فصل چهارم

موتورهای جریان مستقیم

هدف‌های رفتاری

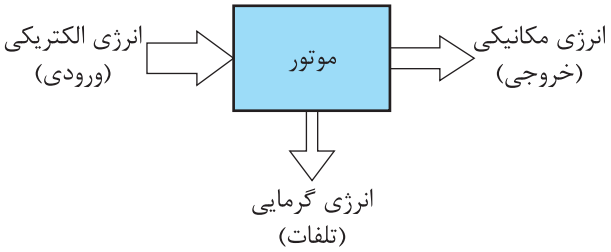
پس از پایان این فصل از فراگیر انتظار می‌رود که:

- موتورهای جریان مستقیم را تعریف کند و آنها را طبقه‌بندی نماید.
- مشخصه‌های اصلی موتورهای جریان مستقیم را تعریف کند و آنها را از یکدیگر تمیز دهد.
- توان، راندمان و تلفات در موتورهای جریان مستقیم را تعریف کند و روابط آنها را توضیح دهد.
- نمودار بخش توان در موتورهای جریان مستقیم را رسم کند و تجزیه و تحلیل نماید.
- موتور تحریک مستقل را تعریف کند و ساختمان داخلی آن را از روی شکل توضیح دهد.
- مدار الکتریکی معادل موتور تحریک مستقل را رسم کند و آن را تجزیه و تحلیل نماید.
- منحنی مشخصه‌های موتور تحریک مستقل را از هم تمیز دهد.
- کاربرد موتور تحریک مستقل را توضیح دهد.
- موتور تحریک شنت را تعریف کند و ساختمان داخلی آن را از روی شکل توضیح دهد.
- مدار الکتریکی معادل موتور شنت را رسم کند و آن را تجزیه و تحلیل نماید.
- منحنی مشخصه‌های موتور شنت را از هم تمیز دهد.
- کاربرد موتور شنت را توضیح دهد.
- موتور تحریک سری را تعریف کند و ساختمان داخلی آن را از روی شکل توضیح دهد.
- مدار الکتریکی معادل موتور سری را رسم کند و آن را تجزیه و تحلیل نماید.
- منحنی مشخصه‌های موتور سری را از هم تمیز دهد.
- کاربرد موتور سری را توضیح دهد.
- موتور تحریک کمپوند را تعریف کند و ساختمان داخلی آن را از روی شکل توضیح دهد.
- مدار الکتریکی معادل موتور کمپوند را رسم کند و آن را تجزیه و تحلیل نماید.
- منحنی مشخصه‌های موتور کمپوند را از هم تمیز دهد.
- کاربرد موتور کمپوند را توضیح دهد.

- روش‌های راه‌اندازی موتورهای جریان مستقیم را توضیح دهد.
- ضرورت کنترل سرعت در موتورهای جریان مستقیم را توضیح دهد.
- عوامل موثر در کنترل سرعت را توضیح دهد.
- روش‌های کنترل سرعت در موتورهای جریان مستقیم را توضیح دهد.
- مدارهای ساده کنترل سرعت به صورت بلوک دیاگرام را شرح دهد.
- چگونگی تغییر جهت گردش موتورهای جریان مستقیم را شرح دهد و مدارهای آن را رسم کند.
- ضرورت ترمز در موتورهای جریان مستقیم را توضیح دهد.
- انواع روش‌های ترمز را نام ببرد و آنها را توضیح دهد.
- به پرسش‌های این فصل پاسخ دهد.
- تمرین‌های این فصل را حل نماید.

مقدمه

موتورهای جریان مستقیم[1] به ماشین‌هایی گفته می‌شود که سیستم الکتریکی آنها جریان مستقیم است و انرژی الکتریکی را به انرژی مکانیکی تبدیل می‌کنند. در فرآیند این تبدیل، بخشی از انرژی به گرما تبدیل خواهد شد که از آن به عنوان «تلفات» نام برده می‌شود (شکل ۱ ـ ۴).



شکل ۱ ـ ۴

ویژگی موتورهای جریان مستقیم تنوع آنها است که با ترکیب‌های متنوع در مدار تحریک آنها می‌توان مشخصه‌های گشتاور ـ دور گوناگونی به‌دست آورد.

موتورهای جریان مستقیم به خاطر سادگی کنترل‌شان در سیستم‌هایی به کار می‌روند که نیاز به کنترل سرعت در محدوده وسیع و گشتاور زیاد دارند.

امروزه این موتورها در توان‌های کم در حد میلی‌وات تا توان‌های زیاد در حد ده مگاوات ساخته می‌شوند.

موتورهای جریان مستقیم با توان‌های کم که با ولتاژ تا ۲۴ ولت کار می‌کنند در اسباب‌بازی‌ها و روبات‌ها استفاده و با توان‌هایی تا چند صد وات که با ولتاژ تا ۲۳۰ ولت کار می‌کنند در لوازم خانگی و ابزارهای صنعتی استفاده می‌شوند. از موتورهای جریان مستقیم با توان‌های زیاد تا ۱۰ MW که از ولتاژ ۱۱۰ ولت تا ۸۰۰ ولت با گشتاور بین ۲۰ N.m تا ۲۰۰۰۰۰ Nm ساخته می‌شوند در قطارها و کارخانجات نورد فولاد استفاده می‌شود.

علاوه بر مواردی چون گشتاور زیاد، امکان کنترل سرعت خوب، موتورهای جریان مستقیم ساختمان محکم دارند و در مقابل لرزش مقاوم هستند.

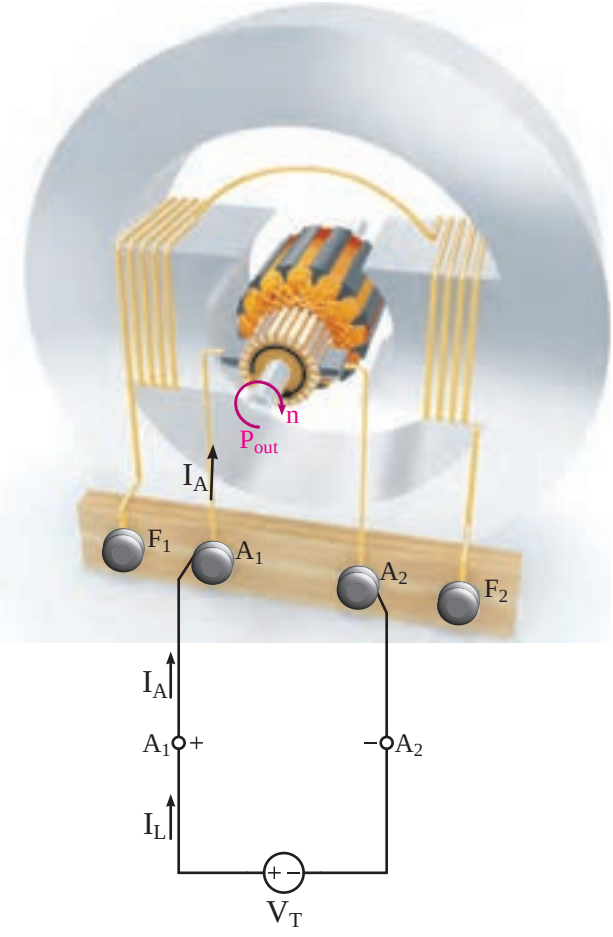
در ماشین‌های جریان مستقیم فرآیند تبدیل انرژی برگشت‌پذیر[2] است. یعنی یک ماشین الکتریکی جریان مستقیم می‌تواند به صورت موتور یا ژنراتور مورد

۱. Direct Current Motors
۲. Revesile

بهره‌برداری قرار گیرد. لذا ساختمان داخلی و شکل ظاهری موتورهای جریان مستقیم با ژنراتورهای جریان مستقیم تفاوت نخواهد داشت.

۱ ـ ۴ ـ پخش توان و تلفات در موتورهای جریان مستقیم

طرح ساختمانی موتور جریان مستقیم در شکل (۲ ـ ۴) نشان داده شده است.



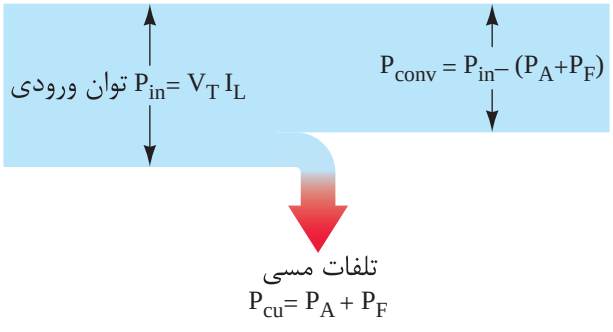
شکل ۲ ـ ۴ طرح ساختمانی موتور جریان مستقیم

استاتور قطب‌های برجسته دارد. در صورتی‌که سیم‌پیچی قطب‌ها توسط جریان I_F تحریک شوند فوران ناشی از آن در فاصله هوایی توزیع خواهد شد. سیم‌پیچی آرمیچر درون میدان قطب‌ها قرار دارد و با اتصال پایانه‌های A_1 و A_2 آن به منبع ولتاژ جریان مستقیم به ولتاژ V_T، جریان I_A در سیم‌پیچی آرمیچر جاری شده و در آن گشتاور ایجاد می‌کند و رتور را می‌گرداند. لذا ماشین جریان مستقیم حالت موتوری به خود می‌گیرد.

توان الکتریکی مورد نیاز توسط منبع DC تحت ولتاژ V_T و جریان I_L تامین خواهد شد که در موتورها به عنوان «توان ورودی» محسوب می‌شود و آن را با P_{in} نشان داده و از رابطه (۱ ـ ۴) به‌دست می‌آید.

$$P_{in} = V_T \cdot I_L \qquad (۴-۱)$$

با جاری شدن جریان در سیم‌پیچی‌های آرمیچر و تحریک، این سیم‌پیچی‌ها گرم می‌شوند. مقداری از توان ورودی P_{in} که در سیم‌پیچی‌های آرمیچر و تحریک به گرما تبدیل می‌شود را «تلفات مسی» گویند و با P_{cu} نشان می‌دهند. بخشی از تلفات مسی که در سیم‌پیچی آرمیچر می‌باشد را «تلفات آرمیچر» گویند و با P_A نشان می‌دهند. بخش دیگر تلفات مسی در سیم‌پیچی تحریک است و آن را «تلفات تحریک» نامیده و با P_F نشان می‌دهند. تلفات مسی (P_A+P_F) از توان ورودی P_{in} می‌کاهد و بعد از کم شدن، توان باقی‌مانده را «توان تبدیل شده» نامیده و با P_{conv} نشان می‌دهند. این فرآیند در شکل (۳ ـ ۴) نشان داده شده است.



شکل ۳ ـ ۴

توان تبدیل شـــده P_{conv}، توان الکتریکی است که به توان مکانیکی تبدیل شده است. توان تبدیل شده P_{conv} از رابطه (۱ ـ ۳) نیز قابل محاسبه است.

$$P_{conv} = E_A \cdot I_A$$

در این رابطه:

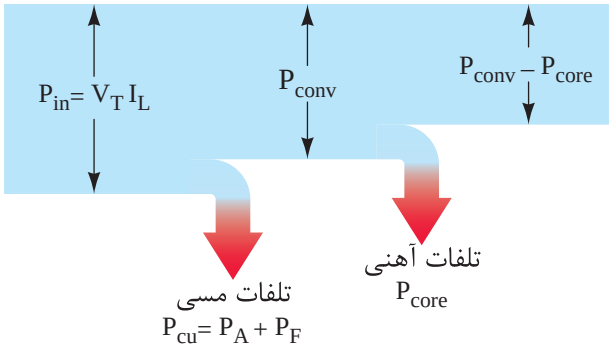
P_{conv} توان تبدیل شده. [W]

E_A نیروی محرکه القایی آرمیچر [V]

I_A جریان آرمیچر [A]

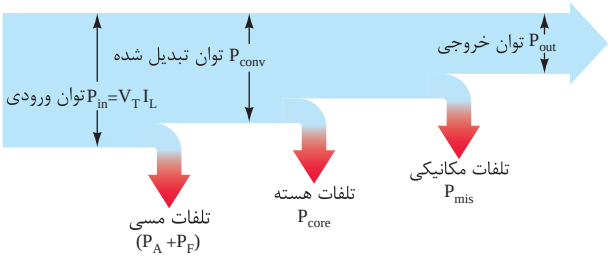
با جاری شدن فوران در هسته استاتور و آرمیچر و در اثر گردش آرمیچر، تلفات فوکو و هیســـترزیس به‌وجود می‌آید. مقداری از توان الکتریکی ورودی P_{in} که در اثر تلفات فوکو و هیســـترزیس به گرما تبدیل می‌شـــود را «تلفات هسته» گویند و با P_{core} نشان می‌دهند.

تلفات هســـته P_{core} از تـــوان تبدیل شـــده P_{conv} می‌کاهد. این فرآیند در شـــکل (۴ ـ ۴) نشان داده شده است.



شکل ۴ ـ ۴

با گردش رتور، اصطکاک میان قســـمت‌های ساکن و متحرک ایجاد می‌شـــود. بخشـــی از این اصطکاک در یاتاقان‌هـــا و بخش دیگر آن در اثر اصطکاک قســـمت متحرک و هوای درون ماشین به‌وجود می‌آید. مقداری از توان مکانیکی ورودی P_{in} که در اثر اصطکاک به گرما تبدیل می‌شـــود را «تلفات مکانیکـــی» گویند و با P_{mis} نشـــان می‌دهند. تلفات مکانیکـــی P_{mis} همراه با تلفات هســـته P_{core} از توان تبدیل شده P_{conv} می‌کاهد و بعد از کم شـــدن، توان باقی‌مانده را «توان خروجی» گویند و با P_{out} نشـــان می‌دهند. این فرآیند در شکل (۵ ـ ۴) نشان داده شده است. به این شکل «نمودار پخش توان» موتورهای جریان مستقیم گویند.



شکل ۵ ـ ۴ نمودار پخش توان در موتورهای جریان مستقیم

مثال ۱ ـ ۴ ـ مـــوتور جـــریـــان مستـــقیم ۲۰۰ V، ۱۰ A بـــا تلفـــات مســـی ۵۰ W و هســـته ۴۰ W و مکانیکی ۶۰ W مفروض است.

مطلوب است:

الف ـ توان ورودی

ب ـ توان تبدیل شده

ج ـ توان خروجی

حل:

ـ بـــا توجه به نمـــودار پخش توان شـــکل (۴ ـ ۴) داریم:

$$P_{in} = V_T I_L = ۲۰۰ \times ۱۰ = ۲۰۰۰ [W]$$

$$P_{conv} = P_{in} - (P_A + P_F)$$

$$P_{conv} = ۲۰۰۰ - ۵۰ = ۱۹۵۰ [W]$$

$$P_{out} = P_{conv} - P_{mis} - P_{core}$$
$$P_{out} = ۱۹۵۰ - ۴۰ - ۶۰ = ۱۸۵۰[W]$$

۲ ـ ۴ ـ تلفات کل موتورهای جریان مستقیم

حاصل جمع تلفات موتورهای جریان مستقیم را «تلفات کل» گویند و آن را با ΔP نشان می‌دهند. با توجه به نمودار پخش توان شکل (۴ ـ ۴) تلفات کل برابر است با:

تلفات مکانیکی + تلفات هسته + تلفات مسی = تلفات کل

که در فصل قبل آن را با رابطه (۳ ـ ۳) نشان دادیم:

$$\Delta P = (P_A + P_F) + P_{core} + P_{mis}$$

تفاوت بین توان ورودی P_{in} و توان خروجی P_{out}، تلفات کل ΔP است و آن را با رابطه (۴ ـ ۳) نشان دادیم.

$$\Delta P = P_{in} - P_{out}$$

تلفات مکانیکی P_{mis} و تلفات هسته P_{core} مطابق آنچه که در بخش ۲ ـ ۳ توضیح داده شد را «تلفات ثابت» نامیده و تلفات مسی که شامل تلفات آرمیچر P_A و تلفات تحریک P_F است را «تلفات متغیر» گویند.

مثال ۲ ـ ۱ ـ موتور جریان مستقیم ۲۲۰ V، ۱۶/۵ A مفروض است. تلفات آرمیچر ۳۰ W و تلفات تحریک ۲۰ W می‌باشد. اگر تلفات هسته ۶۰ W و تلفات مکانیکی ۴۰ W باشد مطلوب است:

الف) تلفات متغیر

ب) تلفات ثابت

ج) توان خروجی

حل:

$$\text{تلفات متغیر} = P_A + P_F = ۳۰ + ۲۰ = ۵۰W$$

$$\text{تلفات ثابت} = P_{core} + P_{mis} = ۶۰ + ۴۰ = ۱۰۰W$$

ـ توان ورودی از رابطه (۱ ـ ۴) به‌دست می‌آید.

$$P_{in} = V_T I_L = ۲۲۰ \times ۱۶/۵ = ۳۶۳۰[W]$$

ـ تلفات کل از رابطه (۳ ـ ۳) به‌دست می‌آید.

$$\Delta P = P_A + P_F + P_{core} + P_{mis}$$
$$\Delta P = ۳۰ + ۲۰ + ۶۰ + ۴۰ = ۱۵۰[W]$$

ـ توان نیز خروجی از رابطه (۴ ـ ۳) به‌دست می‌آید.

$$\Delta P = P_{in} - P_{out}$$
$$P_{out} = P_{in} - \Delta P$$
$$P_{out} = ۳۶۳۰ - ۱۵۰ = ۳۴۸۰[W]$$

۳ ـ ۴ ـ بازده موتورهای جریان مستقیم

در موتورهای جریان مستقیم توان ورودی P_{in} الکتریکی است و توان خروجی P_{out} مکانیکی می‌باشد. نسبت توان خروجی به توان ورودی را «بازده» یا راندمان نامیده و آن را با η نشان می‌دهند که از رابطه (۵ ـ ۳) به‌دست می‌آید.

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

بـــازده را بر حسب درصد بیان می‌کنند و از رابـطه (۶ ـ ۳) محاسبه می‌شود.

$$\%\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times ۱۰۰$$

مثال ۳ ـ ۴ ـ یـک مـوتور جریان مستقیم ۴ KW، ۲۵۰ V، ۲۰ A مفروض است. مطلوب است محاسبه:

الف ـ بازده بر حسب درصد

ب ـ تلفات

حل:

ـ توان ورودی از رابطه (۱ ـ ۴) به‌دست می‌آید.

$$P_{in} = V_T \cdot I_L = ۲۵۰ \times ۲۰ = ۵۰۰۰ [W]$$

ـ توان خروجی بر حسب KW است که آن را به W تبدیل می‌کنیم.

$$P_{out} = ۴_{kw} \times ۱۰۰۰ = ۴۰۰۰ [W]$$

ـ بازده بر حســب درصد از رابطه (۶ ـ ۳) به‌دســت می‌آید.

$$\%\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times ۱۰۰$$

$$\%\eta = \frac{۴۰۰۰}{۵۰۰۰} \times ۱۰۰ = \%۸۰$$

ـ تلفات از رابطه (۴ ـ ۳) به‌دست می‌آید.

$$\Delta P = P_{in} - P_{out}$$

$$\Delta P = ۵۰۰۰ - ۴۰۰۰ = ۱۰۰۰ [W]$$

۴ ـ ۴ ـ گشتاور موتورهای جریان مستقیم

گشـــتاور آرمیچر موتورهای جریان مستقیم ناشی از جاری شدن جریان در سیم‌پیچی آرمیچر واقع در میدان مغناطیســـی قطب‌های استاتور اســـت. با عبور جریان از ســـیم‌پیچی آرمیچر I_A، از طرف فوران مغناطیســـی میدان قطب‌های استاتور φ به هادی‌های حامل جریان سیم‌پیچی آرمیچر نیروی مغناطیسی وارد می‌شود. این نیرو حول محور رتور گشتاور آرمیچر T_A ایجاد می‌نماید و از رابطه (۲۵ ـ ۲) به‌دست می‌آید.

$$T_A = K \varphi I_A$$

با ایجاد گشتاور، سیم‌پیچی آرمیچر شروع به گردش در فوران مغناطیسی قطب‌های استاتور می‌کند و در آن $\frac{\Delta \varphi}{\Delta t}$ پدید آمده و طبق قانون القای الکترومغناطیســـی فاراده نیـــروی محرکه E_A در ســـیم‌پیچی آرمیچر القا می‌شـــود. نیروی محرکه القایی در ســـیم‌پیچی آرمیچر E_A از رابطه (۲۰ ـ ۲) به‌دست می‌آید.

$$E_A = K \cdot \varphi \cdot \omega$$

مشاهده می‌شود در ماشـــین‌های الکتریکی جریان مستقیم پدیده‌های ژنراتوری و موتوری به طور هم زمان در سیم‌پیچی آرمیچر شکل می‌گیرند.

