

# ادامه ماشینهای DC

## ماشینهای DC

### منحنی مغناطیس شونده‌گی ماشین DC

#### مشخصه بی باری - نکته ها:

❖ چنانچه مشخصه بی باری در سرعت  $N_1$  (یا  $\omega_1$ ) داده شده باشد و بخواهیم آن را در سرعت  $N_2$  (یا  $\omega_2$ ) بدست آوریم داریم:

$$\begin{cases} E_{a1} = K_a \phi_1 N_1 \\ E_{a2} = K_a \phi_2 N_2 \end{cases} \rightarrow \frac{E_{a1}}{E_{a2}} = \frac{\phi_1 N_1}{\phi_2 N_2} = \frac{\phi_1 \omega_1}{\phi_2 \omega_2}$$

❖ در بعضی مسائل ممکن است به جای منحنی بی باری، رابطه میان  $E_a$  و  $I_f$  به صورت یک تابع داده شود؛ مثلاً

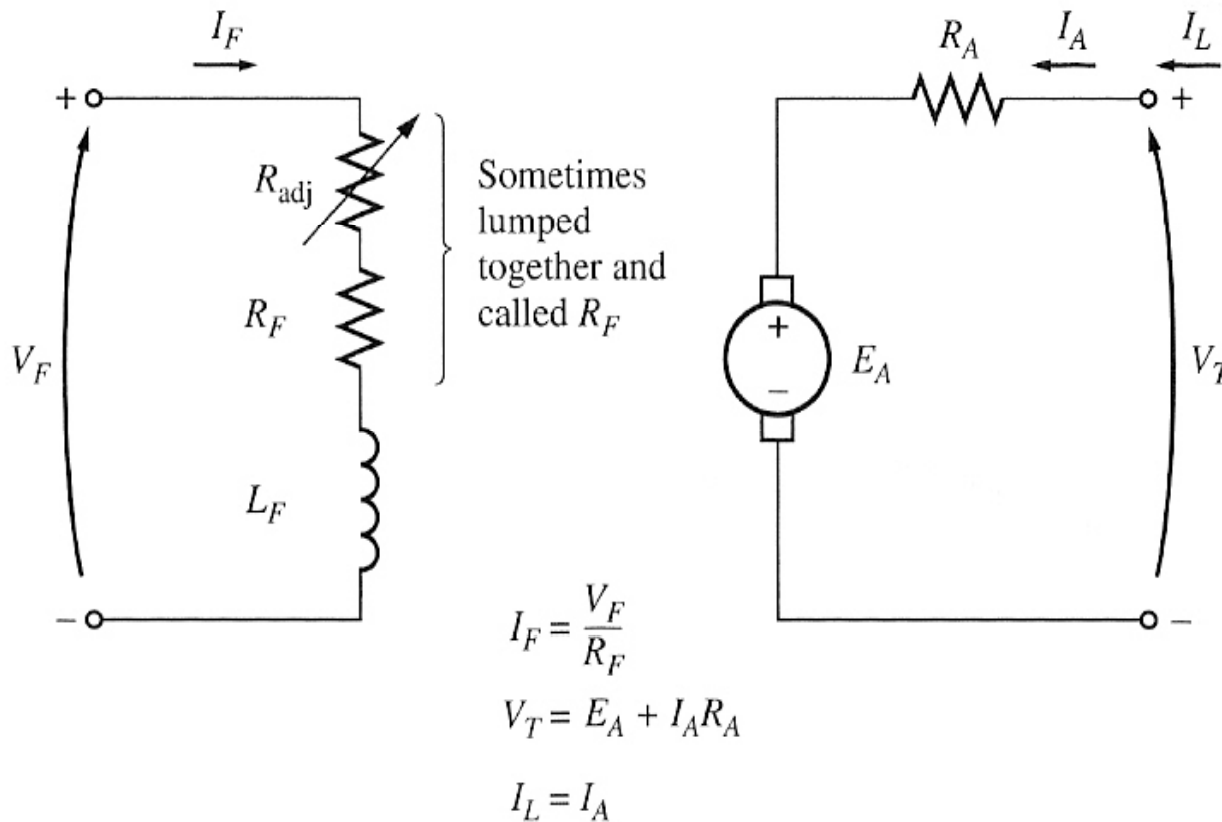
$$E_a = \frac{A' I_f}{B' + I_f}$$

$$E_a = A + B \sqrt{I_f}$$

## ماشینهای DC

### مدار معادل موتورهای DC تحریک جداگانه

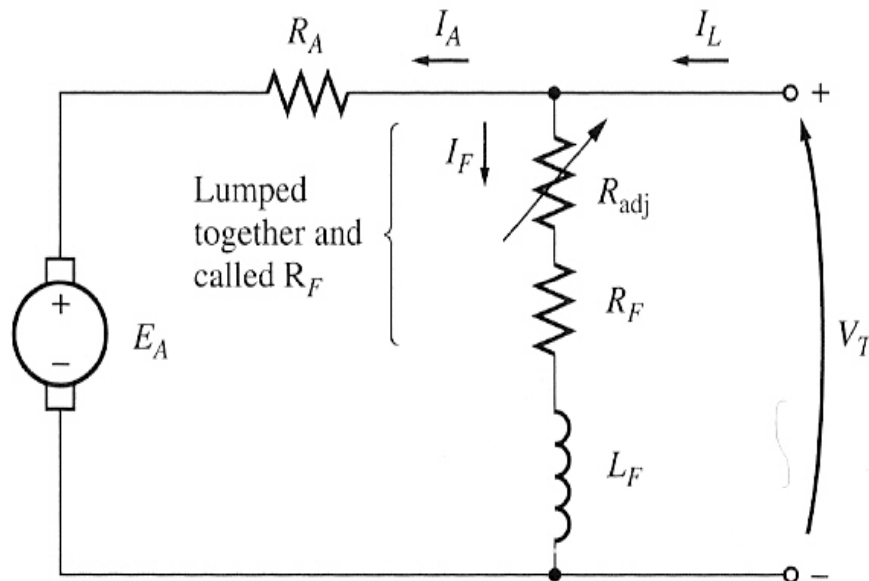
❖ مدار تحریک رتور با استفاده از منبع تغذیه جداگانه تغذیه شده است.



## ماشینهای DC

### مدار معادل موتورهای DC شنت

❖ مدار تحریک رتور دو سر مدار آرمیچر موازی شده است.



