

ادامه ماشینهای DC

ماشینهای DC

اثر باز بودن مدار میدان:

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

❖ قطع جریان سیم پیچی میدان باعث می شود سرعت موتور به شدت افزایش یابد.

❖ در مدارهای راه انداز و محافظ موتورهای dc معمولاً یک رله، موسوم به **رله قطع میدان** گذاشته می شود تا در صورت قطع مدار میدان موتور را از خط جدا کند.

❖ در موتورهای dc موازی معمولی که با میدانهای کم کار می کنند در صورتی که اثر عکس العمل آرمیچر به حد کافی شدید باشد، افزایش بار می تواند شار را آنقدر تضعیف کند که منجر به افزایش سرعت موتور شود.

ماشینهای DC

اثر باز بودن مدار میدان:

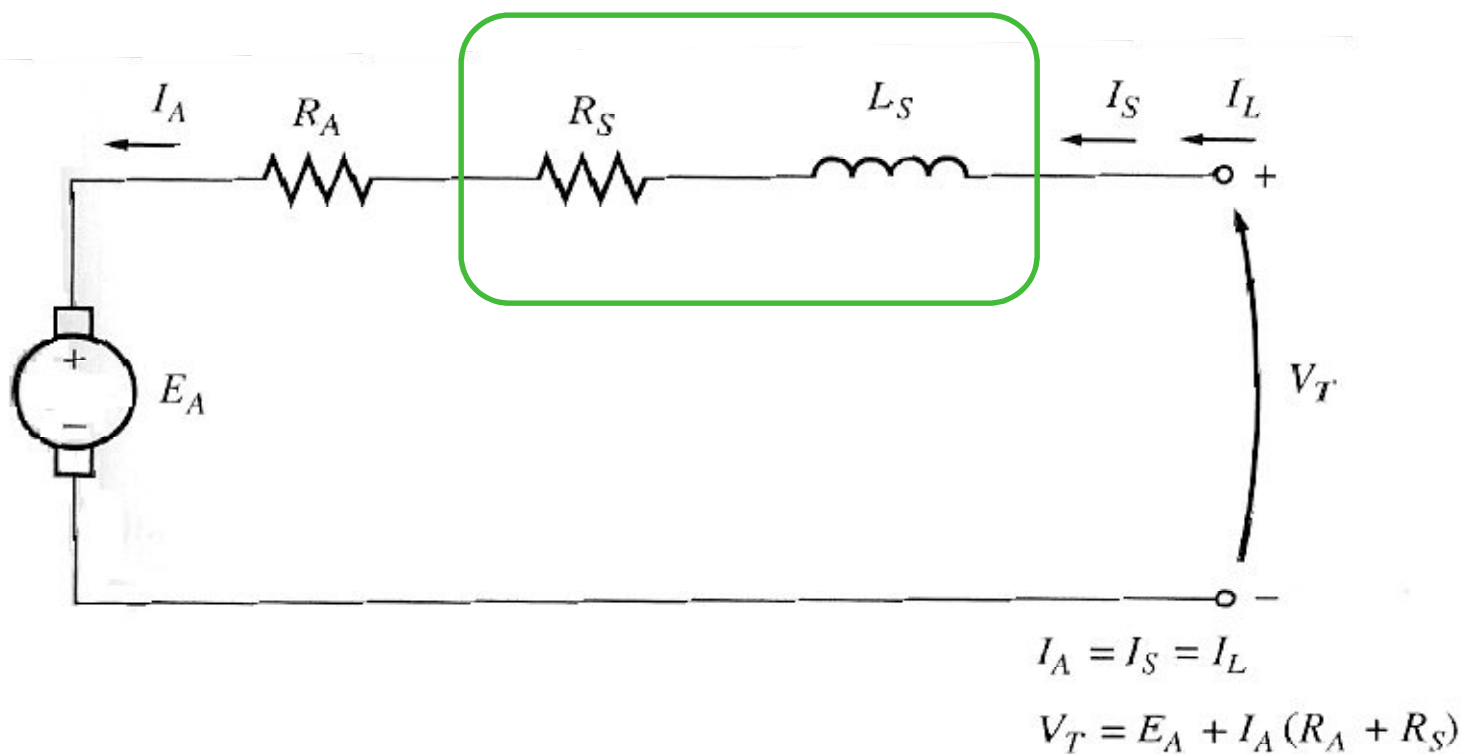
$$\omega = \frac{V_T}{k\phi} - \frac{\tau_{ind}}{(k\phi)^2} R_A$$

❖ منحنی گشتاور-سرعت اکثر بارها به نحوی است که گشتاور نیز با افزایش سرعت زیاد می شود، بنابراین افزایش سرعت باعث افزایش بار شده، عکس العمل آرمیچر بیشتر می شود و شار باز هم بیشتر کاهش می یابد و سرعت بیشتر می شود و بار هم زیاد می شود و این قصه ادامه دارد تا اینکه سرعت موتور از حد بگذرد. به این پدیده **فرار** می گویند.

❖ برای حل مشکل تضعیف شار، در موتورهای گران از سیم پیچی جبران کننده استفاده می شود و در ماشینهای ارزان یکی دو دور سیم کمپوند اضافی به هر قطب اضافه می شود به این موتورها **موتور موازی پایدار شده** گفته می شود.

ماشینهای DC

موتور DC سری



ماشینهای DC

گشتاور القایی در موتور DC سری

$$\tau_{\text{ind}} = K\phi I_A, \quad \phi = cI_A$$

$$\tau_{\text{ind}} = K\phi I_A = KcI_A^2$$

❖ گشتاور این موتور با مربع جریان آرمیچر متناسب است. بنابراین در ولتاژ **ac** هم این موتور می تواند گشتاور **dc** تولید کند (موتور یونیورسال):

$$\tau_{\text{ind}} = KcI_A^2 = Kc(I_m \cos \omega t)^2 = \frac{KcI_m^2}{2} (1 + \cos 2\omega t)$$

❖ گشتاور بر واحد جریان آرمیچر موتور **DC** سری از تمام موتورهای دیگر بیشتر است.

❖ در کاربردهایی که گشتاور زیادی مورد نیاز است از این موتور استفاده می شود. مثل استارت اتومبیل، موتورهای بالابرها و موتورهای کشنده لوکوموتیوها و ...

ماشینهای DC

مشخصه پایانه ای موتور DC سری

❖ با فرض خطی بودن منحنی مغناطیس شوندگی، مشخصه خروجی را بدست می آوریم:

$$\phi = cI_A, \tau_{\text{ind}} = KcI_A^2, E_A = K\phi\omega_m$$

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

$$V_T = K(cI_A)\omega_m + I_A(R_A + R_S)$$

$$V_T = K\left(c\sqrt{\frac{\tau_{\text{ind}}}{Kc}}\right)\omega_m + \sqrt{\frac{\tau_{\text{ind}}}{Kc}}(R_A + R_S)$$

ماشینهای DC

مشخصه پایانه ای موتور DC سری

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

$$\omega_m = \frac{V_T}{\sqrt{Kc}} \frac{1}{\sqrt{\tau_{ind}}} - \frac{(R_A + R_S)}{Kc}$$

سرعت موتور با عکس جذر گشتاور متناسب است!

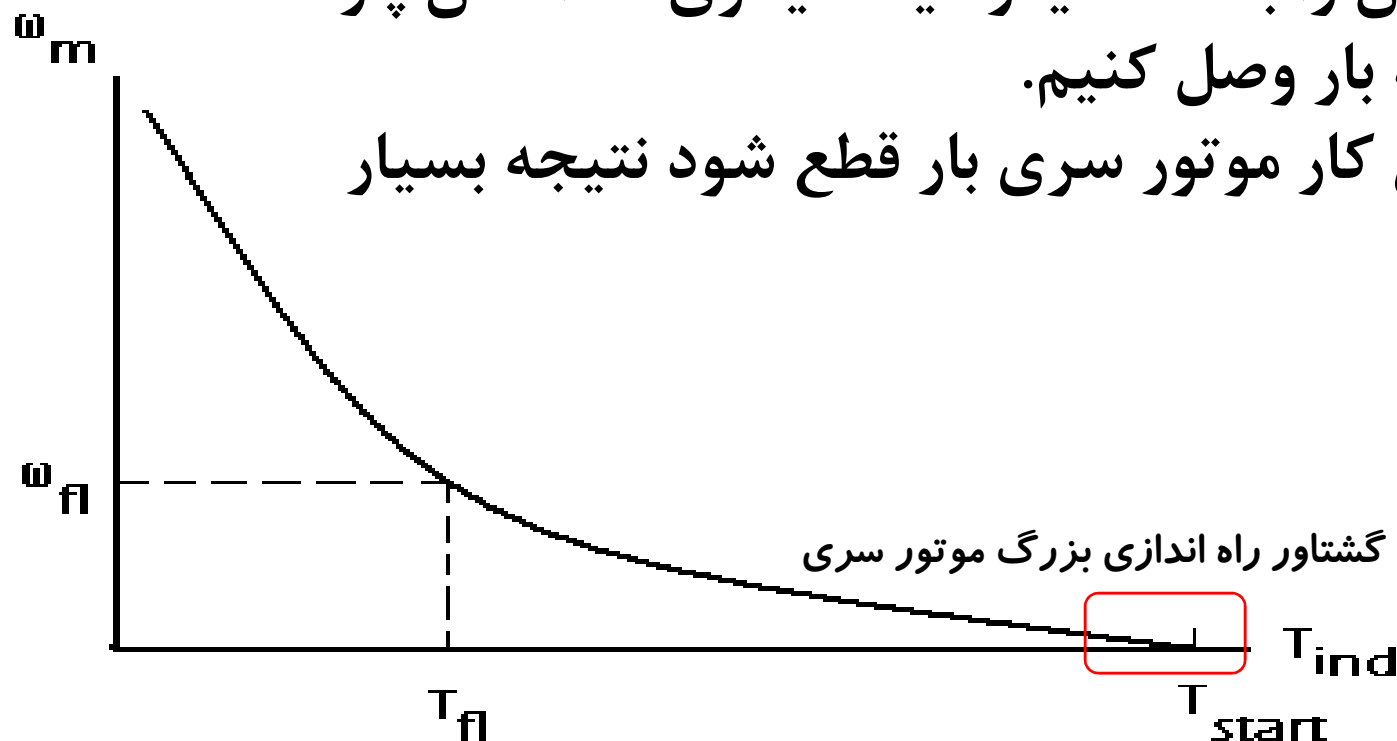
عیب موتور DC سری؟

ماشینهای DC

مشخصه پایانه ای موتور DC سری

$$\omega_m = \frac{V_T}{\sqrt{Kc}} \frac{1}{\sqrt{\tau_{ind}}} - \frac{(R_A + R_S)}{Kc}$$

- ❖ موتور DC سری نباید بی بار راه اندازی شود.
- ❖ هرگز نباید آن را با تسمه یا وسیله دیگری که امکان پاره شدن دارد به بار وصل کنیم.
- ❖ چنانچه حین کار موتور سری بار قطع شود نتیجه بسیار مخرب است.



ماشینهای DC

کنترل سرعت موتور DC سری

$$\omega_m = \frac{V_T}{\sqrt{K_c}} \frac{1}{\sqrt{\tau_{ind}}} - \frac{(R_A + R_S)}{K_c}$$

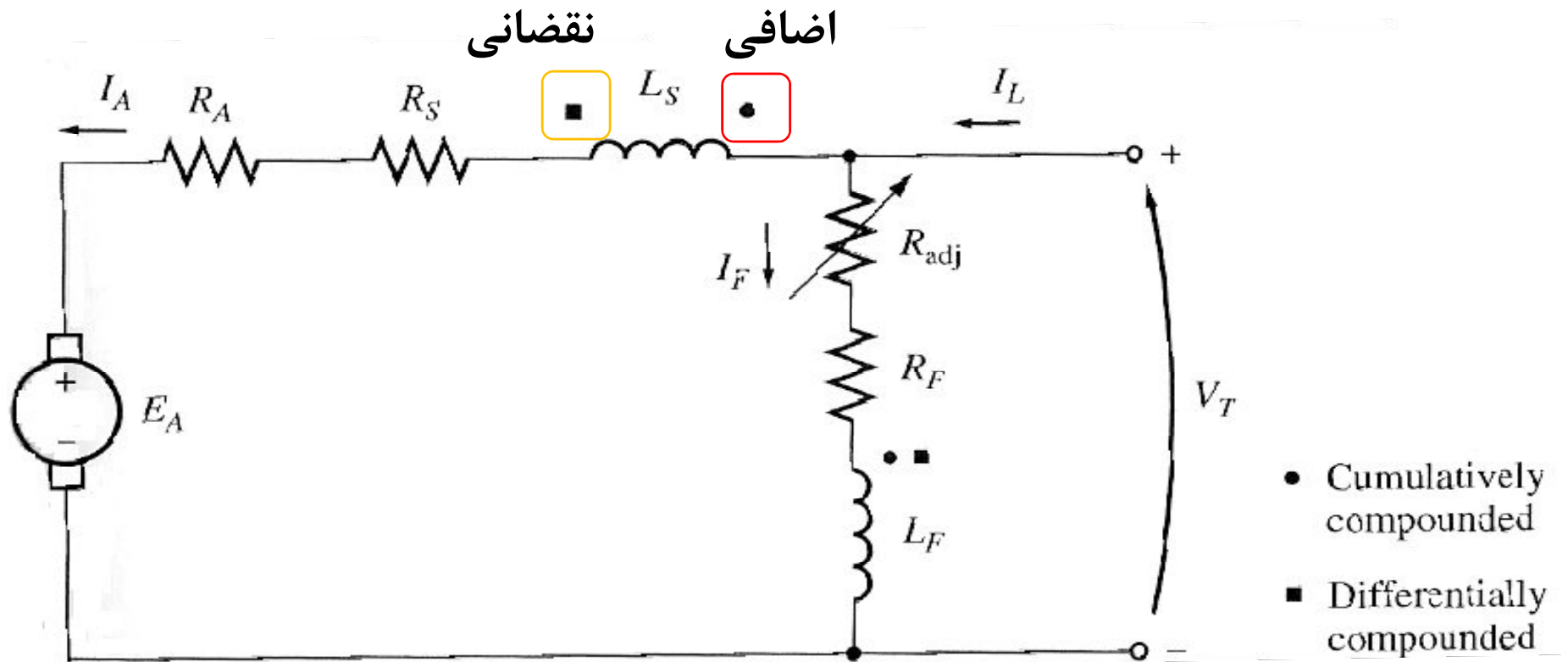
❖ تنها راه موثر برای کنترل سرعت، تغییر ولتاژ پایانه موتور است.

❖ با افزایش V_T به ازای هر گشتاور معین، سرعت افزایش می یابد.

❖ می توان با گذاشتن مقاومت سری در مدار موتور نیز می توان سرعت را کنترل کرد ولی تلفات توان در این روش زیاد است و تنها در راه اندازی برخی موتورها کاربرد دارد.

ماشینهای DC

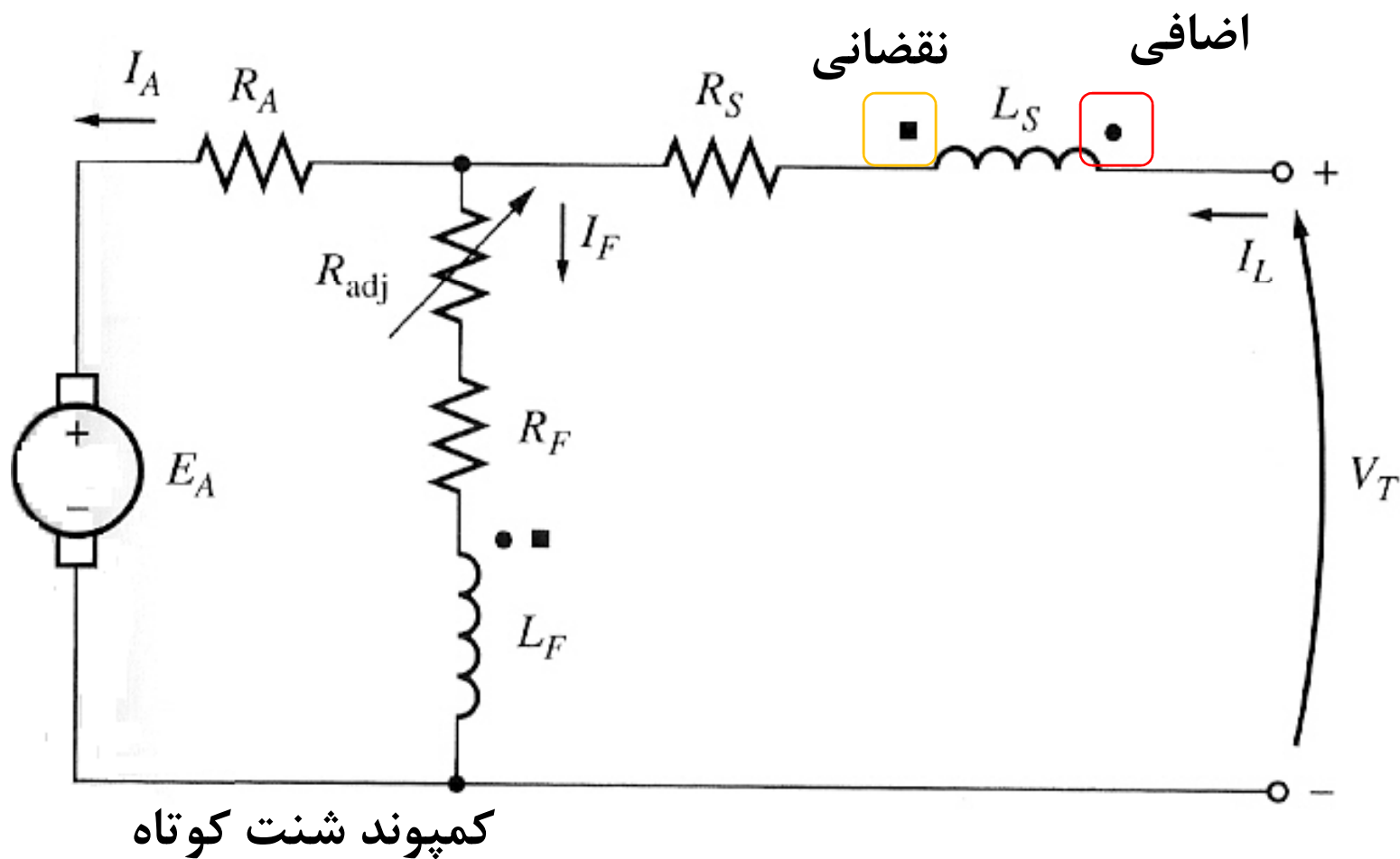
موتور DC کمپوند



کمپوند شنت بلند

ماشینهای DC

موتور DC کمپوند



ماشینهای DC

موتور DC کمپوند

جریان های موتور کمپوند:

$$I_A = I_L - I_F$$

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

نیرو محرکه مغناطیسی خالص و جریان موثر میدان موازی در موتور کمپوند:

$$F_{net} = F_F \pm F_{SE} - F_{AR}$$

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

+ : کمپوند اضافی

- : کمپوند نقصانی

ماشینهای DC

مشخصه گشتاور-سرعت موتور DC کمپوند اضافی

❖ در موتور کمپوند یک مولفه شار ثابت وجود دارد و یک مولفه که با جریان آرمیچر (جریان بار) متناسب است.

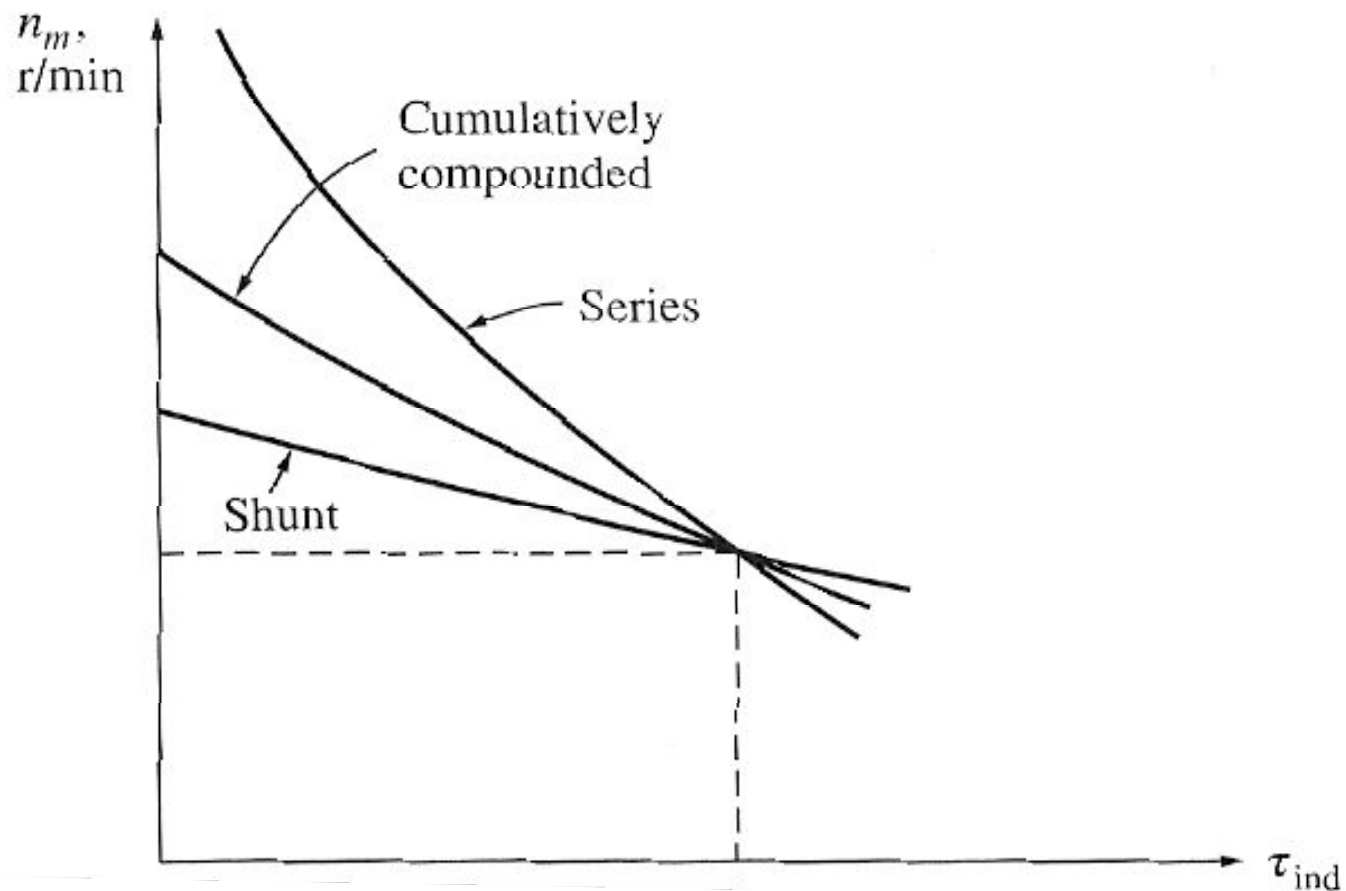
❖ موتور کمپوند اضافی نسبت به موتور شنت که شارش ثابت است، گشتاور راه اندازی بزرگتری دارد ولی گشتاور راه اندازی آن از یک موتور سری که کل شارش متناسب با جریان آرمیچر است کمتر است.

❖ موتور کمپوند مزایای موتورهای شنت و سری را هم زمان دارد. مثل **موتور سری گشتاور راه اندازی بزرگ** دارد و مثل **موتور شنت در بی باری سرعت آن از حد مجاز بیشتر** نمی شود.

❖ به ازای بارهای کم، میدان سری اثر بسیار کمی دارد، بنابراین شبیه موتور شنت رفتار می کند و با بزرگ شدن بار، شار سری کاملاً مهم می شود و مشخصه شبیه موتور سری می شود.

