رتور از پایداری بیش‌تری برخوردار است.

صحیح ☐ غلط ☐

پرسش‌های تشریحی

۱ ـ علامت اختصاری سیم‌پیچی تحریک و آرمیچر موتور جریان مستقیم را رسم کنید. کاربرد آن را بنویسید.

۲ ـ مدار الکتریکی معادل موتور جریان مستقیم را رسم کنید هر یک از عناصر آن را شرح دهید.

۳ ـ مقادیر نامی موتورهای جریان مستقیم را تعریف نمایید.

۴ ـ منحنی مشخصه الکترومغناطیسی را تعریف کنید.

۵ ـ درصد تنظیم سرعت را تعریف کنید و رابطه آن را بنویسید.

تمرین ۲ ـ ۴

۱ ـ گشتاور خروجی یک موتور جریان مستقیم ۳۰ KW در بار کامل ۱۲۰ Nm است. اگر درصد تنظیم سرعت ۴ ٪ باشد سرعت آن در بی‌باری چقدر است؟

۸ ـ ۴ ـ طبقه‌بندی موتورهای جریان مستقیم

موتورهای جریان مستقیم با توجه به نوع تحریک و نحوه تامین تغذیه تحریک به صورت زیر تقسیم‌بندی می‌شوند.

۱ ـ موتورهای جریان مستقیم با آهن‌ربای دایم[۱] PMDC

۲ ـ موتورهای جریان مستقیم با تحریک مستقل[۲]

۳ ـ موتورهای جریان مستقیم با تحریک شنت[۳]

۴ ـ موتورهای جریان مستقیم با تحریک سری[۴]

۵ ـ موتورهای جریان مستقیم با تحریک کمپوند[۵]

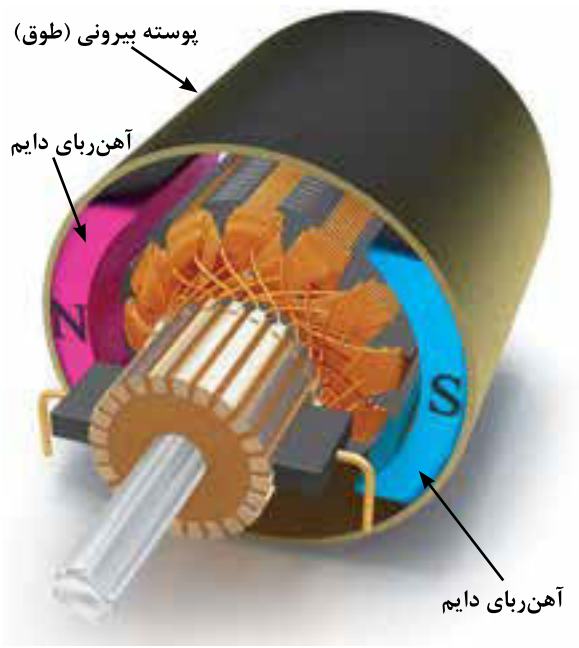
۹ ـ ۴ ـ موتورهای جریان مستقیم با آهن‌ربای دایم

موتورهای جریان مستقیم با آهن‌ربای دایم PMDC یک موتور DC است که قطب‌های آن از آهن‌ربای دایم ساخته شده است. این موتورها با حجم کوچک و توان کم دارای گشتاور مناسبی هستند و بسیار استفاده می‌شوند. در شکل (۹ ـ ۴) موتور جریان مستقیم با آهن‌ربای دایم نشان داه شده است.

شکل ۹ ـ ۴ موتور جریان مستقیم با آهن‌ربای دایم

موتورهای جریان مستقیم با آهن‌ربای دایم دارای قطب‌های صاف هستند. شکل (۱۰ ـ ۴) طرح ساختمانی موتور DC با آهن‌ربای دایم را نشان می‌دهد.

۱. Permanent Magnet DC Motor ۲. Separatly Excited ۳. Shunt Field
۴. Series Field ۵. Compounded Field



شکل ۱۰ ـ ۴ طرح ساختمانی موتور DC با آهن‌ربای دایم

پوسته بیرونی یا طوقه از جنس آلیاژ آلومینیمی یا فلزاتی دیگر است و آهن‌رباهای دایم که همان قطب‌ها هستند را نگه می‌دارد. رتور نیز مانند دیگر ماشین‌های DC، شیارهایی برای سیم‌پیچی دارد و شامل یک کموتاتور و چند جاروبک است.

موتورهای DC با آهن‌ربای دایم PMDC به جای سیم‌پیچی تحریک دارای آهن‌ربای دایم هستند و ساختمان ساده‌تری دارند. عدم نیاز به تحریک خارجی برای تولید میدان مغناطیسی و نبود تلفات تحریک نیز از مزایای آن‌ها به شمار می‌آید. از طرف دیگر تضعیف میدان مغناطیس آهن‌رباهای دایم در اثر عکس‌العمل آرمیچر و عدم کنترل بر میدان مغناطیسی قطب‌ها از معایب موتورهای DC با آهن‌ربای دایم است.

۱ ـ ۹ ـ ۴ ـ کاربرد

موتورهای DC با آهن‌ربای دایم در اسباب‌بازی‌ها و در خودروها به عنوان موتور برف پاکن و پمپ شیشه‌شوی و پایین و بالابر شیشه و هم‌چنین در مسواک‌ها به کار می‌روند. به‌طور کلی در جاهایی که نیاز به موتور کوچک و ارزان‌قیمت باشد این موتورها پیشنهاد خواهند شد. سالانه میلیون‌ها موتور جریان مستقیم با آهن‌ربای دایم در دنیا تولید و استفاده می‌شوند.

پرسش ۳ ـ ۴

پرسش‌های کامل کردنی

۱ ـ موتورهای PMDC با حجم کم ..... و توان ..... دارای گشتاور ..... هستند.

۲ ـ موتورهای PMDC با آهن‌ربای ..... دارای قطب‌های ..... هستند.

پرسش‌های صحیح غلط

۱ ـ در موتورهای PMDC پوسته بیرونی از جنس آهن‌ربای دایم است.

صحیح ☐ غلط ☐

پرسش‌های تشریحی

۱ ـ موتورهای جریان مستقیم چگونه طبقه‌بندی می‌شوند؟

۲ ـ انواع موتورهای جریان مستقیم را نام ببرید.

۳ ـ ساختمان موتورهای جریان مستقیم با آهن‌ربای دایم را شرح دهید.

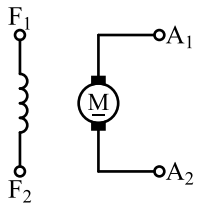
۴ ـ وظیفه پوسته در موتورهای PMDC را بنویسید.

۵ ـ مزایا و معایب موتورهای جریان مستقیم با آهن‌ربای دایم را بنویسید.

۶ ـ کاربرد موتورهای PMDC را بنویسید.

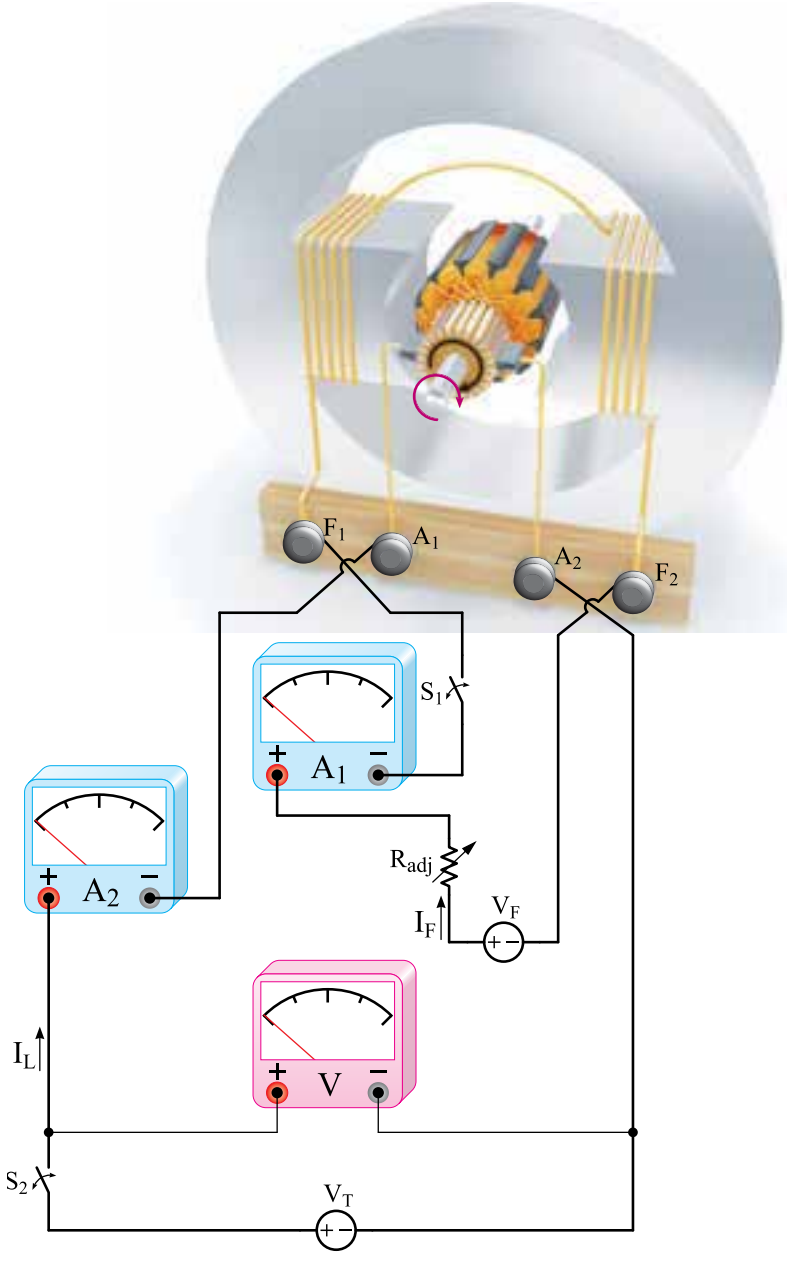
۱۰ ـ ۴ ـ موتورهای جریان مستقیم با تحریک مستقل

موتورهای جریان مستقیم با تحریک مستقل را «موتور تحریک جداگانه» نیز می‌گویند. در موتور تحریک مستقل ارتباط الکتریکی بین مدار آرمیچر با مدار تحریک وجود ندارد. علامت اختصاری موتور تحریک مستقل در شکل (۱۱ ـ ۴) نشان داده شده است.



