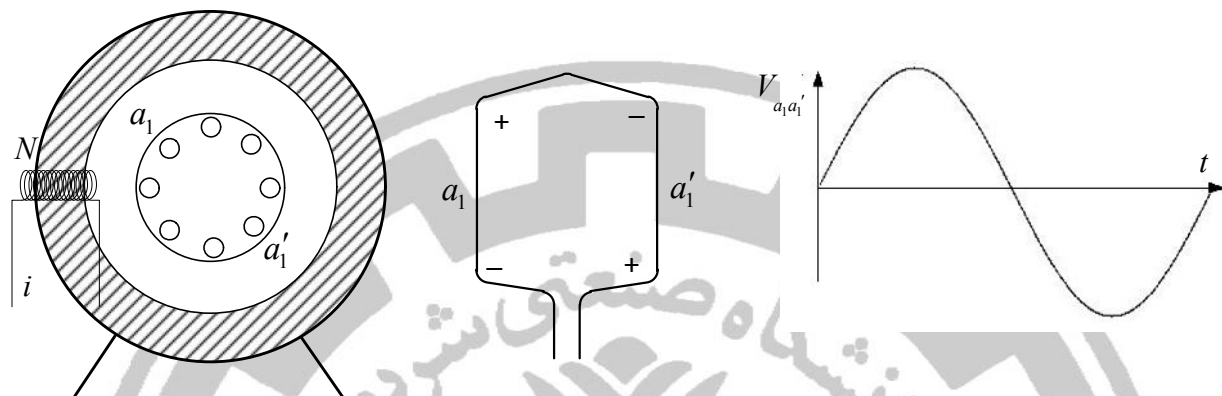


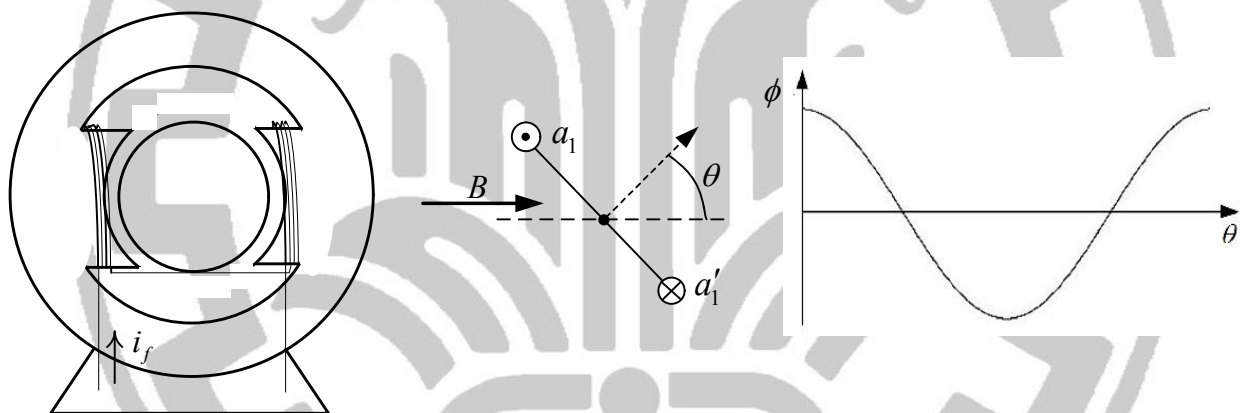
ماشین های DC :

این نوع ماشین ها که به صورت تاریخی اولین نوع تبدیل الکترومکانیکی می باشند (فاراده) به مدت بیش از یک قرن بهترین نوع ماشین ها از نظر مشخصه $\tau - \omega$ بودند. در این ماشین ولتاژ اعمالی DC است.

