



بسم الله الرحمن الرحيم

آزمایشگاه ماشین های الکتریکی ۱

آزمایشگاه ماشین های الکتریکی ۱ به تحلیل و معرفی عملکرد و بهره برداری از ماشین های جریان مستقیم (DC) می پردازد. اگرچه ماشین های جریان متناوب (AC) جایگاه فعال تری در صنعت دارند، اما ماشین های DC همچنان نقش خود را حفظ کرده اند. برخی از مزایای این ماشین ها نسبت به نوع جریان متناوب عبارتند از : گشتاور راه اندازی زیاد، چگالی توان و انرژی زیادتر، بازده بیشتر، قابلیت کنترل دور مناسب.

برخی از معایب آنها نیز عبارتند از : هزینه ساخت، تعمیر و نگهداری بیشتر، نیاز به استفاده از یکسو ساز برای تغذیه آنها (با توجه به اینکه انرژی برق در دسترس عموماً از نوع AC است).

تعریف ماشین های الکتریکی : به هر وسیله ای که انرژی الکتریکی را به انرژی مکانیکی و یا انرژی مکانیکی را به انرژی الکتریکی تبدیل کند ماشین الکتریکی می گویند.

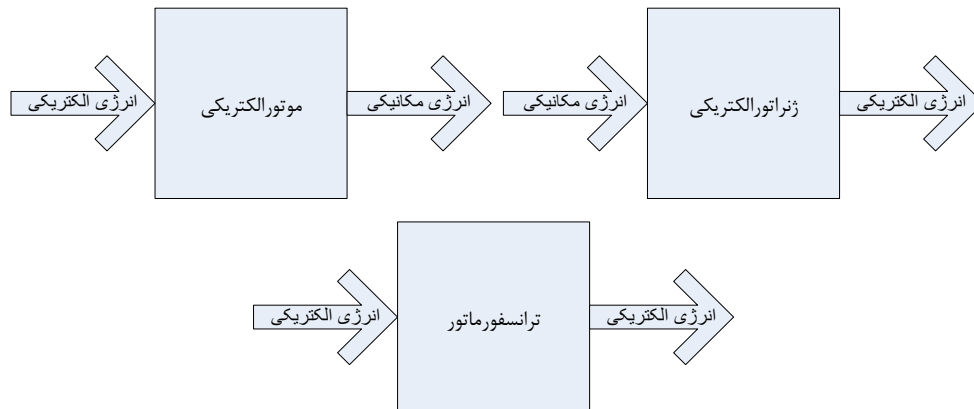
نکته : در ترانسفورماتورها انرژی الکتریکی به انرژی الکتریکی تبدیل می شود. با این حال یک ماشین الکتریکی محسوب می گردد.

موتور الکتریکی تبدیل کننده انرژی الکتریکی ورودی به انرژی مکانیکی خروجی است. ژنراتور مدل انرژی مکانیکی ورودی به انرژی الکتریکی خروجی است.

در موتورها و ژنراتورها یک قسمت ثابت (استاتور) و یک بخش متحرک (روتور) وجود دارد. اگر بخش متحرک دارای حرکت چرخشی باشد به ماشین، ماشین دوار (چرخان، گردان) و اگر حرکت رفت و برگشتی (خطی) باشد به آن ماشین خطی می گویند.

در ترانسفورماتورها بخش متحرک وجود ندارد .

اگر انرژی الکتریکی در ترمینال ماشین از نوع جریان مستقیم باشد، آنرا ماشین DC و اگر از نوع جریان متناوب باشد به آن ماشین AC می گویند.



دیاگرام ماشین های الکتریکی

انواع ماشین های الکتریکی DC

- ۱- ماشین DC تحریک مستقل
- ۲- ماشین DC تحریک شنت
- ۳- ماشین DC تحریک سری
- ۴- ماشین DC کمپوند (که خود دو نوع کمپوند اضافی و نقصانی را شامل است.)

انواع ماشین های الکتریکی AC

- ۱- ماشین القایی
- ۲- ماشین سنکرون
- ۳- ماشین DC بدون جاروبک

برخی تعاریف و اصطلاحات

بار ماشین : منظور از بار ماشین الکتریکی توانی است که توسط یک عامل خارجی به ماشین اعمال می شود. در موتورها، بار اغلب از نوع مکانیکی است. مانند یک جسم که باید توسط موتور جابجا شود، یا یک فن که توسط موتور بچرخد. حتی ممکن است در یک خودرو یا موتور سیکلت و یا کشتی بجای استفاده از موتور دیزلی یا بنزینی از موتور الکتریکی برای حرکت استفاده شود.

در آزمایشگاه از بار الکتریکی (مانند ژنراتور و مقاومت) بعنوان بار موتور استفاده می گردد. بدین ترتیب که محور یک ژنراتور به محور موتور مورد نظر متصل می شود. به ترمینال های ژنراتور می توان مقاومت (یا لامپ و یا حتی یک موتور دیگر) وصل کرد. با تغییر مقاومت متصل به ژنراتور، جریان ژنراتور و در نتیجه گشتاور القایی آن تغییر می کند. گشتاور القایی ژنراتور در واقع همان گشتاور بار موتور اصلی است. برای بار ژنراتور نیز می توان از مقاومت و یا یک موتور استفاده کرد.

تعریف راندمان و روش محاسبه آن

نسبت توان خروجی یک ماشین الکتریکی به توان ورودی آن را بازده ماشین می گویند. این پارامتر به صورت زیر محاسبه می شود.

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{P_{out}}{P_{out} + P_{losses}}$$

در رابطه فوق، P_{out} و P_{in} به ترتیب توان های خروجی و ورودی و P_{losses} مجموع کل تلفاتی است که در ماشین رخ می دهد. در ماشین های ایده آل مقدار تلفات صفر و راندمان یک خواهد بود. اما در یک ماشین واقعی مقدار بازده همواره کمتر از یک است.

آزمایش شماره ۱- راه اندازی موتور القایی (آسنکرون)

مقدمه

با توجه به اینکه در برخی آزمایش ها موتور القایی به عنوان محرک ژنراتور DC استفاده خواهد شد، لذا نحوه راه اندازی و استخراج برخی پارامترهای آن بررسی می شود.

دو نوع موتور القایی وجود دارد. یک نوع موتور القایی با روتور سیم پیچی شده و دیگری با روتور قفسه ای (یا قفس سنجایی). در نوع اول درون شیارهای روتور کلاف های سیم پیچی قرار می گیرد و در نوع دوم میله های آلومینیومی و یا مسی. در هر دو نوع سیم پیچی روتور باید اتصال کوتاه شود. در غیر این صورت موتور هرگز راه اندازی نمی شود. اگر موتور از نوع روتور سیم پیچی شده باشد، یک سر از هر سیم پیچی درون موتور به همدیگر متصل شده سرهای دیگر آنها به خارج از موتور منتقل شده و در دسترس است. در این حال کاربر باید آنها را یا بطور مستقیم و یا توسط مقاومت (برای افزایش گشتاور راه اندازی) اتصال کوتاه کند (شکل ۲).