شکل ۱۱ ـ ۴ علامت اختصاری موتور تحریک مستقل

طرح ساختمانی موتور تحریک مستقل در شکل (۱۲ ـ ۴) نشان داده شده است.

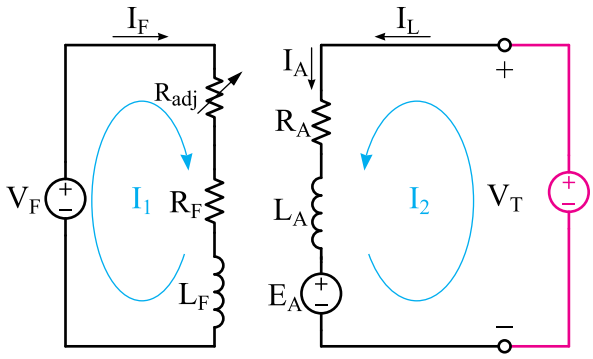


شکل ۱۲ ـ ۴ طرح ساختمانی موتور تحریک مستقل

سیم‌پیچی تحریک با تعداد دور زیاد برای جریان کم به دور قطب‌ها پیچیده شده است. سیم‌پیچی تحریک توسط منبع ولتاژ V_F تغذیه می‌شود. برای تغییر و تنظیم جریان تحریک از مقاومت متغیر سری با سیم‌پیچی تحریک استفاده شده است. این مقاومت را «مقاومت تنظیم‌کننده جریان تحریک» می‌نامند و با R_{adj} نشان می‌دهند. برای قطع و وصل کردن مدار تحریک از کلید S_1 و برای اندازه‌گیری جریان آن از آمپرمتر A_1 استفاده شده است. مدار آرمیچر توسط منبع ولتاژ V_T تغذیه می‌شود و برای قطع و وصل آن از کلید S_2 و برای اندازه‌گیری ولتاژ و جریان آن از ولت‌متر V و آمپرمتر A_2 استفاده شده است.

۱ ـ ۱۰ ـ ۴ ـ مدار الکتریکی معادل

مدار الکتریکی معادل موتور تحریک مستقل در شکل (۱۳ ـ ۴) نشان داده شده است.



شکل ۱۳ ـ ۴ مدار الکتریکی معادل موتور تحریک مستقل

این مدار با توجه به توضیحات بخش ۴ ـ ۳ و طرح ساختمانی شکل (۱۲ ـ ۴) به‌دست آمده است.

مدار الکتریکی تحریک و آرمیچر را با روش حلقه یا روش‌های دیگر می‌توان تحلیل کرد. معمولاً در تحلیل مدار الکتریکی معادل اثرات مغناطیسی عکس‌العمل آرمیچر و کموتاسیون به دلیل پیچیدگی محاسبات در نظر گرفته نمی‌شوند. روش متداول اندازه‌گیری اثرات مغناطیسی استفاده از منحنی مشخصه‌های موتور است.

در حالت پایدار جریان مدار تحریک I_F و مدار آرمیچر I_A از نوع DC است و فرکانس ندارند. لذا برای نوشتن معادلات جریان و ولتاژ از اثرات خود القایی L_A و L_F صرف‌نظر خواهد شد.

برای مدار الکتریکی معادل سیم‌پیچی تحریک حلقه I_1 در جهت حرکت عقربه‌های ساعت و برای مدار الکتریکی معادل سیم‌پیچی آرمیچر حلقه I_2 در خلاف جهت حرکت عقربه‌های ساعت انتخاب شده است.

با نوشتن KVL برای حلقه‌های I_1 و I_2 معادلات (۹ ـ ۴) و (۱۰ ـ ۴) به‌دست می‌آید.

$$KVL1) \quad -V_F + R_{adj}I_1 + R_F I_1 = 0 \qquad (۴-۹)$$

$$KVL2) \quad -V_T + R_A I_2 + E_A = 0 \qquad (۴-۱۰)$$

جریان حلقه I_1 از محل I_F و جریان حلقه I_2 از محل جریان‌های I_A و I_L می‌گذرد. بنابراین روابط (۱۱ ـ ۴) و (۱۲ ـ ۴) را می‌توان نوشت.

$$I_F = I_1 \qquad (۴-۱۱)$$

$$I_A = I_L = I_2 \qquad (۴-۱۲)$$

تلفات تحریک از رابطه (۱۳ ـ ۴) و تلفات آرمیچر از رابطه (۱۴ ـ ۴) به‌دست می‌آید.

$$P_F = (R_F + R_{adj})I_F^2 \qquad (۴-۱۳)$$

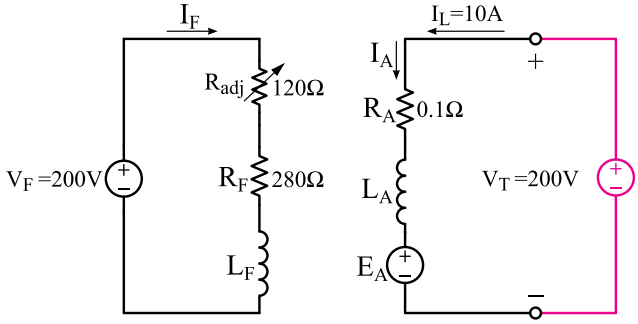
$$P_A = R_A I_A^2 \qquad (۴-۱۴)$$

مثال ۶ ـ ۴ ـ موتور جریان مستقیم با تحریک مستقل ۲۰۰ ولتی، ۱۰ آمپری با مدار الکتریکی معادل مطابق شکل (۱۴ ـ ۴) در نظر است. مطلوب است:

الف) جریان مدار تحریک I_F

ب) نیروی محرکه القایی آرمیچر E_A

پ) تلفات تحریک و آرمیچر



شکل ۱۴ ـ ۴

حل:

ـ برای مدار تحریک حلقه I_1 را در جهت حرکت عقربه‌های ساعت انتخاب می‌کنیم و KVL می‌نویسیم تا جریان تحریک به‌دست آید.

$$KVL1) \quad -V_F + R_{adj} I_1 + R_F I_1 = 0$$
$$-200 + 120 I_1 + 280 I_1 = 0$$
$$-200 + 400 I_1 = 0$$
$$400 I_1 = 200$$
$$I_1 = \frac{200}{400} = 0/5 \ [A]$$

ـ حلقه I_1 از محل I_F می‌گذرد.

$$I_F = I_1 = 0/5 \ [A]$$

ـ برای مدار آرمیچر حلقه I_2 را در خلاف جهت حرکت عقربه‌های ساعت انتخاب می‌کنیم و KVL می‌نویسیم.

$$KVL2) \quad -V_T + R_A I_2 + E_A = 0$$

ـ حلقه I_2 از محل I_A و در جهت آن می‌گذرد؛ بنابراین خواهیم داشت:

$$I_A = I_L = I_2 = 10 \ [A]$$

ـ با جایگزینی I_2 در رابطه KVL۲ خواهیم داشت:

$$KVL2) \quad -200 + 0/1(10) + E_A = 0$$
$$E_A = 199 [V]$$

ـ پس از محاسبه I_F و I_A تلفات تحریک و آرمیچر به‌دست می‌آید.

$$P_F = (R_A + R_{adj}) I_F^2$$
$$P_F = (280 + 120) \times 0/5^2 = 100 \ [W]$$

$$P_A = R_A I_A^2$$
$$P_A = 0/1 \times 10^2 = 10 \ [W]$$

تمرین ۳ ـ ۴

۱ ـ یک موتور جریان مستقیم با تحریک مستقل ۴ KW، ۲۵۰ V با بازده ۸۰ ٪ و مقاومت سیم‌پیچی آرمیچر ۰/۵Ω مفروض است. مطلوب است:

الف ـ جریان موتور

ب ـ توان الکترو مغناطیسی

۲ ـ یک موتور جریان مستقیم با تحریک مستقل با

مشخصات زیر مفروض است:

$$V_F = ۲۰۰V \ , \ I_F = ۰/۵ \ A \ , \ V_T = ۲۰۰V$$
$$E_A = ۱۹۰V \ \ , \ R_A = ۰/۵\Omega$$

مطلوب است:

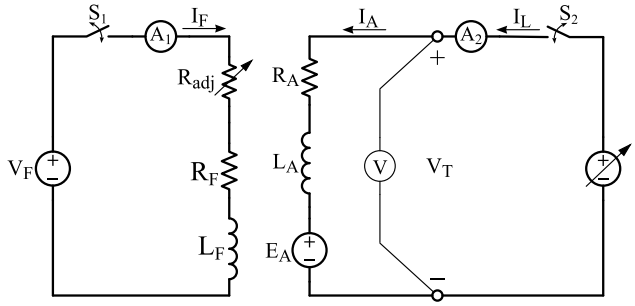
الف ـ مقاومت مدار تحریک

ب ـ جریان موتور

ج ـ اگر تلفات ثابت ۲۰۰ W باشد بازده موتور چند درصد است؟

۲ ـ ۱۰ ـ ۴ ـ راه‌اندازی

برای راه‌اندازی موتور تحریک مستقل قبل از هر کاری ابتدا مقادیر نامی شامل ولتاژ، جریان، جریان تحریک و سرعت را از پلاک مشخصات موتور یادداشت کنید. مطابق شکل (۱۵ ـ ۴) مدار آرمیچر را از طریق آمپرمتر $A_۲$ و ولت‌متر V به منبع ولتاژ متغیر و مدار تحریک را از طریق مقاومت متغیر R_{adj} و آمپرمتر $A_۱$ به منبع ولتاژ V_F وصل کنید.