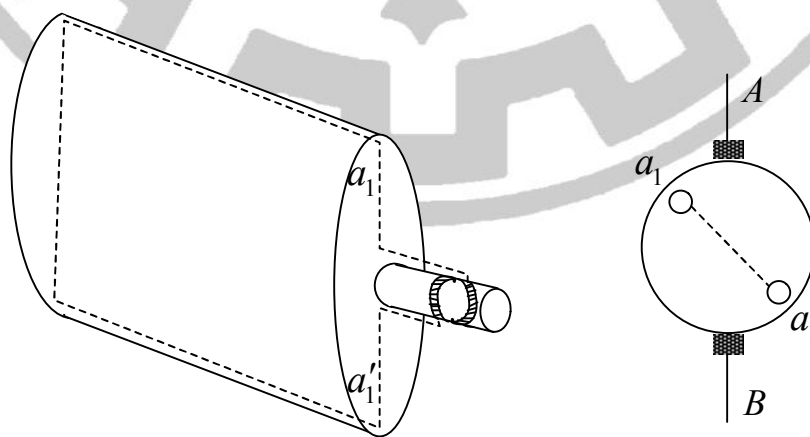
ساختمان ماشین DC :



هدف یکسوسازی ولتاژ دو سر سیم پیچ روتور:



جاروبک و کموتاتور:

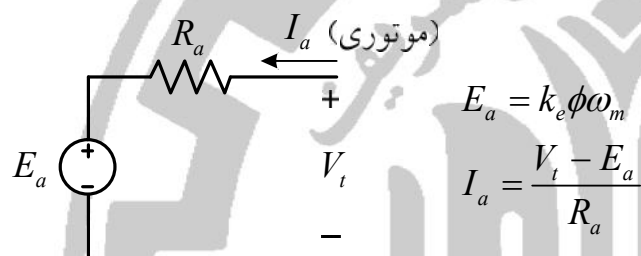


مدار معادل ماشین DC :

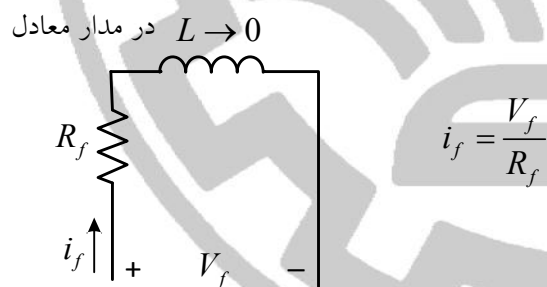
همان طور که دیدیم، ماشین DC از دیدگاه داخلی کاملاً مشابه با ماشین سنکرون بوده و مشابه با آن در سیم پیچ های روتورولتاژ AC به وجود می آید. اما چون در حالت کاربردی از پشت جاروبک به ماشین نگاه می شود، بنابراین ولتاژ خارجی ماشین به صورت DC دیده می شود.

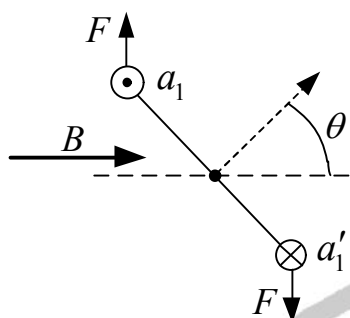
بنابراین مدار معادل روتور کاملاً مشابه با استاتور ماشین سنکرون است. با این تفاوت که اندوکتانس سیم پیچ (L_s) در ماشین سنکرون، در این حالت که ولتاژها و جریانها DC شده اند، به صورت اتصال کوتاه در نظر گرفته می شوند. در واقع این اندوکتانس وجود دارد، اما در بحث ما فقط حالت **steady state** در نظر گرفته می شود.

مدار معادل روتور ماشین DC :



به صورت تاریخی به روتور ماشین DC، آرمیچر و به استاتور آن میدان (field) گفته می شود. مدار معادل field (تحریک):





$$\vec{\tau} = \vec{r} \times \vec{F} \dots \Rightarrow \tau = k_t \phi I_a$$

$$k_t = k_e \text{ ثابت می شود}$$

بر طبق رابطه فوق، حداکثر گشتاور در حداکثر جریان آرمیچر (I_a) رخ می دهد. حداکثر I_a بر طبق رابطه $I_a = \frac{V_t - E_a}{R_a}$ در سرعت صفر رخ می دهد که در آن $E_a = 0$ است. بنابراین حداکثر گشتاور ماشین DC در راه اندازی می باشد که بسیار مطلوب است. این حداکثر گشتاور به قیمت جریان شدید در آرمیچر رخ می دهد که باید قابل تحمل باشد.