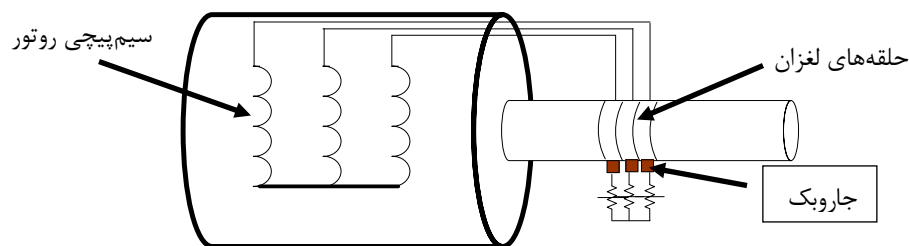
بعد از اتصال کوتاه کردن سیم پیچی های روتور، ترمینال های استاتور به برق سه فاز متعادل متصل می شود. استاتور موتور القایی دارای سه سیم پیچی مشابه است که به صورت مثلث یا ستاره بسته می شود.

با اتصال ترمینال های استاتور به ولتاژ سه فاز متعادل و برقراری جریان در سیم پیچی ها، یک میدان مغناطیسی چرخان بنام میدان

$$n_s = \frac{120f}{p}$$

سنکرون در فاصله هوایی شکل می گیرد. سرعت میدان برابر است با:

n_s سرعت بر حسب دور در دقیقه (rpm)، f فرکانس ولتاژ اعمالی و P تعداد قطب های موتور است.



شکل ۱-۱: روتور سیم پیچی شده موتور القایی با مقاومت اضافی

میدان سنکرون هادی های روتور را قطع کرده، در آنها ولتاژ القاء می کند. چون این هادی ها اتصال کوتاه اند جریان در آنها ایجاد می شود. این جریان میدان مغناطیسی دیگری ایجاد می کند که با سرعت سنکرون می چرخد. تقابل دو میدان باعث چرخش روتور می شود. روتور با سرعت سنکرون نمی چرخد. سرعت روتور (n_r) اندکی کمتر از n_s است. تفاوت این دو سرعت لغزش را به صورت زیر تعریف می کند.

$$s = \frac{n_s - n_r}{n_s} = \frac{\omega_s - \omega_r}{\omega_s} \quad (1-1)$$

روش های تغییر دور موتور القایی

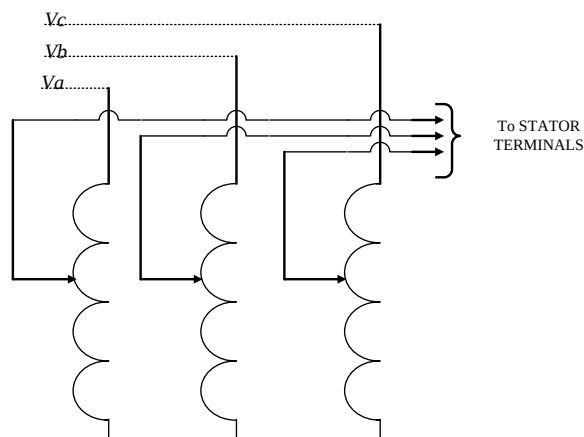
۱- تغییر فرکانس تغذیه

۲- تغییر تعداد قطب

۳- تغییر ولتاژ ورودی

۴- تغییر مقاومت روتور

در آزمایشگاه از روش سوم و برای تغییر سطح ولتاژ از یک اتوترانسفورمر استفاده می شود.



شکل 1-2: طرح یک اتوترانسفورمر



انجام آزمایش

الف . نکات مهم

- ۱- قبل از شروع به انجام آزمایش نسبت به تجهیزات میز و ترتیب روشن کردن آنها ، نحوه صحیح برقراری اتصالات، مشخص کردن مقادیر نامی تجهیزات (به خصوص جریان، ولتاژ و سرعت نامی موتورهای و ژنراتورها) آگاهی و اطمینان کامل حاصل کنید.
- ۲- پس از بستن مدار و پیش از برقرار کردن میز توسط مسئول آزمایشگاه از صحت مدار خود مطمئن شوید.

ب . شرح آزمایش

ابتدا سیم پیچی روتور را اتصال کوتاه و سیم پیچی استاتور را به صورت ستاره سیم بندی کنید. ولتاژ سه فاز میز را به ورودی های اتوترانسفورمر و خروجی های آن را به ترمینال های سیم پیچی استاتور موتور وصل کنید. با این کار موتور به صورت بی بار شروع به حرکت می کند. با تغییر ولتاژ اتوترانسفورماتور سرعت موتور را تغییر داده، جدول زیر را تکمیل کنید. سپس ولتاژ استاتور را قطع کرده، سیم پیچی آنرا به حالت مثلث ببندید. دوباره آزمایش را تکرار و جدول را کامل کنید.

نکته

توجه داشته باشید که حداکثر ولتاژ خط اعمالی به سیم پیچی استاتور در دو حالت ستاره و مثلث با همدیگر متفاوت است. در اتصال ستاره حداکثر ولتاژ خط اعمالی به سیم پیچی موتور 400V و در حالت مثلث 230V است. اعمال ولتاژ نادرست منجر به صدمه جدی موتور خواهد شد.



جدول شماره ۱-۱: تغییرات سرعت موتور در حالت های ستاره و مثلث با استفاده از تغییرات ولتاژ ورودی

$V_L(V)$	50	100	150	200	230	240	250	260
$n_r^Y (rpm)$								
$n_r^\Delta (rpm)$								

تکالیف

۱- نمودار سرعت برحسب ولتاژ موتور را برای دو حالت فوق توسط نرم افزار رسم کنید. دلیل وجود اختلاف در سرعت برای دو حالت ستاره و مثلث را به طور کامل شرح دهید.

۲- چرا سرعت موتور القایی کمتر از سرعت سنکرون است ؟

۳- به نظر شما شباهت موتور القایی و ترانسفورمر چیست ؟

۴- چرا حداکثر ولتاژ اعمالی به موتور در دو حالت ستاره و مثلث متفاوت است ؟

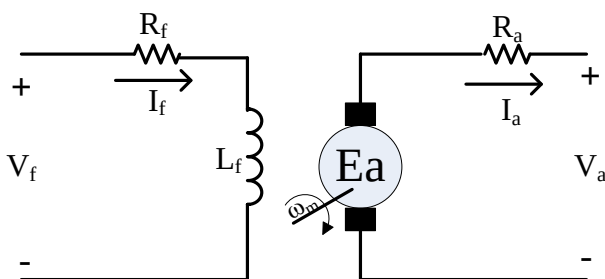
۵- اگر سیم پیچی روتور اتصال کوتاه نشود چه اتفاقی می افتد ؟ چرا ؟

۶- با توجه به اعداد جدول تعداد قطب های موتور را تعیین کنید.

