

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

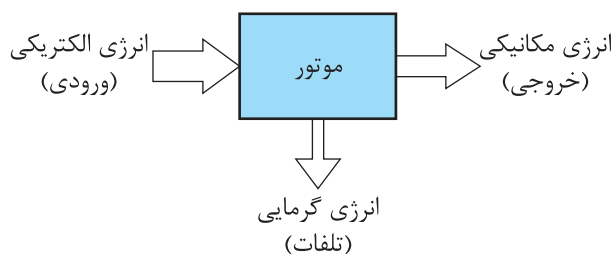
امروزه این موتورها در توان‌های کم در حد میلی‌وات تا توان‌های زیاد در حد ده مگاوات ساخته می‌شوند.

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^۲ است. یعنی یک ماشین الکتریکی جریان مستقیم می‌تواند به صورت موتور یا ژنراتور مورد

موتورهای جریان مستقیم^۱ 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 - ۴).



شکل ۱-۴

ویژگی موتورهای جریان مستقیم تنوع آنها است که با ترکیب‌های متنوع در مدار تحریک آنها می‌توان مشخصه‌های گشتاور - دور گوناگونی به دست 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.

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

۱-۴- پخش توان و تلفات در موتورهای

جریان مستقیم

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



شکل ۲-۴ طرح ساختمانی موتور جریان مستقیم

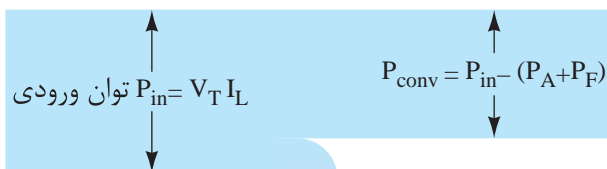
استاتور قطب‌های برجسته دارد. در صورتی که سیم‌پیچی قطب‌ها توسط جریان I_F تحریک شوند فوران ناشی از آن در فاصله هوایی توزیع خواهد شد. سیم‌پیچی آرمیچر درون میدان قطب‌ها قرار دارد و با

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 (۱-۴) به دست می‌آید.

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

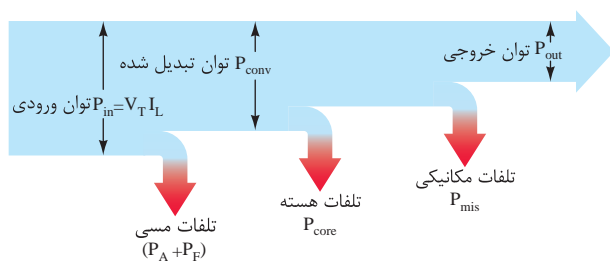
با جاری شدن جریان در سیم‌پیچی‌های آرمیچر و تحریک، این سیم‌پیچی‌ها گرم می‌شوند. مقداری از توان ورودی P_{in} که در سیم‌پیچی‌های آرمیچر و تحریک به گرما تبدیل می‌شود را «تلفات مسی» گویند و با P_{cu} نشان می‌دهند. بخشی از تلفات مسی که در سیم‌پیچی آرمیچر می‌باشد را «تلفات آرمیچر» گویند و با P_A نشان می‌دهند. 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 (۳-۴) نشان داده شده است.



$$P_{cu} = P_A + P_F$$

شکل ۳-۴

از توان مکانیکی ورودی P_{in} که در اثر اصطکاک به گرما تبدیل می‌شود را «تلفات مکانیکی» گویند و با P_{mis} نشان می‌دهند. تلفات مکانیکی P_{mis} همراه با تلفات هسته P_{core} از توان تبدیل شده P_{conv} می‌کاهد و بعد از کم شدن، توان باقی‌مانده را «توان خروجی» گویند و با P_{out} نشان می‌دهند. این فرآیند در شکل (۵ - ۴) نشان داده شده است. به این شکل «نمودار پخش توان» موتورهای جریان مستقیم گویند.



شکل ۵ - ۴ نمودار پخش توان در موتورهای جریان مستقیم

مثال ۱ - ۴ - موتور جریان مستقیم $V = 200$ ، $10 A$ با تلفات مسی $50 W$ و هسته $40 W$ و مکانیکی $60 W$ مفروض است.

مطلوب است:

الف - توان ورودی

ب - توان تبدیل شده

ج - توان خروجی

حل:

- با توجه به نمودار پخش توان شکل (۴ - ۴)

داریم:

$$P_{in} = V_T I_L = 200 \times 10 = 2000 [W]$$

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

$$P_{conv} = 2000 - 50 = 1950 [W]$$

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

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

در این رابطه:

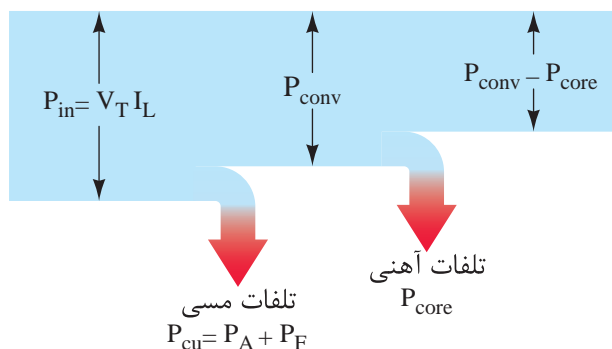
P_{conv} توان تبدیل شده. [W]

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 هیستریزیس به وجود می‌آید. مقداری از توان الکتریکی ورودی P_{in} که در اثر تلفات فوکو و هیستریزیس به گرما تبدیل می‌شود را «تلفات هسته» گویند و با P_{core} نشان می‌دهند.

تلفات هسته P_{core} از توان تبدیل شده P_{conv} می‌کاهد. این فرآیند در شکل (۴ - ۴) نشان داده شده است.



شکل ۴ - ۴

با گردش رتور، اصطکاک میان قسمت‌های ساکن و متحرک ایجاد می‌شود. بخشی از این اصطکاک در یاتاقان‌ها و بخش دیگر آن در اثر اصطکاک قسمت متحرک و هوای درون ماشین به وجود می‌آید. مقداری

ج) توان خروجی
حل:

$$P_A + P_F = 30 + 20 = 50 \text{ W} \quad \text{تلفات متغیر}$$

$$P_{\text{core}} + P_{\text{mis}} = 60 + 40 = 100 \text{ W} \quad \text{تلفات ثابت}$$

- توان ورودی از رابطه (۱ - ۴) به دست می آید.

$$P_{\text{in}} = V_T I_L = 220 \times 16 / 5 = 3630 \text{ [W]}$$

- تلفات کل از رابطه (۳ - ۳) به دست می آید.

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

$$\Delta P = 30 + 20 + 60 + 40 = 150 \text{ [W]}$$

- توان نیز خروجی از رابطه (۴ - ۳) به دست می آید.

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

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

$$P_{\text{out}} = 3630 - 150 = 3480 \text{ [W]}$$

۳ - ۴ - بازده موتورهای جریان مستقیم

در موتورهای جریان مستقیم توان ورودی P_{in} الکتریکی است و توان خروجی P_{out} مکانیکی می باشد. نسبت توان خروجی به توان ورودی را «بازده» یا راندمان نامیده و آن را با η نشان می دهند که از رابطه (۵ - ۳) به دست می آید.

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

$$P_{\text{out}} = P_{\text{conv}} - P_{\text{mis}} - P_{\text{core}}$$

$$P_{\text{out}} = 1950 - 40 - 60 = 1850 \text{ [W]}$$

۲ - ۴ - تلفات کل موتورهای جریان مستقیم

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

تلفات مکانیکی + تلفات هسته + تلفات مسی = تلفات کل

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

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

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

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

تلفات مکانیکی P_{mis} و تلفات هسته P_{core} مطابق آنچه در بخش ۲ - 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 ۱ - ۲ - موتور جریان مستقیم $V = 220$ ، $A = 16/5$ مفروض است. تلفات آرمیچر $W = 30$ و تلفات تحریک $W = 20$ می باشد. اگر تلفات هسته $W = 60$ و تلفات مکانیکی $W = 40$ باشد مطلوب است:

الف) تلفات متغیر

ب) تلفات ثابت

۴ - ۴ - گشتاور موتورهای جریان مستقیم

گشتاور آرمیچر موتورهای جریان مستقیم ناشی از جاری شدن جریان در سیم‌پیچی آرمیچر واقع در میدان مغناطیسی قطب‌های استاتور است. با عبور جریان از سیم‌پیچی آرمیچر I_A ، از طرف فوران مغناطیسی 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 - ۲) به دست می‌آید.

$$T_A = K\phi I_A$$

با ایجاد گشتاور، سیم‌پیچی آرمیچر شروع به گردش در فوران مغناطیسی قطب‌های استاتور می‌کند و در آن $\frac{\Delta\phi}{\Delta t}$ پدید آمده و طبق قانون القای الکترومغناطیسی فاراده نیروی محرکه E_A در سیم‌پیچی آرمیچر القا می‌شود. نیروی محرکه القایی در سیم‌پیچی آرمیچر از رابطه (۲۰ - ۲) به دست می‌آید.

$$E_A = K \cdot \phi \cdot \omega$$

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

مقدار ضریب K از رابطه‌های (۲۵ - ۲) و (۲۰ - ۲) به دست می‌آید. رابطه (۲ - ۴)

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

گشتاور آرمیچر T_A از تناسب رابطه (۲ - ۴) قابل

بازده را بر حسب درصد بیان می‌کنند و از رابطه (۳ - ۶) محاسبه می‌شود.

$$\% \eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100$$

مثال ۳-۴ - یک موتور جریان مستقیم ۴ KW، ۲۵۰ V، ۲۰ A مفروض است. مطلوب است محاسبه:

الف - بازده بر حسب درصد

ب - تلفات

حل:

- توان ورودی از رابطه (۱ - ۴) به دست می‌آید.

$$P_{in} = V_T \cdot I_L = 250 \times 20 = 5000 [W]$$

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

$$P_{out} = 4_{kw} \times 1000 = 4000 [W]$$

- بازده بر حسب درصد از رابطه (۳ - ۶) به دست

می‌آید.

$$\% \eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100$$

$$\% \eta = \frac{4000}{5000} \times 100 = 80\%$$

- تلفات از رابطه (۳ - ۴) به دست می‌آید.

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

$$\Delta P = 5000 - 4000 = 1000 [W]$$

محاسبه است. رابطه (۳ - ۴)

حل:

- سرعت زاویه موتور از رابطه (۱۹ - ۲) به دست می آید.

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} = \frac{2 \times 3 / 14 \times 1500}{60} = 157 \left[\frac{\text{rad}}{\text{sec}} \right]$$

- از رابطه (۳ - ۴) گشتاور آرمیچر به دست می آید.

$$T_A = \frac{E_A I_A}{\omega} = \frac{750 \times 125}{157} = 597 / 1 \text{ [N.m]}$$

- از رابطه (۵ - ۴) گشتاور بار به دست می آید.

$$T_{\text{load}} = \frac{P_{\text{out}}}{\omega} = \frac{80 \times 10^3}{157} = 509 / 5 \text{ [N.m]}$$

پرسش ۱ - ۴

پرسش‌های کامل کردنی

- ۱ - فرآیند تبدیل انرژی الکتریکی به انرژی مکانیکی توسط صورت می گیرد.
- ۲ - مقداری از توان که در اثر در تبدیل به می شود را تلفات مکانیکی گویند.
- ۳ - نسبت توان به سرعت را گشتاور آرمیچر نامند.
- ۴ - نسبت توان به سرعت را گشتاور بار نامند.

$$T_A = \frac{E_A I_A}{\omega} \quad (4-3)$$

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

$$T_A = \frac{P_{\text{conv}}}{\omega} \quad (4-4)$$

رابطه (۴ - ۴) تعریف جدیدی برای گشتاور آرمیچر ارائه می دهد. طبق این تعریف «نسبت توان تبدیل شده P_{conv} به سرعت زاویه ای رتور ω گشتاور آرمیچر T_A نامیده می شود.» بر اساس همین تعریف «نسبت توان خروجی P_{out} به سرعت زاویه ای رتور ω ، گشتاور بار T_{load} می نامند» و از رابطه (۵ - ۴) به دست می آید.

$$T_{\text{load}} = \frac{P_{\text{out}}}{\omega} \quad (4-5)$$

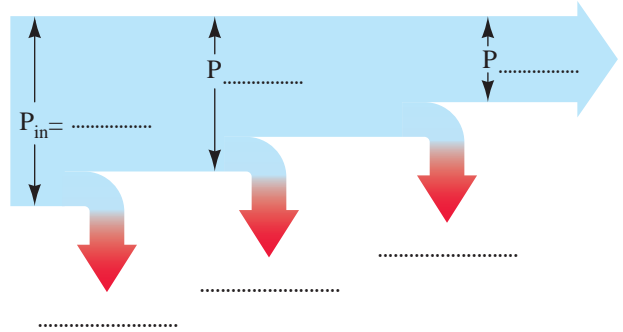
بدیهی است توان تبدیل شده P_{conv} بزرگ تر از توان خروجی P_{out} است در نتیجه گشتاور آرمیچر نیز بیشتر از گشتاور بار خواهد شد.

مثال ۴ - 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 - گشتاور آرمیچر T_A

ب - گشتاور بار T_{load}

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



۶ - تلفات در موتورهای جریان مستقیم را تعریف کنید.

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

تمرین ۱ - ۴

۱ - موتور جریان مستقیم 1 kW ، 200 V با توان تبدیل شده 1100 W و تلفات مسی 50 W مفروض است. مطلوب است:

الف - تلفات مکانیکی و هسته روی هم

ب - توان ورودی موتور

پ - جریان موتور

۲ - موتور جریان مستقیم 10 kW ، 500 V با تلفات ثابت 700 W و متغیر 800 W مفروض است. مطلوب است:

الف - تلفات کل

ب - توان ورودی

پ - توان تبدیل شده

۳ - یک موتور جریان مستقیم 10 HP ، 250 V با بازده $74/5\%$ مفروض است. مطلوب است:

الف - توان ورودی

ب - جریان موتور

۴ - یک موتور جریان مستقیم 45 kW باری را با گشتاور 430 N.m به گردش درآورده است. سرعت رتور را برحسب RPM به دست آورید.

۵ - یک موتور جریان مستقیم 90 kW با تلفات ثابت $2/5 \text{ kW}$ باری را با سرعت 1200 RPM می گرداند. مطلوب است:

پرسش های صحیح، غلط

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

صحیح غلط

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

صحیح غلط

پرسش های تشریحی

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

۲ - تلفات آرمیچر را شرح دهید.

۳ - ویژگی های موتورهای جریان مستقیم را بنویسید.

۴ - تلفات متغیر در موتورهای جریان مستقیم کدامند؟

۵ - علت پیدایش حالت موتوری و ژنراتوری در ماشین های جریان مستقیم را شرح دهید؟

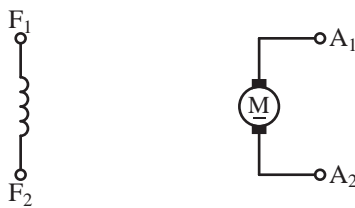
الف - گشتاور بار

ب - گشتاور آرمیچر

۴ - ۶ - علامت اختصاری و مدار الکتریکی

معادل موتورهای جریان مستقیم

طرح ساختمانی موتور جریان مستقیم شکل (۲ - 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 (۴ - ۶) نشان داده شده است. به کمک علامت‌های اختصاری می‌توان نمایش ساده‌ای از موتورهای جریان مستقیم ارائه کرد.



ب

الف

شکل ۴ - ۶ الف - علامت اختصاری آرمیچر
ب - 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 (۴ - ۷) نشان داده شده است.

۴ - ۵ - 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 (۴ - ۶) تعیین می‌شود.

$$\omega = \frac{E_A}{K \cdot \varphi} \quad (4-6)$$

گشتاور آرمیچر موتورهای جریان مستقیم از رابطه (۲۵ - 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 - 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 صورتی که موتور بدون بار باشد کاهش فوران طبق رابطه (۴ - ۶) 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.

۱) Run away.

۷-۴ - مشخصات موتورهای جریان مستقیم

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

۱ - 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 - 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 ثابت V_T 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 - سرعت

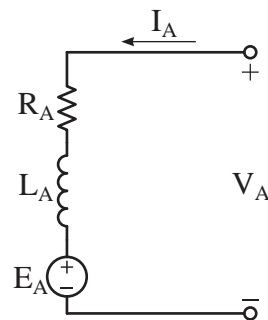
منحنی مشخصه گشتاور - سرعت تأثیر تغییرات گشتاور بار T_{load} بر سرعت گردش رتور n را در ولتاژ ثابت V_T نشان می‌دهد.



شکل ۷-۴ 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 (۸-۴) نشان داده شده است.



شکل ۸-۴ 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

می آید.

$$\%S_R = \frac{n_o - n}{n} \times 100$$

$$\%S_R = \frac{1500 - 1440}{1440} \times 100 = 4.1\%$$

- از رابطه (۱۹ - ۲) سرعت زاویه‌ای به دست می آید.