بدست آوردن مشخصه در موتور DC تحریک جداگانه:

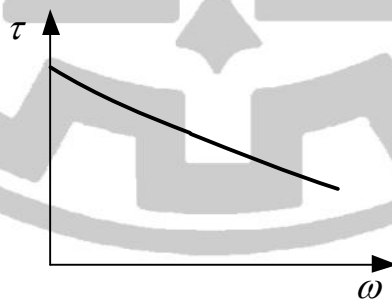
تعریف تحریک جداگانه:

سیم پیچ میدان توسط یک ولتاژ جداگانه از سیم پیچ آرمیچر تغذیه می شود.

نتیجه: شار میدان تابعی از آرمیچر نیست (بع شرط صرف نظر از عکس العمل آرمیچر)

$$\tau = k_t \phi I_a = k_t \phi \left(\frac{V_t - E_a}{R_a} \right) = k_t \phi \left(\frac{V_t - k_e \phi \omega_m}{R_a} \right) \stackrel{k_t=k_e}{=} \left(\frac{k \phi}{R_a} \right) V_t - \left(\frac{k^2 \phi^2}{R_a} \right) \omega_m$$

(در تحریک جداگانه ϕ ثابت فرض می شود.)



ویژگی های مشخصه $\tau - \omega$ ماشین DC :

(1) مشخصه $\tau - \omega$ خطی است (در مقایسه با موتور القایی) با شیب منفی و در نتیجه ماشین DC در تمام محدوده سرعت ($0 \dots \omega_n$) پایدار است.

(2) حداکثر گشتاور در $\omega_m = 0$ رخ می دهد.

برای کنترل سرعت ماشین DC می توان از تمامی پارامترها و متغیرهای R_a , ϕ , (R_f, V_f) , V_t استفاده نمود. البته با V_t رابطه هنوز خطی می ماند و از نظر کنترلی مناسب است.

مثال: یک موتور DC تحریک جداگانه با $\phi = 0.25 \text{ wb}$ و $k = 4$ و $R_a = 10 \Omega$ با ولتاژ نامی 220 vdc در حال کار تحت سرعت 1500 rpm می باشد. گشتاور موتور را محاسبه کنید.

$$E_a = k_e \phi \omega_m = 4 \times 0.25 \times \left(1500 \times \frac{2\pi}{60} \right) = 157 \text{ v}$$

$$I_a = \frac{220 - 157}{10} = 6.3 \text{ A}$$

$$\tau = k_t \phi I_a = 4 \times 0.25 \times 6.3 = 6.3 \text{ N.m}$$

محاسبه بازده:

تلفات:

(1) تلفات چرخشی

$$R_a I_a^2 = 10 \times 6.3^2 \approx 390 \text{ w}$$

(2) تلفات R_a (سیم پیچی آرمیچر):

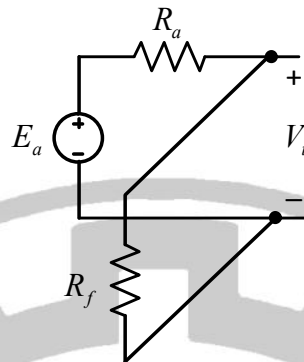
(3) تلفات میدان

$$P_{in} = V_t I_a = 220 \times 6.3 = 1390 \text{ w}$$

توان ورودی:

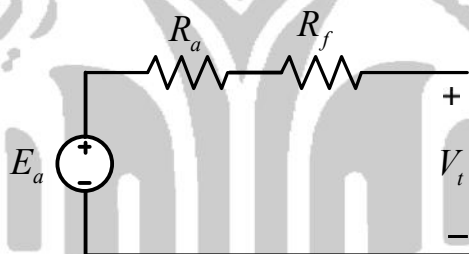
ماشین DC تحریک شنت^۶ (موازی) :