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

$$V_T = E_A + I_A R_A$$

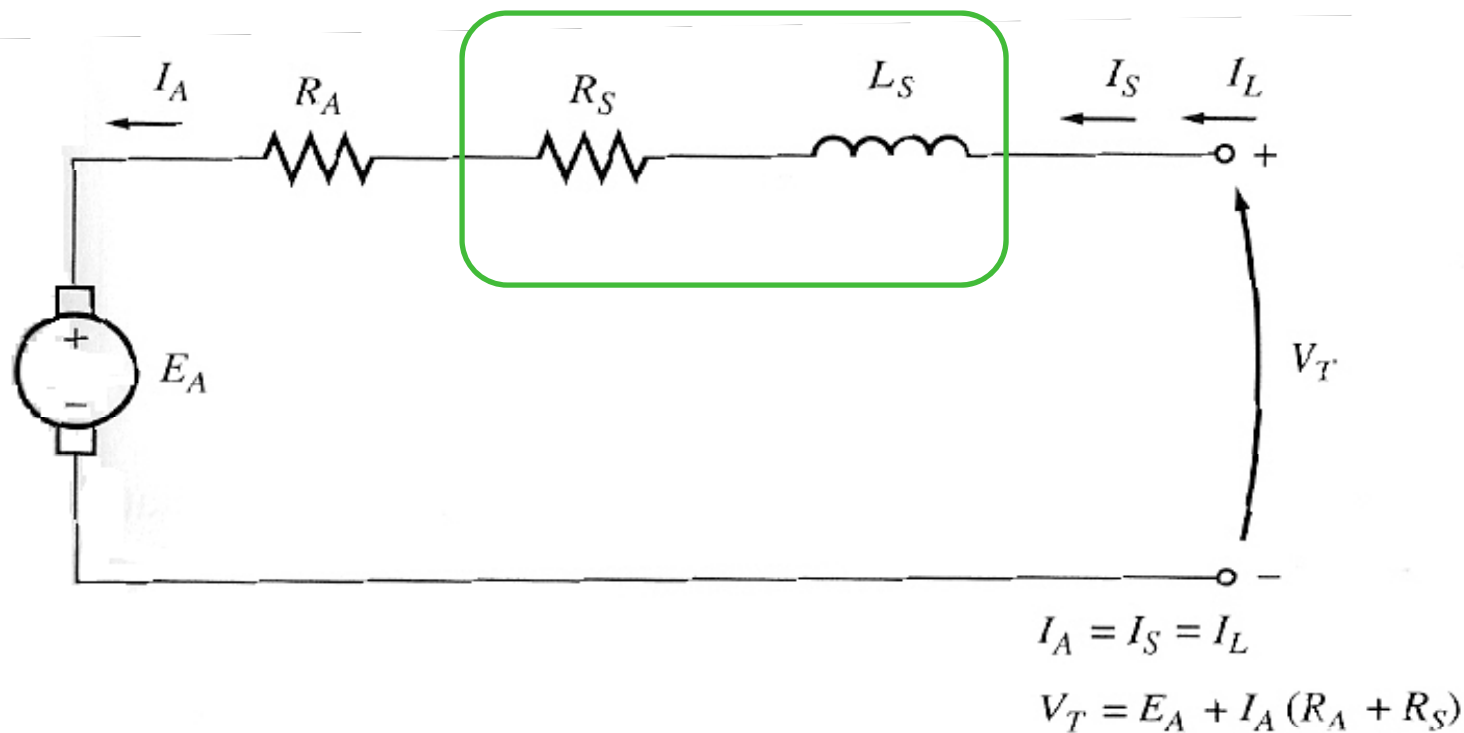
$$I_L = I_A + I_F$$

اگر ولتاژ تغذیه موتور ثابت فرض شود هیچ تفاوتی بین موتورهای شنت و تحریک جدا وجود ندارد.

## ماشینهای DC

### مدار معادل موتورهای DC سری

❖ مدار تحریک رتور با مدار آرمیچر سری شده است.

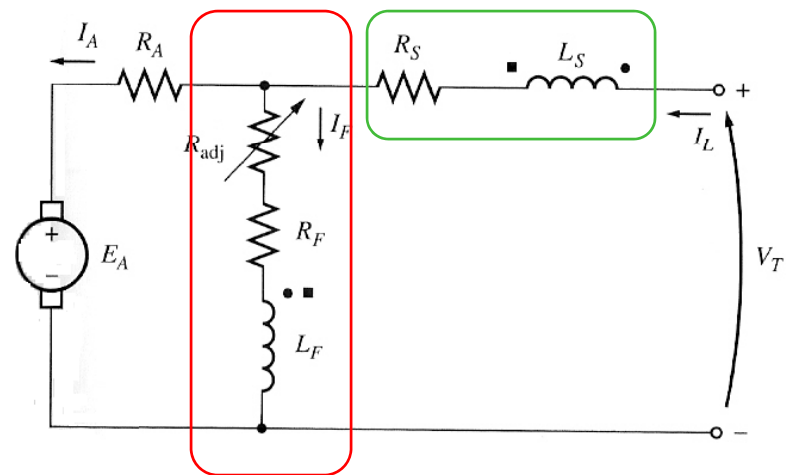
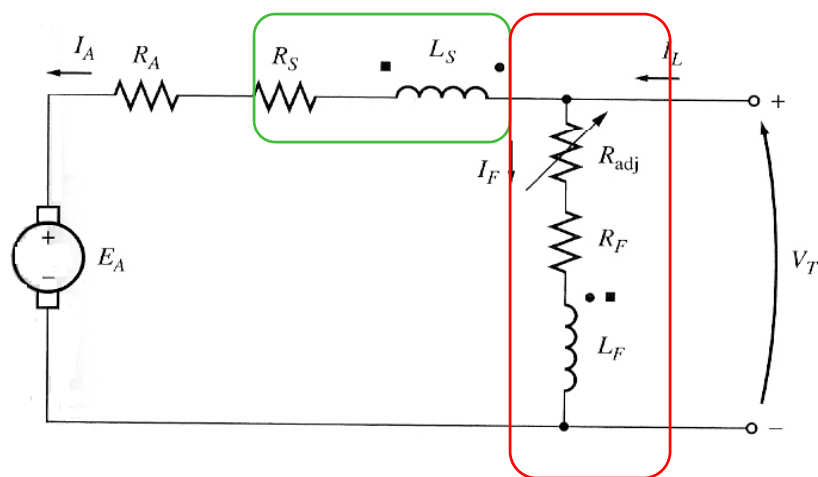


## ماشینهای DC

### مدار معادل موتورهای DC کمپوند

❖ مدار تحریک رتور دارای دو سیم پیچی است، سیم پیچی تحریک سری و سیم پیچی موازی.

❖ کمپوند شنت کوتاه و شنت بلند:



## ماشینهای DC

### ماشینهای DC کمپوند

❖ بر اساس اینکه شار سیم پیچی سری شار سیم پیچی موازی را تقویت کند یا تضعیف دو نوع ماشین کمپوند داریم: کمپوند اضافی و کمپوند نقصانی

#### کمپوند افزایشی یا اضافی

هنگامی که شارهای ایجاد شده توسط سیم پیچهای تحریک شنت و سری هم جهت باشند برآیند افزایش یافته و در نتیجه افزایش ولتاژ القاء شده می گردد

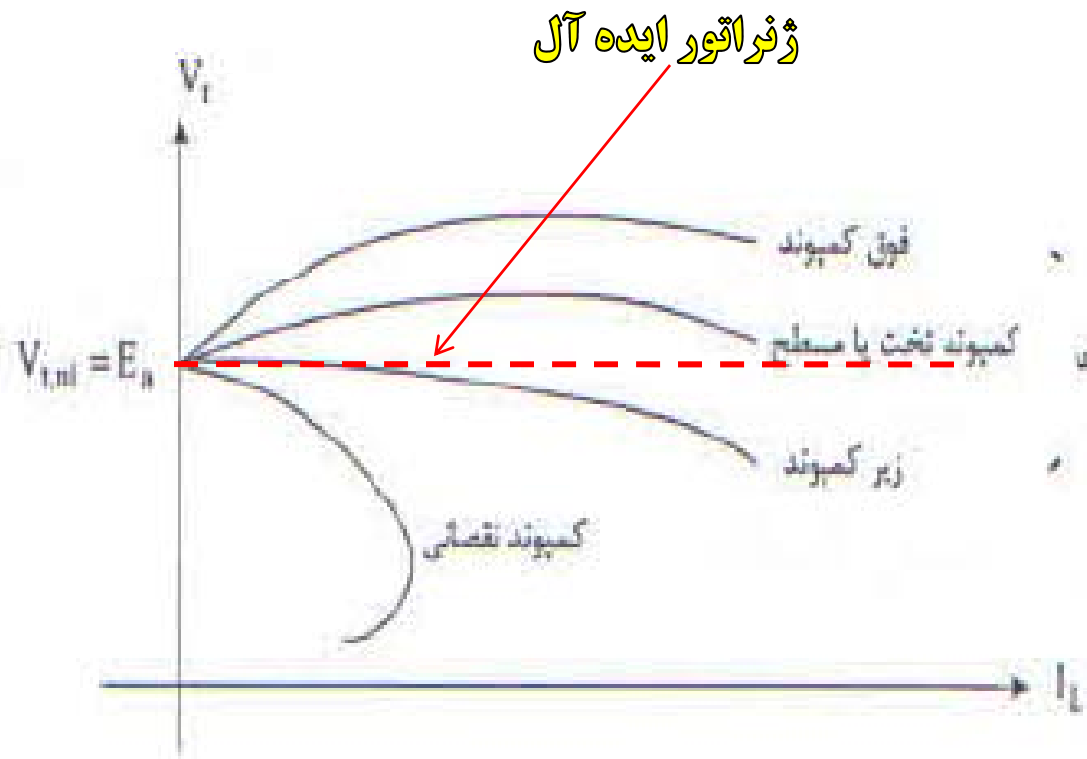
$$E_g = K(\Phi_f + \Phi_s) \times \omega$$

مقدار افزایش، نوع کمپوند را تعیین می کند:

فوق کمپوند	} کمپوند افزایشی
کمپوند تخت	
زیر کمپوند	

## ماشینهای DC

### ماشینهای کمپوند افزایشی یا اضافی:



**فوق کمپوند:**

ولتاژ بار نامی بیشتر از ولتاژ بی باری است.