۷- ارتباط سرعت برحسب دور بر دقیقه (rpm) و رادیان بر ثانیه (rad/s) چگونه است ؟

آزمایش شماره 2 - ژنراتور تحریک مستقل

برای تولید انرژی الکتریکی توسط یک ژنراتور، ضمن تغذیه سیم پیچی تحریک، محور آن باید توسط یک محرک خارجی بچرخد. ورودی ژنراتور زیر ω_m است که توسط یک موتور الکتریکی یا توربین به ژنراتور اعمال می شود. در آزمایشگاه برای این کار از موتور AC یا DC استفاده می شود.



شکل 2-1: ژنراتور DC تحریک مستقل

روابط حاکم بر این ژنراتور عبارتست از :

$$V_a = E_a - R_a I_a \quad I_L = I_a \quad T_{ind} = K \phi I_a \quad E_a = K \phi \omega \quad I_f = \frac{V_f}{R_f}$$

۱- آزمایش بی باری

هدف این آزمایش استخراج مشخصه مدار باز ماشین است. این مشخصه تغییرات ولتاژ ترمینال ماشین برحسب جریان تحریک را نشان می دهد. برای ژنراتور تحریک مستقل در حالت مدار باز $I_a = 0$ و لذا $V_a = E_a$. از طرفی چون ϕ متناسب با I_f است این منحنی تغییرات ولتاژ القایی در هسته برحسب شار مغناطیسی (منحنی مغناطیسی هسته) را نیز معرفی می کند.



شرح آزمایش

الف- در میز آبی مشکی رنگ

محور ژنراتور را در حالیکه ترمینال های آن باز است، توسط یک موتور القایی می چرخانیم. موتور القایی را در وضعیت مثلث سیم بندی نموده و دور آنرا به ۲۵۰۰ rpm نمایید. در تمام مدت این آزمایش دور باید ثابت باشد. جریان تحریک ژنراتور در ابتدا صفر است. حال جریان تحریک ژنراتور را مطابق جدول زیر افزایش داده، ولتاژ ترمینال را اندازه گیری و در جدول یادداشت کنید.

جدول ۱- ۲: بدست آوردن مقادیر منحنی مشخصه ژنراتور در حالت رفت (برای میز آبی مشکی رنگ)

$I_f (A)$	0	0.05	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3
$V_a(V)$							

پس از آخرین عدد در جدول فوق، جریان تحریک ژنراتور را کم و دوباره ولتاژ ترمینال آنرا مطابق جدول زیر اندازه گیری و یادداشت کنید.

جدول ۲- ۲: بدست آوردن مقادیر منحنی مشخصه ژنراتور در حالت برگشت (برای میز آبی مشکی رنگ)

$I_f (A)$	0.3	0.25	0.2	0.15	0.1	0.05	0
$V_a(V)$							

نکته: دقت کنید که روند افزایش و کاهش جریان تحریک حتما پیوسته باشد. در غیر اینصورت نتایج آزمایش معتبر نخواهد بود.



ب- در میز زرد رنگ

در این میز ژنراتور توسط یک موتور DC چرخانده می شود. دور موتور را به 900rpm برسانید. جریان تحریک ژنراتور را صفر کرده، مطابق شرح فوق با افزایش آن در پله های مشخص شده در جدول زیر ولتاژ ترمینال را اندازه بگیرید.

جدول 2-3: بدست آوردن مقادیر منحنی مشخصه ژنراتور در حالت رفت (برای میز زرد رنگ)

$I_f (A)$	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.55
$V_a (V)$						

حال دوباره با کاهش جریان تحریک (در روندی پیوسته و مطابق جدول زیر)، ولتاژ ترمینال را یادداشت کنید.

جدول 2-4: بدست آوردن مقادیر منحنی مشخصه ژنراتور در حالت برگشت (برای میز زرد رنگ)

$I_f (A)$	0.55	0.4	0.3	0.2	0.1	0
$V_a (V)$						

۲- آزمایش بارداری

هدف این آزمایش استخراج مشخصه خروجی ژنراتور (تغییرات ولتاژ ترمینال ژنراتور بر حسب جریان بار) است. از مقاومت های متغیر به عنوان بار ژنراتور استفاده می شود.

محور ژنراتور باید توسط موتور بچرخد. لذا ابتدا موتور را راه اندازی کنید. بسته به میز انتخابی شما این موتور ممکن است القایی (در میزهای سیاه رنگ) و یا DC باشد.



الف- در میز آبی مشکی رنگ

در این میز از موتور القایی برای چرخاندن محور ژنراتور DC استفاده می شود. لذا ابتدا این موتور را مطابق دستورالعمل آزمایش شماره ۱ راه اندازی کرده، سرعت آنرا به ۲۵۰۰ rpm برسانید. سرعت موتور در تمام طول آزمایش باید ثابت حفظ شود.

سپس ژنراتور DC تحریک مستقل میز را راه اندازی کنید. برای این کار با برقدار کردن سیم پیچی تحریک، ولتاژ آن را به 200v رسانده، در طول آزمایش مقدار آن را ثابت است. به ترمینال ژنراتور مقاومت وصل کنید. در روی این میز سه مقاومت متغیر وجود دارد. شما می توانید از هریک از آنها و یا ترکیب سری یا موازی شان استفاده کنید (به مقدار مجاز جریان عبوری از این مقاومت ها توجه کنید. عبور جریان بیشتر باعث سوختن فیوز مقاومت و یا خود آن می شود). با تغییر مقاومت، ولتاژ و جریان خروجی ژنراتور را اندازه گیری و جدول زیر را کامل کنید.

جدول 2-5: آزمایش بارداری ژنراتور تحریک مستقل (بدست آوردن پارامترهای ژنراتور به ازای تغییرات جریان خروجی در میز آبی رنگ)

VfG=200 V و n=2500 rpm											
$I_{aG}(A)$	۰	۰,۵	۱	۱,۵	۲	۲,۵	۳	۳,۵	۴	۴,۵	۵
$V_a(V)$											

ب- در میز زرد رنگ

در این میز از موتور DC برای چرخش محور ژنراتور استفاده کنید. موتور DC تحریک مستقل را مطابق دستورالعمل آزمایش شماره ۲ راه اندازی کرده (با جریان تحریک 0.5A)، سرعت آنرا به 1000rpm رسانده و در تمام آزمایش ثابت نگاه دارید. سپس سیم پیچی تحریک ژنراتور را برقدار کنید. جریان این سیم پیچی را در تمام طول آزمایش در مقدار 0.3A حفظ کنید. با وصل مقاومت های بار متغیر به ترمینال ژنراتور و تغییر آن ها جدول زیر را کامل کنید.