ماشینهای DC

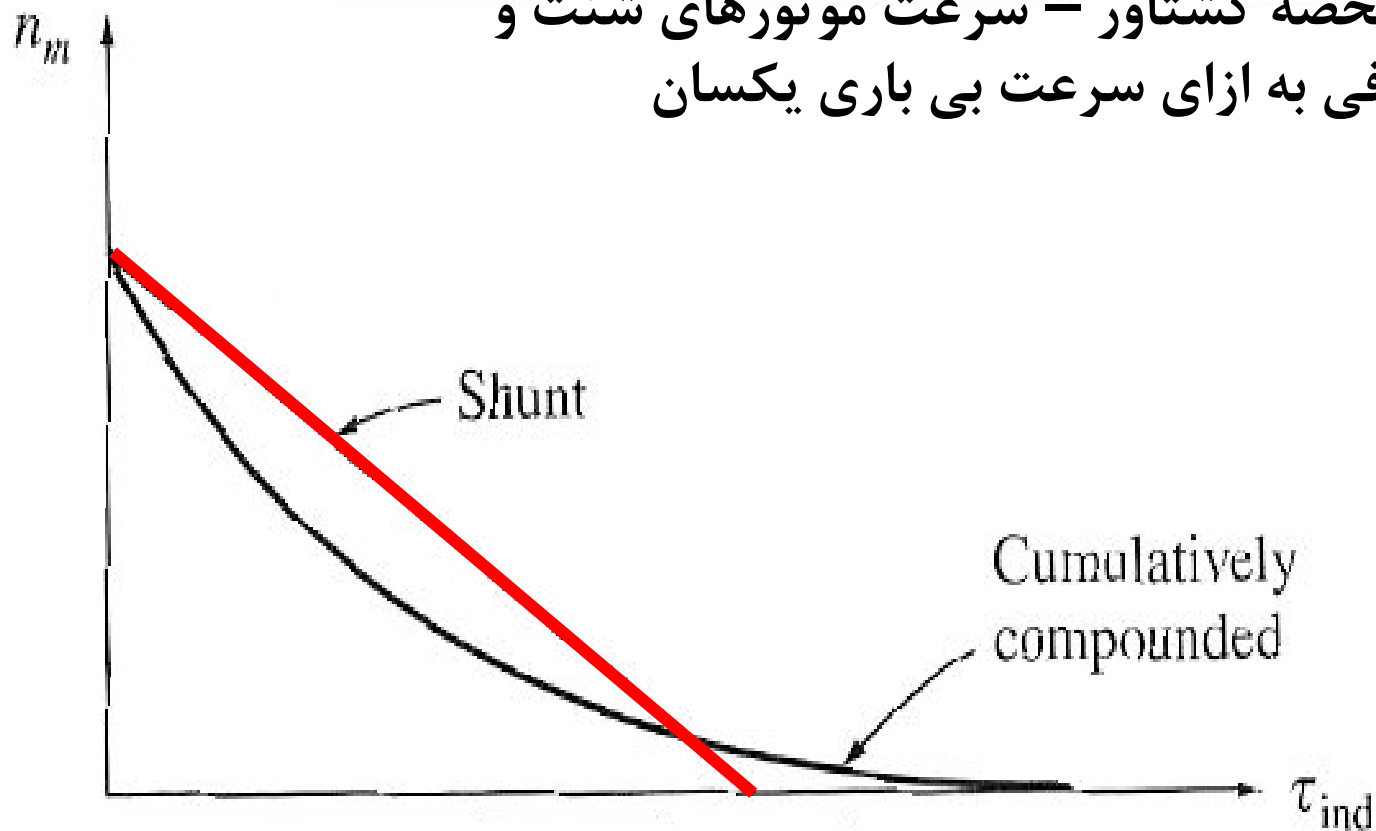
مشخصه گشتاور-سرعت موتور DC کمپوند اضافی



ماشینهای DC

مشخصه گشتاور-سرعت موتور DC کمپوند اضافی

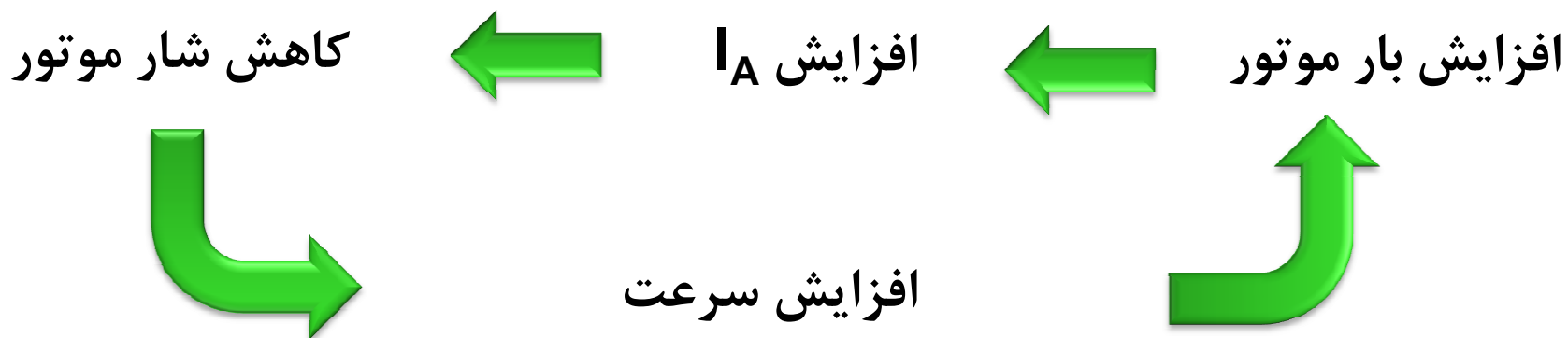
مقایسه مشخصه گشتاور-سرعت موتورهای شنت و کمپوند اضافی به ازای باری یکسان



ماشینهای DC

مشخصه گشتاور - سرعت موتور DC کمپوند نقصانی

❖ در موتور dc کمپوند نقصانی، نیرو محرکه مغناطیسی موازی و نیروی محرکه مغناطیسی سری از هم کم می شوند:

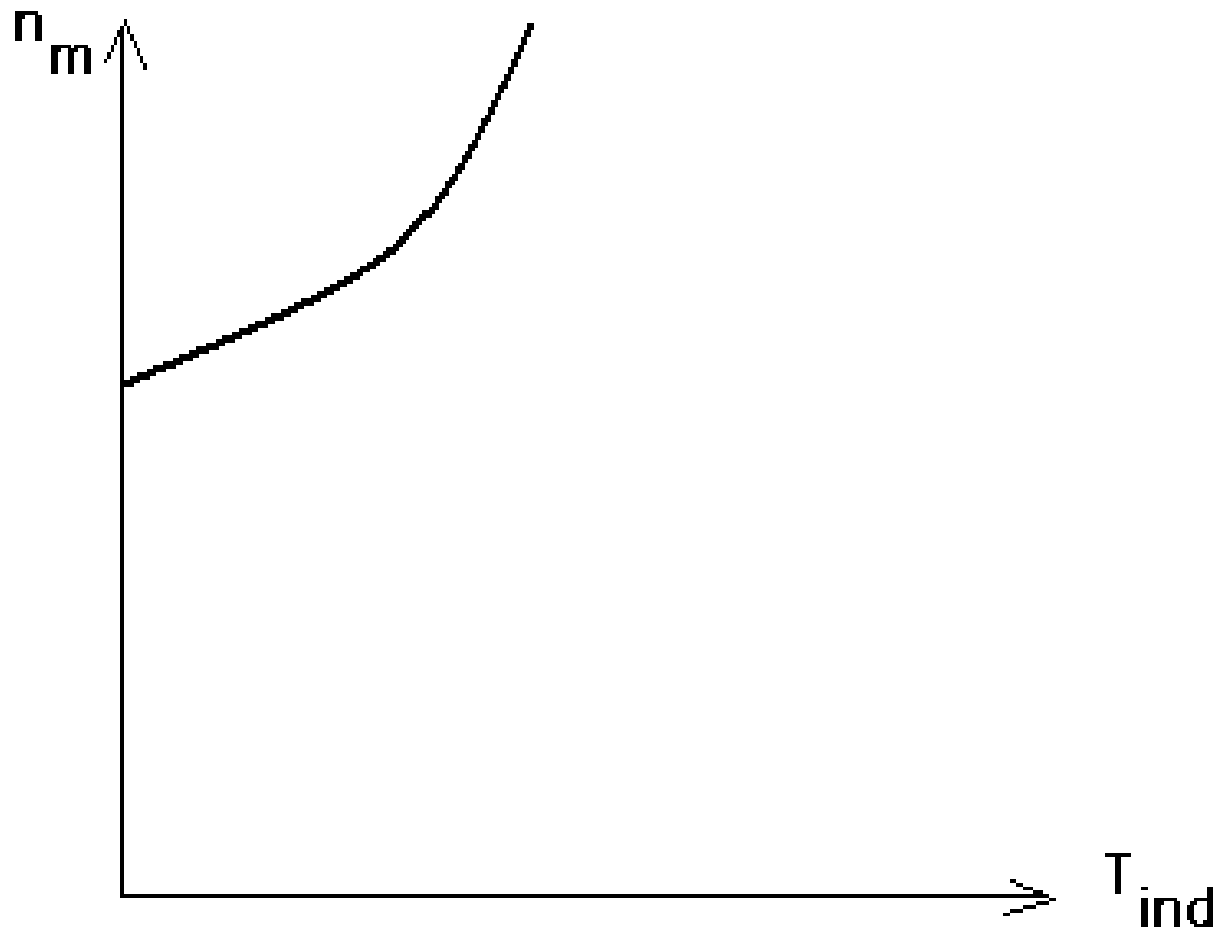


❖ موتور dc کمپوند نقصانی **ناپایدار** است و می تواند فرار داشته باشد. این ناپایداری از ناپایداری **موتور شنت** دارای عکس العمل آرمیچر **بسیار بدتر** است.

❖ این ناپایداری آنقدر بد است که این موتور را برای **هر کاربردی نامناسب** می نماید.