شکل ۱۵ ـ ۴ مدار الکتریکی راه‌اندازی موتور تحریک مستقل

مقاومت متغیر R_{adj} را در حداقل خود قرار دهید تا با بستن کلید $S_۱$ مدار تحریک با حداکثر جریان، بیش‌ترین فوران را تولید کند. اکنون با بستن کلید $S_۲$ ولتاژ منبع متغیر را از صفر به تدریج زیاد نمایید تا ولت‌متر V ولتاژ نامی موتور را نشان دهد. در صورتی‌که سرعت موتور به سرعت بی‌باری n_o نرسیده بود، با افزایش مقاومت متغیر R_{adj} ، جریان تحریک را کاهش دهید تا سرعت افزایش بیابد و به سرعت موردنظر برسد. بدیهی است افزایش بیش از حد مقاومت مدار تحریک یا قطع مدار تحریک مطابق آنچه که در بخش ۵ ـ۴ توضیح داده شد باعث بروز مشکلاتی خواهد شد.

۳ ـ ۱۰ ـ ۴ ـ آزمایش بارداری

منحنی مشخصه‌های الکترومکانیکی، الکترومغناطیسی و گشتاور ـ سرعت از آزمایش بارداری به‌دست می‌آید.

برای انجام آزمایش بارداری پس از راه‌اندازی موتور ضمن ثابت نگه داشتن ولتاژ موتور V_T گشتاور بار را طی چند مرحله افزایش دهید و در هر مرحله سرعت رتور را توسط دورسنج و جریان آرمیچر را توسط آمپرمتر و گشتاور بار را توسط گشتاورسنج[۱] اندازه‌گیری و نتایج را در جدولی یادداشت نمایید. مراحل آزمایش را تا رسیدن جریان آرمیچر به مقدار نامی ادامه دهید.

سپس روی یک دستگاه مختصات که محور افقی آن جریان آرمیچر I_A و محور عمودی آن سرعت رتور n است، نقاط نشان دهنده n به ازای جریان آرمیچر I_A معینی را مشخص کنید تا «منحنی مشخصه الکترومکانیکی» به‌دست آید. اکنون بر روی دستگاه مختصات دیگری که محور افقی آن جریان آرمیچر و محور عمودی آن گشتاور بار T_{load} است، نقاط نشان‌دهنده T_{load} به ازای جریان آرمیچر I_A معینی را مشخص کنید تا «منحنی مشخصه الکترومغناطیسی» به‌دست آید. اگر نقاط

۱. Torque Meter

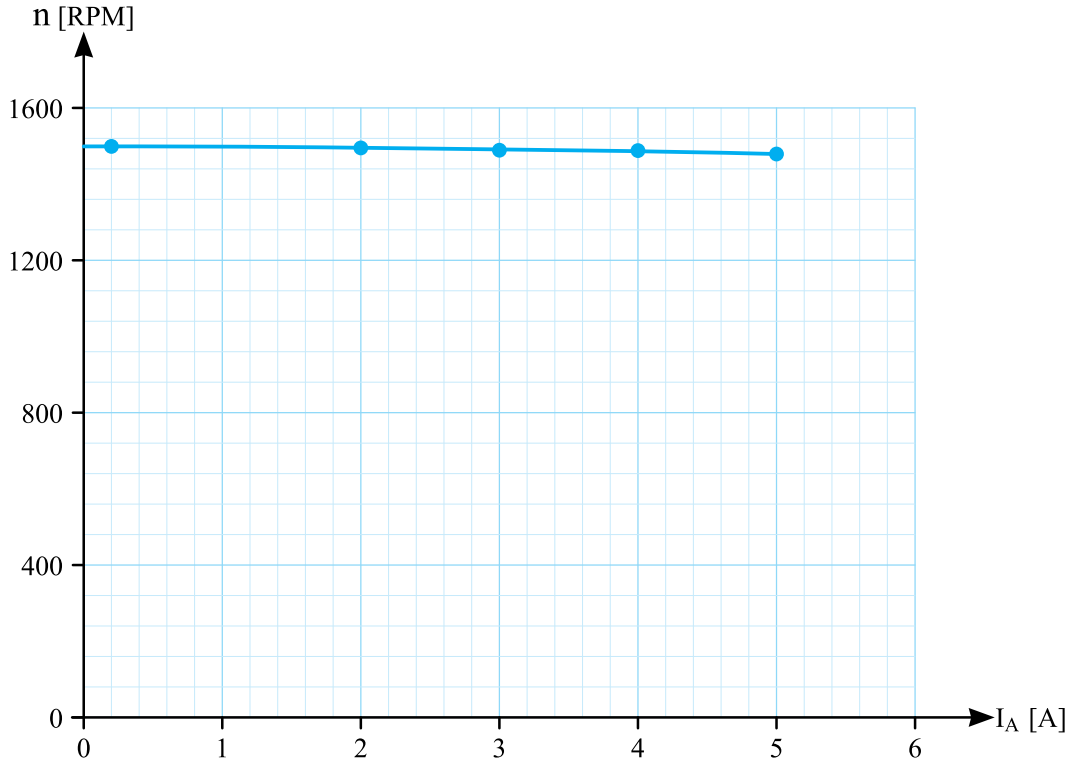
نشان‌دهنده سرعت n به ازای گشتاور T_{load} معینی را بر روی دستگاه مختصاتی که محور افقی آن گشتاور T_{load} و محور عمودی آن سرعت n باشد نشان دهیم «منحنی مشخصه گشتاور ـ سرعت» به‌دست می‌آید.

جدول (۱ ـ ۴) نتایج آزمایش بارداری موتور تحریک مستقل ۲۲۰ V، ۱ KW، ۵ A را نشان می‌دهد.

V_T	۲۲۰V				
n[RPM]	۱۵۰۰	۱۴۹۶	۱۴۹۰	۱۴۸۹	۱۴۸۰
I_A[A]	۰/۲	۲	۳	۴	۵
T_{load}[Nm]	۰	۳	۴/۵	۶	۷/۵

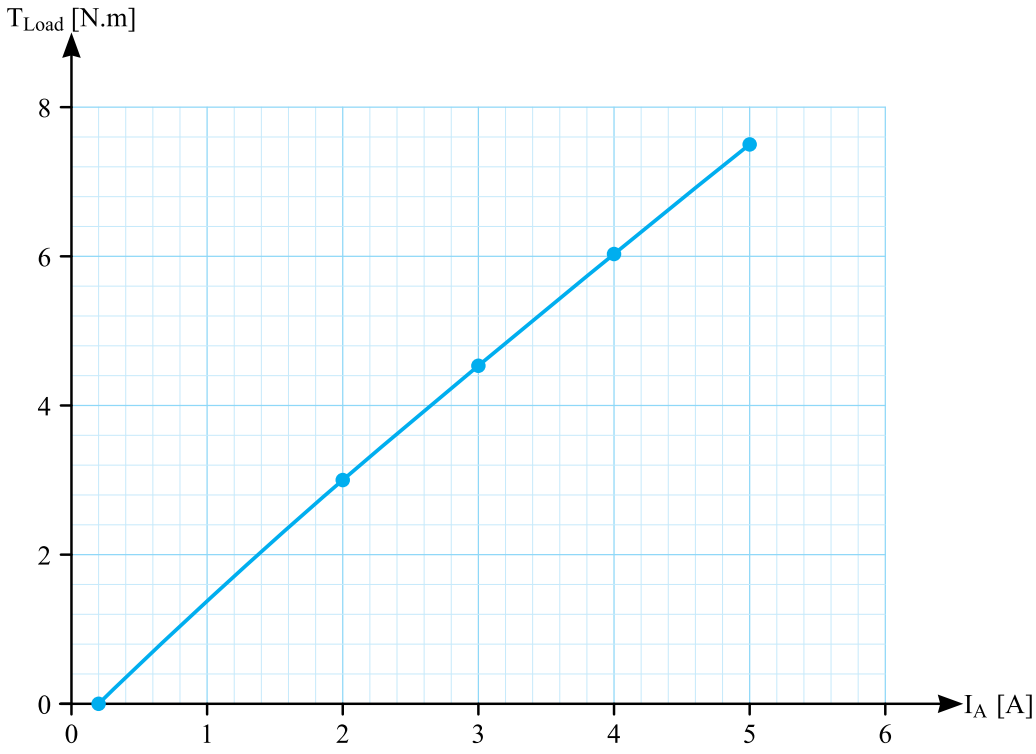
جدول ۱ ـ ۴ نتایج آزمایش بارداری موتور تحریک مستقل

نقاط نشان‌دهنده مقدار هر سرعت n به ازای جریان I_A معین جدول (۱ ـ ۴) در شکل (۱۶ ـ ۴) تحت عنوان مشخصه الکترومکانیکی نشان داده شده است. در مشخصه الکترومکانیکی مشاهده می‌شود در اثر افزایش گشتاور بار که منجر به کاهش سرعت رتور شده است، جریان آرمیچر افزایش یافته است.