**کمپوند مسطح (تخت):**

افت ولتاژ در بار نامی صفر است

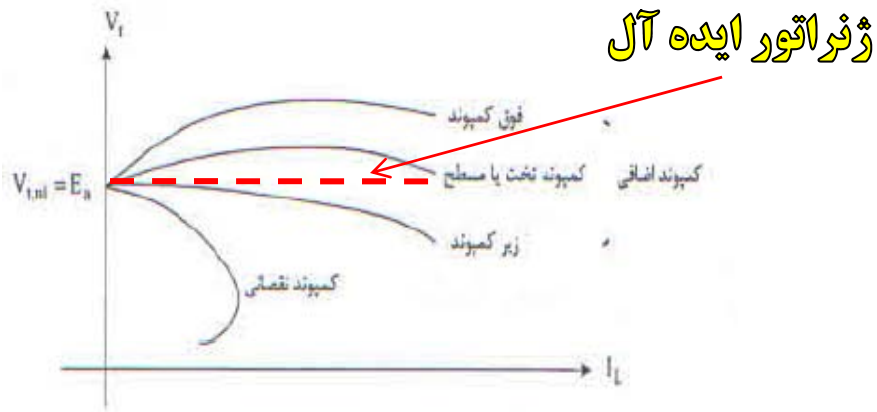
**زیر کمپوند:**

ولتاژ بار نامی کمتر از ولتاژ بی باری است.



## ماشینهای DC

### ماشینهای کمپوند نقصانی:



در صورتی که شار سیم پیچ تحریک سری هم جهت با شار تحریک سیم پیچ شنت نباشد، کمپوند نقصانی حاصل می گردد

$$E_g = K(\Phi_f - \Phi_s) \times \omega$$

ژنراتور کمپوند نقصانی را نیز به عنوان **منبع جریان** مورد استفاده قرار می دهند.

نکته: در مولد کمپوند نقصانی جهت شار تولیدی توسط سیم پیچی شنت و سری مخالف یکدیگر می باشند، لذا با افزایش بار، شار میدان سری، شار شنت را تضعیف کرده و لذا ولتاژ مولد شدیداً افت می کند

## ماشینهای DC

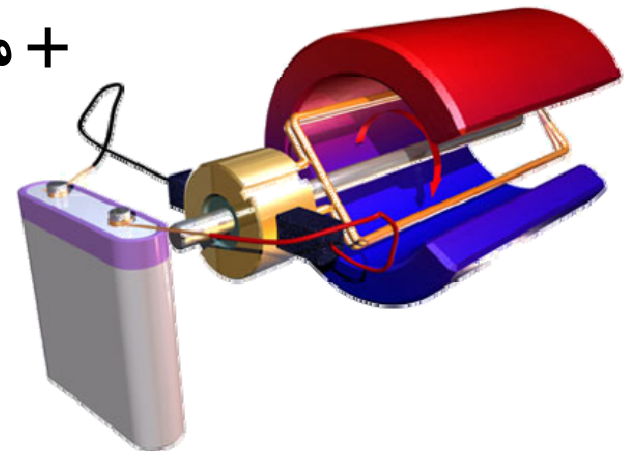
## مشخصه های موتورهای DC

\* مهمترین منحنی مشخصه ها در حالت موتوری:

+ منحنی مشخصه گشتاور سرعت (مشخصه خروجی)

+ منحنی مشخصه گشتاور جریان

+ منحنی مشخصه سرعت جریان



## ماشینهای DC

### مشخصه خروجی موتورهای DC شنت

❖ منظور از مشخصه خروجی مشخصه گشتاور بر حسب سرعت موتور شنت است.

❖ با افزایش بار روی محور موتور شنت، گشتاور بار از گشتاور القایی بیشتر می شود. لذا سرعت موتور شروع به کند شدن می کند. با کاهش سرعت، ولتاژ تولید شده داخلی ( $E_A = K\phi\omega$ ) کاهش می یابد و جریان آرمیچر افزایش می یابد ( $I_A = (V_T - E_A) / R_A$ ). با افزایش جریان آرمیچر گشتاور القایی بیشتر می شود ( $T_{ind} = K\phi I_A$ ) و نهایتاً گشتاور القایی با گشتاور بار در سرعت مکانیکی کمتری برابر می شوند.

$$V_T = E_A + I_A R_A \quad E_A = k\phi\omega, \quad I_A = \frac{\tau_{ind}}{k\phi}$$

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

## ماشینهای DC

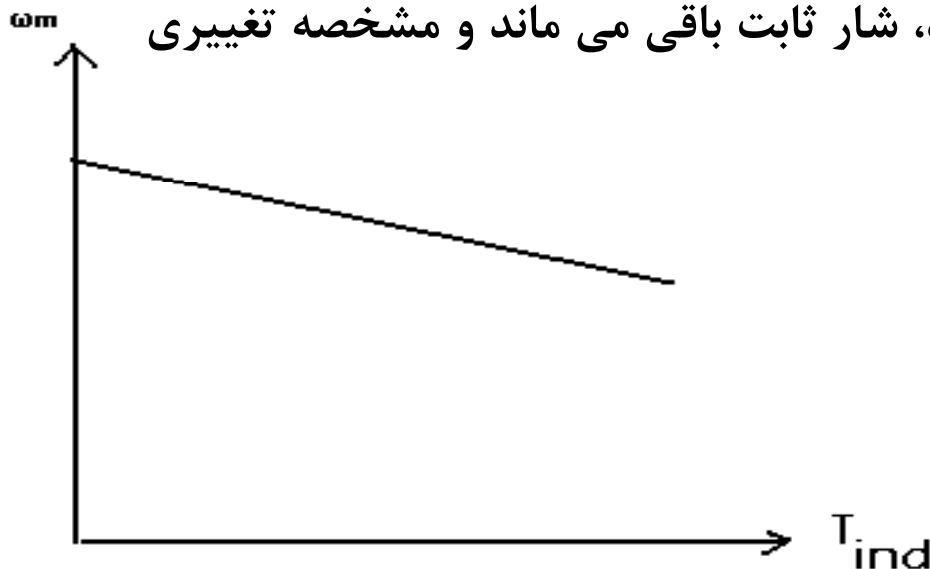
### مشخصه خروجی موتورهای DC شنت

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

❖ مشخصه موتور تحریک جداگانه هم به همین شکل بدست می آید.

❖ عکس العمل آرمیچر روی این مشخصه تاثیر می گذارد . وجود عکس العمل آرمیچر باعث تضعیف شار می شود و طبق رابطه فوق با کاهش شار سرعت افزایش می یابد.