در این ماشین سیم پیچی میدان و آرمیچر هر دو از یک منبع ولتاژ تغذیه می شوند. ($V_t = V_f$)

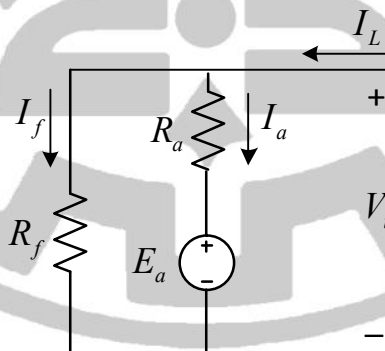


ماشین DC تحریک سری:

در این حالت سیم پیچ میدان (تحریک) و آرمیچر با هم سری می شوند.



مثال: یک موتور DC شنت با ولتاژ نامی $250V$ و $R_a = 0.25\Omega$ و $R_f = 125\Omega$ مفروض است. در بی باری جریان خط DC، $I_L = 5A$ و $\omega = 1200rpm$ می باشد. در بار نامی جریان خط DC، $I_L = 52A$ می باشد. در این حالت ω چقدر است؟



از مدل مداری واضح است که جریان تحریک از مدار آرمیچر مستقل است. $I_f = \frac{250}{125} = 2A$

^۶ Shant

در مدار آرمیچر: $V_t = E_a + R_a I_a$

در بار کامل: $250 = E + (0.25)(52 - 2) \Rightarrow E_{Fl} = 237.5v$

در ادامه باید ضریب $k\phi$ را از $E = k\phi\omega_m$ بدست آورد. این ضریب در بار کامل و بی باری یکسان است.

$$\Rightarrow \frac{E_{Fl}}{E_{nl}} = \frac{\omega_{Fl}}{\omega_{nl}} \quad (*)$$

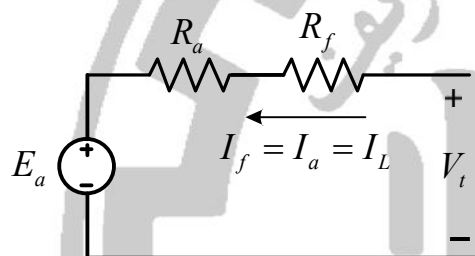
محاسبه E_{nl} :

$$V_t = E_a + R_a I_a$$

$$250 = E + (0.25)(5 - 2) \Rightarrow E_{nl} = 249.25v$$

$$\Rightarrow \omega_{Fl} = 1143rpm$$

مشخصه $\tau - \omega$ موتور DC سری:



$$\tau = k_t \phi I_a$$

$$\phi = k_\phi I_f = k_\phi I_a$$

$$\Rightarrow \tau = k I_a^2$$

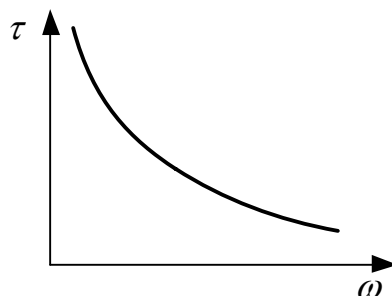
(جهت جریان در تولید گشتاور اثری ندارد.)

در این حالت نیز باید I_a را برحسب ω بدست آورد.

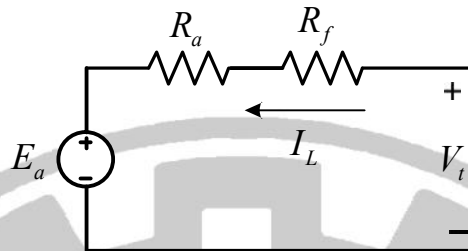
$$I_a = \frac{V_t - E_a}{R_a + R_f} = \frac{V_t - k_e \phi \omega_m}{R_a + R_f} = \frac{V_t - k_e k_\phi I_a \omega_m}{R_a + R_f} = \frac{V_t}{R_a + R_f + k_e k_\phi \omega_m}$$

$$\sqrt{\frac{\tau}{k}} = \frac{V_t}{R_a + R_f + k_e k_\phi \omega_m}$$

$$I_{a \text{ start}} = \frac{V_t}{R_a + R_f}$$



مثال: یک موتور DC سری به شبکه 220v متصل بوده و $\omega_m = 300rpm$ در این حالت جریان 25A کشیده و یک پنکه را می چرخاند. مقادیر $R_a = 0.6\Omega$, $R_f = 0.4\Omega$ مفروض اند. توان تحویلی به پنکه و گشتاور موتور را محاسبه کنید. (از تلفات چرخشی صرف نظر کنید).