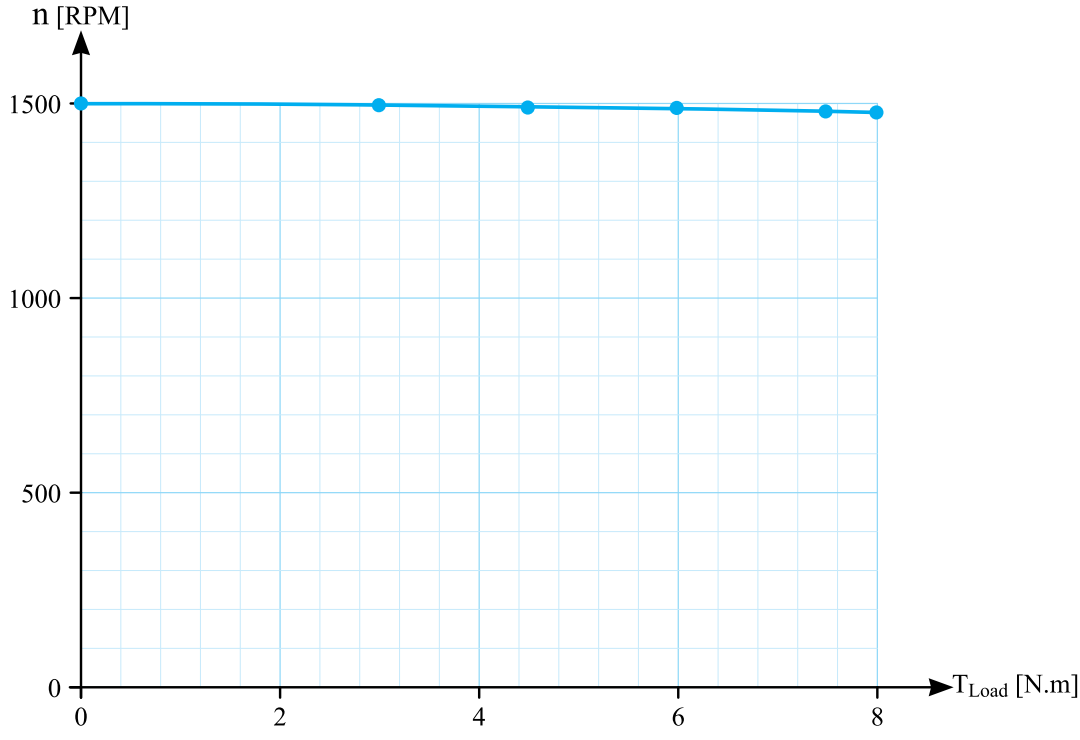
شکل ۱۶ ـ ۴ منحنی مشخصه الکترومکانیکی موتور تحریک مستقل

نقاط نشان‌دهنده‌ی مقدار هر گشتاور T_{load} به ازای I_A معین جدول (۱ ـ۴) در شکل (۱۷ ـ ۴) تحت عنوان مشخصه الکترومغناطیسی نشان داده شده است. در مشخصه الکترومغناطیسی مشاهده می‌شود در اثر افزایش گشتاور بار T_{load}، موتور تحریک مستقل سعی می‌کند سرعت خود را ثابت نگه دارد اما جریان آرمیچر I_A را افزایش می‌دهد.



شکل ۱۷-۴ منحنی مشخصه الکترومکانیکی موتور تحریک مستقل

نقـاط نشـان دهنده‌ی مقدار هر سـرعت n به ازای گشـتاور T_{load} معین جدول (۱-۴) در شـکل (۱۸-۴) تحت عنوان مشـخصه گشتاور ـ سرعت نشان داده شده است. در مشخصه گشتاور ـ سرعت مشاهده می‌شود در اثر افزایش گشتاور بار T_{load} سرعت رتور اندکی کاهش می‌یابد.



شکل ۱۸-۴ منحنی مشخصه گشتاور ـ سرعت موتور تحریک مستقل

فعالیت۱-۴- با استفاده از برنامه صفحه گسترده *E xcel* از برنامه‌های مجموعه *Microsoft Office* منحنی مشخصه‌های مربوط به جدول (۱-۴) را رسم نمایید.

۴-۱۰-۴- کاربرد

موتورهای جریان مستقیم با تحریک مستقل دارای سرعت تقریبا ثابت از بی‌باری تا بار کامل می‌باشند و گشتاور آن کم می‌باشد. این موتورها با افزایش گشتاور بار در محدوده بار نامی سرعت خود را تقریبا ثابت نگه می‌دارند و جریان خود را افزایش می‌دهند. موتورهای جریان مستقیم با تحریک مستقل دارای بازه وسیع کنترل سرعت از صفر تا سرعت نامی می‌باشند و به خوبی می‌توان سرعت آن‌ها را تحت کنترل داشت. بنابراین موتورهای تحریک مستقل در جاهایی به‌کار گرفته می‌شوند که نیاز به سرعت ثابت و کنترل سرعت در بازه وسیعی باشد.

پرسش ۴-۴

پرسش‌های کامل کردنی

۱- هدف از انجام آزمایش بارداری موتور تحریک مستقل تاثیر افزایش ..... بر ..... و ..... است.

۲- با افزایش گشتاور بار موتور تحریک مستقل جریان آرمیچر ..... می‌یابد.

پرسش‌های صحیح غلط

۱ ـ آزمایش بارداری موتور تحریک مستقل در ولتاژ ثابت انجام خواهد شد.

صحیح ☐ غلط ☐

۲ ـ با افزایش گشتاور بار موتور تحریک مستقل جریان آرمیچر کاهش می‌یابد.

صحیح ☐ غلط ☐

پرسش‌های تشریحی

۱ ـ علامت اختصاری موتور تحریک مستقل را رسم کنید و اجزای آن را شرح دهید.

۲ ـ کاربرد مدار الکتریکی معادل را بنویسید.

۳ ـ مدار الکتریکی معادل موتور تحریک مستقل را رسم کنید و اجزای آن را شرح دهید.

۴ ـ قبل از راه‌اندازی موتور تحریک مستقل چه باید کرد؟

۵ ـ نحوه راه‌اندازی موتور تحریک مستقل را شرح دهید.

۶ ـ نحوه انجام آزمایش بارداری موتور تحریک مستقل را بنویسید.

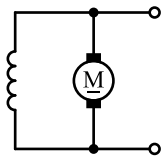
۷ ـ کاربرد موتورهای تحریک مستقل را بنویسید.

۸ ـ ویژگی‌های موتور تحریک مستقل را شرح دهید.

۹ ـ افزایش بیش از حد مقاومت متغیر R_{adj} چه مشکلی ایجاد می‌کند؟

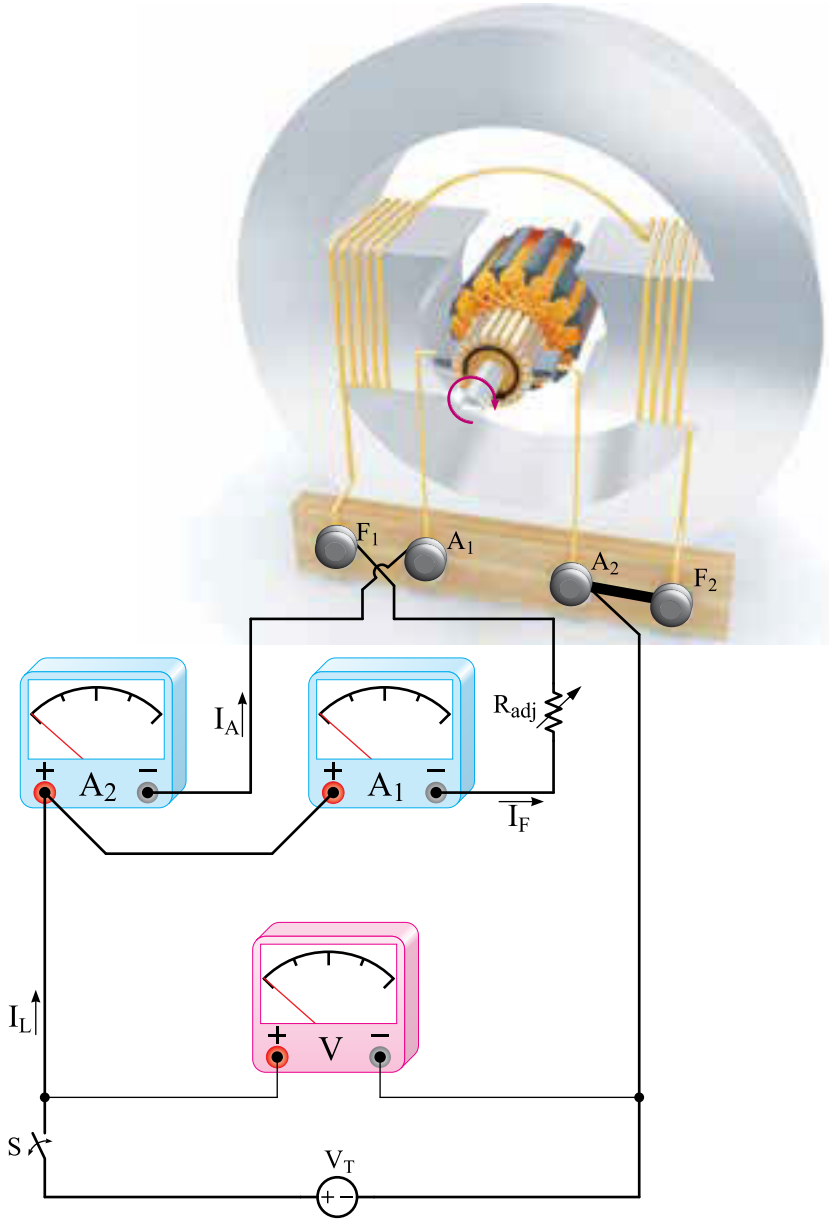
۱۱ ـ ۴ ـ موتورهای جریان مستقیم با تحریک شنت

موتورهای جریان مستقیم با تحریک شنت را به اختصار «موتور شنت» گویند. در موتور شنت مدار تحریک با مدار آرمیچر به صورت موازی ارتباط پیدا می‌کند. علامت اختصاری موتور شنت در شکل (۱۹ ـ ۴) نشان داده شده است.