جدول 2-6: آزمایش بارداری ژنراتور تحریک مستقل (بدست آوردن پارامترهای تغییر یافته ژنراتور به ازای تغییرات جریان خروجی در میز زرد رنگ)

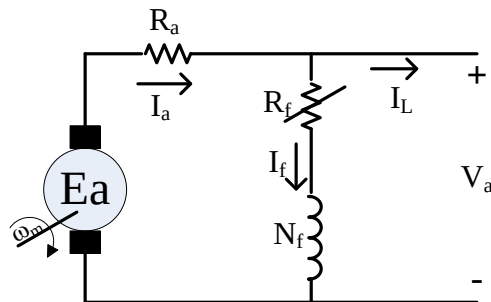
$I_{fG} = 0.4$ و $n=1000\text{rpm}$ و $I_{fM}=0.5\text{A}$									
$I_{aG}(\text{A})$	.	0.25	0.5	1	1.5	۲	2.5	۳	۴
$V_{aG}(\text{V})$									
$I_{aM}(\text{A})$									
$V_{aM}(\text{A})$									

تکالیف

- ۱- نمودار مشخصه خروجی ژنراتور را رسم و تغییرات آنرا تحلیل کنید.
- ۲- با شبیه سازی یک ژنراتور DC تحریک مستقل مشخصه خروجی آنرا بدست آورید.
- ۳- با افزایش بار ژنراتور، جریان موتور چگونه تغییر می کند؟ چرا؟
- ۴- مقاومت سیم پیچی های موتور و ژنراتور را (در حالت بی برقی میزها) اندازه بگیرید. مقدار تلفات و راندمان کل مجموعه چقدر است؟

آزمایش شماره 3 - ژنراتور شنت

اگر سیم پیچی تحریک ژنراتور موازی با سیم پیچی آرمیچر آن بسته شود، به ژنراتور شنت می گویند. سیم پیچی تحریک شنت دارای تعداد دور زیاد و مقاومت بالایی است (برخلاف سیم پیچی تحریک سری). اگر تفکیک این دو برای شما امکانپذیر نبود می توانید با اندازه گیری مقاومت، آنها را مشخص کنید. محل نصب هر دو سیم پیچی شنت و سری بر روی هسته استاتور و دور قطب ها است. ورودی ژنراتور ω_m است که باید توسط موتور الکتریکی آنرا تامین کرد.



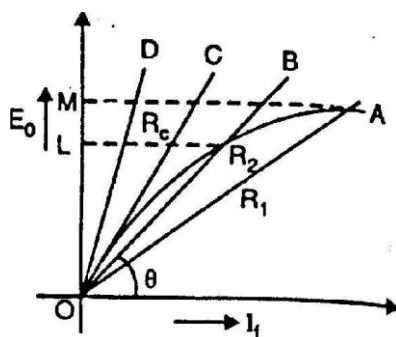
شکل 3-۱: ژنراتور DC شنت

روابط حاکم بر این ژنراتور عبارتست از :

$$V_a = E_a - R_a I_a \quad (1-3)$$

$$I_a = I_L + I_f \quad \text{و} \quad T_{ind} = K\phi I_a \quad \text{و} \quad E_a = K\phi\omega \quad I_f = \frac{V_a}{R_f}$$

تقطعه کار این ژنراتور محل برخورد منحنی مشخصه مدار باز ژنراتور و خط مقاومت میدان است (شکل 3-2).



شکل 2-3: نقطه کار ژنراتور DC شنت به ازای مقادیر مختلف مقاومت میدان

برای تولید ولتاژ در ژنراتور شنت کافی است محور آنرا بچرخانیم. اما گاهی ولتاژ تولید نمی شود. علت آن یکی از موارد زیر است.

- هسته ژنراتور فاقد شار پسماند است.
- جهت چرخش ژنراتور برعکس است.
- اندازه مقاومت میدان بزرگتر از مقدار بحرانی است.
- سرعت چرخش کمتر از سرعت بحرانی است (چنانچه اندازه مقاومت میدان را نتوان از مقدار بحرانی آن کاهش داد، می توان با افزایش سرعت، ژنراتور را راه اندازی کرد).

شرح آزمایش

مجموعه ترکو

۱- آزمایش بی باری

ابتدا موتور DC تحریک مستقلى را که محور ژنراتور را می چرخاند راه اندازی کنید. جریان تحریک این موتور در $0.5A$ و ولتاژ ترمینالش را در مقداری که سرعتش به $900rpm$ برسد تنظیم کنید. ولتاژ خروجی ژنراتور را اندازه بگیرید. اگر ولتاژ صفر است، چه باید کرد؟ حال جهت چرخش ژنراتور را برعکس کرده، ولتاژ خروجی را اندازه بگیرید. سرعت ژنراتور را به $450rpm$ کاهش دهید و ولتاژ را اندازه بگیرید.

۲- آزمایش بارداری

مقاومت متغیر را به ترمینال ژنراتور وصل کنید. درحالی که سرعت ژنراتور در 900rpm ثابت نگاه داشته می شود با تغییر مقاومت جریان بار و ولتاژ خروجی را اندازه گیری و جدول زیر را کامل کنید.

جدول 1-3: مربوط به مشخصه خروجی ژنراتور شنت و بدست آوردن مقدار گشتاور محرک به ازای تغییرات جریان خروجی ژنراتور

n=900rpm										
$I_L(A)$	0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5
$V_{aG}(V)$										
$T_m(N.m)$										
$n_m(rpm)$										

مجموعه لیبلد۱- آزمایش بی باری

ابتدا با استفاده از درایو دور موتور را به 1700 rpm برسانید. ولتاژ خروجی و جریان میدان ژنراتور را اندازه بگیرید. اگر ولتاژ صفر است، چه باید کرد؟ حال جهت چرخش ژنراتور را برعکس کرده، ولتاژ خروجی را اندازه بگیرید. سرعت ژنراتور را به 850rpm کاهش دهید و ولتاژ را اندازه بگیرید. دلیل غیر خطی بودن نتیجه بدست آمده چیست ؟

۲- آزمایش بارداری

مقاومت متغیر را به ترمینال ژنراتور وصل کنید. درحالی که سرعت ژنراتور در 1700 rpm ثابت نگاه داشته می شود با تغییر مقاومت پارامترها را بدست آورده و جدول زیر را کامل کنید.



جدول 2-3: مربوط به مشخصه خروجی ژنراتور شنت و بدست آوردن مقدار گشتاور محرک به ازای تغییرات جریان خروجی ژنراتور

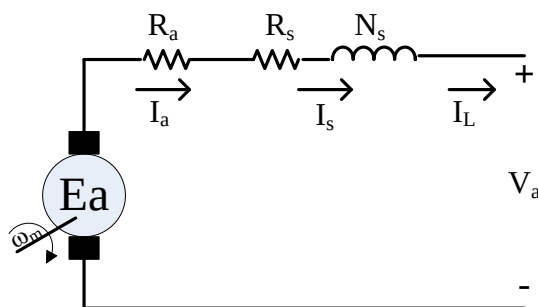
n=1700 rpm								
$I_L(A)$	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1	1.2	1.4
$I_f(A)$								
$V_aG(V)$								
$T_m(N.m)$								
$N_m(rpm)$								
η								

تکالیف

- ۱- دلایل عدم تشکیل ولتاژ را تحلیل کنید.
- ۲- مشخصه خروجی ژنراتور را بر طبق اعداد جدول تهیه شده رسم کنید.
- ۳- مشخصه خروجی ژنراتور شنت را با شبیه سازی کامپیوتری استخراج و تحلیل کنید.
- ۴- تغییرات راندمان ژنراتور را برحسب جریان با به کمک اعداد جدول محاسبه و رسم کنید.