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} = \frac{2 \times 3.14 \times 1440}{60} = 150.72 \left[\frac{\text{rad}}{\text{sec}} \right]$$

- از رابطه (۵ - ۴) گشتاور بار به دست می آید.

$$T_{\text{load}} = \frac{P_{\text{out}}}{\omega} = \frac{2 \times 10^3}{150.72} = 13.26 \text{ [N.m]}$$

پرسش ۲ - ۴

پرسش‌های کامل کردنی

۱ - منحنی مشخصه الکترومکانیکی تأثیر تغییرات بر را نشان می‌دهد.

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

پرسش‌های صحیح، غلط

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

صحيح غلط

۲ - هرچه درصد تنظیم سرعت بیشتر باشد سرعت

۳ - گروه سوم شامل مشخصاتی است که از تجزیه و تحلیل اطلاعات مشخصات گروه اول و دوم به دست آمده و محاسبه می‌شوند. یکی از این مشخصات کمیت «تنظیم سرعت S_R » است که تغییرات سرعت نسبت به سرعت بارداری را نشان می‌دهد و از رابطه (۷ - ۴) به دست می‌آید.

$$S_R = \frac{n_o - n}{n} \quad (4-7)$$

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

$$\%S_R = \frac{n_o - n}{n} \times 100 \quad (4-8)$$

که در این رابطه:

S_R تنظیم سرعت

n_o سرعت بی‌باری رتور

n سرعت بارداری رتور

هرچه درصد تنظیم سرعت کمتر باشد، در اثر افزایش گشتاور بار سرعت رتور کمتر کاهش می‌یابد. بنابراین سرعت رتور از پایداری بیشتری برخوردار است.

مثال ۵ - ۴ - یک موتور جریان مستقیم ۲ KW در بی‌باری با سرعت ۱۵۰۰ RPM و در بار کامل با سرعت ۱۴۴۰ RPM می‌گردد. مطلوب است:

الف - درصد تنظیم سرعت

ب - گشتاور بار

حل:

- درصد تنظیم سرعت از رابطه (۸ - ۴) به دست

رتور از پایداری بیشتری برخوردار است.

صحیح غلط

- ۳ - موتورهای جریان مستقیم با تحریک شنت^۳
- ۴ - موتورهای جریان مستقیم با تحریک سری^۴
- ۵ - موتورهای جریان مستقیم با تحریک کمپوند^۵

پرسش‌های تشریحی

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

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

۳ - مقادیر نامی موتورهای جریان مستقیم را تعریف نمایید.

۴ - منحنی مشخصه الکترومغناطیسی را تعریف کنید.

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

تمرین ۲ - ۴

۱ - 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 - ۴ - طبقه‌بندی موتورهای جریان مستقیم

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

۱ - موتورهای جریان مستقیم با آهن‌ربای دائم^۱

PMDC

۲ - موتورهای جریان مستقیم با تحریک مستقل^۲

۹ - ۴ - موتورهای جریان مستقیم با آهن‌ربای

دایم

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



شکل ۹ - ۴ موتور جریان مستقیم با آهن‌ربای دائم

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

و پایین و بالا بر شیشه و هم چنین در مسواکها به کار می روند. به طور کلی در جاهایی که نیاز به موتور کوچک و ارزان قیمت باشد این موتورها پیشنهاد خواهند شد. سالانه میلیون ها موتور جریان مستقیم با آهن ربای دائم در دنیا تولید و استفاده می شوند.

پرسش ۳ - ۴

پرسش های کامل کردنی

- ۱ - موتورهای PMDC با حجم و توان دارای گشتاور هستند.
- ۲ - موتورهای PMDC با آهن ربای دارای قطب های هستند.

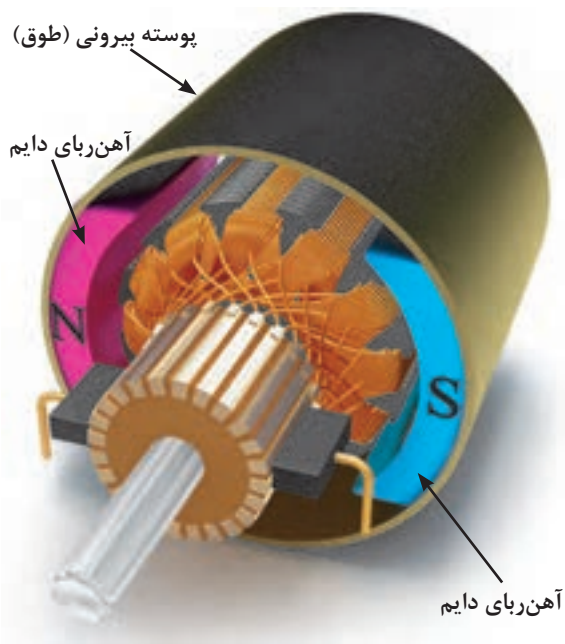
پرسش های صحیح، غلط

- ۱ - در موتورهای PMDC پوسته بیرونی از جنس آهن ربای دائم است.

صحیح غلط

پرسش های تشریحی

- ۱ - موتورهای جریان مستقیم چگونه طبقه بندی می شوند؟
- ۲ - انواع موتورهای جریان مستقیم را نام ببرید.
- ۳ - ساختمان موتورهای جریان مستقیم با آهن ربای دائم را شرح دهید.
- ۴ - وظیفه پوسته در موتورهای PMDC را بنویسید.
- ۵ - مزایا و معایب موتورهای جریان مستقیم با آهن ربای دائم را بنویسید.
- ۶ - کاربرد موتورهای PMDC را بنویسید.



شکل ۱۰ - ۴ طرح ساختمانی موتور DC با آهن ربای دائم

پوسته بیرونی یا طوقه از جنس آلایژ آلومینیومی یا فلزاتی دیگر است و آهن رباهای دائم که همان قطبها هستند را نگه می دارد. رتور نیز مانند دیگر ماشین های DC، شیارهایی برای سیم پیچی دارد و شامل یک کموتاتور و چند جاروبک است.

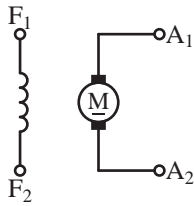
موتورهای DC با آهن ربای دائم PMDC به جای سیم پیچی تحریک دارای آهن ربای دائم هستند و ساختمان ساده تری دارند. عدم نیاز به تحریک خارجی برای تولید میدان مغناطیسی و نبود تلفات تحریک نیز از مزایای آنها به شمار می آید. از طرف دیگر تضعیف میدان مغناطیس آهن رباهای دائم در اثر عکس العمل آرمیچر و عدم کنترل بر میدان مغناطیسی قطبها از معایب موتورهای DC با آهن ربای دائم است.

۱ - ۹ - ۴ - کاربرد

موتورهای DC با آهن ربای دائم در اسباب بازیها و در خودروها به عنوان موتور برف پاکن و پمپ شیشه شوی

۱۰- ۴ - موتورهای جریان مستقیم با تحریک

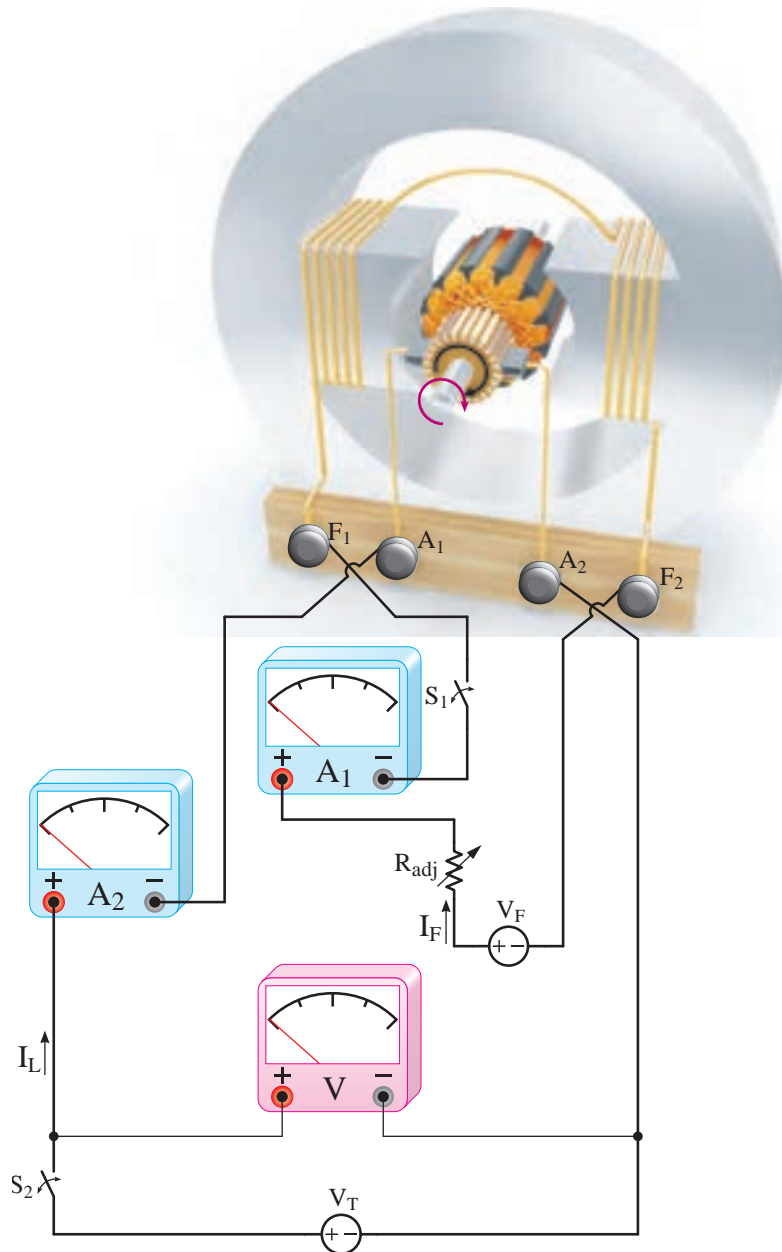
مستقل



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 - ۴) نشان داده شده است.

شکل ۱۱ - ۴ علامت اختصاری موتور تحریک مستقل

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



شکل ۱۲ - ۴ طرح ساختمانی موتور تحریک مستقل

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 (۹-۴) و (۱۰-۴) به دست می‌آید.

$$\text{KVL}_1) -V_F + R_{adj}I_1 + R_F I_1 = 0 \quad (4-9)$$

$$\text{KVL}_2) -V_T + R_A I_2 + E_A = 0 \quad (4-10)$$

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

$$I_F = I_1 \quad (4-11)$$

$$I_A = I_L = I_2 \quad (4-12)$$

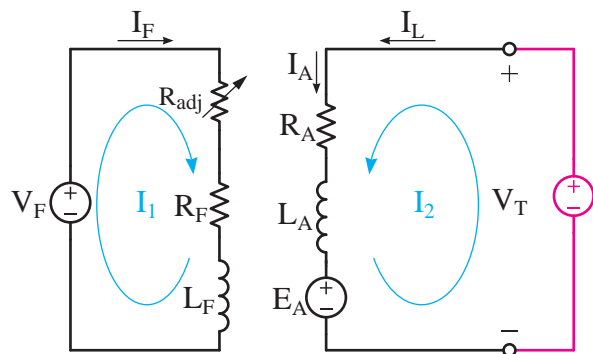
تلفات تحریک از رابطه (۱۳-۴) و تلفات آرمیچر از رابطه (۱۴-۴) به دست می‌آید.

$$P_F = (R_F + R_{adj})I_F^2 \quad (4-13)$$

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 آمپر متر 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 آمپر متر A_2 استفاده شده است.

۱- ۱۰- ۴- مدار الکتریکی معادل

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



شکل ۱۳-۴ مدار الکتریکی معادل موتور تحریک مستقل

این مدار با توجه به توضیحات بخش ۴-۳ و طرح ساختمانی شکل (۱۲-۴) به دست 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

$$P_A = R_A I_A^2 \quad (4-14)$$

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

$$KVL_2) -V_T + R_A I_F + E_A = 0$$

- حلقه I_F از محل I_A و در جهت آن می‌گذرد؛ بنابراین خواهیم داشت:

$$I_A = I_L = I_F = 10 [A]$$

- با جایگزینی I_F در رابطه KVL₂ خواهیم داشت:

$$KVL_2) -200 + 0/1(10) + E_A = 0$$

$$E_A = 199 [V]$$

- پس از محاسبه I_A و I_F 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 - ۴

۱ - یک موتور جریان مستقیم با تحریک مستقل ۴ KW، ۲۵۰ V با بازده ۸۰٪ و مقاومت سیم‌پیچی آرمیچر $0/5 \Omega$ مفروض است. مطلوب است:

الف - جریان موتور

ب - توان الکترو مغناطیسی

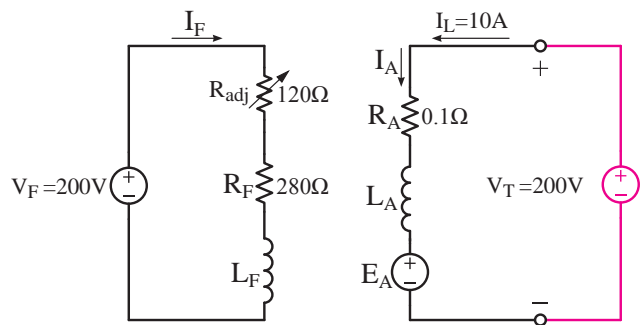
۲ - یک موتور جریان مستقیم با تحریک مستقل با

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

الف) جریان مدار تحریک I_F

ب) نیروی محرکه القایی آرمیچر E_A

پ) تلفات تحریک و آرمیچر



شکل ۴ - ۱۴

حل:

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

$$KVL_1) -V_F + R_{adj} I_1 + R_F I_1 = 0$$

$$-200 + 120 I_1 + 280 I_1 = 0$$

$$-200 + 400 I_1 = 0$$

$$400 I_1 = 200$$

$$I_1 = \frac{200}{400} = 0/5 [A]$$

- حلقه I_1 از محل I_F می‌گذرد.

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

مشخصات زیر مفروض است:

$$V_F = 200V, I_F = 0.5A, V_T = 200V$$

$$E_A = 190V, R_A = 0.5\Omega$$

مطلوب است:

الف - مقاومت مدار تحریک

ب - جریان موتور

ج - اگر تلفات ثابت $200W$ باشد بازده موتور چند

درصد است؟

۳ - ۱۰ - ۴ - آزمایش بارداری

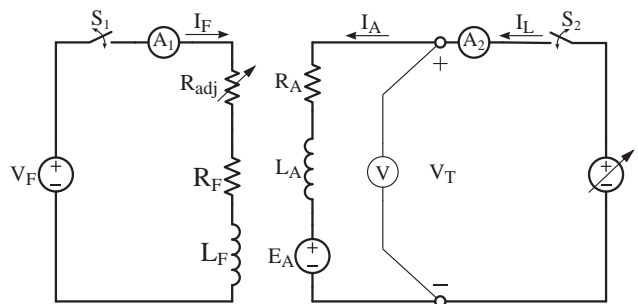
منحنی مشخصه‌های الکترومکانیکی، الکترومغناطیسی و گشتاور - سرعت از آزمایش بارداری به دست می‌آید.

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 آمپرتر 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» به دست آید. اکنون بر روی دستگاه مختصات دیگری که محور افقی آن جریان آرمیچر و محور عمودی آن گشتاور بار T_{load} است، نقاط نشان دهنده T_{load} به ازای جریان آرمیچر I_A معینی را مشخص کنید تا «منحنی مشخصه الکترومغناطیسی»

۲ - ۱۰ - ۴ - 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 - ۴) مدار آرمیچر را از طریق آمپرتر A_p و ولت‌متر V به منبع ولتاژ متغیر و مدار تحریک را از طریق مقاومت متغیر R_{adj} و آمپرتر A_1 به منبع ولتاژ V_F وصل کنید.



شکل ۱۵ - ۴ مدار الکتریکی راه‌اندازی موتور تحریک مستقل مقاومت متغیر R_{adj} را در حداقل خود قرار دهید تا با بستن کلید S_1 مدار تحریک با حداکثر جریان، بیشترین فوران را تولید کند. اکنون با بستن کلید S_2 ولتاژ منبع

به دست می آید.