شکل ۱۹ ـ ۴ علامت اختصاری موتور شنت

طرح ساختمانی موتور شنت در شکل (۲۰ ـ ۴) نشان داده شده است.

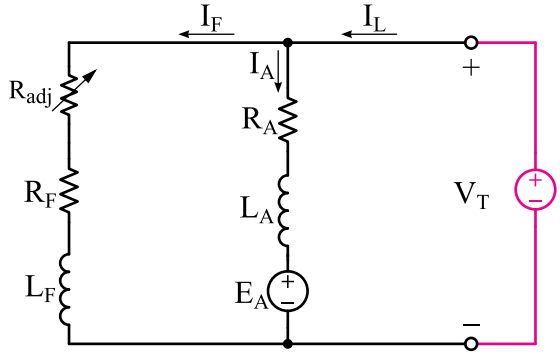


شکل ۲۰ ـ ۴ طرح ساختمانی موتور شنت

سیم‌پیچی تحریک با تعداد دور زیاد برای جریان کم به دور قطب‌ها پیچیده شـده است. سیم‌پیچی تحریک با سیم‌پیچی آرمیچر به صورت موازی ارتباط داده شده اسـت. برای تغییـر و تنظیم جریان تحریـک، مقاومت تنظیم‌کننده جریان تحریک R_{adj} در مدار تحریک قرار داده شـده است و برای اندازه‌گیری جریان‌های تحریک و آرمیچـر از آمپرمترهای A_1 و A_2 و برای اندازه‌گیری ولتاژ V_T از ولت‌متر V استفاده شده است.

۱ ـ ۱۱ ـ ۴ مدار الکتریکی معادل

مدار الکتریکی معادل موتور شـنت با توجه به طرح سـاختمانی شکل (۲۰ ـ ۴) در شـکل (۲۱ ـ ۴) نشان داده شده است.



شکل ۲۱ ـ ۴ مدار الکتریکی معادل موتور شنت

مـدار الکتریکـی معـادل موتـور شـنت را با روش پتانسـیل گـره یا روش‌هـای دیگـر می‌تـوان تحلیل کـرد. معمولاً در تحلیـل مدار الکتریکـی معادل اثرات مغناطیسـی عکس‌العمل آرمیچر و کموتاسیون به دلیل پیچیدگـی محاسـبات در نظر گرفته نمی‌شـود. روش متداول اندازه‌گیری اثرات مغناطیسی استفاده از منحنی مشـخصه‌های موتور اسـت. جریان موتور DC است و فرکانس ندارد؛ لذا برای نوشـتن معادلات جریان و ولتاژ از اثرات خودالقایی L_A و L_F صرف‌نظر خواهد شد.

با نوشـتن KCL برای گره مدار تحریک و آرمیچر معادله (۱۵ ـ ۴) به‌دست می‌آید.

$$KCL) \quad -I_L + I_A + I_F = 0 \qquad (۴-۱۵)$$

بـا به‌کار بردن قانون اهم مقادیر جریان‌های I_F و I_A به‌دست خواهد آمد.

$$I_F = \frac{V_T}{P_F + R_{adj}} \qquad (۴-۱۶)$$

جریان آرمیچر I_A از سـمت V_T به سوی E_A جاری است. پس $V_T > E_A$ می‌باشد و خواهیم داشت:

$$I_A = \frac{V_T - E_A}{R_A} \qquad (۴-۱۷)$$

از رابطه $P_{in} = V_T \cdot I_L$ جریان I_L به‌دست می‌آید.

$$I_L = \frac{P_{in}}{V_T} \qquad (۴-۱۸)$$

تلفات تحریک از رابطه (۱۳ ـ ۴) و تلفات آرمیچر از رابطه (۱۴ ـ ۴) هم‌چنان قابل محاسبه است.

$$P_F = (R_F + R_{adj}) I_F^2$$

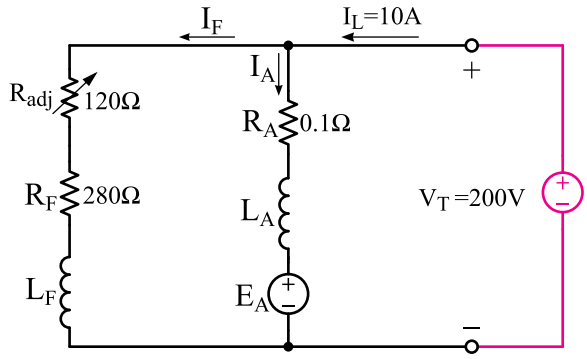
$$P_A = R_A I_A^2$$

مثال ۷ ـ ۴ ـ موتور شـنت ۲۰۰ V، ۱۰ آمپری با مـدار الکتریکی معادل مطابق شـکل (۲۲ ـ ۴) در نظر است. مطلوب است:

الف) جریان مدار تحریک I_F

ب) نیروی محرکه القایی آرمیچر E_A

پ)تلفات تحریک و آرمیچر



شکل ۲۲ ـ ۴

حل:

ـ با قانون اهم جریان تحریک به‌دست می‌آید.

$$I_F = \frac{V_T}{P_F + R_{adj}} = \frac{۲۰۰}{۲۸۰+۱۲۰} = ۰/۵\ [A]$$

ـ با نوشتن KCL برای گره مدار تحریک و آرمیچر، جریان آرمیچر به‌دست خواهد آمد.

$$KCL)\quad -I_L + I_A + I_F = ۰$$
$$-۱۰ + I_A + ۱ = ۰$$
$$I_A = ۹[A]$$

ـ با نوشتن جریان آرمیچر، نیروی محرکه القایی آرمیچر به‌دست می‌آید.

$$I_A = \frac{V_T - E_A}{R_A}$$
$$۹ = \frac{۲۰۰ - E_A}{۰/۱}$$
$$۹ \times ۰/۱ = ۲۰۰ - E_A$$
$$E_A = ۲۰۰ - ۹ \times ۰/۱ = ۲۰۰/۹[V]$$

ـ اکنون تلفات تحریک و آرمیچر به‌دست می‌آید.

$$P_F = (R_F + R_{adj})I_F^۲$$
$$P_F = (۲۸۰+۱۲۰)۱^۲ = ۴۰۰\ [W]$$

$$P_A = R_A I_A^۲$$
$$P_A = ۰/۱ \times ۹^۲ = ۸/۱\ [W]$$

تمرین ۴ ـ ۴

۱ ـ یک موتور شنت ۴ KW، ۲۵۰ V با بازده ۸۰ ٪ و مقاومت آرمیچر ۰/۵Ω و تحریک $R_A + R_{adj} = ۲۵۰\ \Omega$ مفروض است. مطلوب است:

الف) جریان موتور

ب) توان الکترومغناطیسی

پ) تلفات ثابت

۲ ـ یک موتور شنت در اتصال به شبکه ۲۲۰ ولتی جریان ۱۰ آمپر دریافت می‌کند و با سرعت ۱۲۰۰ RPM می‌گردد. در صورتی‌که مقاومت مدار آرمیچر ۰/۲Ω و مدار تحریک ۴۴۰Ω باشد، مطلوب است:

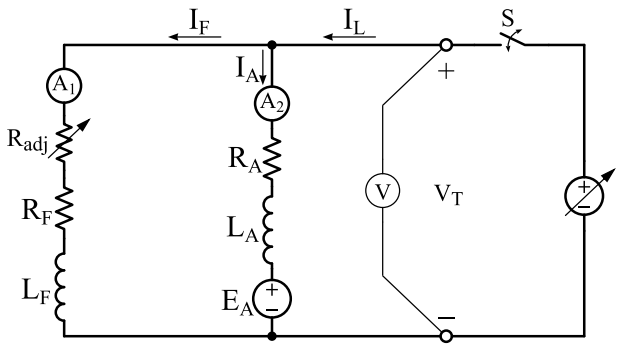
الف) جریان مدار آرمیچر

ب) نیروی محرکه القایی آرمیچر

پ) بازده در صورتی‌که تلفات ثابت ۱۵۰ W باشد.

۲ ـ ۱۱ ـ ۴ ـ راه‌اندازی

برای راه‌اندازی موتور شنت پس از یادداشت مقادیر نامی ولتاژ، جریان و سرعت از پلاک مشخصات موتور، مدار الکتریکی آرمیچر و تحریک را مطابق شکل (۲۳ ـ ۴) ببندید.