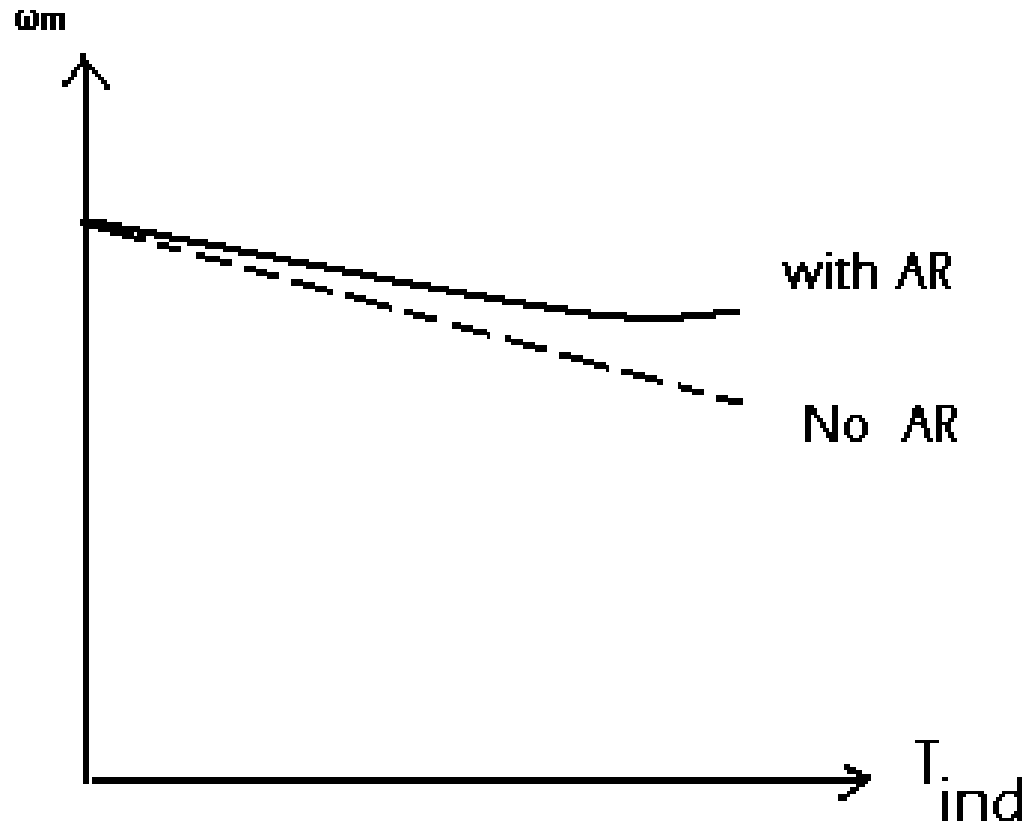
❖ چنانچه ماشین دارای سیم پیچی جبران ساز باشد، شار ثابت باقی می ماند و مشخصه تغییری نخواهد کرد.



## ماشینهای DC

مشخصه خروجی موتورهای DC شنت

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



## ماشینهای DC

### تحلیل غیر خطی موتورهای DC شنت

❖ شار ماشین و در نتیجه ولتاژ داخلی آن، تابعی غیر خطی از نیرو محرکه مغناطیسی هستند. بنابراین هر چیزی که نیرو محرکه مغناطیسی را تغییر دهد، اثر غیر خطی بر  $E_A$  می گذارد.

❖ **جریان میدان و عکس العمل آرمیچر** دو عامل اصلی در نیرو محرکه مغناطیسی ماشین است.

❖ چون منحنی مغناطیس شوندگی به صورت  $E_A$  بر حسب  $I_F$  به ازای سرعت معین رسم می شود، اثر تغییر  $I_F$  را از روی این منحنی می توان تعیین کرد.

❖ اگر ماشین عکس العمل آرمیچر داشته باشد، با افزایش بار شار آن کم می شود. نیرو محرکه کل عبارتست از:

$$F_{net} = N_F I_F - F_{AR}$$

❖ چون منحنی مغناطیس شوندگی بر حسب جریان تحریک است یک جریان معادل تعریف می شود و می توان  $E_A$  را با توجه به جریان معادل از روی منحنی مغناطیس شوندگی بدست آورد:

$$I_F^* = I_F - \frac{F_{AR}}{N_F}$$

## ماشینهای DC

### تحلیل غیر خطی موتورهای DC شنت

❖ منحنی مغناطیس شوندگی معمولاً به ازای سرعت نامی ماشین رسم می شود. اگر ماشین در سرعت دیگری بچرخد، چگونه می توان این اثرات را در نظر گرفت؟

$$E_A = k' \phi n_m$$

❖ به ازای یک جریان میدان موثر مشخص شار درون ماشین ثابت است. بنابراین:

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

از معادله KVL ← سرعت واقعی →

← مقادیر مرجع ولتاژ و سرعت از روی منحنی مغناطیس شوندگی →

## ماشینهای DC

### EXAMPLE:

A 50 hp, 250 V, 1200 r/min dc shunt motor with compensating windings,  $R_A = 0.06 \Omega$  (including brushes, comp. windings, & inter-poles). The field circuit has a total resistance of  $R_{adj} + R_F$  of  $50 \Omega$  which develops a no load speed of 1200 r/min. There are 1200 turns per pole on shunt field winding

- (a) Find speed of this motor when its input current is 100 A
- (b) Find speed of this motor when its input current is 200 A
- (c) Find the speed of this motor when its input current is 300 A
- (d) plot torque-speed characteristic of this motor



## ماشینهای DC

### SOLUTION:

$E_A = K' \phi n$ , since  $I_F$  is constant ( $V_T$  &  $R_F$  const.) & since there are no A.R.  $\rightarrow \phi$  would be constant

$\rightarrow$  relationships between speeds & internal generated voltages of motor at 2 different load conditions is:

$$E_{A2}/E_{A1} = [K' \phi n_2]/[K' \phi n_1]$$

constant  $K'$  cancels, also  $\phi$  canceled  $\rightarrow$

$$n_2 = E_{A2}/E_{A1} \cdot n_1$$

at no load  $I_A$  is zero so  $E_{A1} = V_T = 250$  V

While speed  $n_1 = 1200$  r/min

If internal generated voltage at any other load is determined, motor speed at the load can be determined

## ماشینهای DC

### SOLUTION:

(a) if  $I_L = 100$  A then armature current :

$$I_A = I_L - I_F = I_L - V_T / R_F = 100 - 250 / 50 = 95 \text{ A}$$

$$\rightarrow E_A = V_T - R_A I_A = 250 - (95)(0.06) = 244.3 \text{ V}$$

Resulting speed:

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

(b)  $I_L = 200$  A  $\rightarrow I_A = 200 - 250 / 50 = 195$  A

$$E_A = 250 - (195)(0.06) = 238.3 \text{ V}$$

$$n_2 = 238.3 / 250 \times 1200 = 1144 \text{ r/min}$$

## ماشینهای DC

### SOLUTION:

(c) if  $I_L = 300$  A, then  $I_A = I_L - I_F = 300 - 250/50 = 295$  A

$$E_A = 250 - (295)(0.06) = 232.3 \text{ V}$$

$$n_2 = 232.3/250 \times 1200 = 1115 \text{ r/min}$$

(d) torque versus speed

At no load induced torque is zero

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

From this equation

$$T_{\text{ind}} = E_A I_A / \omega$$

$$I_L = 100 \text{ A} \rightarrow$$

$$T_{\text{ind}} = (244.3)(95) / [1173 \times 1/60 \times 2\pi] = 190 \text{ N.m.}$$