اگر نقاط نشان دهنده 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 - سرعت»

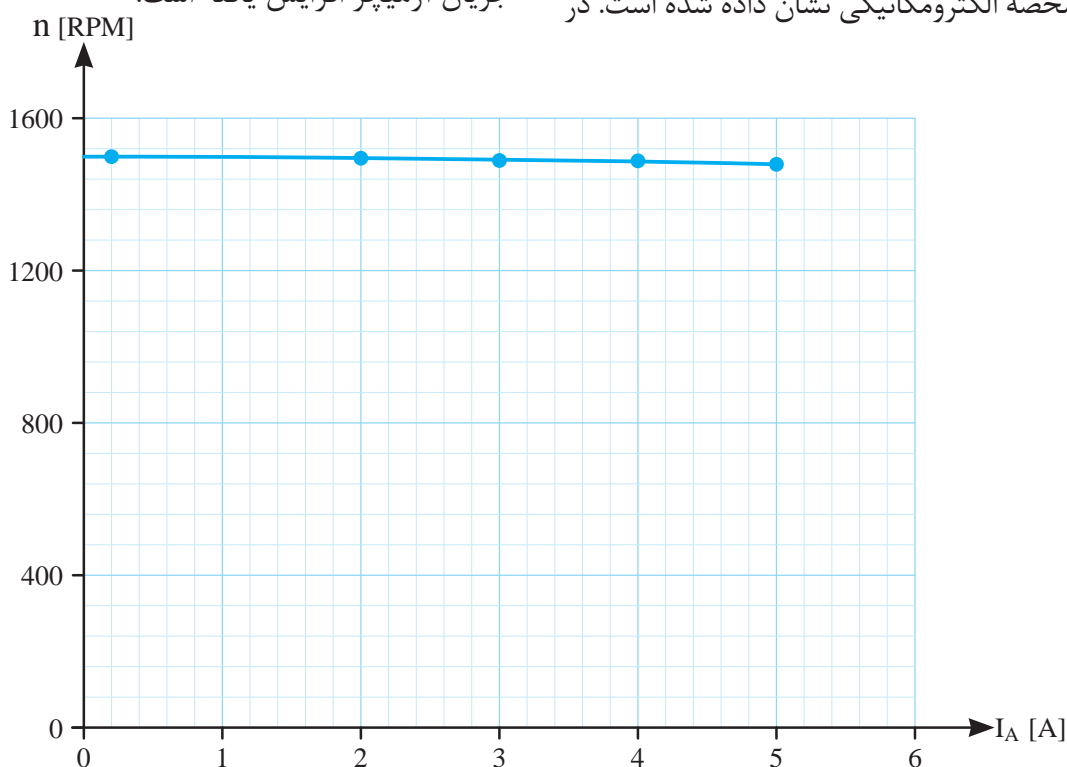
جدول (۱ - ۴) نتایج آزمایش بارگذاری موتور تحریک مستقل $V = 220$ ، 1 KW، 5 A را نشان می دهد.

| 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 - ۴ نتایج آزمایش بارگذاری موتور تحریک مستقل

مشخصه الکترومکانیکی مشاهده می شود در اثر افزایش گشتاور بار که منجر به کاهش سرعت رتور شده است، جریان آرمیچر افزایش یافته است.

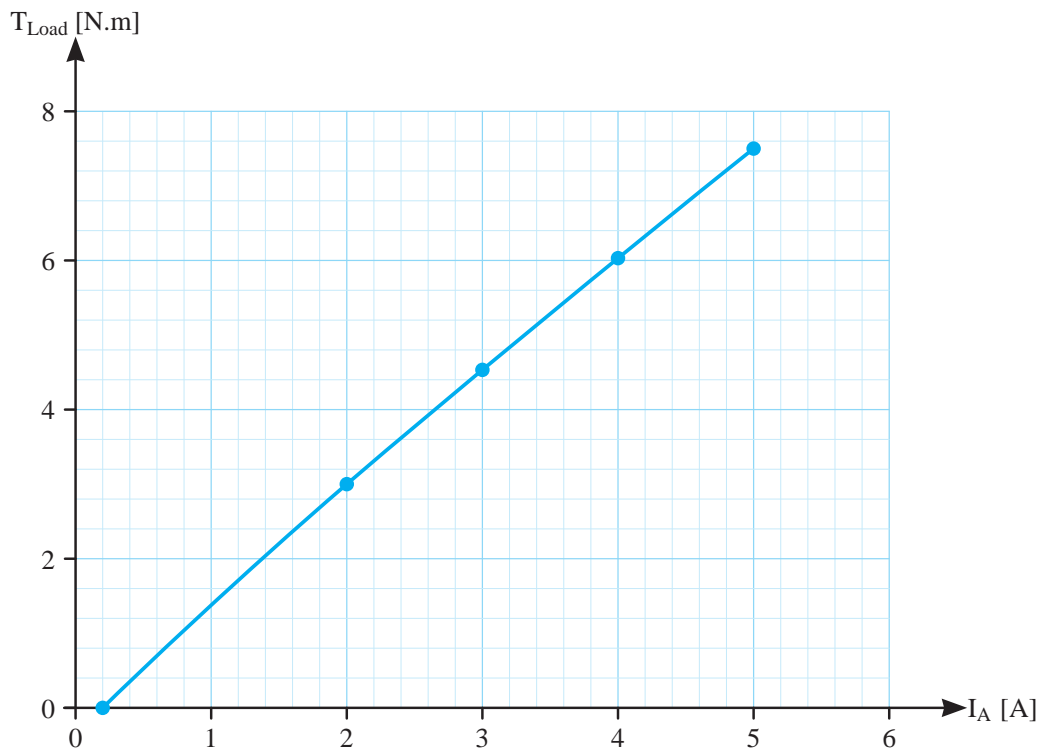
نقاط نشان دهنده مقدار هر سرعت n به ازای جریان I_A معین جدول (۱ - ۴) در شکل (۱۶ - ۴) تحت عنوان مشخصه الکترومکانیکی نشان داده شده است. در



شکل ۱۶ - ۴ منحنی مشخصه الکترومکانیکی موتور تحریک مستقل

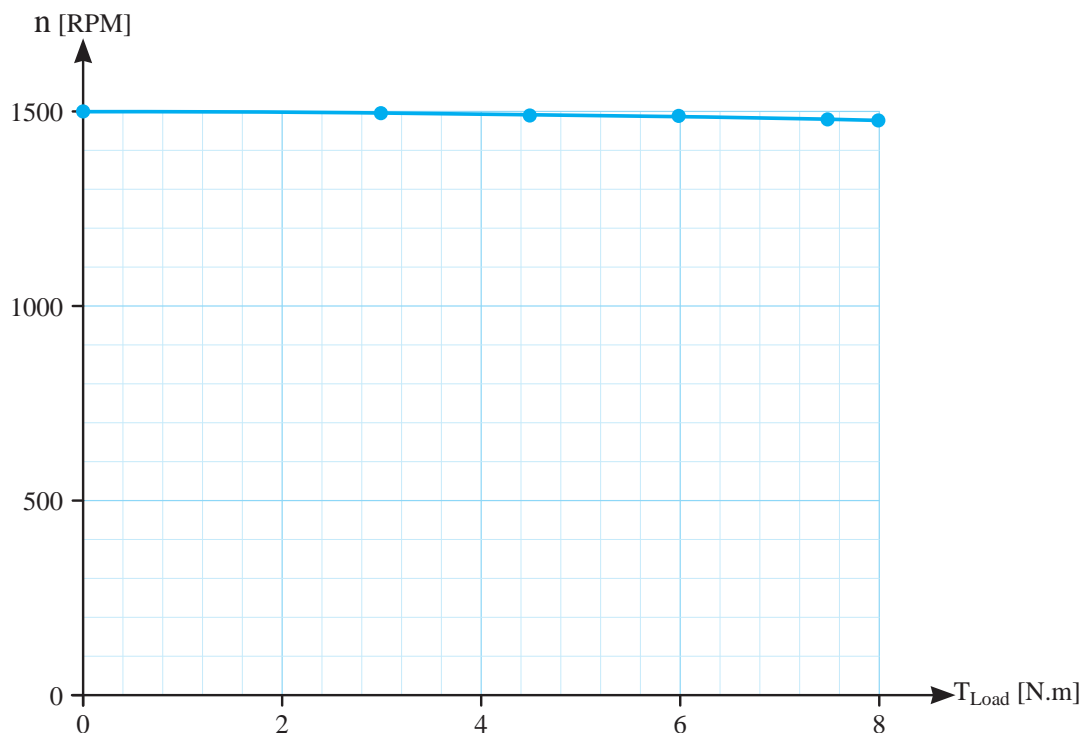
افزایش گشتاور بار T_{load} ، موتور تحریک مستقل سعی می کند سرعت خود را ثابت نگه دارد اما جریان آرمیچر I_A را افزایش می دهد.

نقاط نشان دهنده مقدار هر گشتاور T_{load} به ازای I_A معین جدول (۱ - ۴) در شکل (۱۷ - ۴) تحت عنوان مشخصه الکترومغناطیسی نشان داده شده است. در مشخصه الکترومغناطیسی مشاهده می شود در اثر



شکل ۴-۱۷ منحنی مشخصه الکترومغناطیسی موتور تحریک مستقل

نقاط نشان دهنده مقدار هر سرعت n به ازای گشتاور T_{load} معین جدول (۴-۱) در شکل (۴-۱۸) است. در مشخصه گشتاور - سرعت مشاهده می شود در اثر افزایش گشتاور بار T_{load} سرعت رتور اندکی کاهش می یابد. تحت عنوان مشخصه گشتاور - سرعت نشان داده شده



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

فعالیت ۱-۴- 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 تقریباً 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 تقریباً 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 به کار 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- آزمایش بارداری موتور تحریک مستقل در ولتاژ ثابت انجام خواهد شد.

صحیح غلط

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

صحیح غلط

پرسش‌های تشریحی

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

۲- کاربرد مدار الکتریکی معادل را بنویسید.

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

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

۵- نحوه راه‌اندازی موتور تحریک مستقل را شرح دهید.

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

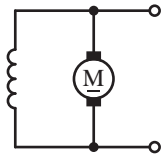
۷- کاربرد موتورهای تحریک مستقل را بنویسید.

۸- ویژگی‌های موتور تحریک مستقل را شرح دهید.

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

۱۱ - ۴ - موتورهای جریان مستقیم با تحریک

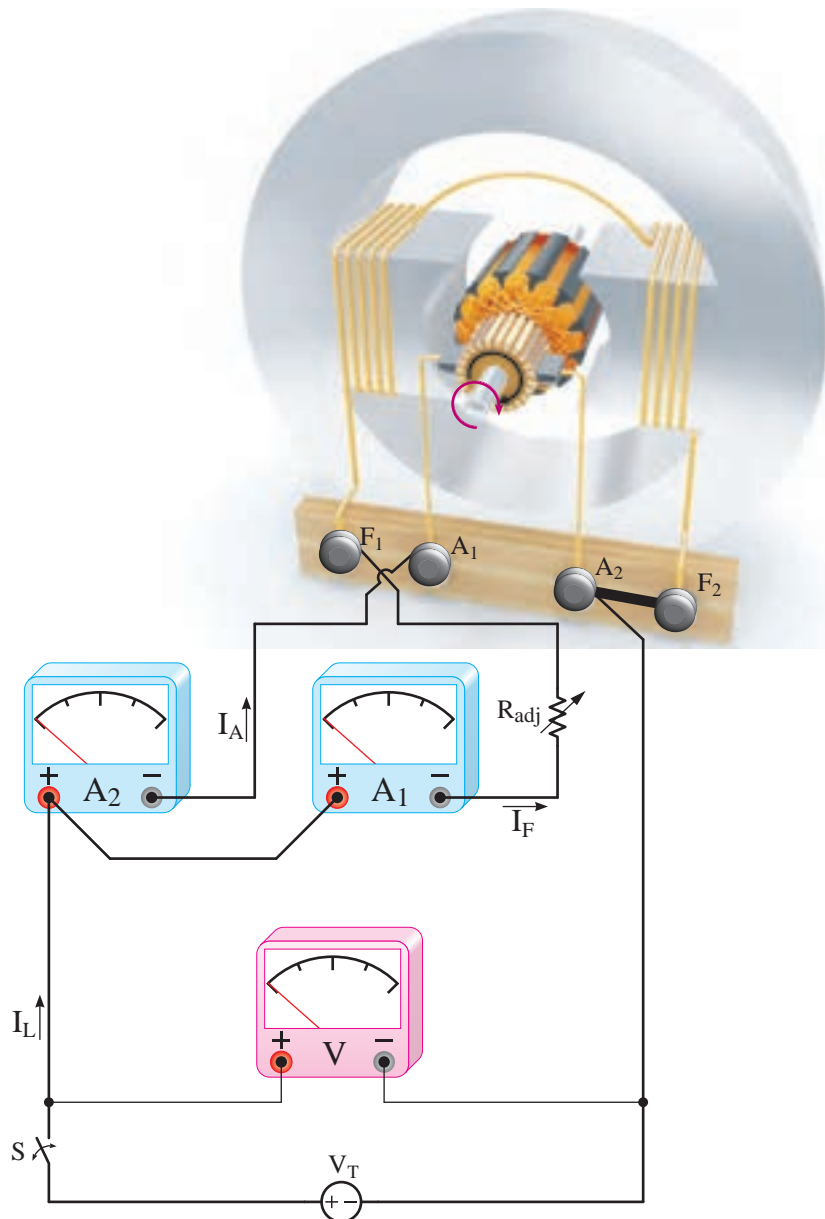
شنت



شکل ۱۹ - ۴ علامت اختصاری موتور شنت

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

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 - ۴) نشان داده شده است.



شکل ۲۰ - ۴ طرح ساختمانی موتور شنت

از اثرات خودالقایی L_A و L_F صرف نظر خواهد شد. با نوشتن KCL برای گره مدار تحریک و آرمیچر معادله (۴-۱۵) به دست می آید.

$$\text{KCL) } -I_L + I_A + I_F = 0 \quad (4-15)$$

با به کار بردن قانون اهم مقادیر جریان های I_A و I_F به دست خواهد آمد.

$$I_F = \frac{V_T}{R_F + R_{adj}} \quad (4-16)$$

جریان آرمیچر I_A از سمت V_T به سوی E_A جاری است. پس $V_T > E_A$ می باشد و خواهیم داشت:

$$I_A = \frac{V_T - E_A}{R_A} \quad (4-17)$$

از رابطه $P_{in} = V_T \cdot I_L$ به دست می آید.

$$I_L = \frac{P_{in}}{V_T} \quad (4-18)$$

تلفات تحریک از رابطه (۴-۱۳) و تلفات آرمیچر از رابطه (۴-۱۴) هم چنان قابل محاسبه است.

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

$$P_A = R_A I_A^2$$

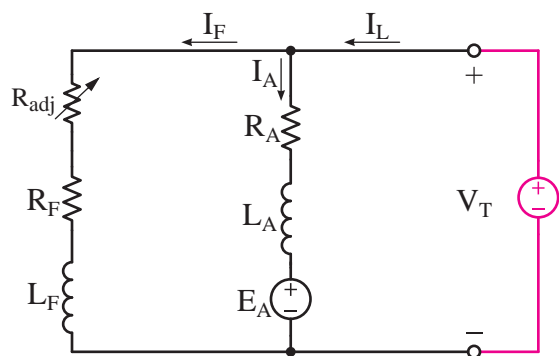
مثال ۴-۷ - موتور شنت $V = 200, 10$ آمپری با مدار الکتریکی معادل مطابق شکل (۴-۲۲) در نظر است. مطلوب است:

الف) جریان مدار تحریک I_F

سیم پیچی تحریک با تعداد دور زیاد برای جریان کم به دور قطبها پیچیده شده است. سیم پیچی تحریک با سیم پیچی آرمیچر به صورت موازی ارتباط داده شده است. برای تغییر و تنظیم جریان تحریک، مقاومت تنظیم کننده جریان تحریک R_{adj} در مدار تحریک قرار داده شده است و برای اندازه گیری جریان های تحریک و آرمیچر از آمپرمترهای A_1 و A_2 و برای اندازه گیری ولتاژ V_T از ولت متر V استفاده شده است.

۱-۱۱-۴ مدار الکتریکی معادل

مدار الکتریکی معادل موتور شنت با توجه به طرح ساختمانی شکل (۴-۲۰) در شکل (۴-۲۱) نشان داده شده است.