شکل ۲۳ ـ ۴ مدار الکتریکی راه‌اندازی موتور شنت

مقاومت متغیر R_{adj} را در حداقل خود قرار دهید و پس از بستن کلید S ولتاژ منبع متغیر را به آرامی زیاد نمایید تا ولت‌متر V ولتاژ نامی موتور را نشـان دهد. در صورتی‌که سـرعت موتور به سرعت بی‌باری n_o نرسیده بود با افزایش مقاومـت R_{adj}، جریان تحریک را کاهش دهید تا سرعت افزایش یابد و به سرعت موردنظر برسد. بدیهی اسـت افزایش بیش از حد مقاومت مدار تحریک یا قطع مـدار تحریک مطابق آن‌چه که در بخش ۵ ـ ۴ توضیح داده شد باعث بروز مشکلاتی خواهد شد.

۳ ـ ۱۱ ـ ۴ ـ آزمایش بارداری

نحوه انجام آزمایش بارداری و نتایج حاصل از آن در موتورهای شنت دقیقاً شـبیه به موتور تحریک مستقل می‌باشـد. بنابراین مشـخصه‌های الکترومکانیکی شکل (۱۵ ـ ۴)، الکترومغناطیسـی شکل (۱۶ ـ ۴) و گشتاور ـ سـرعت شـکل (۱۷ ـ ۴) موتور تحریک مستقل برای موتور تحریک موازی نیز صادق است. در واقع در موتور تحریک مسـتقل از دو منبع برای تغذیه مدار آرمیچر و تحریک اسـتفاده می‌شود در حالی‌که در موتور شنت از یک منبع برای تغذیه مدار آرمیچر و تحریک اسـتفاده شده است. از آنجایی‌که در هر دو موتور جریان آرمیچر I_A و جریـان تحریک I_F ارتباطی با یک‌دیگر پیدا نمی‌کنند باعث می‌شـود موتور شنت رفتاری شبیه به رفتار موتور مستقل از خود داشته باشد و منحنی مشخصه‌های آن‌ها یکسان باشد.

۴ ـ ۱۱ ـ ۴ ـ کاربرد

منحنی مشـخصه‌های موتور شنت مشابه موتورهای تحریک مستقل می‌باشـد. لذا کاربرد و ویژگی‌هایی که در بخش ۴ ـ ۱۰ ـ ۴ برای موتور تحریک مسـتقل ارایه شد برای موتور شنت نیز صدق می‌کند.

پرسش ۵ ـ ۴

پرسش‌های کامل کردنی

۱ ـ در موتور ..... مدار ..... با مدار ..... به صورت موازی ارتباط پیدا می‌کند.

۲ ـ به هنگام راه‌اندازی موتور شنت مقاومت R_{adj} را در ..... قرار می‌دهند.

۳ ـ افزایش بیش از حد مقاومت مدار ..... یا قطع مدار ..... باعث مهار گسستگی می‌شود.

پرسش‌های صحیح غلط

۱ ـ بـرای تحلیـل مدار الکتریکی معادل شـنت در حالـت پایدار اثرات خـود القایـی L_A و L_F را در نظر می‌گیرند.

صحیح ☐ غلط ☐

۲ ـ پـس از راه‌اندازی برای تنظیم سـرعت مقاومت R_{adj} را تغییر می‌دهند.

صحیح ☐ غلط ☐

۳ ـ افزایش بیش از حد مقاومت R_{adj} در موتور شنت

مجاز است.

صحیح ☐ غلط ☐

پرسش‌های تشریحی

۱ ـ علامت اختصاری موتور شنت را رسم کنید و اجزای آن را شرح دهید.

۲ ـ مدار الکتریکی معادل موتور شنت را رسم کنید. اجزای آن را شرح دهید.

۳ ـ قبل از راه‌اندازی موتور شنت چه باید کرد؟

۴ ـ نحوه راه‌اندازی موتور شنت را شرح دهید.

۵ ـ اگر پس از راه‌اندازی بخواهیم سرعت موتور شنت را افزایش دهیم چه باید کرد؟

۶ ـ چرا رفتار موتورهای شنت و مستقل مشابه یک‌دیگر است؟

۷ ـ کاربرد موتورهای شنت را بنویسید.

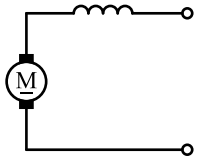
۸ ـ قطع مدار تحریک چه مشکلاتی برای موتور شنت ایجاد می‌کند؟

۹ ـ چرا نمی‌توان مقاومت مدار تحریک موتور شنت را بیش از حد زیاد کرد؟

۱۰ ـ نحوه‌ی انجام آزمایش بارداری موتور شنت را شرح دهید.

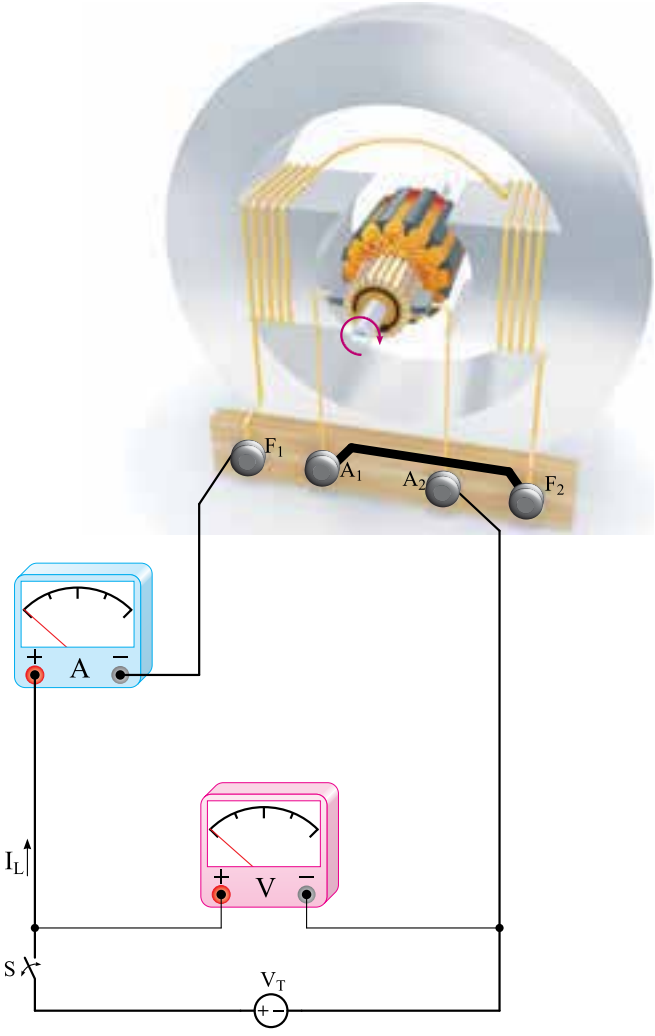
۱۲ ـ ۴ ـ موتورهای جریان مستقیم با تحریک سری

موتورهای جریان مستقیم با تحریک سری را به اختصار «موتور سری» گویند. در موتور سری مدار تحریک با مدار آرمیچر به صورت سری ارتباط پیدا می‌کند. علامت اختصاری موتور سری در شکل (۲۴ ـ ۴) نشان داده شده است.



شکل ۲۴ ـ ۴ علامت اختصاری موتور سری

طرح ساختمانی موتور سری در شکل (۲۵ ـ ۴) نشان داده شده است.



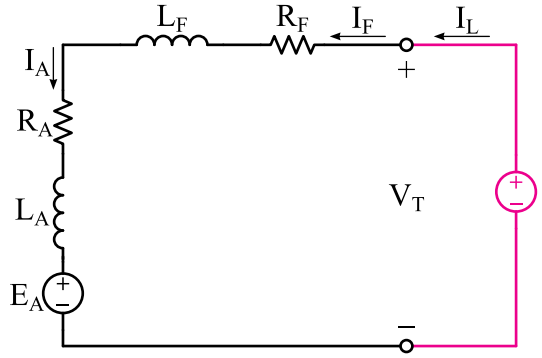
شکل ۲۵ ـ ۴ طرح ساختمانی موتور سری

سیم‌پیچی تحریک با تعداد دور کم برای جریان زیاد به دور قطب‌ها پیچیده شده است. سیم‌پیچی تحریک با سیم‌پیچی آرمیچر به صورت سری ارتباط داده شده

است. برای اندازه‌گیری جریان مدار تحریک و آرمیچر از آمپرمتر A و برای اندازه‌گیری ولتاژ منبع V_T از ولت‌متر V استفاده شده است.

۱ ـ ۱۲ ـ ۴ ـ مدار الکتریکی معادل

مدار الکتریکی معادل موتور سری با توجه به طرح ساختمانی شکل (۲۵ ـ ۴) در شکل (۲۶ ـ ۴) نشان داده شده است.



شکل ۲۶ ـ ۴ مدار الکتریکی معادل موتور سری

مدار الکتریکی معادل موتور سری را با روش حلقه یا روش‌های دیگر می‌توان تحلیل کرد. در حالت پایدار جریان موتور DC است و فرکانس ندارد؛ لذا برای نوشتن معادلات جریان و ولتاژ از اثرات خودالقایی L_A و L_F صرف‌نظر خواهد شد.