آزمایش شماره 4 - ژنراتور سری

اگر سیم پیچی تحریک با سیم پیچی آرمیچر سری وصل شود، به ژنراتور سری می گویند. تعداد دور و مقاومت سیم پیچی تحریک سری کم در مقایسه با سیم پیچی تحریک شنت کم است.



شکل 4-1: ژنراتور DC سری

روابط حاکم بر این ژنراتور عبارتست از :

$$V_a = E_a - (R_a + R_s)I_L \quad (1-4)$$

$$I_a = I_L = I_s \quad E_a = K\phi\omega \quad \text{و} \quad T_{ind} = K\phi I_a \quad \text{و}$$

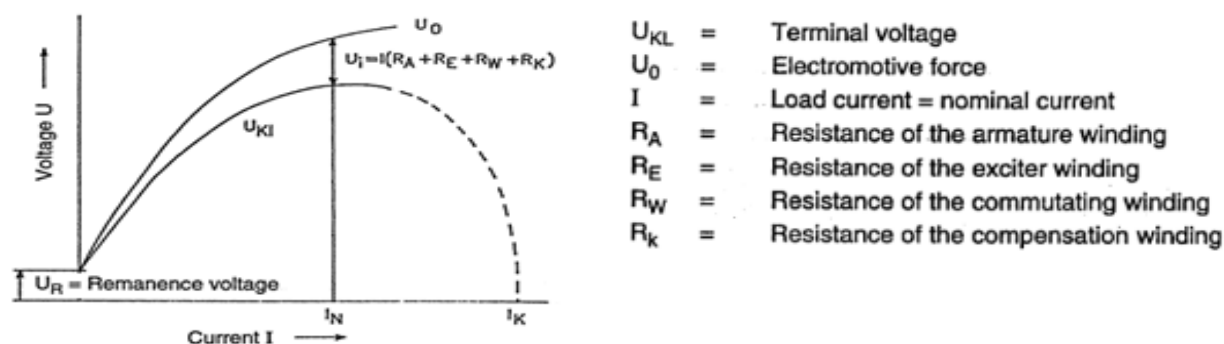
با چرخاندن محور این ژنراتور تا قبل از وصل بار به آن ولتاژ خروجی برابرست با:

$$V_a = E_{a-res} = K\phi_{res}\omega$$

به محض اتصال بار به آن، جریان I_s در سیم پیچی تحریک جاری و باعث افزایش شار و در نتیجه E_a و V_a می شود.

این ژنراتور دارای تنظیم ولتاژ منفی است.

مشخصه خروجی ژنراتور سری به صورت شکل زیر می باشد . با توجه به منحنی می توان دریافت که در بی باری همواره در پایانه های این ژنراتور ولتاژ بسیار کمی (ناشی از وجود شار پسماند) تولید می شود و ولتاژ سازی در ترمینال منوط به بارداری ژنراتور خواهد بود .



شکل 2-4: مشخصه ژنراتور DC سری

شرح آزمایش

مجموعه ترکو

پس سیم بندی ژنراتور سری و موتور تحریک مستقل (محرک محور ژنراتور)، موتور را راه اندازی کنید. جریان تحریک موتور در 0.5A و ولتاژ آن برای سرعت 1000rpm تنظیم می شود.

ابتدا در حالت بی باری ژنراتور ولتاژ خروجی آنرا اندازه بگیرید. جهت چرخش را برعکس کرده مجددا ولتاژ را اندازه بگیرید.

حال مقاومت متغیر را در حالت حداکثر خود قرارداده به ترمینال ژنراتور متصل کنید. با تغییر مقاومت جدول زیر را کامل کنید

جدول 4-۱ مشخصه خروجی ژنراتور سری

n=1000rpm										
$I_L(A)$	0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5
$V_{aG}(V)$										
$T_m(N.m)$										
η_G										



مجموعه لیبلد

پس از سیم بندی ژنراتور سری محرک را توسط درایو راه اندازی نموده دور آنرا به 1800 rpm برسانید . ولتاژ خروجی ژنراتور را اندازه گیری نمایید . سپس جهت چرخش محرک را عوض نمایید و دوباره ولتاژ ژنراتور را مشاهده نمایید آیا تفاوتی وجود دارد ؟ توضیح دهید ؟

حال به ژنراتور بار اعمال نمایید (سه مقاومت متغیر به صورت موازی وصل شود) و با تغییر بار جدول زیر را کامل کنید.

جدول 2-4 مشخصه خروجی ژنراتور سری

n=1800 rpm										
$I_L(A)$	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1	1.2	1.4	1.6	1.8
$V_{aG}(V)$										
$T_m(N.m)$										
p_{out}										
η_G										



تکالیف

- ۱- منحنی مشخصه خروجی ژنراتور را رسم و آنرا تحلیل کنید.
- ۲- تاثیر اشباع بر مشخصه ژنراتور را توضیح دهید.
- ۳- یک ژنراتور سری شبیه سازی و تاثیر پارامترهای مختلف را بررسی کنید.
- ۴- مقدار تنظیم ولتاژ ژنراتور مورد آزمایش را محاسبه کنید.
- ۵- بازده ژنراتور را محاسبه و برحسب جریان بار رسم کنید.
- ۶- آیا ژنراتور سری نیازی به رله های حفاظتی جهت حفاظت در مدار خارجی را دارد؟ توضیح دهید .

آزمایش شماره 5 - ژنراتور کمپوند

اگر در ژنراتور هر دو سیم پیچی تحریک شنت و سری به کار رود، به آن کمپوند می گویند. دو نوع ژنراتور کمپوند وجود دارد.

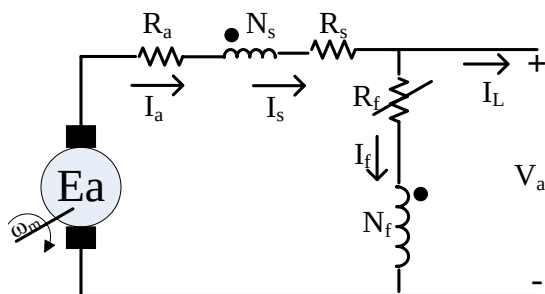
- کمپوند اضافی: شار مغناطیسی سیم پیچی تحریک سری هم جهت با شار مغناطیسی شنت بوده، آنرا تقویت می کند.

- کمپوند نقصانی: شار مغناطیسی سیم پیچی تحریک سری خلاف جهت شار مغناطیسی شنت بوده، آنرا تضعیف می کند.

