ماشین DC :

موتور : تبدیل انرژی الکتریکی به مکانیکی (گشتاور تولید شده)

ژنراتور : تبدیل انرژی مکانیکی به الکتریکی (ولتاژ القا شده)

در حالت ژنراتوری :

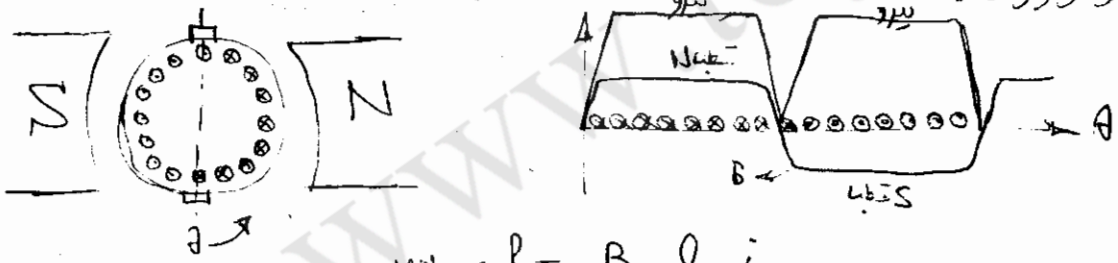
$$E_{ar} = \frac{\Phi \omega_m Z P}{2\pi a} = \frac{\Phi . N . n . P}{2 . a . 60} = \frac{\Phi . Z . n P}{a . 60}$$

$\omega_m = n . \frac{2\pi}{60}$ تعداد کل هادی‌ها : Z تعداد دور یک سیم‌پیچ : N تعداد دور در دقیقه : n

$$\Rightarrow \boxed{E_{ar} = K_a \Phi \omega_m}$$

تغییرات ولتاژ آرمیچر
- ۱) تغییر شار با ثابت نگه داشتن سرعت آرمیچر
- ۲) تغییر سرعت آرمیچر با ثابت نگه داشتن شار
- ۳) تغییر هردو یا پارامتر شار و سرعت

گشتاور تولید شده در موتورها :



نیروی هر هادی $f_c = B . l . i$ ← جریان هادی ، طول هادی ، چگالی شار

$$\Rightarrow F = B_{ar} . I_c . l Z$$

$\tau = B_{ar} . I_c . l . Z . r$ ← شعاع فاصله هوایی

شار زیر قطب $\Phi = B_{ar} . \tau_p . l$ ← گام قطب

$$\tau_p = \frac{2\pi r}{P} \qquad \Phi = B_{ar} . \frac{2\pi r}{P} . l \qquad B_{ar} = \frac{\Phi P}{2\pi} . \frac{1}{rl}$$

www.teyf.com

$\tau = \frac{1}{2\pi}\Phi I_c Z P$ $\quad \tau = \frac{1}{2\pi}\Phi I_a Z \frac{P}{a}$ $\quad (I_a = a I_c)$

گشتاور تولیدی $\tau = K_a \Phi . I_a$ $\quad K_a = \frac{ZP}{2\pi a}$

Φ: میدان آرمیچر — I_a: جریان متناظر

کنترل گشتاور:
1) ثابت نگه داشتن جریان آرمیچر I_a و تغییر ولتاژ
2) تغییر جریان آرمیچر و ثابت نگه داشتن شار
3) تغییر هر دو پارامتر.

مثال: ماشین DC، 4 قطبی با شعاع متوسط و طول مؤثر آرمیچر به ترتیب برابر با 12.5 cm و 25 cm معرفی است. قطعات ماشین / 75 سطح آرمیچر را پوشش می‌دهند. سیم پیچی آرمیچر از 33 کلاف 7 دوری در 330 شیار جای گرفته اند. چگالی شار متوسط زیر هر قطب $0.76\ T$ می‌باشد. اگر سیم پیچی آرمیچر از نوع حلقوی باشد یا مجاور بسته سرعت 1000 rpm و ولتاژ القا شده ماشین را محاسبه نمایید.

اگر جریان آرمیچر 400 آمپر باشد، ضمن محاسبه جریان کلافها گشتاور الکترومغناطیسی و توان حاصله را محاسبه نمایید. با فرض سیم بندی موجی مقادیر بالا را محاسبه نمایید

$K = \frac{PN}{\pi a} = \frac{4 \times 33 \times 7}{\pi \times 4} = 73.5$ $\quad$ سطح گسستگ قطب $= A_p = \frac{2\pi \times 0.125 \times 0.25 \times 0.75}{4}$ wb

$A_p = 36.8 \times 10^{-3}\ m^2$ $\quad \Phi = A_p B = 0.028$

$E_{ar} = K\Phi\omega_m = 73.5 \times 0.028 \times \frac{1000}{60} \times 2\pi = 215.3^{V}$

جریان کلافها $I = \frac{I_a}{a} = \frac{400}{4} = 100^{A}$ $\quad \tau = K\Phi I_a = 73.5 \times 0.028 \times 400 = 823.5^{Nm}$

توان حاصله $P_{ar} = E_{ar} I_a = 860^{kw}$

← به معنی توان تبدیلی است.

* در سیم بندی موجی یا مجاور اگر همان سیم بندی که مثلاً در موجی است در مجاور استفاده شود تعداد عادی ها همان باشد در توان حاصله باید تغییر کند زیرا جریان در یکی نصف و ولتاژ دو برابر می شود و یا بالعکس

تعادل توان در ماشین های DC: سرعت مکانیکی چرخش روتور

توان حاصله (توان معیار انتقالی)
- توان مکانیکی ورودی: $\tau, \omega \Leftarrow$ $\quad P_m = \tau \omega_r$
- توان الکتریکی خروجی: $I_a, E_a \Leftarrow$ $\quad P_e = E_a I_a$

$\Rightarrow P_m = P_e \Rightarrow \tau \omega_r = E_a I_a = K_a \Phi \omega_r I_a \Rightarrow \tau = K_a \Phi I_a$

www.teyr.com

راندمان دستگاه‌های الکتریکی:

اهمیت راندمان (صرفه‌جویی در مصرف):
1- طراحی (به کارگیری عایق مناسب)
2- در کارکرد (انرژی و مصرف آن، بهینه‌سازی مصرف انرژی)

راندمان (ماشین‌های DC)
- 1) تلفات مسی یا متغیر
  - i) تلفات آرمیچر + (تلفات جاروبک‌ها) $(I_a^2 R_a)$
  - ii) تلفات مسی میدان (استاتور) $(I_f^2 R_f)$
- 2) تلفات ثابت (مقدار کل این توان با یک آزمایش قابل محاسبه می‌باشد)
  - i) تلفات مکانیکی
    - تلفات اصطکاک
    - تلفات تهویه
    - تلفات اصطکاک جاروبک‌ها
  - ii) تلفات هسته
    - تلفات فوکو
    - تلفات هیستریزیس
- 3) تلفات بارسرگردان (قابل اندازه‌گیری نیست)
  - i) تلفات بارسرگردان مسی (تلفات مسی از اثر پوستی و جریان‌های فوکو در هادی‌ها)
  - ii) تلفات بارسرگردان هسته (تلفات هسته از اثر هیسترزیس و جریان‌های فوکو)

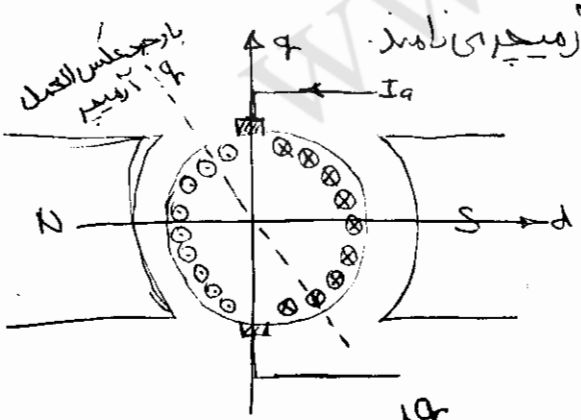
اثر پوستی: عبور جریان با فرکانس بالا، سطح مقطع سیم کاهش می‌یابد چون الکترون‌ها تمایل دارند که به پوسته‌های انتهایی بروند پس مقاومت‌های هادی افزایش پیدا می‌کند برای اندازه‌گیری این قسمت باید تمام هارمونیک‌ها را در نظر گرفت.

* تلفات بارسرگردان: یک درصد توان خروجی ماشین است.

عکس‌العمل آرمیچر:

mmf تولید شده در اثر عبور جریان از آرمیچر را عکس‌العمل آرمیچر می‌نامند.

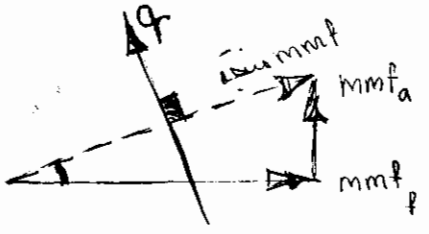
* جهت mmf تولید شده در راستای محور q یا محور جاروبک‌ها می‌باشد.



