





موتورهای جریان مستقیم

DC Motors

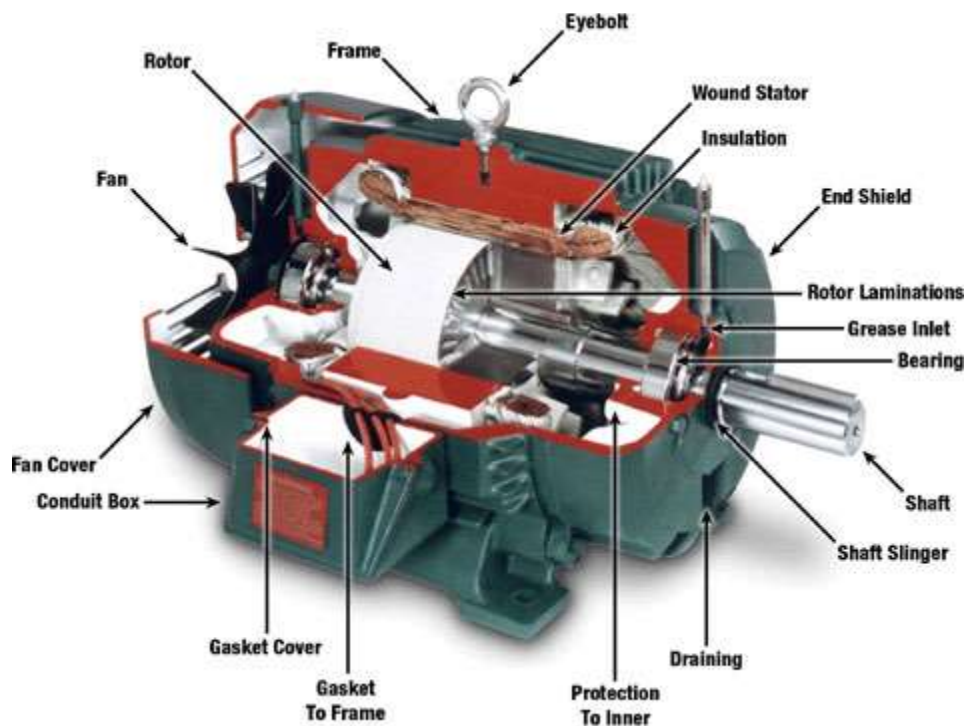
حسین غفاریپور

$$SR = \frac{\omega_{nl} - \omega_{fl}}{\omega_{fl}} \times 100\%$$

$$SR = \frac{n_{nl} - n_{fl}}{n_{fl}} \times 100\%$$

■ درصد تنظیم سرعت

■ انواع موتورهای DC



❖ موتور تحریک مستقل (Separately Excited)

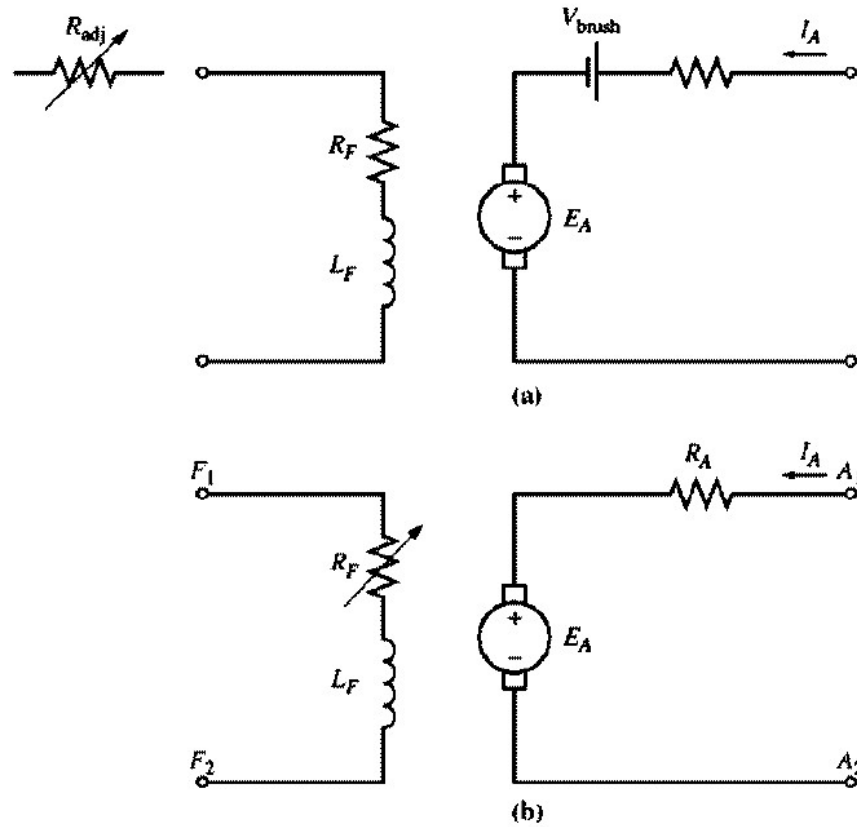
❖ موتور شنت یا موازی (Shunt)

❖ موتور سری (Series)

❖ موتور با مغناطیس دائم (Permanent-Magnet)

❖ موتور ترکیبی یا کمپوند (Compounded)

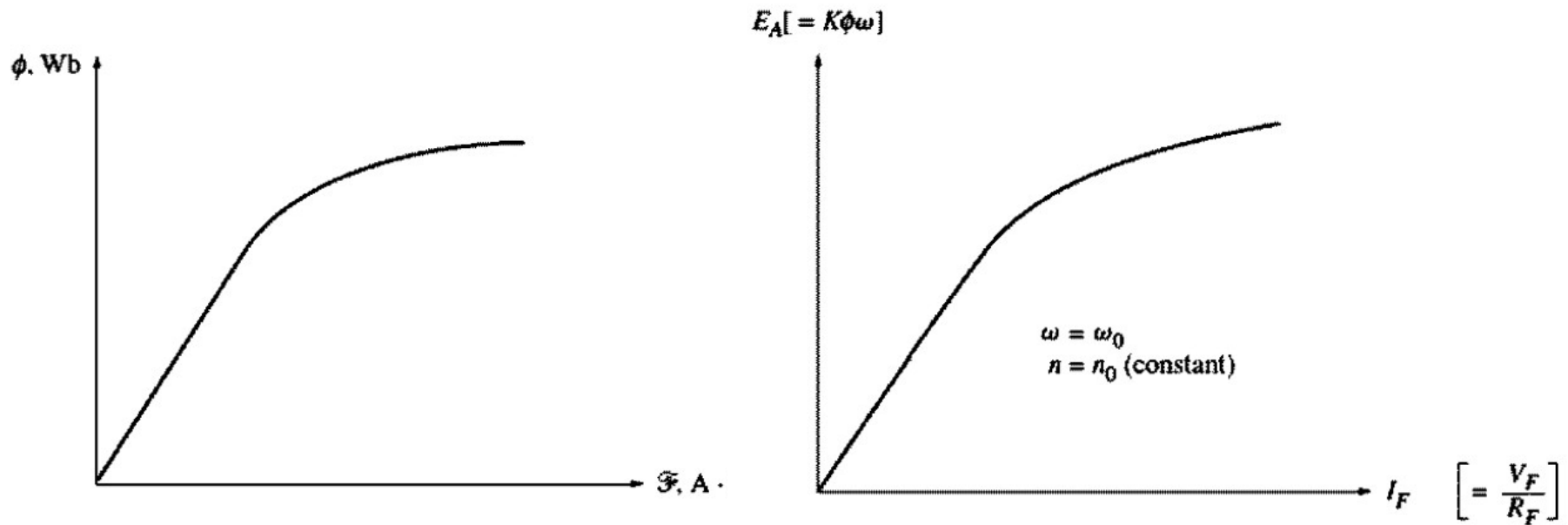
■ مدار معادل



$$\tau_{ind} = K\phi I_A$$

■ منحنی مغناطیس کنندگی ماشین DC

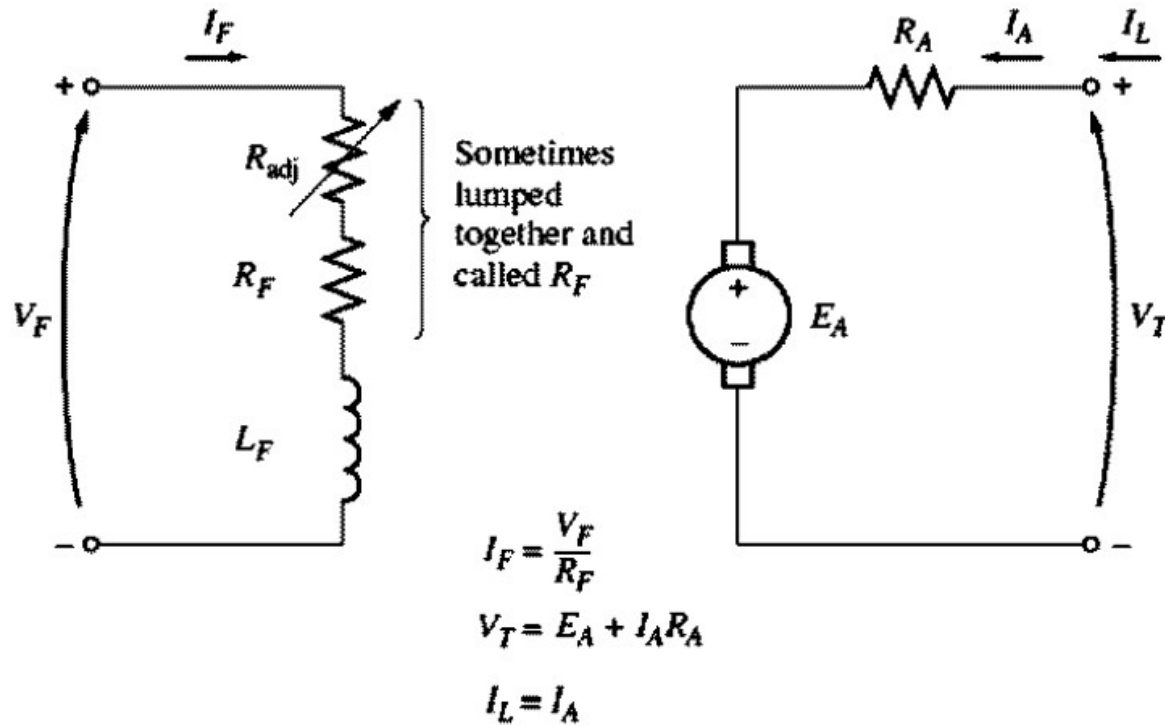
$$E_A = K\phi\omega$$



موتور DC تحریک مستقل و شنت

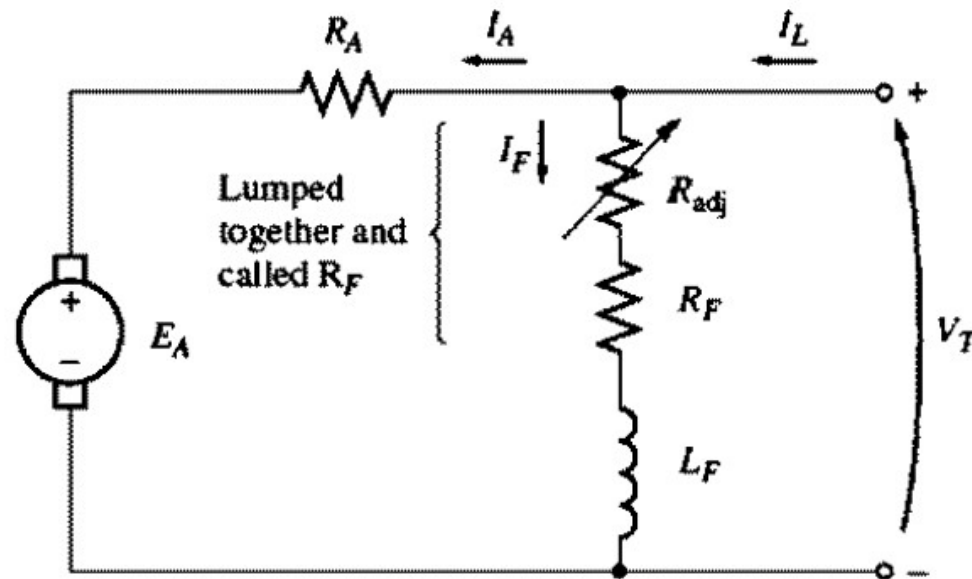
Separately Excited and Shunt DC Motors

موتور DC تحریک مستقل و شنت



مدار معادل موتور تحریک مستقل

موتور DC تحریک مستقل و شنت



$$I_F = \frac{V_T}{R_F}$$

$$V_T = E_A + I_A R_A$$

$$I_L = I_A + I_F$$

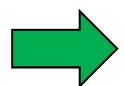
مدار معادل موتور شنت

موتور DC تحريك مستقل و شنت

■ مشخصه ترمینال موتور شنت

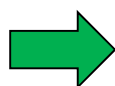
$$V_T = E_A + I_A R_A$$

$$E_A = K\phi\omega$$



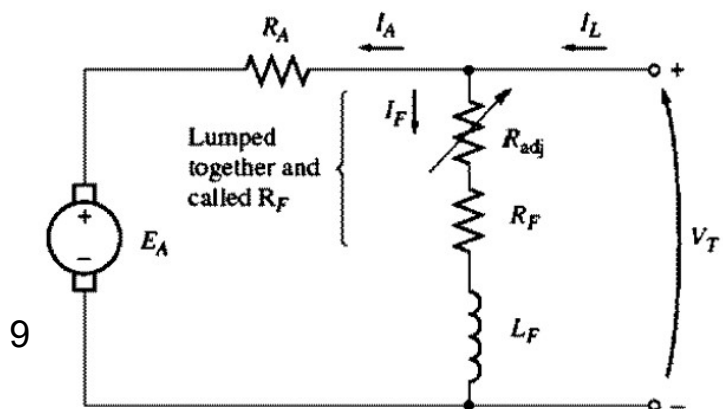
$$V_T = K\phi\omega + I_A R_A$$

$$\tau_{ind} = K\phi I_A$$



$$I_A = \frac{\tau_{ind}}{K\phi}$$

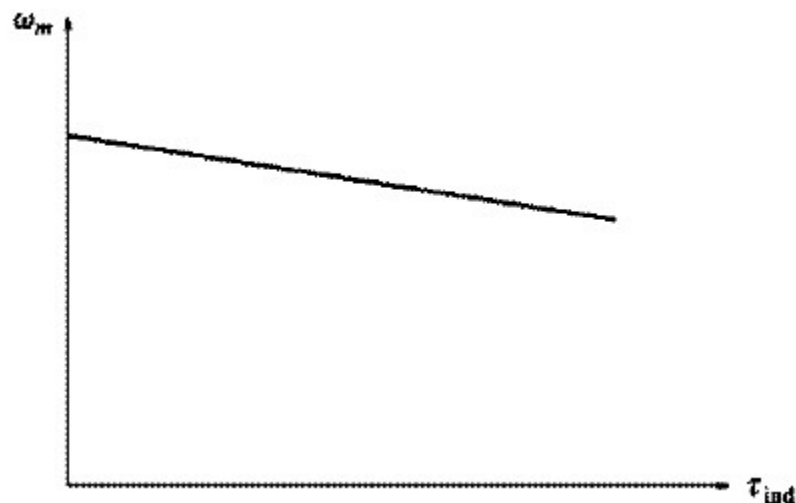
$$V_T = K\phi\omega + \frac{\tau_{ind}}{K\phi} R_A$$



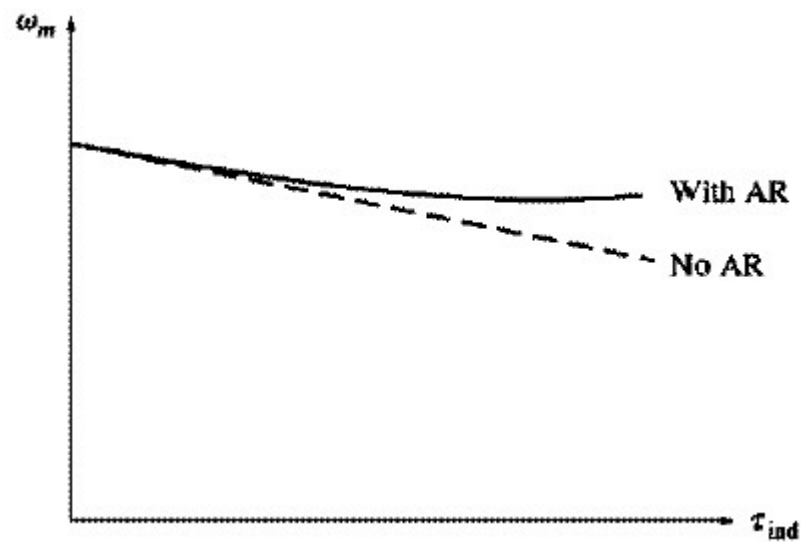
$$\omega = \frac{V_T}{K\phi} - \frac{R_A}{(K\phi)^2} \tau_{ind}$$

موتور DC تحریک مستقل و شنت

■ مشخصه ترمینال موتور شنت



مشخصه گشتاور-سرعت
موتور تحریک مستقل و شنت
با سیم پیچی جبران ساز



مشخصه گشتاور-سرعت
موتور تحریک مستقل و شنت
با عکس العمل آرمیچر

موتور DC تحریک مستقل و شنت

■ **مثال ۱:** یک موتور ۵۰ اسب بخار، ۲۵۰ ولت، ۱۲۰۰ دور بر دقیقه شنت با سیم پیچی جبران

کننده مطابق شکل داده شده است که سرعت بی باری آن ۱۲۰۰ دور بر دقیقه است. مطلوب

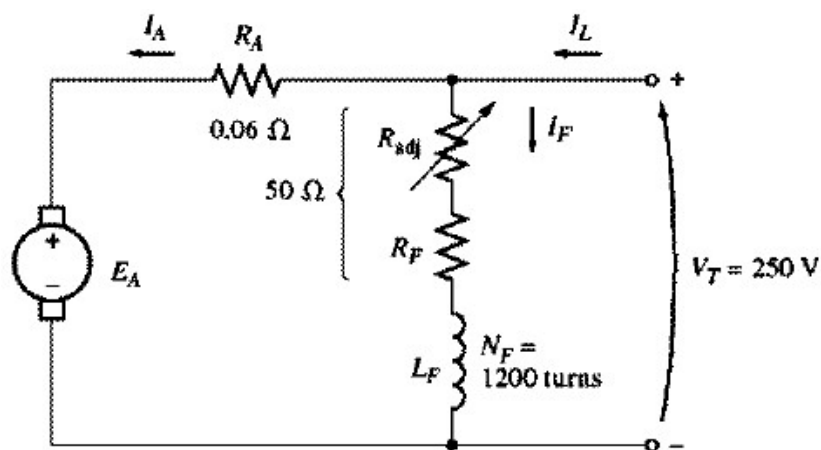
است:

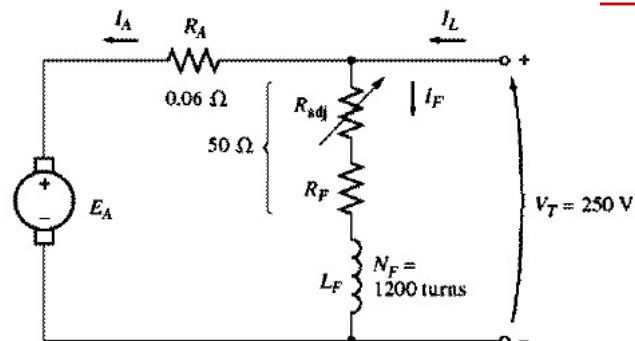
❖ الف) سرعت موتور در جریان ورودی ۱۰۰ آمپر؟

❖ ب) سرعت موتور در جریان ورودی ۲۰۰ آمپر؟

❖ ج) سرعت موتور در جریان ورودی ۳۰۰ آمپر؟

❖ د) رسم منحنی مشخصه گشتاور-سرعت موتور





■ حل مثال ۱:

$$E_A = K' \phi n \quad \rightarrow \quad \frac{E_{A2}}{E_{A1}} = \frac{K' \phi n_2}{K' \phi n_1} \quad \rightarrow \quad n_2 = \frac{E_{A2}}{E_{A1}} n_1$$

در بی باری : $E_{A1} = V_T = 250 \text{ V}$

(الف)

$$I_L = 100 \text{ A} \quad \rightarrow \quad I_A = I_L - I_F = I_L - \frac{V_T}{R_F}$$

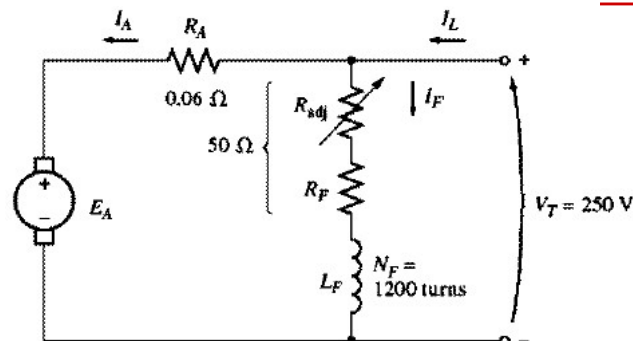
$$= 100 \text{ A} - \frac{250 \text{ V}}{50 \Omega} = 95 \text{ A}$$

$$E_A = V_T - I_A R_A$$

$$= 250 \text{ V} - (95 \text{ A})(0.06 \Omega) = 244.3 \text{ V}$$

$$n_2 = \frac{E_{A2}}{E_{A1}} n_1 = \frac{244.3 \text{ V}}{250 \text{ V}} 1200 \text{ r/min} = 1173 \text{ r/min}$$

موتور DC تحریک مستقل و شنت



■ ادامه حل مثال ۱:

(ب)

$$I_L = 200 \text{ A} \quad \rightarrow \quad I_A = 200 \text{ A} - \frac{250 \text{ V}}{50 \Omega} = 195 \text{ A}$$

$$E_A = V_T - I_A R_A \\ = 250 \text{ V} - (195 \text{ A})(0.06 \Omega) = 238.3 \text{ V}$$

$$n_2 = \frac{E_{A2}}{E_{A1}} n_1 = \frac{238.3 \text{ V}}{250 \text{ V}} 1200 \text{ r/min} = 1144 \text{ r/min}$$

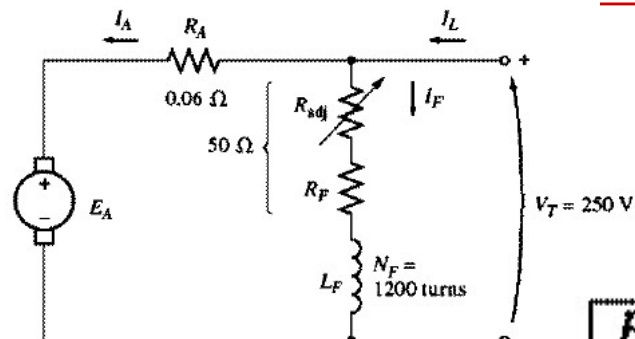
(ج)

$$I_L = 300 \text{ A} \quad \rightarrow \quad I_A = I_L - I_F = I_L - \frac{V_T}{R_F} \\ = 300 \text{ A} - \frac{250 \text{ V}}{50 \Omega} = 295 \text{ A}$$

$$E_A = V_T - I_A R_A \\ = 250 \text{ V} - (295 \text{ A})(0.06 \Omega) = 232.3 \text{ V}$$

$$n_2 = \frac{E_{A2}}{E_{A1}} n_1 = \frac{232.3 \text{ V}}{250 \text{ V}} 1200 \text{ r/min} = 1115 \text{ r/min}$$

موتور DC تحريك مستقل و شنت



■ ادامه حل مثال ۱:

(د)

$$P_{\text{conv}} = E_A I_A = \tau_{\text{ind}} \omega$$



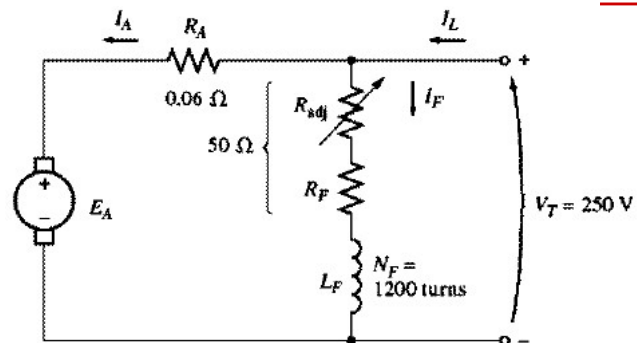
$$\tau_{\text{ind}} = \frac{E_A I_A}{\omega}$$

$$I_L = 100 \text{ A} \quad \Rightarrow \quad \tau_{\text{ind}} = \frac{(244.3 \text{ V})(95 \text{ A})}{(1173 \text{ r/min})(1 \text{ min}/60\text{s})(2\pi \text{ rad/r})} = 190 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$I_L = 200 \text{ A} \quad \Rightarrow \quad \tau_{\text{ind}} = \frac{(238.3 \text{ V})(95 \text{ A})}{(1144 \text{ r/min})(1 \text{ min}/60\text{s})(2\pi \text{ rad/r})} = 388 \text{ N} \cdot \text{m}$$

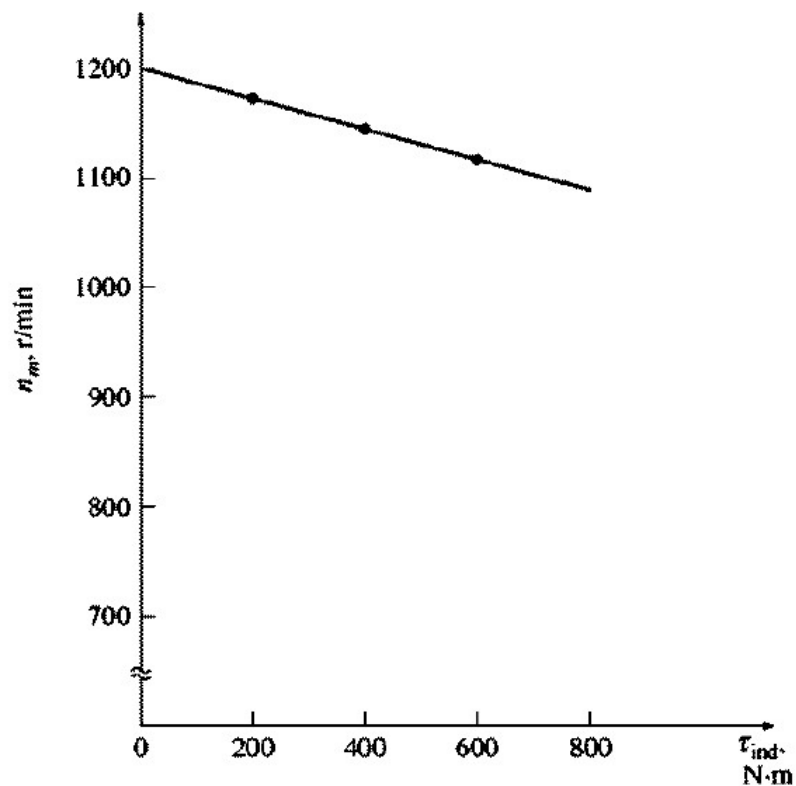
$$I_L = 300 \text{ A} \quad \Rightarrow \quad \tau_{\text{ind}} = \frac{(232.3 \text{ V})(295 \text{ A})}{(1115 \text{ r/min})(1 \text{ min}/60\text{s})(2\pi \text{ rad/r})} = 587 \text{ N} \cdot \text{m}$$

موتور DC تحریک مستقل و شنت



■ ادامه حل مثال ۱:

مشخصه گشتاور-سرعت
موتور شنت
مثال ۱

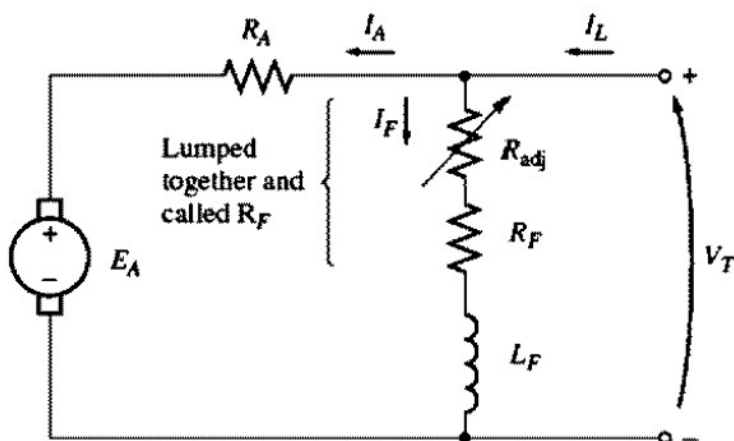


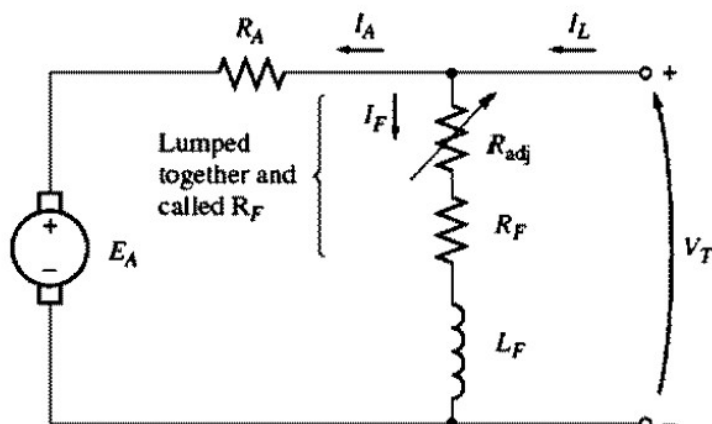
کنترل سرعت

موتورهای تحریک مستقل و شنت

■ تکنیک‌های کنترل سرعت:

- تغییر مقاومت میدان
- کنترل ولتاژ آرمیچر
- افزودن مقاومت سری به مدار آرمیچر





تکنیک تغییر مقاومت میدان

$R_F \uparrow \Rightarrow I_F (= V_T / R_F) \downarrow$

$I_F \downarrow \Rightarrow \phi \downarrow$

$\phi \downarrow \Rightarrow E_A (= K\phi\omega) \downarrow$

$E_A \downarrow \Rightarrow I_A (= (V_T - E_A) / R_A) \uparrow$

$I_A \uparrow \Rightarrow \tau_{ind} (= K\phi I_A) \uparrow$

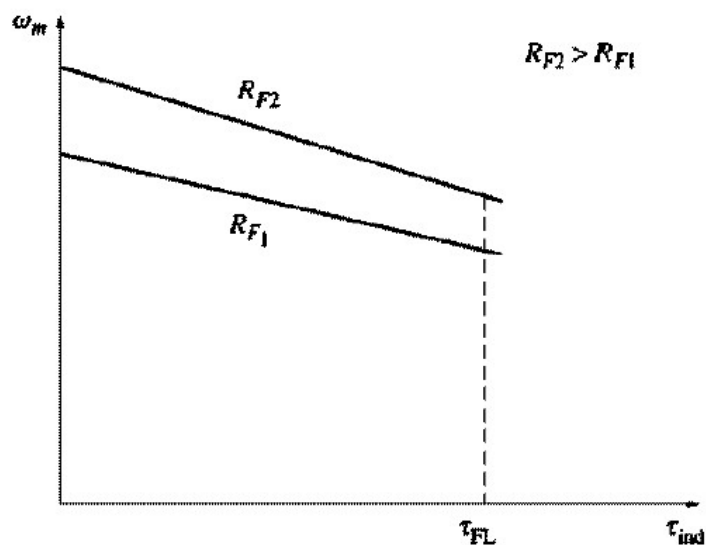
$\tau_{ind} > \tau_{load} \Rightarrow \omega \uparrow \Rightarrow E_A = K\phi\omega$

$E_A \uparrow \Rightarrow I_A (= (V_T - E_A) / R_A) \downarrow$

$I_A \downarrow \Rightarrow \tau_{ind} (= K\phi I_A) \downarrow \Rightarrow \tau_{ind} = \tau_{load}$

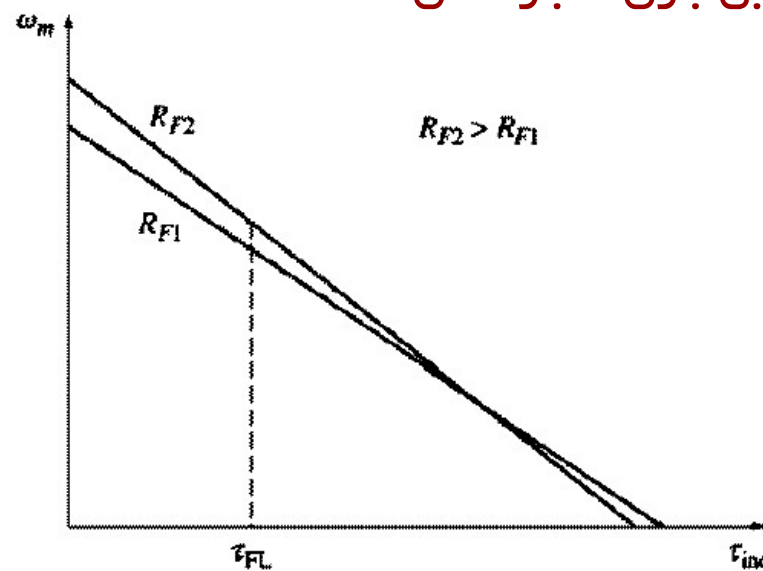
موتور DC تحریک مستقل و شنت

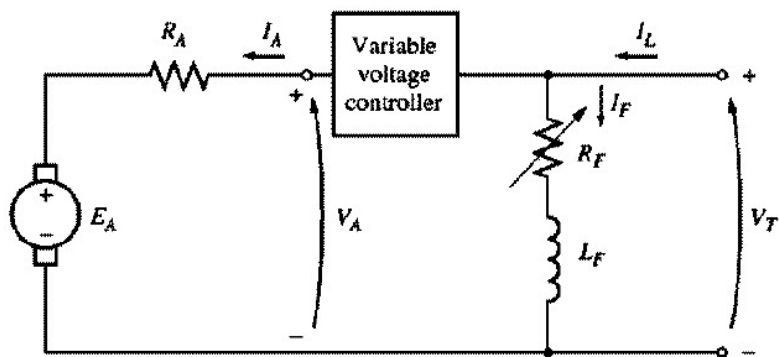
تکنیک تغییر مقاومت میدان



در محدوده کار نرمال موتور

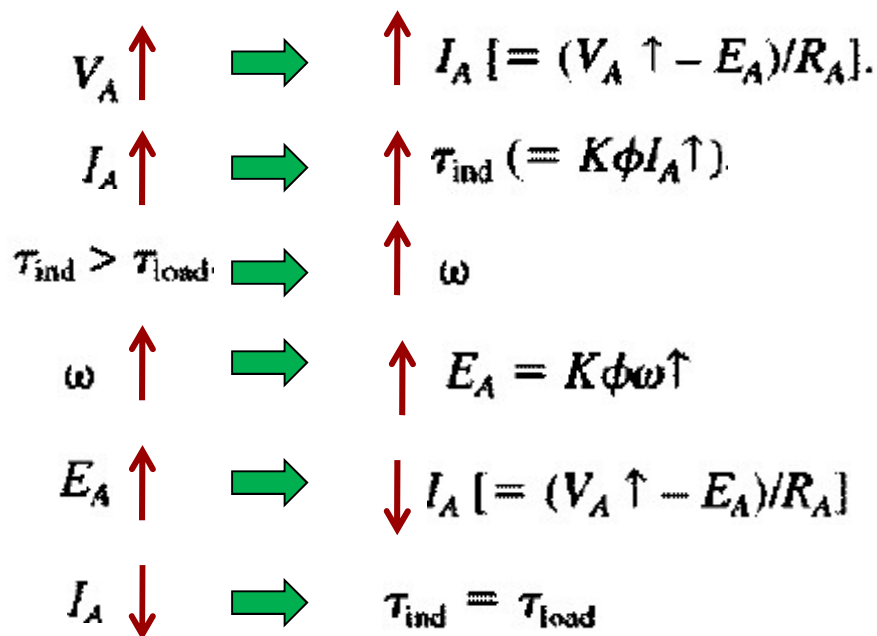
از بی باری تا بار کامل





V_T is constant
 V_A is variable

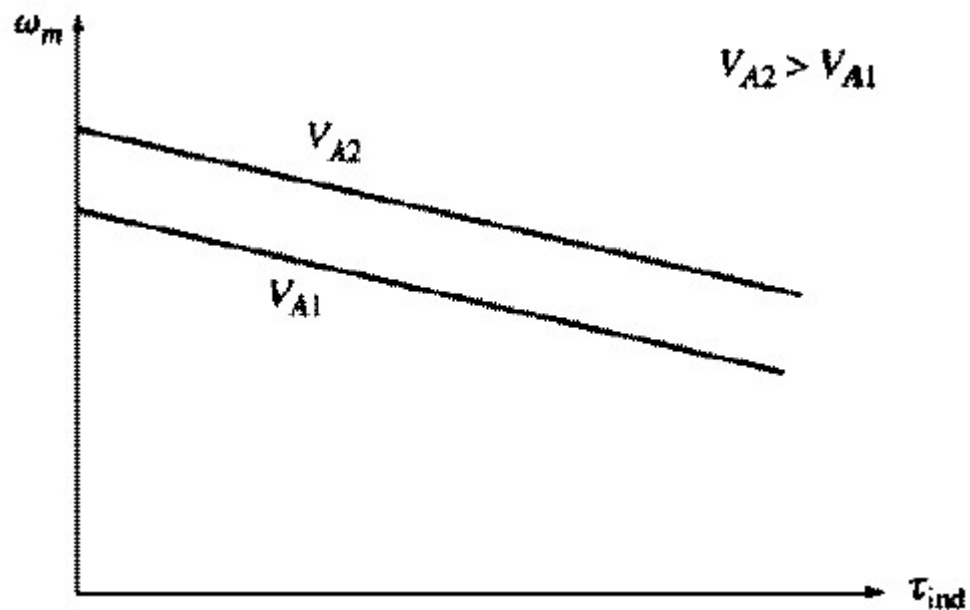
تکنیک کنترل ولتاژ آرمیچر



تعادل دوباره در سرعتی بالاتر

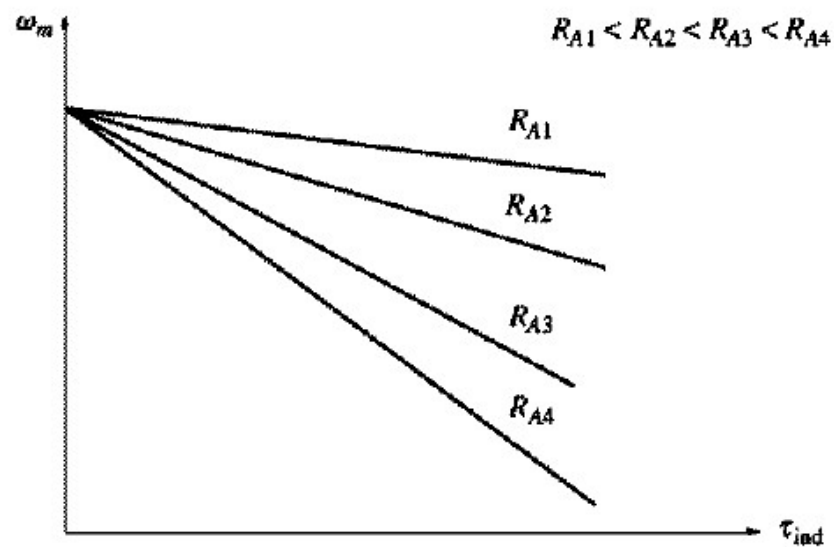
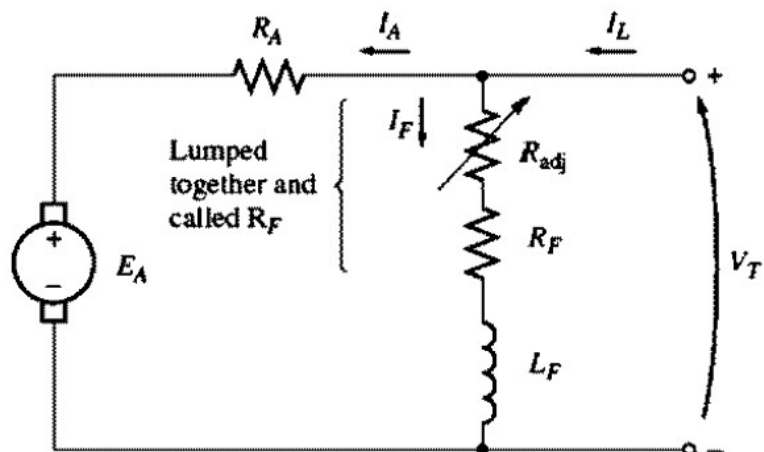


تکنیک کنترل ولتاژ آرمیچر



تاثیر کنترل ولتاژ ترمینال
بر مشخصه گشتاور- سرعت

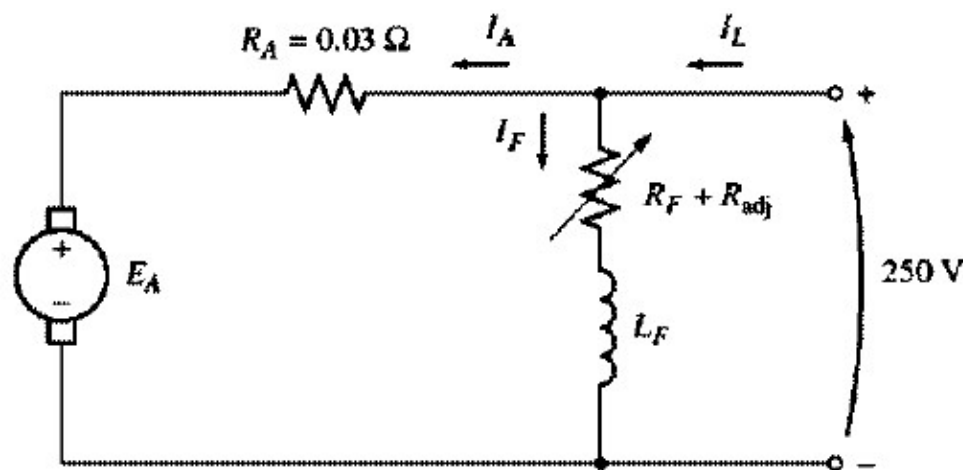
■ افزودن مقاومت سری به مدار آرمیچر

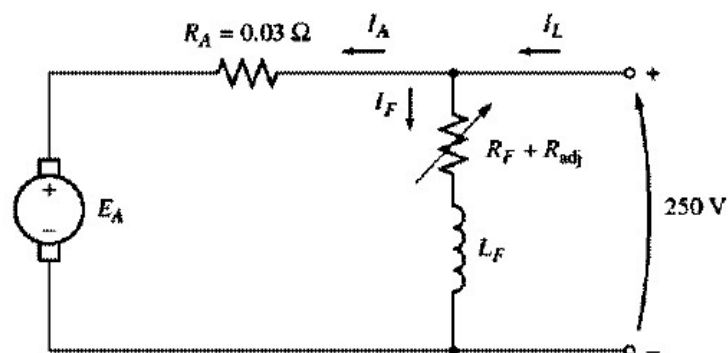


تاثیر مقاومت سری آرمیچر
بر مشخصه گشتاور- سرعت

موتور DC تحریک مستقل و شنت

- **مثال ۲:** یک موتور ۱۰۰ اسب بخار، ۲۵۰ ولت، ۱۲۰۰ دور بر دقیقه شنت با مقاومت آرمیچر ۰/۰۳ اهم و مقاومت میدان ۴۱/۶۷ اهم داده شده است. عکس العمل آرمیچر و تلفات ماشین صرفنظر کردنی است. برای بار فرضی، موتور دارای جریان خط ۱۲۶ آمپر و سرعت اولیه ۱۱۰۳ دور بر دقیقه است. سرعت موتور در مقاومت میدان ۵۰ اهم را بدست آورید.
- جهت سهولت فرض بر این است که جریان آرمیچر ثابت است.





■ حل مثال ۲:

$$I_{A1} = I_{L1} - I_{F1} = 126 \text{ A} - \frac{150 \text{ V}}{41.67 \Omega} = 120 \text{ A}$$

$$E_{A1} = V_T - I_{A1}R_A = 250 \text{ V} - (120 \text{ A})(0.03 \Omega) = 246.4 \text{ V}$$

$$I_{F2} = \frac{V_T}{R_F} = \frac{250 \text{ V}}{50 \Omega} = 5 \text{ A}$$

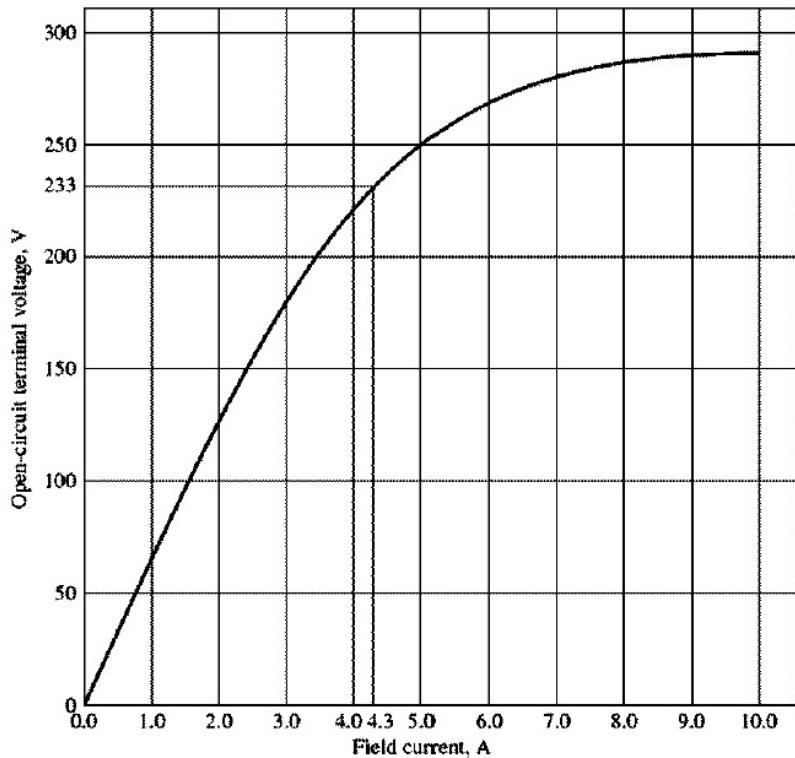
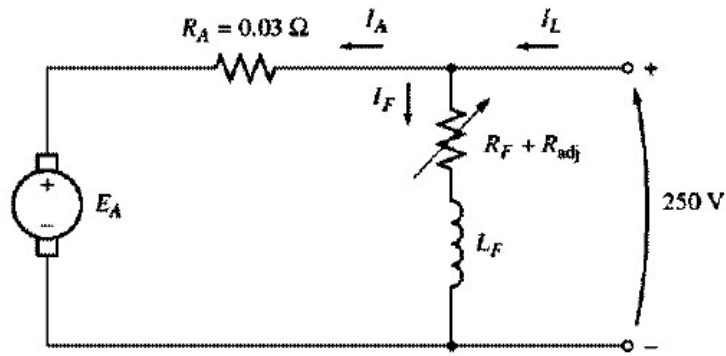
$$\frac{E_{A2}}{E_{A1}} = \frac{K' \phi_2 n_2}{K' \phi_1 n_1}$$

با فرض ثابت بودن جریان آرمیچر

$$E_{A1} = E_{A2}$$

$$1 = \frac{\phi_2 n_2}{\phi_1 n_1}$$

$$n_2 = \frac{\phi_1}{\phi_2} n_1$$



$$I_F = 5 \text{ A}, E_{A0} = 250 \text{ V}$$

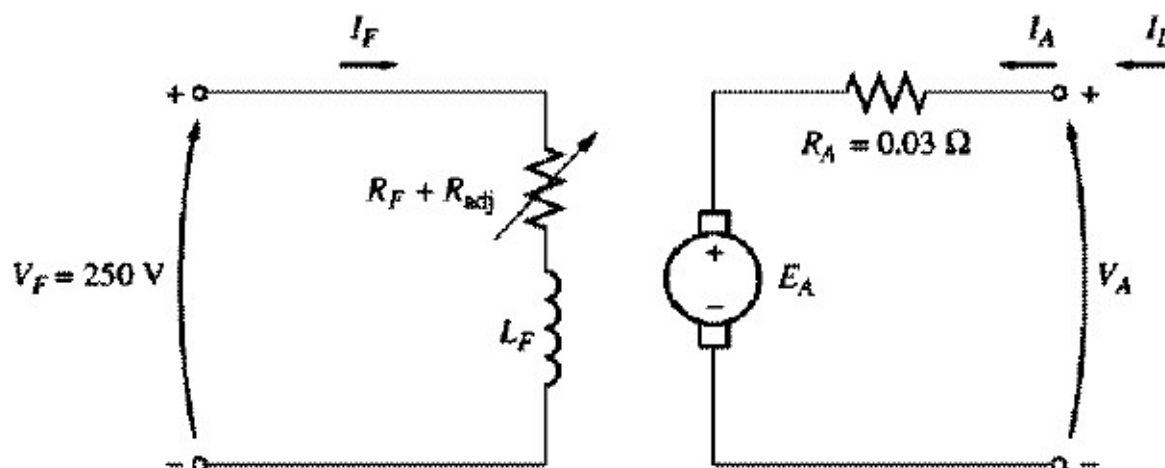
$$I_F = 6 \text{ A}, E_{A0} = 268 \text{ V}$$

$$\frac{\phi_1}{\phi_2} = \frac{268 \text{ V}}{250 \text{ V}} = 1.076$$

$$n_2 = \frac{\phi_1}{\phi_2} n_1 = (1.076)(1103 \text{ r/min}) = 1187 \text{ r/min}$$

موتور DC تحریک مستقل و شنت

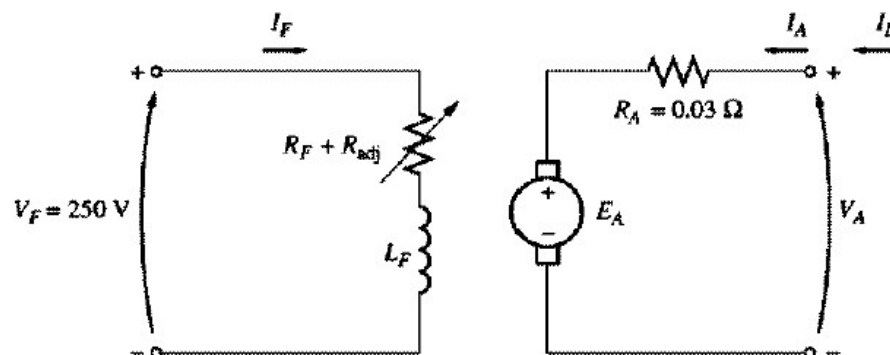
- **مثال ۳:** اگر موتور مثال ۲ به صورت تحریک مستقل بسته شود و برای بار فرضی، موتور دارای جریان خط ۱۲۰ آمپر و ولتاژ آرمیچر ۲۵۰ ولت، سرعت اولیه ۱۱۰۳ دور بر دقیقه است. اگر ولتاژ آرمیچر به ۲۰۰ ولت کاهش یابد سرعت موتور را بدست آورید.



■ حل مثال ۳:

$$E_A = V_T - I_A R_A = 250 \text{ V} - (120 \text{ A})(0.03 \Omega) = 246.4 \text{ V}$$

$$\begin{aligned} \frac{E_{A2}}{E_{A1}} &= \frac{K' \phi_2 n_2}{K' \phi_1 n_1} \\ &= \frac{n_2}{n_1} \\ n_2 &= \frac{E_{A2}}{E_{A1}} n_1 \end{aligned}$$



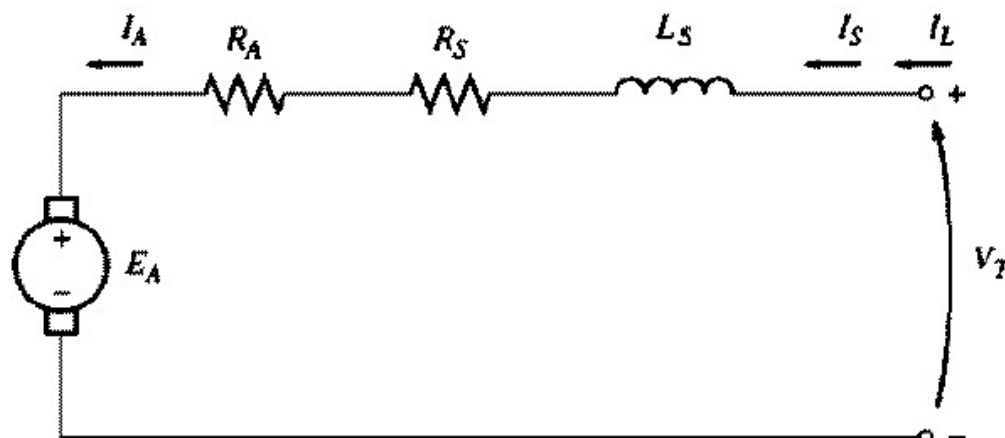
$$E_{A2} = V_T - I_{A2} R_A$$

$$n_2 = \frac{E_{A2}}{E_{A1}} n_1 = \frac{196.4 \text{ V}}{246.4 \text{ V}} 1103 \text{ r/min} = 879 \text{ r/min}$$

موتور DC سری

The Series DC Motor

موتور DC سری



$$I_A = I_S = I_L$$

$$V_T = E_A + I_A (R_A + R_S)$$

مدار معادل موتور سری

■ مشخصه ترمینال موتور سری

$$\begin{aligned} \tau_{\text{ind}} &= K\phi I_A \\ \phi &= cI_A \end{aligned} \quad \Rightarrow \quad \tau_{\text{ind}} = K\phi I_A = KcI_A^2 \quad \Rightarrow \quad I_A = \sqrt{\frac{\tau_{\text{ind}}}{Kc}}$$

$$\begin{aligned} V_T &= E_A + I_A(R_A + R_S) \\ E_A &= K\phi\omega \end{aligned} \quad \Rightarrow \quad V_T = K\phi\omega + \sqrt{\frac{\tau_{\text{ind}}}{Kc}}(R_A + R_S)$$

$$I_A = \frac{\phi}{c} \quad \Rightarrow \quad \tau_{\text{ind}} = \frac{K}{c} \phi^2 \quad \Rightarrow \quad \phi = \sqrt{\frac{c}{K}} \sqrt{\tau_{\text{ind}}}$$

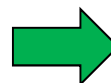


■ مشخصه ترمینال موتور سری

$$V_T = K \sqrt{\frac{c}{K}} \sqrt{\tau_{ind}} \omega + \sqrt{\frac{\tau_{ind}}{Kc}} (R_A + R_S)$$

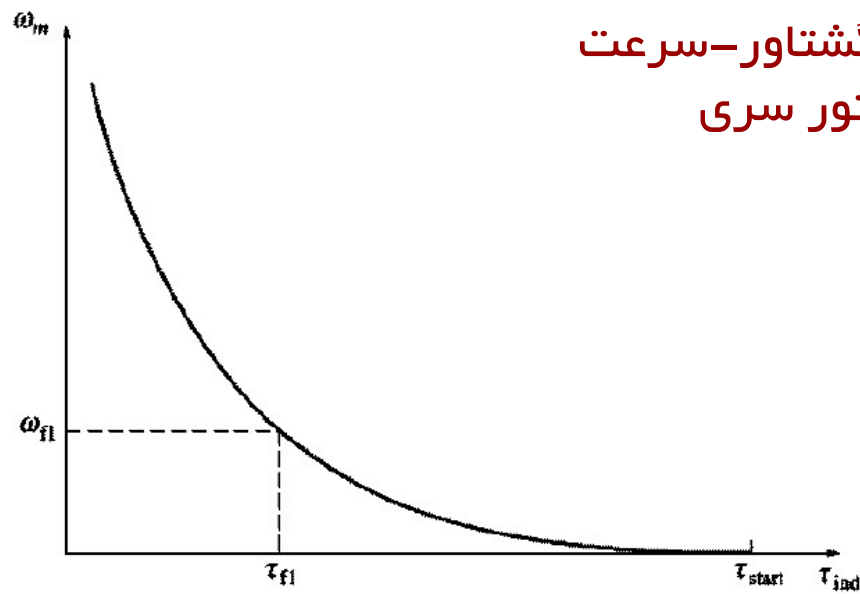
$$\sqrt{Kc} \sqrt{\tau_{ind}} \omega = V_T - \frac{R_A + R_S}{\sqrt{Kc}} \sqrt{\tau_{ind}}$$

$$\omega = \frac{V_T}{\sqrt{Kc} \sqrt{\tau_{ind}}} - \frac{R_A + R_S}{Kc}$$

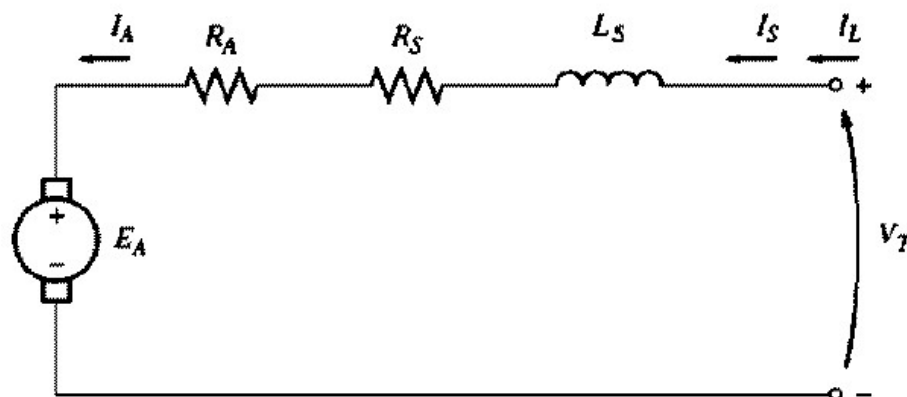


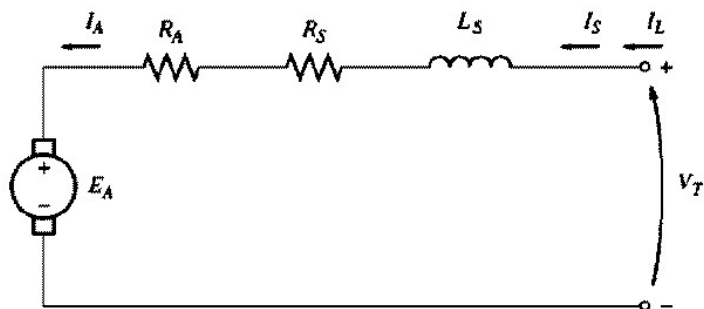
$$\omega = \frac{V_T}{\sqrt{Kc} \sqrt{\tau_{ind}}} - \frac{R_A + R_S}{Kc}$$

■ مشخصه ترمینال موتور سری



- **مثال ۴:** شکل زیر موتور سری ۲۵۰ ولت با سیم پیچی جبران ساز را نشان می‌دهد. مجموع مقاومت‌های سری برابر 0.08 اهم است. تعداد دور سیم پیچی میدان ۲۵ دور بوده و منحنی مغناطیس‌کنندگی مطابق شکل داده شده است. مطلوب است سرعت و گشتاور موتور وقتی جریان آرمیچر 50 آمپر است.





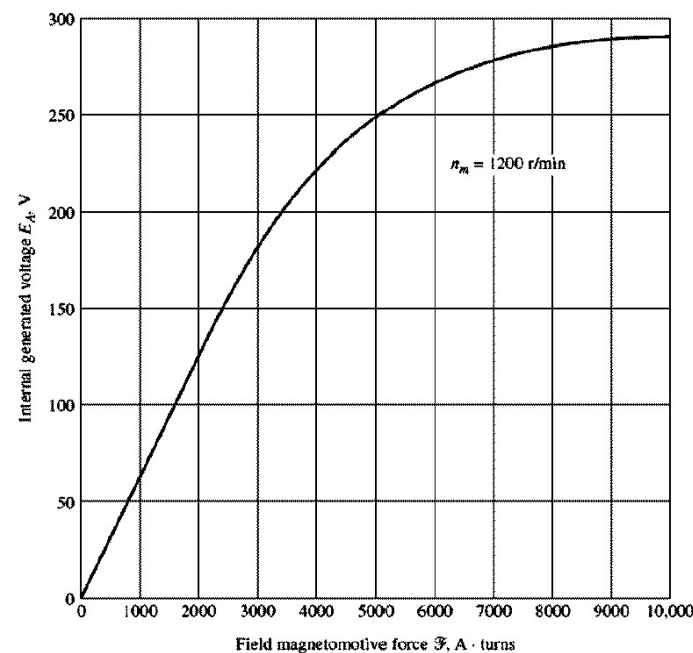
■ حل مثال ۴:

$$I_A = 50 \text{ A} \quad \Rightarrow \quad E_A = V_T - I_A(R_A + R_S) = 250 \text{ V} - (50\text{A})(0.08 \Omega) = 246 \text{ V}$$

$$I_A = I_F = 50 \text{ A} \quad \Rightarrow \quad \mathcal{F} = NI = (25 \text{ turns})(50 \text{ A}) = 1250 \text{ A} \cdot \text{turns}$$

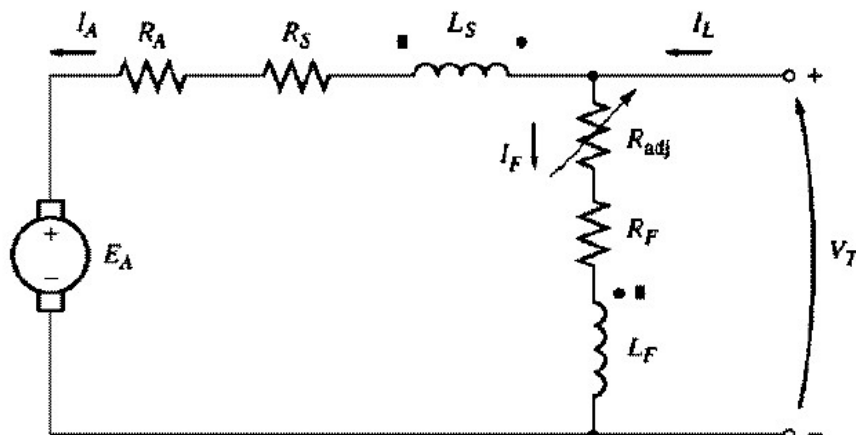
$$\mathcal{F} = 1250 \text{ A} \cdot \text{turns}, \quad \text{از منحنی مغناطیس کنندگی} \quad \Rightarrow \quad E_{A0} = 80 \text{ V}$$

$$\begin{aligned} n &= \frac{E_A}{E_{A0}} n_0 \\ &= \frac{246 \text{ V}}{80 \text{ V}} 1200 \text{ r/min} = 3690 \text{ r/min} \end{aligned}$$



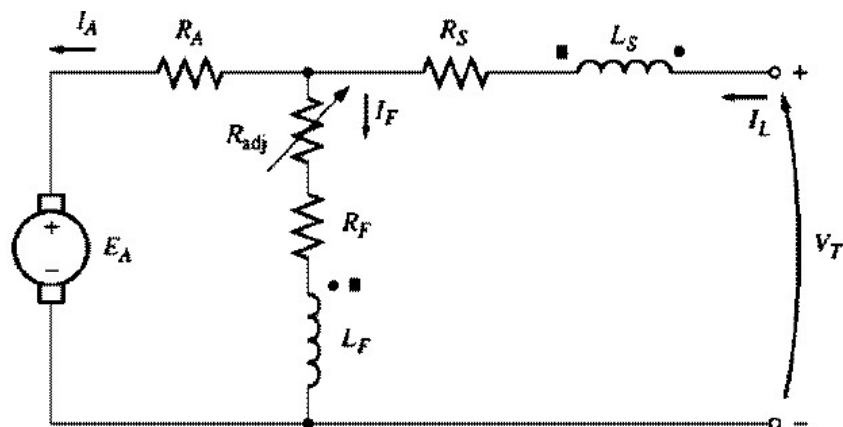
موتور DC کمپوند

The Compounded DC Motor



شنت بلند

- Cumulatively compounded
- Differentially compounded



شنت کوتاه

مدار معادل موتور ترکیبی



■ انواع موتور کمپوند

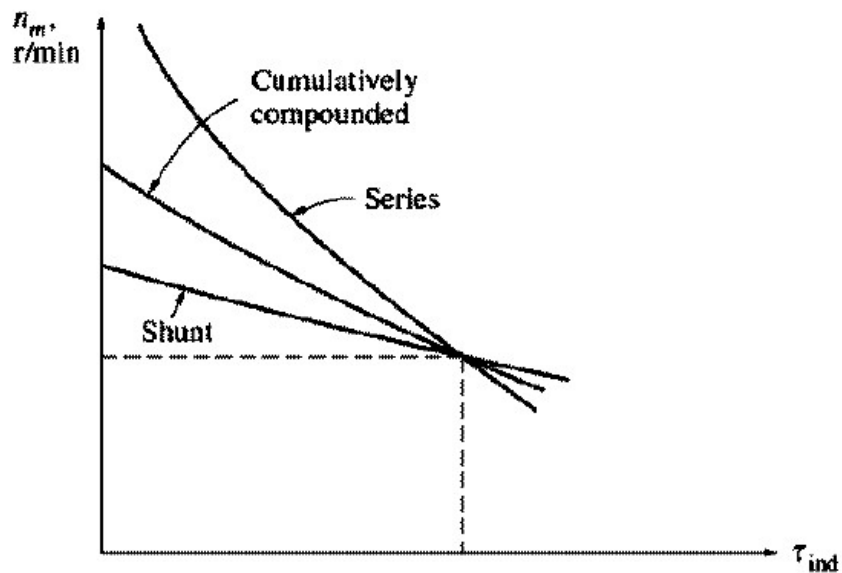
■ کمپوند اضافی (Cumulatively Compounded)

■ کمپوند نقصانی (Differentially Compounded)

$$\mathcal{F}_{\text{net}} = \mathcal{F}_F \pm \mathcal{F}_{SE} - \mathcal{F}_{AR}$$

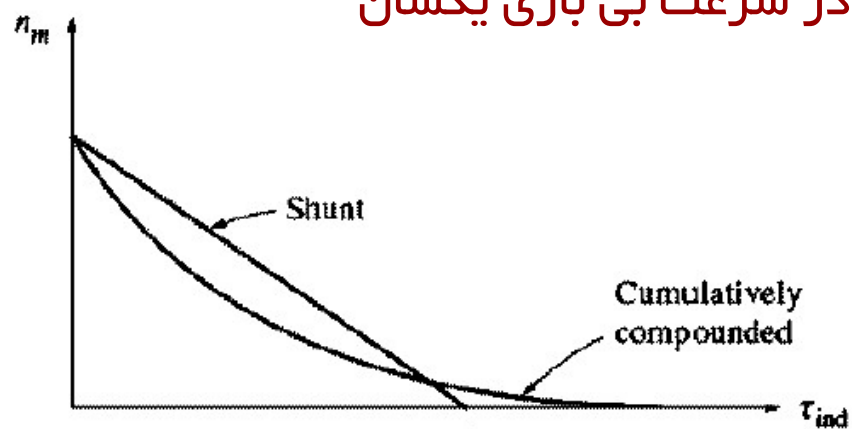
$$I_F^* = I_F \pm \frac{N_{SE}}{N_F} I_A - \frac{\mathcal{F}_{AR}}{N_F}$$

■ مشخصه ترمینال موتور کمپوند اضافی



مقایسه موتور کمپوند با
موتور شنت و سری
در بار کامل یکسان

مقایسه موتور کمپوند با
موتور شنت و سری
در سرعت بی باری یکسان



■ مشخصه ترمینال موتور کمپوند نقصانی





مثال ۵: شکل زیر موتور کمپوند ۲۵۰ ولت با سیم پیچی جبران ساز را نشان می دهد. تعداد

دور سیم پیچی میدان موازی ۱۰۰۰ دور و سری ۳ دور است. منحنی مغناطیس کنندگی مطابق

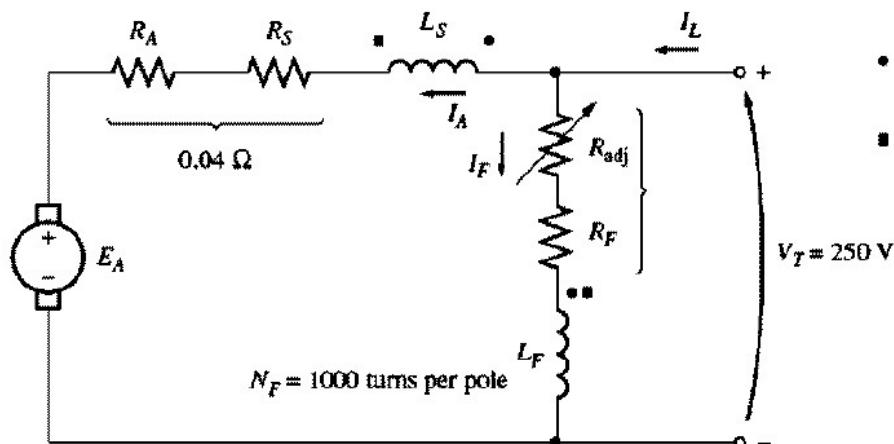
شکل داده شده است. در بی باری میدان طوری تنظیم شده که سرعت موتور ۱۲۰۰ دور بر

دقیقه باشد و از تلفات صرف نظر می شود. مطلوب است:

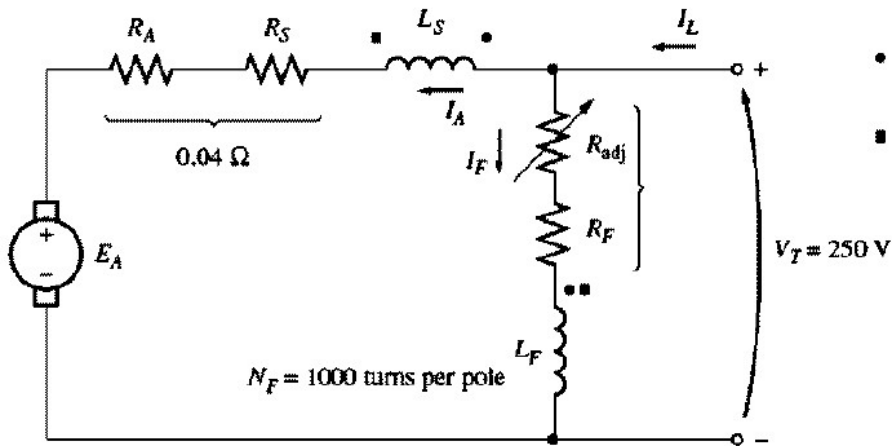
جریان میدان شنت در بی باری

سرعت موتور در کمپوند اضافی اگر $I_A = 200 \text{ A}$

سرعت موتور در کمپوند نقصانی اگر $I_A = 200 \text{ A}$



- Cumulatively compounded
- Differentially compounded

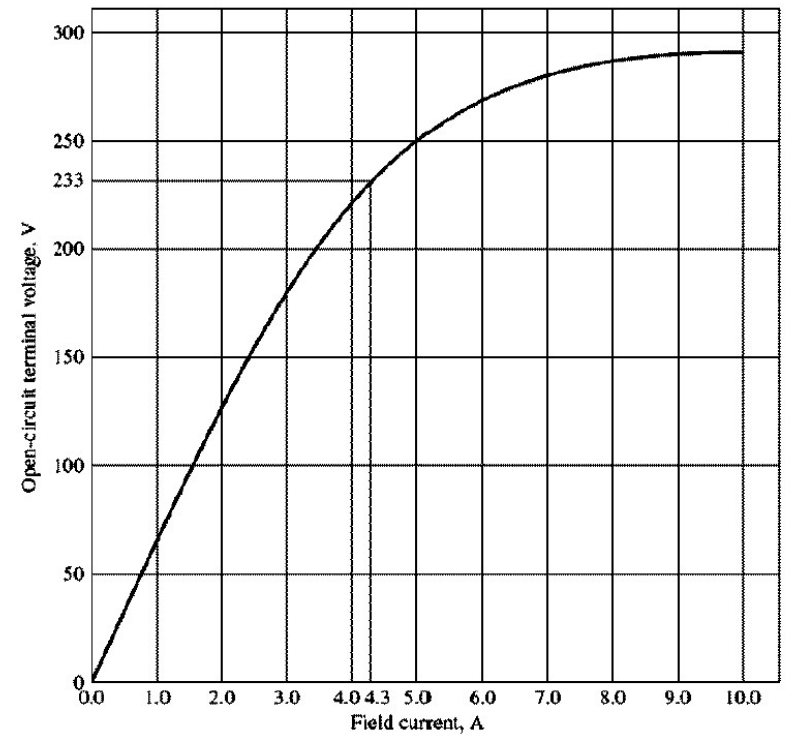


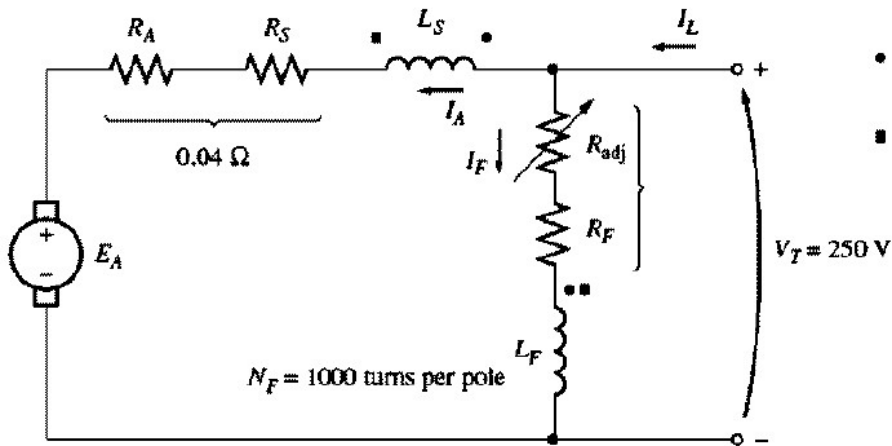
- Cumulatively compounded
- Differentially compounded

حل مثال ۵ - بخش اول:

در بی باری $I_A = 0 \Rightarrow E_A = V_T - I_A(R_A + R_S) \Rightarrow E_A = V_T = 250 \text{ V}$

$E_A = 250 \text{ V}$ از منحنی مغناطیس کنندگی $\Rightarrow I_F = 5 \text{ A}$





- Cumulatively compounded
- Differentially compounded

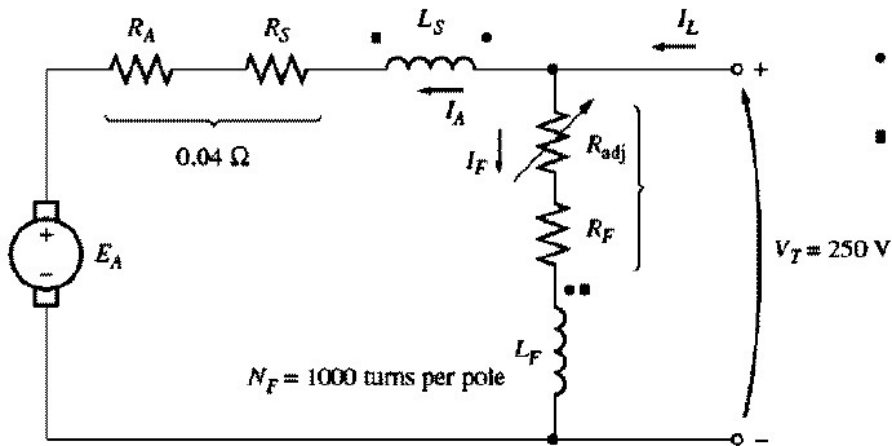
حل مثال ۵ - بخش دوم:

$$I_A = 200 \text{ A} \quad \Rightarrow \quad E_A = V_T - I_A(R_A + R_S) \\ = 250 \text{ V} - (200 \text{ A})(0.04 \Omega) = 242 \text{ V}$$

$$I_F^* = I_F + \frac{N_{SE}}{N_F} I_A - \frac{\mathcal{F}_{AR}}{N_F} \\ = 5 \text{ A} + \frac{3}{1000} 200 \text{ A} = 5.6 \text{ A} \quad \Rightarrow \quad E_{A0} = 262 \text{ V at speed } n_0 = 1200 \text{ r/min}$$

از منحنی مغناطیس کنندگی

$$n = \frac{E_A}{E_{A0}} n_0 \\ = \frac{242 \text{ V}}{262 \text{ V}} 1200 \text{ r/min} = 1108 \text{ r/min}$$



- Cumulatively compounded
- Differentially compounded

حل مثال ۵- بخش سوم:

$$I_A = 200 \text{ A}$$

$$I_F^* = I_F - \frac{N_{SE}}{N_F} I_A - \frac{\mathcal{F}_{AR}}{N_F}$$

$$= 5 \text{ A} - \frac{3}{1000} 200 \text{ A} = 4.4 \text{ A}$$

از منحنی مغناطیس کنندگی $\Rightarrow E_{A0} = 236 \text{ V}$ at speed $n_0 = 1200 \text{ r/min}$



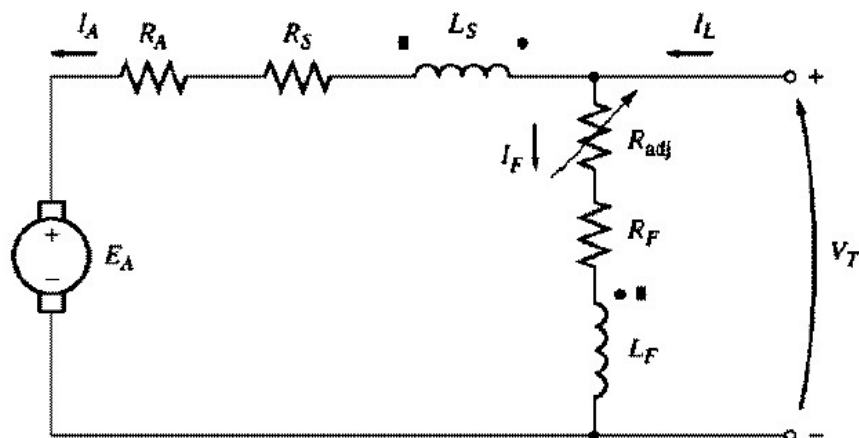
$$n = \frac{E_A}{E_{A0}} n_0$$

$$= \frac{242 \text{ V}}{236 \text{ V}} 1200 \text{ r/min} = 1230 \text{ r/min}$$

کنترل سرعت موتورهای کمیوند

تکنیک‌های کنترل سرعت:

- تغییر مقاومت میدان
- کنترل ولتاژ آرمیچر
- تغییر مقاومت سری مدار آرمیچر



پایان