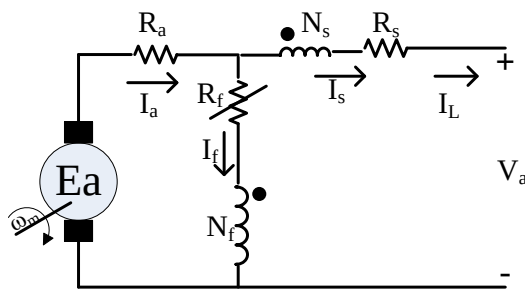
کمپوند اضافی مدل ارتقاء یافته ژنراتور شنت است. در واقع برای بهبود عملکرد ژنراتور شنت یک سیم پیچی تحریک سری به آن می افزایند. حالت اضافی و نقصانی را گاهی با دو نقطه توپر در ابتدا یا انتهای سلف های تحریک نشان می دهند.

اگر سیم پیچی شنت را با یک ژنراتور سری موازی کنیم به ژنراتور کمپوند با شنت بلند می گویند (شکل ۶-۱).

اگر سیم پیچی سری را با یک ژنراتور شنت سری کنیم به آن کمپوند با شنت کوتاه گفته می شود (شکل ۶-۲).



شکل 5-1: ژنراتور DC کمپوند با شنت بلند



شکل 5-2: ژنراتور DC کمپوند با شنت کوتاه

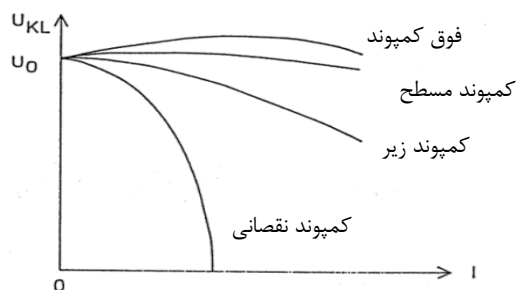
روابط حاکم بر ژنراتور کمپوند با شنت بلند عبارتست از :

$$V_a = E_a - (R_a + R_s)I_L \quad (1-5)$$

$$I_a = I_s \quad I_L = I_a - I_f \quad E_a = K\phi\omega \quad \text{و} \quad T_{ind} = K\phi I_a$$

$$I_f^* = I_f \pm \frac{N_s}{N_f} I_s - \frac{f_{AR}}{N_f} \Rightarrow f_{net} = N_f I_f \pm N_s I_s - f_{AR}$$

مشخصه خروجی انواع مدلهای ژنراتور کمپوند در شکل زیر آمده است



شکل 3-5: مشخصات خروجی ژنراتور کمپوند

شرح آزمایش

۱- ژنراتور کمپوند اضافی و نقصانی با شنت کوتاه

الف - ابتدا یک ژنراتور کمپوند اضافی با شنت کوتاه ببندید.

محرک را راه اندازی کرده، سرعت آن را به 1800 rpm برسانید. در تمام مدت آزمایش سرعت ثابت خواهد بود. مقاومت متغیری

را به ترمینال های ژنراتور وصل کرده، با تغییر آن جدول زیر را کامل کنید.



جدول 1-5 : مربوط به مشخصه خروجی ژنراتور کمپوند اضافی با شنت کوتاه

$n_G = -1800 \text{ rpm}$										
$I_L(A)$	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1	1.2	1.4	1.6	
$V_{aG}(V)$										
$T_m(N.m)$										
P out										
η_G										

ب- حال این آزمایش را در حالت کمپوند نقصانی با شنت کوتاه تکرار نمایید .

برای این کار اتصالات دو سر سیم پیچی مربوط به تحریک سری را جابجا کرده تا مقدار شار کل تضعیف گردد. سپس جدول زیر را کامل نمایید

جدول 2-5: مربوط به مشخصه خروجی ژنراتور کمپوند نقصانی با شنت کوتاه

$n_G = -1800 \text{ rpm}$										
$I_L(A)$	0	0.1	0.2	0.3						
$V_{aG}(V)$										
$T_m(N.m)$										
P out										
η_G										



۲- ژنراتور کمپوند اضافی و نقصانی با شنت بلند

الف - آزمایش فوق را برای ژنراتور کمپوند اضافی با شنت بلند تکرار و جدول زیر را تکمیل کنید.

جدول 3-5: مربوط به مشخصه خروجی ژنراتور کمپوند اضافی با شنت بلند

$n_G = -1800 \text{ rpm}$										
$I_L(A)$	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1	1.2	1.4	1.6	
$V_{aG}(V)$										
$T_m(N.m)$										
P out										
η_G										

ب - جهت انجام آزمایش ژنراتور کمپوند نقصانی با شنت بلند اتصالات سیم پیچی تحریک را دوباره جابجا نموده جدول زیر را کامل نمایید.

جدول 4-5: مربوط به مشخصه خروجی ژنراتور کمپوند نقصانی با شنت بلند

$n_G = -1800 \text{ rpm}$										
$I_L(A)$	0	0.1	0.2	0.3						
$V_{aG}(V)$										
$T_m(N.m)$										
P out										
η_G										

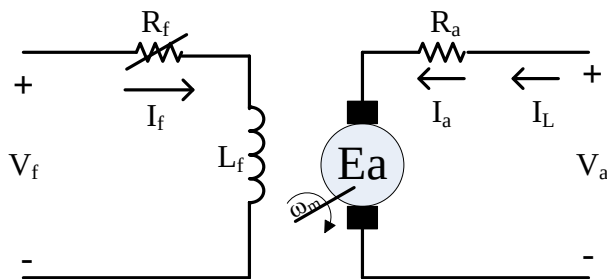


تکالیف

- ۱- چگونه ژنراتور کمپوند اضافی و نقصانی را از یکدیگر تشخیص می دهید.
- ۲- منحنی مشخصه خروجی ژنراتور و همچنین تغییرات بازده آنرا برحسب جریان بار رسم کنید.
- ۳- در چه جریان باری حداکثر راندمان رخ می دهد؟ چرا؟
- ۴- با شبیه سازی ژنراتورهای کمپوند اضافی و نقصانی مشخصات خروجی آنها را به دست آورید.
- ۵- انواع ژنراتورهای کمپوند اضافی و نقصانی را با رسم مشخصه خروجی تشریح کنید.

آزمایش شماره 6- موتور تحریک مستقل

مشخصه خروجی موتورهای الکتریکی نمودار تغییرات سرعت - گشتاور است. شکل (3-1) دیاگرام الکتریکی موتور تحریک مستقل را نشان می دهد. بخش سمت راست ، مدار آرمیچر و بخش سمت چپ ، مدار تحریک است. خروجی موتور ω_m است که به بار مکانیکی یا محور یک ژنراتور متصل می شود. رفتار و روابط موتور تحریک مستقل و موتور شنت یکسان است. لذا گاهی هردو موتور در یک قالب معرفی می شوند.