با صرف نظر از تلفات چرخشی، چون توان تولیدی $P_{out} = EI_L$ است، تنها کافیسیت مقدار E را محاسبه کنیم.

$$V_t = E + (R_a + R_f)I_L$$

$$220 = E + (0.6 + 0.4)(25) \Rightarrow E = 195V$$

$$P_{out} = EI_L = 195 \times 25 = 4880W$$

$$\tau = \frac{P}{\omega} = \frac{4880}{300 \times \frac{2\pi}{60}} = 155.2 N.m$$

عکس العمل آرمیچر:

شار تولیدی توسط آرمیچرروی صورت (face) قطب های میدان (field) ایجاد تضعیف کرده و این باعث می شود که شار حاصل در ماشین مقدار تولیدی توسط میدان نباشد و قدری کاهش یابد. این پدیده را عکس العمل آرمیچر گفته و اثر آن به صورت کاهش در I_f مدل می شود.

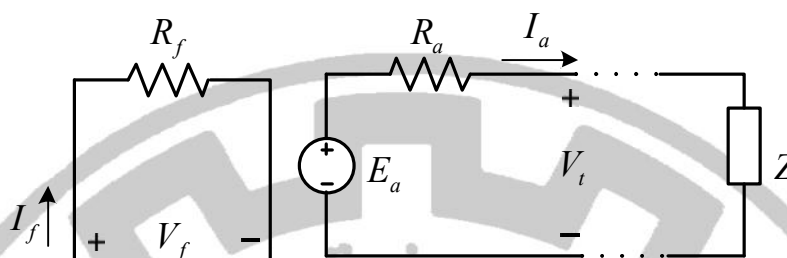
مثال: عکس العمل آرمیچر یک ماشین DC به صورت زیر بیان می شود:

$$I_{f_actual} = I_f - 0.02I_a$$

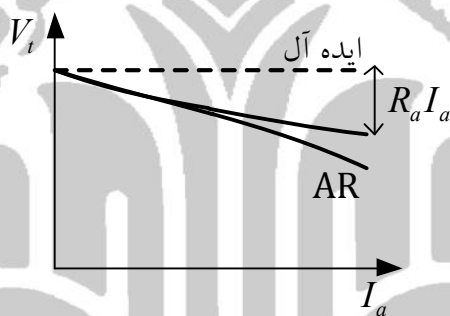
انواع ژنراتور DC :

مشابه با موتور DC در این حالت نیز انواع مختلفی از اتصالات فیلد و آرمیچر موجود است که به صورت تحریک جداگانه ، تحریک سری ، تحریک شنت و کمپوند می باشد.

تحریک جداگانه:



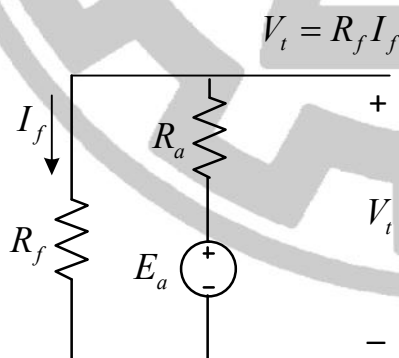
مشخصه خارجی ژنراتور DC تحریک جداگانه:



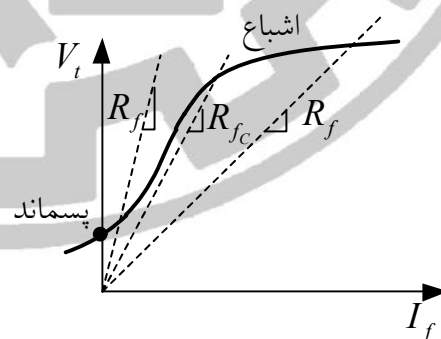
تحریک شنت:

ژنراتور شنت یک ژنراتور خود تحریک است.

