

# فصل سوم

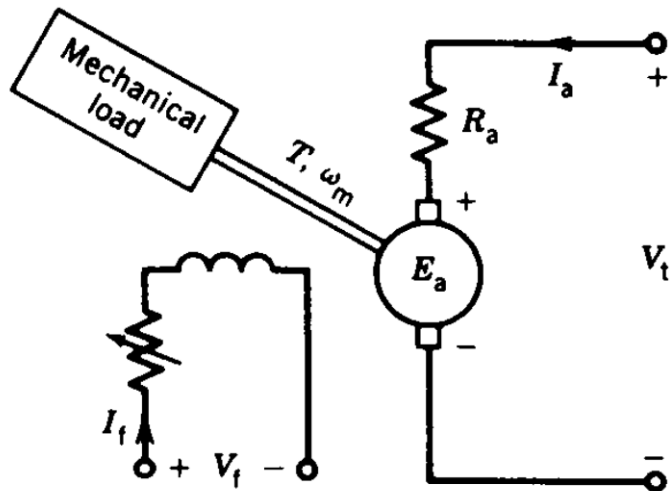
## ماشین های جریان مستقیم

## ۳-۴- موتورهای جریان مستقیم (DC)

### ۳-۴-۱- موتور DC شنت

#### مشخصه های گشتاور - سرعت

- ✓ در بسیاری از کاربردها، از موتورهای DC برای چرخش بارهای مکانیکی استفاده می شود.
- ✓ در برخی از کاربردها، هنگام تغییر بار، سرعت باید ثابت بماند و در برخی از بارها، سرعت باید در محدوده وسیعی تغییر کند.
- ✓ به همین دلیل مشخصه گشتاور - سرعت موتورهای DC از اهمیت ویژه ای برخوردار است.
- ✓ یک موتور DC تحریک جداگانه را در نظر بگیرید. برای این موتور داریم:



$$E_a = K_a \Phi \omega_m = V_t - I_a R_a \quad \Rightarrow \quad \omega_m = \frac{V_t - I_a R_a}{K_a \Phi}$$

$$T = K_a \Phi I_a$$

$$\omega_m = \frac{V_t}{K_a \Phi} - \frac{R_a}{(K_a \Phi)^2} T$$

## ۳-۴- موتورهای جریان مستقیم (DC)

### ۳-۴-۱- موتور DC شنت

#### مشخصه های گشتاور - سرعت

$$\omega_m = \frac{V_t}{K_a \Phi} - \frac{R_a}{(K_a \Phi)^2} T$$

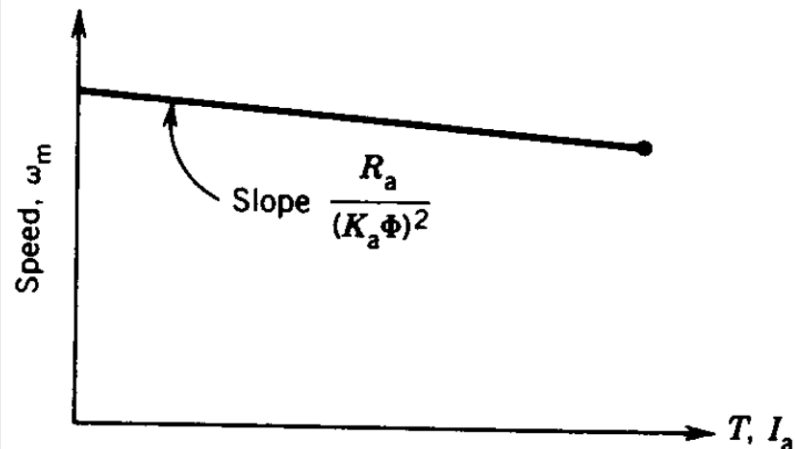
✓ در صورتی که ولتاژ پایانه و شار ثابت بماند، مشخصه گشتاور - سرعت موتور بصورت زیر خواهد بود:

✓ همانگونه که از شکل برمی آید، تغییر سرعت در اثر افزایش بار در این موتورها ناچیز است (تنظیم سرعت خوبی در این موتورها برقرار است)

✓ در ماشین های واقعی بخاطر عکس العمل آرمیچر ناشی از گشتاور و در نتیجه جریان  $I_a$ ، شار ثابت نمانده و کاهش می یابد.

✓ **نتیجه:** عکس العمل آرمیچر، تنظیم سرعت را در موتورهای DC تحریک جداگانه بهبود می بخشد.

✓ پارامترهای موثر در کنترل سرعت موتورهای DC تحریک جداگانه:



۱. ولتاژ آرمیچر ( $V_t$ ): با افزایش  $V_t$  سرعت زیاد می شود.

۲. شار مدار تحریک یا میدان ( $\phi$  یا  $F$ ): با افزایش  $F$ ، سرعت کاهش می یابد.

۳. مقاومت آرمیچر ( $R_a$ ): با افزایش  $R_a$  سرعت کم می شود.

## ۳-۴- موتورهای جریان مستقیم (DC)

### ۳-۴-۱- موتور DC شنت

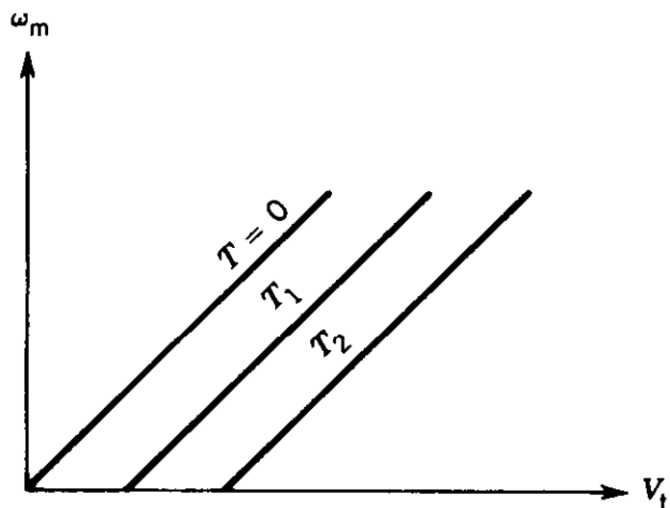
مشخصه های گشتاور - سرعت ۱- کنترل ولتاژ آرمیچر

✓ در این روش از کنترل سرعت، مقاومت آرمیچر و شار میدان ثابت نگه داشته می شود. در نتیجه:

$$\omega_m = \frac{V_t}{K_a \Phi} - \frac{R_a}{(K_a \Phi)^2} T \quad \Rightarrow \quad \omega_m = K_1 V_t - K_2 T$$

$$K_1 = 1/K_a \Phi \quad K_2 = R_a / (K_a \Phi)^2$$

✓ در بارهای با گشتاور ثابت (مانند آسانسورها یا بالابرها)، سرعت با ولتاژ ( $V_t$ ) رابطه خطی دارد (مطابق شکل زیر).



## ۳-۴- موتورهای جریان مستقیم (DC)

### ۳-۴-۱- موتور DC شنت

#### مشخصه های گشتاور - سرعت ۱- کنترل ولتاژ آرمیچر

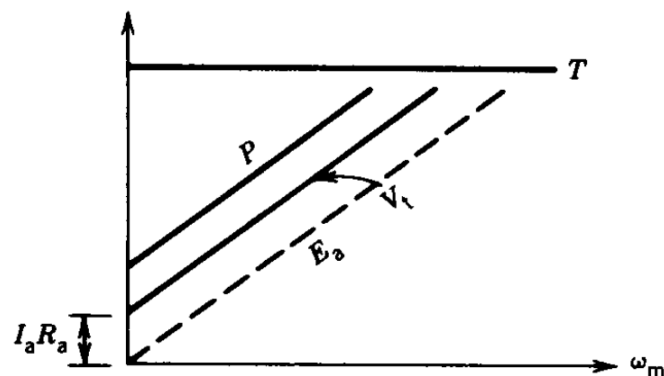
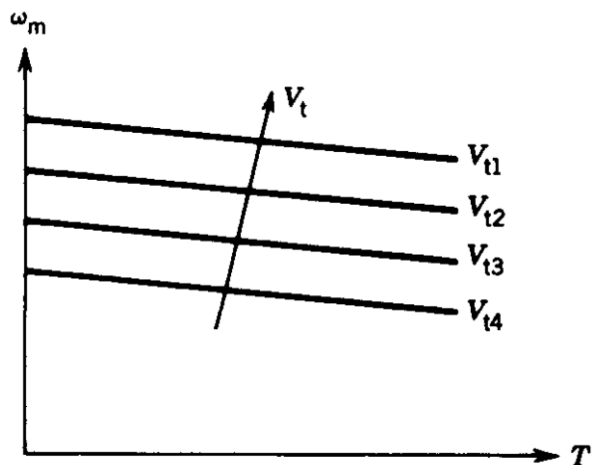
- ✓ نتیجه: به ازای مقادیر خاص ولتاژ  $V_t$ ، تغییرات سرعت بر حسب گشتاور مطابق شکل زیر خواهد بود.
- ✓ همانگونه که از این شکل بر می آید، سرعت را می توان با تغییر  $V_t$  در بارهای مختلف تنظیم نمود.
- ✓ در کاربردهای عملی، هرگاه تغییر سرعت بوسیله  $V_t$  صورت پذیرد، جریان آرمیچر ثابت نگه داشته می شود (یعنی بار ثابت، یه همان گشتاور ثابت). در نتیجه:

$$E_a = K_a \Phi \omega_m = V_t - I_a R_a \Rightarrow E_a \propto V_t \propto \omega_m$$

$$P_{in} = V_t I_a \Rightarrow P_{in} \propto \omega_m$$

$$T = K_a \Phi I_a \Rightarrow T \text{ ثابت}$$

$$\omega_m = K_1 V_t - K_2 T$$



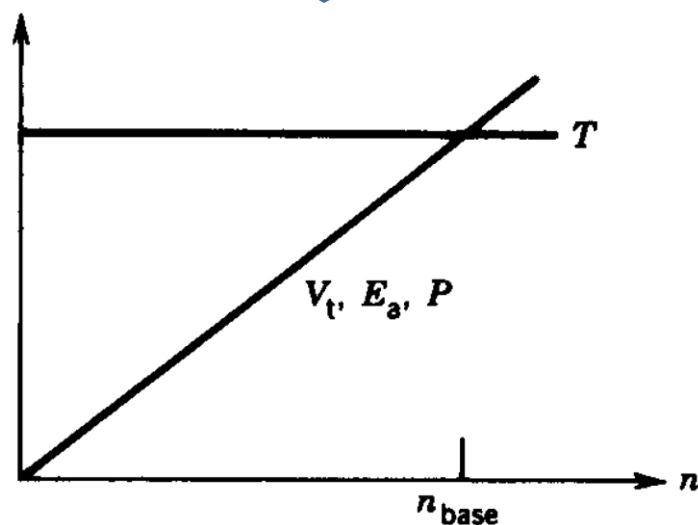
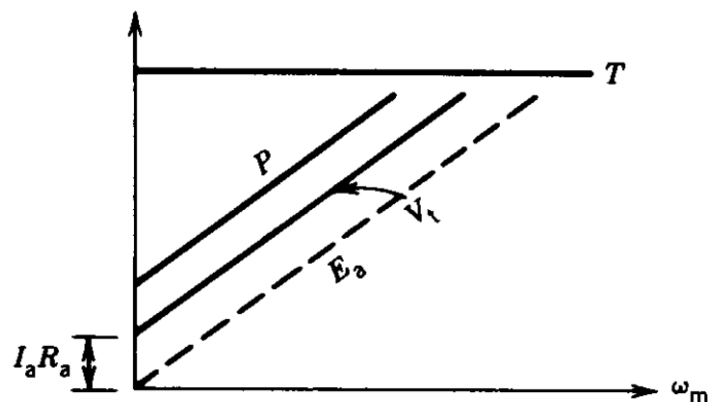
## ۳-۴- موتورهای جریان مستقیم (DC)

### ۳-۴-۱- موتور DC شنت

مشخصه های گشتاور - سرعت ۱- کنترل ولتاژ آرمیچر

✓ اگر از مقاومت  $R_a$  صرف نظر شود،  $V_t$ ،  $E_a$  و  $P_{in}$  در سرعت صفر، معادل صفر بوده و نسبت به سرعت بصورت خطی تغییر می کنند.

✓ کنترل ولتاژ آرمیچر، سرعت را به آرامی کنترل و تغییر می دهد و می توان سرعت را از صفر تا سرعت نامی تغییر داد.

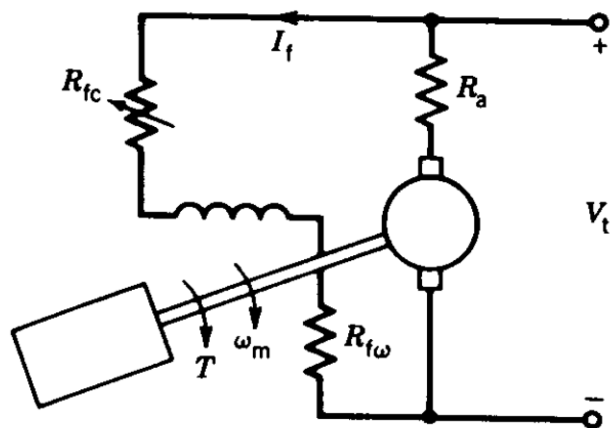


## ۳-۴- موتورهای جریان مستقیم (DC)

### ۳-۴-۱- موتور DC شنت

#### مشخصه های گشتاور - سرعت ۲- کنترل میدان

✓ یک موتور DC شنت مطابق شکل زیر در نظر بگیرید (البته کلیه مطالب این بحث برای موتور تحریک جداگانه نیز صادق است):



✓ در این روش،  $R_a$  و  $V_t$  ثابت هستند و مقاومت رئوستای مدار تحریک  $R_{fc}$  تغییر می کند.

✓ با تغییر  $R_{fc}$ ، جریان  $I_f$  تغییر کرده و در نتیجه شار میدان قابل کنترل است.

✓ با فرض خطی بودن مدار مغناطیسی:

$$K_a \Phi = K_f I_f$$

✓ در نتیجه:

$$\omega_m = \frac{V_t}{K_a \Phi} - \frac{R_a}{(K_a \Phi)^2} T \quad \Rightarrow \quad \omega_m = \frac{V_t}{K_f I_f} - \frac{R_a}{(K_f I_f)^2} T$$

## ۳-۴- موتورهای جریان مستقیم (DC)

### ۳-۴-۱- موتور DC شنت

مشخصه های گشتاور - سرعت ۲- کنترل میدان

✓ تغییرات سرعت نسبت به جریان تحریک مطابق شکل زیر است:

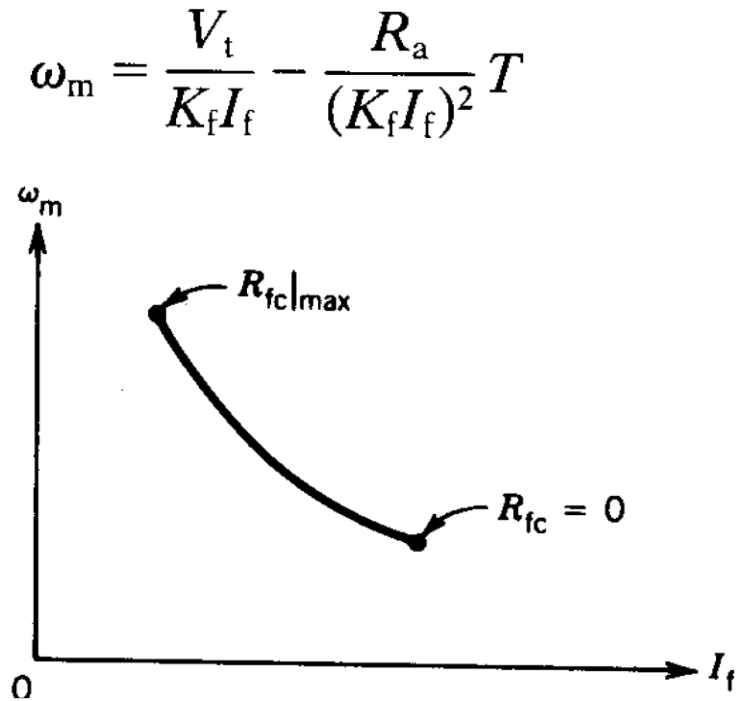
✓ دقت شود اگر در مدار تحریک پارگی رخ دهد ( $I_f=0$ ) در این صورت سرعت بطرز خطرناکی بالا می رود.

✓ به ازای مقادیر خاصی از  $I_f$  داریم:

$$\omega_m = K_3 - K_4 T$$

$$K_4 = \frac{R_a}{(K_f I_f)^2}$$

$$K_3 = \frac{V_t}{K_f I_f} \text{ represents no-load speed}$$



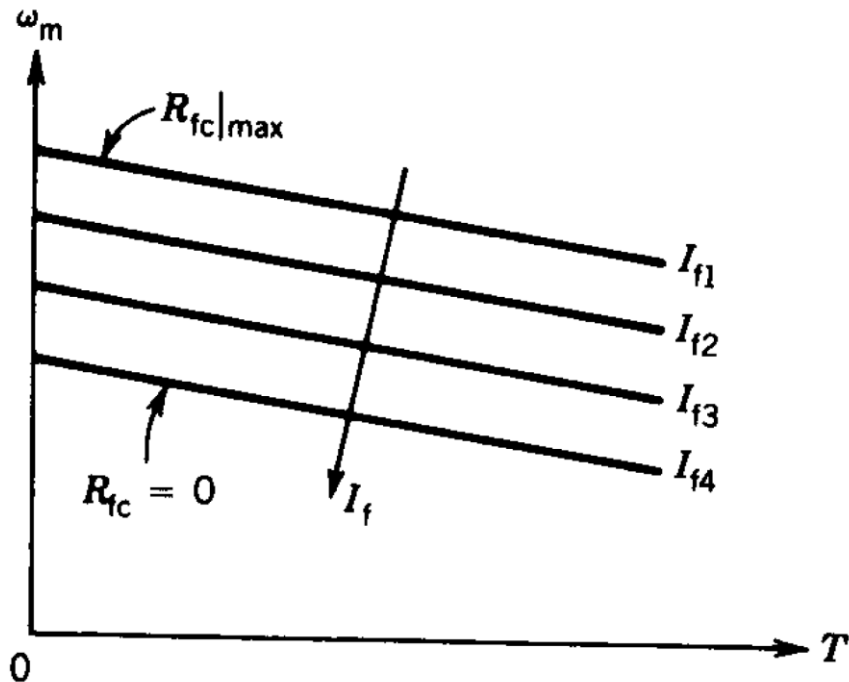


## ۳-۴- موتورهای جریان مستقیم (DC)

### ۳-۴-۱- موتور DC شنت

#### مشخصه های گشتاور - سرعت ۲- کنترل میدان

$$\omega_m = K_3 - K_4 T$$



✓ در شکل زیر، تغییرات سرعت بر حسب گشتاور بار به ازای مقادیر مختلف  $I_f$  نشان داده شده است:

✓ همانگونه که از این شکل بر می آید، می توان با تنظیم جریان مدار تحریک، سرعت را کنترل نمود.

✓ بنابراین همانند سیستم کنترل ولتاژ آرمیچر، توسط سیستم کنترل میدان نیز می توان به سرعت های مختلف و قابل تنظیم دست یافت.