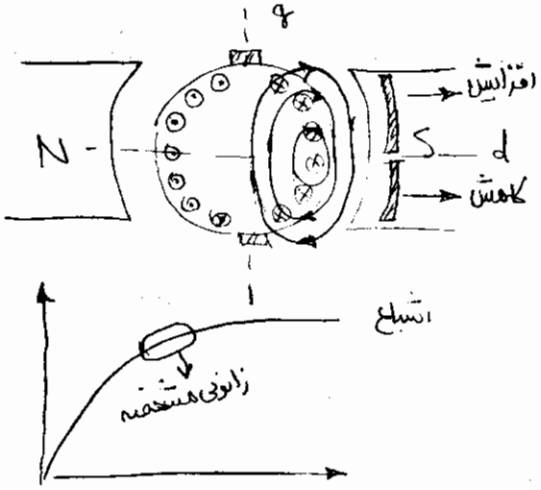
اثرات عکس‌العمل آرمیچر:

1) جابجایی محور خنثی (محور خنثی محور جاروبک‌ها است)

* ولتاژ القا شده کلاف زیر این محور صفر می‌باشد. در نتیجه به وجود آمدن ولتاژ القایی در کلاف زیر کموتاسیون (کموتاسیون در این حالت ناقص صورت می‌گیرد، جرقه زدن و سوختن جاروبک‌ها)

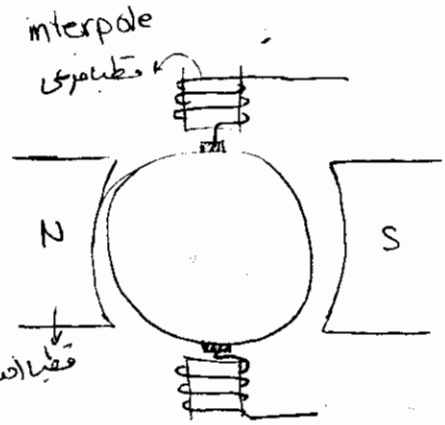


www.teyf.com



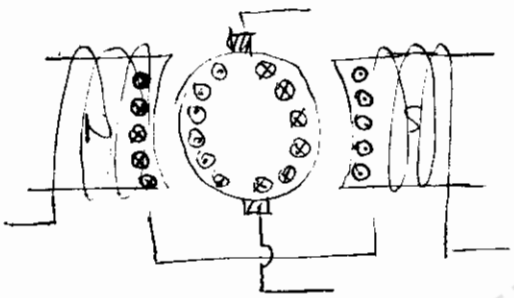
۲) معنا طیس زدایی میدان هسته : (ضروری)
باعث کاهش متوسط جریانی شار در سطح قطب می شود.

قسمت بالایی قطب افزایش شار ایجاد می کند چون ماشین در قسمت زانوی مشخصه است پس این افزایش باعث به اشباع رسیدن می شود ولی قسمت پایین قطب برای کاهش شار می شود پس به شدت زیادی از جریانی شار آن کاسته می شود و در کل می توان گفت که این کار باعث معنا طیس زدایی می شود.



خنثی کردن عکس العمل آرمیچر:

۱) قطب های فرعی : روی محور q و سیم پیچ آن با آرمیچر سری می شود (سیم های ضخیم) تا به ازای اثر عکس العمل آرمیچر mmf برابر و در جهت مخالف در q (محور q) ایجاد کند.



۲) سیم پیچ های جبران کننده : سیم هایی در داخل شیارهای سطح قطب اصلی با جریان هایی سری شده با آرمیچر ولی در جهت خلاف هادی های آرمیچر

* محاسبات و فرمول ها برای سیم پیچ های جبران کننده :

$$AT_{cs} = AT_a \times \frac{\text{گام قطب}}{\text{گام قطب}}$$

$$AT_a = \frac{ZI_a}{2qp}$$

برای هر قطب

* فرمول برای قطب های فرعی: (حیطه‌ای شار قطب فرعی)

$$AT_i = AT_a + \frac{B_i}{\mu_0} l_{g_i}$$

(آمپر دور قطب فرعی) — (طول فاصله هوایی قطب فرعی)

روش های تحریک ماشین های DC : (تحریک : تغذیه سیم پیچ استاتور)

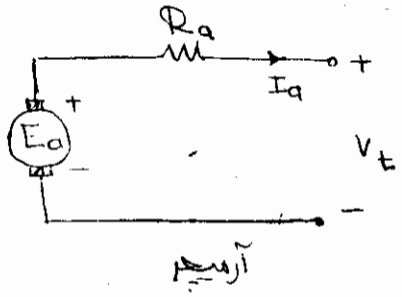
۱) از نظر تغذیه
- از طریق ژنراتور (سیم پیچ استاتور دارای تعداد دور زیاد ، قطر کم) (سیم پیچ موازی، شنت)
- از طریق جریان (سیم پیچ استاتور دارای تعداد دور کم و قطر زیاد) (سیم پیچ سری)

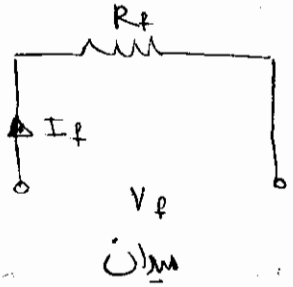
www.teyf.com

۲) از نظر نوع اتصال به آرمیچر
- i) تحریک مستقل (از منبع جداگانه تغذیه می‌شود)
- ii) تحریک خودی (از آرمیچر تغذیه می‌شود)
- iii) تحریک کمپوند (که هم سیم‌پیچ سری و هم سیم‌پیچ موازی در سیستم وجود خواهد داشت)

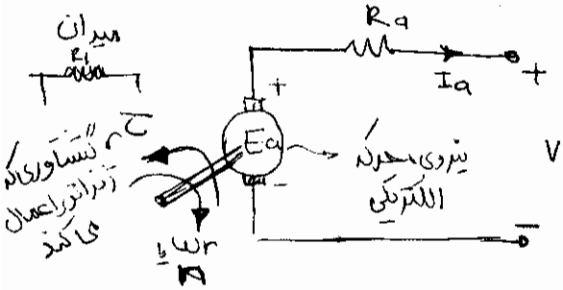
مدار معادل ماشین DC:

در حالت پایدار:





در ژنراتورها:



$V_t = E_a - I_a R_a \quad E_a > V_t$

$P_{mech} = E_a I_a$ توان خالص مکانیکی

V_t ولتاژ تولیدی

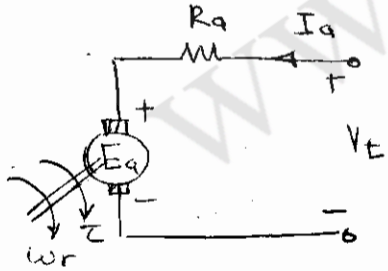
نیروی محرکه الکتریکی

$P_{out} = V_t I_a$ خروجی

$E_a I_a - V_t I_a = I_a^2 R_a$ تلفات مسی آرمیچر

P_{mech} کل = P_{mech} خالص + تلفات چرخشی

در موتورها:



$V_t = E_a + I_a R_a \quad V_t > E_a$

P_{mech} خالص = $E_a I_a$ = توان تبدیلی الکتریکی

$P_i = V_t I_a$

P_o = توان خالص = P_{mech} خالص $(E_a I_a)$ − تلفات چرخشی

$V_t I_a - E_a I_a = I_a^2 R_a$ تلفات مسی آرمیچر

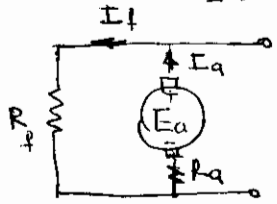
انواع تحریک‌ها:

۱) تحریک‌های خودی
- تحریک مستقل (ماشینی با آهن‌ربای دائم از نوع تحریک مستقل است)
- ۲) تحریک سری ← کلفت - تعداد دور کم
- تحریک موازی ← باریک - تعداد دور بالا
- ۳) تحریک کمپوند

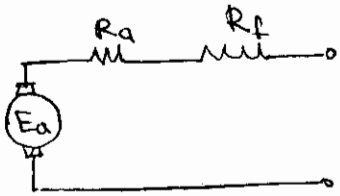
www.toyf.com

مدار معادل ماشین‌های DC از نظر تحریک:

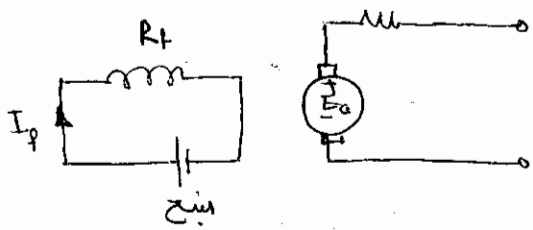
۱) تحریک خودی موازی:



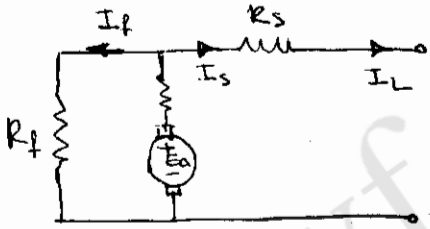
۲) تحریک خودی سری:



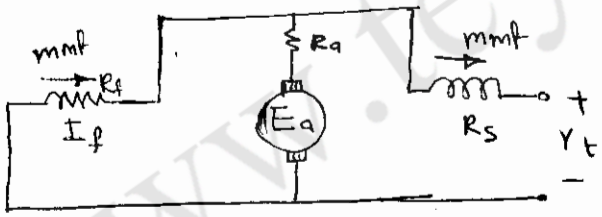
۳) تحریک مستقل (تحریک جداگانه):

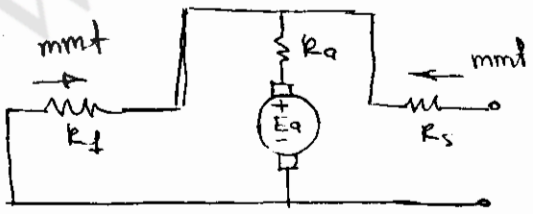


۴) تحریک کمپوند (ترکیبی):



کمپوندها:
- ۱) کمپوند اضافی (mmf اصلی و mmf سری هم‌جهت)
- ۲) کمپوند نقصانی





+ : برای حالت موتوری

− : برای حالت ژنراتوری

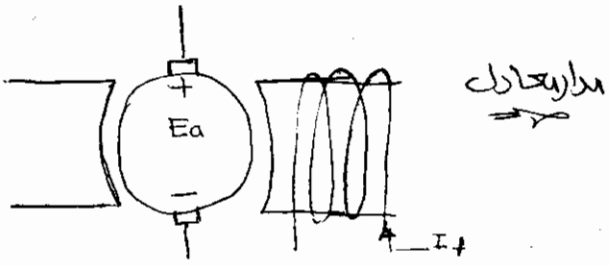
$$\begin{cases} V_a = E_a \pm I_a R_a \\ V_a = E_a \pm I_a (R_a + R_s) \\ I_L = I_a \pm I_f \end{cases}$$

در ژنراتورها: $I_a > I_L$

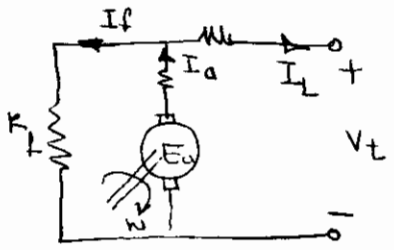
در موتورها: $I_a < I_L$

www.teyf.com

منحنی مشخصه بی باری ماشین های DC (منحنی مغناطیس شوندگی ماشین):



مدار معادل



$V_t = E_a - I_a R_a$

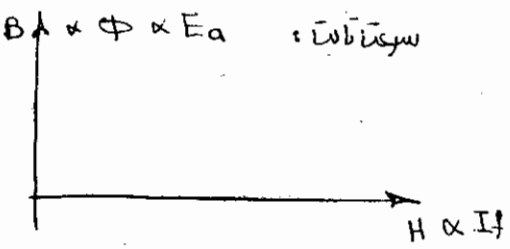
$\overset{0}{I_a} R_a$

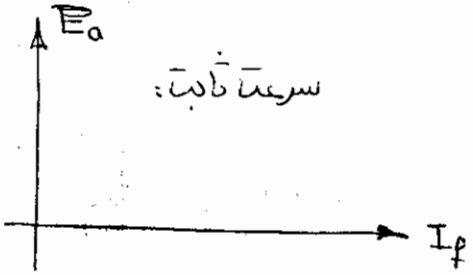
در حالت بی باری: $V_t = E_a$

$I_L \simeq I_a = 0$

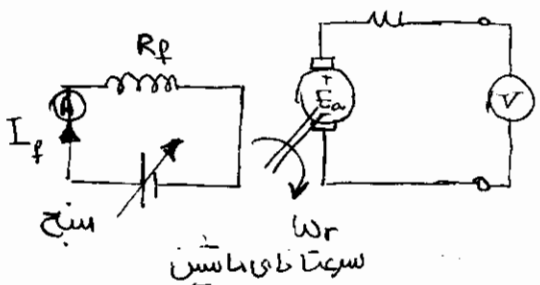
$I_a = I_f$, $I_L = 0$

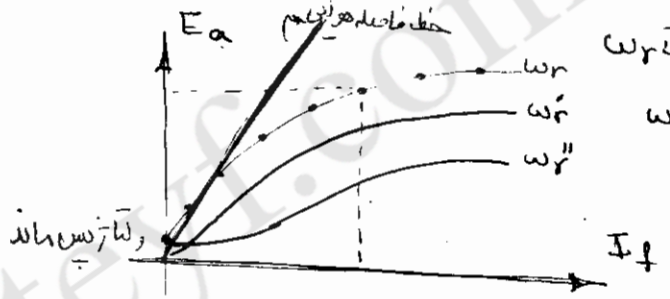
$E_a \propto \Phi w \xrightarrow{w=cte} E_a \propto \Phi$





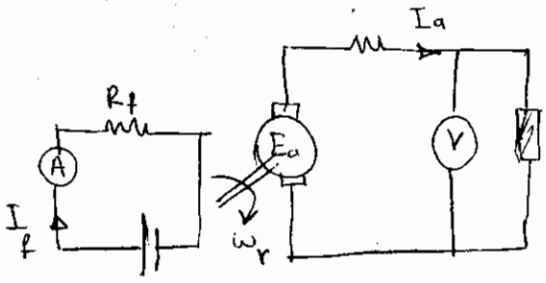
رسم منحنی مغناطیس شوندگی (منحنی بی باری ماشین):

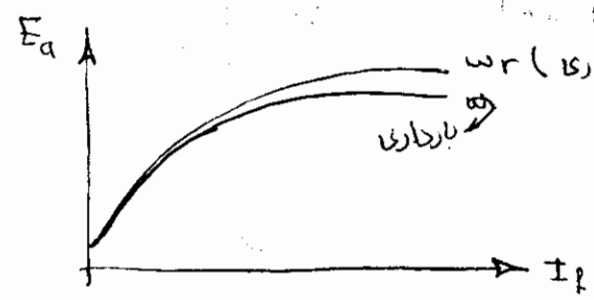




با تغییر دادن ولتاژ منبع در حالت بی باری می توان نقاطی را به دست آورد و با وصل این نقاط می توان منحنی مشخصه مغناطیس شوندگی را به دست آورد. ولتاژ خروجی را ولتمتر و جریان (یا میدان) را می توان با آمپرمتر اندازه گیری کرد.

در حالت بارداری:

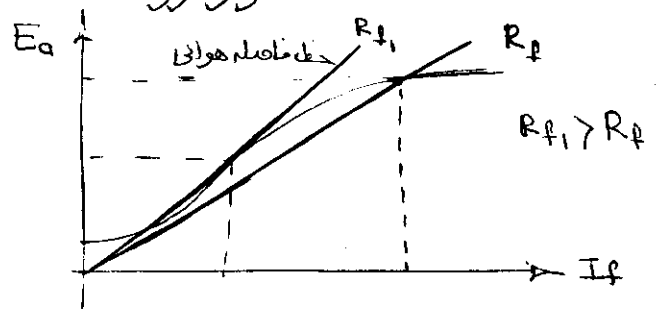


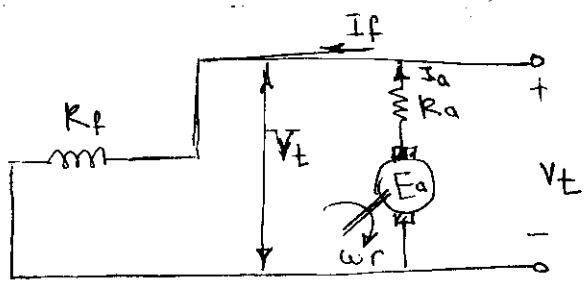


به دلیل عکس العمل آرمیچر به خاطر اثر تضعیف شار در عکس العمل آرمیچر

www.tejf.com

منحنی مغناطیس شوندگی ژنراتور - شنت:





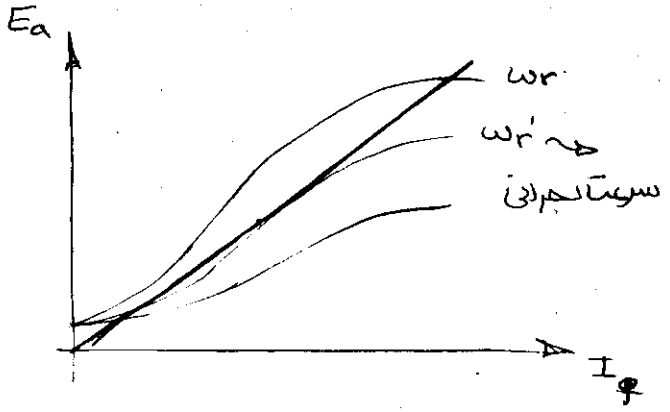
$E_a \simeq V_t \quad ; V_t = I_f R_f \qquad \frac{E_a}{I_f} = \frac{V_t}{I_f} = R_f$

* اگر خط R_f را رسم می‌کنیم با افزایش R_f ، خطی که روی خط فاصله هوایی قرار می‌گیرد به این مقاومت مقاومت بحرانی ماشین گوییم.

۱) پس ماند مغناطیسی ماشین
۲) از پس ماند مغناطیسی تحت سرعت ثابت ماشین ولتاژی در آرمیچر القا می‌شود.
۳) ولتاژ ایجاد شده جریان کوچکی را در میدان سبب می‌شود
۴) تقویت شار زیر قطب را افزایش ولتاژ آرمیچر را خواهیم داشت
۵) افزایش جریان میدان و تقویت شار زیر قطب را ادامه پروسه تا رسیدن به نقطه پایدار ماشین.

مقاومت بحرانی:
ما کزیمم مقاومت میدانی است که می‌تواند ولتاژ آرمیچر را نسبت به حالت پس ماند افزایش دهد در غیر اینصورت تقویت شار زیر قطب‌ها امکان نداشت.

شرایط تولید ولتاژ در ماشین DC شنت:
۱) دارا بودن پس ماند مغناطیسی.
۲) اتصالات میدان و آرمیچر طوری باید انجام گیرد که mmf حاصل از جریان I_f پس ماند مغناطیسی را تقویت کند.
۳) عدم اتصال جاروبک‌ها به تیغه‌های مسی.

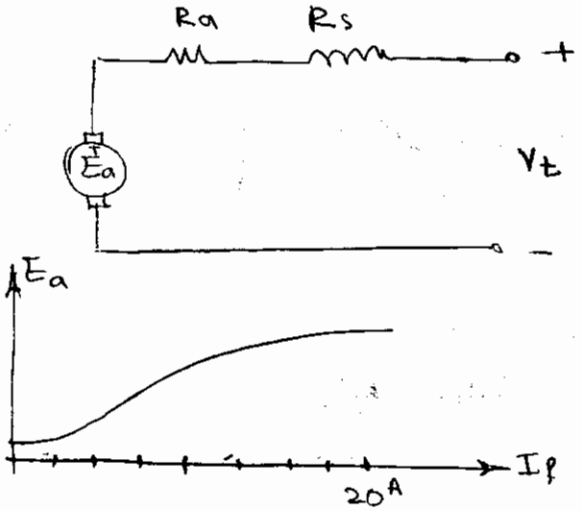


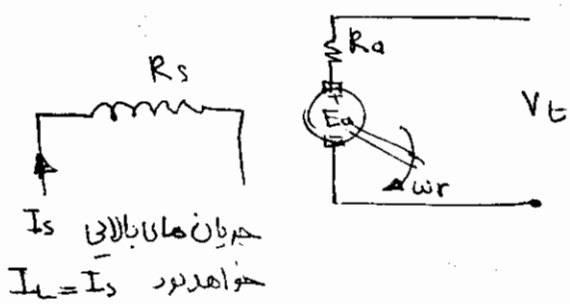
تحت سرعت کمتر همان مقاومت میدان.

سرعت بحرانی: اگر سرعت را کم کنیم، به سرعت‌هایی که می‌تواند min ولتاژ آرمیچر را ایجاد کند، سرعت کمتر از این سرعت بحرانی باعث عدم تولید ولتاژ یا اختلال در تولید ولتاژ خواهد شد.

www.teyf.com

مخفی مغناطیس شوندگی سری:





جریان های بالایی
$I_L = I_s$ خواهد بود

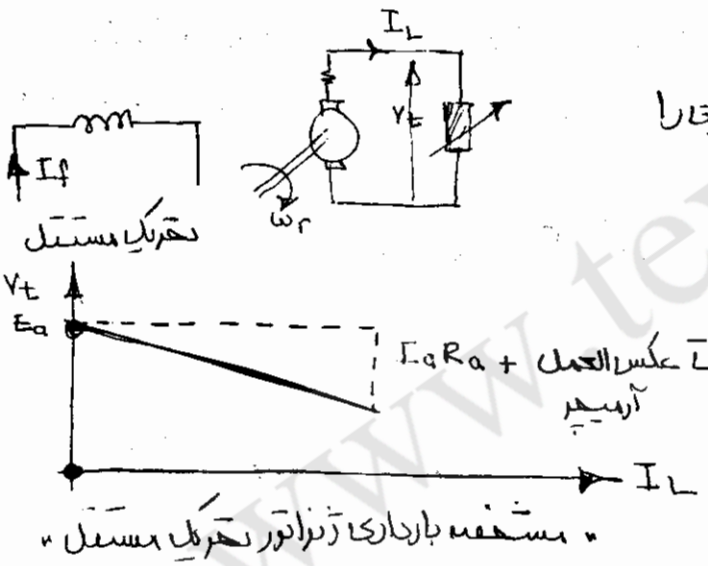
ژنراتورهای DC:

مخفی مشخصه های بارداری: مخفی ولتاژ ترمینال بر حسب جریان خط خروجی خواهد بود.

۱) ژنراتور تحریک مستقل:

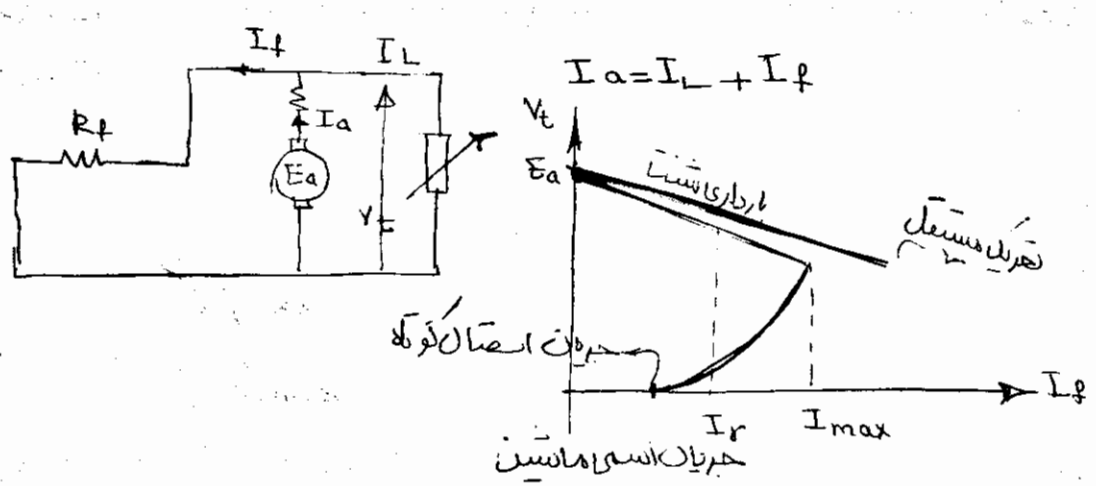
تحت سرعت ثابت و جریان میدان ثابت ولتاژ خروجی را نسبت به جریان بار رسم می کنیم.

اگر از عکس العمل آرمیچر صرفنظر کنیم مخفی خطی میشود ولی اگر عکس العمل آرمیچر را در نظر بگیریم مخفی غیر خطی می شود.



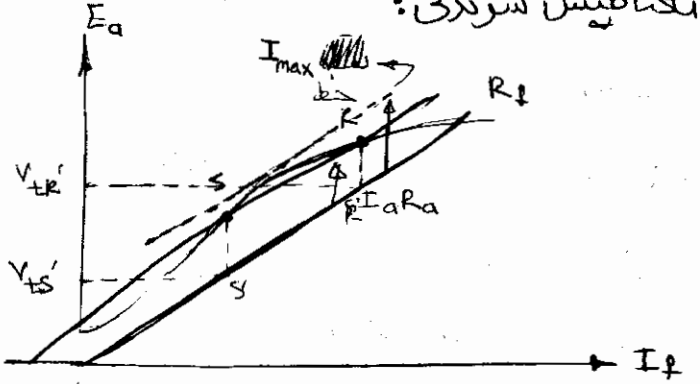
« مشخصه بارداری ژنراتور تحریک مستقل »

ژنراتور موازی:



www.teyf.com

تعیین مشخصه بارداری ماشین DC شنت از مشخصه مغناطیس شوندگی:

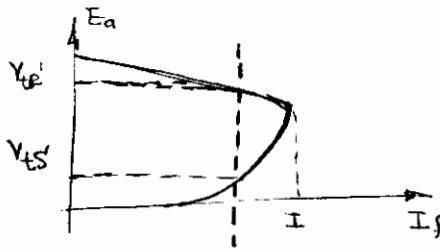


$$I_a = I_L + I_f \quad ; \quad E_a = V_t + I_aR_a$$

$$V_t = I_fR_f$$

تحت هر جریان آرمیچر افت آرمیچر را روی خط R_f به صورت خطی موازی آن رسم کرده و نقطه ولتاژ پایداری را به دست آورد.

خطی که تنها یک نقطه مشخصه مماس می‌شود I_{max} است.



"مشخصه بارداری"

جریان اتصال کوتاه: ولتاژ پس‌ماند $I_{sc}R_a =$

$$I_{sc} = \frac{\text{ولتاژ پس‌ماند}}{R_a}$$

مثال: برای موتور شنت با مشخصه مغناطیس شوندگی زیر تحت مقاومت میدانی برابر با $354.5\ \Omega$ مطلوبست:

الف) ولتاژ ترمینال در جریان آرمیچر برابر با $25\ A$ ، ب) ماکزیمم جریان آرمیچر و ولتاژ ترمینال مربوطه.

ج) جریان اتصال کوتاه آرمیچر حالی که مقاومت آرمیچر $0.5\ \Omega$ باشد.

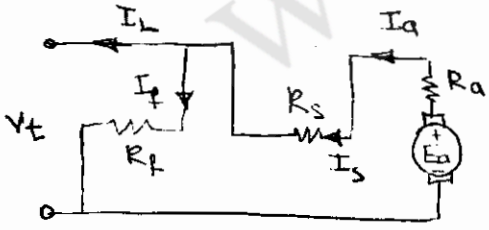
مشخصه بی باری

I_f	0	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7
$E_a = V_{o.c}$	7.5	93	135	165	186	202	215

رژیم‌های کمپوند (ترکیبی):

از نظر تحریک — i) کمپوند اضافی
ii) کمپوند نقصانی

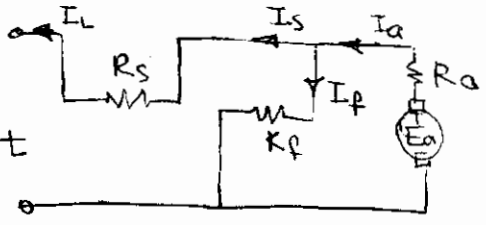
از نظر مدار — i) کمپوند شنت بلند:



$I_s = I_a$

(R_f بعد از R_a ، R_s است)

ii) کمپوند شنت کوتاه:

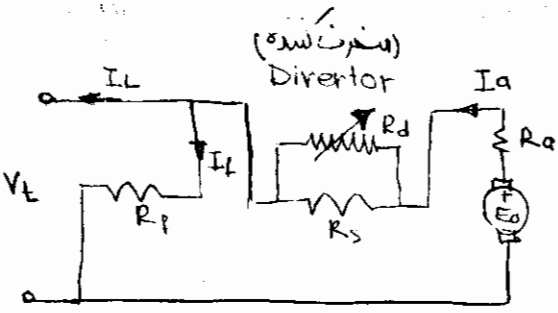


$I_s = I_a - I_f$

(R_f قبل از R_s است)

www.teyf.com

مشخصه‌های بارداری ژنراتور کمپوند:



۱) ژنراتور کمپوند تخت: می‌توانیم میدان سری را طوری تنظیم کنیم که افت آرمیچر را جبران کند یعنی به ازای جریان های متفاوت ولتاژ خروجی ثابتی خواهیم داشت.

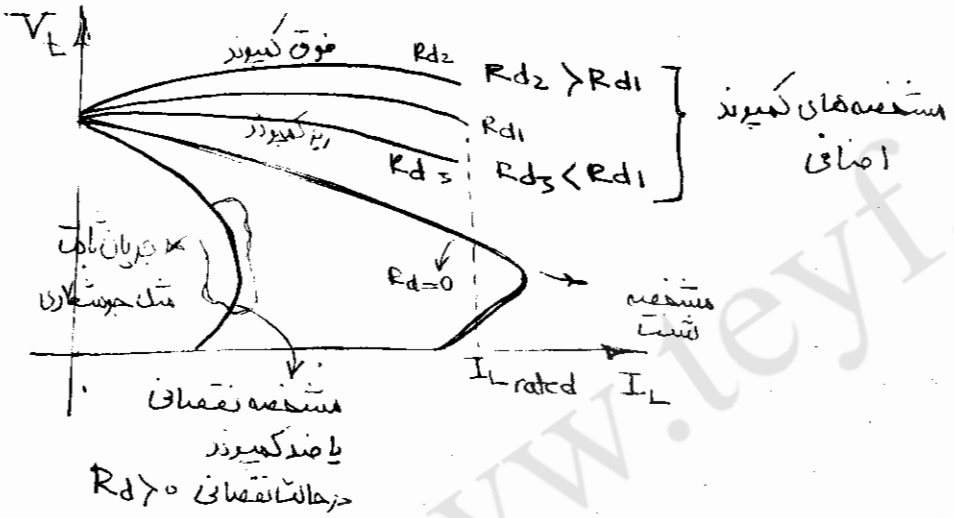
ژنراتور ولتاژ ثابت در خروجی ای باشد.

نحوهٔ تنظیم ژنراتور تخت: ۱) میدان سری به صورت اضافی باید بسته شود.

2) در حالت شنت ($R_d=0$) ولتاژ بی باری ثبت شود.

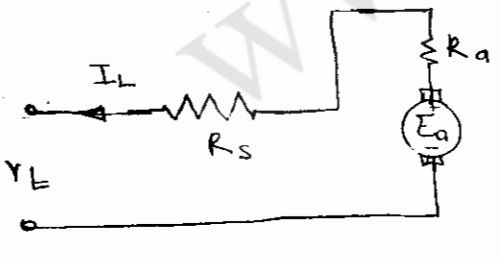
3) بار کامل ماشین را اعمال می‌کنیم و افت ناشی از عکس العمل آرمیچر و افت اهمی آرمیچر را با افزایش مقاومت R_d جبران می‌کنیم تا ولتاژ همان ولتاژ بی باری ماشین گردد.

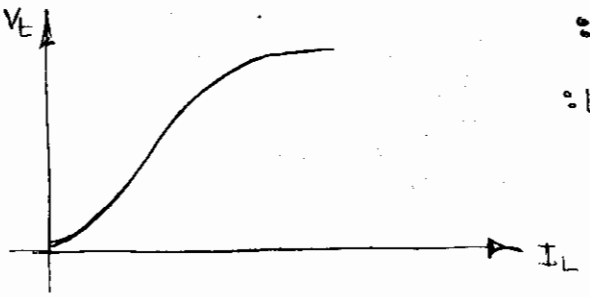
4) در هر جبران دیگری از بار با ثابت نگه داشتن مقدار R_d ولتاژ خروجی ثابت خواهد ماند.



ژنراتور سری:

مشخصه بارداری:

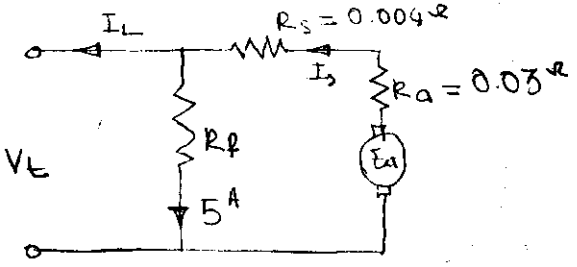




مثال: ژنراتور کمپوندی با توان 100^{kW} با ولتاژ اسمی 200^{V} دارای مقاومت معادل 0.03^{Ω} در مدار آرمیچر و مقاومت میدان سری برابر با 0.004^{Ω} می باشد تعداد دور سیم پیچ میدان اصلی 1200^{t} برای هر قطب و سیم پیچ میدان سری دارای 5^{t} در هر قطب می باشد. سخن بعنا فلس شوندگی میدان موازی تحت سرعت 1000^{rpm} به قرار زیر است. در صورتیکه این ژنراتور به صورت اضافی بسته شود. مطلوبست محاسبه ولتاژ ترمینال تحت جریان اسمی در صورتیکه جریان میدان موازی 5^{A} و سرعت ماشین 950^{rpm} باشد. از اثر عکس العمل آرمیچر صرفنظر شده و مدار شنت را بلند در نظر گرفته شود.

$I_{f(A)}$	0	1	2.2	3.5	4.2	5.5	7.1
$E_{a(V)}$	11	55	100	167	200	215	225

www.teyf.com



حل: جریان نامی $I_L = \frac{100000}{200} = 500^A$

$I_s = I_L + I_f = 500 + 5 = 505^A$

$I_{eq} = I_f + \frac{N_s}{N_f} I_s = 5 + \frac{5}{1200} .505 = 7.1^A$

* جریان معادل کمپوند: I_{eq} (+اضافی، −نقصانی)

$$I_{eq} = I_f \pm \frac{N_s}{N_f} I_s$$

$E_a = 222.5$ تقاسرعت 1000^{rpm} ⇒ تقاسرعت $E_a = \frac{950}{1000} 222.5 = 211.38^V$ rpm 950

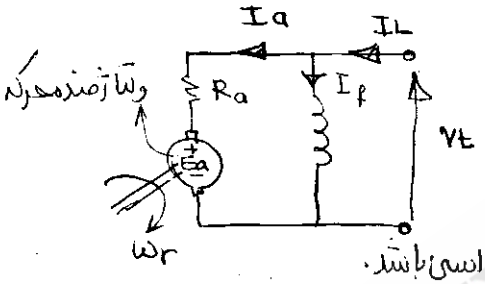
$V_t = E_a - I_a(R_s + R_a) \Rightarrow V_t = 194.21^V$

موتورهای DC:

کاربردهای کنترل مطرح باشد { i) کنترل سرعت ii) کنترل موقعیت

انواع موتورهای DC:

1) موتور شنت (موتور تحریک مستقل):



در هنگام راه اندازی $\omega = 0$, $E_a = 0$ ⇐

$I_a = \frac{V_t}{R_a}$ ⇒ I_a (هنگام راه اندازی) بسیار بزرگ است

پس برای کنترل جریان راه اندازی ولتاژ اعمالی باید به مراتب کمتر از ولتاژ نامی باشد.

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

1-1) موتورهای آهنربای دائم

2) موتور سری:

3) موتور کمپوند:

موتور شنت: $E_a = k_n N \Phi$, $T_e = K_t I_a \Phi$; $N = k_N \frac{E_a}{\Phi}$ ← ولتاژ آرمیچر

کنترل شار زیر مطلب

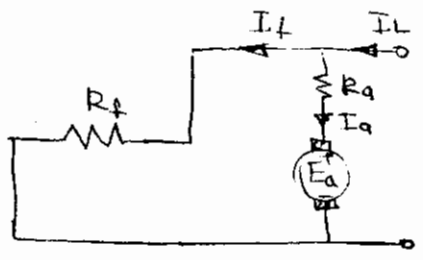
* دو رابطه همه موجود در ماشین ها

برای کنترل سرعت آرمیچر { i) کنترل E_a ← کنترل V_t (یا V_t را توان E_a را تنظیم کرد)
ii) کنترل Φ ← کنترل I_f ← با یک پتانسیومتر سر راه I_f

$E_a = V_t - I_a(R_a + R_s)$, $I_{f_{eq}} = I_f \pm \frac{N_s}{N_f} I_s$

www.tevf.com

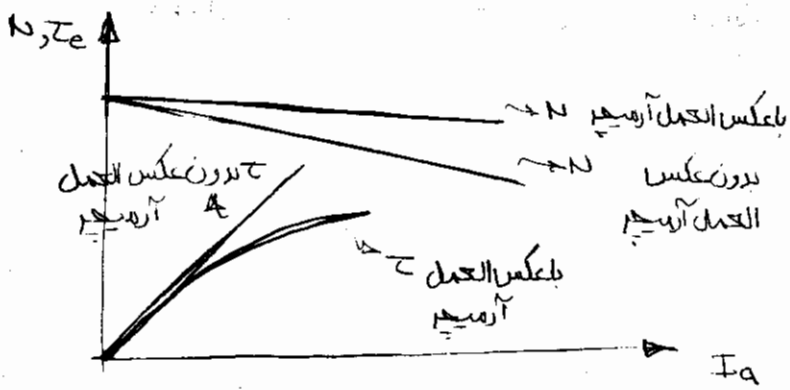
مدار معادل:



$$E_a = V_t - I_a R_a$$

$$N = K_N \frac{E_a}{\Phi} = K_N \frac{(V_t - I_a R_a)}{\Phi}$$

$$\tau_e = k_t \Phi I_a$$



مشخصه‌های موتور شنت:

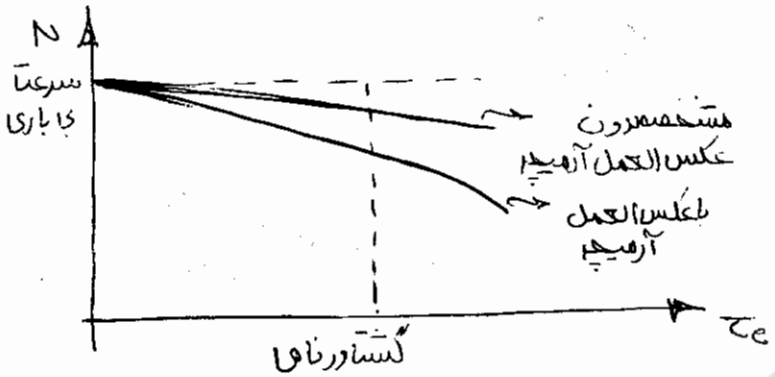
مشخصه سرعت:

مشخصه گشتاور:

در معادله سرعت به جای I_a، $\frac{\tau_e}{k_t \Phi}$ قرار دهید:

$$N = \frac{K_N V_t}{\Phi} - \left(\frac{K_N R_a}{k_t \Phi^2}\right) \tau_e$$

در هر موتوری اگر با افزایش τ_e سرعت کاهش پیدا کند مشخصه شنت داریم.



مثال: موتور شنتی با توان 8 kW با ولتاژ 230 V، با مقاومت 0.7 Ω مدار شنت و ولتاژ 250 V در سرعت 1250 rpm کاری کند و جریانی برابر با 1.6 A از آرمیچر می‌گذرد. گشتاور باری به محور ماشین اضافه شده تا جریان آرمیچر به 40 A افزایش پیدا کند و سرعت ماشین به 1150 rpm کاهش پیدا کند. مطلوبست محاسبه کاهش شار بر حسب درصد از اثر عکس العمل آرمیچر.

$$\Phi = K_N \frac{(V_t - I_a R_a)}{N} \qquad \Phi_{NL} = K_N \frac{(250 - 1.6 \times 0.7)}{1250} = 0.2 K_N$$

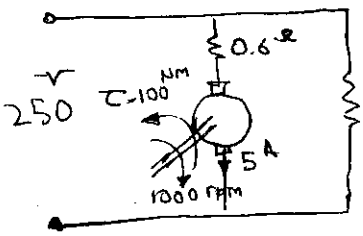
$$\Phi_L = K_N \left(\frac{250 - 40 \times 0.7}{1150}\right) = 0.193 K_N$$

$$\text{کاهش شار} = \frac{0.2 - 0.193}{0.2} = 3.5\%$$

مثال: موتور شنت با ولتاژ اسمی 250 V مقاومت اهمی میدان 150 Ω مقاومت اهمی آرمیچر 0.6 Ω در حالت بی‌باری شنت شار کامل، در سرعت 1000 rpm، با جریان آرمیچر 5 A کار می‌کند. اگر این موتور باری را با گشتاور 100 N.M بچرخاند، جریان آرمیچر و سرعت ماشین را محاسبه نمایید. ۲) اگر موتور توانی برابر با 10 kW در سرعت 1200 rpm تولید داشته باشد. مقدار مقاومت اضافی که به صورت سری با مدار میدان باید قرار بگیرد را محاسبه نمایید. از اثر عکس العمل آرمیچر و اشباع هسته صرفنظر گردد.

www.teyf.com

حل:



$I_a = ?$ ، $N = ?$ $\quad E_a = K\Phi\omega_n = K'\omega_n$ ①

$T_e = K\Phi I_a = K' I_a$ ②

① $\xrightarrow{\text{با داری}}$ $250 - 5\times0.6 = K'\cdot\frac{2\pi\times1000}{60} \Rightarrow K' = 2.36$

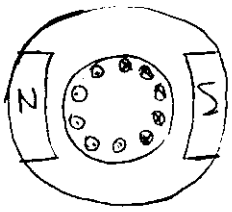
② $\xrightarrow{\text{با داری}}$ $I_a = \frac{100}{2.36} = 42.4^{A}$

$\omega_m = \frac{E_a}{K'} = \frac{250 - 42.4\times0.6}{2.36} = 95.15\ \frac{rad}{s} = 909\ rpm$ درحالت بارداری

ب) 49^{Ω} (جواب مسأله)

موتور آهن ربای دائم:

موتور تحریک مستقل $\begin{cases} \text{i) شنت} \\ \text{ii) آهن ربای دائم} \end{cases}$

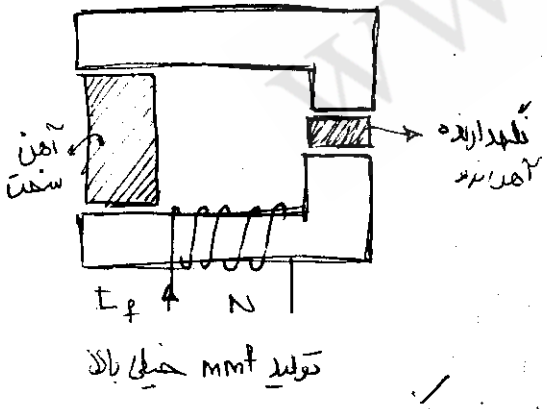


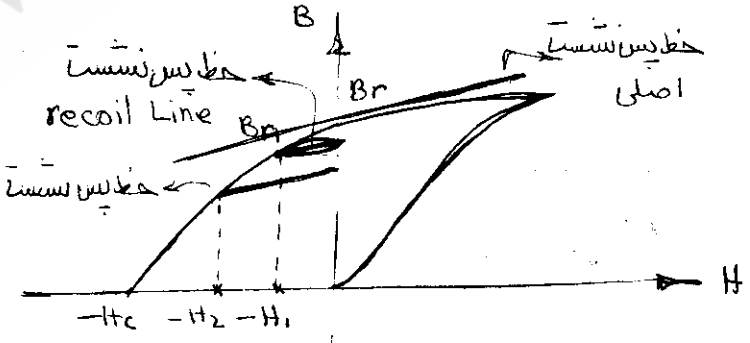
($\mu_r = 8000$)

- طراحی آهن ربای دائم (برای ماشین های DC):

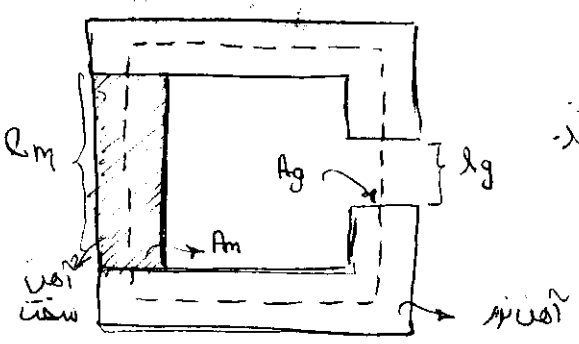
آهن نرم: مواد فرومغناطیسی با پس ماند ضعیف یا کمی باشند ضریب نفوذپذیری نسبی مغناطیسی خیلی بالا

آهن سخت: مواد فرومغناطیسی با پس ماند زیاد که ضریب نفوذپذیری نزدیک به هوا $(\mu_{r max} = 5)$ باشد





* برای اعمال کردن میدان مغناطیسی شکاف هوایی را در داشته و جریان سیم پیچ را صفر می کنیم.



فرضیات: ۱) mmf روی آهن نرم مقابل صرف نظر کردن است.

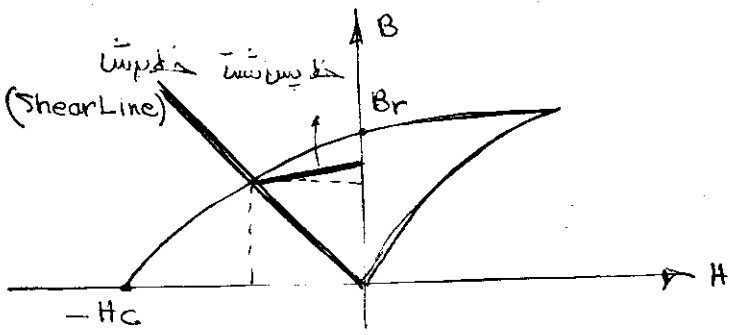
۲) انحراف شار موجود نباشد و شار پخش شده صفر باشد.

قانون مداری آمپر $\quad H_m l_m + H_g l_g = 0 \Rightarrow H_m = -\frac{l_g}{l_m} H_g$

$H_g = -\frac{l_m}{l_g} H_m$

$\Phi = B_m A_m = B_g A_g$: با شرط پیوستگی شار $\qquad B_g = \mu_0 H_g$

$B_m = \frac{A_g}{A_m} B_g = \frac{\mu_0 A_g}{A_m} H_g = -\mu_0 \frac{A_g}{A_m} \cdot \frac{l_m}{l_g} H_m$ ← معادله خطبرش



* نقطه کار آهنربای دائم: دانسته به ابعاد آهنربا و مشخصات هوایی برای بیشینه‌سازی مقادیر پسماند آهنربا خواهد بود.

تعیین حجم آهن‌ربای دائم:

$V_m = A_m l_m = \frac{B_g A_g}{B_m} \cdot \frac{H_g l_g}{H_m} = \frac{B_g^2 V_g}{\mu_0 B_m H_m}$ ← حجم آهنربای دائم

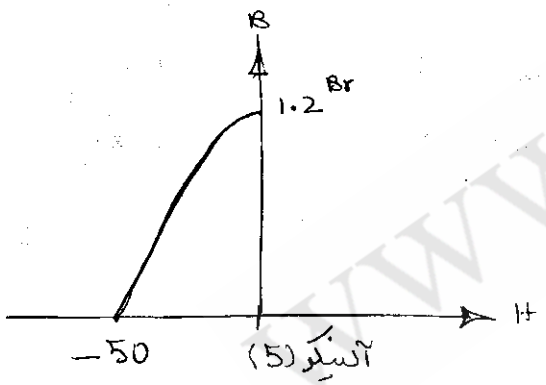
$B_m H_m$: حاصلضرب انرژی آهن‌ربای دائم

* زمانی حجم‌های کمینه می‌شود (حجم آهن‌ربای دائم) که حاصلضرب انرژی آهن‌ربای دائم ماکزیمم شود.

انواع آهن‌ربای دائم:

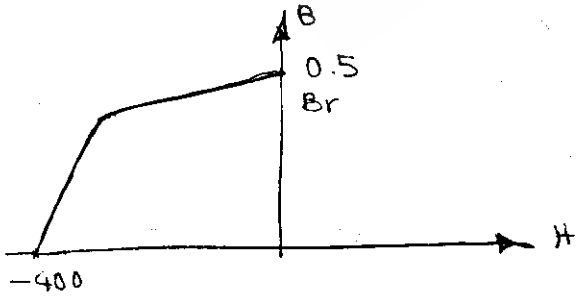
i) آلنیکو: در سال 1930 (آلومینیوم، نیکل، کبالت)

* حاصلضرب انرژی پایین.



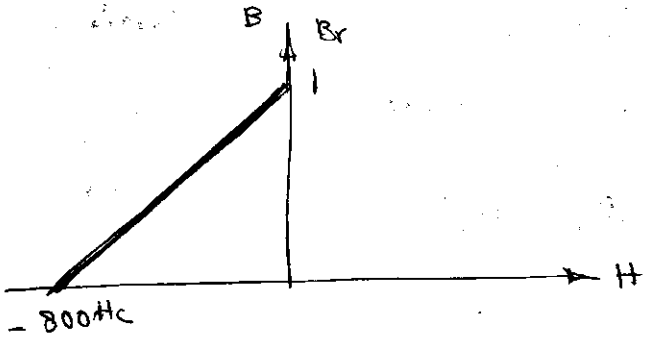
ii) آهن‌ربای فریتی:

در سال 1950

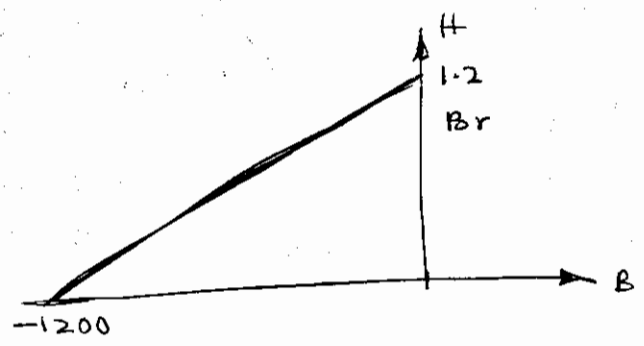


iii) آهن‌ربای نادر کمیاب:

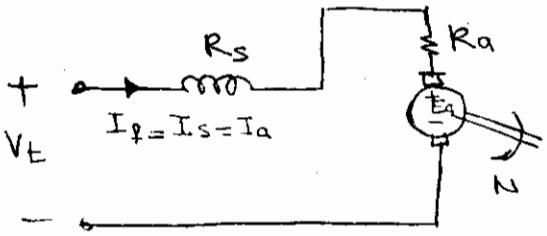
در سال 1960: آهن، نیکل، کبالت، ساماریم



www.teyf.com



موتور سری:

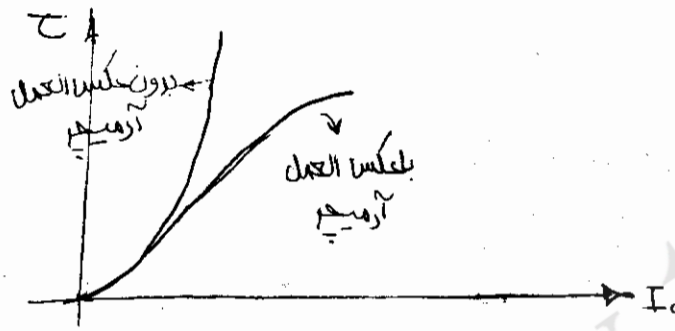


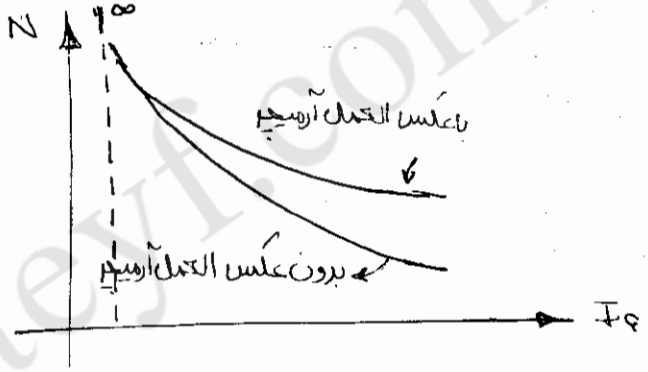
سرعت $N = k_n \frac{(V_t - I_a(R_a+R_s))}{\Phi}$

$\tau = k_t \Phi I_a$

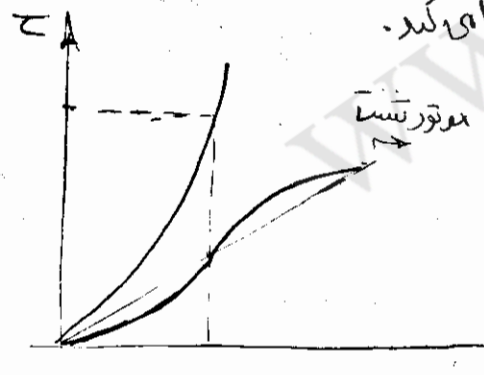
فرض در سیستم خطی: $\Phi = k_f I_a$

$\tau = k_t k_f I_a^2$ یا $N = \frac{k_n}{k_f}\left[\frac{V_a}{I_a} - (R_a+R_s)\right]$



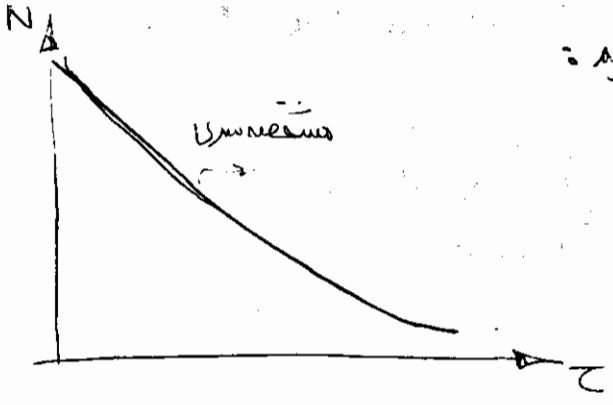


* درحالت بی باری از موتور استفاده شود سرعت به بینهایت میل پیدا می کند.
* درحالت بی باری به هیچ وجه نباید برق وصل شود.
* مزیت موتور سری به خاطر تولید گشتاور بالا در جریان های پایین.
در کارهای کشش و بالابرهای سنگین استفاده می شود.