مقدار ضریب K از رابطه‌های (۲۵ ـ ۲) و (۲۰ ـ ۲) به‌دست می‌آید. رابطه (۲ ـ ۴)

$$K = \frac{T_A}{\varphi I_A} = \frac{E_A}{\varphi \omega} \qquad (۴-۲)$$

گشـــتاور آرمیچر T_A از تناسب رابطه (۲ ـ ۴) قابل

محاسبه است. رابطه (۳ ـ ۴)

$$T_A = \frac{E_A I_A}{\omega} \qquad (۴-۳)$$

در رابطه (۳ ـ ۴) مقدار $E_A I_A$ بیانگر توان تبدیل شده P_{conv} است. با جایگزینی آن، رابطه (۴ ـ ۴) به‌دست خواهد آمد.

$$T_A = \frac{P_{conv}}{\omega} \qquad (۴-۴)$$

رابطه (۴ ـ ۴) تعریف جدیدی برای گشتاور آرمیچر ارایه می‌دهد. طبق این تعریف «نسبت توان تبدیل شده P_{conv} به سرعت زاویه‌ای رتور ω گشتاور آرمیچر T_A نامیده می‌شود.» بر اساس همین تعریف «نسبت توان خروجی P_{out} به سرعت زاویه‌ای رتور ω ، گشتاور بار T_{load} می‌نامند» و از رابطه (۵ ـ ۴) به‌دست می‌آید.

$$T_{load} = \frac{P_{out}}{\omega} \qquad (۴-۵)$$

بدیهی است توان تبدیل شده P_{conv} بزرگ‌تر از توان خروجی P_{out} است در نتیجه گشتاور آرمیچر نیز بیشتر از گشتاور بار خواهد شد.

مثال ۴ ـ ۴ موتور جریان مستقیم ۸۰ KW، ۸۰۰ V و سرعت ۱۵۰۰ RPM مفروض است. اگر در این سرعت نیروی محرکه القایی آرمیچر ۷۵۰ V و جریان آرمیچر ۱۲۵ A باشد مطلوب است:

الف ـ گشتاور آرمیچر T_A

ب ـ گشتاور بار T_{load}

حل:

ـ سرعت زاویه موتور از رابطه (۱۹ ـ ۲) به‌دست می‌آید.

$$\omega = \frac{۲\pi n}{۶۰} = \frac{۲\times ۳/۱۴\times ۱۵۰۰}{۶۰} = ۱۵۷\left[\frac{rad}{sec}\right]$$

ـ از رابطه (۳ ـ ۴) گشتاور آرمیچر به‌دست می‌آید.

$$T_A = \frac{E_A I_A}{\omega} = \frac{۷۵۰\times ۱۲۵}{۱۵۷} = ۵۹۷/۱[N.m]$$

ـ از رابطه (۵ ـ ۴) گشتاور بار به‌دست می‌آید.

$$T_{load} = \frac{P_{out}}{\omega} = \frac{۸۰\times ۱۰^{۳}}{۱۵۷} = ۵۰۹/۵[N.m]$$

پرسش ۱ ـ ۴

پرسش‌های کامل کردنی

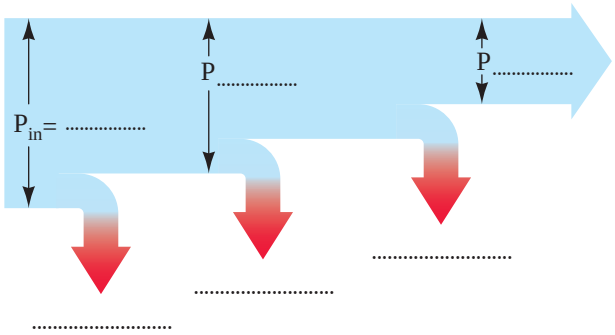
۱ ـ فرآیند تبدیل انرژی الکتریکی به انرژی مکانیکی توسط ..... صورت می‌گیرد.

۲ ـ مقداری از توان که در اثر ..... در ..... تبدیل به ..... می‌شود را تلفات مکانیکی گویند.

۳ ـ نسبت توان ..... به سرعت ..... را گشتاور آرمیچر نامند.

۴ ـ نسبت توان ..... به سرعت..... را گشتاور بار نامند.

۵ ـ نمودار پخش توان موتور جریان مستقیم شکل زیر را تکمیل کنید.



پرسش‌های صحیح، غلط

۱ ـ حاصل جمع تلفات مکانیکی و تلفات تحریک و تلفات آرمیچر را تلفات کل گویند.

☐ صحیح ☐ غلط

۲ ـ تلفات مکانیکی و تلفات هسته را تلفات متغیر گویند.

☐ صحیح ☐ غلط

پرسش‌های تشریحی

۱ ـ مفهوم توان تبدیل شده در موتورهای جریان مستقیم را شرح دهید.

۲ ـ تلفات آرمیچر را شرح دهید.

۳ ـ ویژگی‌های موتورهای جریان مستقیم را بنویسید.

۴ ـ تلفات متغیر در موتورهای جریان مستقیم کدامند؟

۵ ـ علت پیدایش حالت موتوری و ژنراتوری در ماشین‌های جریان مستقیم را شرح دهید؟

۶ ـ تلفات در موتورهای جریان مستقیم را تعریف کنید.

۷ ـ به چه دلیل به تلفات مسی، تلفات متغیر گویند؟

تمرین ۱ ـ ۴

۱ ـ موتور جریان مستقیم ۱ kW، ۲۰۰ V با توان تبدیل شده ۱۱۰۰ W و تلفات مسی ۵۰ W مفروض است. مطلوب است:

الف ـ تلفات مکانیکی و هسته روی هم

ب ـ توان ورودی موتور

پ ـ جریان موتور

۲ ـ موتور جریان مستقیم ۱۰ kW، ۵۰۰ V با تلفات ثابت ۷۰۰ W و متغیر ۸۰۰ W مفروض است. مطلوب است:

الف ـ تلفات کل

ب ـ توان ورودی

پ ـ توان تبدیل شده

۳ ـ یک موتور جریان مستقیم ۱۰ HP، ۲۵۰ V با بازده ۷۴/۵ ٪ مفروض است. مطلوب است:

الف ـ توان ورودی

ب ـ جریان موتور

۴ ـ یک موتور جریان مستقیم ۴۵ kW باری را با گشتاور ۴۳۰ N.m به گردش درآورده است. سرعت رتور را برحسب RPM به‌دست آورید.

۵ ـ یک موتور جریان مستقیم ۹۰ kW با تلفات ثابت ۲/۵ kW باری را با سرعت ۱۲۰۰ RPM می‌گرداند. مطلوب است:

الف ـ گشتاور بار

ب ـ گشتاور آرمیچر

۵ ـ ۴ ـ پدیده مهار گسستگی در موتورهای جریان مستقیم

افزایش سرعت موتورهای جریان مستقیم در اثر کاهش فوران مغناطیسی قطب‌ها را «مهارگسستگی[۱]» گویند.

نیروی محرکه القایی آرمیچر از رابطه به‌دست می‌آید. بر اساس این رابطه سرعت از رابطه (۶ ـ ۴) تعیین می‌شود.

$$\omega = \frac{E_A}{K \cdot \varphi} \qquad (۴-۶)$$

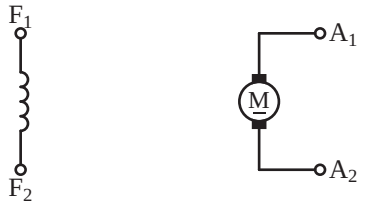
گشتاور آرمیچر موتورهای جریان مستقیم از رابطه (۲۵ ـ ۲) به‌دست می‌آید.

$$T_A = K \cdot \varphi \cdot I_A$$

اگر در اثر افزایش مقاومت مدار تحریک، جریان سیم‌پیچی تحریک I_F کاهش یابد فوران مغناطیسی قطب‌ها φ کم می‌شود و طبق رابطه (۲۵ ـ ۲) گشتاور آرمیچر کاهش می‌یابد. در این صورت اگر موتور بار داشته باشد، از حرکت می‌ایستد و جریان سیم‌پیچی آرمیچر افزایش می‌یابد و به آن آسیب خواهد رسید. در صورتی‌که موتور بدون بار باشد کاهش فوران طبق رابطه (۶ ـ ۴) منجر به افزایش سرعت می‌شود و مهار گسسته خواهد شد و به یاتاقان‌ها آسیب می‌رسد؛ هم‌چنین در اثر افزایش جریان به سیم‌پیچی آرمیچر آسیب می‌رسد.

۶ ـ ۴ ـ علامت اختصاری و مدار الکتریکی معادل موتورهای جریان مستقیم

طرح ساختمانی موتور جریان مستقیم شکل (۲ ـ ۴) دو قسمت مجزا از یکدیگر را نشان می‌دهد. یکی سیم‌پیچی تحریک بر روی استاتور و دیگری سیم‌پیچی آرمیچر بر روی رتور می‌باشد. علامت اختصاری این دو قسمت در شکل (۶ ـ ۴) نشان داده شده است. به کمک علامت‌های اختصاری می‌توان نمایش ساده‌ای از موتورهای جریان مستقیم ارایه کرد.



ب الف

شکل ۶ ـ ۴ الف ـ علامت اختصاری آرمیچر
ب ـ علامت اختصاری تحریک

از علامت اختصاری برای نشان دادن اتصالات الکتریکی در موتورهای جریان مستقیم استفاده می‌شود.

تحلیل الکتریکی موتورهای جریان مستقیم به منظور محاسبه کمیت‌های الکتریکی ولتاژ، جریان و توان با استفاده از مدار الکتریکی معادل امکان‌پذیر است. مدار الکتریکی معادل سیم‌پیچی تحریک، یک مدار RL سری می‌باشد که در شکل (۷ ـ ۴) نشان داده شده است.

۱. Run awav

شکل ۷ ـ ۴ مدار الکتریکی معادل سیم‌پیچی تحریک

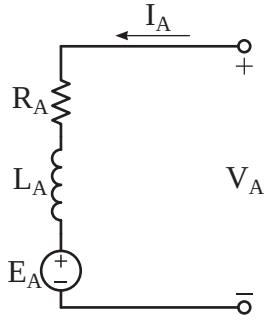
در این شکل:

R_F معادل مقاومت اهمی سیم‌پیچی تحریک

L_F ضریب خود القایی سیم‌پیچی تحریک

I_F جریان سیم‌پیچی تحریک

مدار الکتریکی معادل سیم‌پیچی آرمیچر در شکل (۸ ـ ۴) نشان داده شده است.



شکل ۸ ـ ۴ مدار الکتریکی معادل سیم‌پیچی آرمیچر

در این شکل:

E_A معادل نیروی محرکه القایی در سیم‌پیچی آرمیچر [V]

R_A معادل مقاومت اهمی سیم‌پیچی آرمیچر [Ω]

I_A جریان سیم‌پیچی آرمیچر [A]

V_A ولتاژ دو سر آرمیچر [V]

L_A ضریب خود القایی سیم‌پیچی آرمیچر

۷ ـ ۴ ـ مشخصات موتورهای جریان مستقیم

موتورهای جریان مستقیم توسط کارخانه سازنده مورد آزمایش‌های متعددی قرار خواهند گرفت. نتایجی که از این آزمایش‌ها به‌دست می‌آید به عنوان «مشخصات موتور جریان مستقیم» ارایه خواهند شد. این مشخصات به سه گروه تقسیم می‌شوند.

۱ ـ گروه اول شامل مشخصاتی است که بر روی پلاک ماشین ثبت می‌شود. این مشخصات را «مقادیر نامی» می‌نامند. به هنگام استفاده از موتور تجاوز از مقادیر نامی باعث بروز مشکلات جدی و آسیب به سیم‌پیچی‌های ماشین و قسمت‌های مکانیکی آن خواهد شد.

۲ ـ گروه دوم شامل مشخصاتی است که پس از تنظیم، ترسیم می‌شوند و به عنوان «منحنی مشخصه» به صورت سند در می‌آیند. این منحنی مشخصات عبارتند از:

- منحنی مشخصه الکترومکانیکی

منحنی مشخصه الکترومکانیکی تأثیر تغییرات سرعت گردش رتور n بر جریان سیم‌پیچی آرمیچر I_A را در ولتاژ V_T ثابت نشان می‌دهد.

- منحنی مشخصه الکترومغناطیسی

منحنی مشخصه الکترومغناطیسی تأثیر تغییرات گشتاور بار T_{load} بر جریان سیم‌پیچی آرمیچر I_A را در ولتاژ ثابت V_T نشان می‌دهد.

- منحنی مشخصه گشتاور ـ سرعت

منحنی مشخصه گشتاور ـ سرعت تأثیر تغییرات گشتاور بار T_{load} بر سرعت گردش رتور n را در ولتاژ V_T ثابت نشان می‌دهد.

۳ ـ گروه ســوم شامل مشخصاتی است که از تجزیه و تحلیل اطلاعات مشــخصات گروه اول و دوم به‌دست آمده و محاسبه می‌شوند. یکی از این مشخصات کمیت «تنظیم سرعت[۱] S_R» اســت که تغییرات سرعت نسبت به ســرعت بارداری را نشان می‌دهد و از رابطه (۷ ـ ۴) به‌دست می‌آید.

$$S_R = \frac{n_\circ - n}{n} \qquad (۴\text{-}۷)$$

تنظیم سرعت را به صورت درصد بیان می‌کنند و از رابطه (۸ ـ ۴) محاسبه می‌شود.

$$\%S_R = \frac{n_\circ - n}{n} \times ۱۰۰ \qquad (۴\text{-}۸)$$

که در این رابطه:

S_R تنظیم سرعت

$n_\circ$ سرعت بی‌باری رتور

n سرعت بارداری رتور

هرچــه درصد تنظیم ســرعت کمتر باشــد، در اثر افزایش گشتاور بار ســرعت رتور کمتر کاهش می‌یابد. بنابراین سرعت رتور از پایداری بیشتری برخودار است.

مثال ۵ ـ ۴ ـ یک موتور جریان مســتقیم ۲ KW در بی‌بــاری با ســرعت ۱۵۰۰ RPM و در بار کامل با سرعت ۱۴۴۰ RPM می‌گردد. مطلوب است:

الف ـ درصد تنظیم سرعت

ب ـ گشتاور بار

حل:

ـ درصد تنظیم ســرعت از رابطه (۸ ـ ۴) به‌دســت می‌آید.

$$\%S_R = \frac{n_\circ - n}{n} \times ۱۰۰$$

$$\%S_R = \frac{۱۵۰۰ - ۱۴۴۰}{۱۴۴۰} \times ۱۰۰ = \%۴/۱$$

ـ از رابطــه (۱۹ ـ ۲) ســرعت زاویــه‌ای به‌دســت می‌آید.

$$\omega = \frac{۲\pi n}{۶۰} = \frac{۲ \times ۳/۱۴ \times ۱۴۴۰}{۶۰} = ۱۵۰/۷۲ \left[\frac{rad}{sec}\right]$$

ـ از رابطه (۵ ـ ۴) گشتاور بار به‌دست می‌آید.

$$T_{load} = \frac{P_{out}}{\omega} = \frac{۲ \times ۱۰^۳}{۱۵۰/۷۲} = ۱۳/۲۶ [N.m]$$

پرسش ۲ ـ ۴

پرسش‌های کامل کردنی

۱ ـ منحنی مشــخصه الکترومکانیکی تأثیر تغییرات ..... بر ..... را نشان می‌دهد.

۲ ـ هرچه درصد تنظیم سرعت ..... باشد، سرعت رتور از پایداری ..... برخوردار است.

پرسش‌های صحیح، غلط

۱ ـ منحنی مشخصه گشتاور ـ سرعت تأثیر گشتاور بار بر سرعت گردش رتور را نشان می‌دهد.

صحیح ☐ غلط ☐

۲ ـ هرچه درصد تنظیم سرعت بیشتر باشد سرعت

۱. Speed Regulation

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]

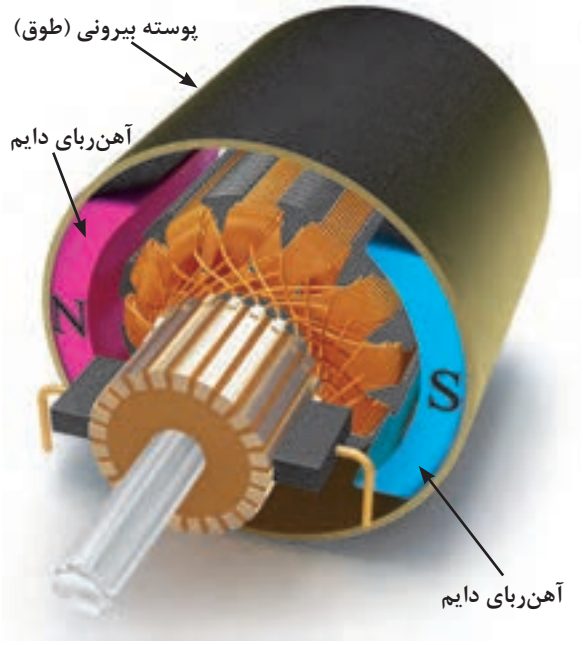
۹ ـ ۴ ـ موتورهای جریان مستقیم با آهن‌ربای دایم

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

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

موتورهای DC با آهن‌ربای دایم PMDC به جای ســـیم‌پیچی تحریـــک دارای آهن‌ربای دایم هســـتند و ساختمان ساده‌تری دارند. عدم نیاز به تحریک خارجی برای تولید میدان مغناطیسی و نبود تلفات تحریک نیز از مزایای آنها به شـــمار می‌آیـــد. از طرف دیگر تضعیف میدان مغناطیس آهن‌رباهـــای دایم در اثر عکس‌العمل آرمیچر و عدم کنترل بر میدان مغناطیســـی 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 شیشـــه و هم‌چنین در مسواک‌ها به کار می‌روند. به‌طور کلی در جاهایی که نیاز به موتور کوچک و ارزان‌قیمت باشـــد 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 حجـــم ..... 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 مســـتقیم چگونه طبقه‌بندی می‌شوند؟

۲ ـ انواع موتورهای جریان مستقیم را نام ببرید.

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

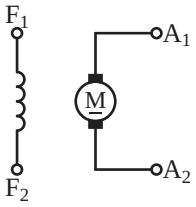
۴ ـ وظیفـــه پوســـته در موتورهـــای PMDC را بنویسید.

۵ ـ مزایـــا و معایـــب موتورهای جریان مســـتقیم با آهن‌ربای دایم را بنویسید.

۶ ـ کاربرد موتورهای PMDC را بنویسید.