ماشینهای DC

مشخصه گشتاور-سرعت موتور DC کمپوند تقصانی



ماشینهای DC

مشخصه گشتاور - سرعت موتور DC کمپوند نقصانی

❖ مشکل دوم این موتور، این است که **راه اندازی** چنین موتوری ممکن نیست:

شار سری از شار موازی کم می شود و میدان سری می تواند قطبش مغناطیسی ماشین را عکس کند

در راه اندازی جریان آرمیچر و جریان میدان سری بسیار بزرگ



موتور ساکن می ماند یا به کندی در جهت عکس می چرخد

به دلیل جریان آرمیچر زیاد موتور می سوزد

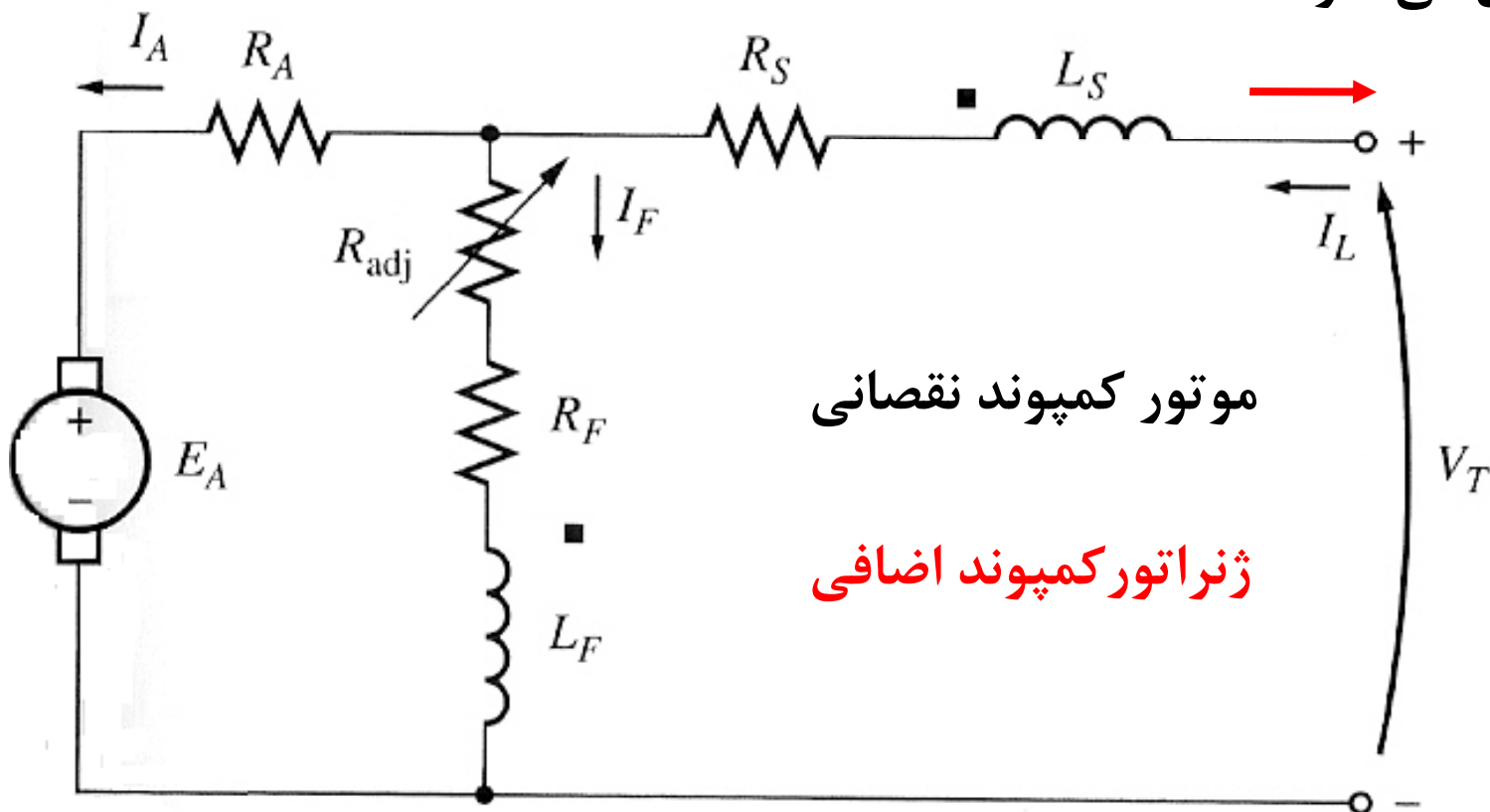


❖ برای راه اندازی موتور dc کمپوند نقصانی **باید میدان سری اتصال کوتاه شود** تا مثل یک موتور موازی معمولی راه اندازی شود.

ماشینهای DC

مشخصه گشتاور-سرعت موتور DC کمپوند نقصانی

❖ با تغییر جهت انتقال توان، ژنراتور کمپوند اضافی به موتور کمپوند نقصانی تبدیل می شود:



ماشینهای DC

مشخصه گشتاور-سرعت موتور DC کمپوند نقصانی

❖ با تغییر جهت انتقال توان، ژنراتور کمپوند اضافی به موتور کمپوند نقصانی تبدیل می شود.

❖ اگر در سیستمی برای تامین توان از ژنراتور کمپوند اضافی استفاده شود، باید رله قطع توان معکوس برای آن در نظر گرفته شود. تا در صورت معکوس شدن جهت انتقال توان آن را از خط خارج کند.

❖ در هیچ مجموعه موتور-ژنراتوری که در آن انتظار عبور توان در دو جهت وجود دارد، نباید موتور کمپوند نقصانی بکار رود. بنابراین در چنین مجموعه ای ژنراتور کمپوند اضافی نیز نباید وجود داشته باشد.

ماشینهای DC

Example:

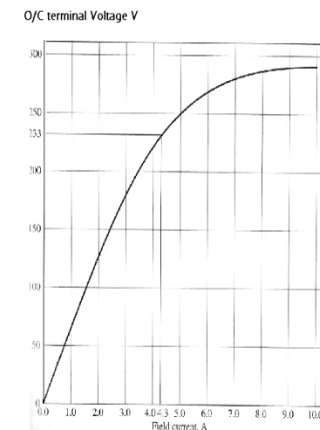
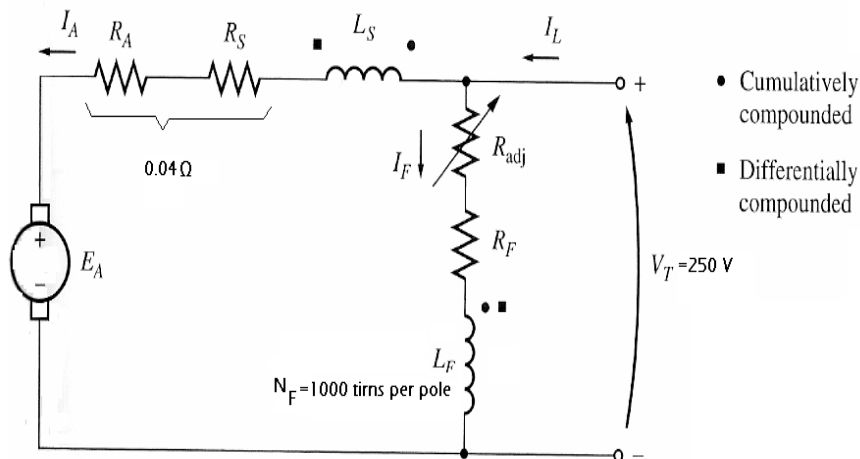
a 100 hp, 250 V compounded dc motor with compensating windings has an internal resistance, including series winding, of $0.04\ \Omega$. There are 1000 turns per pole on shunt field & 3 turns per pole on series windings

The machine shown in next figure, & its magnetization curve shown also. At no load field resistor has been adjusted to make motor run at 1200 r/min. core, mechanical & stray losses negligible

(a) what is the shunt current in this machine at no load?

(b) if motor is cumulatively compounded, find its speed when $I_A=200\text{ A}$

(c) if motor is differentially compounded, find its speed when $I_A=200\text{ A}$



ماشینهای DC

SOLUTION:

(a) At no load, $I_A=0$, so internal generated voltage equal $V_T=250$ V. & from Mag. Curve a $I_F=5$ A $\rightarrow E_A=250$ V at 1200 r/min (& $I_F=5$ A)

(b) when $I_A=200$ A flows in motor, machine's internal voltage:
 $E_A=V_T-I_A(R_A+R_S)=250-200 \times 0.04=242$ V

effective field current of cumulatively compounded motor is:

$$I_F^*=I_F+N_{SE}/N_F I_A- F_{AR}/N_F =5 +3/1000 \times 200=5.6\text{A}$$

From mag. Curve, $E_{A0}=262$ V at $n_0=1200$ r/min

therefore motor's speed will be:

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

ماشینهای DC

SOLUTION:

(c) If machine is differentially compounded,

$$I_F^* = I_F - N_{SE}/N_F I_A - F_{AR}/N_F = 5 - 3/1000 \times 200 = 4.4 \text{ A}$$

from mag. Curve

$$E_{A0} = 236 \text{ V at } n_0 = 1200 \text{ r/min} \rightarrow$$

$$n = E_A/E_{A0} \times n_0 = 242/236 \times 1200 = 1230 \text{ r/min}$$

Note:

speed of cumulatively compounded motor decreases with load, while speed of differentially compounded motor increases with load

ماشینهای DC

کنترل سرعت موتور DC کمپوند اضافی

❖ روش های کنترل سرعت همانند روشهایی است که برای موتور شنت بکار می رود:

۱: تغییر مقاومت میدان

۲: تغییر ولتاژ آرمیچر

۳: تغییر مقاومت آرمیچر

❖ به لحاظ تئوری موتور کمپوند نقصانی نیز با همین روشها قابل کنترل است ولی چون این موتورها تقریباً هیچ وقت بکار نمی روند، مطالب مربوط به آنها اهمیت ندارد.

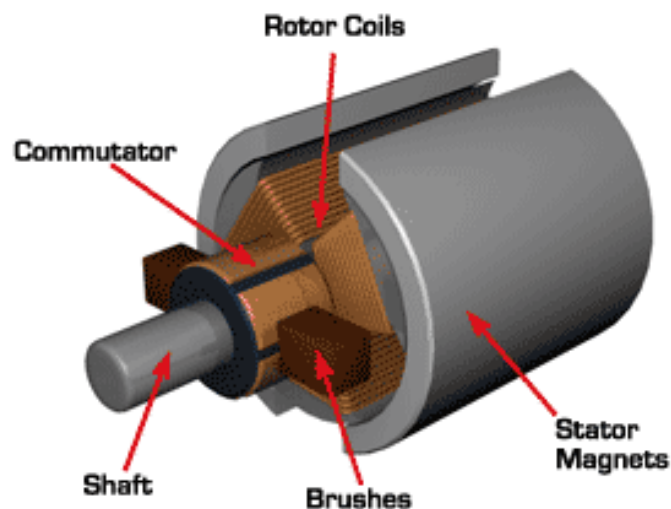
ماشینهای DC

موتور DC آهنربای دائم

❖ موتور آهنربای دائم موتوری است که قطب هایش از آهنربا ساخته شده است.

❖ معمولاً در توان کمتر از ۱۰ اسب بخار ساخته می شود ولی در سالهای اخیر تا ۱۰۰ اسب بخار هم ساخته شده است.

❖ در توان های چند دهه اسب بخار که هزینه و فضای مدار میدان توجیه پذیر نیست رایج اند.



ماشینهای DC

موتور DC آهنربای دائم

❖ مزایای موتور آهنربای دائم:

- ✓ چون سیم پیچی میدان ندارند تلفات مس میدان وجود ندارد بنابراین بازده آنها بیشتر است.
- ✓ چون سیم پیچی میدان ندارند می توانند از موتورهای DC معمولی کوچکتر، ساده تر و ارزانتر باشند.



ماشینهای DC

موتور DC آهنربای دائم

❖ معایب موتور آهنربای دائم:

✓ آهنربای دائم نمی تواند **شاری** به اندازه آنچه یک میدان موازی تولید می کند، به وجود آورد. بنابراین از دو موتور هم اندازه و با ساختمان یکسان که یکی شنت و دیگری PMDC باشد، موتور شنت به ازای یک جریان آرمیچر مشخص **گشتاور** بیشتری تولید می کند.

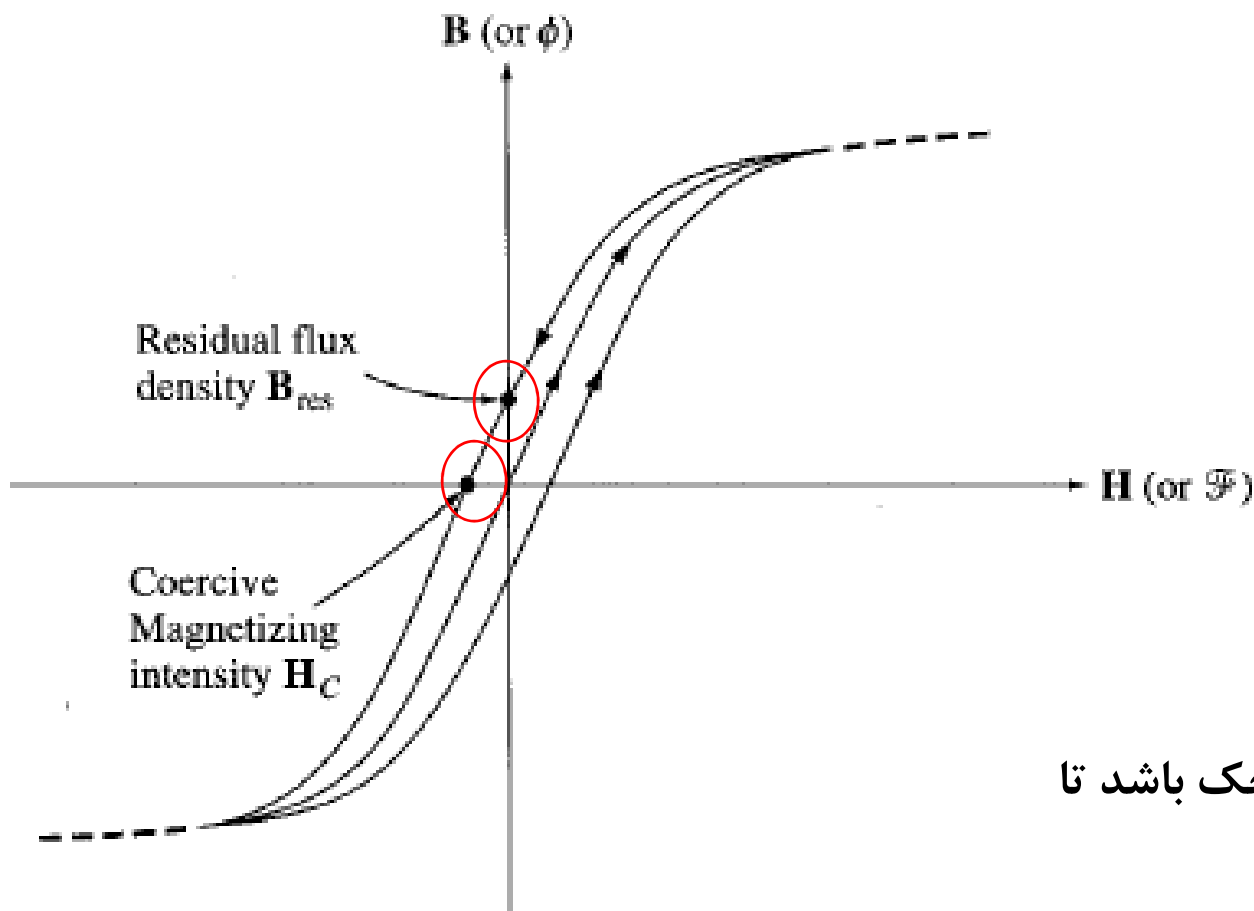
✓ موتور آهنربای دائم خطر **مغناطیس زدایی** هم دارد که می تواند ناشی از عکس العمل آرمیچر شدید یا گرمای ناشی از وضعیت های اضافه بار طولانی باشد.

✓ تنها راه **کنترل سرعت**، کنترل ولتاژ آرمیچر و سری کردن مقاومت با آرمیچر است.

ماشینهای DC

موتور DC آهنربای دائم

❖ مقایسه منحنی B-H مواد فرومغناطیس و آهنربای دائم:



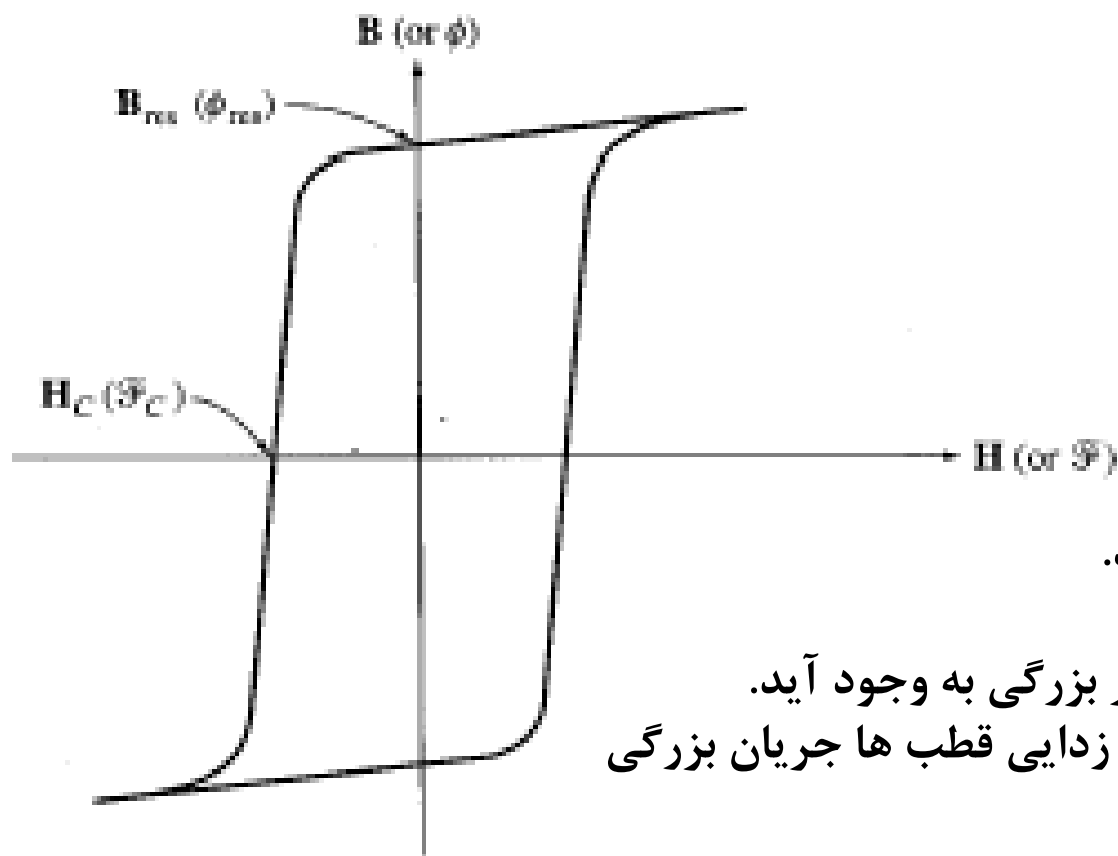
در مواد فرومغناطیس:

باید B_{res} و H_C تا حد امکان کوچک باشد تا تلفات هیستریزیس کم باشد.

ماشینهای DC

موتور DC آهنربای دائم

❖ مقایسه منحنی B-H مواد فرومغناطیس و آهنربای دائم:



در آهنربای دائم:

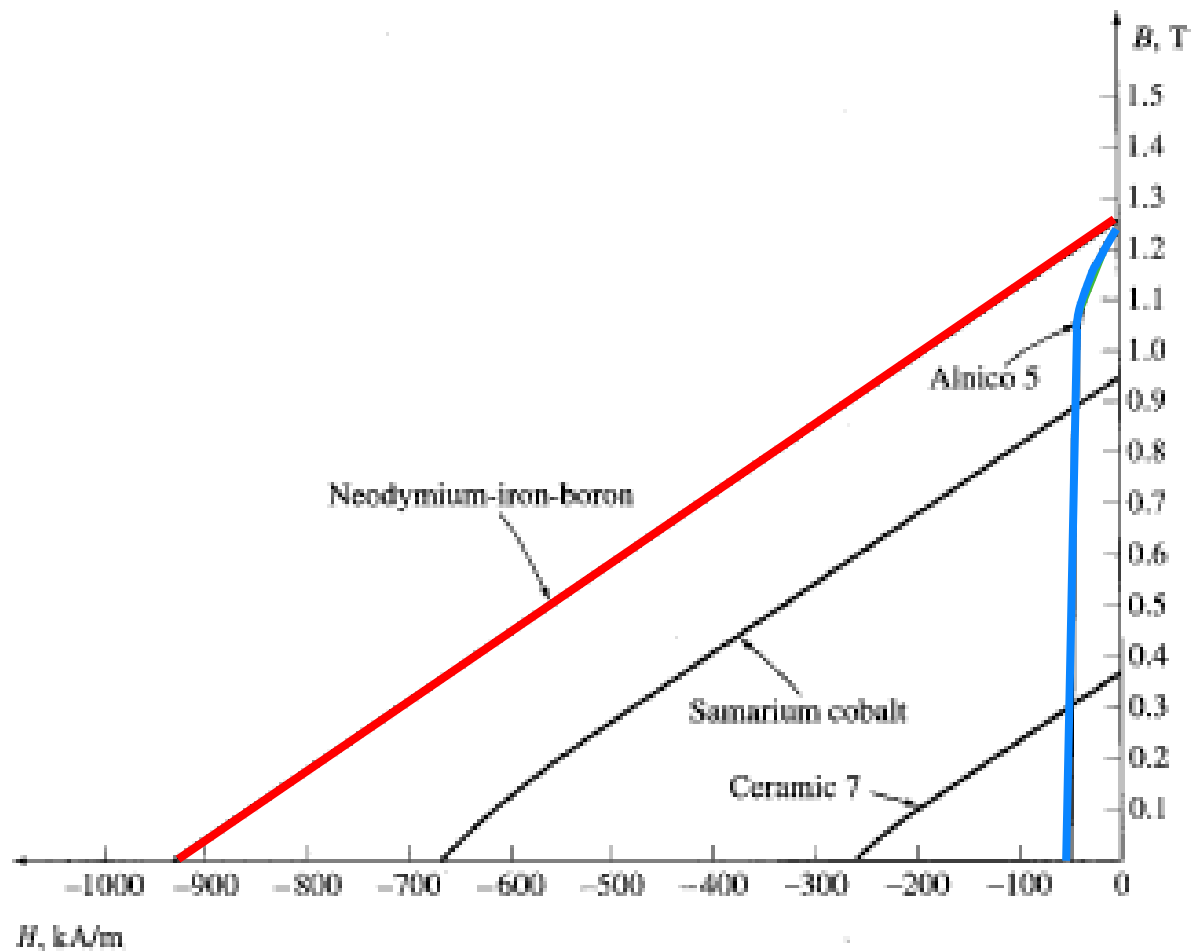
باید B_{res} و H_c تا حد امکان بزرگ باشد.

B_{res} بزرگ باعث می شود در ماشین شار بزرگی به وجود آید.
 H_c بزرگ باعث می شود برای مغناطیس زدایی قطب ها جریان بزرگی لازم باشد.

ماشینهای DC

موتور DC آهنربای دائم

❖ مقایسه آهنرباهای سرامیکی (فریت ها) و آهنرباهای عناصر خاکی نادر با آلنیکو:



راه اندازی موتور DC

❖ برای اینکه موتور DC کار خود را به نحو مناسب انجام دهد، باید وسایل کنترل و حفاظت خاصی همراه آن بکار رود. این وسایل برای مقاصد زیر بکار می روند:

- ۱: حفاظت موتور در مقابل آسیب ناشی از اتصال کوتاه شدن
- ۲: حفاظت موتور در مقابل آسیب ناشی از اضافه بار طولانی
- ۳: حفاظت موتور در مقابل آسیب ناشی از جریان راه اندازی قوی
- ۴: ایجاد راه مناسب برای کنترل سرعت کار موتور

ماشینهای DC

مشکلات راه اندازی موتور DC

❖ جریان راه اندازی موتور DC:

$$I_A = \frac{V_T - E_A}{R_A} \quad E_{A,st} = K\phi\omega_m = 0 \quad \Rightarrow \quad I_{A,st} = \frac{V_T}{R_A}$$

مقدار مقاومت آرمیچر معمولاً بسیار کوچک است (۳ تا ۶ پریونیت)

برای مثال برای یک موتور ۵۰ اسب بخار ۲۵۰ ولتی با جریان نامی ۲۰۰ آمپر، جریان راه اندازی ۲۰ برابر جریان نامی است:

$$I_A = \frac{250 - 0}{0.06} = 4167 \text{ A}$$

ماشینهای DC

مشکلات راه اندازی موتور DC

❖ جریان راه اندازی موتور DC:

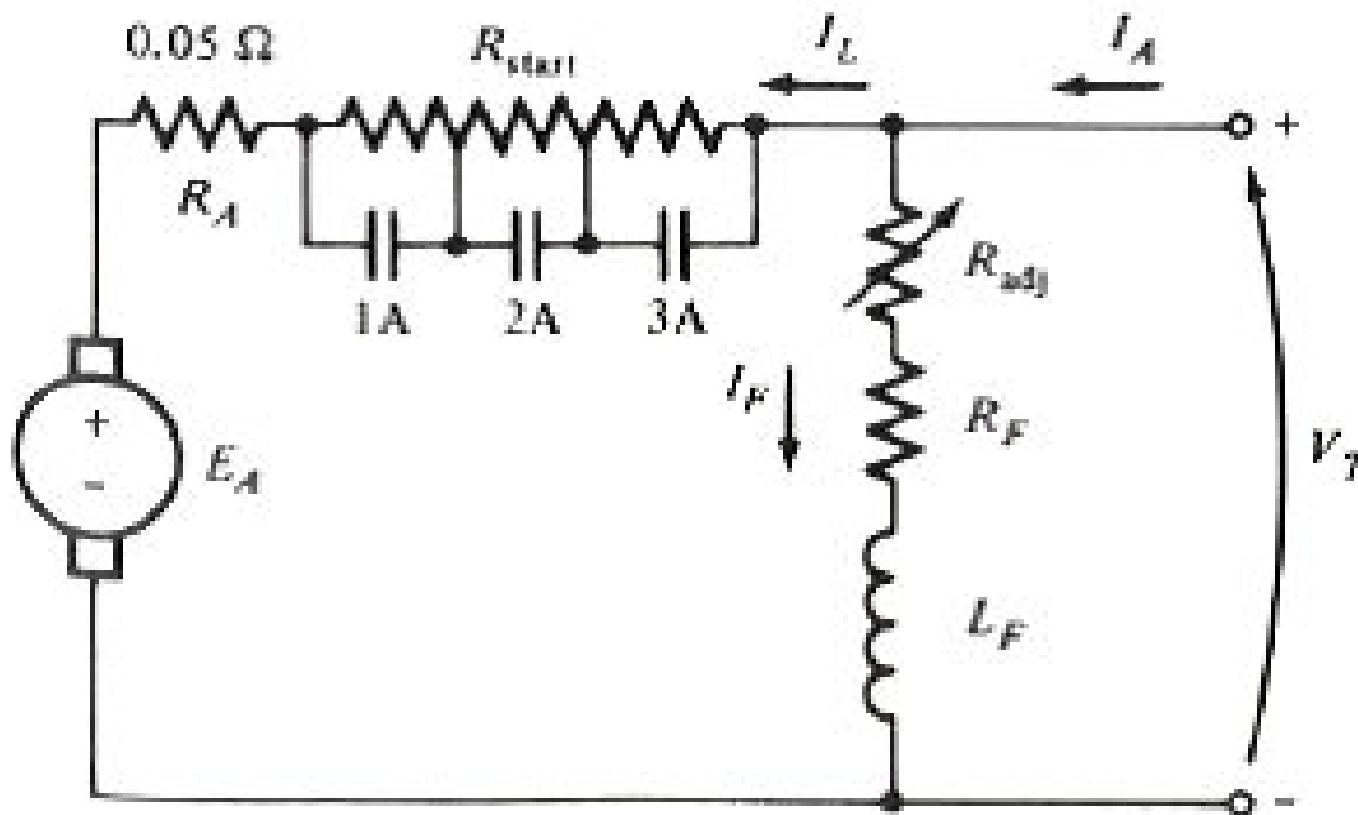
$$I_A = \frac{V_T - E_A}{R_A} \quad E_{A,st} = K\phi\omega_m = 0 \quad \Rightarrow \quad I_{A,st} = \frac{V_T}{R_A}$$

راه حل:

- ۱: ولتاژ ترمینال را کم کم افزایش دهیم تا جریان راه اندازی محدود شود.
- ۲: مقاومت بزرگی را با مدار آرمیچر سری کنیم و پس از راه اندازی به تدریج از مدار خارج نماییم.

ماشینهای DC

مشکلات راه اندازی موتور DC



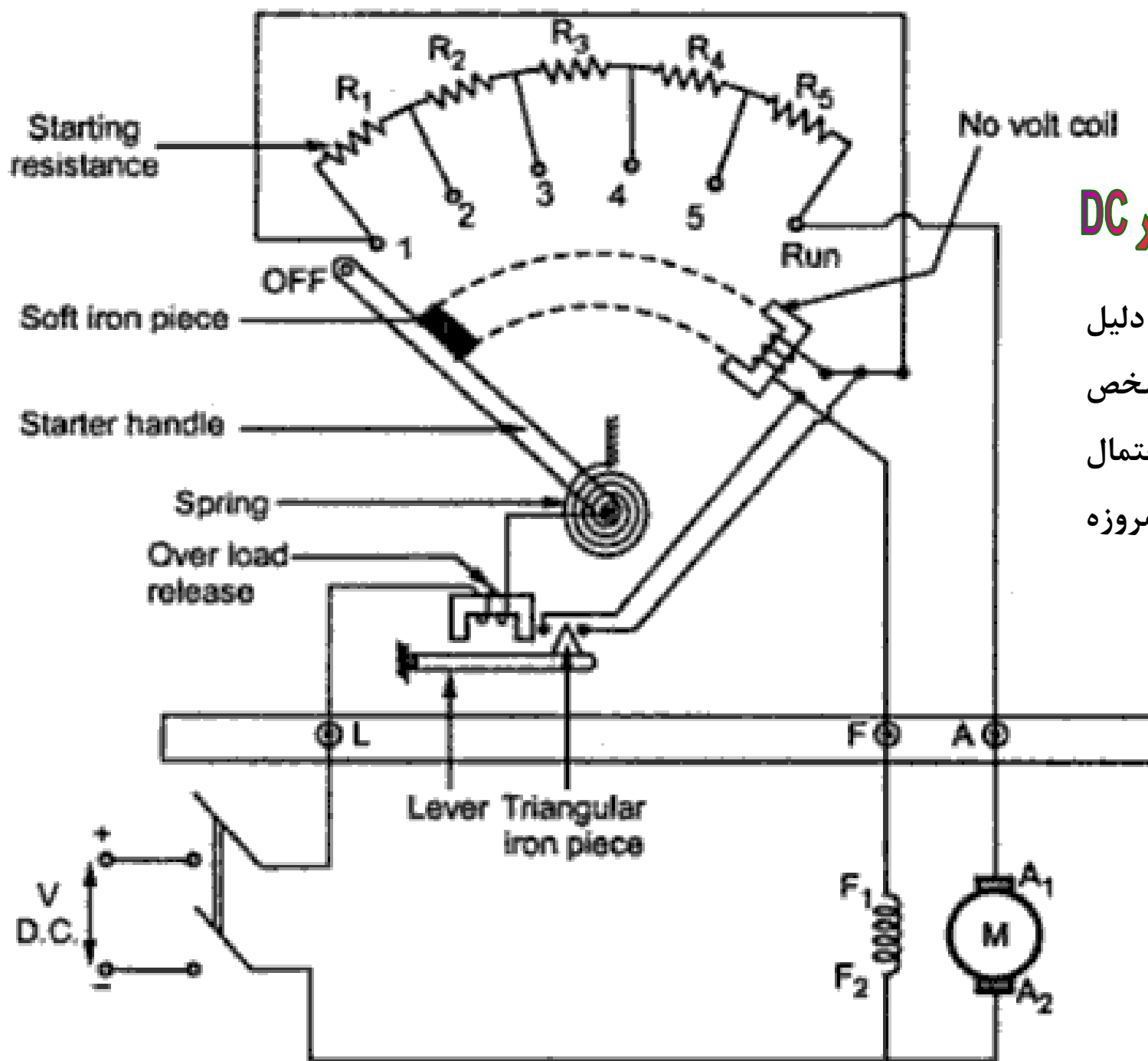
ماشینهای DC

مشکلات راه اندازی موتور DC

❖ باید مقاومتی در مدار آرمیچر گذاشته شود تا هنگام راه اندازی جریان را محدود کند و با افزایش سرعت از مدار خارج شود. این مقاومتها به نحوی انتخاب می شوند که جریان موتور به حد قابل اطمینانی محدود شود و در عین حال جریان آنقدر کم نشود که شتاب موتور را بگیرد.

❖ برای ساختن یک راه انداز عملی باید دو کار انجام شود:

- ۱: انتخاب تعداد و اندازه مقاومتهای لازم برای مقید کردن جریان راه اندازی به مقادیر مطلوب
- ۲: طراحی مدار کنترلی که کنتاکتها را در زمان مناسب ببندد (اگر مقاومتها زود از مدار خارج شوند جریان زیاد خواهد بود و اگر خیلی کند خارج شوند احتمال سوختن مقاومت وجود دارد)



مشکلات راه اندازی موتور DC

❖ راه انداز دستی به دلیل وابسته بودن به شخص استفاده کننده و احتمال خطای انسانی امروزه استفاده نمی شوند:

ماشینهای DC

Example:

A 10kW, 100V, 1000rpm, separately excited DC motor has $R_a = 0.1 \Omega$

A: Calculate the rated current and torque, and starting current and torque at full voltage

B:How can you reduce the starting current to 2 times the rated current?

B-1- using external resistance

B-2- Using reduced armature voltage

ماشینهای DC

Solution-A:

$$I_{rated} = \frac{P_{rated}}{V_a} = \frac{10000}{100} = 100 \text{ A}$$

$$T_{rated} = \frac{P_{rated}}{\omega_{rated}} = \frac{10000}{1000 \times \frac{2\pi}{60}} = 95.5 \text{ N.m}$$

$$I_{start} = \frac{V_a}{R_a} = 1000 \text{ A}$$

$$\frac{T_{start}}{T_{rated}} = \frac{I_{start}}{I_{rated}} = \frac{1000}{100} \Rightarrow T_{start} = 10T_{rated} = 955 \text{ N.m}$$

ماشینهای DC

Solution-B-1:

:

$$R_{st} + R_a = \frac{V_t}{I_{st}}$$

$$R_{st} = \frac{V_t}{I_{st}} - R_a = \frac{100}{2 \times 100} - 0.1 = 0.4 \Omega$$

Solution-B-2:

$$V_{st} = I_{st} R_a = 2 \times 100 \times 0.1 = 20 \text{ V}$$