برای مدار الکتریکی معادل تحریک و آرمیچر حلقه I_1 در خلاف جهت حرکت عقربه‌های ساعت انتخاب شده است. با نوشتن KVL برای حلقه I_1 معادله (۱۹ ـ ۴) به‌دست می‌آید.

$$KVL) \quad -V_T + R_F I_1 + R_A I_1 + E_A = 0 \qquad (۴-۱۹)$$

جریان حلقه I_1 از محل جریان‌های I_F، I_A و I_L می‌گذرد و رابطه (۲۰ ـ ۴) به‌دست می‌آید.

$$I_A = I_F = I_L = I_1 \qquad (۴-۲۰)$$

با توجه به رابطه (۲۰ ـ ۴) جریان I_L جایگزین I_1 در رابطه (۱۹ ـ ۴) می‌شود.

$$-V_T + R_F I_L + R_A I_L + E_A = 0$$

از I_L فاکتور گرفته می‌شود و رابطه (۲۱ ـ ۴) به‌دست می‌آید.

$$-V_T + (R_F + R_A) I_L + E_A = 0 \qquad (۴-۲۱)$$

تلفات تحریک از رابطه (۲۲ ـ ۴) و تلفات آرمیچر از رابطه (۲۳ ـ ۴) به‌دست می‌آید.

$$P_F = R_F I_F^2 \qquad (۴-۲۲)$$

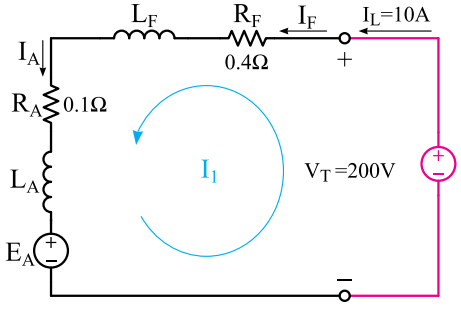
$$P_A = R_A I_A^2 \qquad (۴-۲۳)$$

مثال ۸ ـ ۴ ـ موتور جریان مستقیم سری ۲۰۰ V، ۱۰ A با مدار الکتریکی معادل مطابق شکل (۲۷ ـ ۴) در نظر است. مطلوب است:

الف) جریان مدار آرمیچر تحریک

ب) نیروی محرکه القایی آرمیچر

پ) تلفات تحریک و آرمیچر



شکل ۲۷ ـ ۴

حل:

ـ منبع ولتاژ با تحریک و آرمیچر مدار سری تشکیل داده است. پس:

$$I_A = I_F = I_L = ۱۰\,[A]$$

ـ برای حلقه مدار الکتریکی معادل KVL می‌نویسم و از آن V_T به‌دست می‌آید.

$$-V_T + (R_F + R_A)I_L + E_A = ۰$$
$$-۲۰۰ + (۰/۱ + ۰/۴) \times ۱۰ + E_A = ۰$$
$$E_A = ۲۰۰ - (۰/۵) \times ۱۰ = ۱۹۵\,[V]$$

ـ تلفات تحریک از رابطه (۲۲ ـ ۴) به‌دست می‌آید.

$$P_F = R_F I_F^۲$$
$$P_F = ۰/۴ \times ۱۰^۲ = ۴۰\,[W]$$

ـ تلفات آرمیچر از رابطه (۲۳ ـ ۴) به‌دست می‌آید.

$$P_A = R_A I_A^۲$$
$$P_A = ۰/۱ \times ۱۰^۲ = ۱۰\,[W]$$

تمرین ۵ ـ ۴

۱ ـ یک موتور سری در اتصال به شبکه ۱۱۰ V جریان ۱۰ A دریافت و با سرعت ۶۰۰ RPM می‌گردد. اگر مقاومت مدار آرمیچر ۰/۴Ω و مقاومت مدار تحریک ۰/۶Ω باشد مطلوب است:

الف) نیروی محرکه القایی آرمیچر

ب) بازده در صورتی‌که تلفات ثابت ۵۰ W باشد.

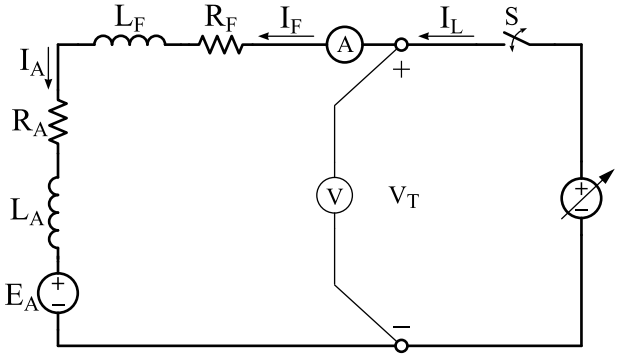
۲ ـ یک موتور سری ۱ KW، ۲۵۰ V با بازده ۸۰ ٪ و مقاومت مدار تحریک و آرمیچر روی هم ۰/۵Ω مفروض است. مطلوب است:

الف) جریان موتور

ب) تلفات ثابت

۲ ـ ۱۲ ـ ۴ ـ راه‌اندازی

برای راه‌اندازی موتورهای سری پس از یادداشت مقادیر نامی شامل ولتاژ، جریان و سرعت از پلاک مشخصات موتور، مدار الکتریکی آرمیچر و تحریک را مطابق شکل (۲۸ ـ ۴) ببندید.



شکل ۲۸ ـ ۴ مدار الکتریکی راه‌اندازی موتور سری

بارنامی را به موتور اعمال کنید. پس از بستن کلید S ولتاژ منبع متغیر را به تدریج زیاد کنید تا ولت‌متر V ولتاژ نامی و آمپرمتر A جریان نامی موتور را نشان دهند. در این شرایط موتور به سرعت نامی خود رسیده است.

به منظور جلوگیری از بروز پدیده فرار، موتورهای تحریک سری را با بار راه‌اندازی می‌کنند و برای جلوگیری از بی‌بار شدن، آن‌ها را به‌صورت مستقیم یا با چرخ دنده به بار متصل می‌کنند.

در صورتی‌که موتور سری بدون بار راه‌اندازی شود جریان موتور کاهش خواهد یافت. از آنجایی که $I_A = I_F = I_L$ می‌باشد جریان مدار تحریک کم

می‌شود و فوران قطب‌ها کاهش می یابد و مطابق آن‌چه که در بخش ۵ ـ ۴ توضیح داده شد سرعت موتور بیش از حد افزایش می‌یابد و پدیده فرار روی می‌دهد.

۳ ـ ۱۲ ـ ۴ ـ آزمایش بارداری

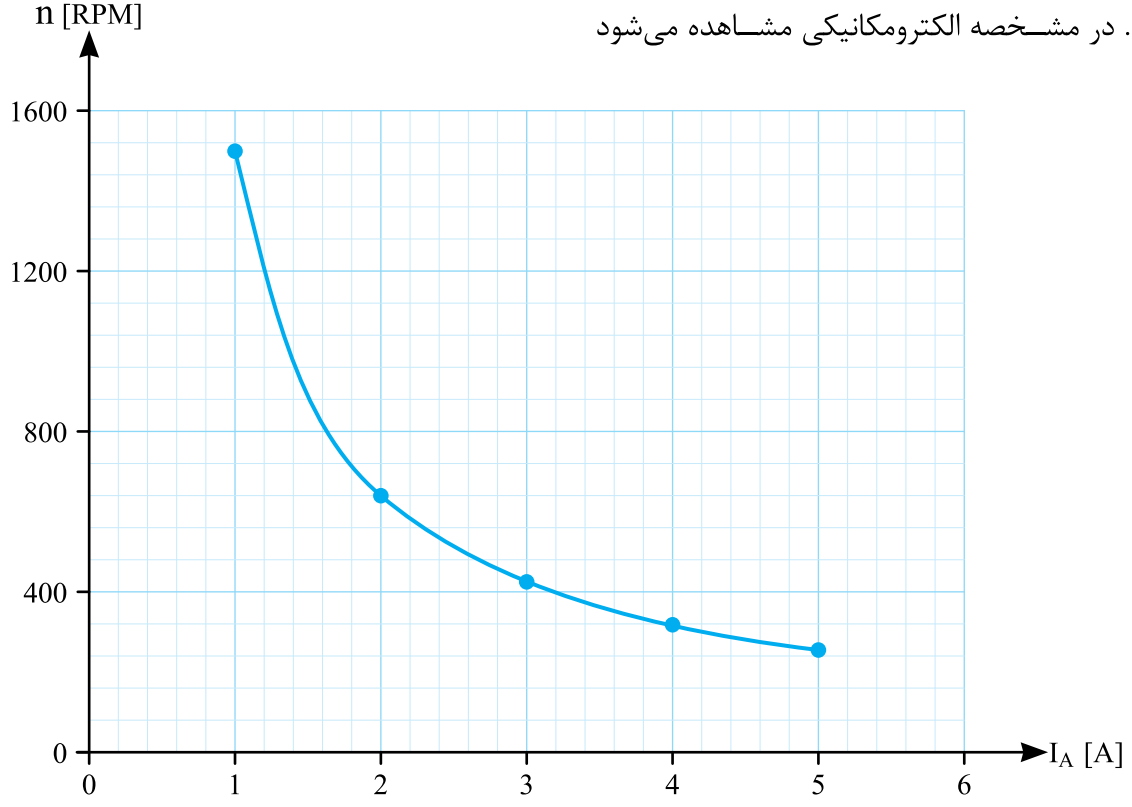
بـرای انجام آزمایش بارداری پس از راه‌اندازی موتور ضمن ثابت نگه داشتن ولتاژ موتور V_T گشتاور بار را طی چند مرحله کاهش دهید و در هر مرحله سـرعت رتور را توسـط دورسنج و جریان آرمیچر را توسط آمپرمتر و گشـتاور بار را توسط گشتاورسـنج اندازه‌گیری و نتایج را در جدولی یادداشـت کنید. این کار را تا جایی ادامه دهید که موتور بدون بار نشود.

جدول (۲ ـ ۴) نتایج آزمایش بارداری موتور تحریک سری ۲۲۰ V، ۱ KW، ۵ A را نشان می‌دهد.

V_T	۲۲۰V ثابت				
n [RPM]	۱۵۰۰	۶۴۰	۴۲۵	۳۱۸	۲۵۵
I_A [A]	۱	۲	۳	۴	۵
T_{load} [Nm]	۱/۳	۶	۱۳/۵	۲۴	۳۷/۵

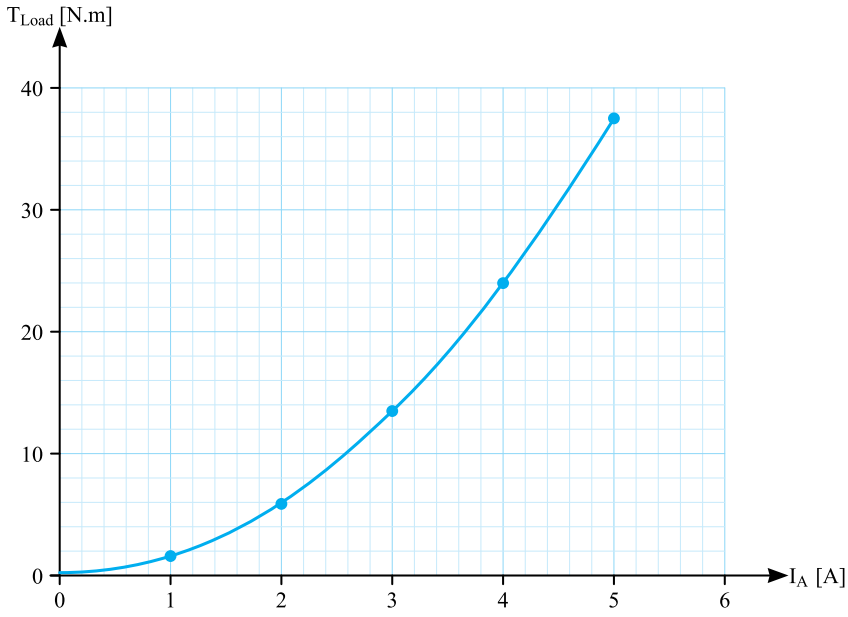
جدول ۲ ـ ۴ نتایج آزمایش بارداری موتور تحریک سری

نقاط نشان‌دهنده مقدار هر سرعت n به ازای جریان آرمیچـر I_A معین جدول (۲ ـ ۴) در شـکل (۲۹ ـ ۴) تحت عنوان مشـخصه الکترومکانیکی نشـان داده شده اسـت. در مشـخصه الکترومکانیکی مشـاهده می‌شود در اثر افزایش گشـتاور بار، موتور سـری سـرعت خود را به‌طـور قابل ملاحظه‌ای کاهـش می‌دهد ولی جریان آرمیچر افزایش قابل ملاحظه‌ای نداشته است.



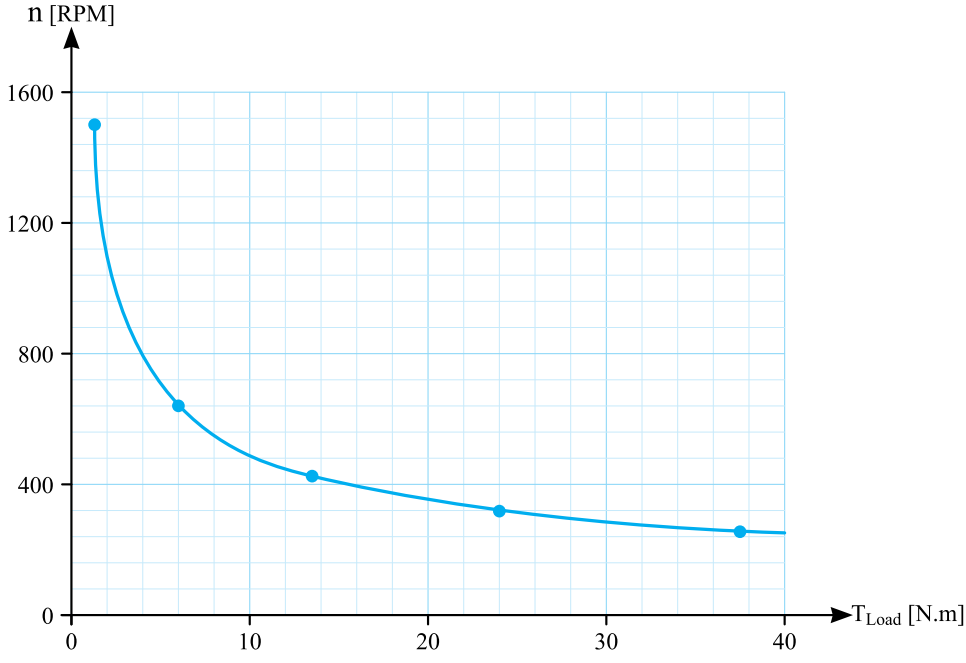
شکل ۲۹ ـ ۴ منحنی مشخصه الکترومکانیکی موتور سری

نقاط نشان‌دهنده مقدار هر گشتاور T_{load} به ازای جریان I_A معین جدول (۲ ـ ۴) در شکل (۳۰ ـ ۴) تحت عنوان مشخصه الکترومغناطیسی نشان داده شده است. در مشخصه الکترومغناطیسی مشاهده می‌شود به ازای افزایش گشتاور بار T_{load} جریان آرمیچر I_A افزایش قابل ملاحظه‌ای نداشته است.



شکل ۳۰ ـ ۴ منحنی مشخصه الکترومغناطیسی موتور سری

نقاط نشان‌دهنده‌ی مقدار هر سرعت n به ازای گشتاور T_{load} معین جدول (۱ ـ ۴) در شکل (۳۱ ـ ۴) تحت عنوان منحنی مشخصه گشتاور سرعت نشان داده شده است. در مشخصه گشتاور سرعت مشاهده می‌شود در اثر گشتاور بار T_{load} سرعت رتور به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش پیدا کرده است.



شکل ۳۱ ـ ۴ منحنی مشخصه گشتاور ـ سرعت موتور تحریک سری

فعالیت ۲ ـ ۴ ـ با استفاده از برنامه صفحه گسترده *Excel* از برنامه‌های مجموعه *Microsoft Office* منحنی مشخصه‌های مربوط به جدول (۲ ـ ۴) را رسم نمایید.

۴ ـ ۱۲ ـ ۴ ـ کاربرد

موتورهای سری دارای تغییرات سرعت زیادی از بی‌باری تا بار کامل می‌باشند و گشتاور راه‌اندازی آن‌ها بسیار زیاد است. این موتورها با افزایش گشتاور بار در محدوده بارنامی سرعت خود را کاهش داده و جریان خود را افزایش می‌دهند. موتورهای سری در جاهایی به‌کار گرفته می‌شوند که نیاز به گشتاور راه‌اندازی زیاد باشد و تغییرات سرعت مهم نباشد. یک نمونه از کاربرد موتور سری، راه‌انداز موتور خودروهای سواری است که بسیار بعید است جایگزینی داشته باشد.

پرسش ۶ ـ ۴

پرسش‌های کامل کردنی

۱ ـ در موتور سری مدار ..... با مدار آرمیچر ..... ارتباط می‌یابد.

۲ ـ به منظور جلوگیری از بروز پدیده فرار، موتور تحریک را ..... راه‌اندازی می‌کنند.

۳ ـ برای جلوگیری از بی‌بار شدن، موتور سری را به‌صورت ..... یا با ..... به بار متصل می‌کنند.

۴ ـ در موتور سری با افزایش گشتاور بار سرعت ..... و جریان آرمیچر ..... می‌یابد.

پرسش‌های صحیح غلط

۱ ـ در موتورهای سری مدار آرمیچر با مدار تحریک، سری می‌شود.

صحیح ☐ غلط ☐

۲ ـ رابطه $+V_T+(R_A+R_F)I_A-E_A=0$ در موتور تحریک سری صادق است.

صحیح ☐ غلط ☐

۳ ـ تلفات مسی در موتور تحریک سری از رابطه $(R_A+R_F)I_A^2$ به‌دست می‌آید.

صحیح ☐ غلط ☐

پرسش‌های تشریحی

۱ ـ علامت اختصاری سری را رسم کنید و اجزای آن را شرح دهید.

۲ ـ مدار الکتریکی معادل موتور سری را رسم کنید اجزای آن را شرح دهید.

۳ ـ قبل از راه‌اندازی موتور سری چه نکاتی را باید مورد توجه قرار داد؟

۴ ـ نحوه راه‌اندازی موتور سری را شرح دهید.

۵ ـ چرا موتورهای سری را زیر بار راه‌اندازی می‌کنند؟

۶ ـ آیا اتصال موتور سری توسط تسمه به بار صحیح است؟ چرا؟

۷ ـ نحوه انجام آزمایش بارداری موتور سری را شرح دهید.

۸ ـ از مقایسه منحنی مشخصه‌های موتور سری با موتور تحریک نشت (یا مستقل) چه نتیجه‌ای به‌دست می‌آید؟

۹ ـ کاربرد موتور سری را بنویسید؟

۱۰ ـ ویژگی‌های موتور سری را بنویسید؟