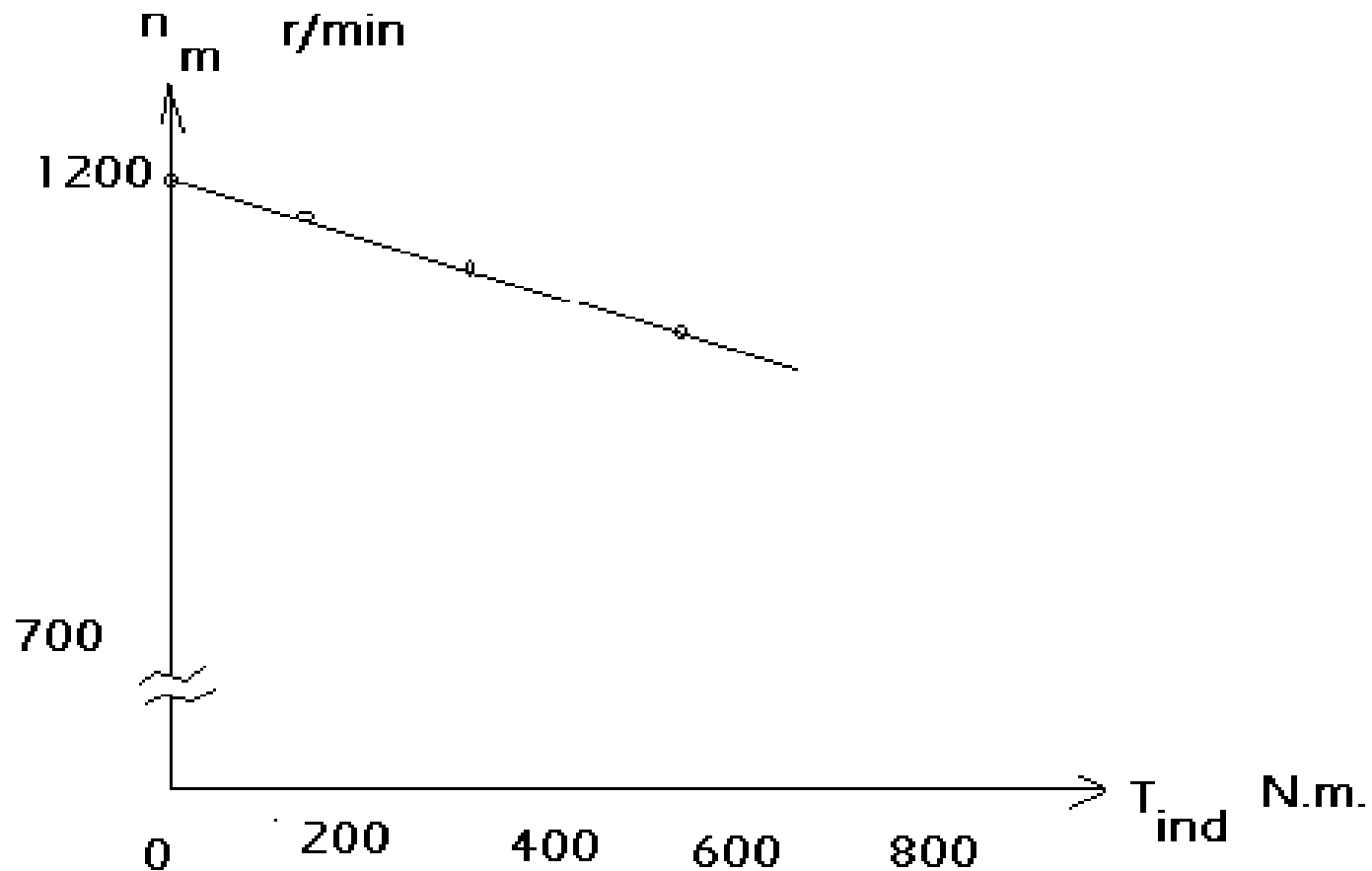
$$I_L = 200 \text{ A} \rightarrow T_{\text{ind}} = 238.3 \times 195 / [1144 \times 1/60 \times 2\pi] = 388 \text{ N.m.}$$

$$I_L = 300 \text{ A} \rightarrow T_{\text{ind}} = 587 \text{ N.m.}$$

## ماشینهای DC

### SOLUTION:

Torque – speed characteristic of motor



## مبانی ماشینهای DC

### کنترل سرعت موتورهای DC شنت

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

۱: تغییر مقاومت مدار میدان و در نتیجه شار میدان

۲: تغییر ولتاژ اعمال شده به آرمیچر

۳: سری کردن مقاومت با مدار آرمیچر

## ماشینهای DC

### کنترل سرعت موتورهای DC شنت: تغییر مقاومت میدان

مثال: در موتور شنت زیر اگر شار ۱٪ کم شود چه اتفاقی می افتد؟

جریان آرمیچر در حالت اول:

$$I_A = \frac{V_T - E_A}{R_A} = \frac{250 - 245}{0.25} = 20 \text{ A}$$

اگر شار ۱٪ کم شود بنابراین ولتاژ داخلی تولید شده نیز ۱٪ کم می شود:

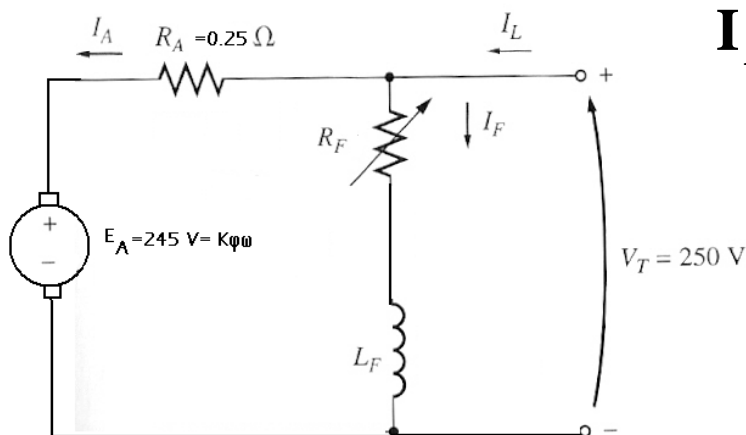
$$E_{A2} = K\phi\omega_m = 0.99E_{A1} = 242.55 \text{ V}$$

جریان آرمیچر جدید ۴۹٪ زیاد می شود:

$$I_{A2} = \frac{V_T - E_{A2}}{R_A} = \frac{250 - 242.55}{0.25} = 29.8 \text{ A}$$