اگر از R_a صرف نظر کنیم: $V_t \simeq E$

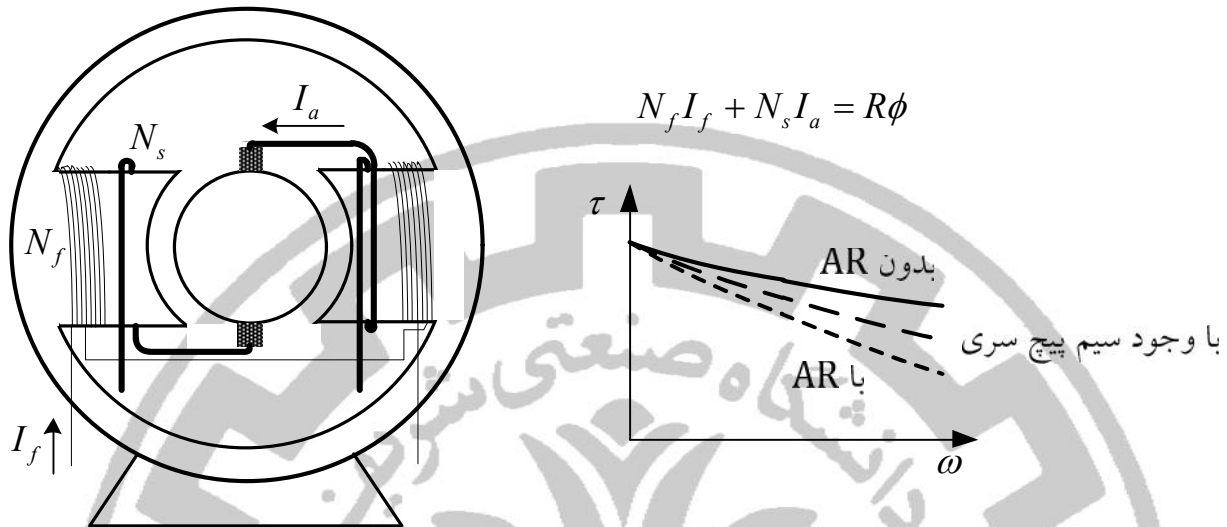


$$V_t = R_f I_f$$



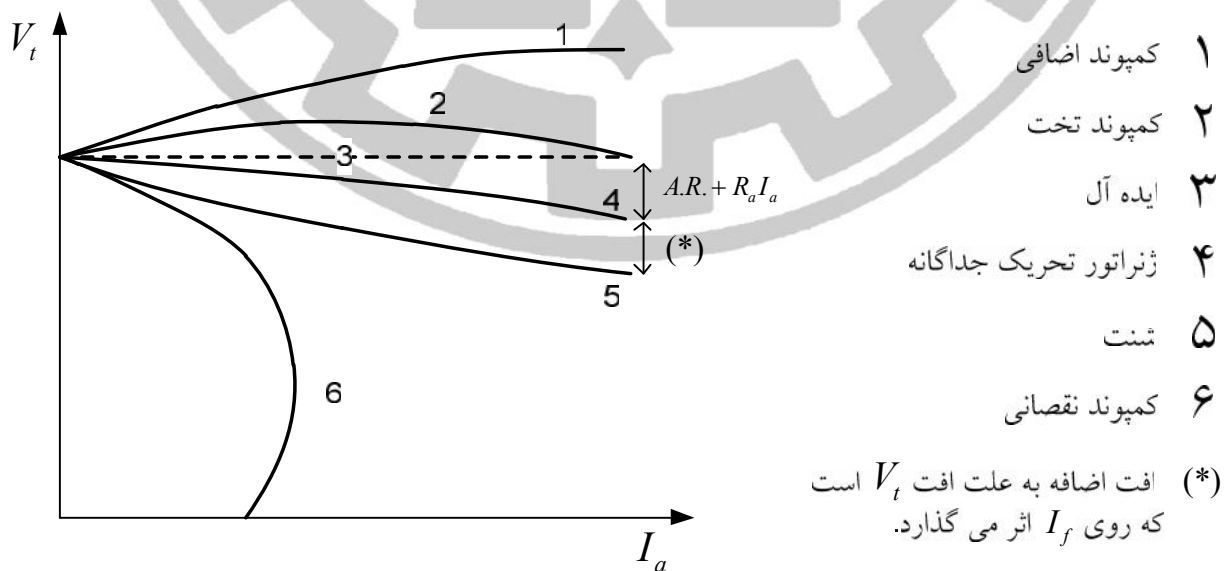
ژنراتور کمپوند (ترکیبی):

در این حالت بخشی از سیم پیچ فیلد توسط چند حلقه تامین می شود که با آرمیچر سری شده اند، به این ترتیب عکس العمل آرمیچر در مشخصه $\tau - \omega$ بهبود می یابد .



با اضافه کردن سیم پیچ N_s که با آرمیچر سری است، بر طبق قانون آمپر، بخشی یا تمام A.R را می توان جبران نمود و بنابراین مشخصه $V_t - I_a$ افت کمتری پیدا می کند. با افزایش N_s حتی می توان $R_a I_a$ را نیز جبران نمود.

افت $R_a I_a$ اهمی است، اما افزایش شار بر طبق قانون آمپر است؛ که دو رابطه متفاوت هستند. در ضمن افزایش شار تابعی از اثرهای غیر خطی اشباع می باشد، پس تنها می توان مشخصه را در یک یا چند نقطه اصلاح نمود. با افزایش I_a حتماً مشخصه افت خواهد کرد (حتی با وجود N_s) زیرا افت $R_a I_a$ همیشه وجود دارد، اما افزایش شار به دلیل اشباع روند کند تری را (با افزایش I_a) طی می کند.



روش های کنترل سرعت موتور DC :

بر طبق مشخصه و مدار معادل یک موتور DC با صرف نظر از مقاومت آرمیچر (R_a) می توان فرض کرد: $V_t \approx E$ و چون $E = k\phi\omega_m$ بنابراین تقریباً بین ولتاژ ترمینال (V_t) و ω_m یک رابطه خطی وجود دارد. در عمل تغییر V_t توسط یک مدار الکترونیک انجام می شود که به صورت خطی یا کلیدزنی کار می کند.

راه اندازی موتور DC :

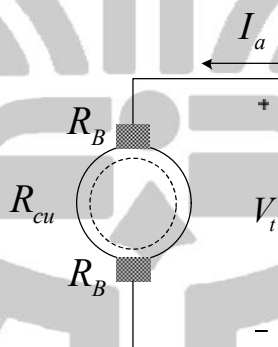
همان طور که از مدار معادل موتور DC بدست می آید در سرعت صفر $\omega = 0 \Rightarrow E = k\phi\omega = 0$

بنابراین اعمال ولتاژ به استاتور منجر به جریان $I_{start} = \frac{V_t}{R_a}$ می شود، که چون R_a معمولاً بسیار کوچک است (به دلیل کم بودن تعداد دور های آرمیچر)، بنابراین جریان start مقدار قابل توجهی است.

مشکلات :

- (1) تلفات
 - (2) تداخل الکترومغناطیسی (EMI)
 - (3) مشکل هماهنگی کلیدها و حفاظت
 - (4) افزایش انرژی جرقه در زیر جاروبک و افزایش خوردگی جاروبک
- ($R_a \Leftarrow$ به شدت افزایش می یابد.)

در حالت معیوب (جاروبک خرده شده) $R_B \gg R_{cu}$ بنابراین $R_a \approx 2R_B$



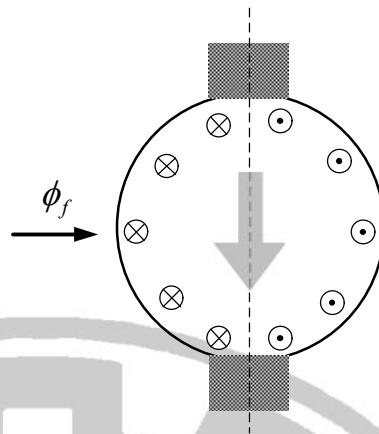
راه حل: افزایش R_a یا کاهش V_t

مشکل این راه حل: اگر $I_{start} \downarrow \Leftarrow \tau_{start} \downarrow$ (با توجه به رابطه $\tau_{start} = k\phi I_{a\ start}$)

(اما در موتور القایی $I_{start} \downarrow \Leftarrow R \uparrow \Leftarrow$ منحنی به سمت چپ می رود $\tau_{start} \uparrow \Leftarrow$)

$$I_f \uparrow \downarrow \Rightarrow \phi \uparrow \downarrow$$

$$I_a \uparrow \downarrow \Rightarrow \phi : c.t.e$$



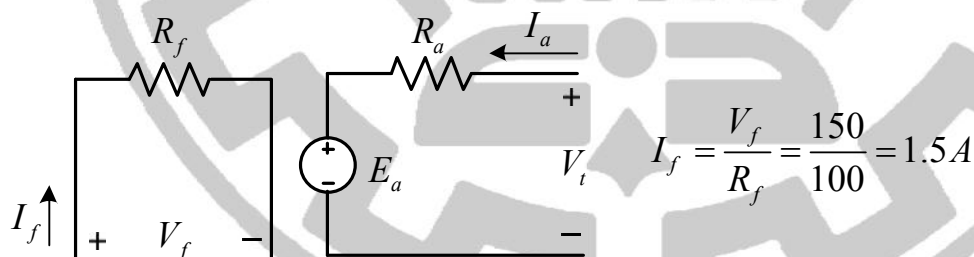
این اشکال در کاهش جریان start موتور DC (یعنی کاهش گشتاور) در موتور القایی با تغییر زاویه ϕ_s و ϕ_r جبران می شود و بنابراین در موتور القایی می توان جریان I_{start} را کم کرد ولی τ_{start} افزایش می یابد. مثال: افزایش مقاومت روتور در موتور القایی: در این حالت توان اضافی تولید شده از طریق اصلاح ضریب توان ($\cos \phi$) تامین می شود (با وجود کاهش I_{start})

این کار در ماشین DC مقدور نیست، زیرا میدان فیلد و آرمیچر بر هم عمود بوده و در بهترین حالت ممکن که امکان بهبود بیشتر وجود ندارد، قرار دارند.

مثال: یک موتور DC تحریک جداگانه با $\phi_f = 0.01 I_f$ مفروض است. مشخصات موتور به شرح زیر است.
 $R_f = 100\Omega$, $V_f = 150v$, $k = 100$

در جریان $I_a = 10A$ گشتاور $12N.m$ تولید می کند.

میزان عکس العمل آرمیچر را از طریق کاهش I_f بدست آورید.



در ادامه مقدار ϕ واقعی که روی آرمیچر اثر می گذارد را محاسبه می کنیم.

$$\tau = k\phi I_a \Rightarrow \phi = 0.012wb$$

اما رابطه ϕ و I_f به صورت $\phi_f = 0.01 I_f$ است. برای ϕ واقعی، I_f واقعی با لحاظ کردن عکس العمل آرمیچر به کار می رود.

$$0.012 = (0.01)(I_f - I_{A.R.}) = (0.01)(1.5 - I_{A.R.}) \Rightarrow I_{A.R.} = 0.3A$$

این مشکل (کاهش $\phi \Leftarrow \tau_{motor}$) در حالت ژنراتوری نیز باعث کاهش V_t می شود. (از طریق تضعیف E)

اهمیت این موضوع: در ژنراتور سنکرون باعث کاهش ولتاژ V_{AC} ترمینال استاتور می شود.