## ۳-۴- موتورهای جریان مستقیم (DC)

### ۳-۴-۱- موتور DC شنت

مشخصه های گشتاور - سرعت ۲- کنترل میدان

✓ باید گفت:

❖ کنترل سرعت از سرعت صفر تا سرعت مبنا عمدتاً توسط سیستم کنترل ولتاژ آرمیچر ( $V_t$ ) انجام می پذیرد.

❖ کنترل سرعت پس از سرعت مبنا، عمدتاً با کاهش جریان تحریک تحقق می یابد و این امر را تضعیف میدان گویند.

✓ توجه داریم که در سرعت مبنا، ولتاژ پایانه آرمیچر همان ولتاژ اسمی است.

✓ همچنین برای جلوگیری از افزایش جریان آرمیچر از مقدار نامی (بخاطر مسائل حرارتی)، کنترل سرعت پس از سرعت مبنا، به محدوده توان ثابت

$$P = V_t I_a, \text{ constant}$$

محدود می گردد. این نوع عملکرد را بهره برداری در شرایط توان ثابت می نامند. لذا:

$$\approx E_a I_a$$

$$T \omega_m = E_a I_a \Rightarrow T = \frac{E_a I_a}{\omega_m} \approx \frac{\text{constant}}{\omega_m}$$

✓ لذا در ناحیه تضعیف میدان، گشتاور با معکوس سرعت متناسب است.

## ۳-۴- موتورهای جریان مستقیم (DC)

### ۳-۴-۱- موتور DC شنت

#### مشخصه های گشتاور - سرعت ۲- کنترل میدان

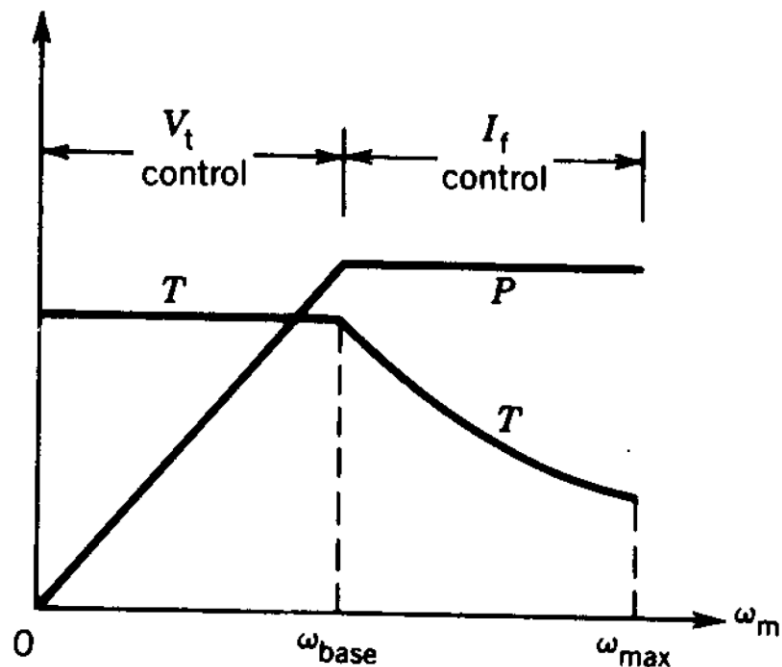
✓ شکل زیر، دو مرحله از کنترل سرعت را نشان می دهد:

۱. ناحیه عملیاتی گشتاور ثابت که توسط کنترل  $V_t$  تحقق می یابد.

۲. ناحیه عملیاتی توان ثابت که توسط کنترل جریان تحریک تحقق می یابد.

✓ نکته: سیستم کنترل میدان، نسبتاً ارزان است. اما بدلیل اندوکتانس زیاد مدار تحریک،

تغییر جریان مدار تحریک به کندی انجام می پذیرد.

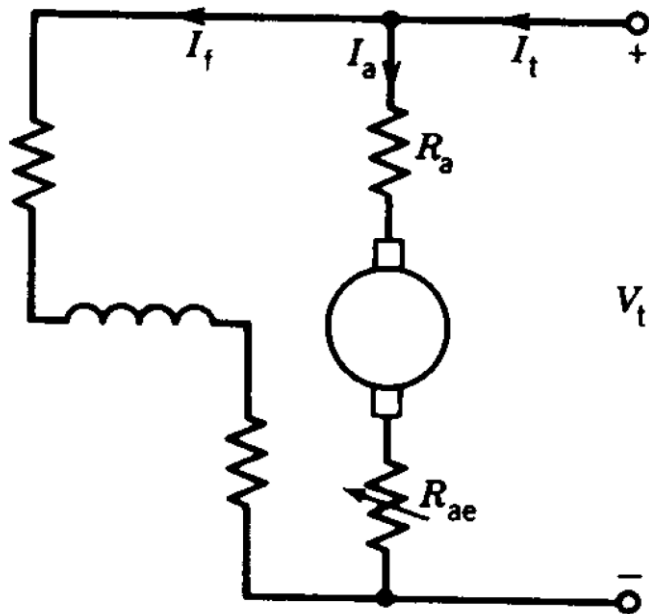


## ۳-۴- موتورهای جریان مستقیم (DC)

### ۳-۴-۱- موتور DC شنت

مشخصه های گشتاور - سرعت  
۳- کنترل مقاومت آرمیچر

✓ یک موتور DC شنت مطابق شکل زیر در نظر بگیرید (البته کلیه مطالب این بحث برای موتور تحریک جداگانه نیز صادق است):



✓ در این روش،  $V_t$  و  $I_f$  (یا  $F$ ) ثابت هستند و کنترل سرعت توسط تغییر مقاومت آرمیچر صورت می پذیرد.  
✓  $R_{ae}$  رنوستایی است که برای تغییر  $R_a$  در مدار آرمیچر قرار داده می شود.

✓ قبلا دیدم:

$$\omega_m = \frac{V_t}{K_a \Phi} - \frac{R_a}{(K_a \Phi)^2} T \quad \Rightarrow \quad \omega_m = \frac{V_t}{K_a \Phi} - \frac{R_a + R_{ae}}{(K_a \Phi)^2} T$$

$$\omega_m = K_5 - K_6 T$$

✓ در صورتی که  $V_t$  و  $F$  ثابت باشند، داریم:

$$K_6 = \frac{R_a + R_{ae}}{(K_a \Phi)^2}$$

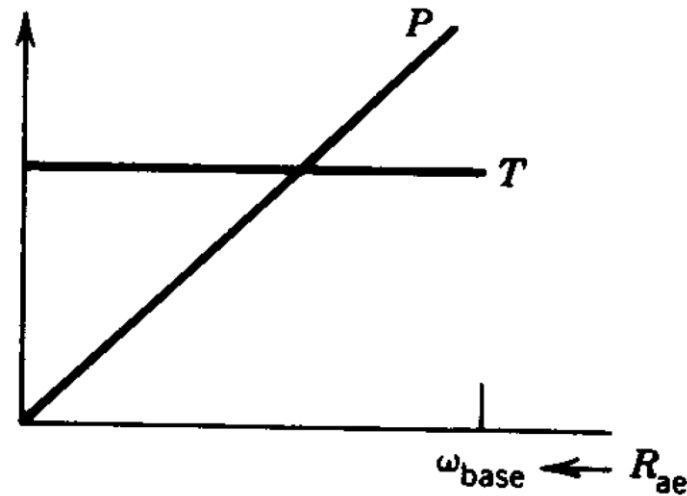
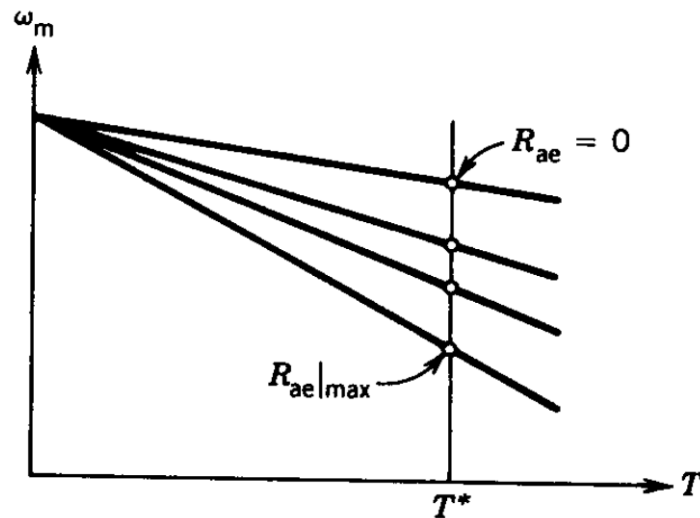
$$K_5 = \frac{V_t}{K_a \Phi} \text{ represents no-load speed}$$

## ۳-۴- موتورهای جریان مستقیم (DC)

### ۳-۴-۱- موتور DC شنت

#### مشخصه های گشتاور - سرعت ۳- کنترل مقاومت آرمیچر

- ✓ شکل زیر، تغییرات سرعت بر حسب گشتاور بار را به ازای مقادیر خاص مقاومت آرمیچر نشان می دهد:
- ✓ این شکل نشان می دهد که در یک گشتاور ثابت (و در نتیجه،  $I_a$  ثابت) و دلخواه، می توان سرعت موتور را با تغییر مقاومت آرمیچر تنظیم کرد.
- ✓ بنابراین تغییرات توان ورودی بر حسب تغییرات سرعت در یک بار (گشتاور) ثابت بصورت شکل زیر خواهد شد:
- ✓ این سیستم کنترل نسبتا ساده است ولی بخاطر تلفات در رئوستا ( $R_{ae}$ ) بازده آن کم است. از آنجایی که از  $R_{ae}$  جریان آرمیچر می گذرد، لذا این رئوستا از رئوستای  $R_{fc}$  گرانتر است.