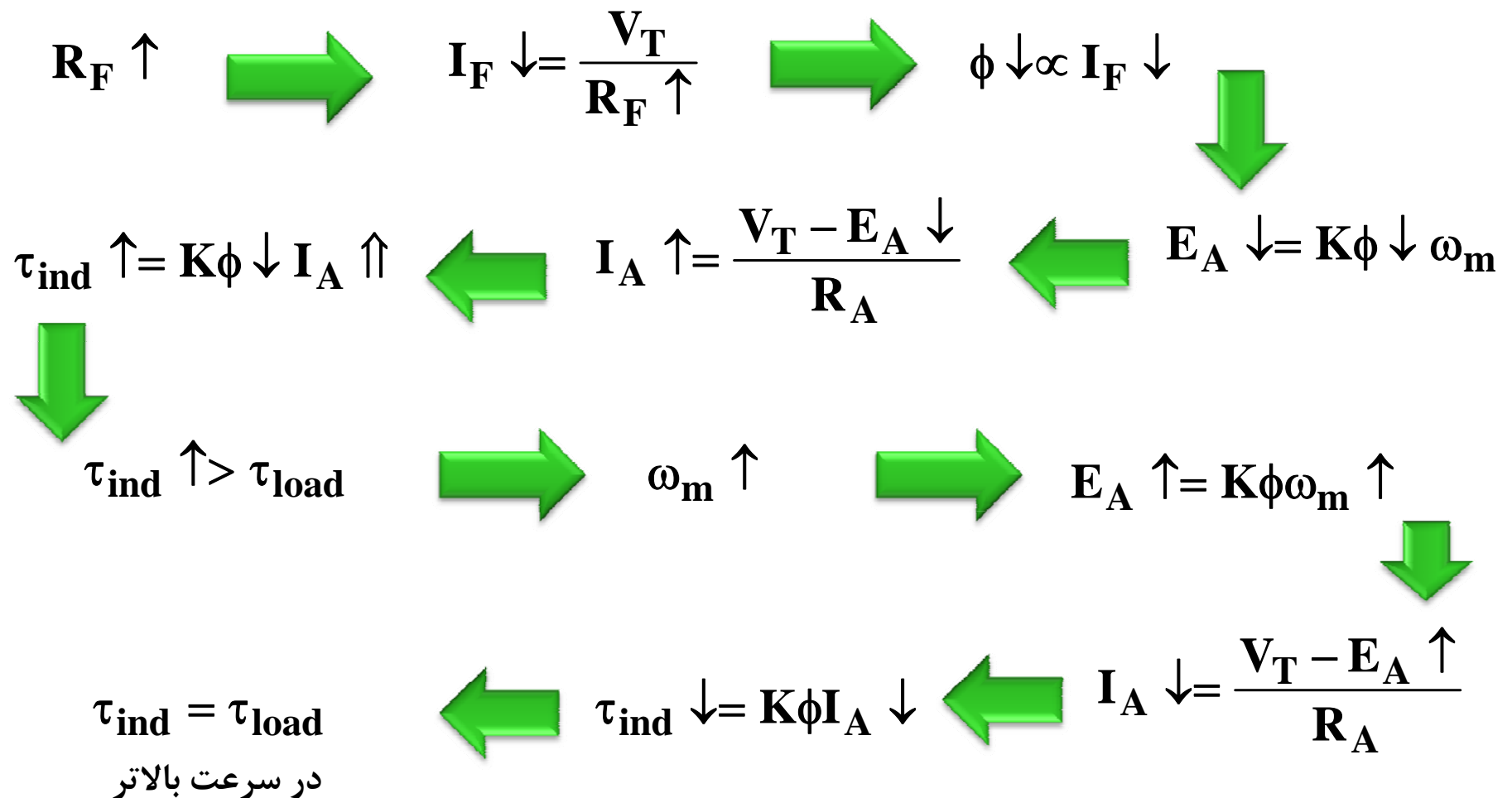
$$\tau_{ind} \uparrow = K\phi \downarrow I_A \uparrow \quad \tau_{ind} > \tau_{load}$$

با افزایش گشتاور القایی موتور سرعت می گیرد لذا ولتاژ داخلی ایجاد شده زیاد می شود و  $I_A$  و گشتاور القایی افت می کند تا در سرعت بیشتری گشتاورها متعادل شوند.



## ماشینهای DC

### کنترل سرعت موتورهای DC شنت: تغییر مقاومت میدان

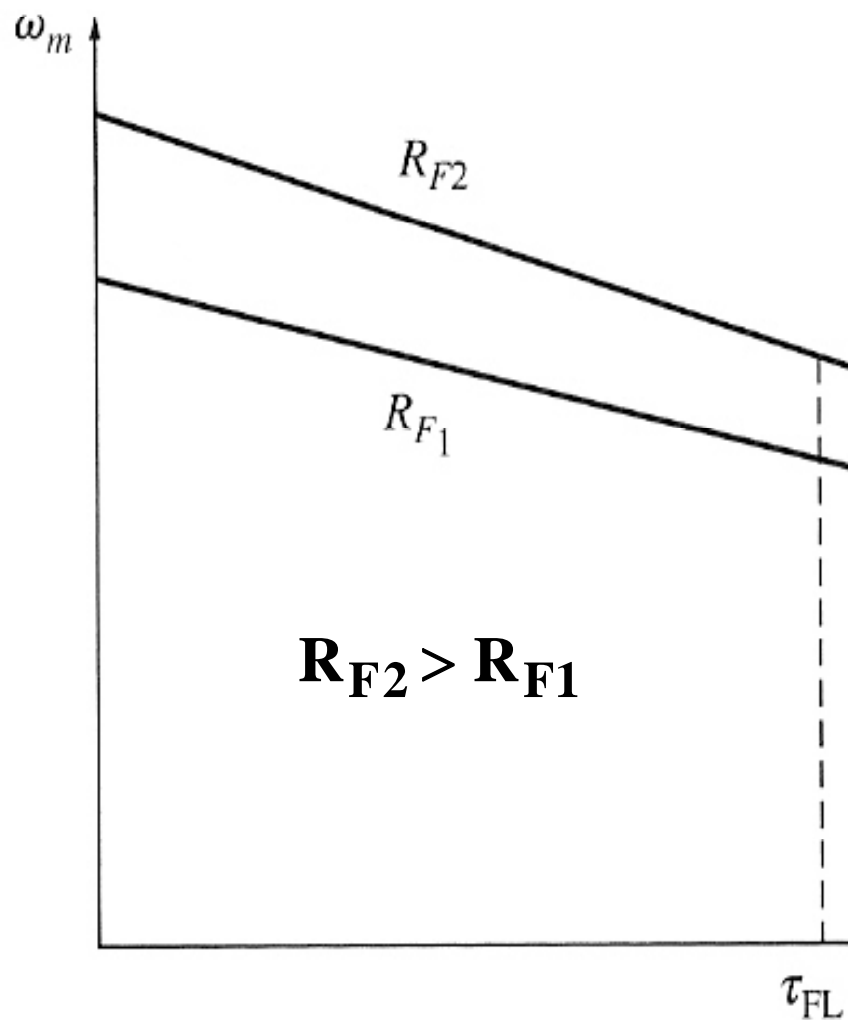


## ماشینهای DC

### کنترل سرعت موتورهای DC شنت: تغییر مقاومت میدان

مشخصه پایانه ای موتور در گستره بی باری تا بار کامل:

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



❖ وقتی شار ماشین کاهش می یابد سرعت بی بار موتور افزایش می یابد و شیب مشخصه گشتاور - سرعت تندتر می شود.

❖ محدوده کنترل سرعت از سرعت پایه (نامی) تا سرعت های بالاتر است.

❖ در سرعت های کمتر از سرعت پایه افزایش جریان تحریک ممکن است به سیم پیچی های میدان آسیب بزند.

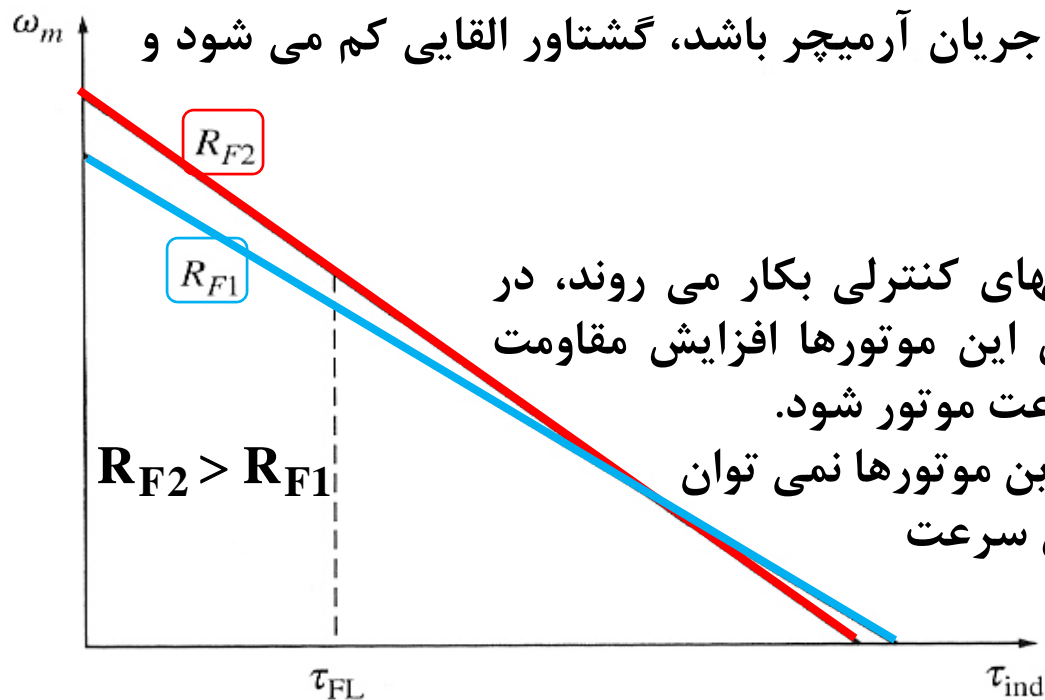


## ماشینهای DC

### کنترل سرعت موتورهای DC شنت: تغییر مقاومت میدان

مشخصه پایانه ای موتور در گستره بی باری تا سکون:

- ❖ در سرعت های خیلی کم افزایش مقاومت میدان در واقع باعث کاهش سرعت موتور می شود. زیرا در سرعت های خیلی کم، افزایش جریان آرمیچر ناشی از کاهش  $E_A$  دیگر خیلی بزرگ نیست که بتواند کاهش شار معادله گشتاور را جبران کند.
- ❖ وقتی کاهش شار عملاً بزرگتر از افزایش جریان آرمیچر باشد، گشتاور القایی کم می شود و سرعت موتور کاهش می یابد



- ❖ بعضی موتورهای کوچک که در سیستم های کنترلی بکار می روند، در سرعت های بسیار کم کار می کنند. برای این موتورها افزایش مقاومت میدان ممکن است حتی باعث کاهش سرعت موتور شود.
- ❖ چون نتیجه قابل پیش بینی نیست برای این موتورها نمی توان از روش تغییر مقاومت میدان برای کنترل سرعت استفاده کرد.

## ماشینهای DC

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

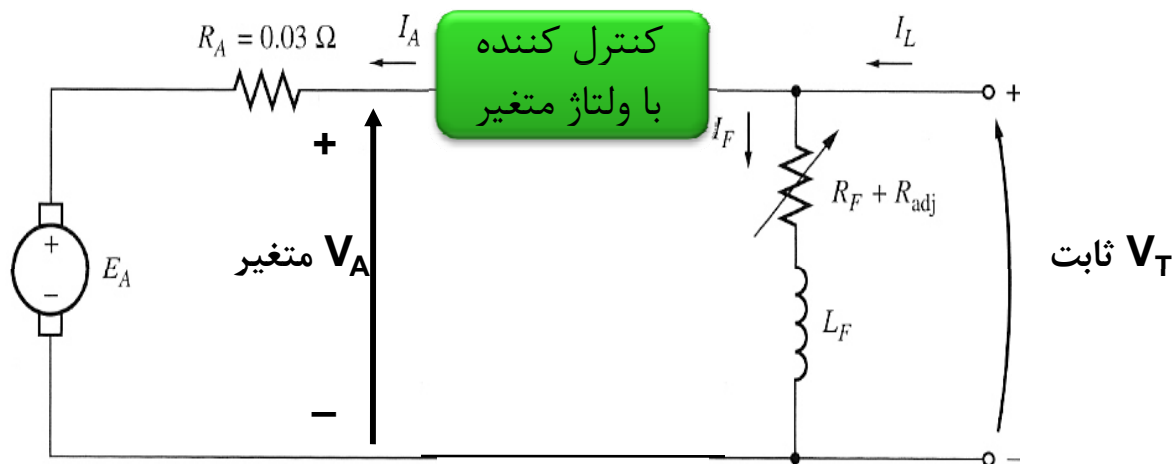
## کنترل سرعت موتورهای DC شنت: تغییر ولتاژ آرمیچر

❖ در این روش باید ولتاژ آرمیچر بدون تغییر ولتاژ اعمال شده به مدار میدان تغییر کند.

❖ موتور باید تحریک جداگانه باشد یا در موتور شنت از کنترل کننده استفاده شود.

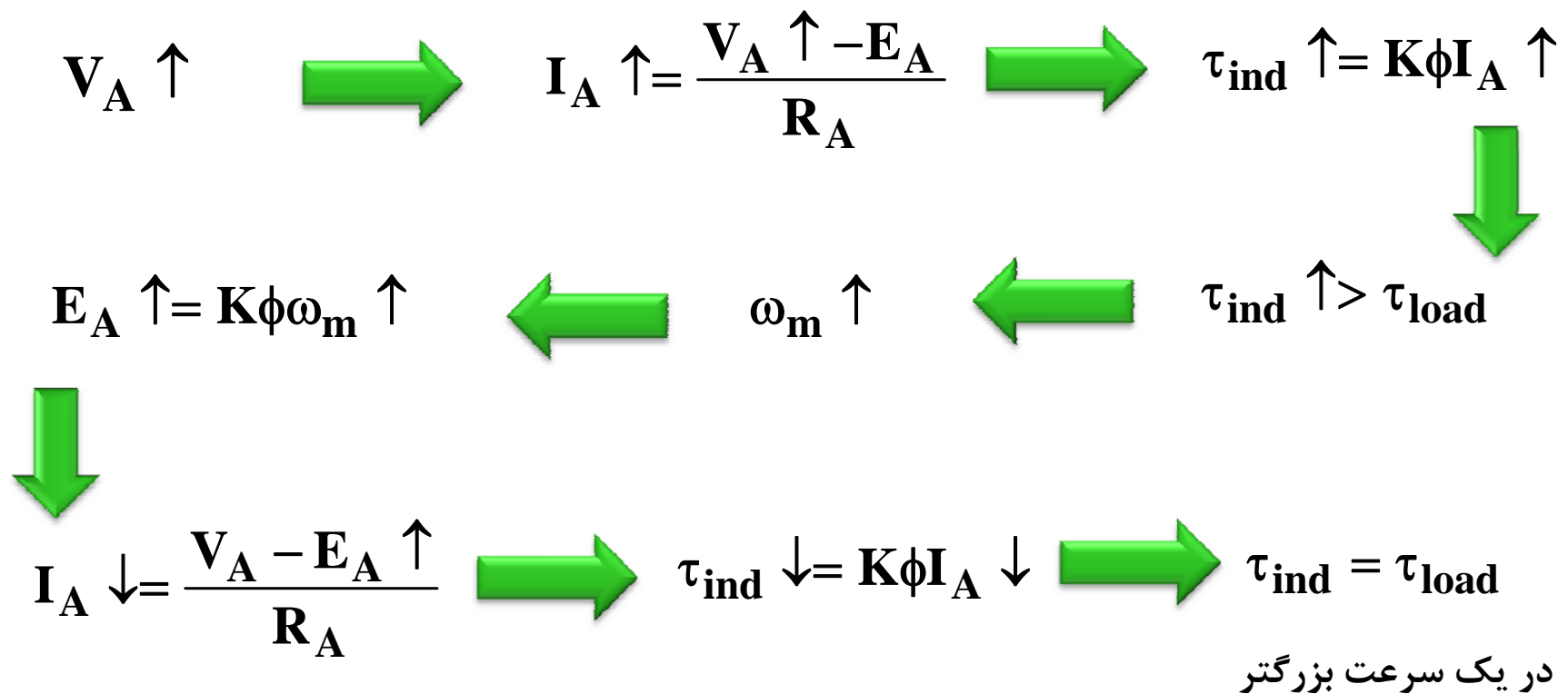
❖ محدوده کنترل سرعت، از سرعت های کم تا سرعت پایه است.

❖ اگر سرعت بخواهد در بیش از سرعت پایه کنترل شود ولتاژ آرمیچر باید بسیار زیاد شود که احتمالاً به سیم پیچی آرمیچر آسیب می رساند.



