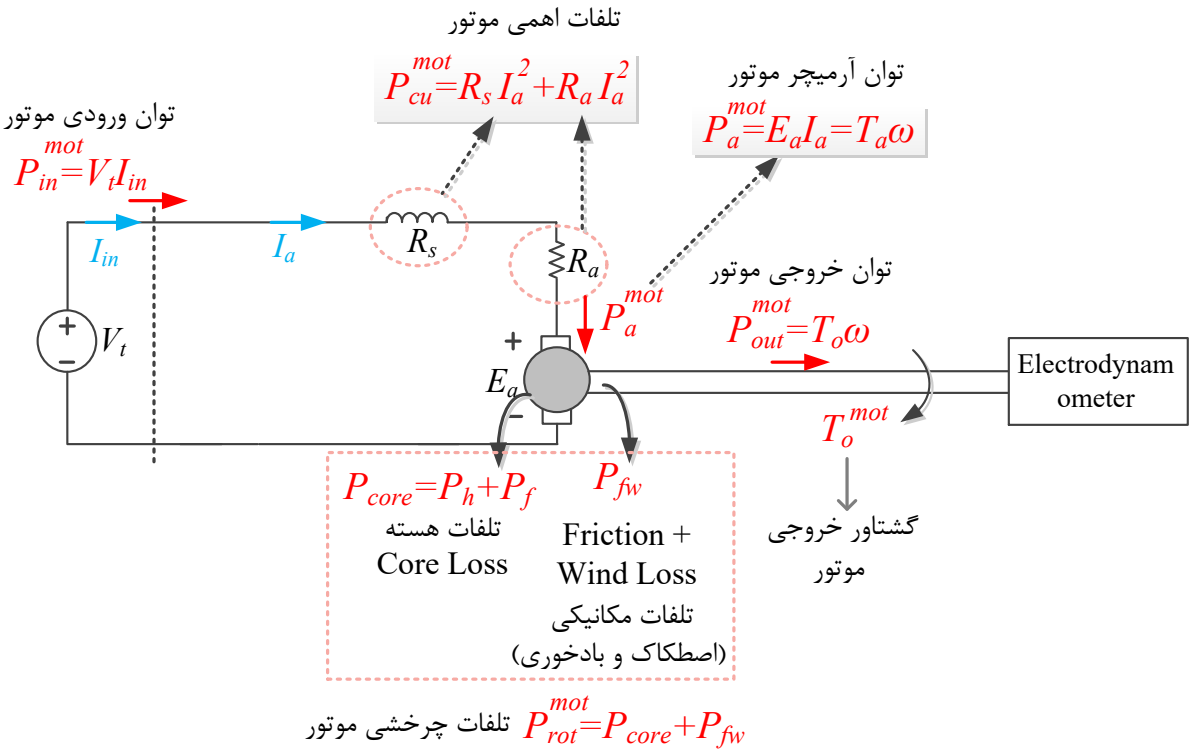
۱۵- مراحل ۸، ۹ و ۱۰ را تکرار کنید. منحنی‌های به دست آمده را با منحنی‌های حالت قبل مقایسه کنید. چه تفاوتی مشاهده می‌کنید؟ موتور کمپوند، در کدام حالت اضافی و در کدام حالت نقصانی بوده؟ شرح دهید.

آزمایش هفتم: مطالعه موتور DC سری

هدف آزمایش: مطالعه مشخصه سرعت-گشتاور (تغییرات سرعت نسبت به گشتاور بار) در موتور سری و محاسبه تلفات و راندمان موتور سری

تئوری آزمایش: مشخصه سرعت-گشتاور ($\omega = f(T_a)$) یک موتور DC تغییرات سرعت موتور را به صورت تابعی از گشتاور موتور نشان می‌دهد. در حالت کلی، مطابق رابطه $E_a = K_a \emptyset \omega$ سرعت موتور تابعی از ولتاژ اعمال شده به آرمیچر و شار مغناطیسی موتور است. همچنین مطابق رابطه $T_a = K_a \emptyset I_a$ جریانی که آرمیچر موتور از منبع تغذیه می‌کشد به گشتاور آرمیچر و شار مغناطیسی موتور بستگی دارد. در موتور سری، جریان عبوری از سیم‌پیچ میدان، همان جریان آرمیچر است. پس شار مغناطیسی این موتور متناسب با جریان آرمیچر است. با افزایش گشتاور بار موتور، آرمیچر جریان بیشتری از منبع تغذیه می‌کشد. با توجه به اینکه مقاومت سیم‌پیچ میدان سری و مقاومت آرمیچر اندک است، با افزایش جریان آرمیچر، ولتاژ آرمیچر افت اندکی می‌کند اما شار مغناطیسی متناسب با جریان آرمیچر بیشتر می‌شود. بنابراین سرعت موتور به طور محسوس کاهش می‌یابد. اگر ولتاژ آرمیچر را تقریبا ثابت فرض کنیم می‌توانیم بگوئیم سرعت این موتور، متناسب با عکس گشتاور است. هر چه گشتاور بار کاهش یابد سرعت بیشتر می‌شود و بالعکس. اگر موتور سری را بدون بار راه‌اندازی کنیم، سرعت موتور به بی‌نهایت می‌کند و خطرات جدی به دنبال خواهد داشت. در ناحیه خطی منحنی مغناطیس شوندگی رابطه $\phi = K_2 I_a$ برقرار است. بنابراین می‌توان گفت گشتاور متناسب با توان دوم جریان آرمیچر است. در لحظه راه‌اندازی – که جریان آرمیچر زیاد است – موتور سری گشتاور زیادی تولید می‌کند. از این رو از موتور سری در راه‌اندازی بارهای سنگین، نظیر قطارهای برقی و جرثقیل‌ها می‌توان استفاده کرد.

مواد و روش: در این آزمایش، از موتورهای Lab-Volt استفاده خواهد شد که روتور آن با یک الکترودینامومتر (که نقش بار مکانیکی موتور را دارد) کوپل شده است. شکل (۷-۱) مدار معادل موتور را نشان می‌دهد. با تغییر ولتاژ تغذیه الکترودینامومتر، می‌توان گشتاور آن را تغییر داد که به معنی تغییر گشتاور بار موتور است. (**؟** الکترودینامتر چیست و چگونه کار می‌کند؟). بنابراین می‌توان گشتاورهای بار مختلف به موتور DC اعمال کرد و سرعت و راندمان موتور را به ازای هر حالت اندازه‌گیری کرد.



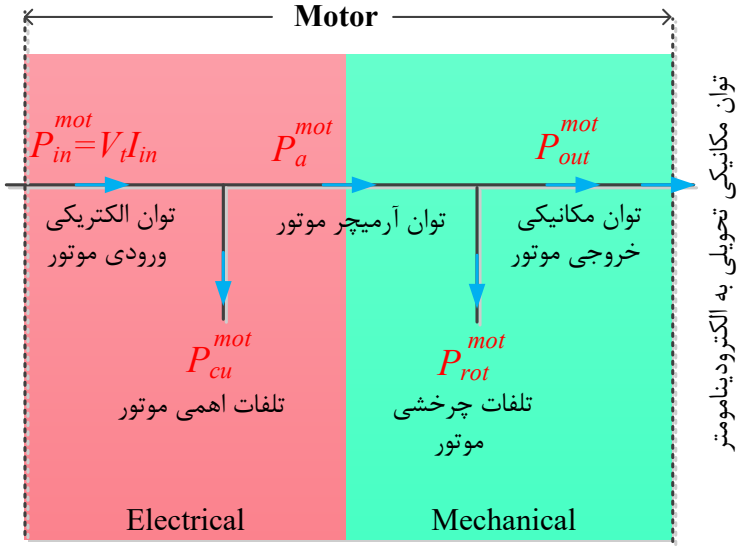
شکل (۷-۱)

شکل (۷-۲)، دیاگرام توزیع توان در سیستم مورد آزمایش را نشان می‌دهد. توان ورودی به این سیستم، توان الکتریکی موتور (P_{in}^{mot}) است که از منبع تغذیه تأمین می‌شود. با توجه به دیاگرام توزیع توان روابط زیر را می‌توان نوشت.

$$P_a^{mot} = P_{in}^{mot} - P_{cu}^{mot}$$
$$P_{out}^{mot} = P_a^{mot} - P_{rot}^{mot}$$
$$P_{out}^{mot} = T_o\omega$$

در روابط فوق، T_o همان گشتاور الکترودینامومتر (گشتاور بار موتور) است. در این آزمایش، با توجه به اندازه‌گیری مستقیم گشتاور بار و برای سادگی، مشخصه سرعت-گشتاور موتور به صورت $\omega = f(T_o)$ ، رسم می‌شود. توان ورودی موتور (P_{in}^{mot}) با داشتن ولتاژ و جریان ورودی موتور به دست می‌آید. تلفات اهمی موتور (تلفات مس) با استفاده از مقادیر مقاومت و جریان سیم‌پیچ‌ها به دست می‌آید. تلفات چرخشی را نمی‌توان مستقیماً اندازه‌گیری کرد. با توجه به شکل (۷-۲) تلفات چرخشی را می‌توان از رابطه $P_{rot}^{mot} = P_a^{mot} - P_o^{mot}$ به دست آورد. (**؟** چرا؟) در نهایت بازده موتور به دست می‌آید:

$$\eta = P_{out}^{mot}/P_{in}^{mot} = \frac{T_o\omega}{V_t I_{in}}$$



شکل (۷-۲)

مراحل انجام آزمایش:

۱- مداری مطابق شکل (۷-۳) ببندید.

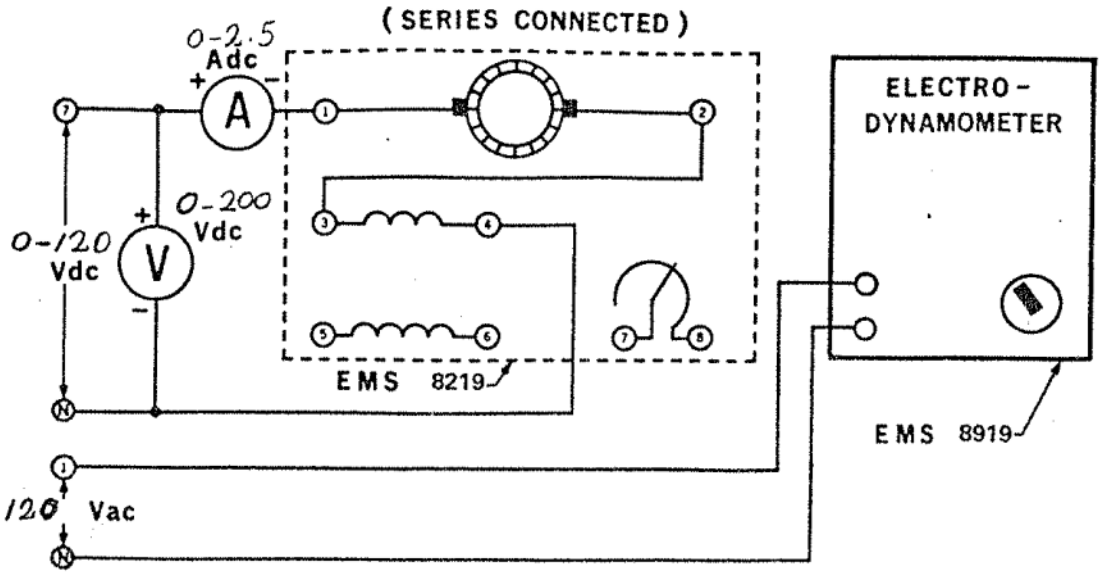
۲- مطابق شکل (۷-۳)، ولتاژ DC اعمال شده به آرمیچر ماشین (ترمینال‌های 7, N) متغیر بوده و همچنین ولتاژ AC اعمال شده به الکترودینامومتر (ترمینال‌های 1, N) ثابت است.

۳- موتور DC سری نباید بدون بار راه‌اندازی شود. جهت تأمین بار لحظه راه‌اندازی موتور، ولوم کنترل دینامومتر را در وسط قرار دهید. (در شرایط بی‌باری گشتاور بار چند است؟ و چه اتفاقی برای موتور سری رخ می‌دهد؟)

۴- منبع تغذیه را روشن کرده و ولتاژ DC اعمال شده به موتور را تا ۱۲۰ ولت افزایش دهید.

اگر جهت چرخش موتور در جهت عقربه‌های ساعت نباشد، در این صورت منبع تغذیه را خاموش کرده و محل ترمینال‌های سیم‌پیچ میدان سری را عوض نمائید. در این صورت، بعد از روشن کردن منبع تغذیه خواهیم دید که جهت چرخش موتور برعکس می‌شود.

۵- با تنظیم ولوم کنترل الکترودینامومتر، گشتاور بار موتور را به ۱/۲ نیوتون‌متر افزایش دهید. سرعت موتور، و جریان ورودی موتور را اندازه‌گیری و در جدول زیر یادداشت نمائید. گشتاور موتور را با گام‌های ۰/۱ نیوتون‌متر کاهش داده و جدول را تکمیل نمائید. (با کاهش گشتاور بار سرعت افزایش می‌یابد. گشتاور بار را تا جایی



شکل (۷-۳)

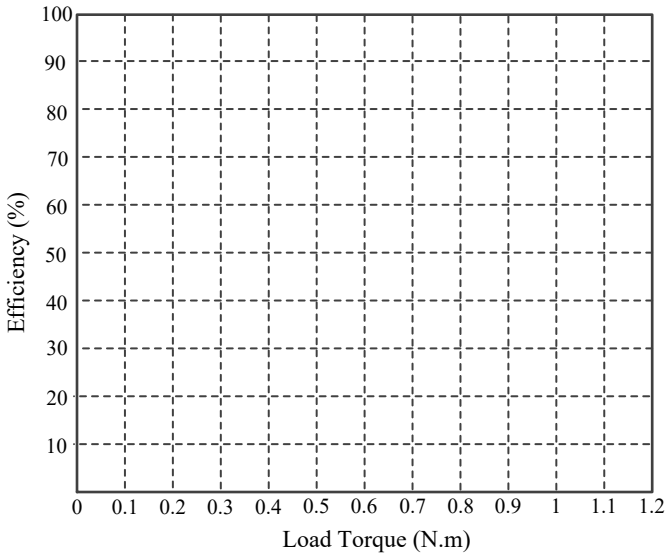
کاهش دهید که سرعت موتور از ۲۰۰۰ دور بر دقیقه بیشتر نشود). در تمام مراحل آزمایش بایستی ولتاژ ورودی موتور در ۱۲۰ ولت ثابت بماند.

راندمان	توان خروجی (W)	توان ورودی (W)	گشتاور بار (N.m)	سرعت (rpm)	جریان آرمیچر (A)	ولتاژ تغذیه (V)
			1.2			
			1.1			
			1			

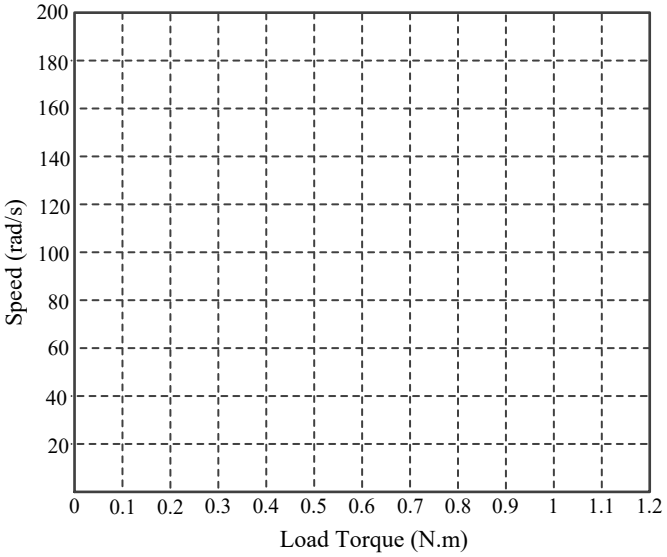
۶- پس از اتمام آزمایش، ولتاژ اعمال شده به موتور را به صفر ولت کاهش داده و سپس منبع تغذیه را خاموش نمائید.

۷- با استفاده از پارامترهای الکتریکی و مکانیکی اندازه‌گیری شده در جدول بالا، توان الکتریکی، ورودی و توان مکانیکی خروجی و بازده موتور را محاسبه نمائید.

۸- مشخصه سرعت-گشتاور و منحنی تغییرات بازده نسبت به بار موتور را رسم نمائید.



منحنی تغییرات راندمان نسبت به بار موتور



مشخصه سرعت – گشتاور موتور سری