شکل 6-1: موتور DC تحریک مستقل

روابط حاکم بر این موتور در حالت پایدار عبارتند از:

$$V_a = E_a + R_a I_a \quad (1-6)$$

$$I_L = I_a \quad \text{و} \quad E_a = K\phi\omega \quad \text{و} \quad T_{ind} = K\phi I_a \quad \text{و} \quad I_f = \frac{V_f}{R_f}$$

در تمامی ماشین های الکتریکی مقدار گشتاور القایی تولیدی به اندازه ای است که تمامی بار تحمیلی بر ماشین را تامین کند. در حالت دینامیکی علاوه بر گشتاور بار، گشتاور اصطکاک و اینرسی نیز وجود دارد. رابطه دینامیکی موتور عبارتست از:

$$T_{ind} = T_{load} + D.\omega + J \frac{d\omega}{dt} \quad (3-6)$$

معمولا ضریب D کوچک و قابل صرفنظر است. در شرایط پایدار سرعت ثابت و تغییرات آن صفر است. لذا تحت شرایط مانا رابطه به صورت

$$T_{ind} = T_{load} \quad \text{تبدیل می شود.}$$



با استفاده از روابط فوق، مشخصه خروجی موتور عبارت است از :

$$\omega = \frac{1}{K\phi} V_a - \frac{R_a}{(K\phi)^2} T_{load} \quad (4-6)$$

با توجه به رابطه فوق در یک گشتاور بار ثابت با تغییر پارامترهای V_a ، R_a و ϕ متوان سرعت موتور را تغییر داد. همچنین با افزایش گشتاور بار، سرعت موتور کم و با کاهش گشتاور بار، سرعت موتور زیاد می شود.

نکته مهم:

۱- در یک موتور DC در حالیکه ولتاژ آرمیچر وصل است، هیچگاه نباید سیم پیچی تحریک بدون برق شود. زیرا به علت صفر شدن شار تحریک ϕ سرعت موتور به شدت افزایش یافته تا در نهایت منجر به از هم پاشیدن آن شود.

لذا در هنگام راه اندازی موتور DC در اولین گام باید تغذیه سیم پیچی تحریک برقرار شود. پس از اتمام آزمایش نیز تغذیه تحریک باید در آخرین مرحله و پس از قطع تغذیه آرمیچر قطع شود.

۲- با توجه به اینکه این آزمایش در سه میز مختلف با تجهیزات و مقادیر نامی متفاوت قابل انجام است، لذا دانشجو باید قبل از انجام آزمایش نسبت به مقادیر نامی تجهیزات میزهای مختلف آگاهی کامل داشته باشد. این آزمایش در هر میز با توجه به مقادیر نامی موتور و ژنراتور میز با اعداد و تنظیمات مختلفی صورت می گیرد و عدم رعایت آن باعث صدمه به تجهیزات خواهد شد.

شرح آزمایش

هدف آزمایش آشنایی با نحوه راه اندازی، رفتار و عملکرد موتور تحریک مستقل و همچنین استخراج مشخصه خروجی آن است. در این آزمایش از یک ژنراتور (که خود یک بار مقاومتی را تغذیه می کند) به عنوان بار موتور استفاده می شود در شکل شماره 6 اتصالات الکتریکی موتور و ژنراتور به صورت نمادین نشان داده شده است.

ذکر این نکات ضروری است:

اولا لزوما ژنراتور از نوع DC نیست و می تواند یک ژنراتور AC باشد.



ثانیا در صورتیکه بار مکانیکی و یا وسایلی از قبیل ترمز فوکو در آزمایشگاه موجود باشد، می توان از آنها بجای ژنراتور بعنوان بار موتور استفاده کرد. در این آزمایش با تغییر گشتاور بار، سرعت موتور اندازه گیری می شود. گشتاور بار موتور همان گشتاور القایی ژنراتور است. یعنی:

$$T_{load-motor} = T_{ind-generator} \quad (5-6)$$

لذا برای تغییر بار موتور کافی است گشتاور ژنراتور تغییر کند. گشتاور القایی ژنراتور با دو روش زیر قابل تغییر است.

۱- تغییر جریان تحریک ژنراتور در محدوده صفر تا مقدار نامی آن در حالیکه بارمقاومتی متصل به ژنراتور ثابت است.

۲- تغییر بار مقاومتی متصل به ژنراتور در حالیکه جریان تحریک ژنراتور ثابت باقی می ماند.

با تایید سیم بندی توسط مسئول آزمایشگاه، مدار را روشن کنید . در ابتدا هیچ بار مقاومتی به ژنراتور وصل نکنید. در حالی که ولتاژ آرمیچر موتور صفر است، ولتاژ تحریک موتور را افزایش دهید تا جریان تحریک موتور به 0.3A برسد. سپس با افزایش ولتاژ تحریک ژنراتور جریان سیم پیچی تحریک آن را به 0.5A برسانید . به آهستگی ولتاژ آرمیچر موتور را تا مقدار 150V افزایش دهید. سرعت و جریان آرمیچر موتور و ژنراتور را یادداشت کنید.

حال ولتاژ آرمیچر موتور را به صفر برسانید (توجه: تحریک موتور نباید در این شرایط بی برق شود)، بار مقاومتی را در حالی که بر روی ماکزیمم مقدار خود تنظیم شده است به ژنراتور وصل نموده ، دوباره ولتاژ آرمیچر را به مقدار 150V برسانید . دقت کنید که در تمام مراحل انجام آزمایش مقدار جریان تحریک موتور در مقدار 0.3A و ولتاژ آرمیچر آن در مقدار 150V ثابت بماند. (چرا؟) با تغییر مقاومت بار ژنراتور ، مقدار گشتاور بار اعمالی به موتور توسط ژنراتور را تغییر داده، جدول زیر را کامل کنید.



جدول شماره ۱-۶ : بدست آوردن پارامترهای موتور تحریک مستقل به ازای تغییرات جریان آرمیچر ژنراتور

$V_a = 150 \text{ V} \quad - \quad I_{fG} = 0.4 \text{ A} \quad - \quad I_{fM} = 0.4 \text{ A}$											
$I_{aG} \text{ (A)}$	۰	۰,۵	۱	۱,۵	۲	۲,۵	۳	۳,۵	۴	۴,۵	۵
$I_{aM} \text{ (A)}$											
$\omega \text{ (rpm)}$											
$T_M \text{ (N.m)}$											

تکالیف

۱- با شبیه سازی کامپیوتری یک ماشین DC تحریک مستقل، مشخصه خروجی آن را رسم کنید.

۲- تاثیر وجود و عدم وجود قطب کمکی بر مشخصه خروجی را شرح دهید.

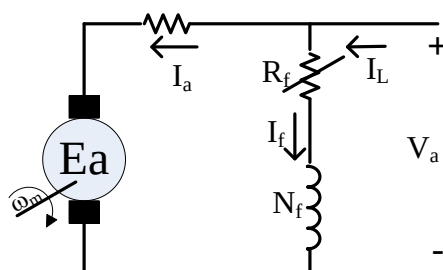
۳- چرا در بی باری سیم پیچی آرمیچر موتور جریان می کشد؟

۴- چرا در این آزمایش جریان تحریک و ولتاژ آرمیچر باید ثابت باشد؟

۵- جهت چرخش موتور DC را چگونه می توان بر عکس کرد؟

آزمایش شماره ۷ – موتور شنت

اگر سیم پیچی تحریک با سیم پیچی آرمیچر موازی شود به ماشین شنت می گویند. مشخصه خروجی و عملکرد موتور شنت و تحریک مستقل شبیه همدیگر است (چرا ؟).



شکل 1-7 : موتور DC شنت

روابط حاکم بر این موتور عبارتست از :

$$V_a = E_a + R_a I_a \quad (1-7)$$

$$I_L = I_a + I_f \quad I_f = \frac{V_a}{R_f} \quad E_a = K\phi\omega \quad T_{ind} = K\phi I_a$$

نکته : در هنگام راه اندازی موتور ها باید به مقدار جریان راه اندازی توجه داشت. در لحظه اتصال منبع ولتاژ به موتور به علت صفر

بودن سرعت، مقدار E_a نیز صفر است. لذا جریان بسیار بزرگ $I_a = \frac{V_a}{R_a}$ در سیم پیچی آرمیچر جاری شده، آنرا می سوزاند. بنابراین

باید یا از مقاومت راه انداز در مسیر آرمیچر استفاده کرد و یا در ابتدا از ولتاژهای بسیار کمتر از مقدار نامی بهره برد. در این حالت با

شکل گیری سرعت (ω) و در نتیجه E_a ، ولتاژ اعمالی را به تدریج افزایش می دهیم تا به مقدار نامی خود برسد.



شرح آزمایش

۱- آزمایش بی باری

اتصالات موتور شنت و منبع تغذیه را ببندید. در هریک از سیم پیچی های آرمیچر و تحریک شنت یک آمپر متر سری و با ترمینال های موتور یک ولت متر موازی کنید. هیچ بار و یا ژنراتوری را به موتور وصل نکنید. ولتاژ منبع ورودی را از صفر و مطابق جدول زیر افزایش داده، جدول را کامل کنید.

جدول 1-7 مشخصه خروجی موتور شنت در وضعیت بی باری

$V_a(V)$	0	30	60	90	120	150	180	210
$I_L(A)$								
$I_a(A)$								
$I_f(A)$								
$T_m(N.m)$								



۲-آزمایش بارداری

یک ژنراتور با مقاومت متغیر متصل به ترمینال آن را سیم بندی کنید. این ژنراتور (که با موتور کوپل مکانیکی دارد) و مقاومت های متغیر، مجموعه بار موتور را شکل می دهد. ولتاژ اعمالی به ترمینال موتور را در 180V تنظیم و آنرا در طول آزمایش ثابت نگاه دارید. با تغییر مقاومت متغیر متصل به ژنراتور گشتاور بار موتور را تغییر داده، جدول زیر را کامل کنید.

جدول 7-2: مشخصه خروجی موتور شنت در وضعیت بارداری

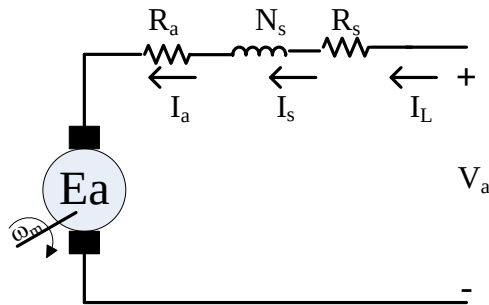
$I_{Lm}(A)$	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4
$I_{fm}(A)$							
$I_{am}(A)$							
$N_m(rpm)$							
$T_m(N.m)$							

تکالیف

- ۱- منحنی مشخصه موتور را بر اساس اعداد جدول رسم کنید.
- ۲- در بی باری موتور با دو برابر شدن ولتاژ، جریان آرمیچر و تحریک موتور چه تغییری می کند؟
- ۳- روش های کنترل سرعت موتور شنت را توضیح دهید.
- ۴- موتور شنت را شبیه سازی کرده، در شرایط بی باری و بارداری آنرا بررسی کنید.

آزمایش شماره ۸ – موتور سری

در موتور سری سیم پیچی تحریک با سیم پیچی آرمیچر سری می شود. این موتور دارای گشتاور راه اندازی بسیار بزرگی است.



شکل 8-1: موتور DC سری

روابط حاکم بر این موتور عبارتست از :

$$V_a = E_a + (R_a + R_s)I_a \quad (1-8)$$

$$I_L = I_s = I_a \quad \text{و} \quad T_{ind} = K\phi I_a \quad \text{و} \quad E_a = K\phi\omega$$

در ناحیه عملکرد خطی، شار مغناطیسی متناسب با جریان تحریک است. با توجه به این که $I_s = I_a$ لذا:

$$\phi = CI_s = CI_a \Rightarrow T_{ind} = KCI_a^2 \quad (3-8)$$

با توجه به مقدار جریان راه اندازی بالای موتور گشتاور راه اندازی تولیدی آن بسیار زیاد است.

به کمک روابط فوق مشخصه خروجی موتور به صورت زیر قابل نمایش است.

$$\omega = \frac{V_a}{\sqrt{K.C}} \cdot \frac{1}{\sqrt{T_{load}}} - \frac{R_a + R_s}{K.C} \quad (4-8)$$

وقتی گشتاور بار به صفر میل کند، سرعت بی نهایت می شود. لذا موتور DC سری هیچگاه نباید بدون بار راه اندازی شود.

شرح آزمایش

۱- ابتدا سیم بندی موتور سری را انجام دهید. قبل از وصل ولتاژ ترمینال موتور، تحریک ژنراتور را در حالی که مقاومت ها به ترمینال ژنراتور متصل اند تا مقدار نامی افزایش دهید. ژنراتور و مقاومت، بار موتور را تشکیل می دهند. حال ولتاژ DC را در کمترین مقدار قرار داده و به ترمینال موتور اعمال کنید. به تدریج ولتاژ را افزایش داده، جدول زیر را کامل کنید. مراقب باشید جریان سیم پیچی ها از مقدار نامی تجاوز نکند.

جدول 8-1: مشخصه موتور سری در حالت بار ثابت و با تغییرات ولتاژ ورودی

$V_{amotor}(V)$	0	20	50	80	110	140
$I_a motor(A)$						
$I_f generator(A)$						
$n_m(rpm)$						

۲- موتور DC سری را راه اندازی کنید. ولتاژ ترمینال آنرا به 150V رسانده، آنرا در تمام مدت آزمایش ثابت نگاه دارید. با تغییر مقاومت، جریان را تغییر داده، جدول زیر را کامل کنید.

جدول 8-2: مشخصه خروجی موتور سری در بار متغیر

$I_a(A)$	1	2	3	4	5	6
$T_m(N.m)$						
$n_m(rpm)$						
η						



تکالیف

- ۱- رابطه مشخصه خروجی موتور را اثبات کنید.
- ۲- با دو برابر شدن ولتاژ ورودی سرعت موتور چه تغییری می کند؟
- ۳- مشخصه خروجی موتور را با توجه به اعداد جدول رسم کنید.
- ۴- یک موتور DC سری شبیه سازی کرده، مشخصه آنرا استخراج کنید.
- ۵- موتور یونیورسال را تشریح کنید.