## ماشینهای DC

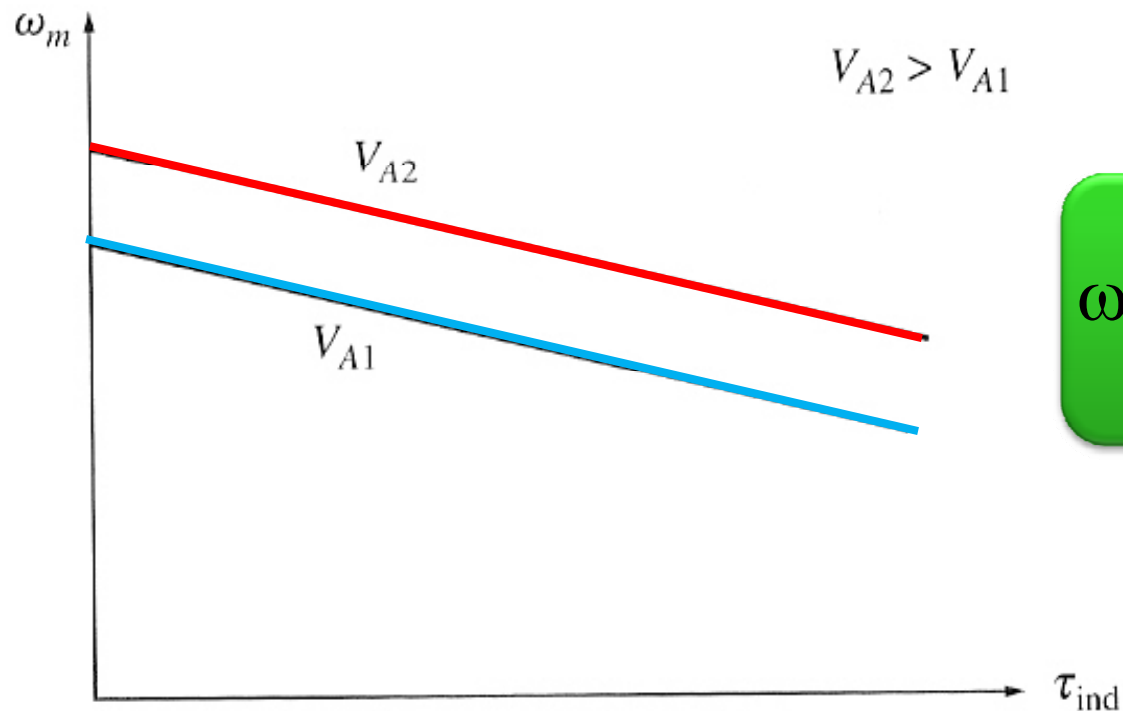
### کنترل سرعت موتورهای DC شنت: تغییر ولتاژ آرمیچر



## ماشینهای DC

### کنترل سرعت موتورهای DC شنت: تغییر ولتاژ آرمیچر

با این روش کنترل سرعت، سرعت بی باری موتور تغییر می کند ولی شیب منحنی تغییر نمی کند.



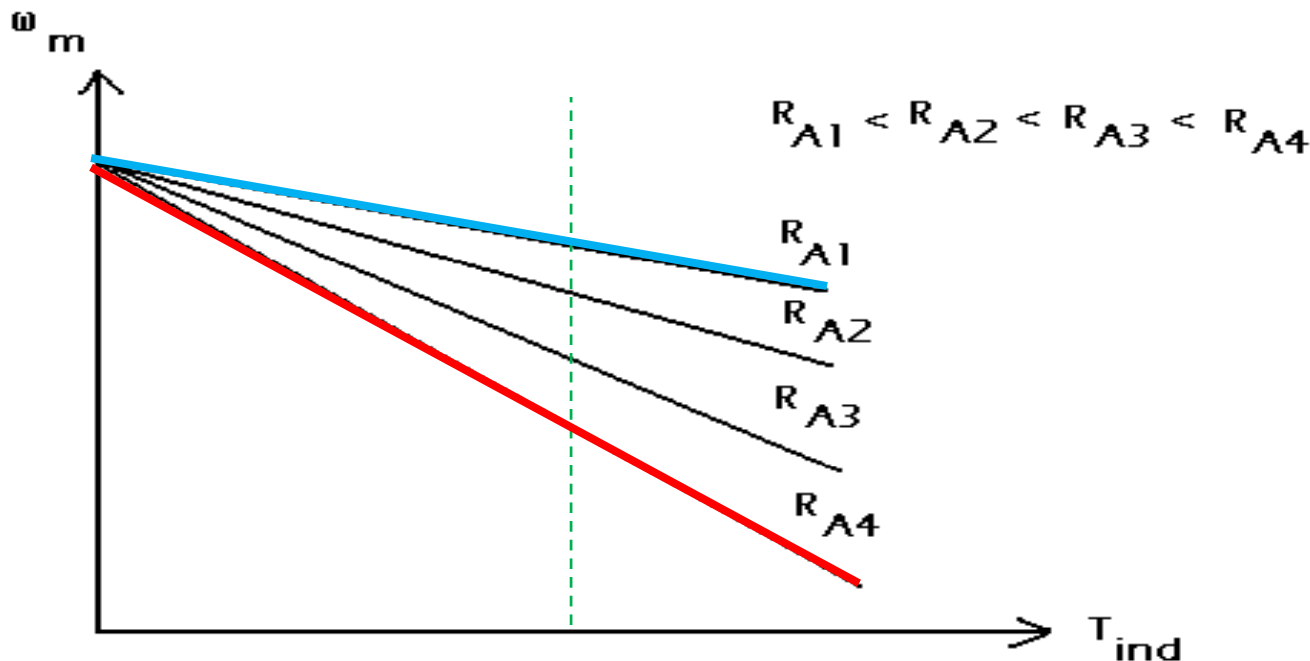
$$\omega = \frac{V_T}{k\phi} - \frac{\tau_{ind}}{(k\phi)^2} R_A$$

## ماشینهای DC

### کنترل سرعت موتورهای DC شنت: گذاشتن مقاومت سری در مدار آرمیچر

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

- ❖ اگر مقاومتی با مدار آرمیچر سری شود، شیب مشخصه گشتاور - سرعت موتور به شدت زیاد می شود.
- ❖ تغییر شیب باعث می شود که موتور دارای بار کندتر بچرخد.
- ❖ این روش یک روش اسرافکارانه است زیرا تلفات در مقاومت گذاشته شده بسیار زیاد است.
- ❖ فقط در مواردی که ارزانی مساله مهمی است یا موتور اکثر اوقات با سرعت کامل کار می کند، از این روش استفاده می شود.



## ماشینهای DC

### کنترل سرعت موتورهای DC شنت:

❖ معمولاً از دو روش کنترل سرعت متداول، به صورت مکمل هم استفاده می شود.

❖ برای سرعت های کمتر از سرعت پایه روش ولتاژ آرمیچر و برای سرعت های بزرگتر از سرعت پایه روش کنترل میدان مناسب است.

❖ محدودیت گشتاور و توان در ماشینهایی که به این دو روش کنترل می شوند بسیار متفاوت است. عامل محدود کننده در هر دو حالت گرمای تولید شده در سیم پیچی آرمیچر است که حد بالایی را برای اندازه جریان آرمیچر تعیین می کند.

## ماشینهای DC

### کنترل سرعت موتورهای DC شنت:

❖ در روش کنترل ولتاژ آرمیچر شار موتور ثابت است بنابراین **ماکزیمم گشتاور موتور ثابت است و مستقل از سرعت چرخش است و مقدار ثابتی دارد.**

$$\tau_{\max} = K\phi I_{A,\max}$$

❖ در این روش ماکزیمم توان خروجی موتور با سرعت کار آن نسبت مستقیم دارد.

$$P_{\max} = \tau_{\max} \omega_m$$

❖ در موتور کنترل شده با مقاومت میدان، شار تغییر می کند. بنابراین به ازای حداکثر جریان آرمیچر، گشتاور القایی کاهش می یابد. بنابراین **حداکثر توان خروجی یک موتور dc کنترل شده با جریان میدان ثابت است و گشتاور حداکثر با عکس سرعت موتور تغییر می کند.**

# ماشینهای DC

## کنترل سرعت موتورهای DC شنت:

