وزارت علوم، تحقیقات و فناوری

**دانشگاه جیرفت**

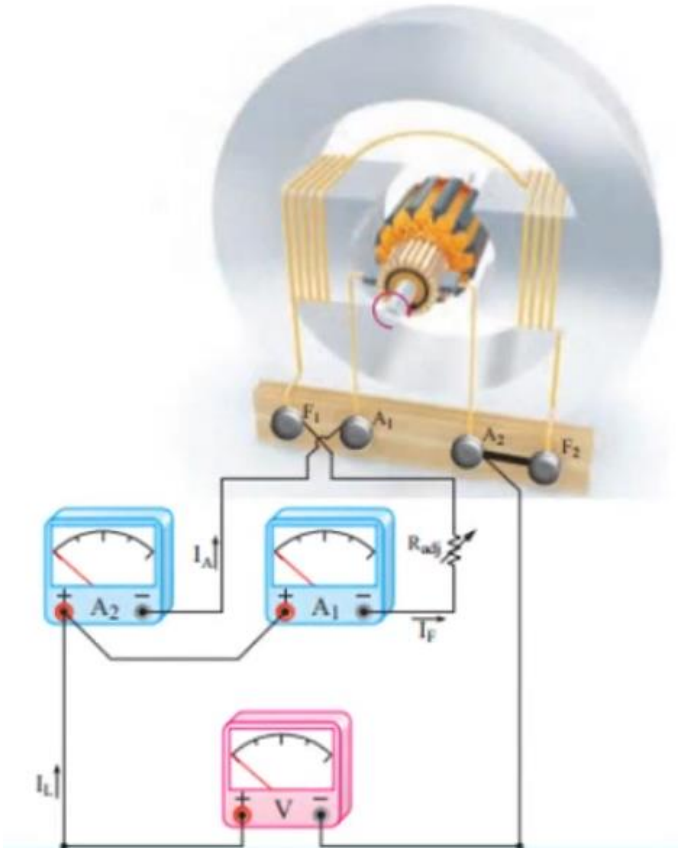
# مبانی برق ۲

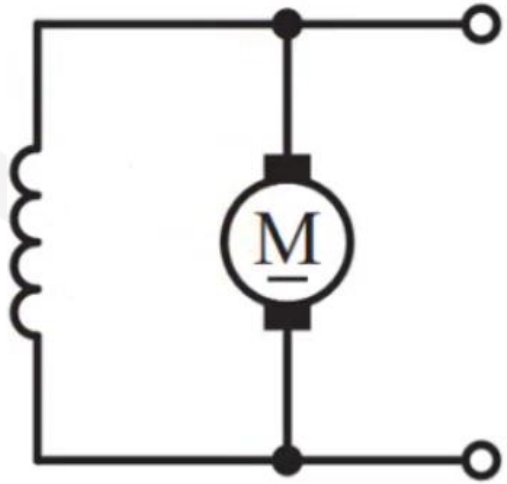
جلسه ۱۱

مدرس: دکتر محمد هاشمی‌نژاد

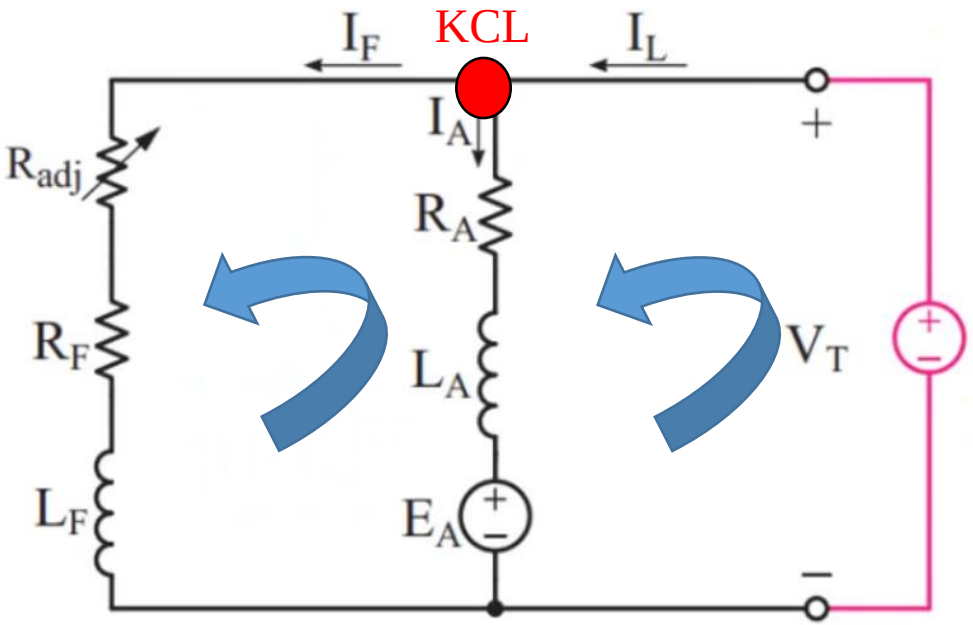
# موتورهای جریان مستقیم – تحریک شنت

- سیم پیچ تحریک موازی با آرمیچر بسته می شود.
- برای تنظیم جریان تحریک $R_{adj}$ وجود دارد.
- آمپرمتر $A_1$ جریان تحریک
- آمپرمتر $A_2$ جریان آرمیچر



# موتورهای جریان مستقیم - تحریک شنت




- مدار معادل الکتریکی
- مدلسازی الکتریکی سیمپیچ تحریک:
  - $R_F, L_F$
- مدلسازی الکتریکی سیم‌پیچ آرمیچر:
  - $R_A, L_A, E_A$

KCL: $I_L = I_A + I_F$ (1)

KVL: $-E_A - R_A I_A + (R_F + R_{adj}) I_F = 0$

$E_A + R_A I_A = (R_F + R_{adj}) I_F$

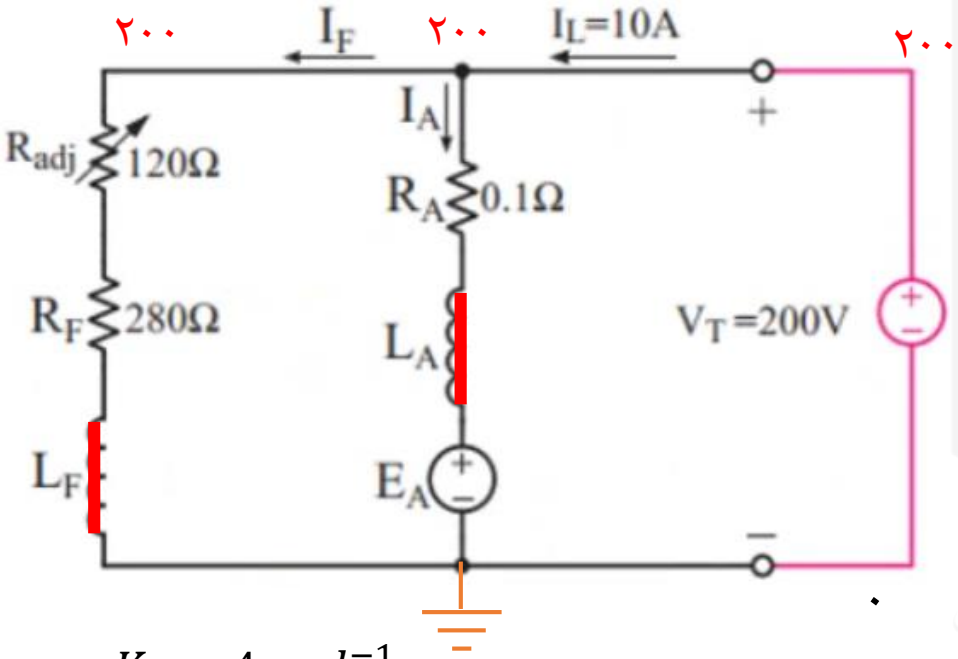
KVL: $-V_T + R_A I_A + E_A = 0$

$V_T = R_A I_A + E_A$

$P_{CuA} = R_A I_A^2$ $P_{in} = V_T I_L$ $P_{conv} = E_A I_A$

# مثال

- موتور DCشنت ۲۰۰ ولت، ۱۰ آمپر با مدار معادل شکل زیر مفروض است . مطلوب است:
- جریان مدار تحریک
- نیروی محرکه القایی
- تلفات تحریک و آرمیچر
- سرعت موتور
- گشتاور بار (تلفات ثابت ۲۰۰ وات فرض شود)




$$K = 4\,rad^{-1}$$

$$\varphi(IF) = 500\,(1 - e^{-2I_F})\,mWeber$$

وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
دانشگاه جیرفت

# حل

$$I_F = \frac{۲۰۰}{۱۲۰+۲۸۰} = ۰/۵\,A \qquad I_L = I_A + I_F \Rightarrow I_A = ۱۰ - ۰/۵ = ۹/۵\,A$$

$$E_A = V_T - R_A I_A = ۲۰۰ - ۰/۱ \times ۹/۵ = ۱۹۹/۰۵\,V$$

$$P_{CuA} = R_A I_A^۲ = ۰/۱ \times ۹/۵^۲ = ۹۰۲۵\,W \longrightarrow P_{cu} = ۱۰۹/۰۲۱\,W$$

$$P_{CuF} = (R_F + R_{adj})\, I_F^۲ = ۴۰۰ \times ۰/۱۲۵ = ۱۰۰\,W$$

$$\varphi = ۵۰۰(۱ - e^{-۲ \times ۰/۵}) = ۵۰۰(۱ - e^{-۱}) = ۳۱۵\ mwb$$

$$\omega = \frac{E_A}{K\varphi} = \frac{۱۹۹/۰۵}{۴ \times ۰/۰۳۱۵} = ۱۵۷/۴۸^{rad/s} = ۱۵۰۹/۳۲\ RPM$$

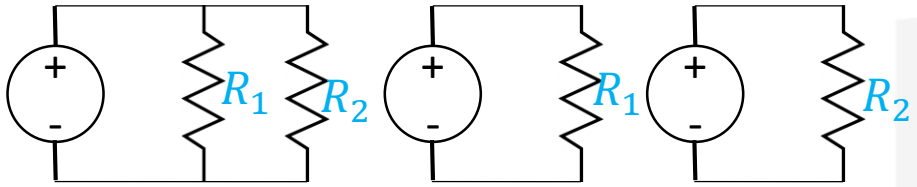
# ادامه حل

$$T_L = \frac{P_{out}}{\omega} = \frac{P_{in} - \Delta P}{\omega} = \frac{V_T I_L - (P_{cu} + P_{\text{متغیر}})}{\omega}$$

$$= \frac{۲۰۰ \times ۱۰ - (۲۰۰ + ۱۹/۰۲۵)}{۱۵۷/۹۸} = ۱۰/۷۰۴ \, N.m$$

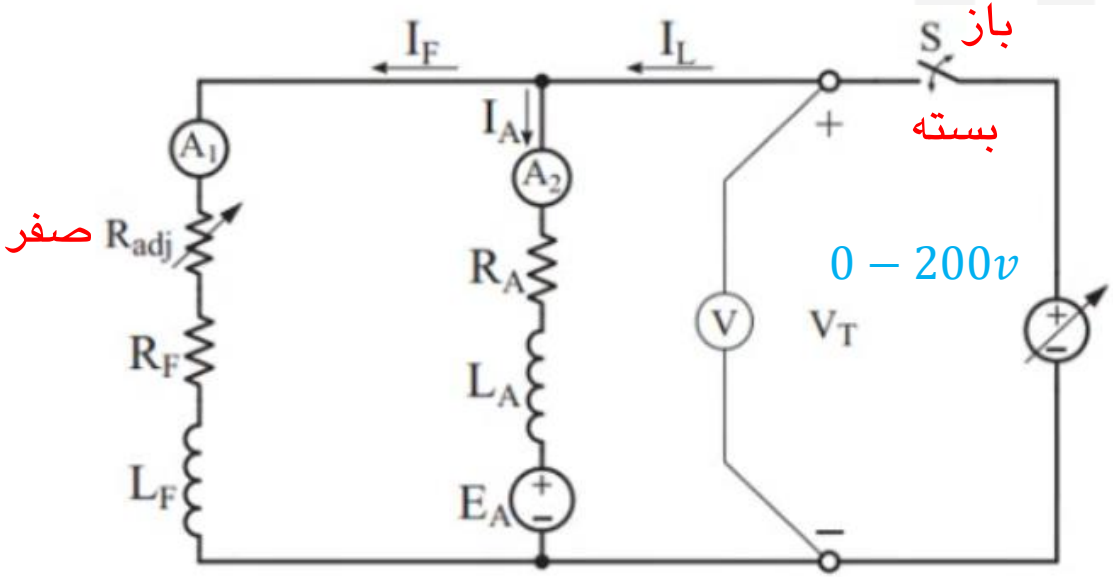
وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
دانشگاه جیرفت

# موتورهای جریان مستقیم - تحریک شنت



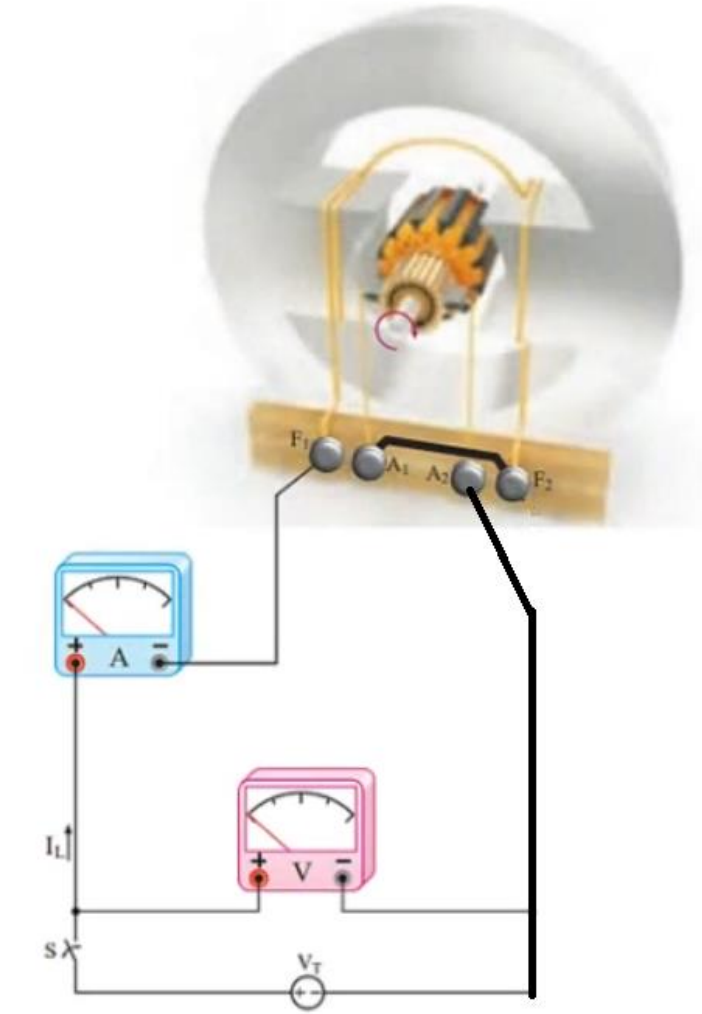

- راه اندازی
- قبل از راه اندازی به پلاک موتور مراجعه کنید.
- منحنی مشخصه های موتور تحریک مستقل و شنت یکسان است، چرا؟
- تفاوت در گشتاور راه اندازی

$$T_A = K\varphi I_A$$

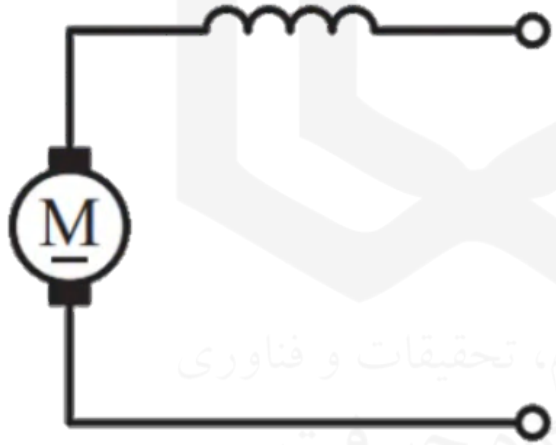



وزارت علوم، تحقیقات
دانشگاه جیر

# موتورهای جریان مستقیم - تحریک سری



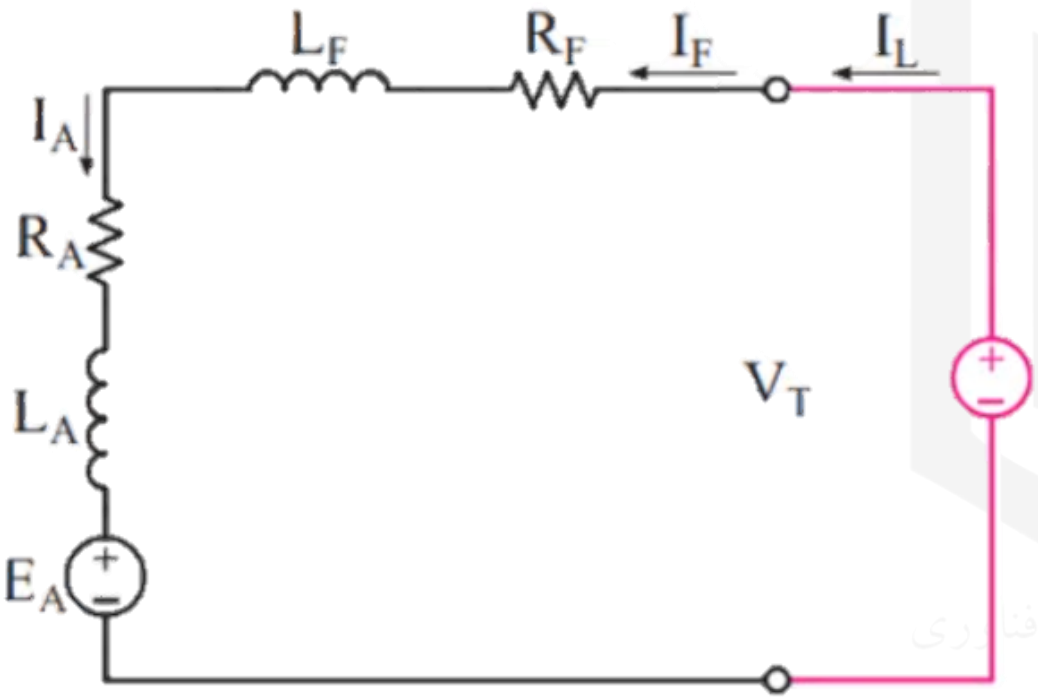

- سیم پیچ تحریک با آرمیچر سری بسته می شود .
- تعداد دور سیم پیچ تحریک کم است
- ولی ضخامت هادی های آن زیاد است.




وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
دانشگاه جیرفت

# موتورهای جریان مستقیم - تحریک سری

- مدار معادل الکتریکی




$$kvl: \quad -V_T + (R_F + R_A) I_A + E_A = 0$$

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

وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
دانشگاه جیرفت

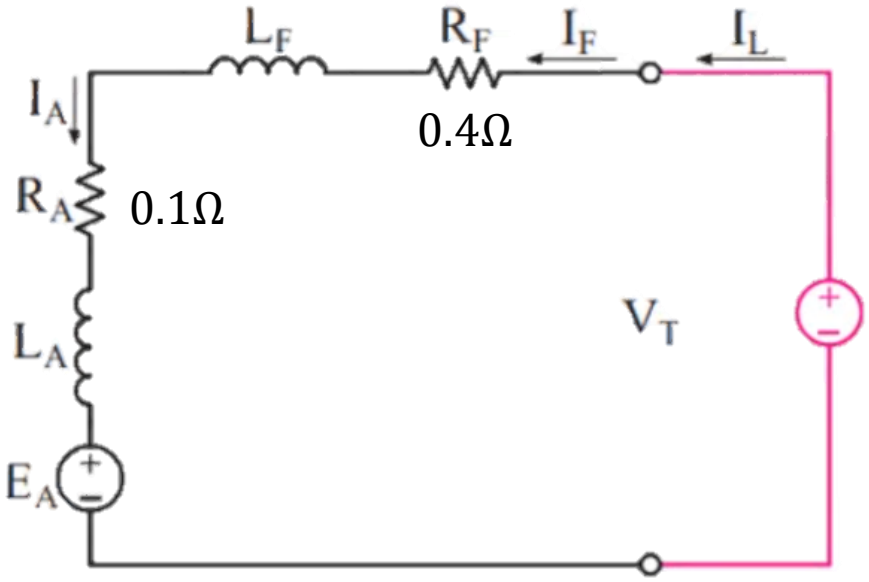
# مثال

- موتور DC سری ۲۰۰ ولت، ۱۰ آمپر با مدار معادل شکل زیر مفروض است . مطلوب است :
- سرعت موتور
- گشتاور بار (تلفات ثابت ۲۰۰ وات فرض شود)

$V_T = 200v$

$K = 4rad^{-1}$

$\varphi(I_F) = 500(1 - e^{-2I_F})\ mWeber$



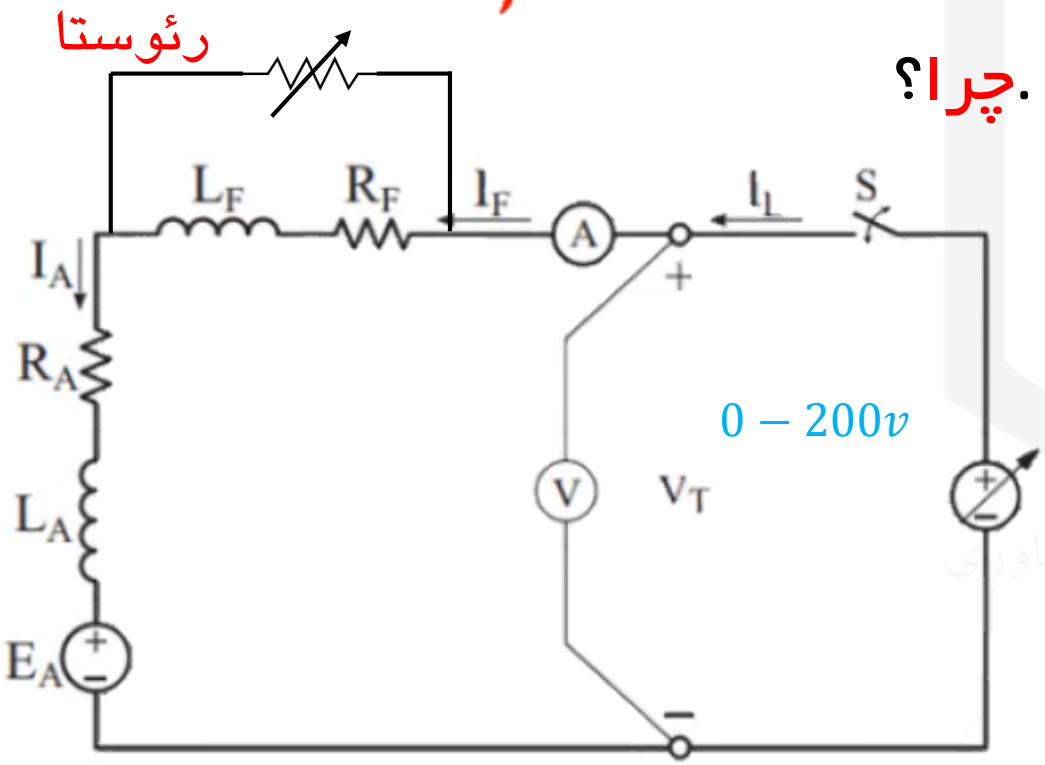

$$\omega = \frac{E_A}{K\varphi}$$

$$E_A = V_T - (R_A + R_F) I_A = ۲۰۰ - ۰٫۵ \times ۱۰ = ۱۹۵V$$

$$T_L = \frac{P_{out}}{\omega} = \frac{۲۰۰ \times ۱۰ - (۲۰۰ + ۰٫۵ \times ۱۰^{۲})}{۹۷٫۵} = \frac{۱۷۵۰}{۹۷٫۵} = ۱۷٫۹۵\ Nm$$

# موتورهای جریان مستقیم - تحریک سری

$$\omega = \frac{E_A}{K\varphi}$$




- راه اندازی
- قبل از راه اندازی به پلاک موتور مراجعه کنید .
- دقت کنید حتما با بار موتور را راه اندازی کنید .چرا؟

وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
دانشگاه جیرفت

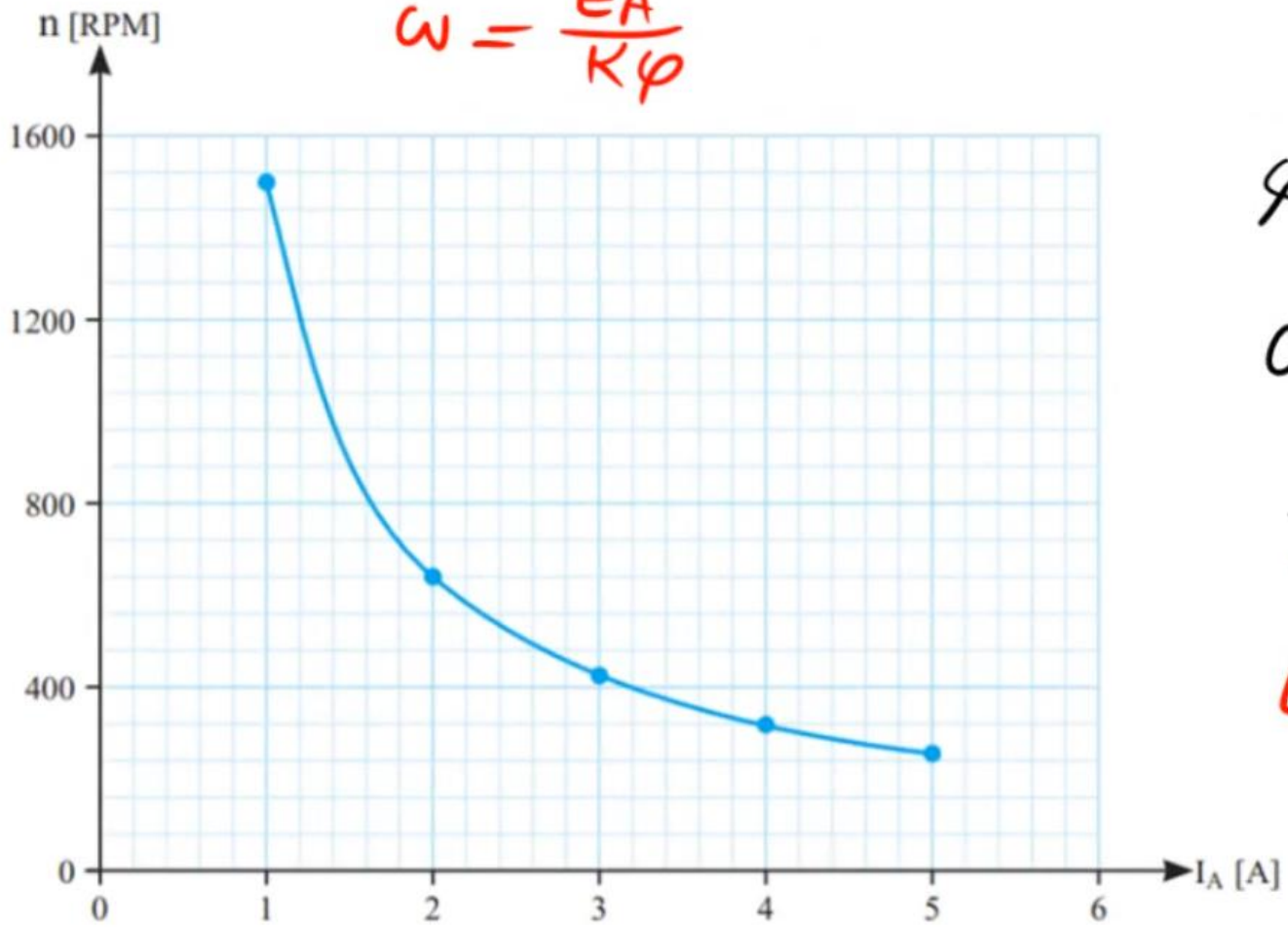
# موتورهای جریان مستقیم - تحریک سری

- آزمایش بارداری
- با ثابت نگه داشتن ولتاژ ترمینال ورودی در مقدار نامی، گشتاور بار را از مقدار نامی کاهش دهید (صفر نشود)

| $V_T$ | 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 |

# موتورهای جریان مستقیم - تحریک سری

$$\omega = \frac{E_A}{K\varphi}$$




- منحنی مشخصه الکترومکانیکی

$$\varphi \propto I_F \Rightarrow \varphi = k_f I_F$$

$$\omega = \frac{E_A}{K K_f I_F} = \frac{E_A}{\bar{K} I_F}$$

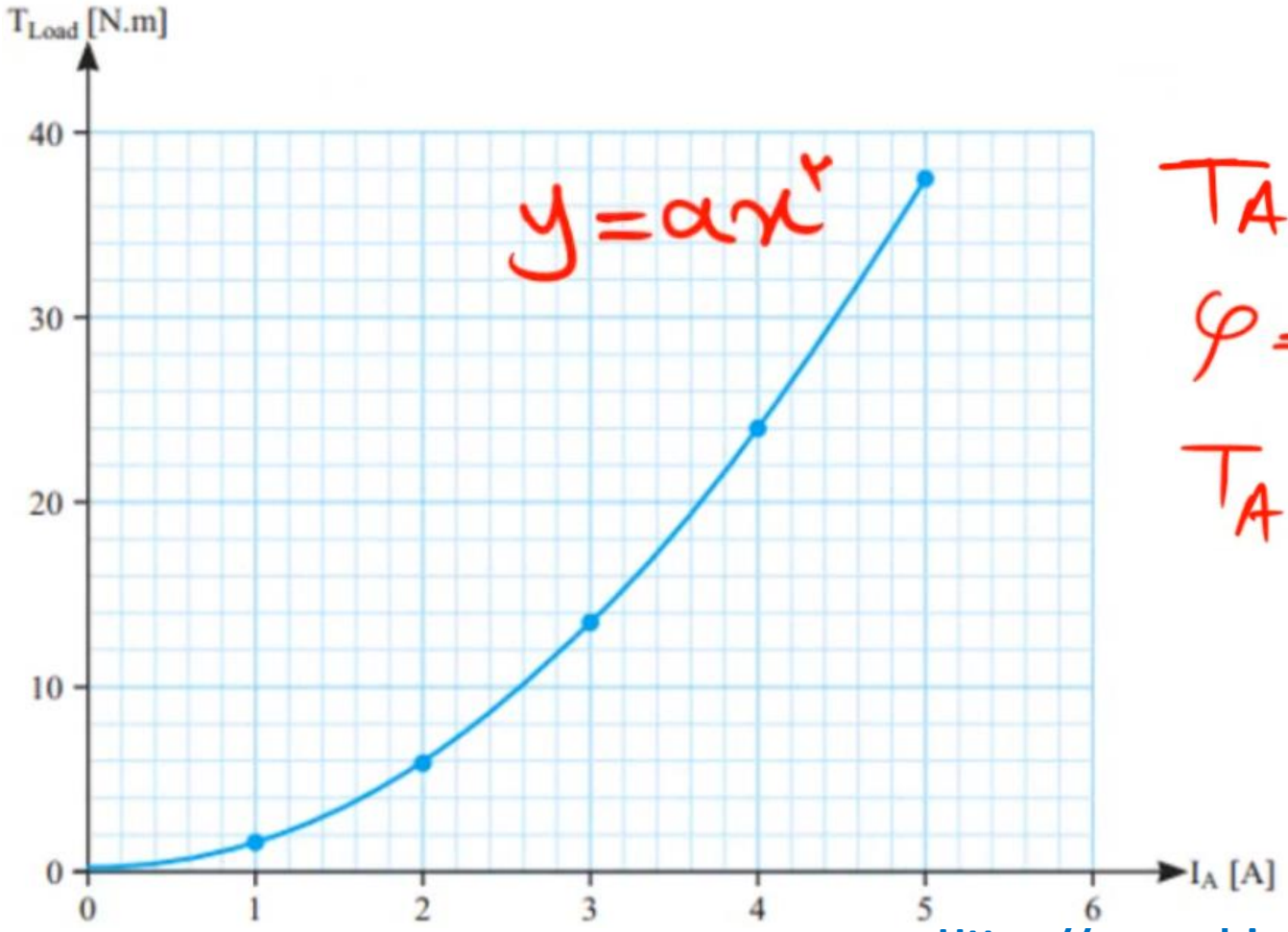
$$I_F = I_A$$

$$E_A = V_T - (R_A + R_F) I_A$$

$$(I_F [A]) \quad \omega = \frac{V_T - (R_A + R_F) I_F}{\bar{K} I_F}$$

Https://www.drisnet.com

# موتورهای جریان مستقیم - تحریک سری




- منحنی مشخصه الکترومغناطیسی

$$T_A = K \varphi I_A$$

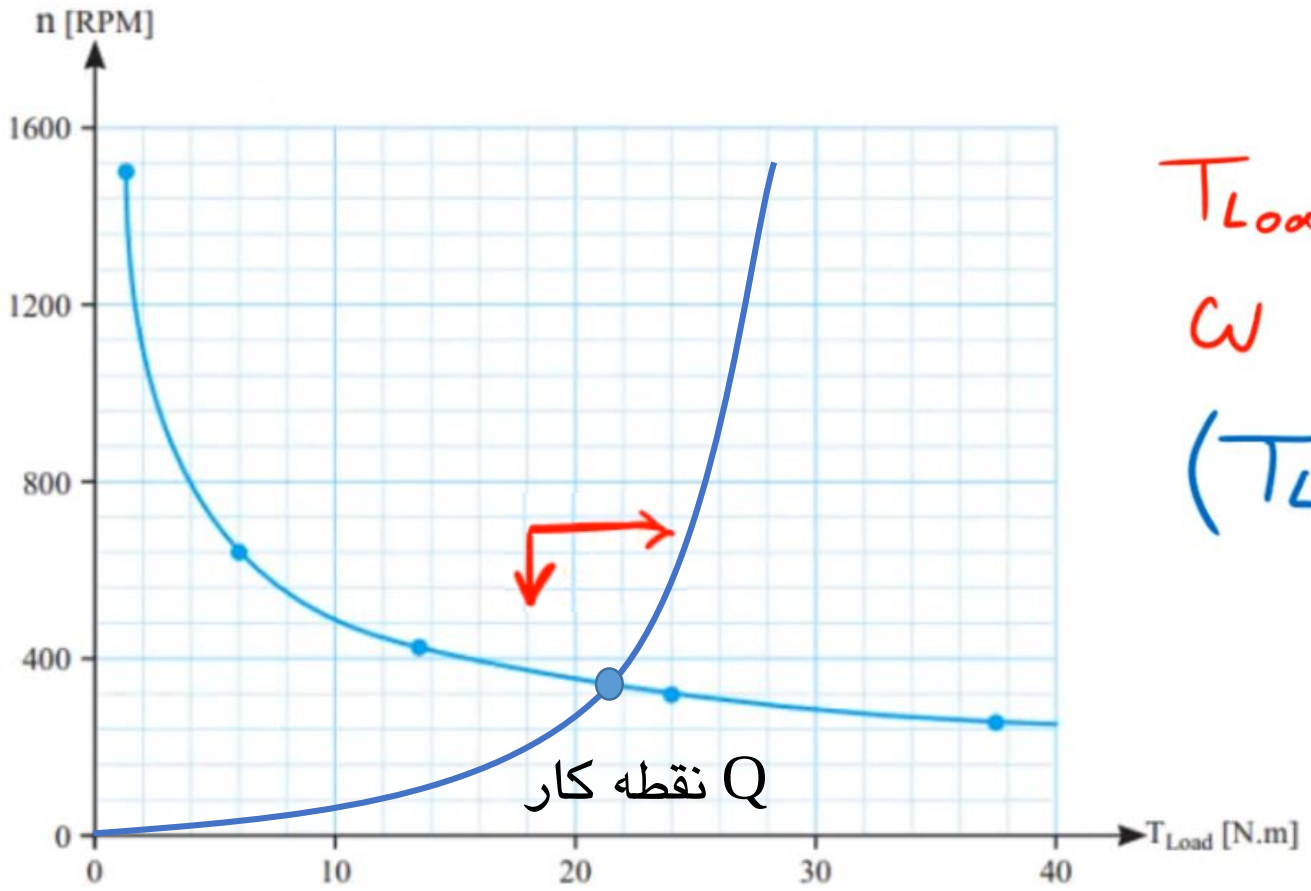
$$\varphi = K_f I_F$$

$$T_A = K K_f I_F \times I_A = \bar{K} I_A^2$$

Https://www.drisnet.com

# موتورهای جریان مستقیم - تحریک سری

- منحنی مشخصه گشتاور- سرعت




$T_{Load} \uparrow \rightarrow \omega \downarrow$

$\omega \uparrow \rightarrow T_{Load} \downarrow$

$(T_L = \propto \omega^2)$

# موتورهای جریان مستقیم - تحریک سری

- نکته؛ موتورهای سری دارای گشتاور خیلی زیاد و رنج تغییرات سرعت زیاد است .با افزایش گشتاور بار، سرعت موتور کاهش و جریان موتور افزایش می یابد .
- کاربرد؛ از موتور سری در جاهایی استفاده می شود که نیاز به گشتاور بالا است ولی تغییرات سرعت خیلی مهم نیست .مانند نوار نقاله ها یا آسانسورها

وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
دانشگاه جیرفت

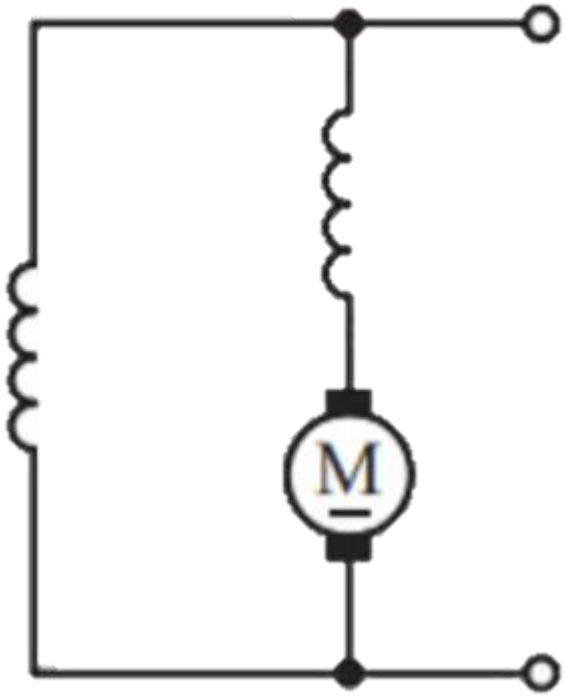
# موتورهای جریان مستقیم - کمپوند

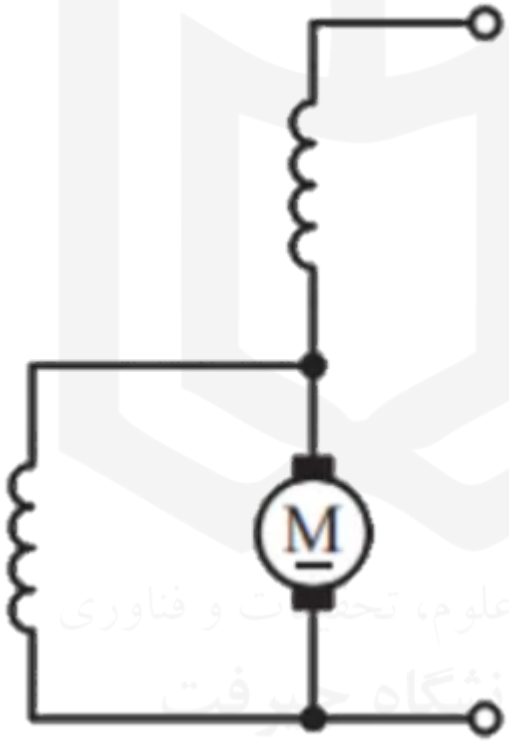
- شار تحریک ناشی از دو سیم پیچ سری و شنت است
- موتورهای کمپوند همزمان مزایای موتورهای شنت و سری را دارند .
- سیم پیچ سری دور کم و جریان بالا و سیم پیچ شنت دور زیاد و جریان پایین است .
- اگر شارهای تحریک دو سیم پیچ سری و موازی هم جهت باشند، کمپوند اضافی و در در خلاف جهت هم باشند، کمپوند نقصانی است .

وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
دانشگاه جیرفت

# موتورهای جریان مستقیم - کمپوند

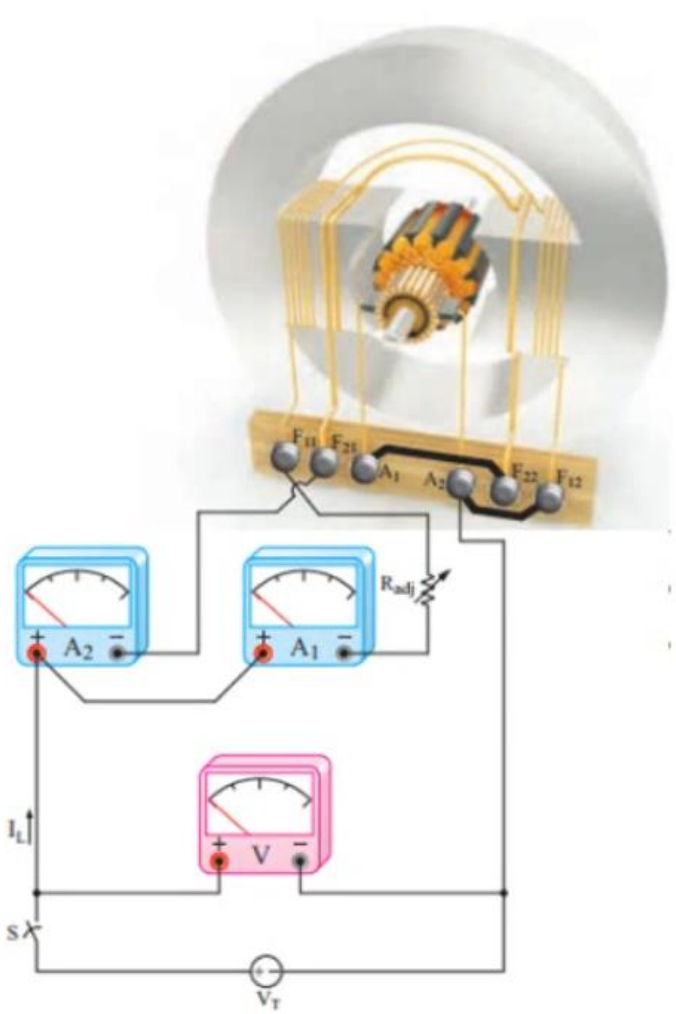
- بسته به نحوه اتصالات سیم پیچ های تحریک به آرمیچر دو نوع موتور کمپوند وجود دارد:
- کمپوند شنت بلند
- کمپوند شنت کوتاه

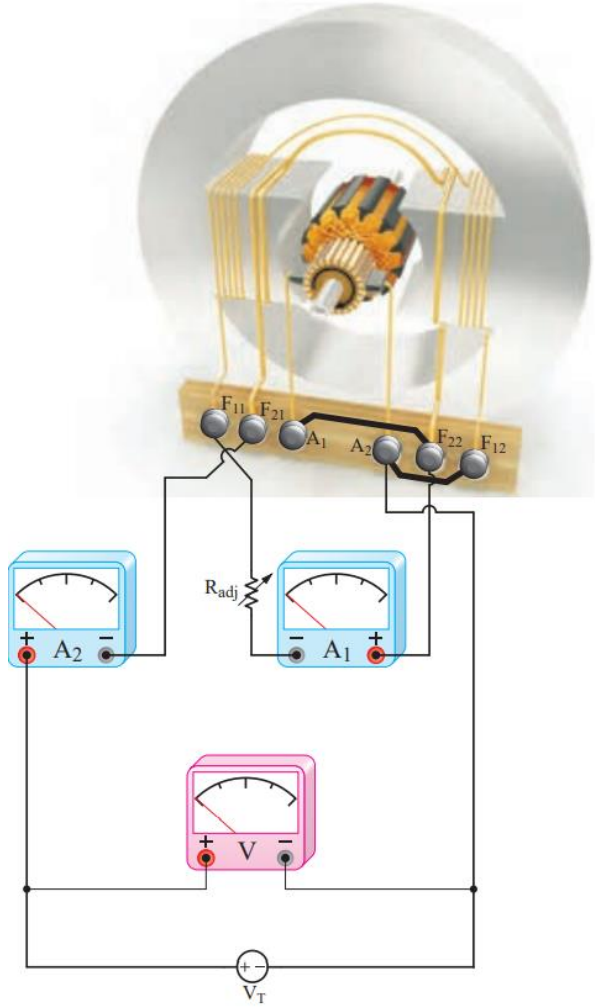



وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
دانشگاه جیرفت

# موتورهای جریان مستقیم - کمپوند

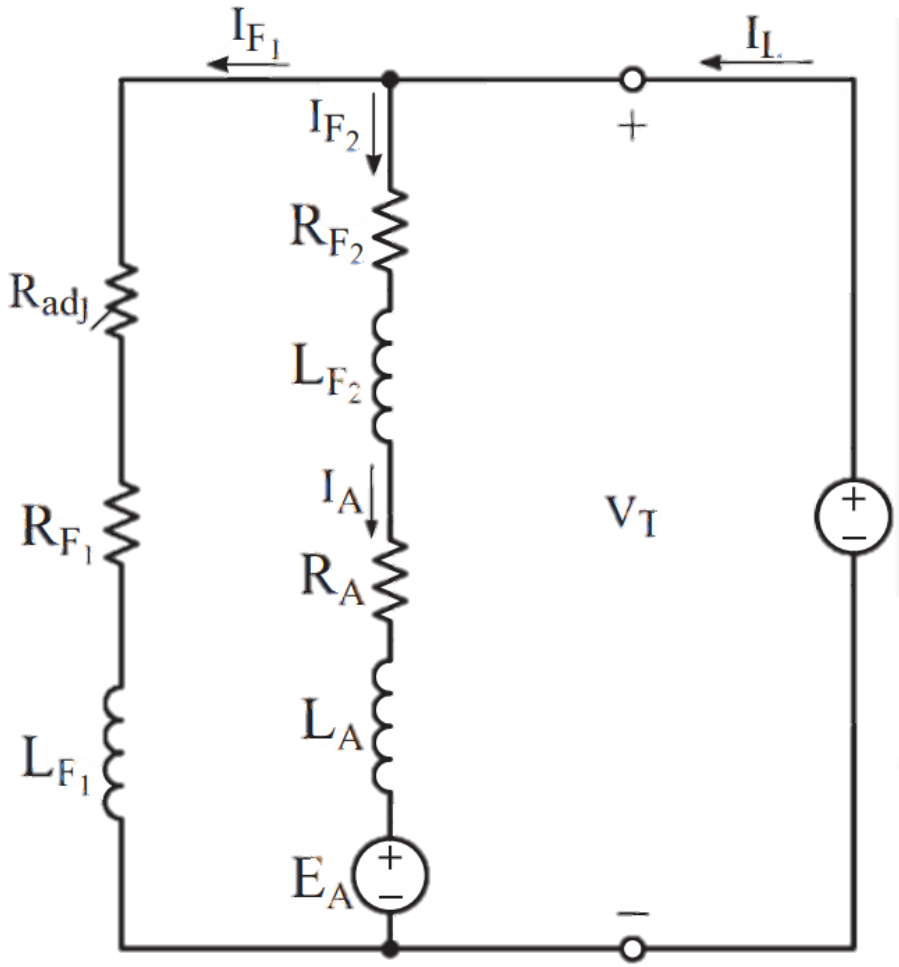



- طرح واره کمپوند شنت بلند
- طرح واره کمپوند شنت کوتاه

Https://www.drisnet.com

# موتورهای جریان مستقیم - کمپوند




- مدار معادل الکتریکی کمپوند – شنت بلند

$$\text{KCL} \quad -I_L + I_{F_2} + I_F = 0$$

$$I_A = I_{F_2} \qquad I_{F_1} = \frac{V_T}{R_{F_1} + R_{adj}}$$

$$I_A = I_{F_2} = \frac{V_T - E_A}{R_A + R_{F_2}} \qquad I_L = \frac{P_{in}}{V_T} \qquad P_{F_2} = R_{F_2} I_{F_2}^2$$

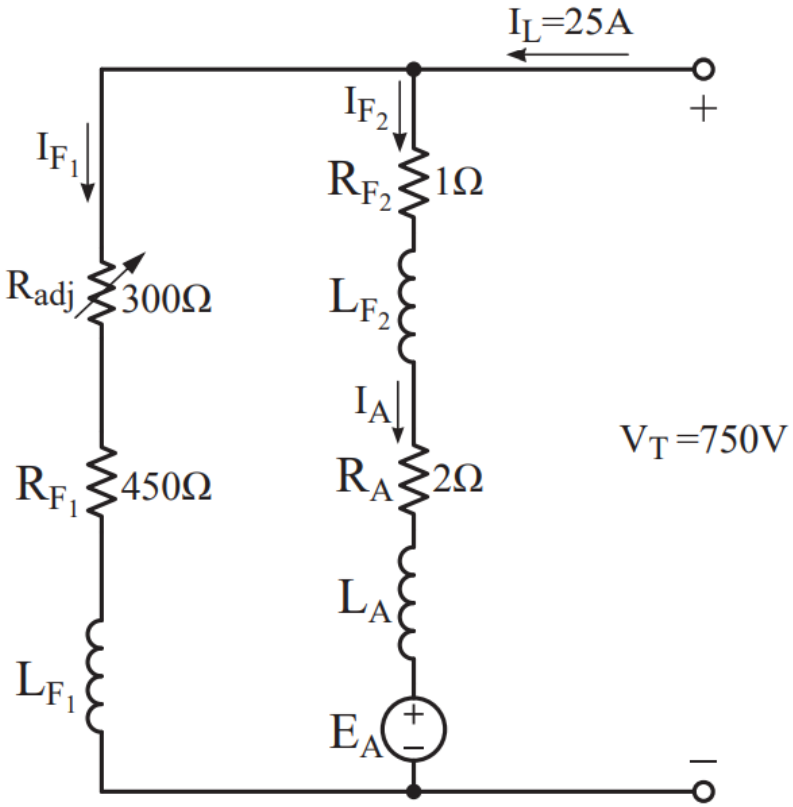
$$P_A = R_A I_A^2 \qquad P_{F_1} = (R_{F_1} + R_{adj}) I_{F_1}^2$$

$$P_{cu} = (R_{F_1} + R_{adj}) I_{F_1}^2 + (R_{F_2} + R_A) I_{F_2}^2$$

Https://www.drisnet.com

# مثال

- موتور کمپوند شنت بلند ۷۵۰ ولت، ۲۵ آمپر با مدار معادل الکتریکی زیر مفروض است .مطلوب است:
- نیروی محرکه آرمیچر
- بازده در صورتی که تلفات ثابت برابر ۱۵۲۲ وات باشد



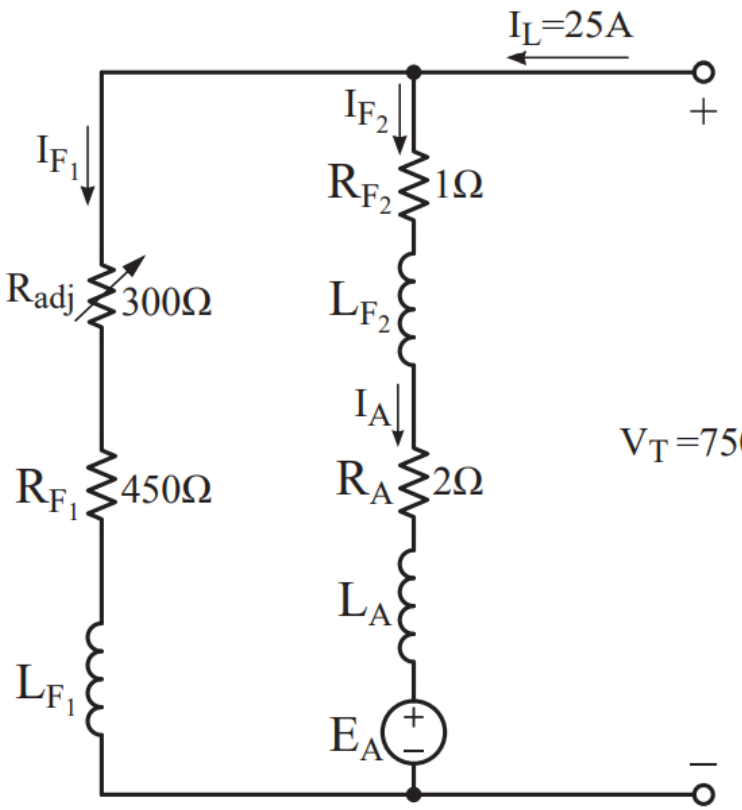

$$I_{F_1} = \frac{V_T}{R_{F_1} + R_{adj}} = \frac{۷۵۰}{۴۵۰+۳۰۰} = ۱[A] \qquad KCL) \quad -I_L + I_{F_2} + I_{F_1} = ۰$$

$$-۲۵ + I_{F_2} + ۱ = ۰ \quad I_{F_2} = ۲۴\,[A] \quad I_{F_2} = I_A = ۲۴\,[A]$$

$$I_A = I_{F_2} = \frac{V_T - E_A}{R_A + R_{F_2}} \quad ۲۴ = \frac{۷۵۰ - E_A}{۱+۲} \qquad ۲۴ \times ۳ = ۷۵۰ - E_A$$

$$E_A = ۷۵۰ - ۷۲ = ۶۷۸\,[V]$$

# ادامه حل مثال




$$P_{F_1} = (R_{F_1} + R_{adj}) I_{F_1}^2$$

$$P_{F_1} = (۴۵۰ + ۳۰۰) \times ۱^2 = ۷۵۰ [W]$$

$$P_{F_2} = R_{F_2} I_{F_2}^2$$

$$P_{F_2} = ۱ \times ۲۴^2 = ۵۷۶ [W]$$

$$P_A = R_A I_A^2$$

$$P_A = ۲ \times ۲۴^2 = ۱۱۵۲ [W]$$

$$\Delta P = P_{core} + P_{F_1} + P_{F_2} + P_A$$

$$\Delta P = ۱۵۲۲ + ۷۵۰ + ۵۷۶ + ۱۱۵۲ = ۴۰۰۰ [W]$$

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

$$P_{in} = ۷۵۰ \times ۲۵ = ۱۸۷۵۰ [W]$$

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

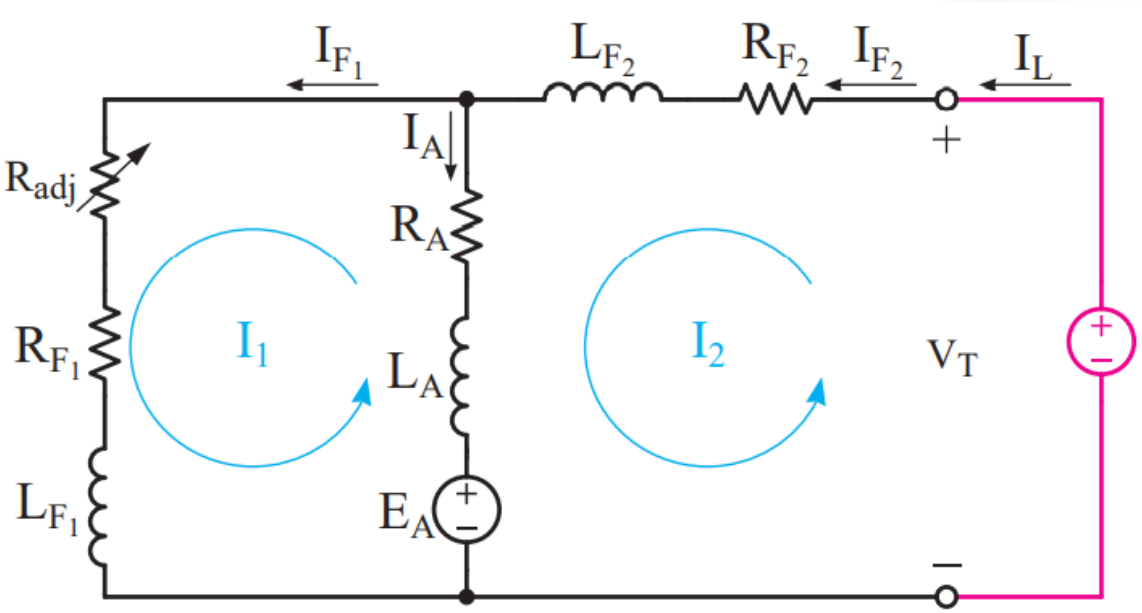
$$P_{out} = P_{in} - \Delta P$$

$$P_{out} = ۱۸۷۵۰ - ۴۰۰۰ = ۱۴۷۵۰ [W]$$

$$\%\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times ۱۰۰$$

$$\%\eta = \frac{۱۴۷۵۰}{۱۸۷۵۰} \times ۱۰۰ = \%۷۸$$

# موتورهای جریان مستقیم - کمپوند




- مدار معادل الکتریکی کمپوند شنت کوتاه

$$I_{F_2} = I_L = I_{F_1} + I_A$$

$$V_T = R_{F_2} I_{F_2} + R_A I_A + E_A$$

$$E_A = (R_{F_1} + R_{adj}) I_{F_1} - R_A I_A$$

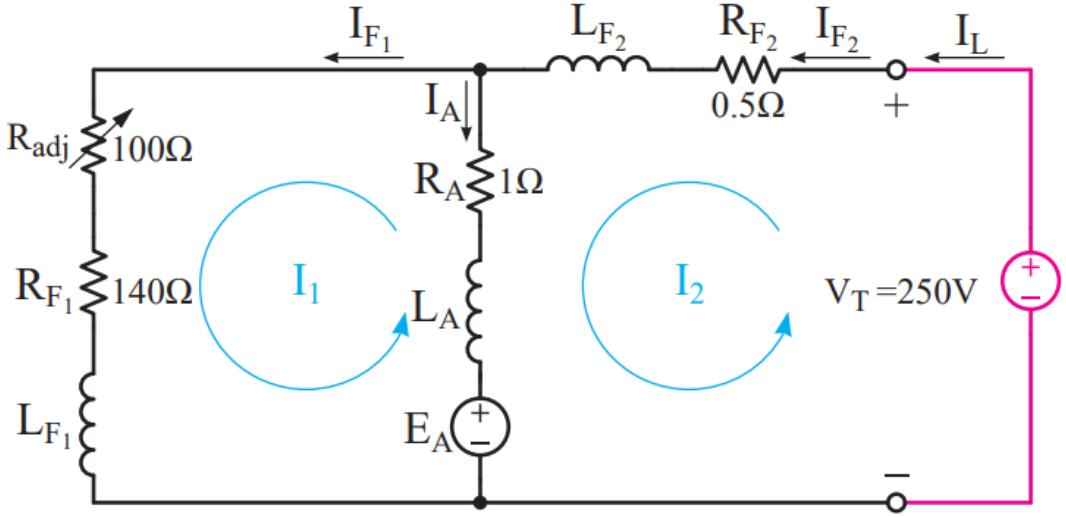
$$P_{in} = V_T I_L$$

$$P_{cu} = R_{F_2} I_{F_2}^2 + R_A I_A^2 + (R_{F_1} + R_{adj}) I_{F_1}^2$$

وزارت علوم، تحقیقات و فناوری

# مثال

- موتور کمپوند شنت کوتاه ۴ کیلووات، ۲۵۰ ولت با بازده ۸۰ درصد و مدار معادل الکتریکی زیر مفروض است. مطلوب است:
- نیروی محرکه آرمیچر
- تلفات ثابت $P_{mis} + P_{core}$




$$P_{out} = ٤٥٠٠$$

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

$$P_{in} = \frac{٤٥٠٠}{٠/٨} = ٥٦٢٥\,W = V_T I_L = ٢٥٠ I_L$$

# ادامه حل

$$I_L = \frac{۵۰۰۰}{۲۵۰} = ۲۰\ A$$

$$I_{F_1} + I_A = ۲۰ \quad (۱)$$

$$I_A = ۲۰ - I_{F_1} = ۱۹\ A$$

$$E_A = (R_{F_1} + R_{\text{رئوستا}})\, I_{F_1} - R_A I_A \quad (۲)$$

$$V_T = R_{F_2} I_{F_2} + (R_{F_1} + R_{\text{رئوستا}})\, I_{F_1} \quad (۳)$$

$$۲۵۰ = ۰.۵ \times ۲۰ + (۲۴۰)\, I_{F_1} \Rightarrow I_{F_1} = ۱A$$

وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
دانشگاه جیرفت

# ادامه حل

$$E_A = ۲۴۰ \times ۱ - ۱ \times ۱۹ = ۲۲۱\ V$$

$$\Delta P = P_{in} - P_{out} = ۶۰۰۰ - ۴۰۰۰ = ۱۰۰۰$$

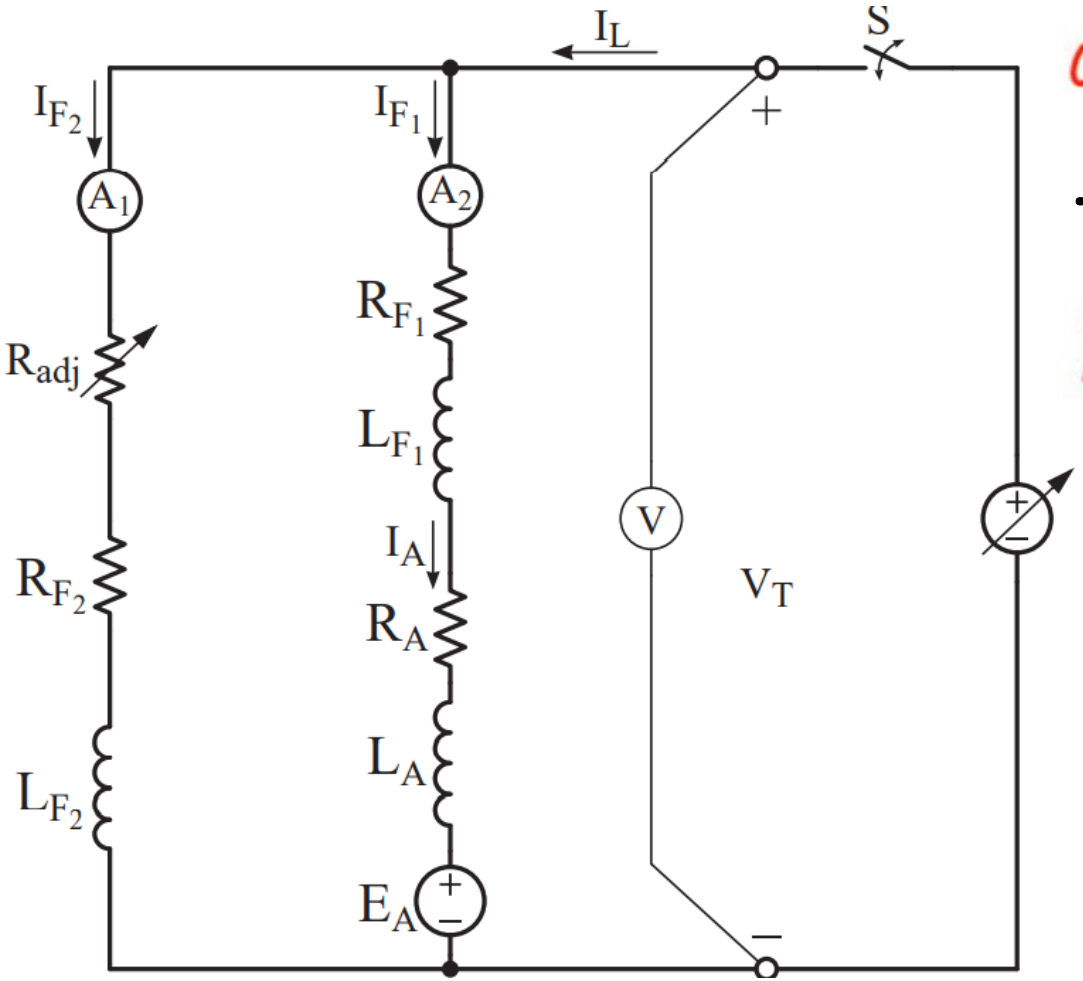
$$\Delta P = P_{ثابت} + P_{متغیر}$$

$$۱۰۰۰ = P_{ثابت} + (۰.۵ \times ۲۰^۲ + ۱ \times ۱۹^۲ + ۲۴۰ \times ۱^۲)$$

$$P_{ثابت} = ۱۹۹\ W$$

وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
دانشگاه جیرفت

# موتورهای جریان مستقیم - کمپوند




$$\omega = \frac{E_A}{K\varphi}$$

- راه اندازی
- قبل از راه اندازی به پلاک موتور مراجعه کنید.

$$\varphi = \varphi_{sh} + \varphi_s$$

وزارت علوم، تحقیقات و
دانشگاه جیرفت

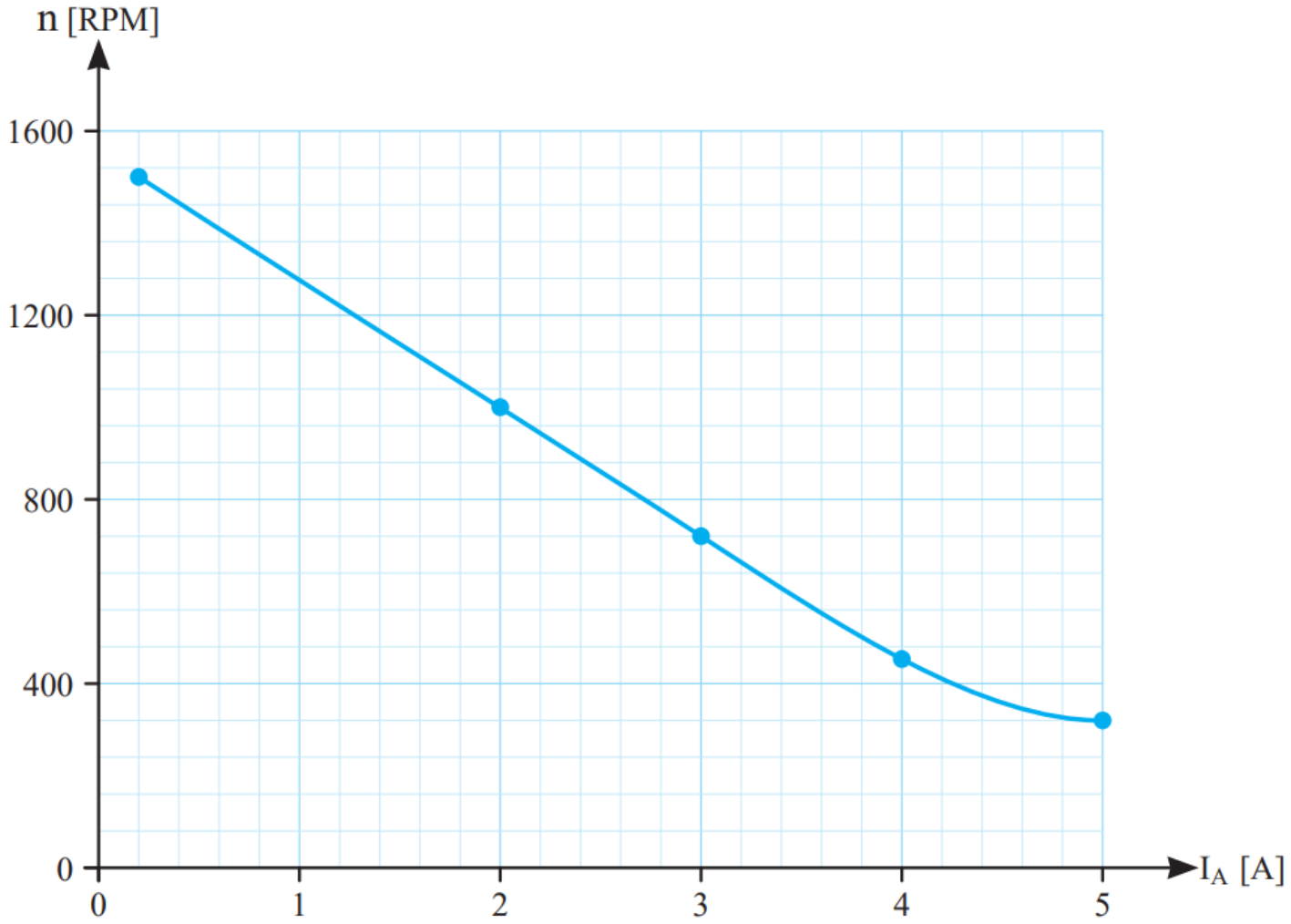
# موتورهای جریان مستقیم - کمپوند

- آزمایش بارداری
- با ثابت نگه داشتن ولتاژ ترمینال ورودی در مقدار نامی، گشتاور بار را از صفر تا مقدار نامی افزایش دهید

| $V_T$ | 220v | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $N[RPM]$ | 1500 | 1000 | 720 | 450 | 320 |
| $I_A[A]$ | 0.2 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| $T_{load}[nM]$ | 0 | 4 | 18 | 17 | 30 |

وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
دانشگاه جیرفت

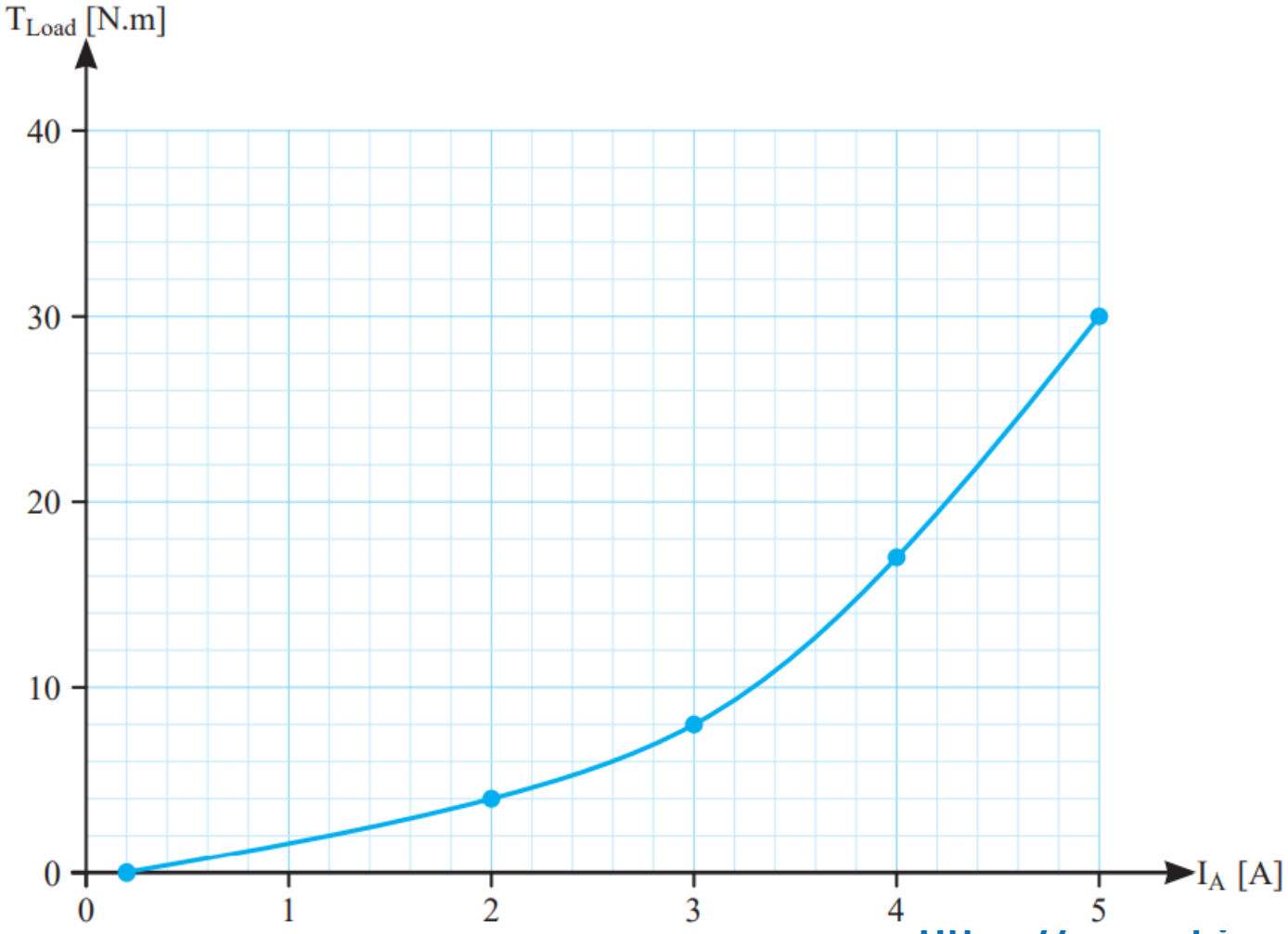
# موتورهای جریان مستقیم - کمپوند




- منحنی مشخصه الکترومکانیکی

Https://www.drisnet.com

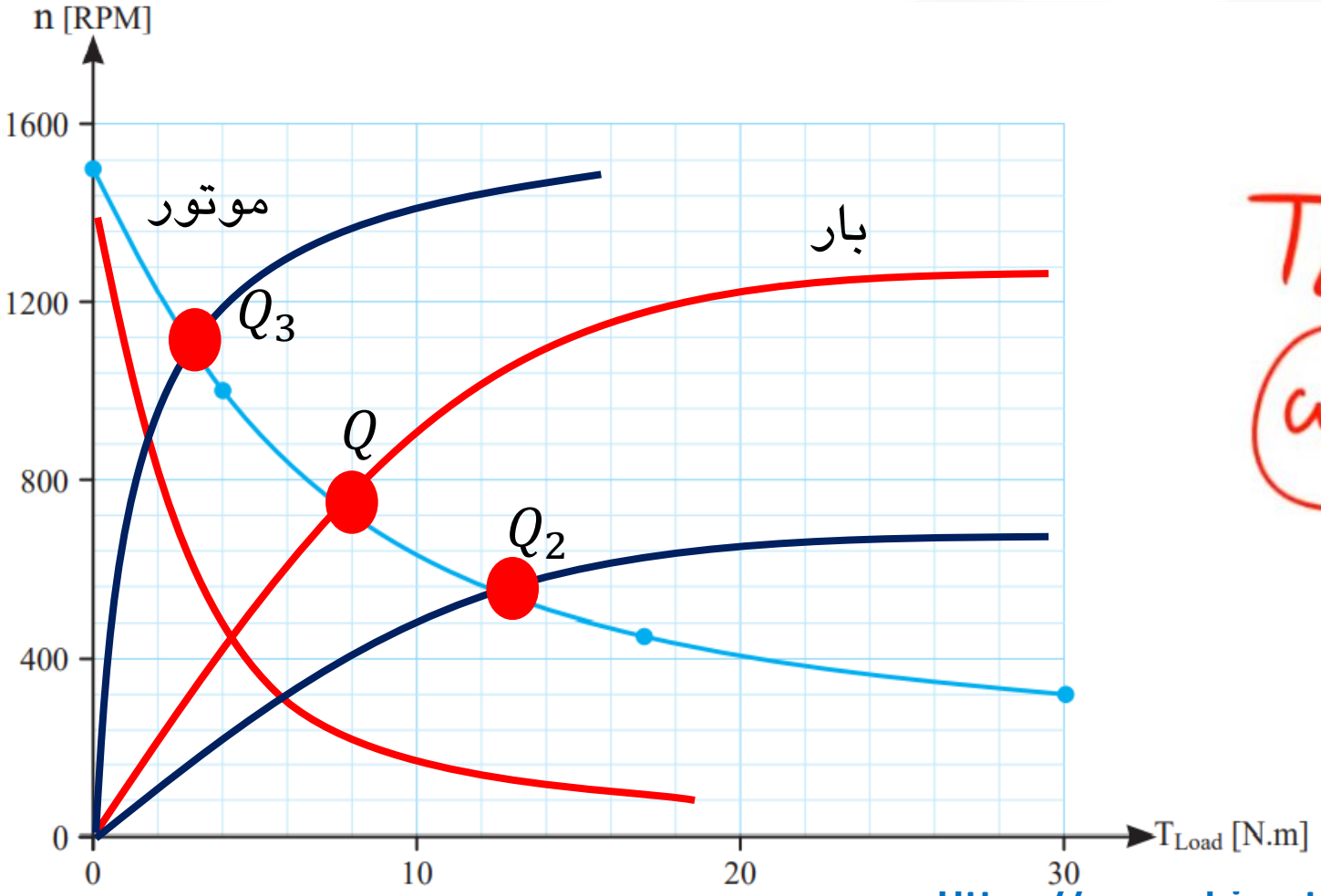
# موتورهای جریان مستقیم - کمپوند




- منحنی مشخصه الکترومغناطیسی

Https://www.drisnet.com

# موتورهای جریان مستقیم - کمپوند




- منحنی مشخصه گشتاور– سرعت

$$T_L = \alpha \omega^2$$

$$\omega = \sqrt{\frac{T_L}{\alpha}}$$

Https://www.drisnet.com

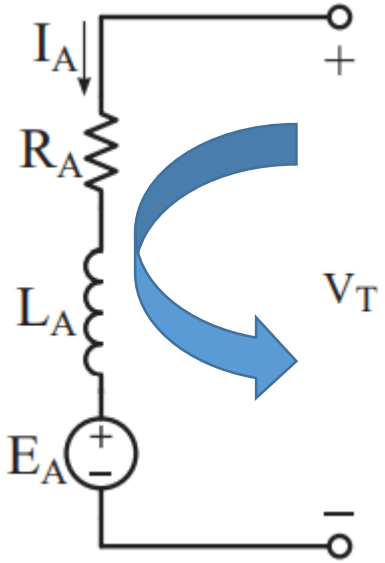
# موتورهای جریان مستقیم - کمپوند

- نکته ۱ ؛ موتورهای کمپوند تغییرات سرعت بیشتر نسبت به شنت و کمتر نسبت به موتور سری از بی باری تا بار کامل دارند.
- نکته ۲؛ گشتاور موتور کمپوند از موتور سری کمتر و از موتور شنت بیشتر است.
- کابرد ؛ در جاهایی از موتورهای کمپوند استفاده می شود که گشتاور زیاد همراه با سرعت تقریبا ثابت مورد نیاز باشد مانند بالابر حمل کالای نورد فلزات و مخلوط کننده ها.

وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
دانشگاه جیرفت

# راه اندازی موتورهای جریان مستقیم

- موتورهای جریان مستقیم در لحظه راه اندازی چندین برابر حالت نامی جریان می‌کشند




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

($\omega = 0$)

$$E_A = K \cdot \varphi \cdot \omega$$

$$\begin{cases} R_A = 1\,\Omega \\ V_T = 200\,V \end{cases}$$

$$I_A = 200\,A\ !$$

وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
دانشگاه جیرفت

وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
دانشگاه جیرفت

# مضرات افزایش جریان آرمیچر

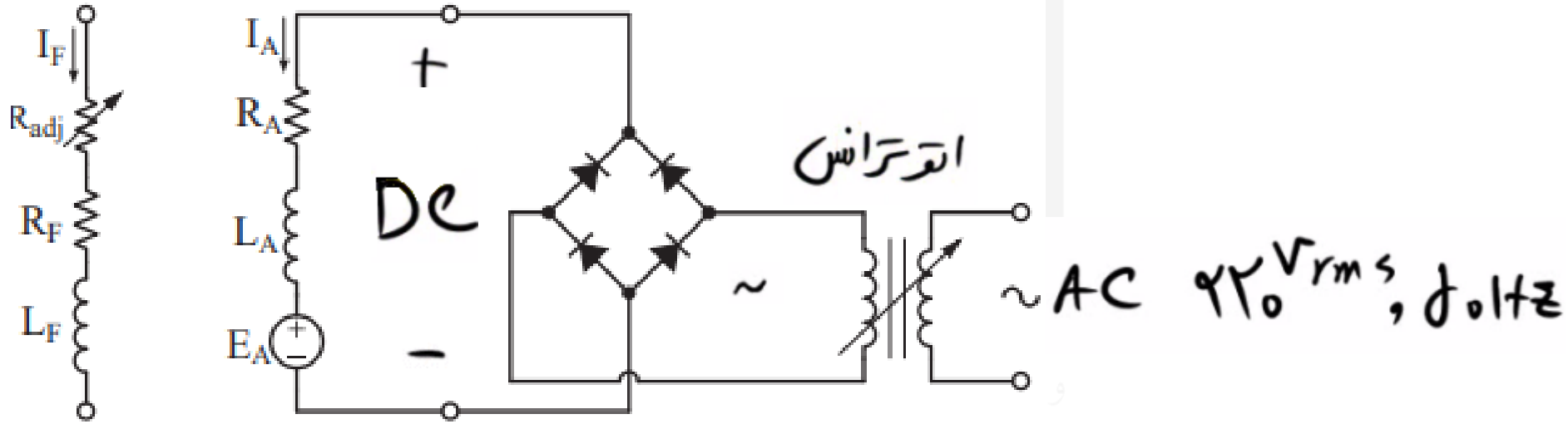
- مضرات افزایش جریان آرمیچر
- آسیب رسیدن به سیم پیچ های آرمیچر، کموتاتور و جاروبک ها
- ایجاد افت ولتاژ شدید در منبع ولتاژ ورودی
- آسیب رسیدن به کابل های اتصالی موتور
- قطع فیوزهای موتور
- ایجاد ضربات شدید مکانیکی

وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
دانشگاه جیرفت

# راه اندازی موتورهای جریان مستقیم

- راه اندازی با منبع ولتاژ متغیر

یکسو کننده پل

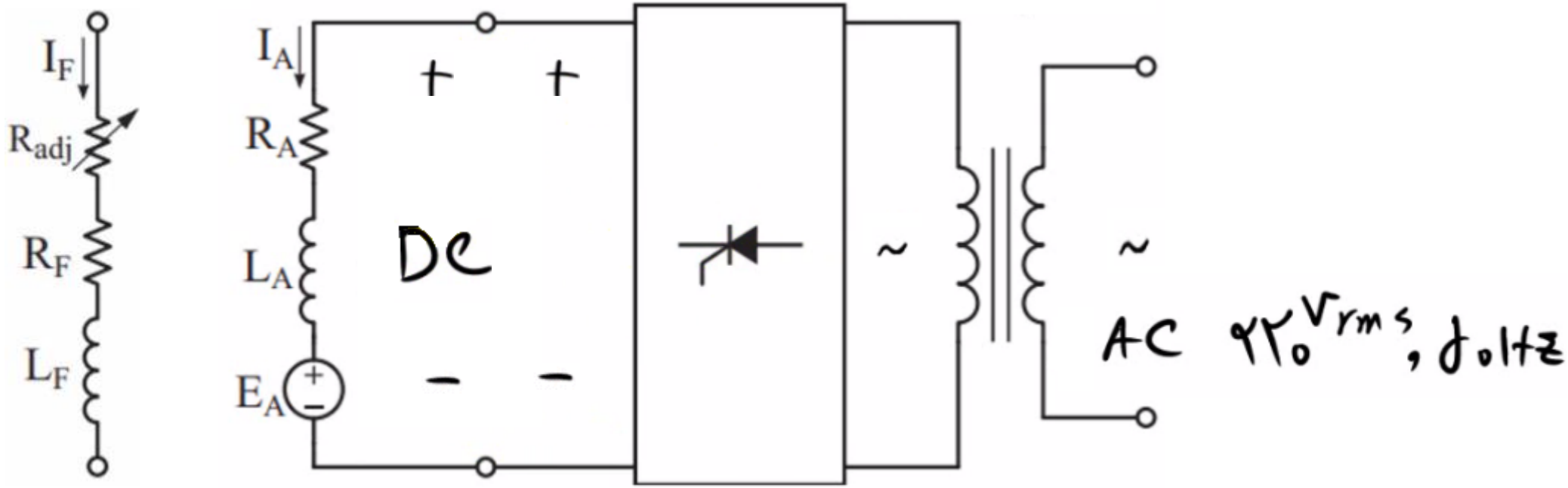



دانشگاه جیرفت

# راه اندازی موتورهای جریان مستقیم

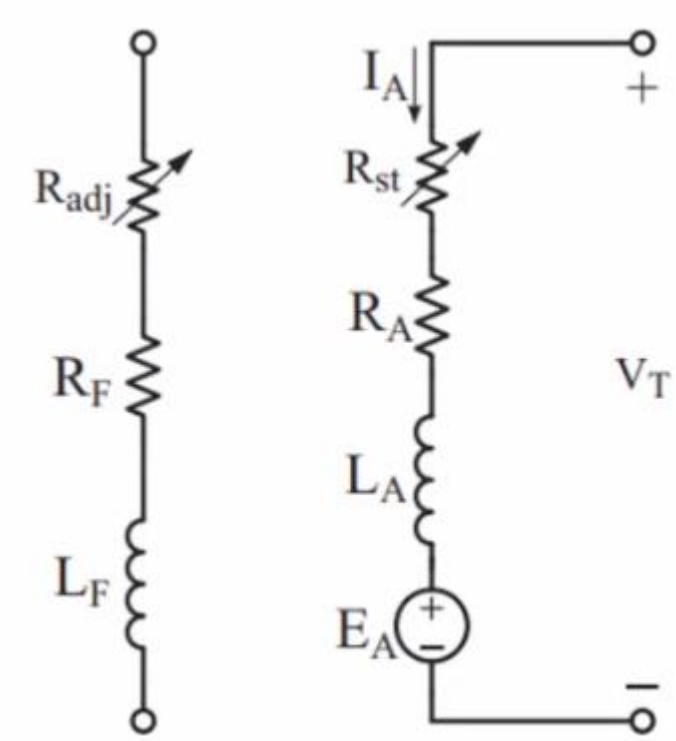
- راه اندازی با منبع ولتاژ متغیر

ترانس ثابت



# راه اندازی موتورهای جریان مستقیم

- راه اندازی با مقاومت متغیر (مقاومت راه انداز)




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

Https://www.drisnet.com

# کنترل سرعت موتورهای جریان مستقیم

- همواره در صنعت نیاز به موتورهای با گشتاور بالا و سرعت قابل کنترل وجود دارد.
- موتورهای جریان مستقیم بدلیل ساختار ساده کنترل سرعت آنها محبوب هستند.

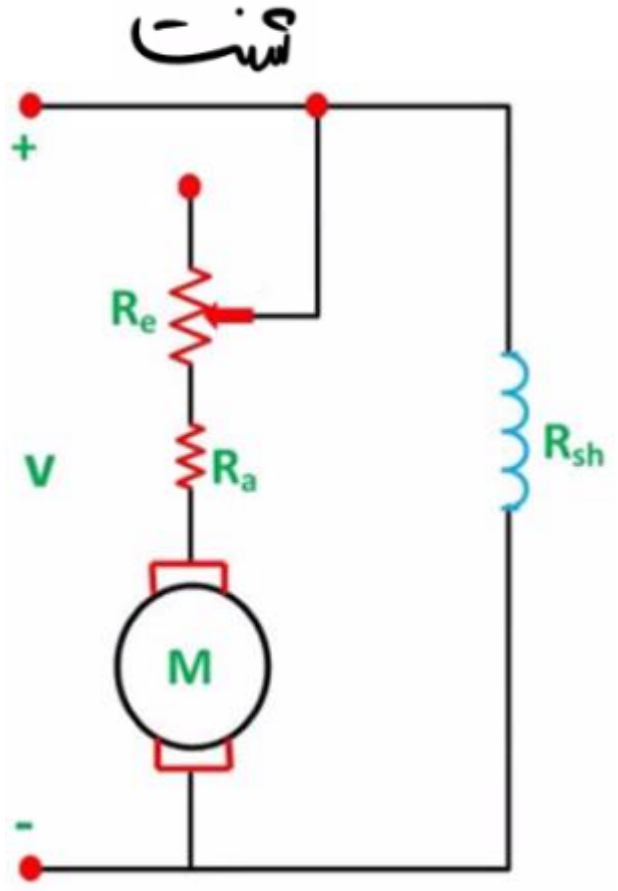
$$\left\{\begin{aligned}\omega &= \frac{E_A}{K.\varphi}\\ E_A &= V_T - R_A I_A\end{aligned}\right\} \quad \omega = \frac{V_T - R_A I_A}{K.\varphi}$$

- ولتاژ ترمینال، مقاومت مدار آرمیچر و شار تحریک بر سرعت اثرگذار هستند.

# کنترل سرعت موتورهای جریان مستقیم

- کنترل سرعت از طریق کنترل ولتاژ $(V_T)$

# کنترل سرعت موتورهای جریان مستقیم



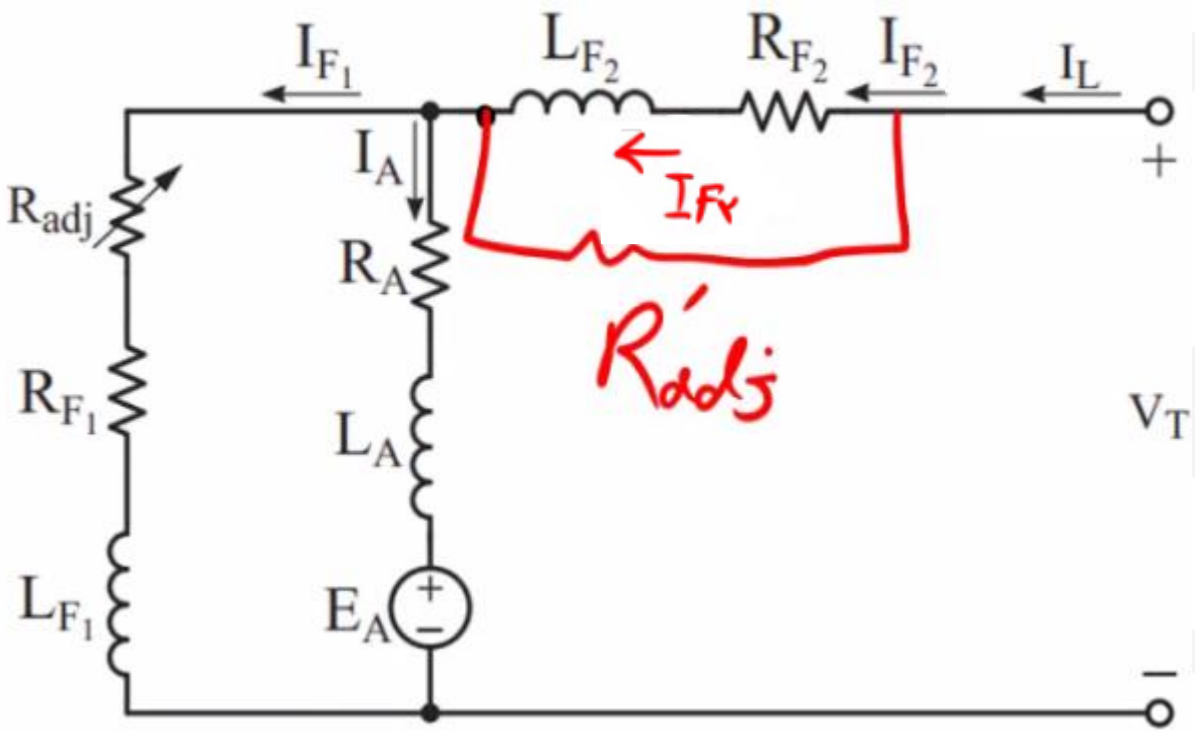

- کنترل سرعت از طریق کنترل مقاومت آرمیچر
- بدلیل تلفات توصیه نمی شود.

$$\downarrow \omega = \frac{V_T - (R_a + R_e\uparrow)\, I_A}{K \varphi}$$

وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
دانشگاه جیرفت

# کنترل سرعت موتورهای جریان مستقیم

- کنترل سرعت از طریق کنترل شار تحریک (۶)




$$\uparrow I_{F_1} = \frac{V_T'}{R_{F_1} + R_{adj} \downarrow}$$

$$\varphi = \varphi_{sh} + \varphi_s$$

وزارت علوم،
دانشگا

وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
دانشگاه جیرفت

# کنترل سرعت موتورهای جریان مستقیم

- کنترل سرعت الکترونیکی
- مزایای سیستم کنترل سرعت الکترونیکی:

۱ – فضای کمی اشغال می کند.

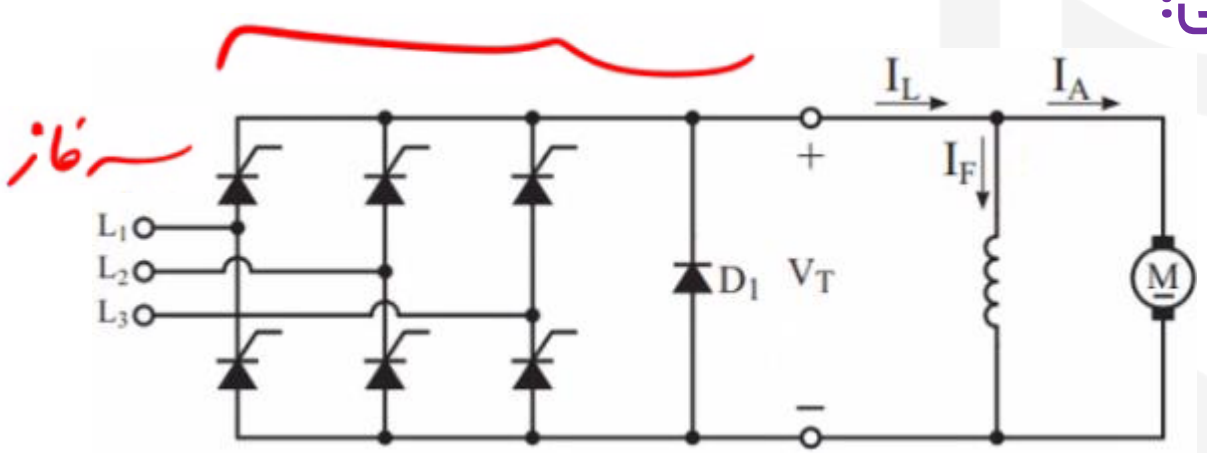
۲– بازده بالا دارد.

۳ – امکان کنترل سریع ولتاژ خروجی

۴– ارزان و اقتصادی هستند.

- معایب سیستم کنترل سرعت الکترونیکی:

۱ – تولید اعوجاج و نوسانات در شبکه برق




ترسیتور

کنترل از طریق زاویه آتش

Https://www.drisnet.com

# کنترل سرعت موتورهای جریان مستقیم

- برای تغییر جهت گردش باید جهت گشتاور تولیدی موتور را تغییر داد.
- جهت گشتاور توسط تغییر جهت ولتاژ ترمینال، جریان آرمیچر و تحریک امکان پذیر است.

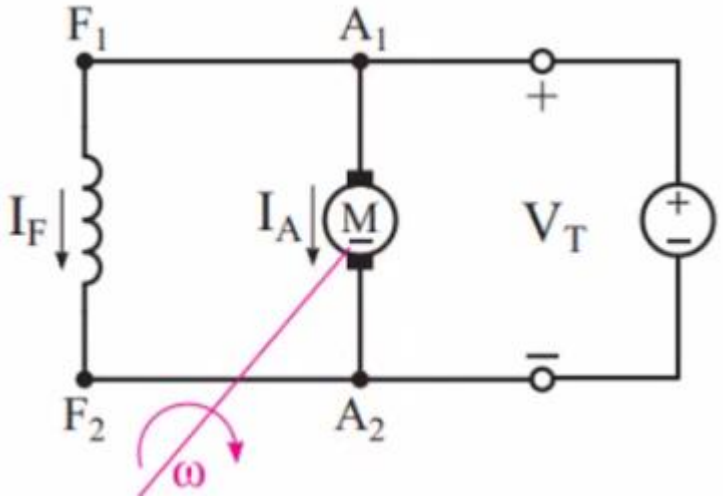
الف – راست گرد

ب – چپ گرد

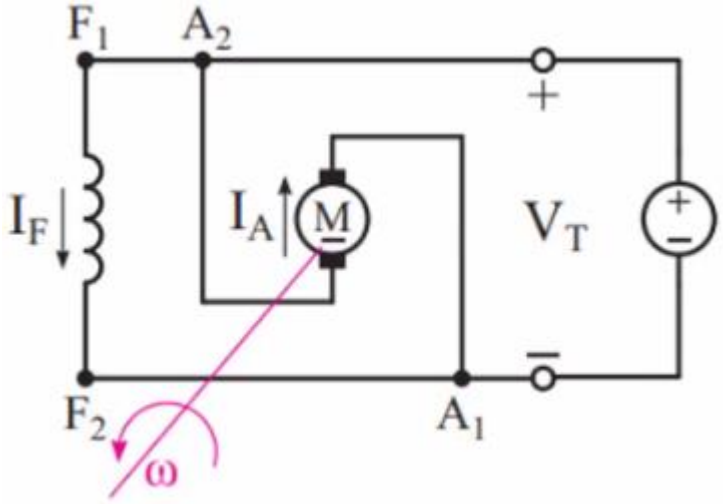
Https://www.drisnet.com

# کنترل سرعت موتورهای جریان مستقیم

- برای تغییر جهت گردش باید جهت گشتاور تولیدی موتور را تغییر داد.
- جهت گشتاور توسط تغییر جهت ولتاژ ترمینال، جریان آرمیچر و تحریک امکان پذیر است.



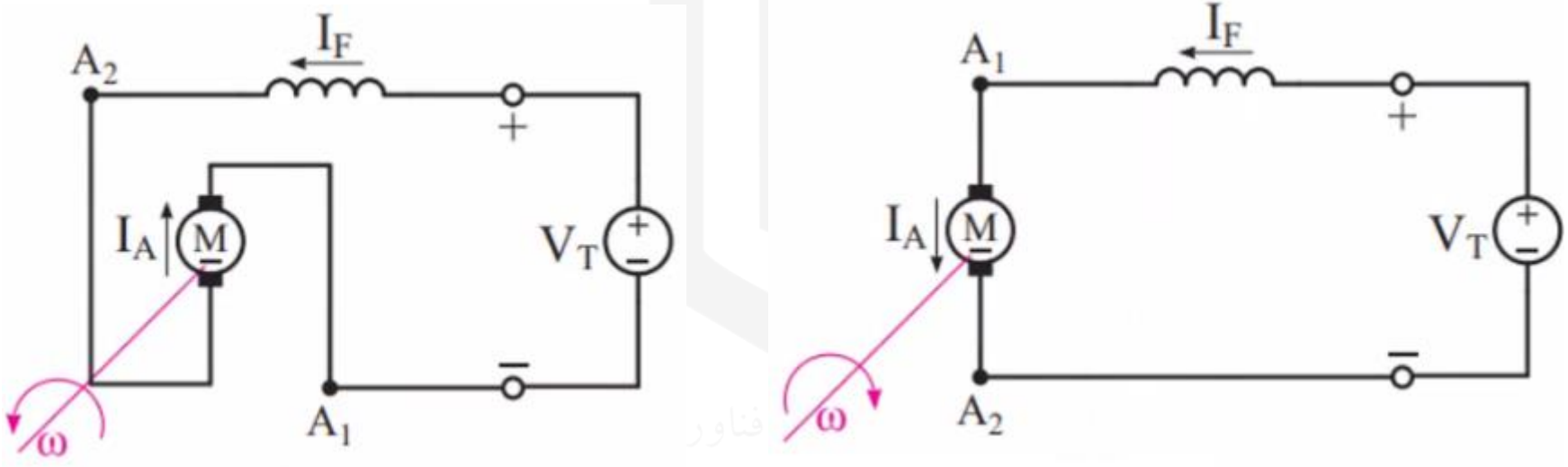

الف – راست گرد




ب – چپ گرد

# کنترل سرعت موتورهای جریان مستقیم

- برای تغییر جهت گردش باید جهت گشتاور تولیدی موتور را تغییر داد.
- جهت گشتاور توسط تغییر جهت ولتاژ ترمینال، جریان آرمیچر و تحریک امکان پذیر است.




الف – راست گرد




ب – چپ گرد

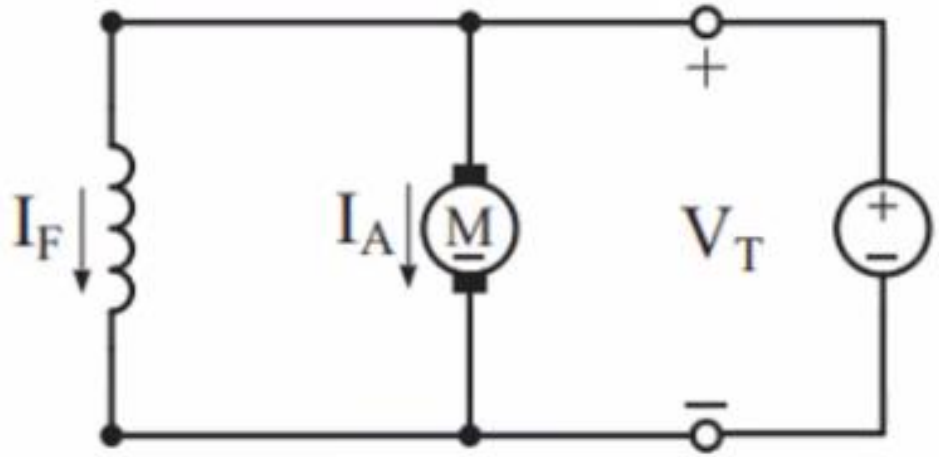
# ترمز موتورهای جریان مستقیم

- بعد از قطع منبع تغذیه حرکت روتور تا مدتی ادامه پیدا می کند.
- اساس کار ترمز در موتورهای جریان مستقیم مستهلک کردن انرژی جنبشی روتور است.
- ترمز دینامیکی
- ترمز با جریان مخالف

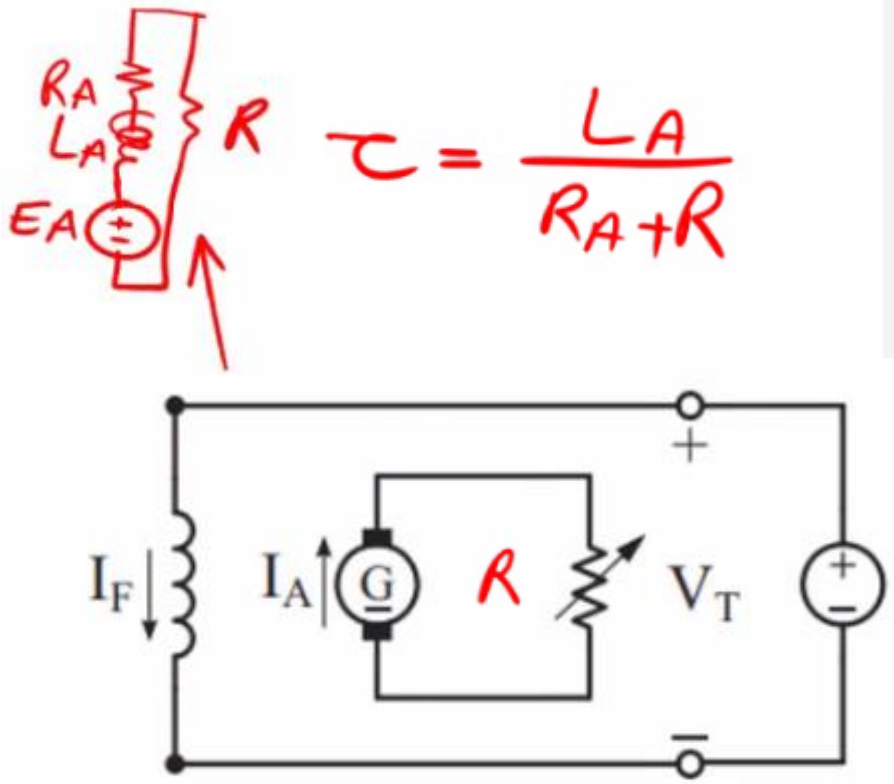
وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
دانشگاه جیرفت

# ترمز موتورهای جریان مستقیم

- ترمز دینامیکی




الف – حالت کار

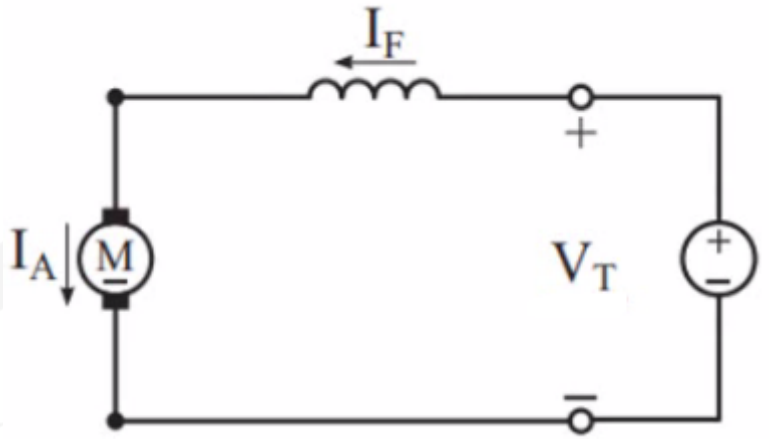



ب – حالت ترمز

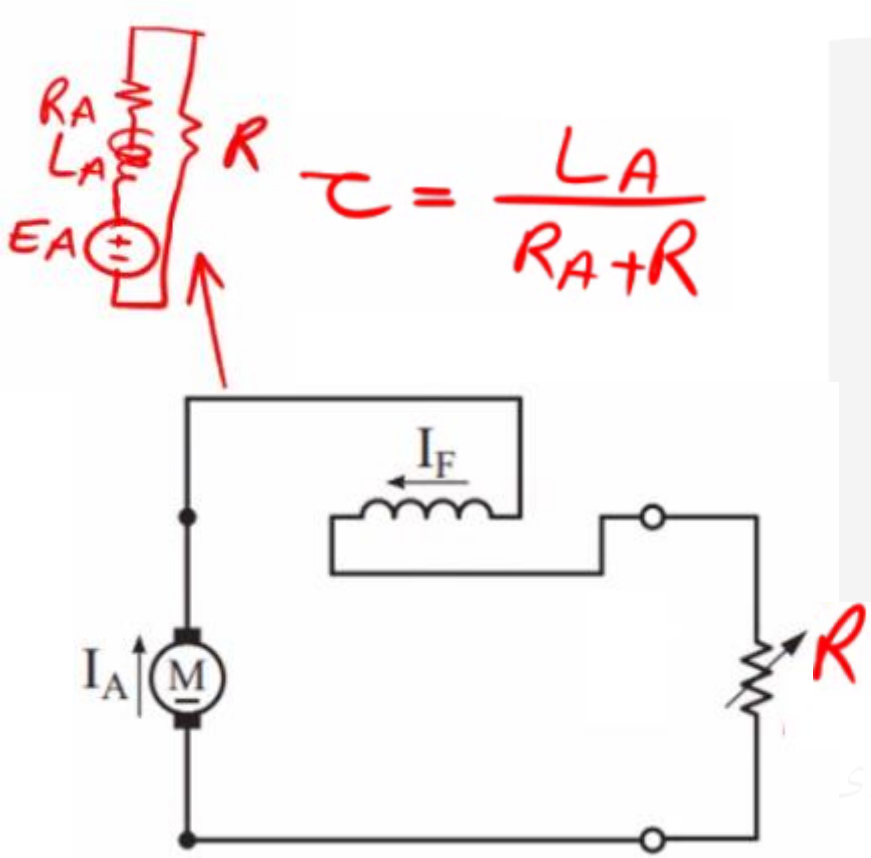
وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
دانشگاه جیرفت

# ترمز موتورهای جریان مستقیم

- ترمز دینامیکی




الف – حالت کار




ب – حالت ترمز

Https://www.drisnet.com

# ترمز موتورهای جریان مستقیم

- بعد از قطع منبع تغذیه حرکت روتور تا مدتی ادامه پیدا می کند.
- اساس کار ترمز در موتورهای جریان مستقیم مستهلک کردن انرژی جنبشی روتور است.
- ترمز دینامیکی
- ترمز با جریان مخالف

وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
دانشگاه جیرفت