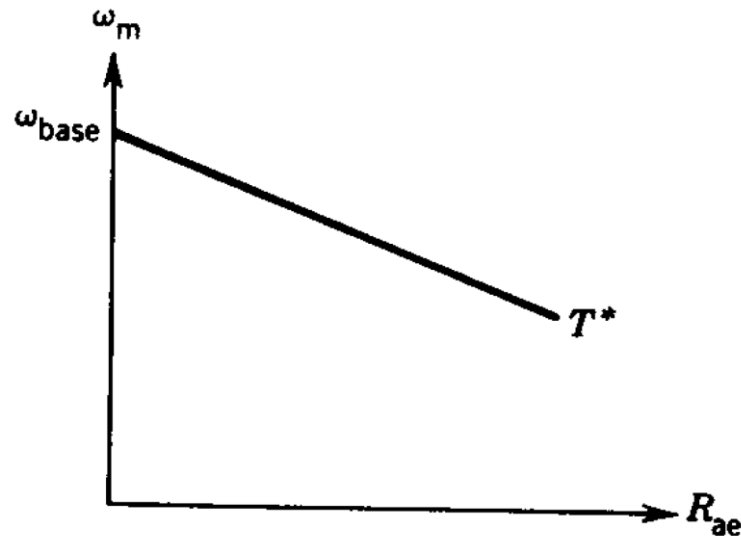
## ۳-۴- موتورهای جریان مستقیم (DC)

### ۳-۴-۱- موتور DC شنت

مشخصه های گشتاور - سرعت      ۳- کنترل مقاومت آرمیچر

✓ شکل زیر، تغییرات سرعت بر حسب مقاومت آرمیچر را به ازای یک گشتاور بار ثابت نشان می دهد:

$$\omega_m = \frac{V_t}{K_a \Phi} - \frac{R_a + R_{ae}}{(K_a \Phi)^2} T$$



## ۳-۴- موتورهای جریان مستقیم (DC)

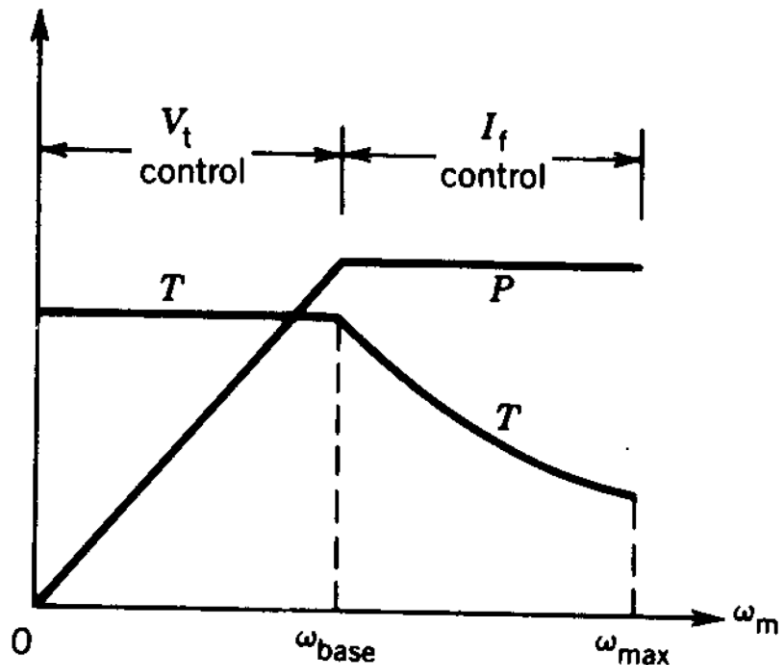
### ۳-۴-۱- موتور DC شنت

**مثال:** سیستمی با سرعت متغیر، یک موتور DC شنت را بکار می گیرد که از یک منبع با ولتاژ متغیر تغذیه می شود. مشخصه های توان و گشتاور این سیستم مطابق شکل زیر است.

سرعت از صفر تا 1500 rpm (سرعت مبنا) و ولتاژ از صفر تا 500 V متغیر است و جریان تحریک ثابت است. از تمام تلفات صرف نظر کنید.

الف) جریان آرمیچر موتور را در صورتی تعیین کنید که گشتاور در 300 Nm ثابت باقی بماند. سرعت را برابر با سرعت مبنا بگیرید.

ب) سرعت در ماورای سرعت مبنا، با تضعیف میدان و ثابت بودن ولتاژ آرمیچر در 500 V حاصل می شود. در سرعت 3000 rpm و با فرض برابر بودن جریان آرمیچر با مقدار حالت الف، مقدار گشتاور در دسترس را تعیین کنید.



## ۳-۴- موتورهای جریان مستقیم (DC)

### ۳-۴-۱- موتور DC شنت

(پاسخ: الف)

$$N_b = 1500 \text{ rpm}, \quad V_t = 500 \text{ V} \approx E_a$$

$$I_a = \frac{T}{K_a \Phi} = \frac{300}{3.1831} = 94.2477 \text{ A}$$



$$K_a \Phi = \frac{500}{1500 \times 2\pi/60} = 3.1831$$



$$n = 3000 \text{ rpm}, \quad V_t = E_a = 500 \text{ V}$$

$$T = K_a \Phi I_a = K_a \Phi \times 94.2477 = 1.5916 \times 94.2477 = 150 \text{ N} \cdot \text{m}$$



$$K_a \Phi = \frac{500}{3000 \times 2\pi/60} = 1.5916$$

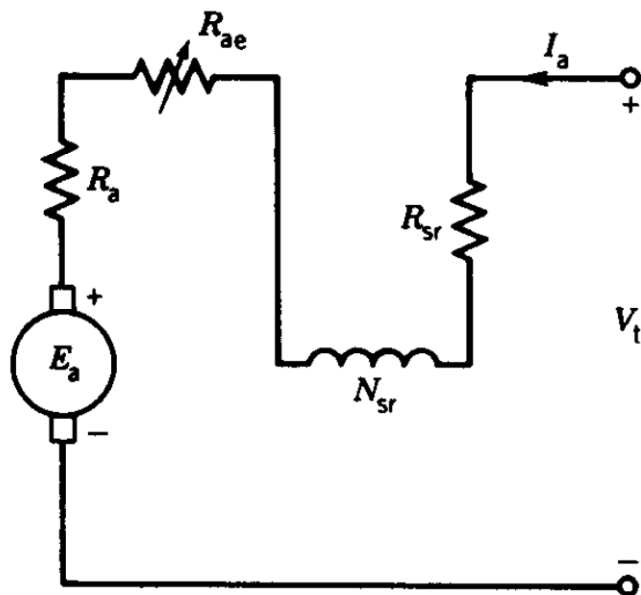


(ب)



## ۳-۴- موتورهای جریان مستقیم (DC)

### ۳-۴-۲- موتور DC سری



✓ مدار معادل این موتور در حالت ماندگار مطابق شکل روبرو می باشد.

✓ رئوستای  $R_{ae}$  با آرمیچر سری شده و از آن برای کنترل موتور سری استفاده می شود.

✓ توجه داریم که ثر موتور DC سری، جریان تحریک سری با جریان آرمیچر برابر است.

✓ با فرض اینکسف سیستم مغناطیسی را خطی در نظر بگیریم، آنگاه:

$$K_a \Phi = K_{sr} I_a$$

$$E_a = K_{sr} I_a \omega_m$$

$$T = K_{sr} I_a^2$$

✓ در نتیجه:

موتور DC سری، یک گشتاور یکسویه برای جریان های DC و AC پدید می آورد.

## ۳-۴- موتورهای جریان مستقیم (DC)

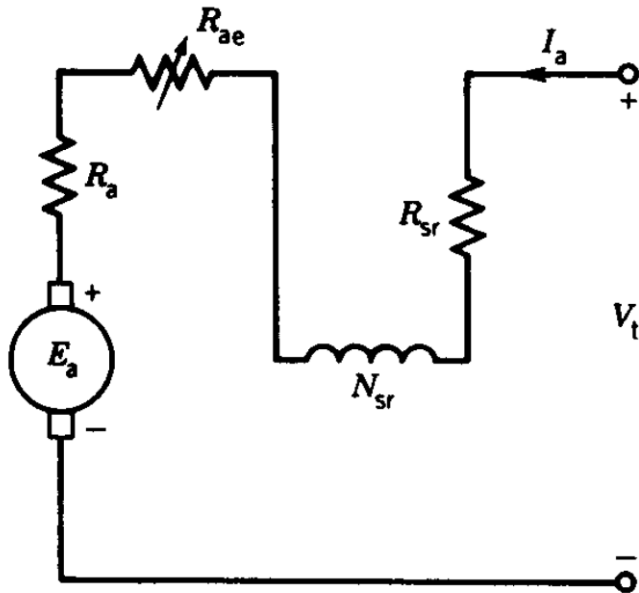
### ۳-۴-۲- موتور DC سری

✓ با نوشتن KVL در مدار موتور سری در حالت مانا:

$$E_a = V_t - I_a(R_a + R_{ae} + R_{sr})$$

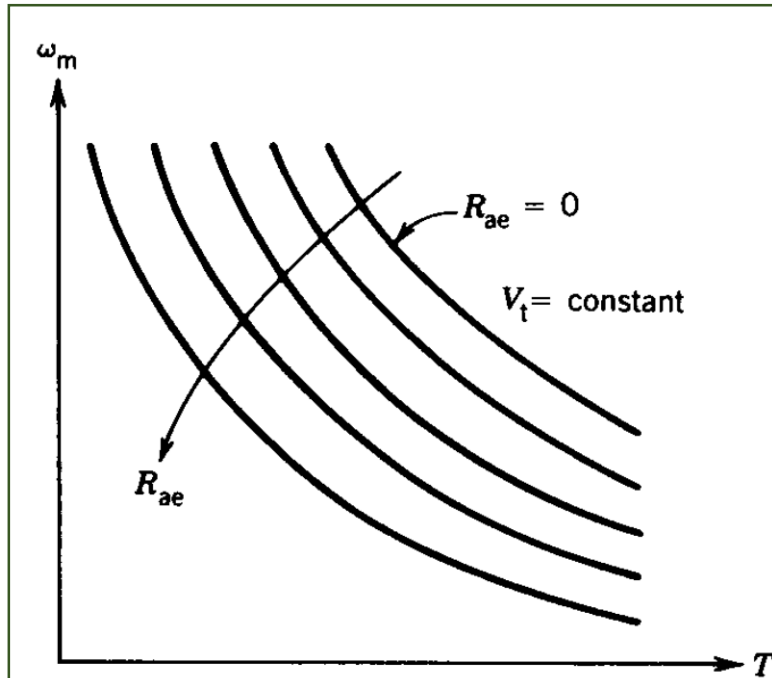
$$E_a = K_{sr} I_a \omega_m \Rightarrow \omega_m = \frac{V_t}{K_{sr} I_a} - \frac{R_a + R_{sr} + R_{ae}}{K_{sr}}$$

$$T = K_{sr} I_a^2 \Rightarrow \omega_m = \frac{V_t}{\sqrt{K_{sr}} \sqrt{T}} - \frac{R_a + R_{sr} + R_{ae}}{K_{sr}}$$



## ۳-۴- موتورهای جریان مستقیم (DC)

### ۳-۴-۲- موتور DC سری



✓ تغییرات سرعت بر حسب گشتاور به ازای مقادیر خاص  $R_{ae}$  در شکل زیر نشان داده شده است:

✓ همانگونه که مشخص است، تحت  $R_{ae}$  خاص، سرعت تقریباً با معکوس جذر گشتاور متناسب است.

در نتیجه:

❖ گشتاور زیاد در سرعت کم و گشتاور کم در سرعت زیاد بدست می آید.

❖ هرگاه به گشتاور راه اندازه زیاد نیاز داشتیم (ترن برقی)، می توان از موتور DC سری

بهره جست.

❖ موتور DC سری را نباید در حالت بدون بار (گشتاور صفر) مورد استفاده قرار داد (زیرا سرعت آن بشدت افزایش می یابد).

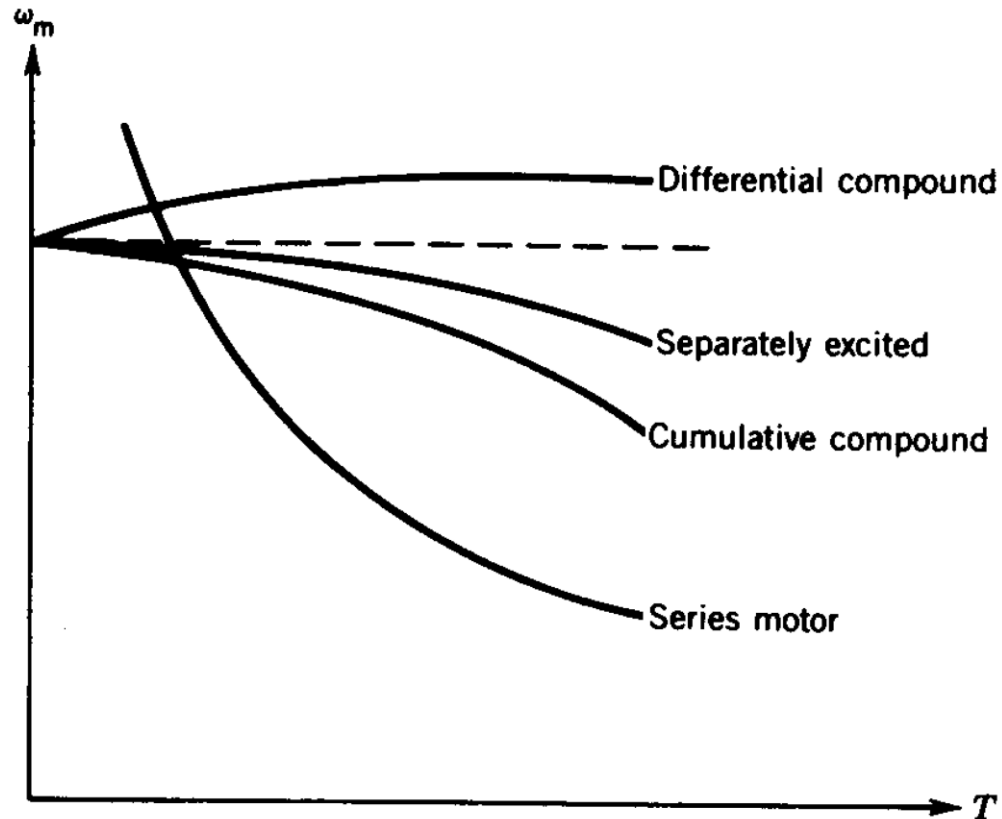
## ۳-۴- موتورهای جریان مستقیم (DC)

### ۳-۴-۲- موتور DC سری

✓ شکل زیر، مشخصه گشتاور سرعت موتورهای DC مختلف را نشان می دهد:

✓ همانگونه که مشخص است، محدوده تغییرات سرعت در موتور DC سری

از بقیه بیشتر است.



## ۳-۴- موتورهای جریان مستقیم (DC)

### ۳-۴-۲- موتور DC سری

**مثال:** محور یک موتور DC سری 220 V، 7 hp (هر اسب بخار معادل ۷۴۴ وات است)، یک پنکه را می چرخاند.  $R_a = 0.6 \Omega$  و  $R_{sr} = 0.4 \Omega$ .

این موتور هنگامی که به ولتاژ 220 V وصل است، تحت سرعت 300 rpm می چرخد و جریان 25 A از شبکه می کشد (در این حالت،  $R_{ae} = 0$  است).

گشتاور موردنیاز پنکه با مجذور سرعت متناسب است. از عکس العمل آرمیچر و تلفات چرخشی ( $P_{rot}$ ) صرفنظر کنید. سیستم مغناطیسی را خطی فرض کنید.

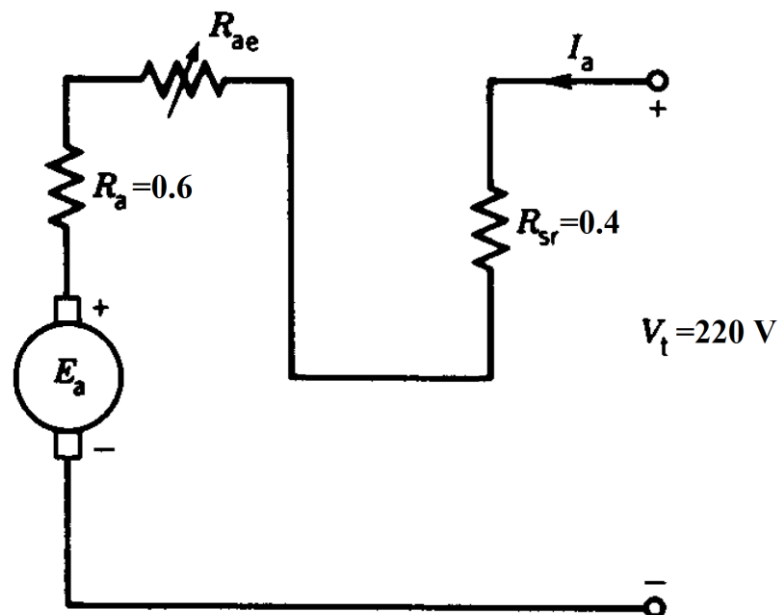
الف) توان تحویلی به پنکه و گشتاور حاصله توسط موتور را بیابید.

ب) می خواهیم سرعت به 200 rpm کاهش یابد و رثوستا را در مدار آرمیچر وارد می کنیم. مقاومت این رثوستا را تعیین کرده و در این شرایط، توان تحویلی به پنکه را بدست آورید.

## ۳-۴- موتورهای جریان مستقیم (DC)

### ۳-۴-۲- موتور DC سری

پاسخ: الف) مدار معادل این موتور مطابق شکل زیر می باشد:



$$P = E_a I_a = 195 \times 25 = 4880 \text{ W}$$

$$E_a = V_t - I_a(R_a + R_{sr} + R_{ae})$$

$$= 220 - 25(0.6 + 0.4 + 0) = 195 \text{ V}$$

$$T = \frac{E_a I_a}{\omega_m} = \frac{4880}{300 \times 2\pi/60} = 155.2 \text{ N} \cdot \text{m}$$

## ۳-۴- موتورهای جریان مستقیم (DC)

### ۳-۴-۲- موتور DC سری

پاسخ: ب) چون گشتاور با مجذور سرعت متناسب است، لذا:

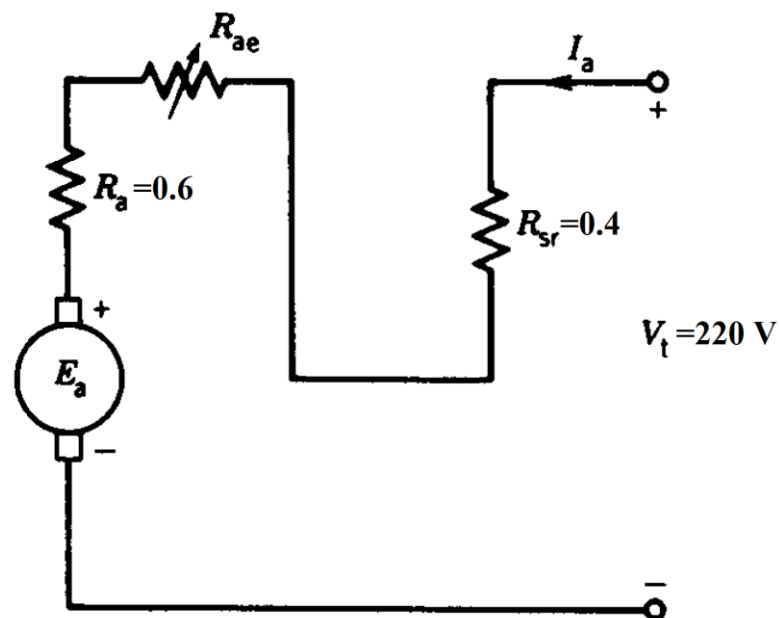
$$T \propto \omega^2 \Rightarrow \frac{T_{\omega=200}}{T_{\omega=300}} = \left(\frac{200}{300}\right)^2$$

$$T_{\omega=200} = T_{\omega=300} \times \left(\frac{200}{300}\right)^2 = 155.2 \times \frac{4}{9} = 68.98 \text{ Nm}$$

چون سیستم مغناطیسی خطی است، لذا:

$$T \propto I_a^2 \Rightarrow \frac{T_{\omega=200}}{T_{\omega=300}} = \left(\frac{I_a^{\omega=200}}{I_a^{\omega=300}}\right)^2 \Rightarrow \frac{68.98}{155.2} = \left(\frac{I_a^{\omega=200}}{25}\right)^2 \Rightarrow I_a^{\omega=200} = 16.667 \text{ A}$$

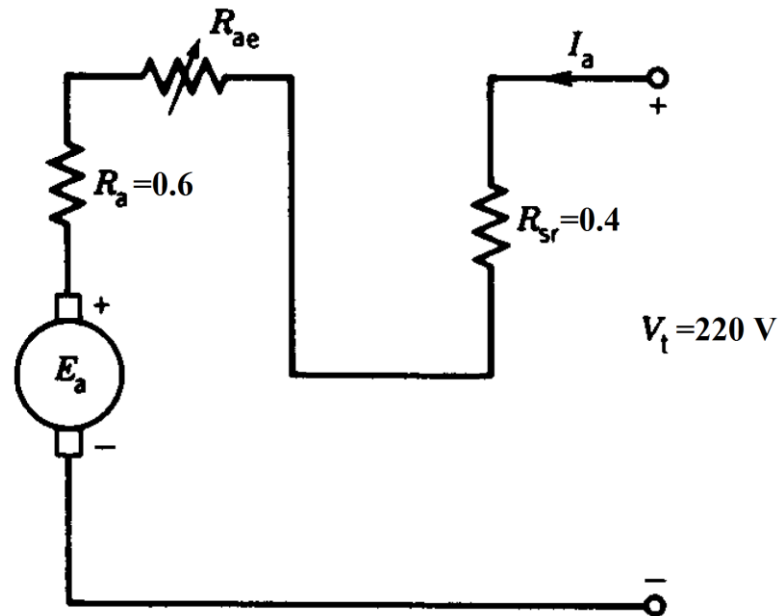
$$E_a \propto I_a \cdot \omega \Rightarrow \frac{E_a^{\omega=200}}{E_a^{\omega=300}} = \frac{I_a^{\omega=200} \times 200}{I_a^{\omega=300} \times 300} \Rightarrow \frac{E_a^{\omega=200}}{195} = \frac{16.667 \times 200}{25 \times 300} \Rightarrow E_a^{\omega=200} = 86.6 \text{ V}$$



### ۳-۴- موتورهای جریان مستقیم (DC)

#### ۳-۴-۲- موتور DC سری

پاسخ: با نوشتن KVL در مدار موتور سری در حالت مانا:



$$E_a = V_t - I_a(R_a + R_{ae} + R_{sr})$$

$$86.6 = 220 - 16.667(0.6 + 0.4 + R_{ae}) \Rightarrow R_{ae} = 7 \Omega$$

$$P = T\omega_m = 68.98 \times \frac{200}{60} \times 2\pi = 1444 \text{ W} \rightarrow 1.94 \text{ hp}$$

Or: 
$$P = E_a I_a = 86.57 \times 16.68$$
  

$$= 1444 \text{ W} \rightarrow 1.94 \text{ hp} \quad \blacksquare$$



## ۳-۴- موتورهای جریان مستقیم (DC)

### ۳-۴-۳- راه انداز

✓ اگر موتور DC مستقیماً به شبکه DC وصل شود، جریان راه انداز به طرز خطرناکی بالا می رود. برای توضیح مطلب شکل زیر را در نظر بگیرید:

✓ با توجه به شکل زیر داریم:

$$I_a = \frac{V_t - E_a}{R_a}$$

✓ میدانیم  $E_a$  با سرعت موتور متناسب است. لذا در لحظه راه اندازی (که سرعت برابر با صفر است)،

$E_a$  نیز برابر با صفر است. در نتیجه:

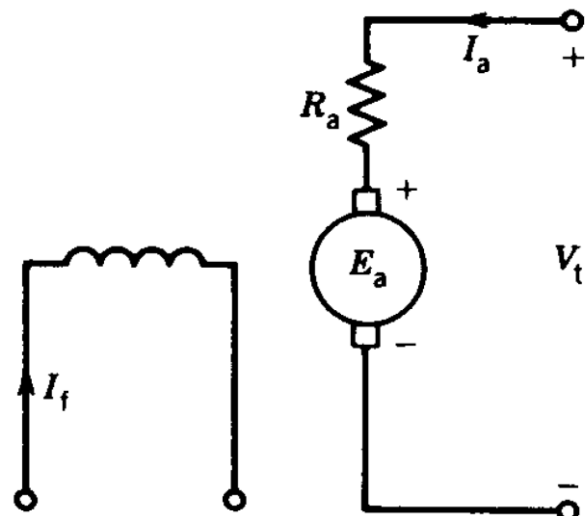
$$I_{a|start} = \frac{V_t}{R_a}$$

✓ از آنجایی که مقدار  $R_a$  کوچک است، پس جریان راه انداز زیاد خواهد بود.

✓ روش های کاهش جریان راه اندازی:

۱. راه اندازی با ولتاژ پایانه کم: در این روش لازم است که از یک منبع تغذیه DC با ولتاژ متغیر استفاده شود.

۲. راه اندازی با افزودن رئوسا در لحظه راه اندازی



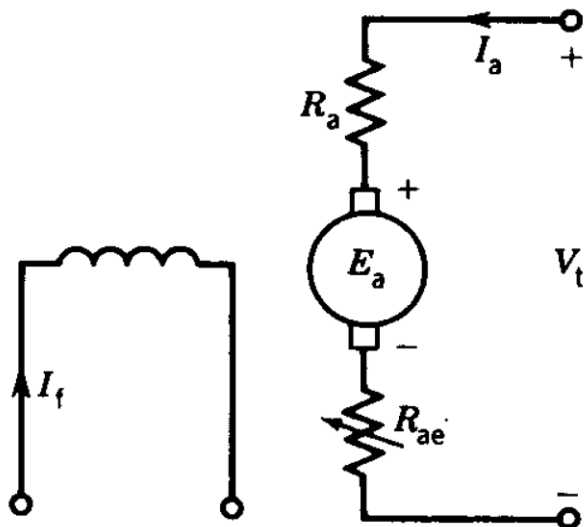
## ۳-۴- موتورهای جریان مستقیم (DC)

۳-۴-۳- راه انداز

✓ اگر رئوستا در مدار آرمیچر قرار گیرد (مطابق شکل زیر)، در این صورت جریان آرمیچر در هنگام سرعت گیری از رابطه زیر بدست می آید:

$$I_a = \frac{V_t - E_a}{R_a + R_{ae}}$$

✓ با توجه به شکل زیر داریم:



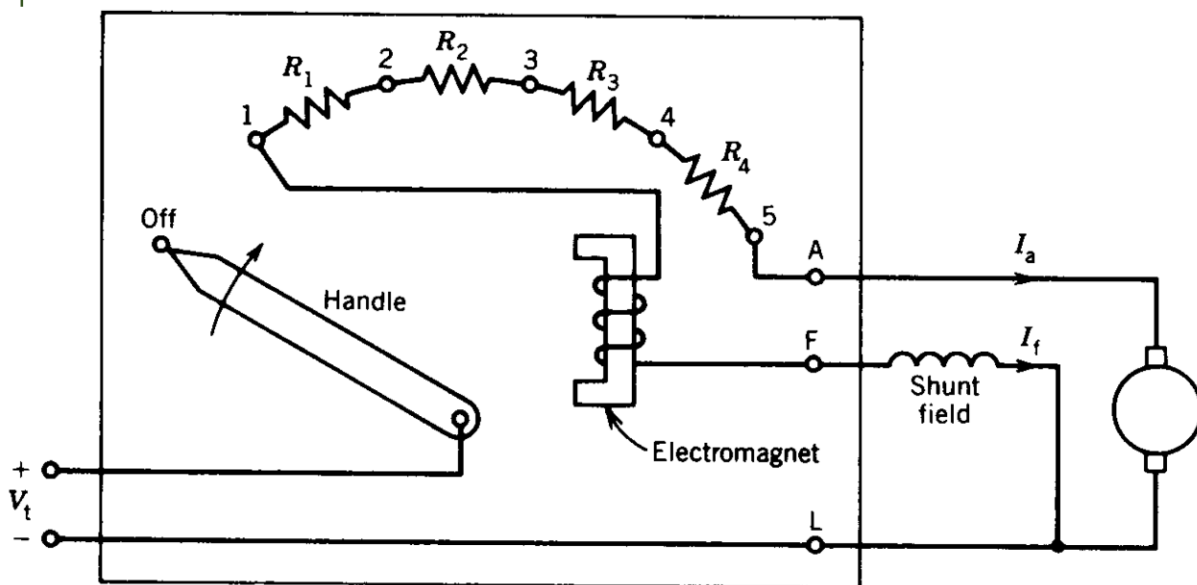
✓ با افزایش سرعت، نیروی ضرمحرکه  $E_a$  زیاد می شود. لذا می توان با افزایش سرعت،  $R_{ae}$  را بتدریج

از مدار خارج ساخت، بدون آنکه جریان آرمیچر از حد نتعارف فراتر رود.

## ۳-۴- موتورهای جریان مستقیم (DC)

### ۳-۴-۳- راه انداز

- ✓ عمل وارد کردن مقاومت در لحظه راه اندازی و خارج نمودن تدریجی آن، اصول اولیه یه راه انداز موتور DC را تشکیل میدهد (مطابق شکل زیر):
- ✓ در لحظه راه اندازی، دسته راه انداز در وضعیت ۱ قرار دارد. در این حالت، مقاومت های  $R_1, R_2, R_3$  و  $R_4$  همگی در مدار قرار دارند و جریان آرمیچر را محدود می سازند.
- ✓ با افزایش سرعت موتور، دسته راه انداز را به وضعیت های ۲ و ۳ و ۴ و بالاخره ۵ می بریم.
- ✓ در وضعیت ۵، تمامی مقاومت های رؤستا از مدار خارج شده اند.
- ✓ دسته راه انداز توسط یک آهن ربای الکترومغناطیسی که توسط جریان تحریک ( $I_f$ ) خاصیت آهنربایی پیدا می کند، در وضعیت ۵ باقی میماند.
- ✓ شکل روبرو، مدار راه انداز برای موتور شنت را نشان می دهد. برای سایر موتورها نیز راه انداز بین موتور و شبکه قرار می گیرد.



## ۳-۴- موتورهای جریان مستقیم (DC)

### ۳-۴-۳- راه انداز

**مثال:** در یک موتور جریان مستقیم  $10 \text{ kW}$ ،  $100 \text{ V}$  و  $1000 \text{ rpm}$ ، مقاومت آرمیچر برابر با  $0.1 \text{ اهم}$  است. این موتور را به یک منبع  $100 \text{ V}$  وصل می کنیم.

الف) اگر در مدار آرمیچر رئوستا نباشد، جریان راه انداز را حساب کنید.

ب) اگر بخواهیم جریان راه انداز به دو برابر جریان اسمی محدود گردد، مقدار مقاومت رئوستای راه انداز را حساب کنید.

ج) اگر بخواهیم برای این موتور جعبه راه انداز بسازیم، مقدار مقاومت های این جعبه را حساب کنید. مشروط بر اینکه بخواهیم جریان آرمیچر بین  $100$  درصد تا  $200$  درصد جریان اسمی در راه اندازی محدود شود.

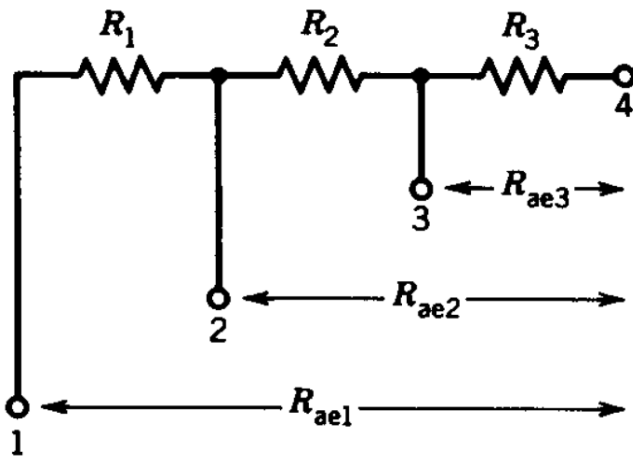
## ۳-۴- موتورهای جریان مستقیم (DC)

۳-۴-۳- راه انداز

$$I_a|_{\text{start}} = \frac{V_t}{R_a} = \frac{100}{0.1} = 1000 \text{ A}$$

$$I_a|_{\text{rated}} = \frac{10000}{100} = 100 \text{ A}$$

$$200 = \frac{100}{0.1 + R_{ae}} \Rightarrow R_{ae} = 0.4 \Omega$$



پاسخ: الف) جریان راه اندازی این موتور بدون رئوستا در آرمیچر برابر است با:

برای انجام مقایسه، جریان نامی این موتور برابر است با:

ب) برای محدود شدن جریان راه انداز به دو برابر جریان اسمی:

ج) آرایش مقاومتها در جعبه راه انداز مطابق شکل زیر است:

باید دانست  $R_{ae1}$ ،  $R_{ae2}$  و ...، مقاومتهای جعبه راه انداز را در وضعیتهای ۱، ۲ و ... نشان می دهند.

دسته راه انداز، هنگامی به وضعیت جدید میرود که جریان آرمیچر به 100 A برسد (جریان نامی)

### ۳-۴- موتورهای جریان مستقیم (DC)

۳-۴-۳- راه انداز

پاسخ: تغییرات جریان آرمیچر و سرعت ( $n$ ) نسبت به زمان، در شکل زیر نشان داده شده است:

$$R_{ae1} = 0.4 \Omega$$

از بند (ب) همین مثال داریم:

برای محاسبه  $R_{ae2}$  بصورت زیر عمل می کنیم:

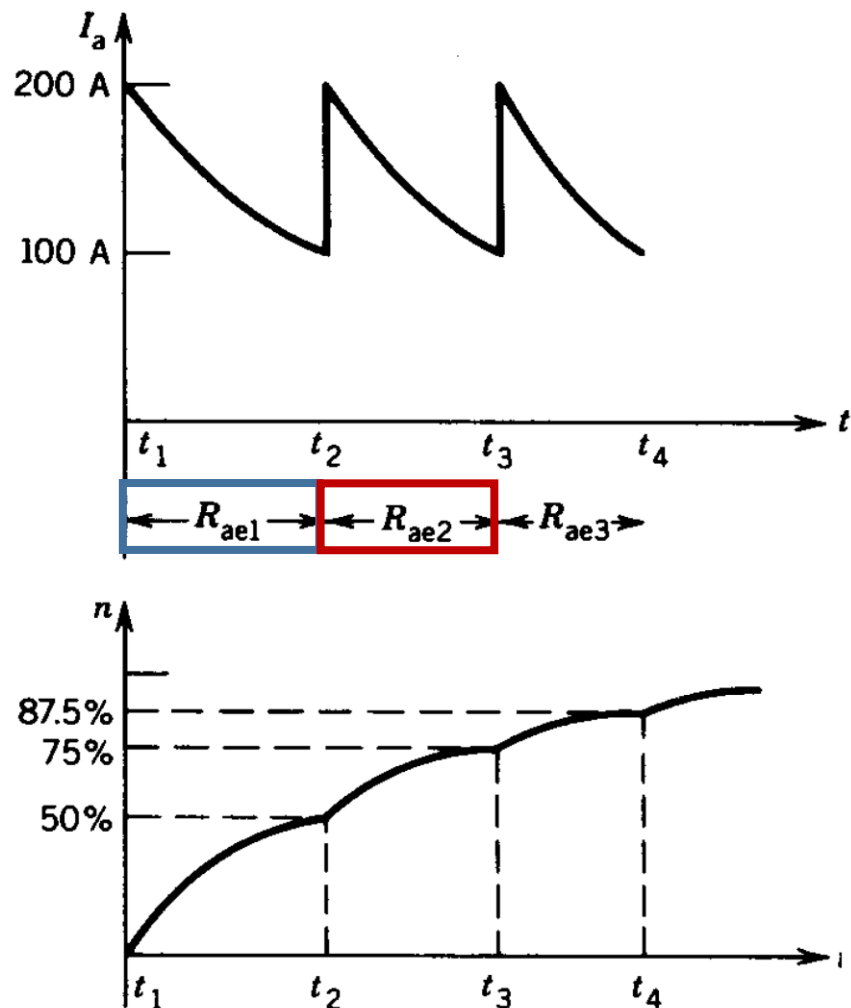
$$V_t = E_a + I_a(R_a + R_{ae})$$

$\uparrow$  fixed       $\uparrow$  increases with speed       $\uparrow$  decreases with speed

در لحظه  $t = t_2^-$ ، قبل از آنکه دسته راه انداز به وضعیت ۲ برده شود، داریم:

$$I_a = 100 \text{ A}$$

$$E_{a2} = V_t - I_a(R_a + R_{ae1}) = 100 - 100(0.1 + 0.4) = 50 \text{ V}$$



### ۳-۴- موتورهای جریان مستقیم (DC)

۳-۴-۳- راه انداز

پاسخ: در لحظه  $t = t_2^+$  ، پس از آنکه دسته راه انداز به وضعیت ۲ برده شده است، داریم:

$$I_a = 200 \text{ A} = \frac{V_t - E_{a2}}{R_a + R_{ae2}} \Rightarrow 200 = \frac{100 - 50}{0.1 + R_{ae2}}$$

$$\Rightarrow R_{ae2} = 0.15 \Omega$$

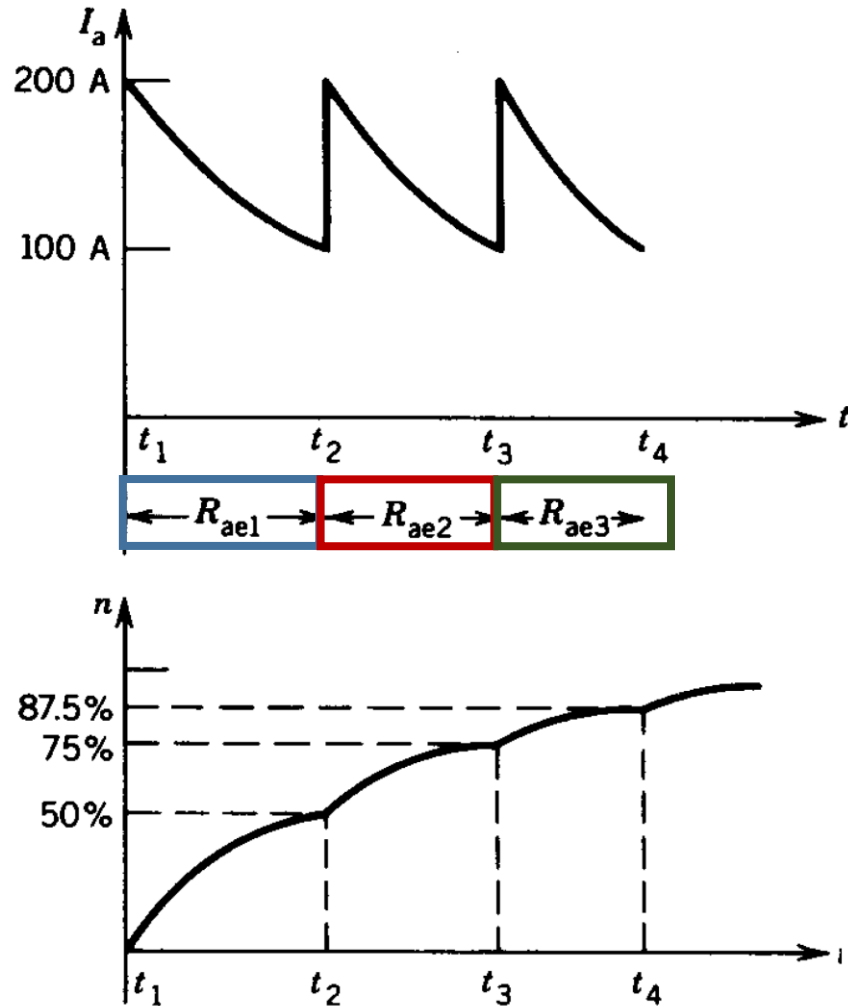
برای  $R_{e3}$  در  $t = t_3^-$  ، داریم:

$$I_a = 100 \text{ A}$$

$$E_{a3} = 100 - 100(0.1 + 0.15) = 100 - 25 = 75 \text{ V}$$

در لحظه  $t = t_3^+$  :

$$I_a = 200 \text{ A} = \frac{100 - 75}{0.1 + R_{ae3}} \Rightarrow R_{ae3} = 0.025 \Omega$$



### ۳-۴- موتورهای جریان مستقیم (DC)

۳-۴-۳- راه انداز

پاسخ: برای  $R_{e4}$  در لحظه  $t = t_4^-$ ، داریم:

$$I_a = 100 \text{ A}$$

$$E_{a4} = 100 - 100(0.1 + 0.025) = 87.5 \text{ V}$$

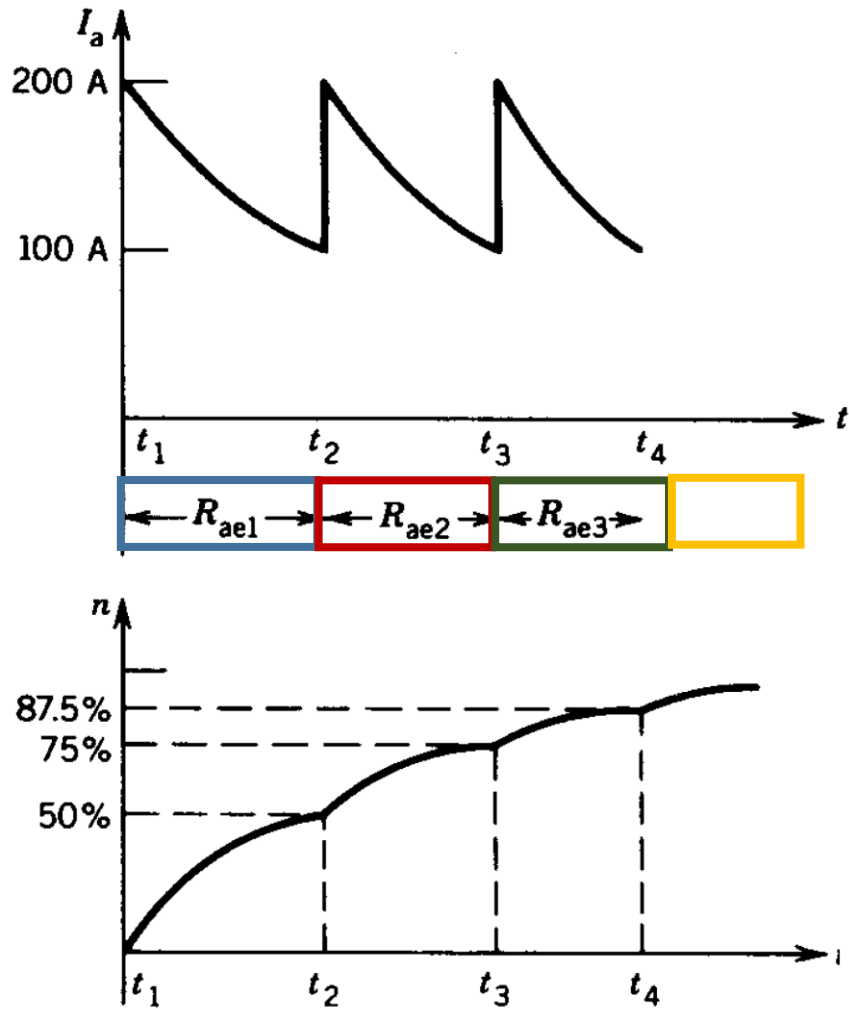
در لحظه  $t = t_4^+$ :

$$I_a = 200 = \frac{100 - 87.5}{0.1 + R_{ae4}} \Rightarrow R_{ae4} = -0.0375 \Omega$$

مقاومت منفی بدست آمده، مبین آن است که به این مقاومت نیاز نداریم. یعنی در  $T = t_4^+$ ،

$R_{ae4} = 0$ . پس هنگامی که دسته راه انداز در وضعیت ۴ قرار دارد:

$$I_a = \frac{100 - 87.5}{0.1} = 125 \text{ A}$$





## ۳-۴- موتورهای جریان مستقیم (DC)

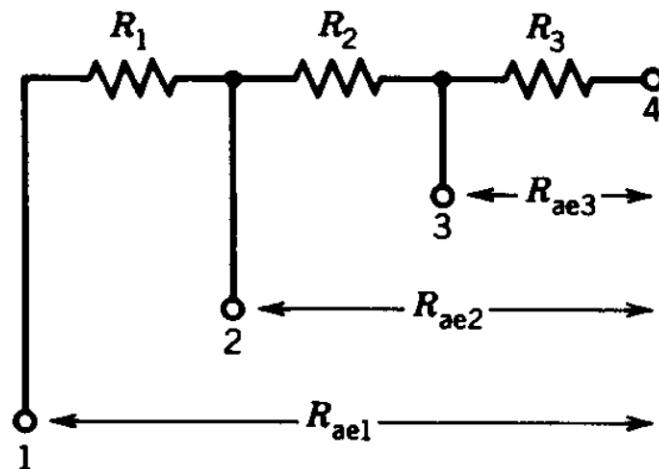
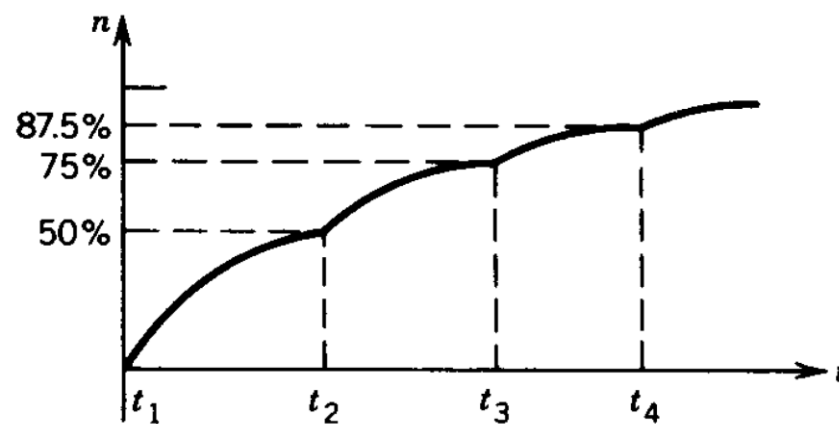
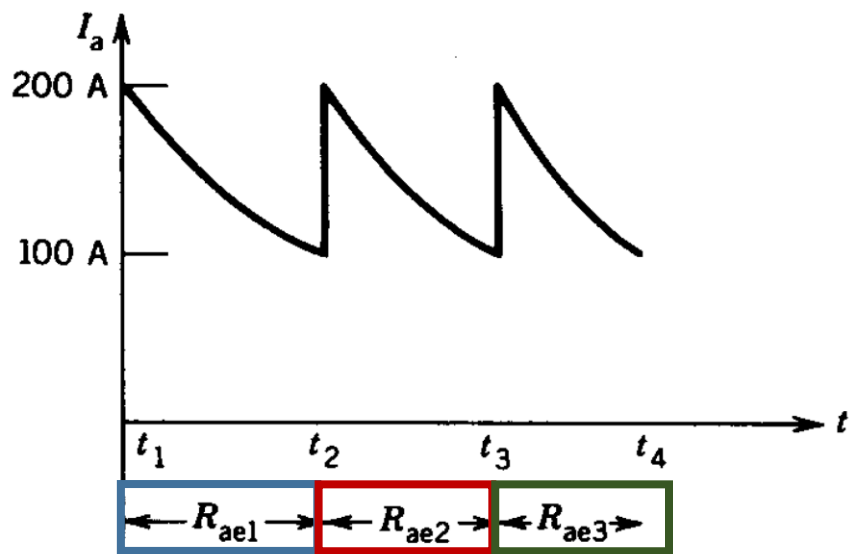
۳-۴-۳- راه انداز

پاسخ: لذا مقادیر مقاومتها در جعبه راه انداز به قرار زیر است:

$$R_1 = R_{ae1} - R_{ae2} = 0.4 - 0.15 = 0.25 \Omega$$

$$R_2 = R_{ae2} - R_{ae3} = 0.15 - 0.025 = 0.125 \Omega$$

$$R_3 = R_{ae3} - R_{ae4} = 0.025 - 0 = 0.025 \Omega \quad \blacksquare$$



# پایان فصل سوم