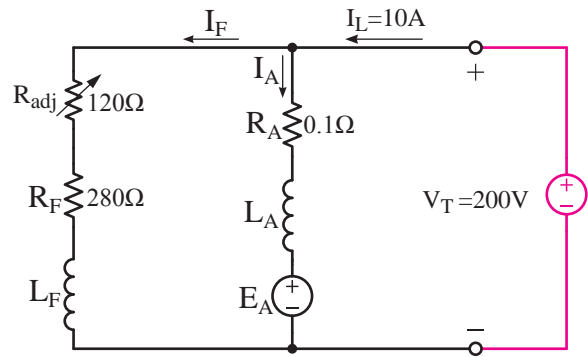


شکل ۲۱-۴ مدار الکتریکی معادل موتور شنت

مدار الکتریکی معادل موتور شنت را با روش پتانسیل گره یا روش های دیگر می توان تحلیل کرد. معمولاً در تحلیل مدار الکتریکی معادل اثرات مغناطیسی عکس العمل آرمیچر و کموتاسیون به دلیل پیچیدگی محاسبات در نظر گرفته نمی شود. روش متداول اندازه گیری اثرات مغناطیسی استفاده از منحنی مشخصه های موتور است. جریان موتور DC است و فرکانس ندارد؛ لذا برای نوشتن معادلات جریان و ولتاژ

(ب) نیروی محرکه القایی آرمیچر E_A

(پ) تلفات تحریک و آرمیچر



شکل ۲۲-۴

حل:

- با قانون اهم جریان تحریک به دست می آید.

$$I_F = \frac{V_T}{R_F + R_{adj}} = \frac{200}{280 + 120} = 0.5 \text{ [A]}$$

- با نوشتن KCL برای گره مدار تحریک و آرمیچر،

جریان آرمیچر به دست خواهد آمد.

$$\text{KCL) } -I_L + I_A + I_F = 0$$

$$-10 + I_A + 1 = 0$$

$$I_A = 9 \text{ [A]}$$

- با نوشتن جریان آرمیچر، نیروی محرکه القایی

آرمیچر به دست می آید.

$$I_A = \frac{V_T - E_A}{R_A}$$

$$9 = \frac{200 - E_A}{0.1}$$

$$9 \times 0.1 = 200 - E_A$$

$$E_A = 200 - 9 \times 0.1 = 200.9 \text{ [V]}$$

- اکنون تلفات تحریک و آرمیچر به دست می آید.

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

$$P_F = (280 + 120) 1^2 = 400 \text{ [W]}$$

$$P_A = R_A I_A^2$$

$$P_A = 0.1 \times 9^2 = 8.1 \text{ [W]}$$

تمرین ۴-۴

۱- یک موتور شنت 4 KW ، 250 V با بازده 80% و مقاومت آرمیچر 0.5Ω و تحریک $R_A + R_{adj} = 250 \Omega$ مفروض است. مطلوب است:

(الف) جریان موتور

(ب) توان الکترومغناطیسی

(پ) تلفات ثابت

۲- یک موتور شنت در اتصال به شبکه 220 V ولتی جریان 10 A میگیرد. در صورتی که مقاومت مدار آرمیچر 0.2Ω و مدار تحریک 440Ω باشد، مطلوب است:

(الف) جریان مدار آرمیچر

(ب) نیروی محرکه القایی آرمیچر

(پ) بازده در صورتی که تلفات ثابت 150 W باشد.

۲-۱۱-۴- راه اندازی

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

باعث می‌شود موتور شنت رفتاری شبیه به رفتار موتور مستقل از خود داشته باشد و منحنی مشخصه‌های آنها یکسان باشد.

۴ - ۱۱ - ۴ - کاربرد

منحنی مشخصه‌های موتور شنت مشابه موتورهای تحریک مستقل می‌باشد. لذا کاربرد و ویژگی‌هایی که در بخش ۴ - ۱۰ - ۴ برای موتور تحریک مستقل ارائه شد برای موتور شنت نیز صدق می‌کند.

پرسش ۵ - ۴

پرسش‌های کامل کردنی

- ۱ - در موتور مدار با مدار به صورت موازی ارتباط پیدا می‌کند.
- ۲ - به هنگام راه‌اندازی موتور شنت مقاومت R_{adj} را در قرار می‌دهند.
- ۳ - افزایش بیش از حد مقاومت مدار یا قطع مدار باعث مهار گسستگی می‌شود.

پرسش‌های صحیح، غلط

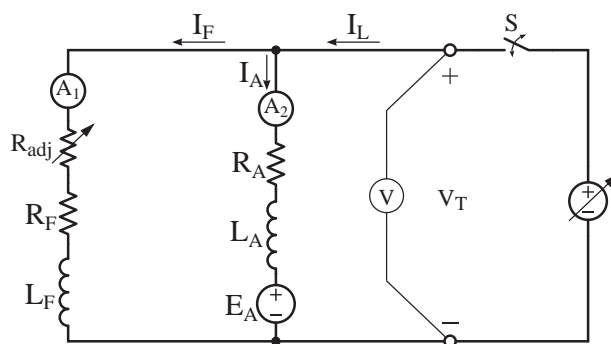
- ۱ - برای تحلیل مدار الکتریکی معادل شنت در حالت پایدار اثرات خود القایی L_A و L_F را در نظر می‌گیرند.

صحيح غلط

- ۲ - پس از راه‌اندازی برای تنظیم سرعت مقاومت R_{adj} را تغییر می‌دهند.

صحيح غلط

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



شکل ۲۳ - ۴ مدار الکتریکی راه‌اندازی موتور شنت

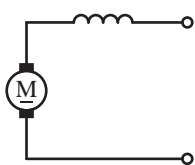
مقاومت متغیر R_{adj} را در حداقل خود قرار دهید و پس از بستن کلید S ولتاژ منبع متغیر را به آرامی زیاد نمایید تا ولت‌متر V ولتاژ نامی موتور را نشان دهد. در صورتی که سرعت موتور به سرعت بی‌باری n_0 نرسیده بود با افزایش مقاومت R_{adj} جریان تحریک را کاهش دهید تا سرعت افزایش یابد و به سرعت موردنظر برسد. بدیهی است افزایش بیش از حد مقاومت مدار تحریک یا قطع مدار تحریک مطابق آنچه که در بخش ۴ - ۵ توضیح داده شد باعث بروز مشکلاتی خواهد شد.

۳ - ۱۱ - ۴ - آزمایش بارداری

نحوه انجام آزمایش بارداری و نتایج حاصل از آن در موتورهای شنت دقیقاً شبیه به موتور تحریک مستقل می‌باشد. بنابراین مشخصه‌های الکترومکانیکی شکل (۱۵ - ۴)، الکترومغناطیسی شکل (۱۶ - ۴) و گشتاور - سرعت شکل (۱۷ - ۴) موتور تحریک مستقل برای موتور تحریک موازی نیز صادق است. در واقع در موتور تحریک مستقل از دو منبع برای تغذیه مدار آرمیچر و تحریک استفاده می‌شود در حالی که در موتور شنت از یک منبع برای تغذیه مدار آرمیچر و تحریک استفاده شده است. از آنجایی که در هر دو موتور جریان آرمیچر I_A و جریان تحریک I_F ارتباطی با یکدیگر پیدا نمی‌کنند

مجاز است.

(۲۴ - ۴) نشان داده شده است.



غلط صحیح

پرسش‌های تشریحی

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

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

۳ - قبل از راه‌اندازی موتور شنت چه باید کرد؟

۴ - نحوه راه‌اندازی موتور شنت را شرح دهید.

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

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

۷ - کاربرد موتورهای شنت را بنویسید.

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

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

۱۰ - نحوه انجام آزمایش بارداری موتور شنت را شرح دهید.

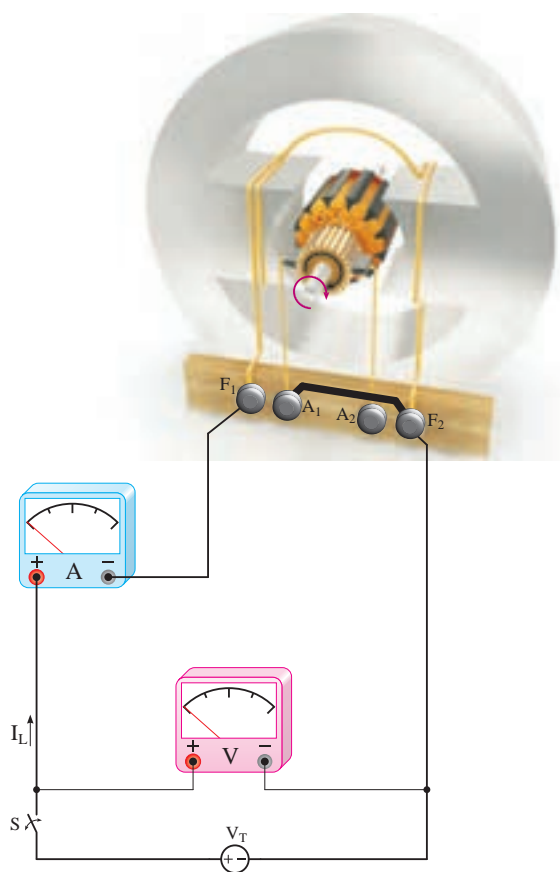
۱۲ - ۴ - موتورهای جریان مستقیم با تحریک سری

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

شکل ۲۴ - ۴ علامت اختصاری موتور سری

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



شکل ۲۵ - 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

$$I_A = I_F = I_L = I_1 \quad (4-20)$$

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

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

از I_L فاکتور گرفته می‌شود و رابطه (۴ - ۲۱) به دست می‌آید.

$$-V_T + (R_F + R_A) I_L + E_A = 0 \quad (4-21)$$

تلفات تحریک از رابطه (۴ - ۲۲) و تلفات آرمیچر از رابطه (۴ - ۲۳) به دست می‌آید.

$$P_F = R_F I_F^2 \quad (4-22)$$

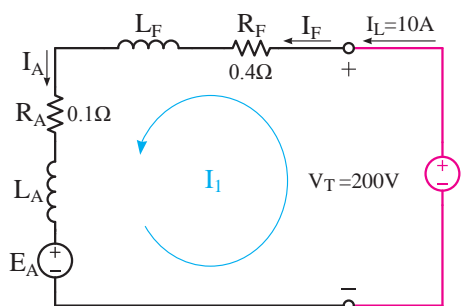
$$P_A = R_A I_A^2 \quad (4-23)$$

مثال ۸ - ۴ - موتور جریان مستقیم سری $V = 200$ ، $A = 10$ با مدار الکتریکی معادل مطابق شکل (۴ - ۲۷) در نظر است. مطلوب است:

(الف) جریان مدار آرمیچر تحریک

(ب) نیروی محرکه القایی آرمیچر

(پ) تلفات تحریک و آرمیچر

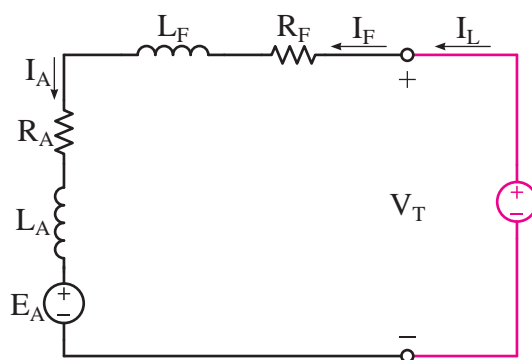


شکل ۴ - ۲۷

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 - ۱۲ - ۴ - مدار الکتریکی معادل

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



شکل ۴ - ۲۶ 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 (۴ - ۱۹) به دست می‌آید.

$$KVL) \quad -V_T + R_F I_1 + R_A I_1 + E_A = 0 \quad (4-19)$$

جریان حلقه I_1 از محل جریان‌های I_F ، I_A و I_L می‌گذرد و رابطه (۴ - ۲۰) به دست می‌آید.

حل:

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

$$I_A = I_F = I_L = 10 \text{ [A]}$$

- برای حلقه مدار الکتریکی معادل KVL می نویسیم و از آن V_T به دست می آید.

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

$$-200 + (0/1 + 0/4) \times 10 + E_A = 0$$

$$E_A = 200 - (0/5) \times 10 = 195 \text{ [V]}$$

- تلفات تحریک از رابطه (۲۲ - ۴) به دست می آید.

$$P_F = R_F I_F^2$$

$$P_F = 0/4 \times 10^2 = 40 \text{ [W]}$$

- تلفات آرمیچر از رابطه (۲۳ - ۴) به دست می آید.

$$P_A = R_A I_A^2$$

$$P_A = 0/1 \times 10^2 = 10 \text{ [W]}$$

تمرین ۵ - ۴

۱ - یک موتور سری در اتصال به شبکه $V = 110$ جریان $A = 10$ دریافت و با سرعت $RPM = 600$ می گردد. اگر مقاومت مدار آرمیچر $0/4 \Omega$ و مقاومت مدار تحریک $0/6 \Omega$ باشد مطلوب است:

الف) نیروی محرکه القایی آرمیچر

ب) بازده در صورتی که تلفات ثابت $W = 50$ باشد.

۲ - یک موتور سری 1 kW ، $V = 250$ با بازده 80% و مقاومت مدار تحریک و آرمیچر روی هم $0/5 \Omega$ مفروض

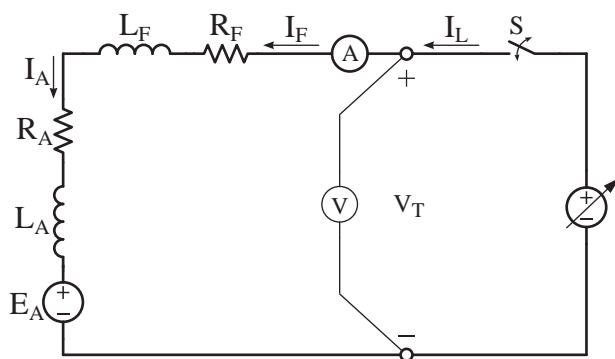
است. مطلوب است:

الف) جریان موتور

ب) تلفات ثابت

۲ - ۱۲ - ۴ - راه اندازی

برای راه اندازی 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 - ۴) ببندید.



شکل ۲۸ - ۴ مدار الکتریکی راه اندازی موتور سری

بارنامی را به موتور اعمال کنید. پس از بستن کلید S ولتاژ منبع متغیر را به تدریج زیاد کنید تا ولت متر V ولتاژ نامی و آمپر متر 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 راه اندازی می کنند و برای جلوگیری از بی بار شدن، آنها را به صورت مستقیم یا با چرخ دنده به بار متصل می کنند.

در صورتی که موتور سری بدون بار راه اندازی شود جریان موتور کاهش خواهد یافت. از آنجایی که $I_A = I_F = I_L$ می باشد جریان مدار تحریک کم

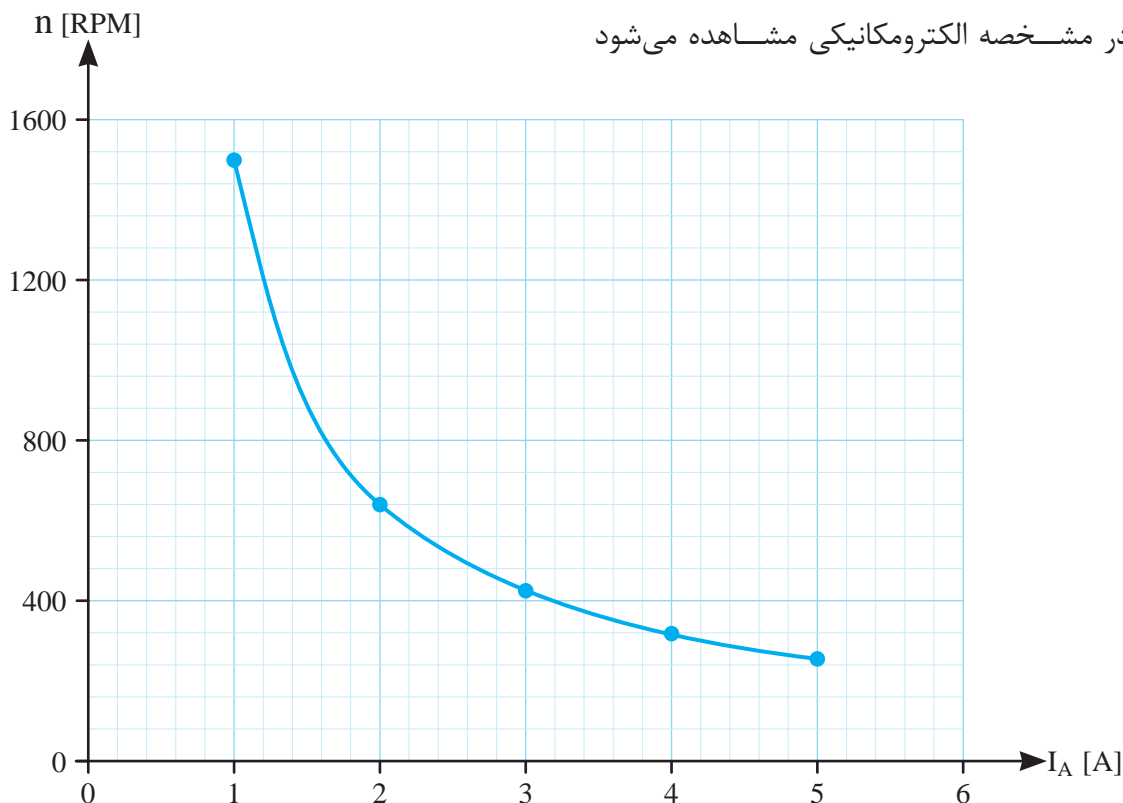
چند مرحله کاهش دهید و در هر مرحله سرعت رتور را توسط دورسنج و جریان آرمیچر را توسط آمپرمتر و گشتاور بار را توسط گشتاورسنج اندازه‌گیری و نتایج را در جدولی یادداشت کنید. این کار را تا جایی ادامه دهید که موتور بدون بار نشود.

جدول (۲ - ۴) نتایج آزمایش بارداری موتور تحریک سری $V = 220$ ، 1 kW ، 5 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 - ۴ نتایج آزمایش بارداری موتور تحریک سری

در اثر افزایش گشتاور بار، موتور سری سرعت خود را به‌طور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌دهد ولی جریان آرمیچر افزایش قابل ملاحظه‌ای نداشته است.



شکل ۲۹ - ۴ منحنی مشخصه الکترومکانیکی موتور سری

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

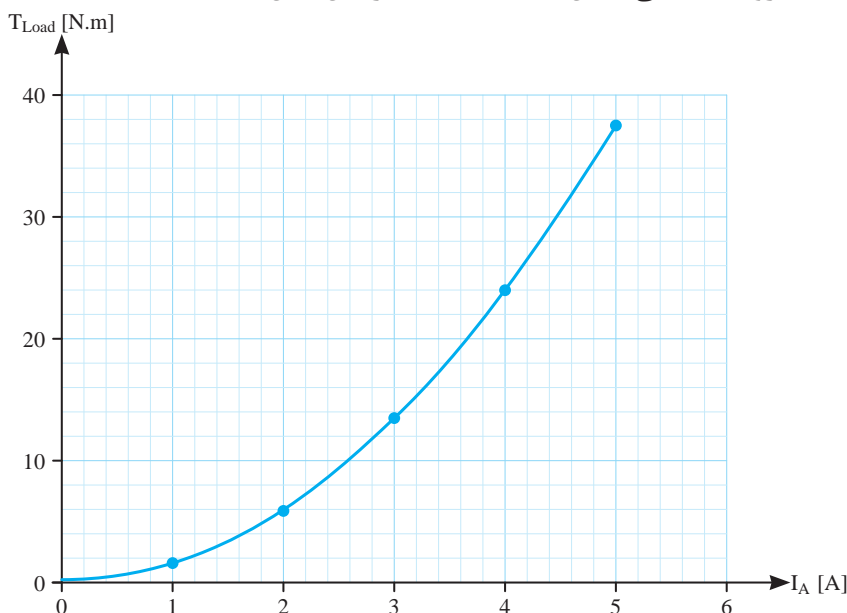
۳ - ۱۲ - ۴ - آزمایش بارداری

برای انجام آزمایش بارداری پس از راه‌اندازی موتور ضمن ثابت نگه داشتن ولتاژ موتور V_T گشتاور بار را طی

نقاط نشان‌دهنده مقدار هر سرعت n به ازای جریان آرمیچر I_A معین جدول (۲ - ۴) در شکل (۲۹ - ۴) تحت عنوان مشخصه الکترومکانیکی نشان داده شده است. در مشخصه الکترومکانیکی مشاهده می‌شود

است. در مشخصه الکترومغناطیسی مشاهده می‌شود به ازای افزایش گشتاور بار T_{load} جریان آرمیچر I_A افزایش قابل ملاحظه‌ای نداشته است.

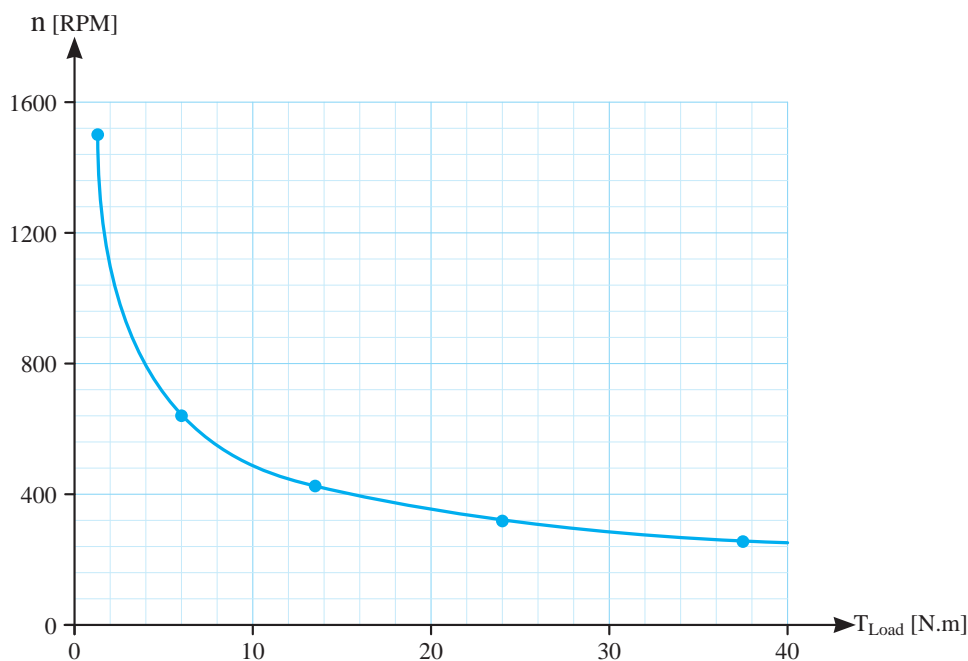
نقاط نشان‌دهنده مقدار هر گشتاور T_{load} به ازای جریان I_A معین جدول (۲ - ۴) در شکل (۳۰ - ۴) تحت عنوان مشخصه الکترومغناطیسی نشان داده شده



شکل ۳۰ - ۴ منحنی مشخصه الکترومغناطیسی موتور سری

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.

نقاط نشان‌دهنده مقدار هر سرعت n به ازای گشتاور T_{load} معین جدول (۱ - ۴) در شکل (۳۱ - ۴) تحت عنوان منحنی مشخصه گشتاور سرعت نشان داده



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

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

۴-۱۲-۴ 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 به کار 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 ۶-۴

پرسش‌های کامل کردنی

- ۱ - در موتور سری مدار با مدار آرمیچر ارتباط می‌یابد.
- ۲ - به منظور جلوگیری از بروز پدیده فرار، موتور تحریک را راه‌اندازی می‌کنند.
- ۳ - برای جلوگیری از بی‌بار شدن، موتور سری را به صورت یا با به بار متصل می‌کنند.
- ۴ - در موتور سری با افزایش گشتاور بار سرعت و جریان آرمیچر می‌یابد.

پرسش‌های صحیح، غلط

- ۱ - در موتورهای سری مدار آرمیچر با مدار تحریک،

سری می‌شود.

صحیح غلط

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

صحیح غلط

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

صحیح غلط

پرسش‌های تشریحی

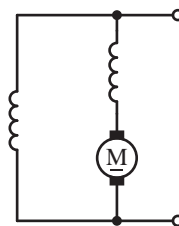
- ۱ - علامت اختصاری سری را رسم کنید و اجزای آن را شرح دهید.
- ۲ - مدار الکتریکی معادل موتور سری را رسم کنید اجزای آن را شرح دهید.
- ۳ - قبل از راه‌اندازی موتور سری چه نکاتی را باید مورد توجه قرار داد؟
- ۴ - نحوه راه‌اندازی موتور سری را شرح دهید.
- ۵ - چرا موتورهای سری را زیر بار راه‌اندازی می‌کنند؟
- ۶ - آیا اتصال موتور سری توسط تسمه به بار صحیح است؟ چرا؟
- ۷ - نحوه انجام آزمایش بارداری موتور سری را شرح دهید.
- ۸ - از مقایسه منحنی مشخصه‌های موتور سری با موتور تحریک شنت (یا مستقل) چه نتیجه‌ای به دست می‌آید؟
- ۹ - کاربرد موتور سری را بنویسید؟
- ۱۰ - ویژگی‌های موتور سری را بنویسید؟

۱۳-۴ - موتورهای جریان مستقیم با تحریک

کمپوند

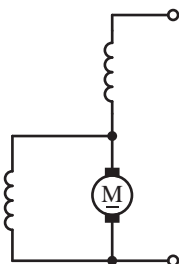
موتورهای جریان مستقیم با تحریک کمپوند را به اختصار «موتور کمپوند» گویند. در موتور کمپوند فوران قطب‌ها «ترکیبی»^۱ از فوران دو سیم‌پیچی تحریک موازی و سری است.

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 (۴-۳۲) نشان داده شده است.



شکل ۴-۳۲ موتور کمپوند با شنت بلند

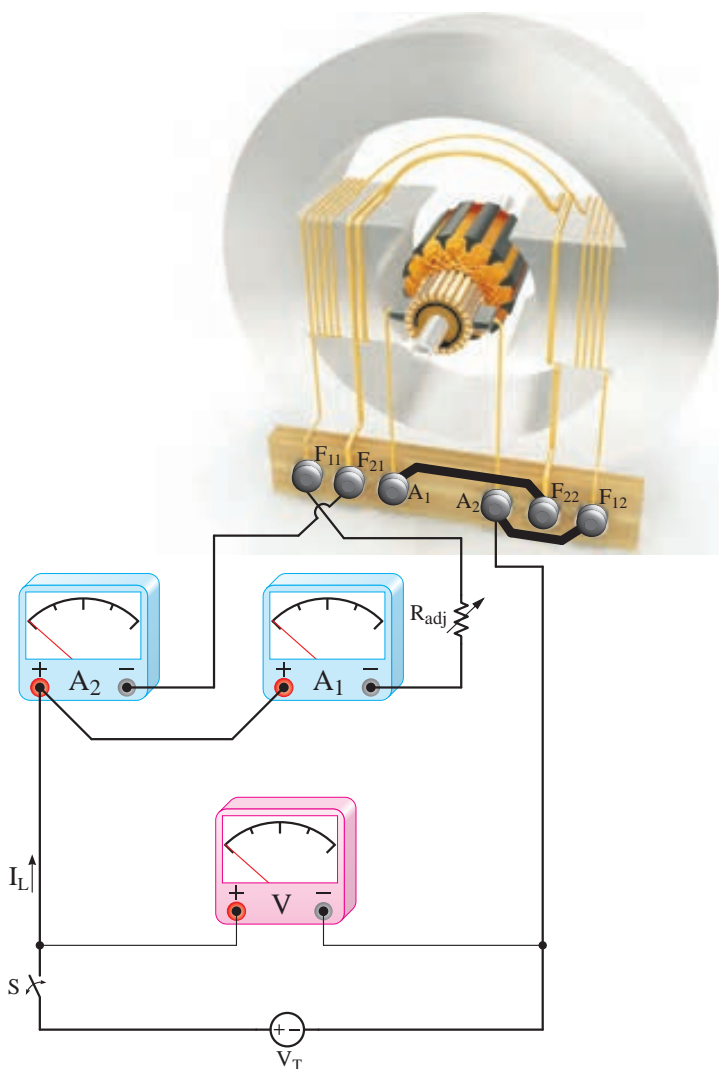
اگر سیم‌پیچی آرمیچر ابتدا با سیم‌پیچی تحریک موازی و سپس با سیم‌پیچی سری ارتباط پیدا کند موتور را «کمپوند با شنت کوتاه» گویند. علامت اختصاری موتور کمپوند با شنت کوتاه در شکل (۴-۳۳) نشان داده شده است.



شکل ۴-۳۳ 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. در صورتی که فوران سیم‌پیچی تحریک موازی و سری هم جهت نباشد در این صورت موتور، «کمپوند نقصانی» خواهد شد.

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

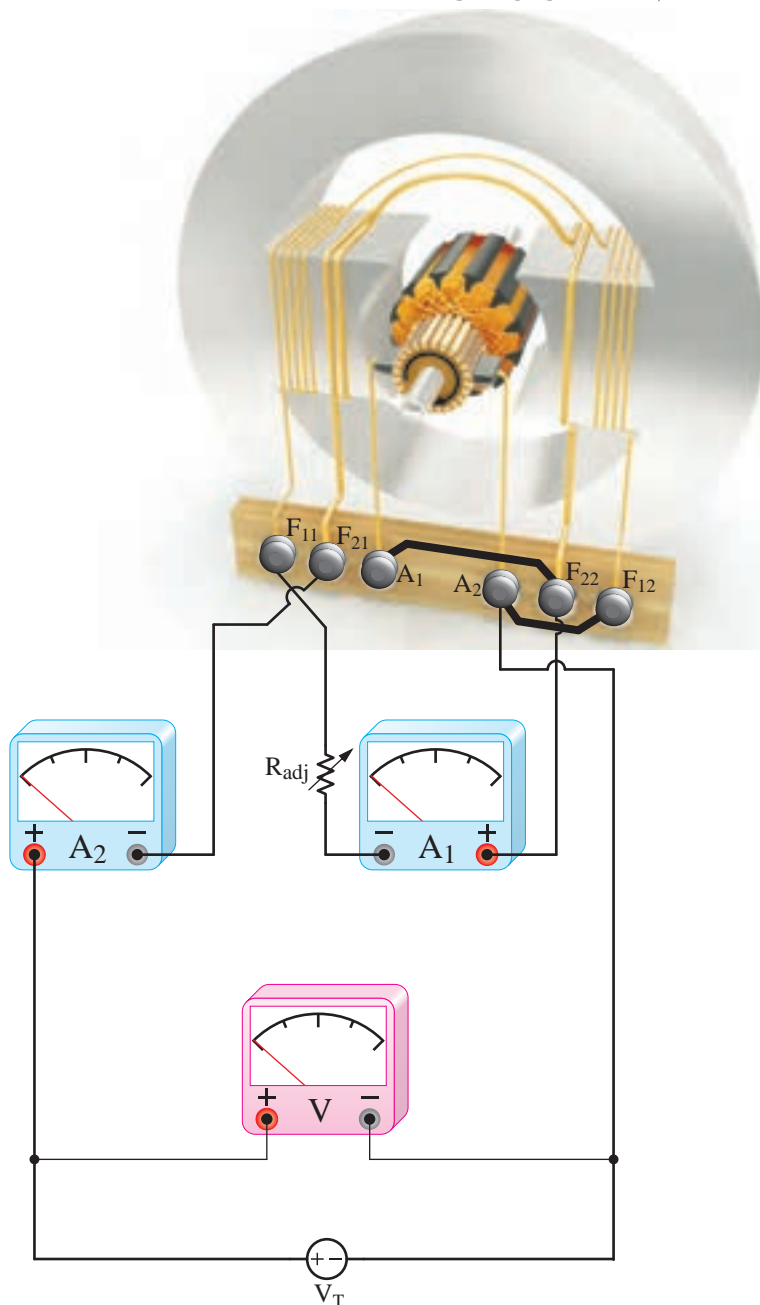


شکل ۴-۳۴ طرح ساختمانی موتور کمپوند با شنت بلند

سیم‌پیچی تحریک سری با تعداد دور کم برای جریان زیاد و سیم‌پیچی تحریک موازی با تعداد دور زیاد برای جریان‌های کم به دور قطب‌ها پیچیده شده است. سیم‌پیچی تحریک موازی با حروف F_{11} و F_{22} و سیم‌پیچی تحریک سری با حروف F_{12} و F_{21} مشخص شده است. برای تغییر و تنظیم جریان سیم‌پیچی تحریک موازی از مقاومت تنظیم‌کننده جریان تحریک

استفاده شده است و برای اندازه‌گیری جریان‌های تحریک موازی و آرمیچر از آمپرترهای A_1 و A_2 و برای اندازه‌گیری ولتاژ V_T از ولت‌متر V استفاده شده است.

طرح ساختمانی موتور کمپوند با شنت کوتاه در شکل (۳۵ - ۴) نشان داده شده است.

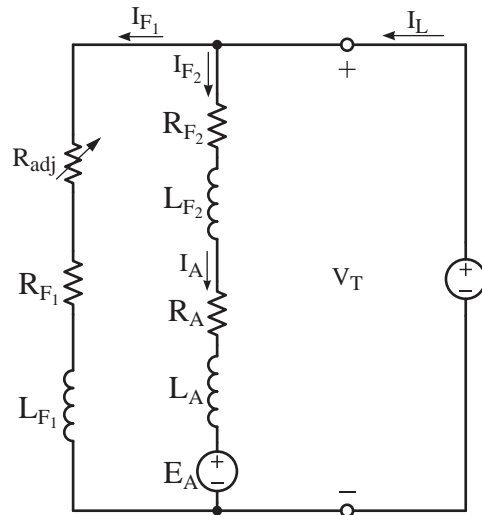


شکل ۳۵ - ۴ طرح ساختمانی موتور کمپوند با شنت کوتاه

۱ - ۱۳ - ۴ - مدار الکتریکی معادل موتور کمپوند

با شنت بلند

مدار الکتریکی معادل موتور کمپوند با شنت بلند با توجه به طرح ساختمانی شکل (۳۴ - ۴) در شکل (۳۶ - ۴) نشان داده شده است.



شکل ۳۶ - ۴ مدار الکتریکی معادل موتور کمپوند با شنت بلند در این شکل:

R_{F1} مقاومت اهمی مدار تحریک موازی

L_{F1} ضریب خودالقایی سیم‌پیچ تحریک موازی

R_{F2} مقاومت اهمی مدار تحریک سری

L_{F2} 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 که در حالت پایدار جریان موتور DC است و فرکانس ندارد لذا در نوشتن معادلات جریان و ولتاژ از اثرات خودالقایی L_{F1} ، L_{F2} و L_A صرف نظر خواهد شد.

با نوشتن KCL برای گره مدار تحریک سری و

موازی با منبع ولتاژ، معادله (۲۴ - ۴) به دست می‌آید.

$$\text{KCL) } -I_L + I_{F_2} + I_{F_1} = 0 \quad (4-24)$$

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

$$I_A = I_{F_2} \quad (4-25)$$

با به کار بردن قانون اهم مقادیر جریان‌ها به دست خواهد آمد.

$$I_{F_1} = \frac{V_T}{R_{F_1} + R_{adj}} \quad (4-26)$$

$$I_A = I_{F_2} = \frac{V_T - E_A}{R_A + R_{F_2}} \quad (4-27)$$

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

$$I_L = \frac{P_{in}}{V_T} \quad (4-28)$$

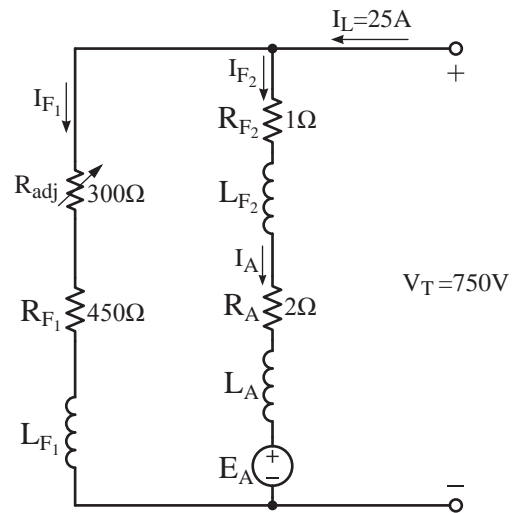
تلفات تحریک موازی از رابطه (۲۹ - ۴) و تلفات تحریک سری از رابطه (۳۰ - ۴) و تلفات آرمیچر از رابطه (۳۱ - ۴) به دست می‌آیند.

$$P_{F_1} = (R_{F_1} + R_{adj}) I_{F_1}^2 \quad (4-29)$$

$$P_{F_2} = R_{F_2} I_{F_2}^2 \quad (4-30)$$

$$P_A = R_A I_A^2 \quad (4-31)$$

مثال ۹-۴ - موتور کمپوند با شنت بلند $V = 750$ ،
 در نظر است. مطلوب است:
 الف) نیروی محرکه القایی آرمیچر
 ب) بازده در صورتی که تلفات ثابت $W = 1522$ باشد.



شکل ۳۷-۴

حل:

- برای محاسبه نیروی محرکه الکتریکی ابتدا جریان مدار تحریک موازی و سپس جریان مدار تحریک سری و آرمیچر به دست می آید.

$$I_{F1} = \frac{V_T}{R_{F1} + R_{adj}} = \frac{750}{450 + 300} = 1 [A]$$

$$\text{KCL) } -I_L + I_{F2} + I_{F1} = 0$$

$$-25 + I_{F2} + 1 = 0$$

$$I_{F2} = 24 [A]$$

$$I_{F2} = I_A = 24 [A]$$

$$I_A = I_{F2} = \frac{V_T - E_A}{R_A + R_{F2}}$$

$$24 = \frac{750 - E_A}{1 + 2}$$

$$24 \times 3 = 750 - E_A$$

$$E_A = 750 - 72 = 678 [V]$$

- برای محاسبه بازده، تلفات مسی نیاز می باشد. لذا تلفات تحریکها و آرمیچر را از روابط (۲۹-۴)، (۳۰-۴) و (۳۱-۴) به دست می آوریم.

$$P_{F1} = (R_{F1} + R_{adj}) I_{F1}^2$$

$$P_{F1} = (450 + 300) \times 1^2 = 750 [W]$$

$$P_{F2} = R_{F2} I_{F2}^2$$

$$P_{F2} = 1 \times 24^2 = 576 [W]$$

$$P_A = R_A I_A^2$$

$$P_A = 2 \times 24^2 = 1152 [W]$$

- تلفات کل از رابطه (۳-۳) به دست می آید.

$$\Delta P = P_{core} + P_{F1} + P_{F2} + P_A$$

$$\Delta P = 1522 + 750 + 576 + 1152 = 4000 [W]$$

- توان ورودی از رابطه (۱-۴) به دست می آید.

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

$$P_{in} = 750 \times 25 = 18750 [W]$$

- توان خروجی از رابطه (۴-۳) به دست می آید.

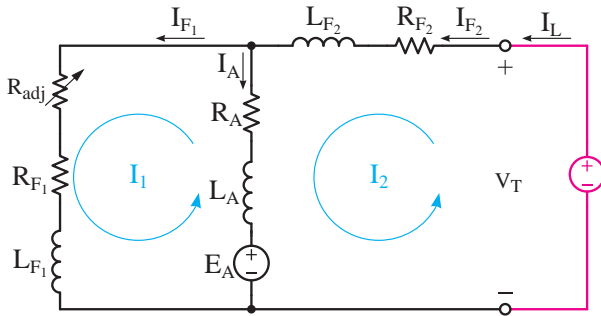
$$\Delta P = P_{in} - P_{out}$$

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

$$P_{out} = 18750 - 4000 = 14750 [W]$$

- بازده از رابطه (۶-۳) به دست می آید.

عقربه‌های ساعت انتخاب شده است.



شکل ۳۸ - ۴ مدار الکتریکی معادل موتور کمپوند با شنت کوتاه
جریان موتور DC است و فرکانس ندارد. لذا در
حالت پایدار برای نوشتن معادلات KVL از اثرات
خودالقایی L_{F_1} ، L_{F_2} و L_A صرف نظر خواهد شد.
با نوشتن KVL برای حلقه‌های I_1 و I_2 معادلات
(۳۲ - ۴) و (۳۳ - ۴) به دست می‌آید.

$$\text{KVL}_1) \quad R_{F_1} I_1 - E_A + R_A (I_1 - I_2) = 0 \quad (4-32)$$

$$\text{KVL}_2) \quad -V_T + R_{F_2} I_2 + R_A (I_2 - I_1) + E_A = 0 \quad (4-33)$$

$$P_{F_1} = R_{F_1} I_{F_1}^2 \quad (4-38)$$

$$P_A = R_A I_A^2 \quad (4-39)$$

مثال ۱۰ - ۴ - موتور کمپوند با شنت کوتاه
۴ KW، ۲۵۰ V با بازده ۸۰٪ و مدار الکتریکی معادل
مطابق شکل (۳۹ - ۴) در نظر است. مطلوب است:

الف - نیروی محرکه القایی آرمیچر E_A

ب - تلفات ثابت $P_{\text{mis}} + P_{\text{core}}$

$$\% \eta = \frac{P_{\text{out}}}{P_{\text{in}}} \times 100$$

$$\% \eta = \frac{14750}{18750} \times 100 = 78\%$$

۲ - ۱۳ - ۴ - مدار الکتریکی معادل موتور کمپوند

با شنت کوتاه

مدار الکتریکی معادل موتور کمپوند با شنت کوتاه
با توجه به طرح ساختمانی شکل (۳۵ - ۴) در شکل
(۳۸ - ۴) نشان داده شده است.

مدار الکتریکی معادل موتور کمپوند با شنت کوتاه
را با روش حلقه یا روش‌های دیگر می‌توان تحلیل کرد.
برای شکل (۳۸ - ۴) حلقه‌های I_1 و I_2 در جهت حرکت

پس از حل معادلات (۳۲ - ۴) و (۳۳ - ۴) جریان
حلقه‌های I_1 و I_2 به دست می‌آید و خواهیم داشت:

$$I_{F_2} = I_L = I_2 \quad (4-34)$$

$$I_{F_1} = I_1 \quad (4-35)$$

$$I_A = -I_1 + I_2 \quad (4-36)$$

تلفات تحریک سری از (۳۷ - ۴)، تلفات تحریک
شنت از (۳۸ - ۴) و تلفات آرمیچر از رابطه (۳۹ - ۴)
به دست می‌آید.

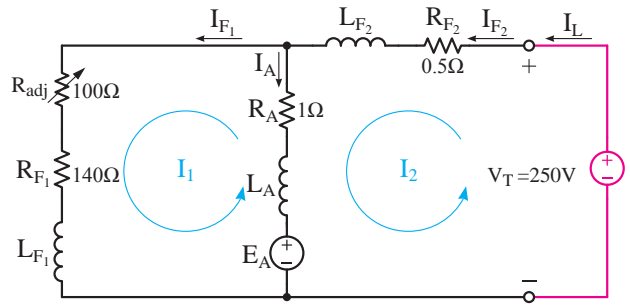
$$P_{F_2} = R_{F_2} I_{F_2}^2 \quad (4-37)$$

$$\text{KVL1)} \quad 241I_1 - E_A = 20$$

$$\text{KVL2)} \quad -I_1 + E_A = 220$$

$$240I_1 + 0 = 240$$

$$I_1 = \frac{240}{240} = 1[\text{A}]$$



شکل ۴-۳۹

- با قرار دادن I_1 در یکی از معادلات KVL مقدار

E_A به دست می آید.

$$\text{KVL2)} \quad -I_1 + E_A = 220$$

$$-1 + E_A = 220$$

$$E_A = 221[\text{V}]$$

- با محاسبه تلفات مسی و کل تلفات می توان تلفات

ثابت را به دست آورد.

$$I_{F1} = I_1 = 1[\text{A}]$$

$$I_A = -I_1 + I_2 = -1 + 20 = 19[\text{A}]$$

$$I_{F2} = I_2 = 20[\text{A}]$$

$$P_{F1} = (R_{F1} + R_{adj})I_{F1}^2$$

$$P_{F1} = (140 + 100) \times 1^2 = 240[\text{W}]$$

$$P_{F2} = R_{F2} I_{F2}^2$$

$$P_{F2} = 0.5 \times 20^2 = 200[\text{W}]$$

$$P_A = R_A I_A^2 = 1 \times 19^2 = 361[\text{W}]$$

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

$$\Delta P = 5000 - 4000 = 1000[\text{W}]$$

$$\Delta P = P_{F1} + P_{F2} + P_A + P_{core} + P_{mis}$$

$$1000 = 240 + 200 + 361 + P_{core} + P_{mis}$$

$$P_{core} + P_{mis} = 199[\text{W}]$$

حل:

- از رابطه بازده، توان ورودی به دست می آید و از

رابطه توان، جریان I_L محاسبه می شود. سپس با تشکیل

معادلات KVL، جریان ها و E_A به دست می آیند.

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

$$P_{in} = \frac{P_{out}}{\eta} = \frac{4\text{kw}}{0.8} = 5[\text{kw}] = 5000[\text{W}]$$

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

$$I_L = \frac{P_{in}}{V_T} = \frac{5000}{250} = 20[\text{A}]$$

$$\text{KVL1)} \quad (R_{adj} + R_{F1})I_1 - E_A + R_A(I_1 - I_2) = 0$$

$$\text{KVL2)} \quad -V_T + R_{F2}I_2 + R_A(I_2 - I_1) + E_A = 0$$

- با جایگزین کردن مقادیر معلوم و

$I_L = I_2 = 20[\text{A}]$ در معادلات KVL1 و KVL2

خواهیم داشت:

$$\text{KVL1)} \quad (100 + 140)I_1 - E_A + 1(I_1 - 20) = 0$$

$$\text{KVL2)} \quad -250 + 0.5(20) + 1(20 - I_1) + E_A = 0$$

- پس از ساده سازی معادلات KVL1 و KVL2 را

در یک دستگاه قرار می دهیم.

تمرین ۶-۴

الف - نیروی محرکه القایی آرمیچر

ب - بازده در صورتی که تلفات ثابت $W = 50$ باشد.

۳-۱۳-۴ - راه‌اندازی

راه‌اندازی و رفتار موتورهای کمپوند باشند بلند و کوتاه مشابه یکدیگر است. لذا به منظور تشریح راه‌اندازی، موتور کمپوند باشند 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 (۴۰-۴) ببندید.

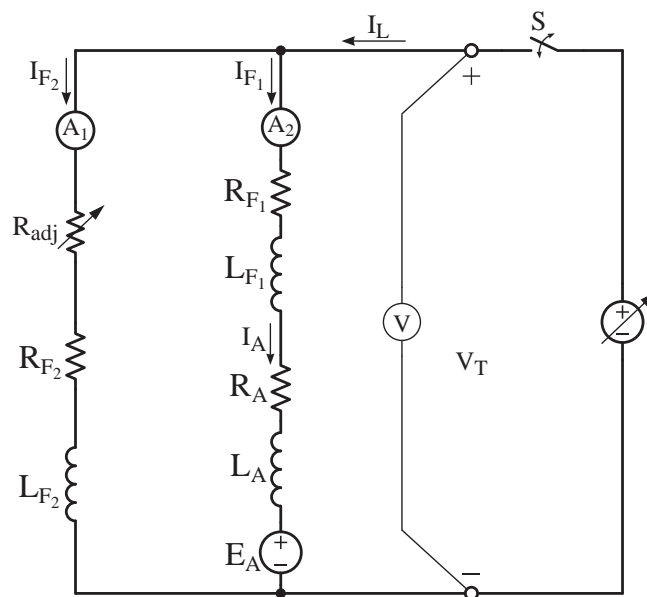
۱ - یک موتور کمپوند باشند با شنت بلند 40 KW ، 500 V با بازده 80% و $R_A = 0.4\Omega$ ، $R_{F_1} = 0.1\Omega$ ، $R_{F_2} = 250\Omega$ مفروض است.

مطلوب است:

الف - نیروی محرکه القایی آرمیچر

ب - تلفات ثابت

۲ - یک موتور کمپوند باشند کوتاه در اتصال به شبکه 200 V جریان 10 A دریافت می‌کند و با سرعت 1200 RPM می‌گردد. اگر $R_{F_2} = 0.2\Omega$ ، $R_A = 0.5\Omega$ ، $R_{F_1} = 198\Omega$ باشد مطلوب است:



شکل ۴۰-۴ مدار الکتریکی راه‌اندازی موتور کمپوند باشند

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.

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 صورتی که سرعت موتور به سرعت بی‌باری n_0 نرسیده بود با افزایش مقاومت متغیر R_{adj} ، جریان

۴ - ۱۳ - ۴ - آزمایش بارداری

جدول (۴ - ۴) نتایج آزمایش بارداری موتور کمپوند

اضافی 220 V ، 1 kW ، 5 A را نشان می‌دهد.

نحوه انجام آزمایش بارداری موتور کمپوند مطابق

توضیحات بخش ۳ - ۱۰ - ۴ می‌باشد.

| V_T | 220 V | | | | |
|-----------------|----------------|------|-----|-----|-----|
| n [RPM] | ۱۵۰۰ | ۱۰۰۰ | ۷۲۰ | ۴۵۰ | ۳۲۰ |
| I_A [A] | ۰/۲ | ۲ | ۳ | ۴ | ۵ |
| T_{load} [Nm] | ۰ | ۴ | ۸ | ۱۷ | ۳۰ |

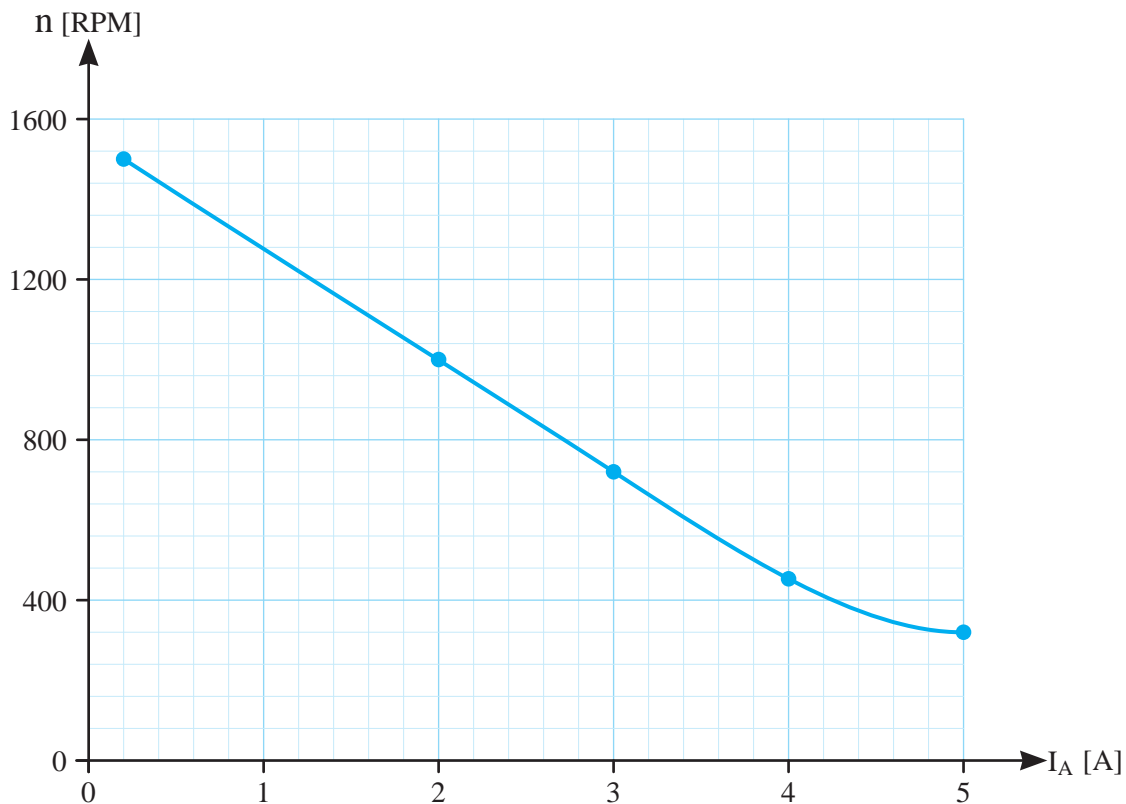
جدول ۴ - ۴ نتایج آزمایش بارداری موتور کمپوند اضافی

الکترومکانیکی موتور کمپوند اضافی در شکل (۴ - ۴۱)

نقاط نشان‌دهنده مقدار هر سرعت n به ازای

نشان داده شده است.

جریان I_A معین جدول (۴ - ۴) تحت عنوان مشخصه



شکل ۴ - ۴۱ منحنی مشخصه الکترومکانیکی موتور کمپوند اضافی

جریان I_A معین جدول (۴ - ۴) در شکل (۴ - ۴۲)

تحت عنوان منحنی مشخصه الکترومغناطیسی نشان

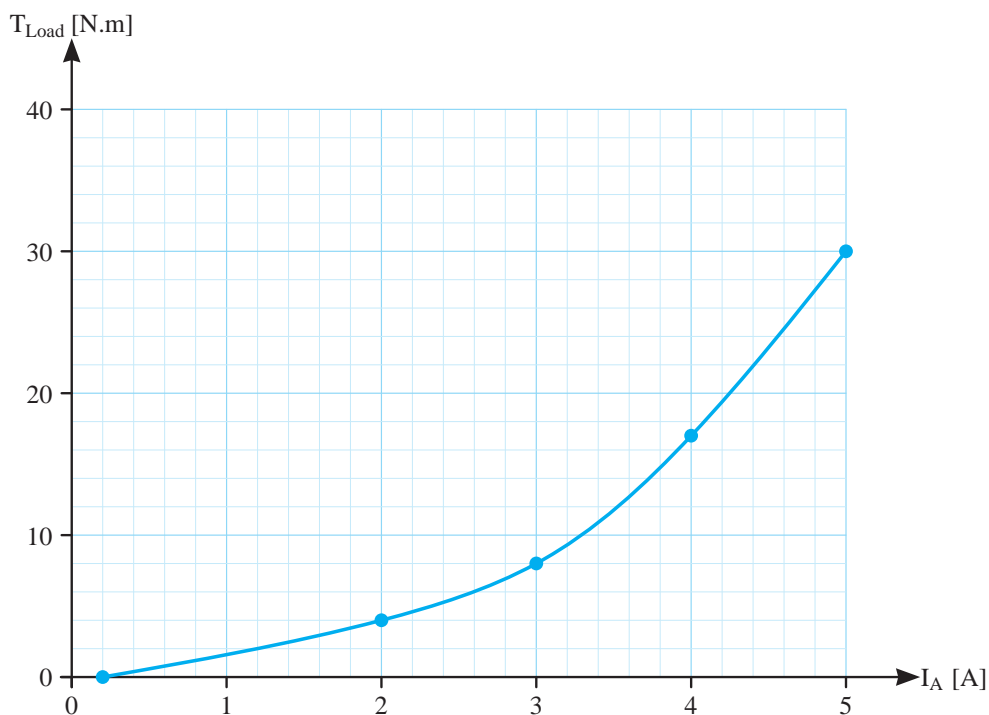
داده شده است.

در این شکل مشاهده می‌شود در اثر افزایش گشتاور

بار که منجر به کاهش سرعت شده است موتور جریان

I_A را افزایش می‌دهد.

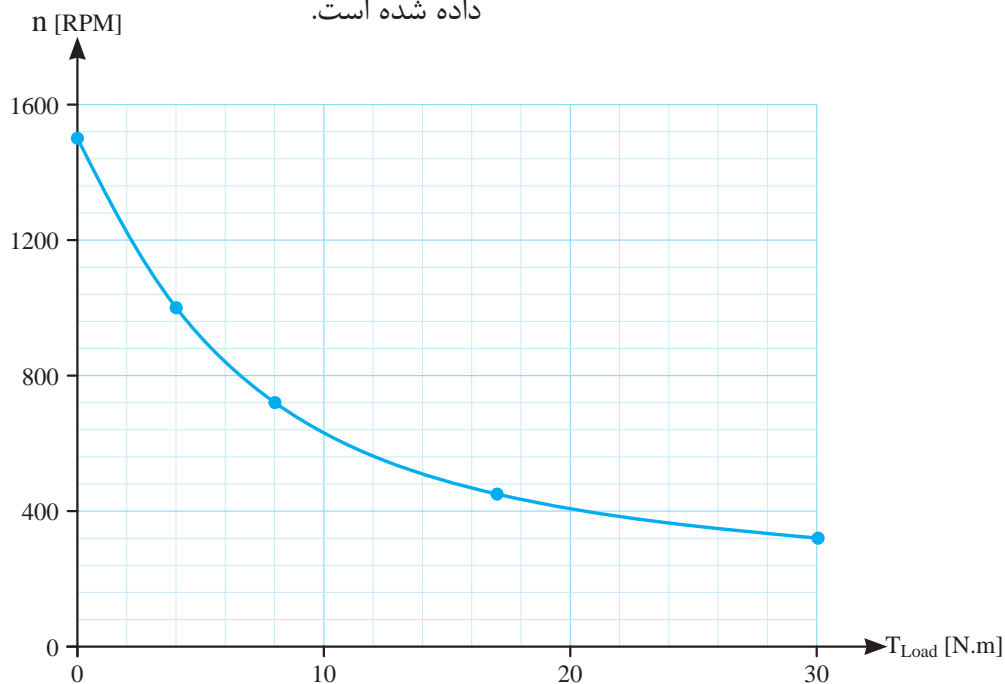
نقاط نشان‌دهنده مقدار هر گشتاور T_{load} به ازای



شکل ۴-۴۲ منحنی مشخصه الکترومغناطیسی موتور کمیوند اضافی

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

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



شکل ۴-۴۳ منحنی مشخصه گشتاور - سرعت موتور کمیوند اضافی

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

فعالیت ۳ - ۴ - با استفاده از برنامه صفحه گسترده *Excel* از برنامه‌های مجموعه *Microsoft Office* منحنی مشخصه‌های مربوط به جدول ۴ - ۴ را رسم نمایید.

۵ - ۱۳ - ۴ - کاربرد

موتورهای کمپوند اضافی دارای تغییرات سرعتی کمتر از موتور سری 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 به کار گرفته می‌شوند که به گشتاور راه‌اندازی زیاد و سرعت تقریباً ثابت نیاز داشته باشند.

موتورهای کمپوند نقصانی موارد استفاده چندانی ندارند. این موتورها را می‌توان طوری طراحی کرد که بتوانند در حالت بارداری سرعت تقریباً ثابتی داشته باشند. از موتور کمپوند نقصانی در ماشین برش کارخانجات لوله‌سازی استفاده می‌شود.

پرسش ۷ - ۴

پرسش‌های کامل کردنی

۱ - در موتورهای کمپوند فوران قطب‌ها است.

۲ - اگر سیم پیچی آرمیچر ابتدا با سیم پیچی تحریک موازی و سپس با سیم پیچی تحریک سری ارتباط پیدا کند موتور است.

۳ - اگر سیم پیچی آرمیچر ابتدا با سیم پیچی تحریک و سپس با سیم پیچی تحریک ارتباط پیدا کند موتور کمپوند با شنت بلند است.

۴ - راه‌اندازی و رفتار موتور کمپوند با شنت بلند و کوتاه است.

۵ - منحنی مشخصه الکترومغناطیسی تأثیر بر را در ولتاژ ثابت نشان می‌دهد.

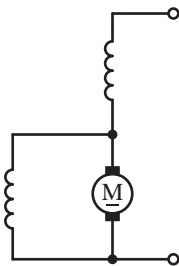
۶ - منحنی مشخصه تأثیر گشتاور بار بر سرعت را در ولتاژ ثابت نشان می‌دهد.

پرسش‌های صحیح، غلط

۱ - اگر سیم پیچی آرمیچر ابتدا با سیم پیچی تحریک سری و سپس با سیم پیچی تحریک موازی ارتباط پیدا کند موتور کمپوند با شنت کوتاه است.

صحیح غلط

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



صحیح غلط

۳ - در نوشتن معادلات ولتاژ و جریان در حالت پایدار موتورهای DC از اثرات خودالقایی صرف نظر نمی‌شود.

صحیح غلط

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

را در حداقل قرار می دهند.

صحيح غلط

۵ - پس از راه اندازی موتور کمپوند به منظور تنظيم سرعت مقاومت R_{adj} را تغيير می دهند.

صحيح غلط

پرسش های تشریحی

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

۲ - چرا موتور کمپوند نقصانی کاربرد ندارد؟

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

۴ - چرا در تحليل موتورهای DC از اثرات خودالقایی صرف نظر می شود؟

۵ - نحوه راه اندازی موتور کمپوند را شرح دهید.

۶ - آیا در موتورهای کمپوند پدیده فرار روی می دهد؟ چرا؟

۷ - نحوه تنظيم سرعت پس از راه اندازی موتور کمپوند را شرح دهید.

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

۱۴ - ۴ - راه اندازی موتورهای جریان مستقیم

موتورهای جریان مستقیم در لحظه راه اندازی چندین برابر جریان نامی از منبع تغذیه دریافت می کنند.

جریان راه اندازی زیاد مشکلات جدی را ایجاد می کند از جمله:

• آسیب رسیدن به سیم پیچی آرمیچر، کموتاتور و

جاروبک ها

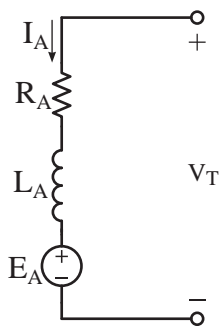
• ایجاد افت ولتاژ بسیار شدید در منبع تغذیه

• آسیب رسیدن به کابل های اتصال موتور به منبع تغذیه

• قطع فیوزهای موتور

• ایجاد ضربات شدید مکانیکی به رتور و آسیب رسیدن به محور و یاتاقان

علت جریان راه اندازی زیاد با توجه به مدار الکتریکی معادل سیم پیچی آرمیچر شکل (۴۴ - ۴) قابل توجیه است.



شکل ۴-۴۴

با توجه به شکل (۴۴ - ۴) جریان آرمیچر از رابطه (۴۰ - ۴) به دست می آید.

$$I_A = \frac{V_T - E_A}{R_A} \quad (4-40)$$

نیروی محرکه القایی با رابطه $E_A = K \cdot \phi \cdot \omega$ تعیین می شود. در لحظه راه اندازی رتور در حال سکون است و سرعت $\omega = 0$ است و نیروی محرکه القایی $E_A = 0$ می شود. بنابراین رابطه جریان آرمیچر در لحظه راه اندازی به صورت رابطه (۴۱ - ۴) در می آید.

$$I_{Ast} = \frac{V_T - 0}{R_A} \quad (4-41)$$

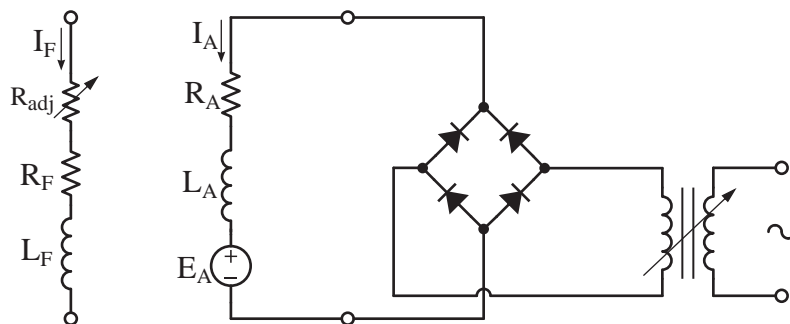
۱. ضریب خودالقایی L_A در محاسبه جریان راه اندازی دخالت دارد و باعث کاهش آن می شود. به دلیل پیچیدگی محاسبات از اثر L_A در جریان راه اندازی صرف نظر شده است.

افزایش می‌یابد و باعث کاهش جریان آرمیچر می‌شود. برای کاهش جریان آرمیچر در لحظه راه‌اندازی طبق رابطه (۴۱ - 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 - ۱۴ - ۴ - راه‌اندازی با منبع ولتاژ متغیر

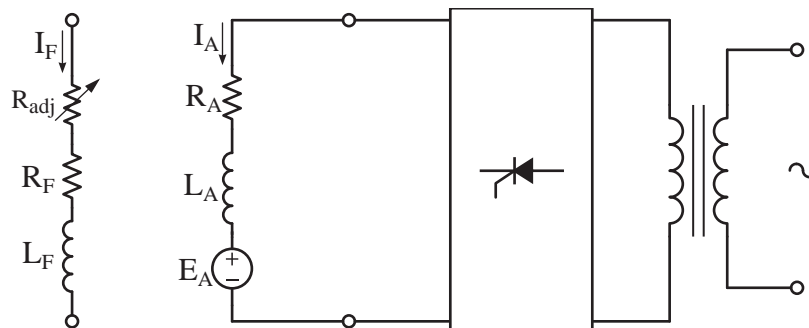
در این روش با استفاده از منبع ولتاژ DC متغیر در لحظه راه‌اندازی ولتاژ موتور را کاهش می‌دهند و پس از راه‌اندازی ولتاژ را به تدریج افزایش می‌دهند تا به ولتاژ نامی برسد.

یک نمونه از منبع ولتاژ DC متغیر در شکل (۴۵ - ۴) نشان داده شده است.



شکل ۴-۴۵

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



شکل ۴-۴۶

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 220 V ، 1 KW ، 5 A با مقاومت آرمیچر $2\ \Omega$ را در نظر بگیرید. جریان آرمیچر این موتور در لحظه راه‌اندازی برابر است با:

$$I_{A_{st}} = \frac{V_T - 0}{R_A}$$

$$I_{A_{st}} = \frac{220 - 0}{2} = 110\text{ [A]}$$

مشاهده می‌شود جریان آرمیچر در لحظه راه‌اندازی 220 برابر جریان نامی موتور است. البته پس از راه‌اندازی موتور و سرعت گرفتن رتور نیروی محرکه القایی E_A

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

- ۲ - در لحظه راه‌اندازی سرعت است و نیروی محرکه القایی می‌شود.
- ۳ - پس از راه‌اندازی و سرعت گرفتن رتور نیروی محرکه القایی و جریان آرمیچر می‌یابد.
- ۴ - در منبع تغذیه ولتاژ متغیر وظیفه ترانسفورمر و وظیفه پل دیودی است.

پرسش‌های صحیح، غلط

۱ - یکی از مشکلات جریان راه‌اندازی زیاد قطع فیزیهای مدار است.

صحیح غلط

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

صحیح غلط

پرسش‌های تشریحی

- ۱ - مشکلاتی که جریان راه‌اندازی زیاد ایجاد می‌کند را بنویسید.
- ۲ - چرا موتورهای جریان مستقیم در لحظه راه‌اندازی جریان زیاد می‌کشند؟
- ۳ - راه‌اندازی موتور DC با منبع ولتاژ متغیر را شرح دهید.

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

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

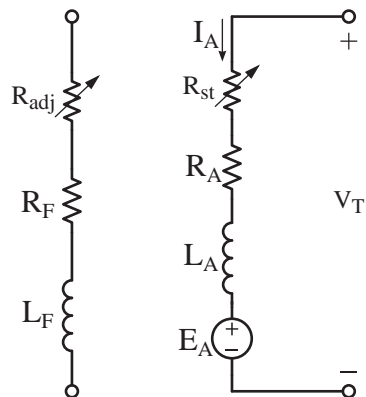
۶ - معایب راه‌اندازی موتور DC با مقاومت راه‌انداز را بنویسید.

در این شکل از یک ترانس برای تبدیل ولتاژ و یک مدار الکترونیکی یکسوکننده تریستوری تمام موج کنترل شده برای تغییر ولتاژ و تبدیل AC به DC استفاده شده است.

استفاده از منبع ولتاژ DC متغیر در راه‌اندازی موتورهای DC به دلیل بازده زیاد بسیار مناسب است.

۴ - ۱۴ - ۴ - راه‌اندازی با مقاومت راه‌انداز

در این روش با استفاده از مقاومت متغیر به نام «مقاومت راه‌انداز» که با مدار آرمیچر سری می‌شود مقاومت مدار آرمیچر را افزایش می‌دهند و پس از راه‌اندازی، مقاومت راه‌انداز را به تدریج کم می‌کنند تا به صفر برسد. نحوه قرار گرفتن مقاومت راه‌انداز در مدار آرمیچر در شکل (۴۷ - ۴) نشان داده شده است.



شکل ۴۷ - ۴

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

پرسش ۸ - ۴

پرسش‌های کامل کردنی

- ۱ - جریان راه‌اندازی زیاد باعث ایجاد بسیار شدید در منبع تغذیه می‌شود.

۱۵ - ۴ - 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 سکویهای 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 $E_A = K \cdot \phi \cdot \omega$ تعیین می‌شود و از آن رابطه (۴ - ۴۲) برای سرعت به دست می‌آید.

$$\omega = \frac{E_A}{K \cdot \phi} \quad (۴-۴۲)$$

برای موتورهای تحریک مستقل و شنت نیروی محرکه القایی E_A از رابطه (۴ - ۴۳) به دست می‌آید.

$$E_A = V_T - R_A I_A \quad (۴-۴۳)$$

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

(۴ - ۴۴) در می‌آید.

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

با توجه به رابطه (۴ - ۴۴) 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 - کنترل سرعت از طریق کنترل ولتاژ

سرعت در موتورهای DC طبق رابطه (۴ - ۴۴) با ولتاژ نسبت مستقیم دارد. روش کنترل ولتاژ برای کنترل سرعت از صفر تا سرعت نامی به کار 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 - کنترل سرعت از طریق کنترل مقاومت مدار آرمیچر

سرعت در موتورهای DC طبق رابطه (۴ - ۴۴) 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 - کنترل سرعت از طریق کنترل فوران قطب‌ها

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

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 - فضای کمی اشغال می‌کند.
- ۲ - بازده بالا دارد.
- ۳ - امکان کنترل سریع ولتاژ خروجی
- ۴ - ارزان و اقتصادی هستند.

● معایب سیستم کنترل سرعت الکترونیکی:

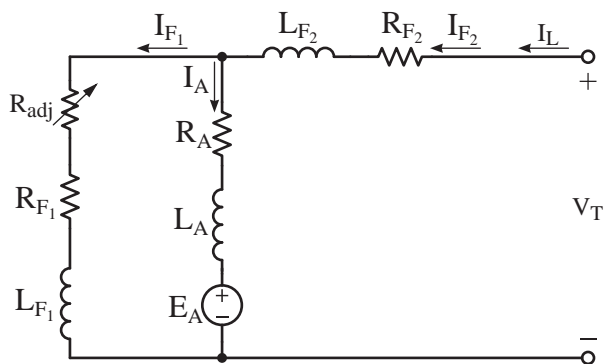
- ۱ - تولید اعوجاج و نوسانات در شبکه برق

پرسش ۹ - ۴

پرسش‌های کامل کردنی

- ۱ - صنعت نیاز به موتورهایی با گشتاور با امکان کنترل دارد.
- ۲ - کنترل و کنترل از روش‌های کنترل سرعت موتورهای DC هستند.
- ۳ - سرعت در موتورهای DC با فوران نسبت دارد.

برای کنترل سرعت فراتر از سرعت نامی به کار 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 - ۴).

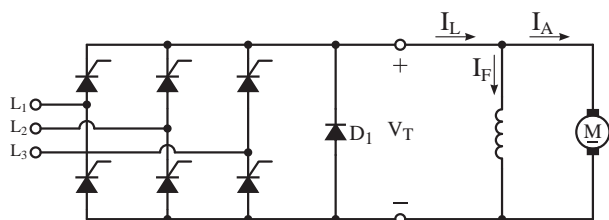


شکل ۴۸ - نحوه اتصال مقاومت R_{adj}

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

۱ - ۱۵ - ۴ - 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 - ۴) نشان داده شده است.



شکل ۴۹ - مدار ساده کنترل ولتاژ DC موتور شنت

پرسش‌های صحیح، غلط

چگونه است؟ چرا؟

۸ - مزایای سیستم کنترل سرعت الکترونیکی را بنویسید؟

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

صحیح غلط

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

صحیح غلط

۱۶ - ۴ - 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.

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

صحیح غلط

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

صحیح غلط

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.

پرسش‌های تشریحی

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

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

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

۴ - چرا روش کنترل سرعت موتورهای DC از طریق کنترل مقاومت مدار آرمیچر توصیه نشده است؟
۵ - کنترل سرعت از طریق کنترل فوران را شرح دهید.

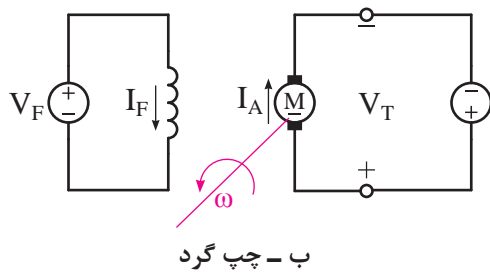
۶ - هر یک از روش‌های کنترل سرعت در چه محدوده‌ای کاربرد دارند؟ توضیح دهید.

۷ - نحوه نصب مقاومت‌های R_{adj} در مدار تحریک

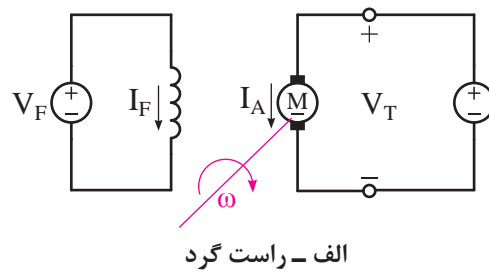
۱ - قطع مدار تحریک در لحظه تغییر جهت گردش باعث بروز پدیده مهار گسستگی خواهد شد.

۲ - 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 - ۴).



ب - چپ گرد

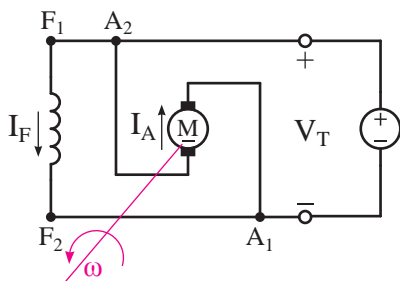


الف - راست گرد

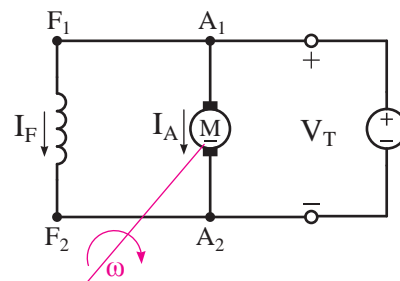
شکل ۴ - ۵۰ نقشه اختصاری تغییر جهت گردش موتور تحریک مستقل

تغییر کند. در شکل (۴ - ۵۱) نقشه اختصاری تغییر جهت گردش موتور شنت نشان داده شده است.

در موتورهای شنت، سری و کمپوند با جابجایی محل اتصال مدار آرمیچر نسبت به مدار تحریک، جهت جریان آرمیچر را عوض می کنند تا جهت گردش موتور



ب - چپ گرد

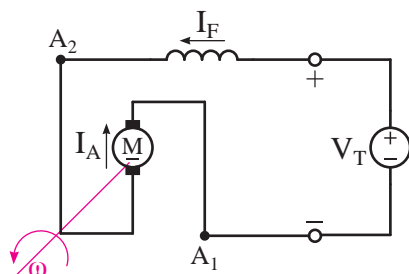


الف - راست گرد

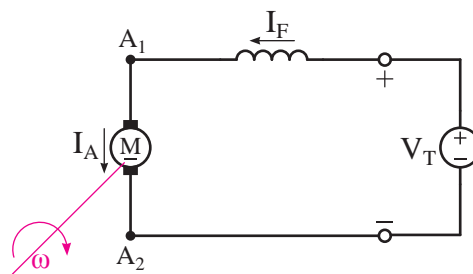
شکل ۴ - ۵۱ نقشه اختصاری تغییر جهت گردش موتور شنت

گردش موتور سری نشان داده شده است.

در شکل (۴ - ۵۲) نقشه اختصاری تغییر جهت



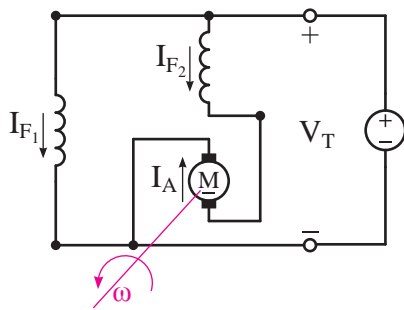
ب - چپ گرد



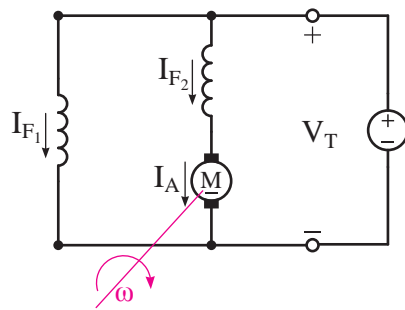
الف - راست گرد

شکل ۴ - ۵۲ نقشه اختصاری تغییر جهت گردش موتور سری

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



ب - چپ گرد



الف - راست گرد

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

مستهلك می‌کند تا رتور متوقف شود. سه روش ترمز

برای موتورهای DC به کار می‌رود:

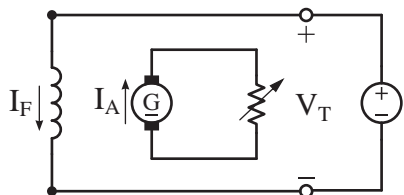
۱ - ترمز دینامیکی

۲ - ترمز با جریان مخالف

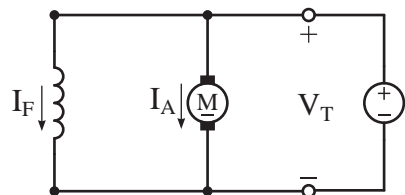
۳ - ترمز ژنراتوری

۱ - ۱۷ - ۴ - 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 - ۴) نشان داده شده است.



ب - حالت ترمز



الف - حالت کار

شکل ۵۴ - ۴ نقشه اختصاری موتور شنت

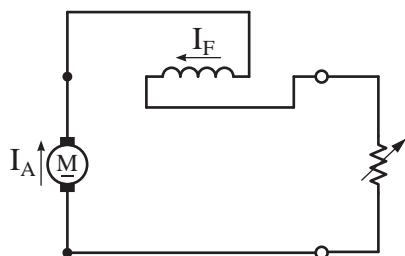
در موتورهای شنت، سری و کمپوند با تعویض پلاریته‌های منبع ولتاژ جهت جریان مدار آرمیچر و تحریک عوض می‌شود از این رو جهت گردش تغییر نخواهد کرد.

۱۷ - ۴ - 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 صورتی که 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.

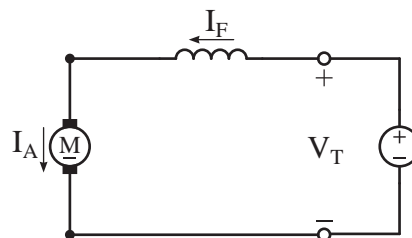
اساس کار ترمز موتورهای DC بر این مبنا استوار است که انرژی جنبشی رتور در حال گردش را

ترمزی جابه‌جا می‌شود تا جهت جریان آن مانند حالت کار موتور باقی بماند و پس ماند قطب‌ها از بین نرود. نقشه اختصاری حالت کار و ترمز دینامیکی موتور سری در شکل (۵۵ - ۴) نشان داده شده است.



ب - حالت ترمز

در موتورهای سری برای ایجاد حالت ترمز دینامیکی، موتور از منبع تغذیه جدا می‌شود و مدار آرمیچر و تحریک سری به مقاومت متغیر متصل می‌شوند؛ با این تفاوت که دو سر سیم‌پیچی تحریک سری در حالت



الف - حالت کار

شکل ۵۵ - ۴ نقشه اختصاری موتور سری

۲ - ۱۷ - ۴ - ترمز با جریان مخالف

در این روش برای ایجاد نیروی ترمزی جهت گردش موتور را با جابه‌جا کردن سرهای مدار آرمیچر عوض می‌کنند تا جهت گشتاور 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. اما در این روش ضربات شدید مکانیکی به محور و یاتاقان‌ها وارد می‌شود و مدارهای الکتریکی موتور، باید جریان‌های شدید لحظه‌ای را تحمل کند.

۳ - ۱۷ - ۴ - ترمز ژنراتوری

در مواردی که بار تحت تأثیر انرژی جنبشی خود بتواند سرعت رتور را به بیش از سرعت بی‌باری برساند (مانند حرکت خودرو در سرازیری)، نیروی محرکه القایی آرمیچر E_A بزرگ‌تر از ولتاژ V_T می‌شود. لذا

در موتورهای کمپوند برای ایجاد حالت ترمز دینامیکی، مدار آرمیچر و تحریک سری مشابه آنچه که برای موتور سری شرح داده شد به مقاومت متغیر وصل می‌شود و مدار تحریک موازی به منبع تغذیه متصل می‌ماند.

در روش ترمز دینامیکی لازم است سیم‌پیچی تحریک در مدار باقی بماند تا رفتار ژنراتوری پدید آید. همچنین هرچه مقدار مقاومت متغیر کمتر شود نیروی ترمزی قوی‌تری به وجود می‌آید و رتور سریع‌تر متوقف می‌شود.

در اتوبوس‌های برقی مجهز به ترمز دینامیکی، مقاومت متغیر از طریق یک پدال در زیر پای راننده قرار داده شده است. راننده با فشار بر پدال ضمن قطع مدار آرمیچر از منبع تغذیه آن را به مقاومت متغیر وصل می‌کند. فشار بیشتر بر پدال، مقاومت متغیر را کم می‌کند تا نیروی ترمز قوی‌تری ایجاد شود.

..... توسط فراهم باشد.

پرسش‌های صحیح، غلط

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

صحیح غلط

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

صحیح غلط

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

صحیح غلط

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

صحیح غلط

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

صحیح غلط

۶ - روش ترمز ژنراتوری در موتور سری کاربرد دارد.

صحیح غلط

پرسش‌های تشریحی

۱ - تغییر جهت گردش در موتورهای DC چگونه انجام می‌شود؟

۲ - چرا از تعویض جهت جریان تحریک به منظور تغییر جهت گردش خودداری می‌شود؟

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

موتور تبدیل به ژنراتور خواهد شد و انرژی جنبشی رتور به انرژی الکتریکی تبدیل و به منبع تغذیه برگردانده می‌شود و آن را شارژ می‌کند. در این صورت نیروی ترمزی ایجاد می‌شود که مانع افزایش سرعت رتور می‌شود. این روش تولید نیروی ترمزی را «ترمز ژنراتوری» گویند.

در روش ترمز ژنراتوری باید امکان جذب انرژی الکتریکی توسط منبع تغذیه فراهم باشد در غیر این صورت نیروی ترمزی پدید نمی‌آید. ترمز مولدی باعث توقف رتور نخواهد شد بلکه از افزایش سرعت رتور جلوگیری می‌کند.

روش ترمزی ژنراتوری در موتورهای سری پدید نمی‌آید؛ زیرا رسیدن به بیش از سرعت بی‌باری به معنای وقوع پدیده فرار یا مهار گسستگی است.

پرسش ۱۰ - ۴

پرسش‌های کامل کردنی

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

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

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

۴ - در روش ترمز دینامیکی انرژی رتور به انرژی تبدیل می‌شود.

۵ - در روش ترمز دینامیکی لازم است سیم‌پیچی در مدار باقی بماند تا رفتار پدید آید.

۶ - در روش ترمز ژنراتوری باید امکان جذب انرژی

- ۴- چرا در موتورهای شنت، سری و کمپوند با تعویض پلاریته منبع ولتاژ، جهت گردش تغییر نمی‌کند؟
- ۵- لزوم استفاده از ترمز در موتورهای الکتریکی را بنویسید.
- ۶- اساس کار ترمز را شرح دهید.
- ۷- انواع روش‌های ترمز را بنویسید.
- ۸- روش ترمز دینامیکی را توضیح دهید.
- ۹- با رسم شکل نحوه ترمز دینامیکی موتور شنت را توضیح دهید.
- ۱۰- با رسم شکل نحوه ترمز دینامیکی موتور سری را توضیح دهید.
- ۱۱- نحوه ترمز دینامیکی در موتور کمپوند را توضیح دهید.
- ۱۲- ترمز با جریان مخالف را توضیح دهید.
- ۱۳- ترمز ژنراتوری را توضیح دهید.
- ۱۴- چرا ترمز ژنراتوری در موتور سری پدید نمی‌آید؟

1-Electric Machinery – 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 - ماشین‌های الکتریکی، تئوری، عملکرد و کاربردها - تالیف پروفیسور بی‌م بهارا - ترجمه دکتر سلطانی، دکتر

لسانی

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