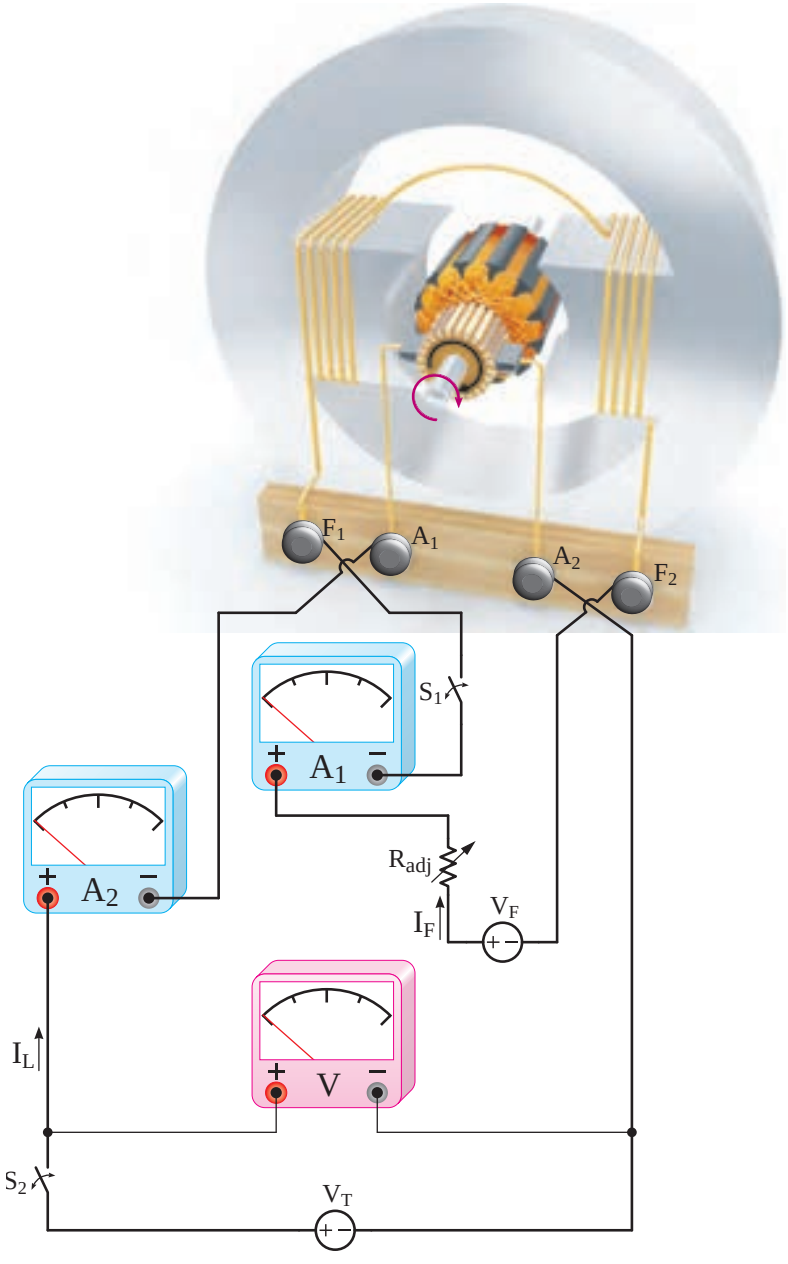
۱۰ ـ ۴ ـ موتورهای جریان مستقیم با تحریک مستقل

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.

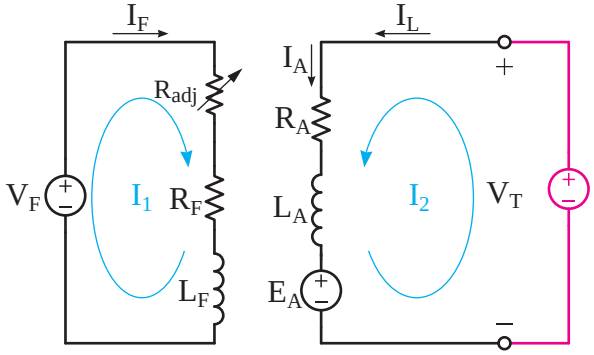


شکل ۱۲ ـ ۴ طرح ساختمانی موتور تحریک مستقل

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.

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

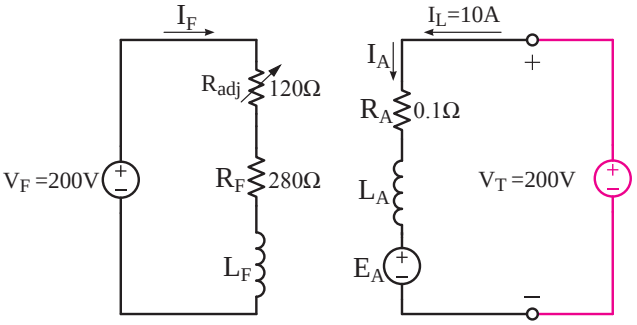
$$P_A = R_A I_A^2 \qquad (۴-۱۴)$$

مثـــال ۶ ـ ۴ ـ موتور جریان مســـتقیم 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 بـــرای مدار تحریک حلقـــه $I_۱$ را در جهت حرکت عقربه‌های ساعت انتخاب می‌کنیم و KVL می‌نویسیم تا جریان تحریک به‌دست آید.

$$KVL۱) \quad -V_F + R_{adj} I_۱ + R_F I_۱ = ۰$$
$$-۲۰۰ + ۱۲۰ I_۱ + ۲۸۰ I_۱ = ۰$$
$$-۲۰۰ + ۴۰۰ I_۱ = ۰$$
$$۴۰۰ I_۱ = ۲۰۰$$
$$I_۱ = \frac{۲۰۰}{۴۰۰} = ۰/۵ \,[A]$$

ـ حلقه $I_۱$ از محل I_F می‌گذرد.

$$I_F = I_۱ = ۰/۵ \,[A]$$

ـ برای مـــدار آرمیچر حلقـــه $I_۲$ را در خلاف جهت حرکت عقربه‌های ســـاعت انتخـــاب می‌کنیم و KVL می‌نویسیم.

$$KVL۲) \quad -V_T + R_A I_۲ + E_A = ۰$$

ـ حلقـــه $I_۲$ از محـــل I_A و در جهـــت آن می‌گذرد؛ بنابراین خواهیم داشت:

$$I_A = I_L = I_۲ = ۱۰ \,[A]$$

ـ با جایگزینی $I_۲$ در رابطه KVL۲ خواهیم داشت:

$$KVL۲) \quad -۲۰۰ + ۰/۱(۱۰) + E_A = ۰$$
$$E_A = ۱۹۹ \,[V]$$

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

$$P_F = (R_A + R_{adj}) I_F^2$$
$$P_F = (۲۸۰ + ۱۲۰) \times ۰/۵^2 = ۱۰۰ \,[W]$$

$$P_A = R_A I_A^2$$
$$P_A = ۰/۱ \times ۱۰^2 = ۱۰ \,[W]$$

تمرین ۳ ـ ۴

۱ ـ یک موتور جریان مســـتقیم 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 مســـتقیم 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:

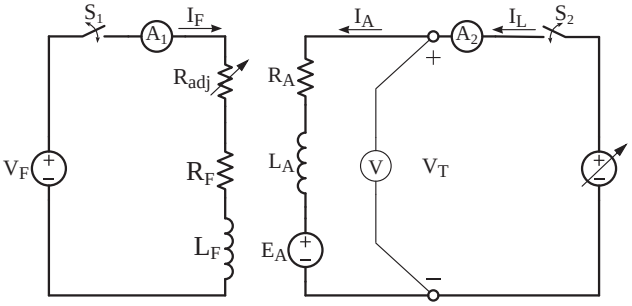
الف ـ مقاومت مدار تحریک

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_0 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»

۱. Torque Meter

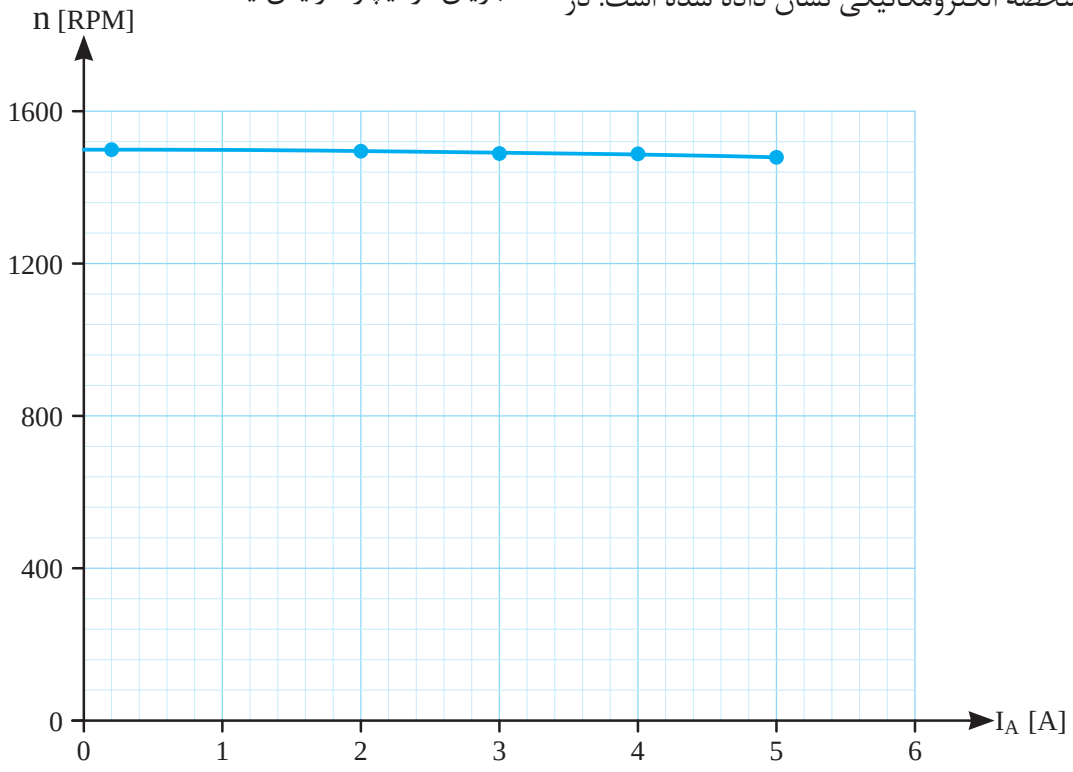
به‌دســـت آید. اگر نقاط نشـــان‌دهنده سرعت n به ازای گشـــتاور T_{load} معینی را بر روی دستگاه مختصاتی که محور افقی آن گشتاور T_{load} و محور عمودی آن سرعت n باشد نشان دهیم «منحنی مشخصه گشتاور ـ سرعت» به‌دست می‌آید.

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

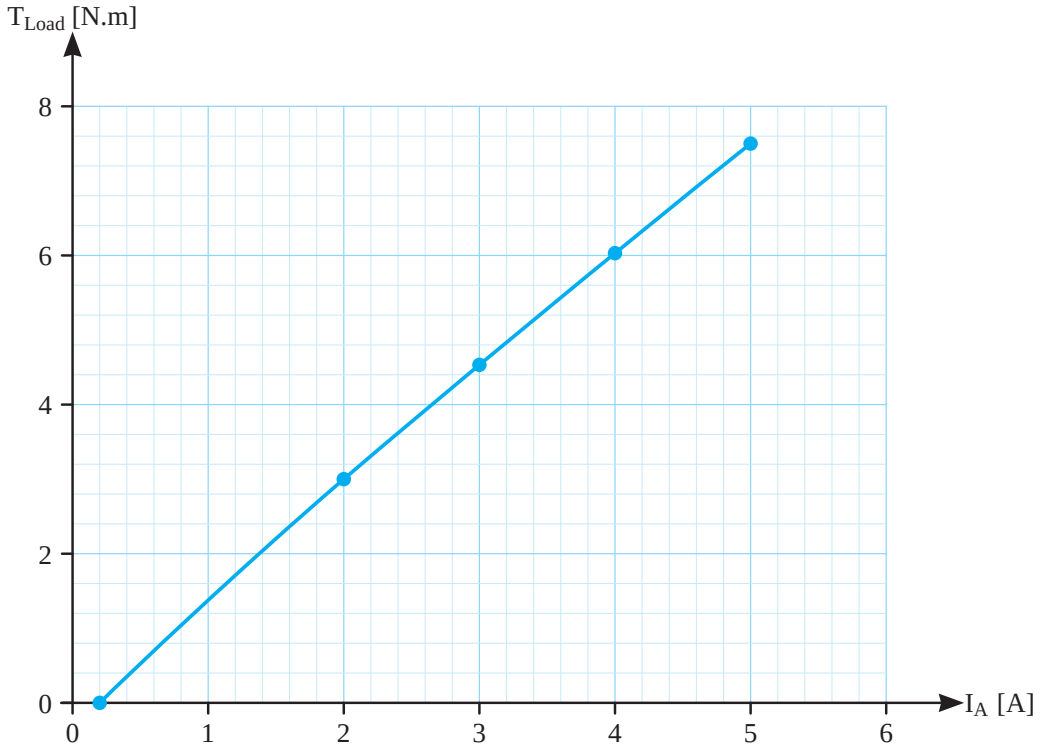
جدول ۱ ـ ۴ نتایج آزمایش بارداری موتور تحریک مستقل

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



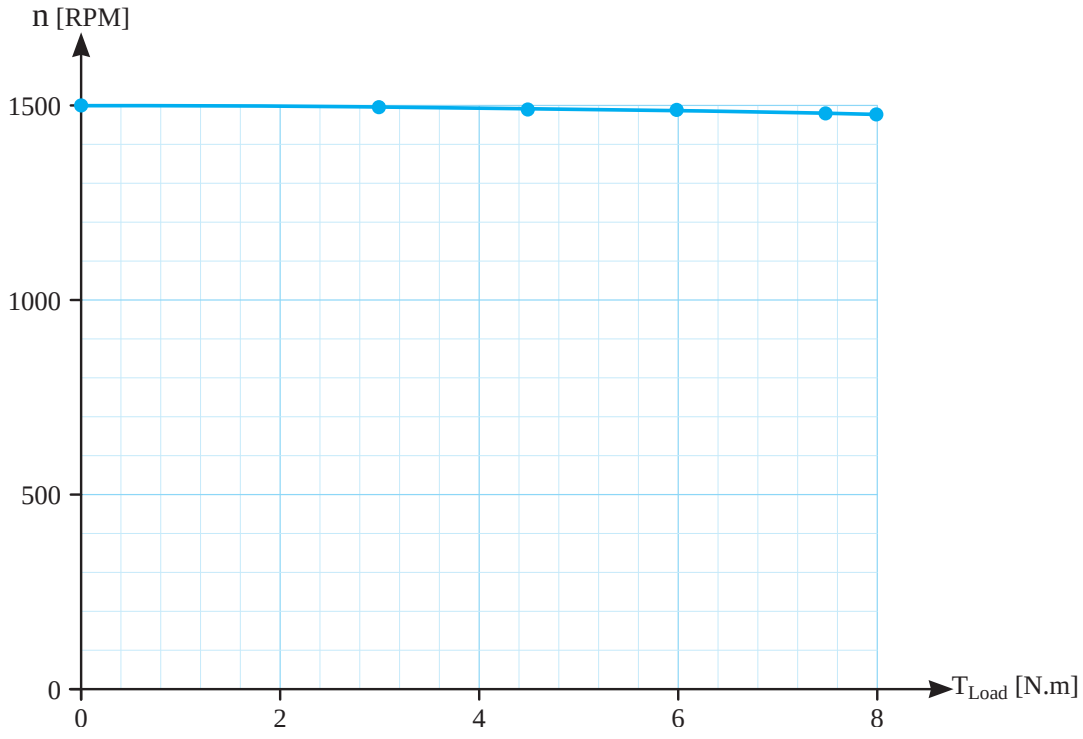
شکل ۱۶ ـ ۴ منحنی مشخصه الکترومکانیکی موتور تحریک مستقل

نقاط نشـــان‌دهندهٔ مقدار هر گشتاور T_{load} به ازای I_A معیـــن جـــدول (۱ ـ۴) در شـــکل (۱۷ ـ ۴) تحت عنوان مشخصه الکترومغناطیسی نشان داده شده است. در مشخصه الکترومغناطیســـی مشاهده می‌شود در اثر افزایش گشـــتاور 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 الکترومغناطیسی موتور تحریک مستقل

نقاط نشـــان دهندهٔ مقـــدار هر ســـرعت n به ازای گشـــتاور T_{load} معین جدول (۱-۴) در شکل (۱۸-۴) تحت عنوان مشخصه 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 *Excel* 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 تأثیر 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.

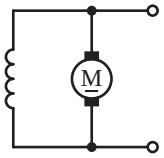
۷ ـ کاربرد موتورهای تحریک مستقل را بنویسید.

۸ ـ ویژگی‌های موتور تحریک مستقل را شرح دهید.

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

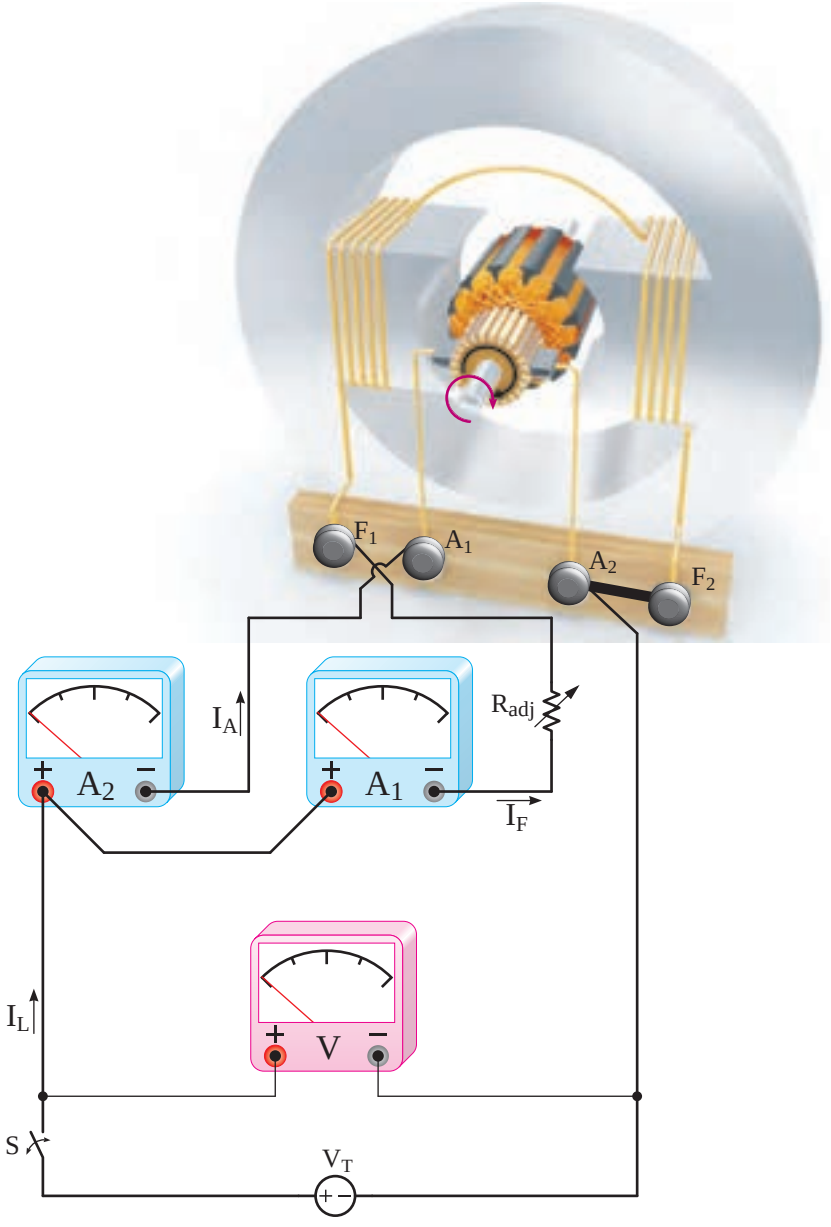
۱۱ ـ ۴ ـ موتورهای جریان مستقیم با تحریک شنت

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.

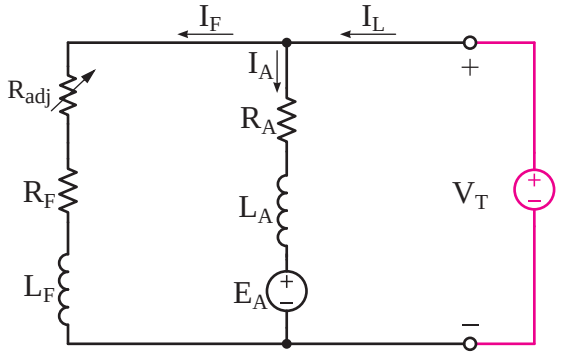


شکل ۲۰ ـ ۴ طرح ساختمانی موتور شنت

سیم‌پیچی تحریک با تعداد دور زیاد برای جریان کم به دور قطب‌ها پیچیده شـــده است. سیم‌پیچی تحریک با سیم‌پیچی آرمیچر به صورت موازی ارتباط داده شده اســـت. برای تغییر و تنظیم جریـــان تحریک، مقاومت تنظیم‌کننده جریان تحریک R_{adj} در مدار تحریک قرار داده شـــده است و برای اندازه‌گیری جریان‌های تحریک و آرمیچـــر 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 شـــنت با توجه به طرح ســـاختمانی شـــکل (۲۰ ـ ۴) در شکل (۲۱ ـ ۴) نشان داده شده است.



شکل ۲۱ ـ ۴ مدار الکتریکی معادل موتور شنت

مـــدار الکتریکـــی معـــادل موتور شـــنت را با روش پتانســـیل گره یـــا روش‌هـــای دیگر می‌تـــوان تحلیل کرد. معمـــولاً در تحلیل مدار الکتریکـــی معادل اثرات مغناطیسی عکس‌العمل آرمیچر و کموتاسیون به دلیل پیچیدگی محاســـبات در نظر گرفته نمی‌شـــود. روش متداول اندازه‌گیری اثرات مغناطیسی استفاده از منحنی مشـــخصه‌های موتور اســـت. 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.

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

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

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

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

جریان آرمیچر I_A از سمت 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.

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

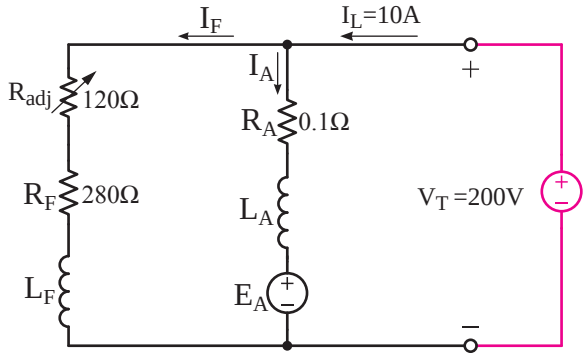
$$P_A = R_A I_A^2$$

مثال ۷ ـ ۴ ـ موتور شـــنت ۲۰۰ V، ۱۰ آمپری با مـــدار الکتریکی معادل مطابق شـــکل (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.

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

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:

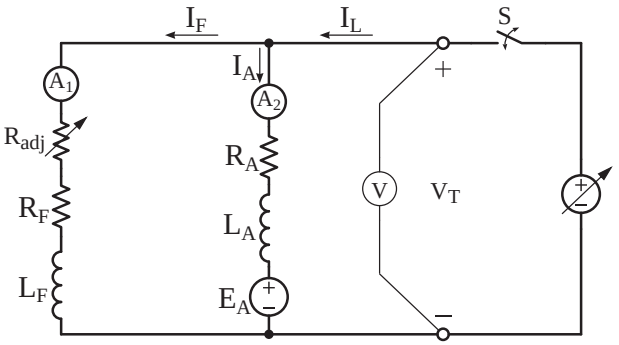
الف) جریان مدار آرمیچر

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 نشـــان دهد. در صورتی‌که ســـرعت موتور به سرعت بی‌باری n_o نرسیده بود با افزایـــش مقاومت R_{adj}، جریان تحریک را کاهش دهید تا سرعت افزایش یابد و به سرعت موردنظر برسد. بدیهی اســـت افزایش بیش از حد مقاومت مدار تحریک یـــا قطع مدار تحریک مطابـــق 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 شـــنت دقیقاً شبیه به موتور تحریک مستقل می‌باشد. بنابراین مشـــخصه‌های الکترومکانیکی شکل (۱۵ ـ ۴)، الکترومغناطیســـی شکل (۱۶ ـ ۴) و گشتاور ـ سرعت شـــکل (۱۷ ـ ۴) موتور تحریک مستقل برای موتور تحریک موازی نیز صادق است. در واقع در موتور تحریک مســـتقل از دو منبع برای تغذیه مدار آرمیچر و تحریک اســـتفاده می‌شود در حالی‌که در موتور شنت از یک منبع برای تغذیه مدار آرمیچر و تحریک اســـتفاده شده است. از آنجایی‌که در هر دو موتور جریان آرمیچر I_A و جریان تحریک I_F ارتباطی با یکدیگر پیدا نمی‌کنند باعث می‌شود 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 مشـــخصه‌های موتور شنت مشابه موتورهای تحریک مستقل می‌باشـــد. لذا کاربرد و ویژگی‌هایی که در بخش ۴ ـ ۱۰ ـ ۴ برای موتور تحریک مســـتقل 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 بـــرای تحلیل مدار الکتریکی معادل شـــنت در حالـــت پایدار اثـــرات خود القایـــی L_A و L_F را در نظر می‌گیرند.

صحیح ☐ غلط ☐

۲ ـ پس از راه‌اندازی برای تنظیم ســـرعت 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.

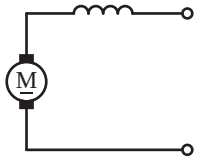
۸ ـ قطع مدار تحریک چه مشکلاتی برای موتور شنت ایجاد می‌کند؟

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

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

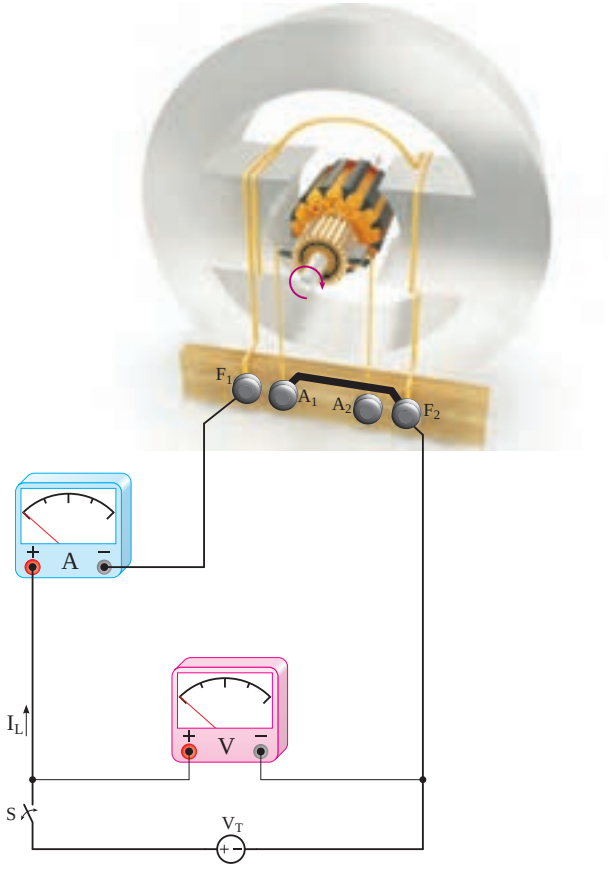
۱۲ ـ ۴ ـ موتورهای جریان مستقیم با تحریک سری

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.



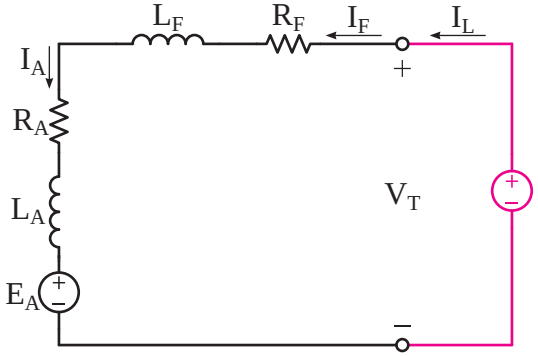
شکل ۲۵ ـ ۴ طرح ساختمانی موتور سری

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.

$$P_F = R_F I_F^2 \qquad (۴-۲۲)$$

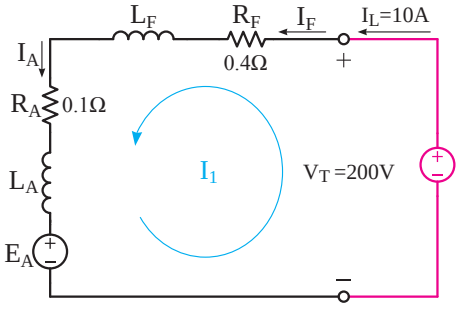
$$P_A = R_A I_A^2 \qquad (۴-۲۳)$$

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 می‌نویسیم 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.

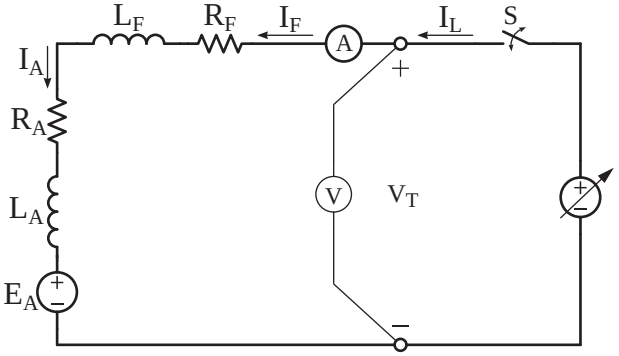
۲ ـ یک موتور سری ۱ kW، ۲۵۰ V با بازده ۸۰٪ و مقاومت مدار تحریک و آرمیچر روی هم ۰/۵Ω مفروض است. مطلوب است:

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

می‌شـــود و فوران قطب‌ها کاهش می‌یابد 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

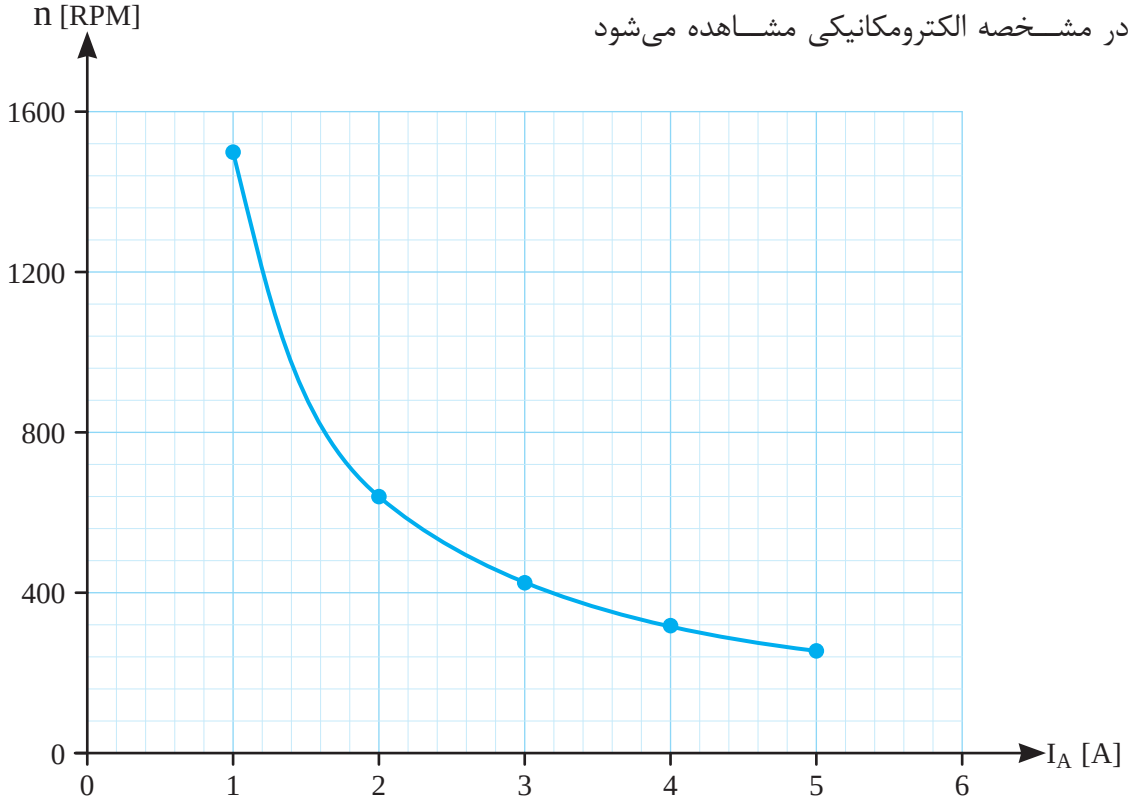
بـــرای انجام آزمایش بارداری پس از راه‌اندازی موتور ضمن ثابت نگه داشتن ولتاژ موتور V_T گشتاور بار را طی چند مرحله کاهش دهید و در هر مرحله ســـرعت رتور را توســـط دورسنج و جریان آرمیچر را توسط آمپرمتر و گشتاور بار را توسط گشتاورســـنج اندازه‌گیری و نتایج را در جدولی یادداشـــت کنید. این کار را تا جایی 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

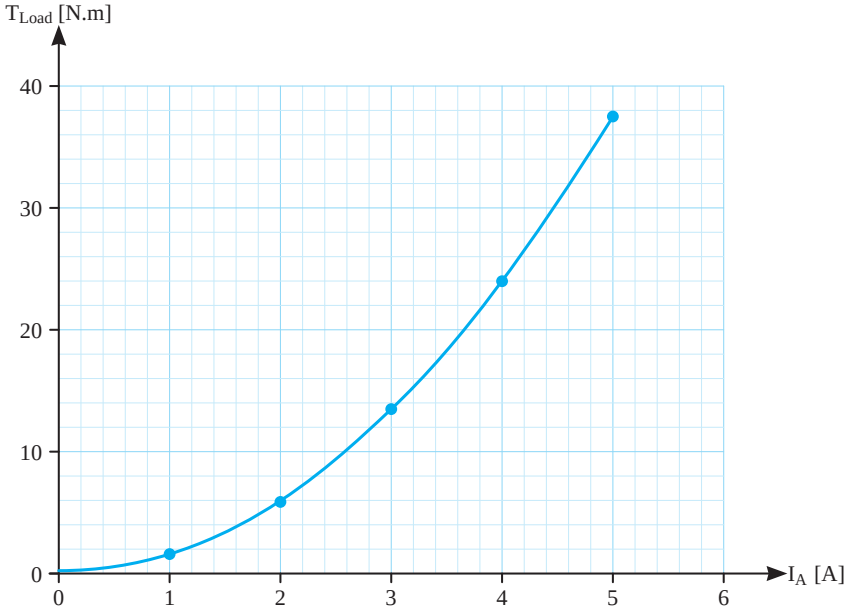
جدول ۲ ـ ۴ نتایج آزمایش بارداری موتور تحریک سری

نقاط نشان‌دهنده مقدار هر سرعت n به ازای جریان آرمیچـــر I_A معین جدول (۲ ـ ۴) در شـــکل (۲۹ ـ ۴) تحت عنوان مشـــخصه الکترومکانیکی نشان داده شده است. در مشـــخصه الکترومکانیکی مشـــاهده می‌شود در اثر افزایش گشـــتاور بار، موتور ســـری سرعت خود را به‌طور قابل ملاحظـــه‌ای کاهش می‌دهد ولی جریان آرمیچر افزایش قابل ملاحظه‌ای نداشته است.



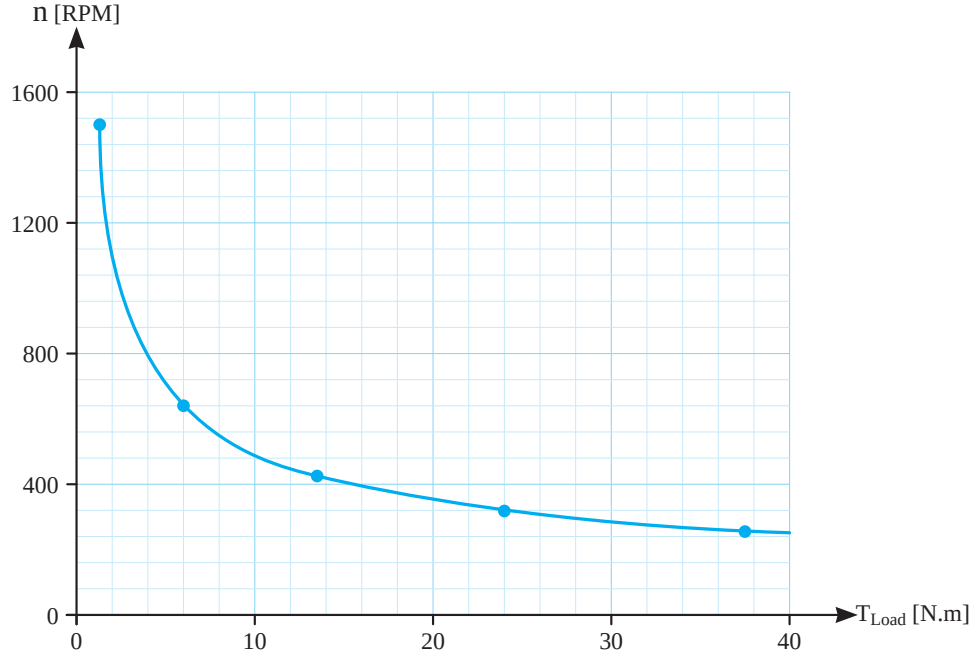
شکل ۲۹ ـ ۴ منحنی مشخصه الکترومکانیکی موتور سری

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



شکل ۳۰ ـ ۴ منحنی مشخصه الکترومغناطیسی موتور سری

نقاط نشان‌دهندهٔ مقدار هر سرعت n به ازای گشتاور T_{load} معیـــن جـــدول (۱ ـ ۴) در شـــکل (۳۱ ـ ۴) تحت عنوان منحنی مشخصه گشتاور سرعت نشان داده شده است. در مشخصه گشتاور سرعت مشاهده می‌شود در اثر افزایش 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 برنامه‌هـــای مجموعه *Microsoft Office* منحنی مشـــخصه‌های مربوط به جدول (۲ ـ ۴) را رسم نمایید.

۴ ـ ۱۲ ـ ۴ ـ کاربرد

موتورهای ســـری دارای تغییرات ســـرعت زیادی از بی‌باری تا بار کامل می‌باشـــند و گشتاور راه‌اندازی آنها بسیار زیاد اســـت. این موتورها با افزایش گشتاور بار در محدوده بارنامی ســـرعت خود را کاهش داده و جریان خود را افزایش می‌دهند. موتورهای ســـری 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 موتـــور ســـری مدار ..... بـــا مدار آرمیچر ..... ارتباط می‌یابد.

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

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

۴ ـ در موتور ســـری با افزایش گشـــتاور 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 مســـی در موتور تحریک ســـری از رابطه $(R_A+R_F)I_A^2$ به‌دست می‌آید.

صحیح ☐ غلط ☐

پرسش‌های تشریحی

۱ ـ علامت اختصاری ســـری 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 ســـری چه نکاتی را باید مورد توجه قرار داد؟

۴ ـ نحوه راه‌اندازی موتور سری را شرح دهید.

۵ ـ چـــرا موتورهـــای ســـری را زیر بـــار 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 مقایســـه منحنی مشخصه‌های موتور سری با موتور تحریک شـــنت (یا مستقل) چه نتیجه‌ای به‌دست می‌آید؟

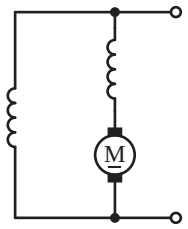
۹ ـ کاربرد موتور سری را بنویسید؟

۱۰ ـ ویژگی‌های موتور سری را بنویسید؟

۱۳ ـ ۴ ـ موتورهای جریان مستقیم با تحریک کمپوند

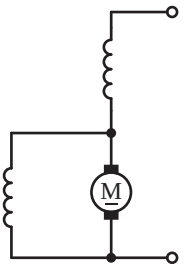
موتورهای جریان مستقیم با تحریک کمپوند را به اختصار «موتور کمپوند» گویند. در موتور کمپوند فوران قطب‌ها «ترکیبی[۱]» از فوران دو سیم‌پیچی تحریک موازی و سری است.

اگر سیم‌پیچی آرمیچر ابتدا با سیم‌پیچی تحریک سری و سپس با سیم‌پیچی تحریک موازی ارتباط پیدا کند، موتور را «کمپوند با شنت بلند» گویند. علامت اختصاری موتور کمپوند با شنت بلند در شکل (۳۲ ـ ۴) نشان داده شده است.



شکل ۳۲ ـ ۴ موتور کمپوند با شنت بلند

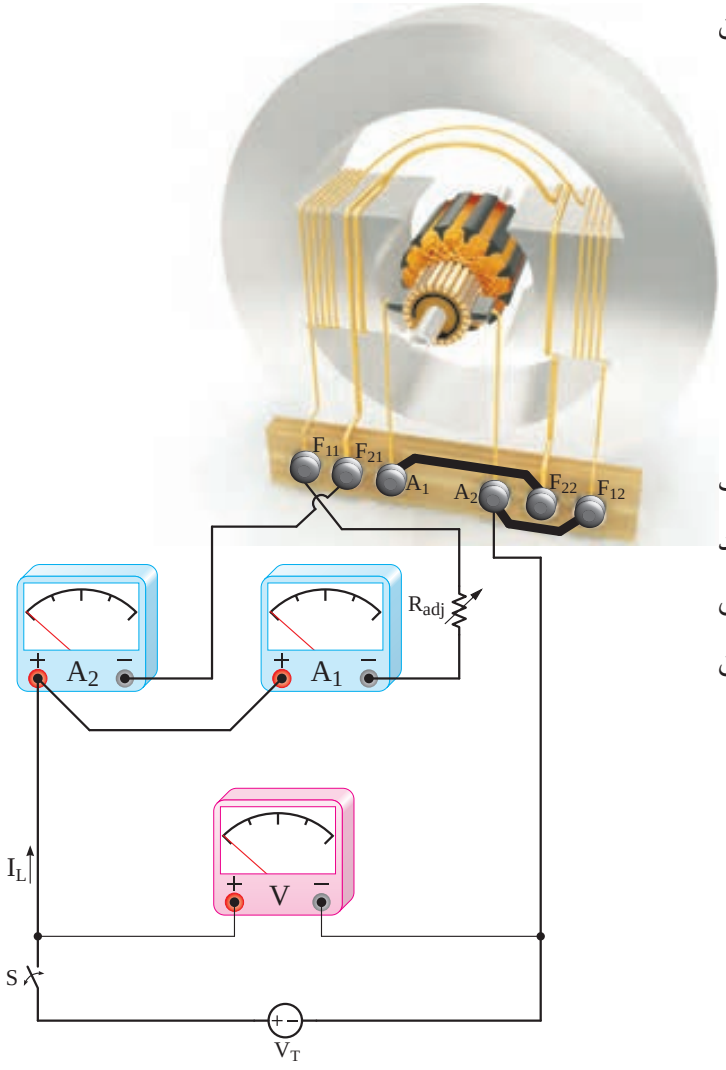
اگر سیم‌پیچی آرمیچر ابتدا با سیم‌پیچی تحریک موازی و سپس با سیم‌پیچی سری ارتباط پیدا کند موتور را «کمپوند با شنت کوتاه» گویند. علامت اختصاری موتور کمپوند با شنت کوتاه در شکل (۳۳ ـ ۴) نشان داده شده است.



شکل ۳۳ ـ ۴ موتور کمپوند با شنت کوتاه

در موتورهای کمپوند با شنت بلند یا کوتاه، سیم‌پیچی‌های تحریک موازی یا سری به گونه‌ای با سیم‌پیچی آرمیچر ارتباط داده می‌شوند تا فوران‌های آنها هم جهت شوند و «موتور کمپوند اضافی» باشد. درصورتی‌که فوران سیم‌پیچی تحریک موازی و سری هم‌جهت نباشد در این صورت موتور، «کمپوند نقصانی» خواهد شد.

طرح ساختمانی موتور کمپوند با شنت بلند در شکل (۳۴ ـ ۴) نشان داده شده است.

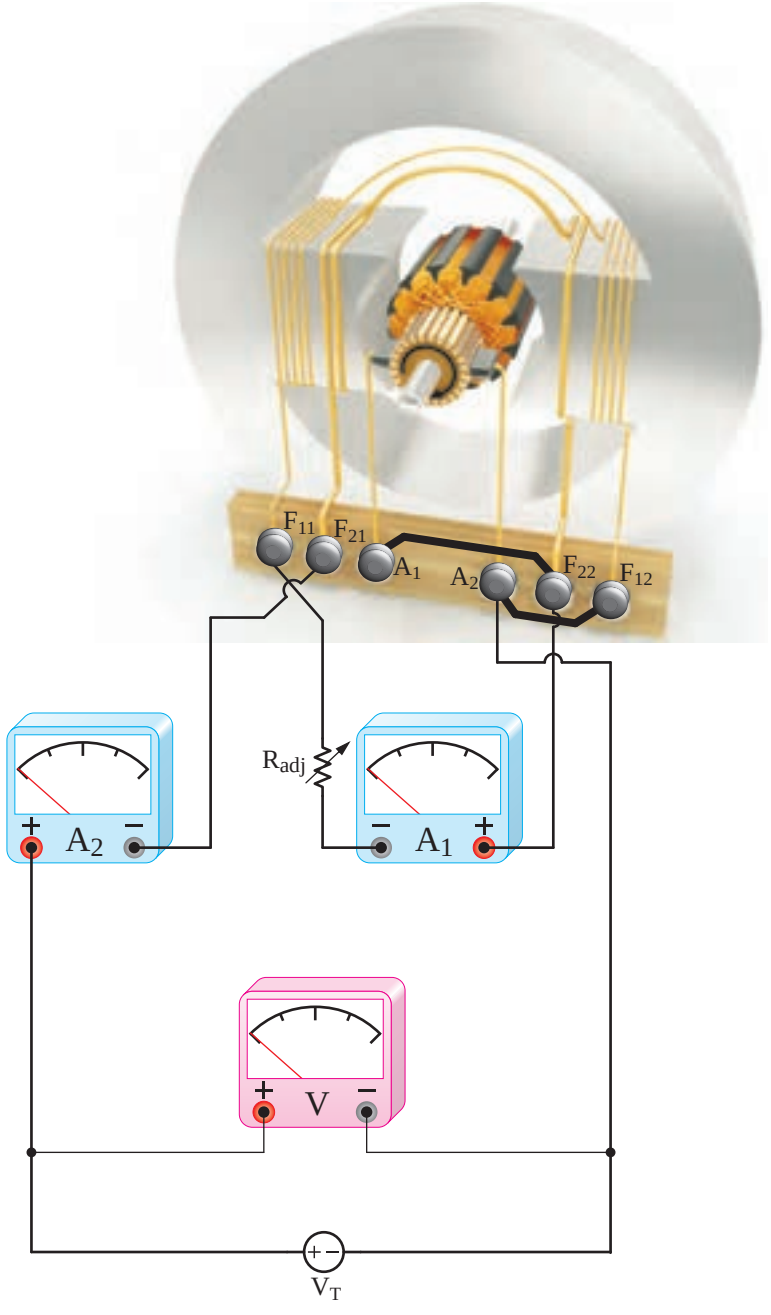


شکل ۳۴ ـ ۴ طرح ساختمانی موتور کمپوند با شنت بلند

۱. Compound

سیم‌پیچی تحریک سری با تعداد دورکم برای جریان زیاد و سیم‌پیچی تحریک موازی با تعداد دور زیاد برای جریان‌هـــای کم به دور قطب‌ها پیچیده شـــده اســـت. سروته سیم‌پیچی تحریک موازی با حروف F_{11} و F_{12} و ســـیم‌پیچی تحریک سری با حروف F_{21} و F_{22} مشخص شـــده اســـت. برای تغییر و تنظیم جریان ســـیم‌پیچی تحریک موازی از مقاومت تنظیم‌کننده جریان تحریک R_{adj} استفاده شده است و برای اندازه‌گیری جریان‌های تحریـــک موازی و آرمیچـــر از آمپرمترهای A_1 و A_2 و برای اندازه‌گیری ولتاژ V_T از ولت‌متر V اســـتفاده شده است.

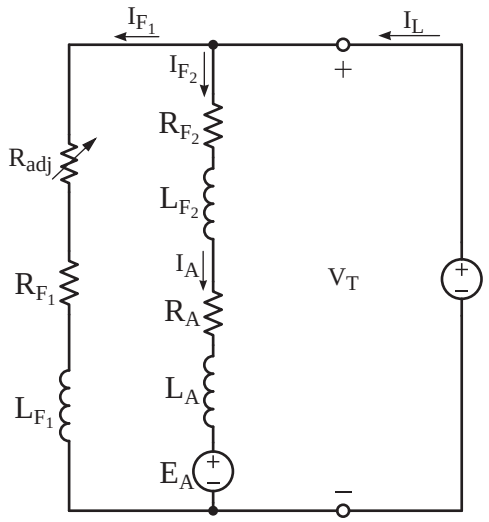
طرح ســـاختمانی موتور کمپوند با شـــنت کوتاه در شکل (۳۵ ـ ۴) نشان داده شده است.



شکل ۳۵ ـ ۴ طرح ساختمانی موتور کمپوند با شنت کوتاه

۱ ـ ۱۳ ـ ۴ ـ مـدار الکتریکی معادل موتور کمپوند با شنت بلند

مدار الکتریکی معادل موتور کمپوند باشـنت بلند با توجه به طرح سـاختمانی شکل (۳۴ ـ ۴) در شـکل (۳۶ ـ ۴) نشان داده شده است.



شکل ۳۶ ـ ۴ مدار الکتریکی معادل موتور کمپوند با شنت بلند

در این شکل:

R_{F_1} مقاومت اهمی مدار تحریک موازی

L_{F_1} ضریب خودالقایی سیم‌پیچ تحریک موازی

R_{F_2} مقاومت اهمی مدار تحریک سری

L_{F_2} ضریب خود القایی سیم‌پیچ تحریک سری

مدار الکتریکی معادل موتور کمپوند با شنت بلند را با روش پتانسیل گره یا روش‌های دیگر می‌توان تحلیل کرد. از آنجایی کـه در حالت پایدار جریان موتور DC اسـت و فرکانس ندارد لذا در نوشـتن معادلات جریان و ولتـاژ از اثرات خودالقایـی L_{F_1}،L_{F_2} و L_A صرف‌نظر خواهد شد.

با نوشـتن KCL برای گره مدار تحریک سـری و موازی با منبع ولتاژ، معادله (۲۴ ـ ۴) به‌دست می‌آید.

$$\text{KCL)}\quad -I_L + I_{F_2} + I_{F_1} = 0 \qquad (۴\text{-}۲۴)$$

مدار تحریک سری با مدار آرمیچر، سری شده است. لذا:

$$I_A = I_{F_2} \qquad (۴\text{-}۲۵)$$

بـا به‌کار بردن قانون اهم مقادیر جریان‌ها به‌دسـت خواهد آمد.

$$I_{F_1} = \frac{V_T}{R_{F_1} + R_{adj}} \qquad (۴\text{-}۲۶)$$

$$I_A = I_{F_2} = \frac{V_T - E_A}{R_A + R_{F_2}} \qquad (۴\text{-}۲۷)$$

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

$$I_L = \frac{P_{in}}{V_T} \qquad (۴\text{-}۲۸)$$

تلفـات تحریک موازی از رابطـه (۲۹ ـ ۴) و تلفات تحریک سـری از رابطـه (۳۰ ـ ۴) و تلفات آرمیچر از رابطه (۳۱ ـ ۴) به‌دست می‌آیند.

$$P_{F_1} = (R_{F_1} + R_{adj})I_{F_1}^2 \qquad (۴\text{-}۲۹)$$

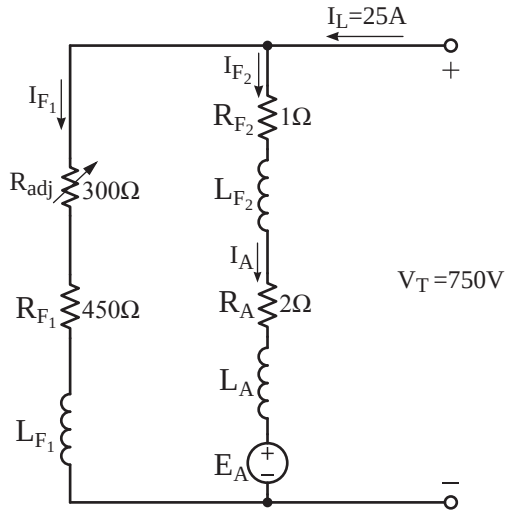
$$P_{F_2} = R_{F_2} I_{F_2}^2 \qquad (۴\text{-}۳۰)$$

$$P_A = R_A I_A^2 \qquad (۴\text{-}۳۱)$$

مثال ۹ ـ ۴ ـ موتور کمپوند با شنت بلند ۷۵۰ V، ۲۵ A با مدار الکتریکی معادل مطابق شکل (۳۷ ـ ۴) در نظر است. مطلوب است:

الف) نیروی محرکه القایی آرمیچر

ب) بازده در صورتی‌که تلفات ثابت ۱۵۲۲ W باشد.



شکل ۳۷ ـ ۴

حل:

ـ برای محاسبه نیروی محرکه الکتریکی ابتدا جریان مدار تحریک موازی و سپس جریان مدار تحریک سری و آرمیچر به‌دست می‌آید.

$$I_{F_1} = \frac{V_T}{R_{F_1} + R_{adj}} = \frac{۷۵۰}{۴۵۰ + ۳۰۰} = ۱[A]$$

$$KCL) \quad -I_L + I_{F_2} + I_{F_1} = ۰$$

$$-۲۵ + I_{F_2} + ۱ = ۰$$

$$I_{F_2} = ۲۴\ [A]$$

$$I_{F_2} = I_A = ۲۴\ [A]$$

$$I_A = I_{F_2} = \frac{V_T - E_A}{R_A + R_{F_2}}$$

$$۲۴ = \frac{۷۵۰ - E_A}{۱ + ۲}$$

$$۲۴ \times ۳ = ۷۵۰ - E_A$$

$$E_A = ۷۵۰ - ۷۲ = ۶۷۸\ [V]$$

ـ برای محاسبه بازده، تلفات مسی نیاز می‌باشد. لذا تلفات تحریک‌ها و آرمیچر را از روابط (۲۹ ـ ۴)، (۳۰ ـ ۴) و (۳۱ ـ ۴) به‌دست می‌آوریم.

$$P_{F_1} = (R_{F_1} + R_{adj}) I_{F_1}^۲$$

$$P_{F_1} = (۴۵۰ + ۳۰۰) \times ۱^۲ = ۷۵۰\ [W]$$

$$P_{F_2} = R_{F_2} I_{F_2}^۲$$

$$P_{F_2} = ۱ \times ۲۴^۲ = ۵۷۶\ [W]$$

$$P_A = R_A I_A^۲$$

$$P_A = ۲ \times ۲۴^۲ = ۱۱۵۲\ [W]$$

ـ تلفات کل از رابطه (۳ ـ ۳) به‌دست می‌آید.

$$\Delta P = P_{core} + P_{F_1} + P_{F_2} + P_A$$

$$\Delta P = ۱۵۲۲ + ۷۵۰ + ۵۷۶ + ۱۱۵۲ = ۴۰۰۰\ [W]$$

ـ توان ورودی از رابطه (۱ ـ ۴) به‌دست می‌آید.

$$P_{in} = V_T \cdot I_L$$

$$P_{in} = ۷۵۰ \times ۲۵ = ۱۸۷۵۰\ [W]$$

ـ توان خروجی از رابطه (۴ ـ ۳) به‌دست می‌آید.

$$\Delta P = P_{in} - P_{out}$$

$$P_{out} = P_{in} - \Delta P$$

$$P_{out} = ۱۸۷۵۰ - ۴۰۰۰ = ۱۴۷۵۰\ [W]$$

ـ بازده از رابطه (۶ ـ ۳) به‌دست می‌آید.

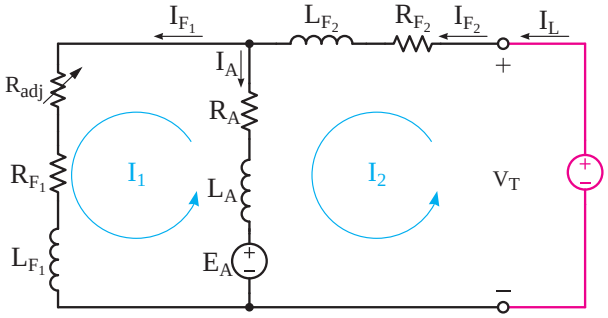
$$\%\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times ۱۰۰$$

$$\%\eta = \frac{۱۴۷۵۰}{۱۸۷۵۰} \times ۱۰۰ = \%۷۸$$

۲ ـ ۱۳ ـ ۴ ـ مـدار الکتریکی معادل موتور کمپوند با شنت کوتاه

مدار الکتریکی معادل موتور کمپوند با شـنت کوتاه بـا توجه به طرح ساختمانی شکل (۳۵ ـ ۴) در شـکل (۳۸ ـ ۴) نشان داده شده است.

مدار الکتریکی معادل موتور کمپوند با شـنت کوتاه را با روش حلقه یا روش‌های دیگر می‌توان تحلیل کرد. برای شکل (۳۸ ـ ۴) حلقه‌های $I_۱$ و $I_۲$ در جهت حرکت عقربه‌های ساعت انتخاب شده است.



شکل ۳۸ ـ ۴ مدار الکتریکی معادل موتور کمپوند با شنت کوتاه

جریان موتور DC اسـت و فرکانس نـدارد. لذا در حالت پایدار برای نوشـتن معـادلات KVL از اثرات خودالقایی $L_{F_۱}$،$L_{F_۲}$ و L_A صرف‌نظر خواهد شد.

با نوشـتن KVL برای حلقه‌های $I_۱$ و $I_۲$ معادلات (۳۲ ـ ۴) و (۳۳ ـ ۴) به‌دست می‌آید.

$$KVL۱) \quad R_{F_۱} I_۱ - E_A + R_A (I_۱ - I_۲) = ۰ \qquad (۴\text{-}۳۲)$$

$$KVL۲) \quad -V_T + R_{F_۲} I_۲ + R_A (I_۲ - I_۱) + E_A = ۰ \qquad (۴\text{-}۳۳)$$

پس از حل معـادلات (۳۲ ـ ۴) و (۳۳ ـ ۴) جریان حلقه‌های $I_۱$ و $I_۲$ به‌دست می‌آید و خواهیم داشت:

$$I_{F_۲} = I_L = I_۲ \qquad (۴\text{-}۳۴)$$

$$I_{F_۱} = I_۱ \qquad (۴\text{-}۳۵)$$

$$I_A = -I_۱ + I_۲ \qquad (۴\text{-}۳۶)$$

تلفـات تحریک سـری از (۳۷ ـ ۴)، تلفات تحریک شـنت از (۳۸ ـ ۴) و تلفات آرمیچر از رابطه (۳۹ ـ ۴) به‌دست می‌آید.

$$P_{F_۲} = R_{F_۲} I_{F_۲}^۲ \qquad (۴\text{-}۳۷)$$

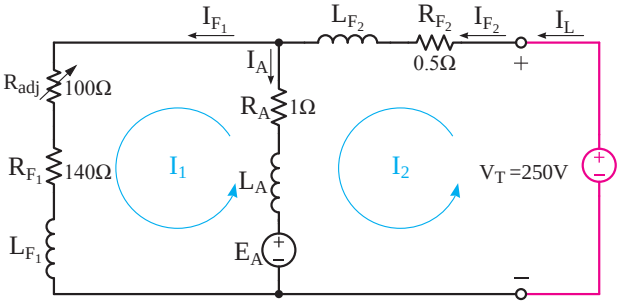
$$P_{F_۱} = R_{F_۱} I_{F_۱}^۲ \qquad (۴\text{-}۳۸)$$

$$P_A = R_A I_A^۲ \qquad (۴\text{-}۳۹)$$

مثال ۱۰ ـ ۴ ـ موتـور کـمپوند با شنت کـوتاه ۴ KW، ۲۵۰ V با بازده ۸۰ ٪ و مدار الکتریکی معادل مطابق شکل (۳۹ ـ ۴) در نظر است. مطلوب است:

الف ـ نیروی محرکه القایی آرمیچر E_A

ب ـ تلفات ثابت $P_{mis}+P_{core}$



شکل ۳۹ ـ ۴

حل:

ـ از رابطـــه بازده، توان ورودی به‌دســـت می‌آید و از رابطه توان، جریان I_L محاسبه می‌شود. سپس با تشکیل معادلاتِ KVL ، جریان‌ها و E_A به‌دست می‌آیند.

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

$$P_{in} = \frac{P_{out}}{\eta} = \frac{۴kw}{۰/۸} = ۵\,[kw] = ۵۰۰۰[w]$$

$$P_{in} = V_T \cdot I_L$$

$$I_L = \frac{P_{in}}{V_T} = \frac{۵۰۰۰}{۲۵۰} = ۲۰\,[A]$$

$$KVL۱)\quad (R_{adj} + R_{F_۱})I_۱ - E_A + R_A(I_۱ - I_۲) = ۰$$

$$KVL۲)\quad -V_T + R_{F_۲}I_۲ + R_A(I_۲ - I_۱) + E_A = ۰$$

ـ بـــا جایگزیـــن کـــردن مقادیـــر معلـــوم و $I_L = I_۲ = ۲۰[A]$ در معادلات KVL۱ و KVL۲ خواهیم داشت:

$$KVL۱)\quad (۱۰۰+۱۴۰)I_۱ - E_A + ۱(I_۱ - ۲۰) = ۰$$

$$KVL۲)\quad -۲۵۰ + ۰/۵(۲۰) + ۱(۲۰ - I_۱) + E_A = ۰$$

ـ پس از ساده‌سازی معادلات KVL۱ و KVL۲ را در یک دستگاه قرار می‌دهیم.

$$KVL۱)\quad ۲۴۱I_۱ - E_A = ۲۰$$

$$KVL۲)\quad -I_۱ + E_A = ۲۲۰$$

$$۲۴۰I_۱ + ۰ = ۲۴۰$$

$$I_۱ = \frac{۲۴۰}{۲۴۰} = ۱[A]$$

ـ بـــا قرار دادن $I_۱$ در یکی از معادلات KVL مقدار E_A به‌دست می‌آید.

$$KVL۲)\quad -I_۱ + E_A = ۲۲۰$$

$$-۱ + E_A = ۲۲۰$$

$$E_A = ۲۲۱[V]$$

ـ با محاسبه تلفات مسی و کل تلفات می‌توان تلفات ثابت را به‌دست آورد.

$$I_{F_۱} = I_۱ = ۱[A]$$

$$I_A = -I_۱ + I_۲ = -۱ + ۲۰ = ۱۹[A]$$

$$I_{F_۲} = I_۲ = ۲۰[A]$$

$$P_{F_۱} = (R_{F_۱} + R_{adj})I_{F_۱}$$

$$P_{F_۱} = (۱۴۰+۱۰۰)\times ۱^۲ = ۲۴۰[w]$$

$$P_{F_۲} = R_{F_۲}I_{F_۲}^۲$$

$$P_{F_۲} = ۰/۵ \times ۲۰^۲ = ۲۰۰[w]$$

$$P_A = R_A I_A^۲ = ۱ \times ۱۹^۲ = ۳۶۱[w]$$

$$\Delta P = P_{in} - P_{out}$$

$$\Delta P = ۵۰۰۰ - ۴۰۰۰ = ۱۰۰۰[w]$$

$$\Delta P = P_{F_۱} + P_{F_۲} + P_A + P_{core} + P_{mis}$$

$$۱۰۰۰ = ۲۴۰ + ۲۰۰ + ۳۶۱ + P_{core} + P_{mis}$$

$$P_{core} + P_{mis} = ۱۹۹[w]$$

تمرین ۶ ـ ۴

۱ ـ یک موتور کمپوند با شنت بلند ۴۰ KW، ۵۰۰ V با بازده ۸۰ ٪ و $R_A = ۰/۴\Omega$، $R_{F_۲} = ۰/۱\Omega$، $R_{F_۱} = ۲۵۰\Omega$ مفروض است.

مطلوب است:

الف ـ نیروی محرکه القایی آرمیچر

ب ـ تلفات ثابت

۲ ـ یک موتور کمپوند با شنت کوتاه در اتصال به شبکه ۲۰۰ V جریان ۱۰ A دریافت می‌کند و با سرعت ۱۲۰۰ RPM می‌گردد. اگر $R_{F_۲} = ۰/۲\Omega$، $R_{F_۱} = ۱۹۸\Omega$، $R_A = ۰/۵\Omega$ باشد مطلوب است:

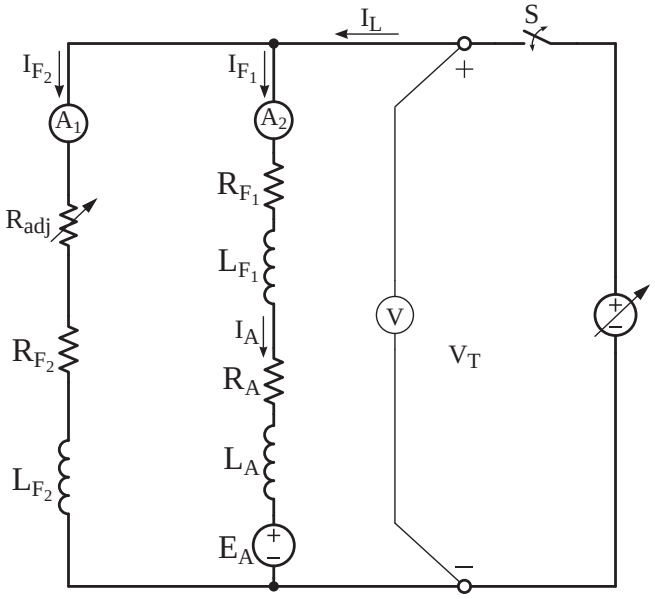
الف ـ نیروی محرکه القایی آرمیچر

ب ـ بازده در صورتی‌که تلفات ثابت ۵۰ W باشد.

۳ ـ ۱۳ ـ ۴ ـ راه‌اندازی

راه‌اندازی و رفتار موتورهای کمپوند با شنت بلند و کوتاه مشابه یکدیگر است. لذا به منظور تشریح راه‌اندازی، موتور کمپوند با شنت بلند انتخاب شده است.

برای راه‌اندازی موتور کمپوند پس از یادداشت مقادیر نامی ولتاژ، جریان و سرعت از پلاک مشخصات موتور، مدار الکتریکی آرمیچر و تحریک‌های سری و موازی را مطابق شکل(۴۰ ـ ۴) ببندید.



شکل۴۰ ـ ۴ مدار الکتریکی راه‌اندازی موتور کمپوند باشنت

مقاومت متغیر R_{adj} را در حداقل خود قرار دهید و پس از بستن کلید S ولتاژ منبع متغیر را 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 موازی را کاهش دهید تا سرعت افزایش یابد و به سرعت مورد نظر برسد.

بدیهی است با افزایش بیش از حد مقاومت یا قطع مدار تحریک موازی، موتور کمپوند رفتاری شبیه موتور سری از خود بروز می‌دهد.

۴ ـ ۱۳ ـ ۴ ـ آزمایش بارداری

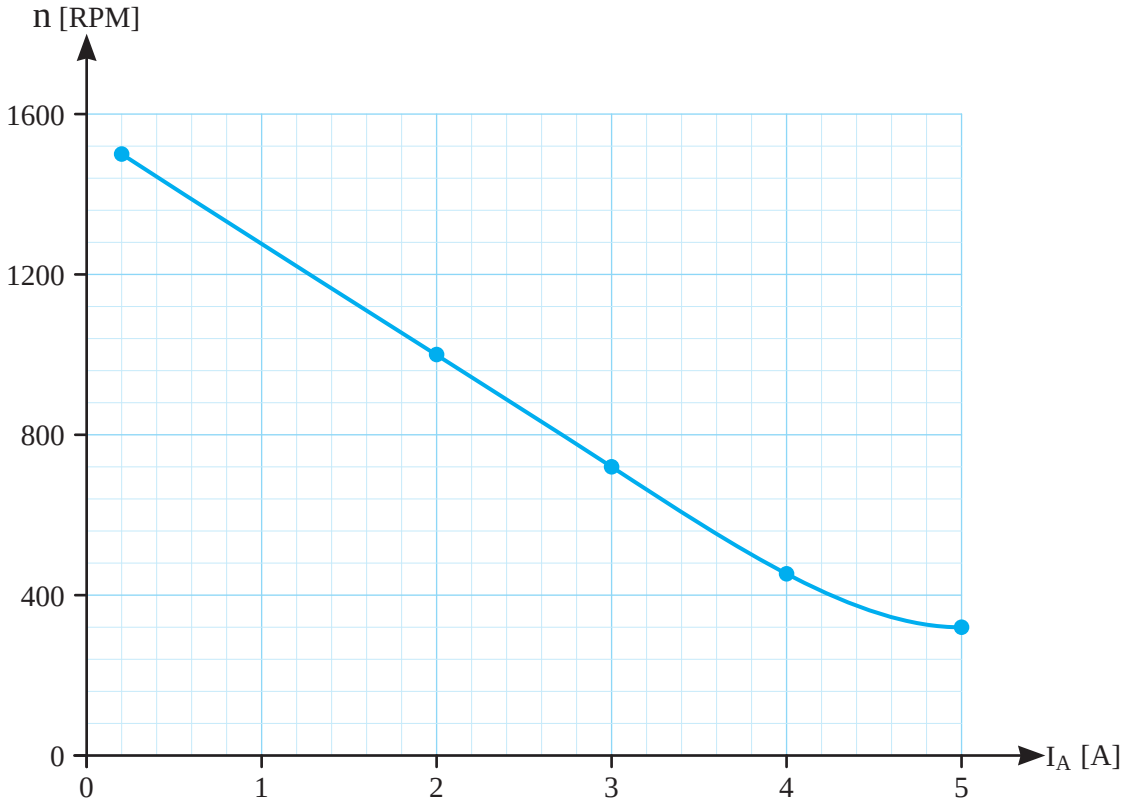
نحوه انجام آزمایش بـــارداری موتور کمپوند مطابق توضیحات بخش ۳ ـ ۱۰ ـ ۴ می‌باشد.

جدول (۴ ـ ۴) نتایج آزمایش بارداری موتور کمپوند اضافی ۲۲۰ V، ۱ kW، ۵ A را نشان می‌دهد.

V_T	۲۲۰V				
n [RPM]	۱۵۰۰	۱۰۰۰	۷۲۰	۴۵۰	۳۲۰
I_A [A]	۰/۲	۲	۳	۴	۵
T_{load} [Nm]	۰	۴	۸	۱۷	۳۰

جدول ۴ ـ ۴ نتایج آزمایش بارداری موتور کمپوند اضافی

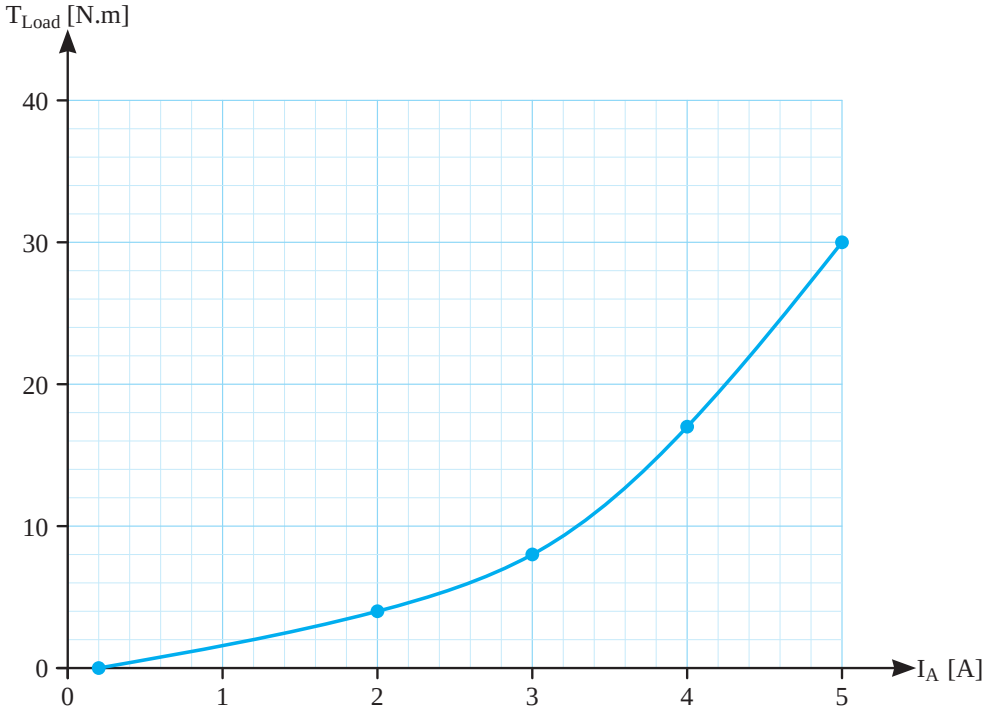
نقاط نشـــان‌دهنده مقـــدار هر ســـرعت n به ازای جریان I_A معین جدول (۴ ـ ۴) تحت عنوان مشـــخصه الکترومکانیکی موتور کمپوند اضافی در شکل (۴۱ ـ ۴) نشان داده شده است.



شکل ۴۱ ـ ۴ منحنی مشخصه الکترومکانیکی موتور کمپوند اضافی

در این شکل مشاهده می‌شود در اثر افزایش گشتاور بار که منجر به کاهش ســـرعت شده است موتور جریان I_A را افزایش می‌دهد.

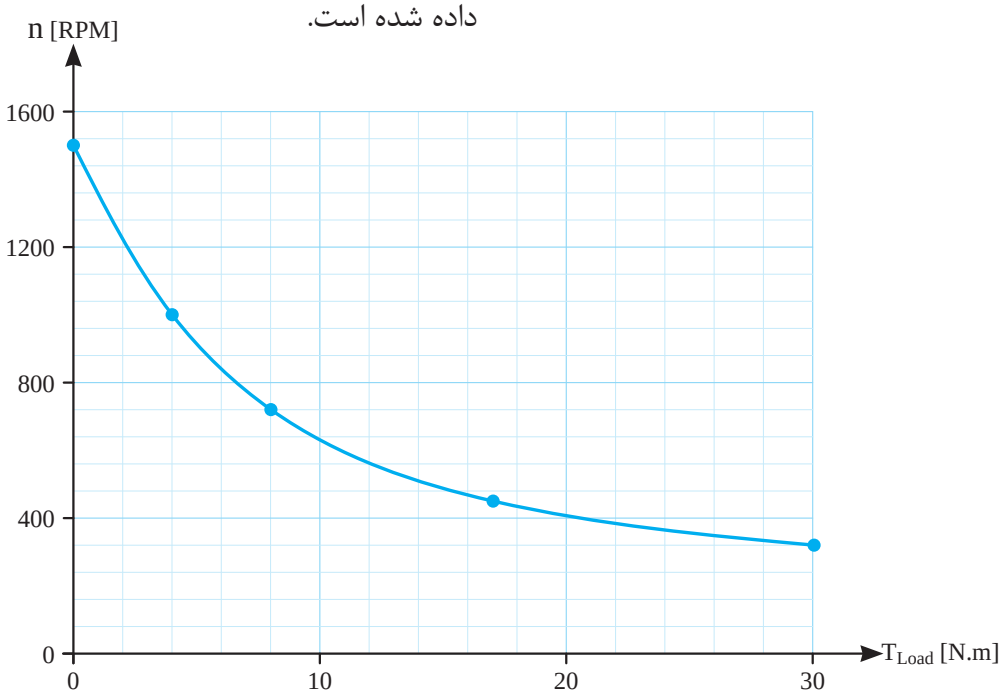
نقاط نشـــان‌دهنده مقدار هر گشتاور T_{load} به ازای جریـــان I_A معین جدول (۴ ـ ۴) در شـــکل (۴۲ ـ ۴) تحت عنوان منحنی مشـــخصه الکترومغناطیسی نشان داده شده است.



شکل ۴۲ ـ ۴ منحنی مشخصه الکترومغناطیسی موتور کمپوند اضافی

در این شکل مشاهده می‌شود که افزایش جریان I_A باعث افزایش گشتاور موتور شده است تا به گشتاور بار غلبه نماید.

نقاط نشان‌دهنده‌ی مقدار هر سرعت n به ازای گشتاور T_{load} معین جدول (۴ ـ ۴) در شکل (۴۳ ـ ۴) تحت عنوان منحنی مشخصه گشتاور ـ سرعت نشان داده شده است.



شکل ۴۳ ـ ۴ منحنی مشخصه گشتاور ـ سرعت موتور کمپوند اضافی

در این شکل مشاهده می‌شـــود افزایش گشتاور بار منجر به کاهش سرعت می‌شود.

فعالیت ۳ ــ ۴ ــ با استفاده از برنامه صفحه گسترده *Excel* از برنامه‌های مجموعـــه *Microsof Office* منحنی مشـــخصه‌های مربوط به جدول ۴ ـ ۴ را رســـم نمایید.

۵ ـ ۱۳ ـ ۴ ـ کاربرد

موتورهای کمپوند اضافی دارای تغییرات ســـرعتی کمتر از موتور ســـری و بیشتر از موتور شنت از بی‌باری تا بار کامل می‌باشند.

گشتاور موتور کمپوند اضافی از موتور سری کمتر و از موتور شنت بیشتر است. موتورهای کمپوند در جایی به‌کار گرفته می‌شـــوند که به گشـــتاور راه‌اندازی زیاد و سرعت تقریباً ثابت نیاز داشته باشند.

موتورهای کمپوند نقصانی موارد اســـتفاده چندانی ندارند. این موتورهـــا را می‌توان طوری طراحی کرد که بتوانند در حالت بارداری ســـرعت تقریباً ثابتی داشـــته باشـــند. از موتـــور کمپونـــد نقصانی در ماشـــین برش کارخانجات لوله‌سازی استفاده می‌شود.

پرسش ۷ ــ ۴

پرسش‌های کامل کردنی

۱ ـ در موتورهای کمپوند فوران قطب‌ها ..... از فوران سیم‌پیچی تحریک ..... و ..... است.

۲ ـ اگر سیم‌پیچی آرمیچر ابتدا با سیم‌پیچی تحریک موازی و سپس با سیم‌پیچی تحریک سری ارتباط پیدا کند موتور ..... است.

۳ ـ اگر سیم‌پیچی آرمیچر ابتدا با سیم‌پیچی تحریک ..... و ســـپس با ســـیم‌پیچی تحریک ..... ارتباط پیدا کند موتور کمپوند با شنت بلند است.

۴ ـ راه‌اندازی و رفتار موتور کمپوند با شـــنت بلند و کوتاه ..... است.

۵ ـ منحنـــی مشـــخصه الکترومغناطیســـی تأثیـــر ..... بـــر ..... را در ولتـــاژ ثابت نشـــان می‌دهد.

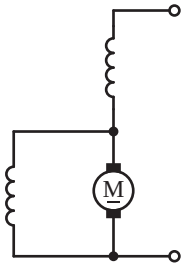
۶ ـ منحنی مشخصه ..... تأثیر گشتاور بار بر سرعت را در ولتاژ ثابت نشان می‌دهد.

پرسش‌های صحیح، غلط

۱ ـ اگر سیم‌پیچی آرمیچر ابتدا با سیم‌پیچی تحریک سری و سپس با سیم‌پیچی تحریک موازی ارتباط پیدا کند موتور کمپوند با شنت کوتاه است.

صحیح ☐ غلط ☐

۲ ـ علامت اختصاری موتور کمپوند با شنت کوتاه به صورت زیر است.



صحیح ☐ غلط ☐

۳ ـ در نوشـــتن معادلات ولتـــاژ و جریان در حالت پایـــدار موتورهای DC از اثـــرات خودالقایی صرف‌نظر نمی‌شود.

صحیح ☐ غلط ☐

۴ ـ در لحظه راه‌اندازی موتور کمپوند مقاومت R_{adj}

را در حداقل قرار می‌دهند.

صحیح ☐ غلط ☐

۵ ـ پس از راه‌اندازی موتور کمپوند به منظور تنظیم سرعت مقاومت R_{adj} را تغییر می‌دهند.

صحیح ☐ غلط ☐

پرسش‌های تشریحی

۱ ـ علامت اختصاری موتور کمپوند با شنت بلند را رسم کنید.

۲ ـ چرا موتور کمپوند نقصانی کاربرد ندارد؟

۳ ـ با توجه به شکل (۳۶ ـ ۴) طرح ساختمانی موتور کمپوند را شرح دهید.

۴ ـ چرا در تحلیل موتورهای DC از اثرات خودالقایی صرف‌نظر می‌شود؟

۵ ـ نحوه راه‌اندازی موتور کمپوند را شرح دهید.

۶ ـ آیا در موتورهای کمپوند پدیده فرار روی می‌دهد؟ چرا؟

۷ ـ نحوه تنظیم سرعت پس از راه‌اندازی موتور کمپوند را شرح دهید.

۸ ـ نحوه انجام آزمایش بارداری موتور کمپوند را شرح دهید.

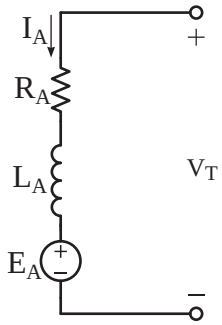
۱۴ ـ ۴ ـ راه‌اندازی موتورهای جریان مستقیم

موتورهای جریان مستقیم در لحظه راه‌اندازی چندین برابر جریان نامی از منبع تغذیه دریافت می‌کنند.

جریان راه‌اندازی زیاد مشکلات جدی را ایجاد می‌کند از جمله:

- آسیب رسیدن به سیم‌پیچی آرمیچر، کموتاتور و جاروبک‌ها
- ایجاد افت ولتاژ بسیار شدید در منبع تغذیه
- آسیب رسیدن به کابل‌های اتصال موتور به منبع تغذیه
- قطع فیوزهای موتور
- ایجاد ضربات شدید مکانیکی به رتور و آسیب رسیدن به محور و یاتاقان

علت جریان راه‌اندازی زیاد با توجه به مدار الکتریکی معادل سیم‌پیچی آرمیچر شکل (۴۴ ـ ۴) قابل توجیه است.



شکل ۴۴ ـ ۴

با توجه به شکل (۴۴ ـ ۴) جریان آرمیچر از رابطه (۴۰ ـ ۴) به‌دست می‌آید.

$$I_A = \frac{V_T - E_A}{R_A} \qquad (۴-۴۰)$$

نیروی محرکه القایی با رابطه $E_A = K \cdot \varphi \cdot \omega$ تعیین می‌شود. در لحظه راه‌اندازی رتور در حال سکون است و سرعت $\omega = ۰$ است و نیروی محرکه القایی $E_A = ۰$ می‌شود. بنابراین رابطه جریان آرمیچر در لحظه راه‌اندازی به صورت رابطه (۴۱ ـ ۴) در می‌آید.[۱]

$$I_{A_{st}} = \frac{V_T - ۰}{R_A} \qquad (۴-۴۱)$$

۱. ضریب خودالقایی L_A در محاسبه جریان راه‌اندازی دخالت دارد و باعث کاهش آن می‌شود. به دلیل پیچیدگی محاسبات از اثر L_A در جریان راه‌اندازی صرف‌نظر شده است.

دلیل بزرگ شدن جریان آرمیچر در لحظه راه‌اندازی کوچک بودن مقاومت آرمیچر R_A در مقابل ولتاژ منبع تغذیه V_T است.

برای مثال موتور ۲۲۰ V، ۱ KW، ۵ A با مقاومت آرمیچر ۰/۲Ω را در نظر بگیریـــد. جریان آرمیچر این موتور در لحظه راه‌اندازی برابر است با:

$$I_{A_{st}} = \frac{V_T - ۰}{R_A}$$

$$I_{A_{st}} = \frac{۲۲۰ - ۰}{۰/۲} = ۱۱۰۰[A]$$

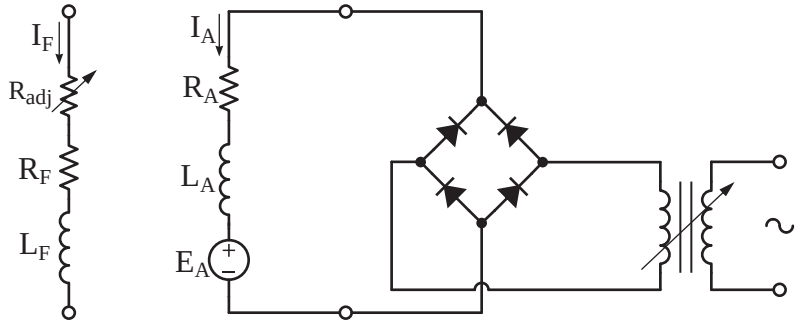
مشاهده می‌شود جریان آرمیچر در لحظه راه‌اندازی ۲۲۰ برابر جریان نامی موتور است. البته پس از راه‌اندازی موتور و ســـرعت گرفتن رتور نیروی محرکه القایی E_A افزایش می‌یابد و باعث کاهش جریان آرمیچر می‌شود.

برای کاهش جریان آرمیچر در لحظه راه‌اندازی طبق رابطه (۴۱ ـ ۴) باید ولتاژ V_T را کاهش یا مقاومت مدار آرمیچر R_A را افزایش داد. بدین منظور روش‌هایی ابداع شده است که به آنها پرداخته می‌شود.

۱ ـ ۱۴ ـ ۴ ـ راه‌اندازی با منبع ولتاژ متغیر

در این روش با استفاده از منبع ولتاژ DC متغیر در لحظه راه‌اندازی ولتاژ موتور را کاهش می‌دهند و پس از راه‌انـــداری ولتاژ را به تدریج افزایش می‌دهند تا به ولتاژ نامی برسد.

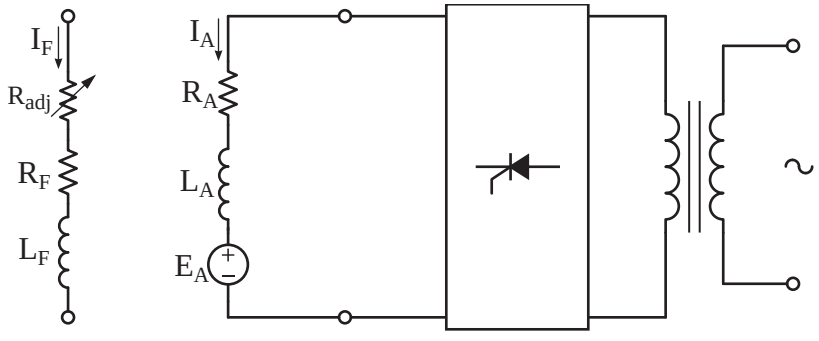
یـــــک نمـــونـــه از منبـع ولتاژ DC متغیر در شکل (۴۵ ـ ۴) نشان داده شده است.



شکل ۴۵ ـ ۴

در شـــکل (۴۵ ـ ۴) از یک ترانس متغیر برای تغییر ولتاژ و یک مدار الکترونیکی یکســـو کننده دیودی برای تبدیل ولتاژ AC به DC استفاده شده است.

نمـــونـــه دیگری از منبع ولتاژ DC متغیر در شکل (۴۶ ـ ۴) نشان داده شده است.



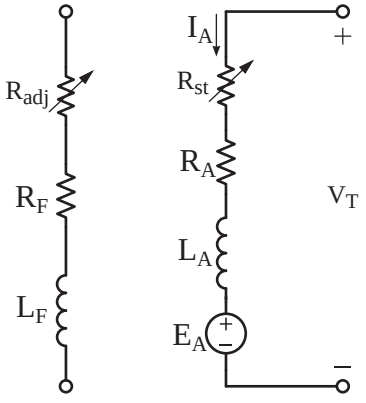
شکل ۴۶ ـ ۴

در این شـــکل از یک ترانس برای تبدیل ولتاژ و یک مدار الکترونیکی یکســـوکننده تریســـتوری تمام موج کنترل شـــده برای تغییر ولتـــاژ و تبدیل AC به DC استفاده شده است.

اســـتفاده از منبـــع ولتاژ DC متغیـــر در راه‌اندازی موتورهای DC به دلیل بازده زیاد بسیار مناسب است.

۴ ـ ۱۴ ـ ۴ ـ راه‌اندازی با مقاومت راه‌انداز

در ایـــن روش با اســـتفاده از مقاومـــت متغیر به نام «مقاومت راه‌انداز[۱]» که با مدار آرمیچر ســـری می‌شـــود مقاومـــت مدار آرمیچـــر را افزایـــش می‌دهند و پس از راه‌اندازی، مقاومـــت راه‌انداز را به تدریج کم می‌کنند تا به صفر برسد. نحوه قرار گرفتن مقاومت راه‌انداز در مدار آرمیچر در شکل (۴۷ ـ ۴) نشان داده شده است.



شکل ۴۷ ـ ۴

استفاده از مقاومت راه‌انداز با توجه به تلفات حرارتی بسیار زیاد آن توصیه نشده است.

پرسش ۸ ـ ۴

پرسش‌های کامل کردنی

۱ ـ جریـــان راه‌اندازی زیاد باعث ایجـــاد ..... بسیار شدید در منبع تغذیه می‌شود.

۲ ـ در لحظه راه‌اندازی ســـرعت ..... اســـت و نیروی محرکه القایی ..... می‌شود.

۳ ـ پس از راه‌اندازی و ســـرعت گرفتن رتور نیروی محرکه القایی ..... و جریان آرمیچر ..... می‌یابد.

۴ ـ در منبع تغذیه ولتاژ متغیر وظیفه ترانســـفورمر ..... و وظیفه پل دیودی ..... است.

پرسش‌های صحیح، غلط

۱ ـ یکی از مشـــکلات جریان راه‌انـــدازی زیاد قطع فیوزهای مدار است.

صحیح ☐ غلط ☐

۲ ـ در لحظه راه‌اندازی نیروی محرکه القایی آرمیچر برابر ولتاژ موتور است.

صحیح ☐ غلط ☐

پرسش‌های تشریحی

۱ ـ مشکلاتی که جریان راه‌اندازی زیاد ایجاد می‌کند را بنویسید.

۲ ـ چـــرا موتورهـــای جریـــان مســـتقیم در لحظه راه‌اندازی جریان زیاد می‌کشند؟

۳ ـ راه‌اندازی موتور DC با منبع ولتاژ متغیر را شرح دهید.

۴ ـ نحوه راه‌اندازی موتور DC با مقاومت راه‌انداز را شرح دهید.

۵ ـ مزایای راه‌اندازی موتور DC با منبع ولتاژ متغیر نسبت به راه‌اندازی با مقاومت راه‌انداز را بنویسید.

۶ ـ معایـــب راه‌اندازی موتور DC با مقاومت راه‌انداز را بنویسید.

۱. Starting Resistor

۱۵ ـ ۴ ـ کنترل سرعت موتورهای جریان مستقیم

صنعت همواره نیاز به موتورهایی با گشتاور بالا با امکان کنترل سرعت وسیع و دقیق دارد. قطارهای مترو، اتوبوس‌های برقی و خطوط تولید کارخانجات نورد فولاد و سکوهای پرتاب موشک و وسایل دیگری از این دست وسایلی هستند که نیروی محرکه خود را از موتورهای DC تامین می‌کنند. موتورهای DC از نقطه نظر کنترل سرعت، نقش ارزنده‌ای ایفا می‌کنند. هم‌چنین می‌توان سرعت آنها را کمتر یا بیشتر از سرعت نامی در محدوده‌ای وسیع و دقیق کنترل کرد.

هم‌چنین سیستم‌های کنترل سرعت موتورهای DC ارزان‌تر از سیستم‌های کنترل سرعت موتورهای AC است.

نیروی محرکه القایی آرمیچر از رابطه $E_A = K \cdot \varphi \cdot \omega$ تعیین می‌شود و از آن رابطه (۴۲ ـ ۴) برای سرعت به‌دست می‌آید.

$$\omega = \frac{E_A}{K \cdot \varphi} \qquad (۴-۴۲)$$

برای موتورهای تحریک مستقل و شنت نیروی محرکه القایی E_A از رابطه (۴۳ ـ ۴) به‌دست می‌آید.

$$E_A = V_T - R_A I_A \qquad (۴-۴۳)$$

اگر از مقاومت مدار تحریک سری در موتورهای سری و کمپوند صرف‌نظر شود رابطه (۴۳ ـ ۴) برای آنها نیز صادق خواهد شد. با جایگزین کردن رابطه (۴۳ ـ ۴) در رابطه (۴۲ ـ ۴) رابطه سرعت به شکل رابطه (۴۴ ـ ۴) در می‌آید.

$$\omega = \frac{V_T - R_A I_A}{K \cdot \varphi} \qquad (۴-۴۴)$$

با توجه به رابطه (۴۴ ـ ۴) ولتاژ موتور V_T، مقاومت مدار آرمیچر R_A و فوران عواملی هستند که بر سرعت تأثیر گذارند. با توجه به این عوامل روش‌های کنترل ابداع شده است.

۱ ـ کنترل سرعت از طریق کنترل ولتاژ

سرعت در موتورهای DC طبق رابطه (۴۴ ـ ۴) با ولتاژ نسبت مستقیم دارد. روش کنترل ولتاژ برای کنترل سرعت از صفر تا سرعت نامی به‌کار می‌رود. بدیهی است افزایش ولتاژ، بیش ولتاژ نامی به منظور دستیابی به سرعت‌های فراتر از سرعت نامی به سیم‌پیچی‌های موتور آسیب می‌رساند.

اخیراً با پیشرفت‌هایی که در الکترونیک قدرت حاصل شده است استفاده از مدارهای الکترونیکی کنترل ولتاژ به منظور کنترل سرعت متداول شده است.

۲ ـ کنترل سرعت از طریق کنترل مقاومت مدار آرمیچر

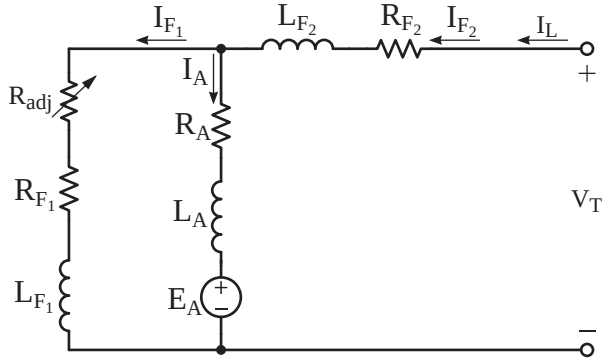
سرعت در موتورهای DC طبق رابطه (۴۴ ـ ۴) با مقاومت مدار آرمیچر نسبت عکس دارد. روش کنترل مقاومت مدار آرمیچر به منظور کنترل سرعت به دلیل افزایش تلفات حرارتی در مدار آرمیچر توصیه نشده است.

۳ ـ کنترل سرعت از طریق کنترل فوران قطب‌ها

سرعت در موتورهای DC طبق رابطه (۴۴ ـ ۴) با فوران قطب‌ها نسبت عکس دارد. روش کنترل فوران

برای کنترل سرعت فراتر از سرعت نامی به‌کار می‌رود. بدیهی است کاهش فوران به منظور دستیابی به بیش از سرعت نامی تا جایی مجاز است که موتور مهار گسسته نشود و جریان مدار آرمیچر از مقدار نامی تجاوز نکند.

کنترل فوران سیم‌پیچی تحریک موازی از طریق مقاومت متغیر R_{adj} که سری در مدار تحریک موازی قرار می‌گیرد امکان‌پذیر است. کنترل فوران سیم‌پیچی تحریک سری در عمل انجام نمی‌شود (شکل ۴۸ ـ ۴).

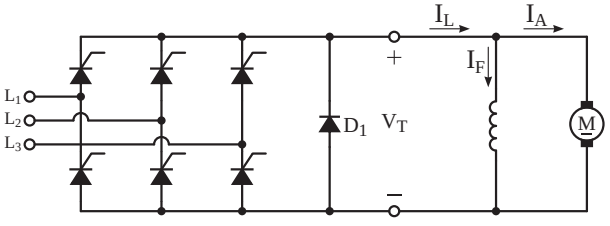


شکل ۴۸ ـ ۴ نحوه اتصال مقاومت R_{adj}

سیستم‌های کنترل سرعت موتورهای DC، روش‌های کنترل ولتاژ و فوران را به صورت ترکیبی به‌کار می‌گیرند و ضمن کنترل سرعت، راه‌اندازی موتور را نیز انجام می‌دهند.

۱ ـ ۱۵ ـ ۴ ـ کنترل سرعت الکترونیکی

امروزه استفاده از مدارهای الکترونیکی به منظور کنترل ولتاژ بسیار متداول شده است عناصر این مدارات قطعات نیمه هادی هستند. یک نمونه از این مدارهای الکترونیکی در شکل (۴۹ ـ ۴) نشان داده شده است.



شکل ۴۹ ـ ۴ مدار ساده کنترل ولتاژ DC موتور شنت

در این شکل ولتاژ شبکه سه فاز توسط یکسوکننده تریستوری یکسو می‌شود و مقدار ولتاژ DC توسط تغییر زاویه آتش گیت‌های تریستورها قابل کنترل می‌باشد. از دیود D_1 به عنوان هرز گرد جهت مستهلک کردن انرژی ذخیره شده در سیم‌پیچی‌های موتور استفاده شده است.

در سیستم‌های کنترل سرعت الکترونیکی امکان طراحی مدار الکترونیکی برای تغییر پلاریته ولتاژ DC جهت معکوس کردن دور وجود دارد.

- مزایای سیستم کنترل سرعت الکترونیکی:

۱ ـ فضای کمی اشغال می‌کند.

۲ ـ بازده بالا دارد.

۳ ـ امکان کنترل سریع ولتاژ خروجی

۴ ـ ارزان و اقتصادی هستند.

- معایب سیستم کنترل سرعت الکترونیکی:

۱ ـ تولید اعوجاج و نوسانات در شبکه برق

پرسش ۹ ـ ۴

پرسش‌های کامل کردنی

۱ ـ صنعت نیاز به موتورهایی با گشتاور ..... با امکان کنترل ..... دارد.

۲ ـ کنترل ..... و کنترل ..... از روش‌های کنترل سرعت موتورهای DC هستند.

۳ ـ سرعت در موتورهای DC با فوران نسبت ..... دارد.

پرسش‌های صحیح، غلط

۱ ـ موتورهای DC از نقطه نظر کنترل سرعت نقش ارزنده‌ای ایفا می‌کنند.

صحیح ☐ غلط ☐

۲ ـ سرعت در موتورهای DC با ولتاژ نسبت عکس دارد.

صحیح ☐ غلط ☐

۳ ـ روش کنترل سرعت از طریق کنترل مقاومت آرمیچر در موتورهای DC توصیه نشده است.

صحیح ☐ غلط ☐

۴ ـ سیستم‌های کنترل سرعت وظیفه راه‌اندازی موتور را نیز انجام می‌دهند.

صحیح ☐ غلط ☐

پرسش‌های تشریحی

۱ ـ دلیل لزوم کنترل سرعت در موتورهای DC را شرح دهید.

۲ ـ عواملی که بر سرعت موتورهای DC تأثیر گذارند را بنویسید.

۳ ـ روش کنترل سرعت از طریق کنترل ولتاژ را شرح دهید.

۴ ـ چرا روش کنترل سرعت موتورهای DC از طریق کنترل مقاومت مدار آرمیچر توصیه نشده است؟

۵ ـ کنترل سرعت از طریق کنترل فوران را شرح دهید.

۶ ـ هر یک از روش‌های کنترل سرعت در چه محدوده‌ای کاربرد دارند؟ توضیح دهید.

۷ ـ نحوه نصب مقاومت‌های R_{adj} در مدار تحریک چگونه است؟ چرا؟

۸ ـ مزایای سیستم کنترل سرعت الکترونیکی را بنویسید؟

۱۶ ـ ۴ ـ تغییر جهت گردش موتورهای جریان مستقیم

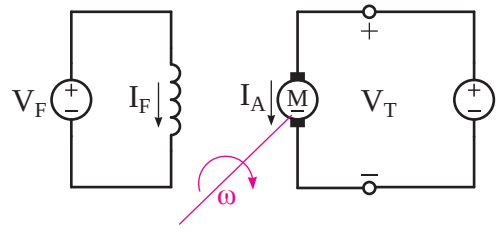
در بسیاری از بارهای صنعتی مانند نقاله‌ها، قطارهای مترو، خودروهای برقی و ... که نیروی محرکه آنها توسط موتورهای جریان مستقیم فراهم می‌شود امکان تغییر جهت گردش نیاز است.

تغییر جهت گردش موتورهای DC با تعویض جهت گشتاور آرمیچر امکان‌پذیر است. بدین منظور باید جهت جریان در سیم‌پیچی آرمیچر یا جهت جریان در سیم‌پیچی تحریک را عوض کرد. معمولاً برای تغییر جهت گردش موتورهای DC جهت جریان سیم‌پیچی آرمیچر را با جابه‌جا کردن دو سر مدار آرمیچر عوض می‌کنند و از تعویض جهت جریان مدار تحریک خودداری می‌کنند تا مشکلات زیر به‌وجود نیاید.

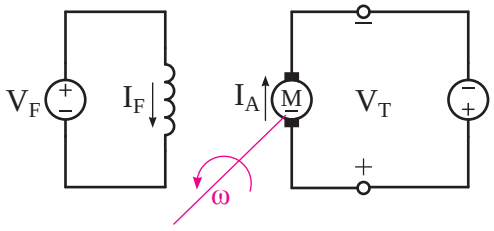
۱ ـ قطع مدار تحریک در لحظه تغییر جهت گردش باعث بروز پدیده مهار گسستگی خواهد شد.

۲ ـ تغییر جهت جریان تحریک پلاریته قطب‌های موتور را عوض می‌کند در این صورت در کار قطب‌های کمکی و سیم‌پیچی‌های جبران‌گر اختلال ایجاد خواهد شد.

در موتور تحریک مستقل کافی است پلاریته منبع ولتاژ مدار آرمیچر را عوض کرد تا جهت گردش موتور تغییر کند (شکل ۵۰ ـ ۴).



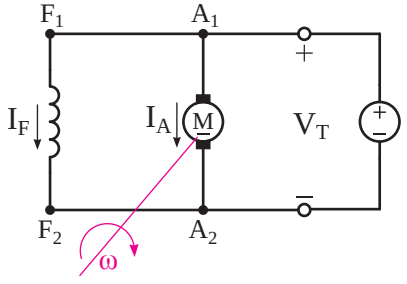
الف ـ راست گرد



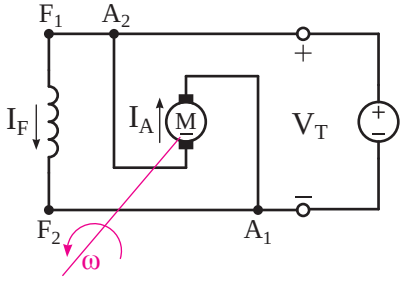
ب ـ چپ گرد

شکل ۵۰ ـ ۴ نقشه اختصاری تغییر جهت گردش موتور تحریک مستقل

در موتورهای شنت، سری و کمپوند با جابجایی محل اتصال مدار آرمیچر نسبت به مدار تحریک، جهت جریان آرمیچر را عوض می‌کنند تا جهت گردش موتور تغییر کند. در شکل (۵۱ ـ ۴) نقشه اختصاری تغییر جهت گردش موتور شنت نشان داده شده است.



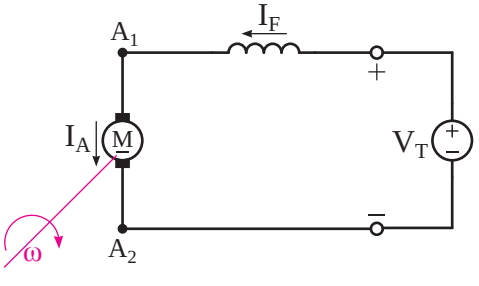
الف ـ راست گرد



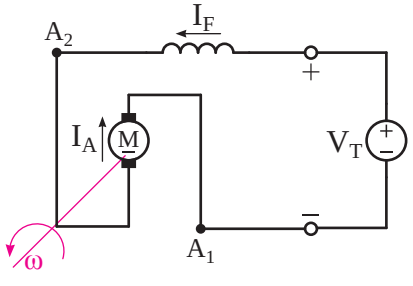
ب ـ چپ گرد

شکل ۵۱ ـ ۴ نقشه اختصاری تغییر جهت گردش موتور شنت

در شکل (۵۲ ـ ۴) نقشه اختصاری تغییر جهت گردش موتور سری نشان داده شده است.



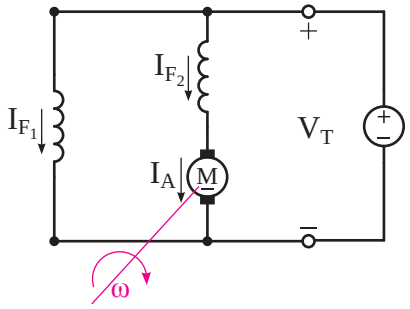
الف ـ راست گرد



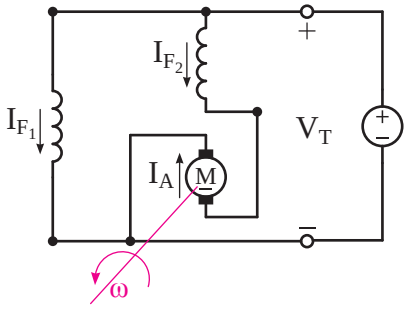
ب ـ چپ گرد

شکل ۵۲ ـ ۴ نقشه اختصاری تغییر جهت گردش موتور سری

در شکل (۵۳ ـ ۴) نقشه اختصاری تغییر جهت گردش موتور کمپوند با شنت بلند نشان داده شده است.



الف ـ راست گرد



ب ـ چپ گرد

شکل ۵۳ ـ ۴ نقشه اختصاری تغییر جهت گردش موتور کمپوند با شنت بلند

در موتورهای شنت، سری و کمپوند با تعویض پلاریته‌های منبع ولتاژ جهت جریان مدار آرمیچر و تحریک عوض می‌شود از این رو جهت گردش تغییر نخواهد کرد.

۱۷ ـ ۴ ـ ترمز در موتورهای جریان مستقیم

در بسیاری از بارهای صنعتی مانند نقاله‌ها، قطارهای مترو و خودروهای برقی... که توسط موتورهای جریان مستقیم به حرکت در می‌آیند پس از قطع از منبع تغذیه، رتور به خاطر انرژی جنبشی تا مدتی به حرکت خود ادامه می‌دهد و سپس متوقف می‌شود. در صورتی‌که نیاز به توقف سریع رتور باشد باید از حالت‌های ترمزی موتورهای جریان مستقیم استفاده کرد تا پس از خاموش شدن موتور، بلافاصله رتور و بار آن متوقف شوند.

اساس کار ترمز موتورهای DC بر این مبنا استوار است که انرژی جنبشی رتور در حال گردش را مستهلک می‌کند تا رتور متوقف شود. سه روش ترمز برای موتورهای DC به‌کار می‌رود:

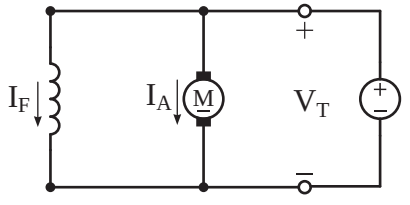
۱ ـ ترمز دینامیکی

۲ ـ ترمز با جریان مخالف

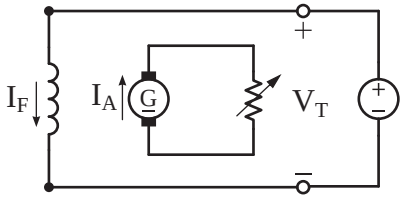
۳ ـ ترمز ژنراتوری

۱ ـ ۱۷ ـ ۴ ـ ترمز دینامیکی

در این روش برای موتورهای شنت مدار آرمیچر از منبع تغذیه جدا می‌شود و دو سر آن به یک مقاومت متغیر وصل می‌شود. در این صورت موتور تبدیل به ژنراتور تحریک مستقل خواهد شد و انرژی جنبشی رتور در سیم‌پیچی آرمیچر ابتدا تبدیل به انرژی الکتریکی می‌شود و سپس در مقاومت متغیر به انرژی گرمایی تبدیل خواهد شد. این تبدیل انرژی تا توقف رتور ادامه می‌یابد. نقشه اختصاری حالت کار و ترمز دینامیکی موتور شنت در شکل (۵۴ ـ ۴) نشان داده شده است.



الف ـ حالت کار



ب ـ حالت ترمز

شکل ۵۴ ـ ۴ نقشه اختصاری موتور شنت

در موتورهای سری برای ایجاد حالت ترمز دینامیکی، موتـــور از منبع تغذیه جدا می‌شـــود و مـــدار آرمیچر و تحریک سری به مقاومت متغیر متصل می‌شوند؛ با این تفاوت که دو ســـر ســـیم‌پیچی تحریک سری در حالت ترمزی جابه‌جا می‌شود تا جهت جریان آن مانند حالت کار موتـــوری باقی بماند و پس‌ماند قطب‌ها از بین نرود. نقشه اختصاری حالت کار و ترمز دینامیکی موتور سری در شکل (۵۵ ـ ۴) نشان داده شده است.

الف ـ حالت کار　　ب ـ حالت ترمز

شکل ۵۵ ـ ۴ نقشه اختصاری موتور سری

در موتورهـــای کمپونـــد بـــرای ایجـــاد حالت ترمز دینامیکی، مدار آرمیچر و تحریک سری مشابه آنچه که برای موتور سری شرح داده شد به مقاومت متغیر وصل می‌شـــود و مدار تحریک موازی بـــه منبع تغذیه متصل می‌ماند.

در روش ترمـــز دینامیکی لازم اســـت ســـیم‌پیچی تحریک در مدار باقی بماند تا رفتار ژنراتوری پدید آید. هم‌چنین هرچه مقدار مقاومت متغیر کمتر شود نیروی ترمزی قوی‌تری به‌وجود می‌آید و رتور سریع‌تر متوقف می‌شود.

در اتوبوس‌هـــای برقـــی مجهز به ترمـــز دینامیکی، مقاومـــت متغیر از طریق یک پـــدال در زیر پای راننده قرار داده شـــده است. راننده با فشار بر پدال ضمن قطع مدار آرمیچـــر از منبع تغذیه آن را بـــه مقاومت متغیر وصل می‌کند. فشار بیشتر بر پدال، مقاومت متغیر را کم می‌کند تا نیروی ترمز قوی‌تری ایجاد شود.

۲ ـ ۱۷ ـ ۴ ـ ترمز با جریان مخالف

در این روش برای ایجاد نیروی ترمزی جهت گردش موتـــور را با جابه‌جا کردن ســـرهای مدار آرمیچر عوض می‌کنند تا جهت گشـــتاور آرمیچر عوض شود؛ لذا رتور سریع متوقف می‌شود و پس از توقف، منبع تغذیه قطع می‌شود تا رتور در جهت مخالف حرکت نکند.

نیروی ترمزی جریان مخالف به مراتب بیشتر از ترمز دینامیکی است و رتور در مدت زمان کمتری می‌ایستد. امـــا در این روش ضربات شـــدید مکانیکـــی به محور و یاتاقان‌ها وارد می‌شود و مدارهای الکتریکی موتور، باید جریان‌های شدید لحظه‌ای را تحمل کند.

۳ ـ ۱۷ ـ ۴ ـ ترمز ژنراتوری

در مواردی که بار تحت تأثیر انرژی جنبشـــی خود بتواند ســـرعت رتور را به بیش از سرعت بی‌باری برساند (مانند حرکت خـــودرو در ســـرازیری)، نیروی محرکه القایـــی آرمیچر E_A بزرگ‌تر از ولتاژ V_T می‌شـــود. لذا

موتور تبدیل به ژنراتور خواهد شـد و انرژی جنبشـی رتـور به انـرژی الکتریکـی تبدیل و به منبـع تغذیه برگردانده می‌شـود و آن را شارژ می‌کند. در این صورت نیروی ترمزی ایجاد می‌شـود که مانع افزایش سـرعت رتور می‌شـود. این روش تولید نیـروی ترمزی را «ترمز ژنراتوری» گویند.

در روش ترمـز ژانرتوری باید امـکان جذب انرژی الکتریکی توسـط منبع تغذیه فراهم باشـد در غیر این صـورت نیروی ترمزی پدید نمی‌آید. ترمز مولدی باعث توقف رتور نخواهد شـد بلکه از افزایش سـرعت رتور جلوگیری می‌کند.

روش ترمـزی ژنراتوری در موتورهای سـری پدید نمی‌آیـد؛ زیرا رسـیدن به بیش از سـرعت بی‌باری به معنای وقوع پدیده فرار یا مهار گسستگی است.

پرسش ۱۰ ـ ۴

پرسش‌های کامل کردنی

۱ ـ برای تغییر جهت گردش موتور DC باید جهت جریان ..... یا ..... را عوض کرد.

۲ ـ قطع مدار تحریک در لحظه تغییر جهت گردش باعث بروز پدیده ..... خواهد شد.

۳ ـ اساس کار ترمز موتورهای DC مستهلک کردن انرژی ..... است.

۴ ـ در روش ترمـز دینامیکی انرژی ..... رتور به انرژی ..... تبدیل می‌شود.

۵ ـ در روش ترمز دینامیکی لازم اسـت سیم‌پیچی ..... در مدار باقی بماند تا رفتار ..... پدید آید.

۶ ـ در روش ترمز ژنراتوری باید امکان جذب انرژی ..... توسط ..... فراهم باشد.

پرسش‌های صحیح، غلط

۱ ـ تغییر جهـت گردش موتورهای DC با تعویض جهت گشتاور آرمیچر امکان‌پذیر است.

صحیح ☐ غلط ☐

۲ ـ با تعویض پلاریته منبع ولتاژ مدار آرمیچر، جهت گردش موتور تحریک مستقل تغییر می‌کند.

صحیح ☐ غلط ☐

۳ ـ با تعویض پلاریته منبع ولتاژ جهت گردش موتور شنت تغییر می‌کند.

صحیح ☐ غلط ☐

۴ ـ در روش ترمز دینامیکی انرژی جنبشی رتور به انرژی الکتریکی تبدیل نمی‌شود.

صحیح ☐ غلط ☐

۵ ـ نیروی ترمزی جریان مخالف به مراتب بیشتر از ترمز دینامیکی است.

صحیح ☐ غلط ☐

۶ ـ روش ترمز ژنراتوری در موتور سری کاربرد دارد.

صحیح ☐ غلط ☐

پرسش‌های تشریحی

۱ ـ تغییـر جهت گردش در موتورهای DC چگونه انجام می‌شود؟

۲ ـ چـرا از تعویض جهت جریان تحریک به منظور تغییر جهت گردش خودداری می‌شود؟

۳ ـ نقشه اختصاری تغییر جهت گردش موتور شنت را رسم نموده و توضیح دهید.

۴ ـ چرا در موتورهای شنت، سری و کمپوند با تعویض پلاریته منبع ولتاژ، جهت گردش تغییر نمی‌کند؟

۵ ـ لزوم اســـتفاده از ترمز در موتورهای الکتریکی را بنویسید.

۶ ـ اساس کار ترمز را شرح دهید.

۷ ـ انواع روش‌های ترمز را بنویسید.

۸ ـ روش ترمز دینامیکی را توضیح دهید.

۹ ـ با رســـم شکل نحوه ترمز دینامیکی موتور شنت را توضیح دهید.

۱۰ ـ با رسم شکل نحوه ترمز دینامیکی موتور سری را توضیح دهید.

۱۱ ـ نحـــوه ترمـــز دینامیکی در موتـــور کمپوند را توضیح دهید.

۱۲ ـ ترمز با جریان مخالف را توضیح دهید.

۱۳ ـ ترمز ژنراتوری را توضیح دهید.

۱۴ ـ چـــرا ترمز ژنراتـــوری در موتور ســـری پدید نمی‌آید؟

منابع

1-Electric Machinary – Fourth Edition – by Fitzgerald / Kingsley / Umans

2-Principles of Electric Machines and Power Electronics – by Sen, Paresh, Chandra

3 –Electric Machinery Fundamentals – Fourth Edition – by Stepheny. Chapman

۵ ـ ماشـــین‌های الکتریکی، تئوری، عملکرد و کاربردها - تالیف پروفسور بیم بهارا - ترجمه دکتر سلطانی، دکتر لسانی

۶ ـ ماشین‌های الکتریکی، تحلیل، بهره‌برداری، کنترل - تالیف پی سی سن - ترجمه دکتر عابدی، نبوی