مشخصه گشتاور سرعت:

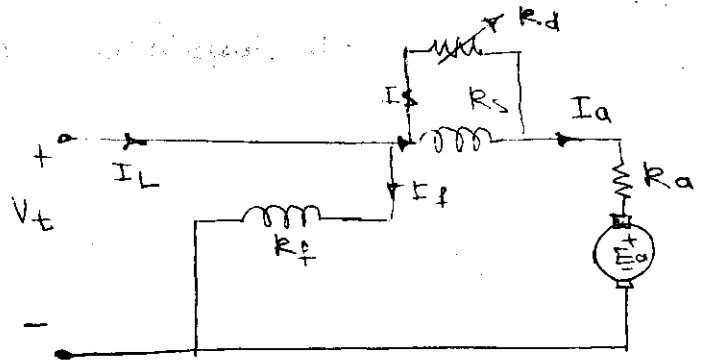
از معادله گشتاور I_a را با τ جایگزین در رابطه سرعت می کنیم:



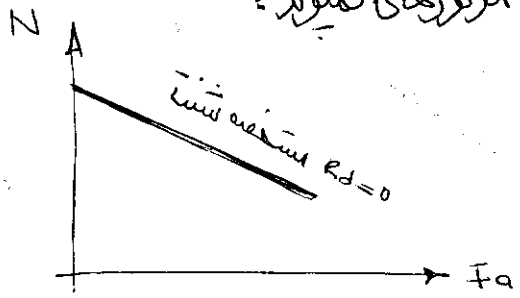
$$N = \frac{k_a}{k_f}\left[\frac{V_t\sqrt{k_t k_f}}{\sqrt{\tau}} - (R_a+R_s)\right]$$

www.tejt.com

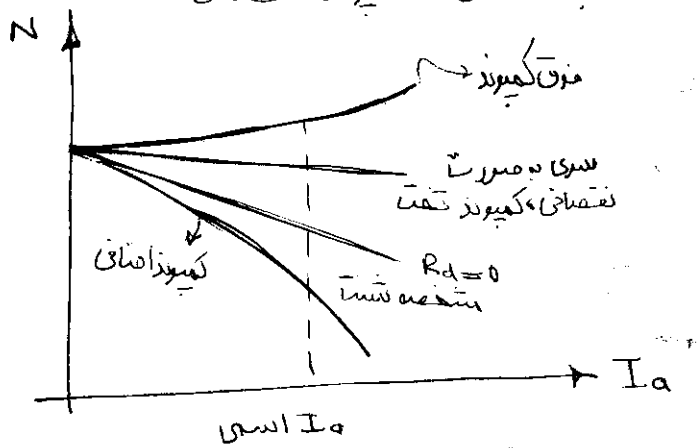
موتورهای کمپوند:



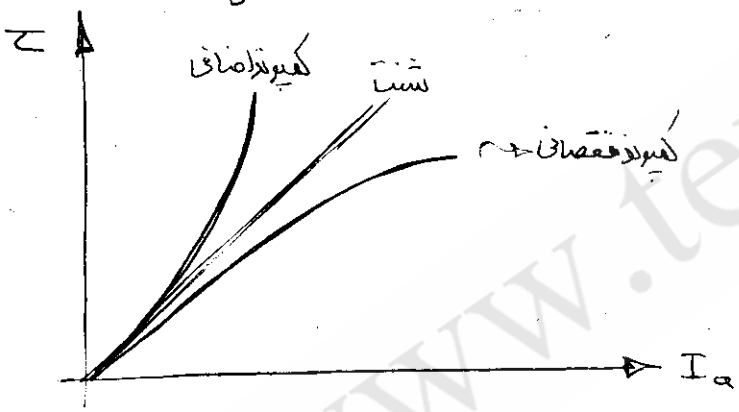
مدار معادل شنت بلند



* اگر $R_d \neq 0$: کمپوند داریم : که دو حالت خواهد داشت : کمپوند اضافی - کمپوند نقصانی



* در کمپوند اضافی، چون شار میدان سری و شنت همدیگر را تقویت می کنند ⟸ شار افزایش می یابد ⟸ سرعت کم می شود.



شار مدار در مدار کمپوند $\Phi_f = K_3 I_f \pm K_4 I_a$

$$V_t = E_a + I_a (R_a + R_s)$$

$$I_f = \frac{V_t}{R_f}$$

توان حاصله $\tau_a = \frac{P_a}{\omega}$ ← سرعت زاویه ای

توان حاصله، توان داخلی $P_a = E_a I_a$

$$\left.\begin{aligned} E_a &= K_1 (K_3 I_f \pm K_4 I_a)\,\omega \\ \tau_a &= K_1 (K_3 I_f \pm K_4 I_a) I_a \end{aligned}\right\} \Rightarrow \omega = \frac{V_t - I_a (R_a + R_s)}{K_1 (K_3 I_f \pm K_4 I_a)}$$

$$\tau_a = K_1 (K_3 I_f \pm K_4 I_a) I_a = K_1 K_3 I_f (1 + \beta I_a) I_a \qquad \beta = \frac{K_4}{K_3 I_f}$$

در دو حالت کاری مساوی:

$$\frac{\tau_{a1}}{\tau_{a2}} = \frac{(1+\beta I_{a1})}{(1+\beta I_{a2})} \cdot \frac{I_{a1}}{I_{a2}}$$

$$\omega = \frac{V_t - I_a (R_a + R_s)}{K_1 K_3 I_f (1 + \beta I_a)}$$

www.teyf.com

$$\frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{[V_t - I_{a1}(R_s + R_a)][1 + BI_{a2}]}{[V_t - I_{a2}(R_s + R_a)][1 + BI_{a1}]}$$

نحوه تعیین B در آزمایشگاه:

۱) به کارگیری موتور کمپوند به حالت شنت و در بار خاصی گشتاور شنت را اندازه می‌گیریم:

$$\tau_{sh} = k_1 k_3 I_f I_a$$

۲) به صورت کمپوند اضافی بسته و جریان آرمیچر مساوی با حالت شنت به چرخش آوریم:

$$\tau_c = k_1 k_3 I_f (1 + BI_a) I_a$$

$$\rightarrow \frac{\tau_c}{\tau_{sh}} = 1 + BI_a \quad \Rightarrow B = \frac{1}{I_a}\left[\frac{\tau_c}{\tau_{sh}} - 1\right]$$

مشخصه گشتاور سرعت کمپوند:

$$\omega = \frac{V_t - I_a(R_f + R_s)}{K_1(K_3 I_f \pm K_4 I_a)} \qquad \tau_a = \tau_{sh} + \tau_s$$

$$\Rightarrow \tau_a = k_1 k_3 I_f I_a + k_1 k_4 I_a^2 \Rightarrow I_a = \frac{V_t - k_1 k_3 I_f \omega}{R_a + R_s + k_1 k_4 \omega}$$

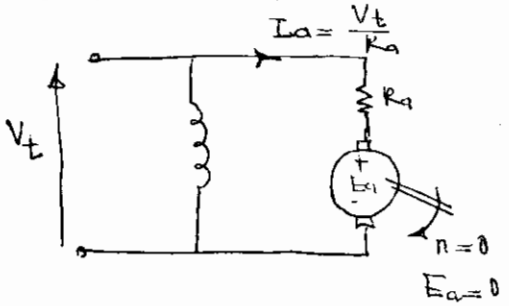
$$\tau_a = k_1\left[k_3 I_f \frac{V_t - k_1 k_3 I_f \omega}{R_a + R_s + k_1 k_4 \omega} + k_4 \frac{(V_t - k_1 k_3 I_f \omega)^2}{(R_a + R_s + k_4 k_1 \omega)^2}\right]$$

مثال: آهن ربای دائمی از نوع آلنیکو با منحنی B–H نشان داده شده در یک سیستم مغناطیسی قرار گرفته و چگالی شاری برابر 0.8^T با ابعاد زیر پدید می‌آورد $A_g = 2.5^{cm^2}$ ، $l_g = 0.4^{cm}$. نقطه کار روی منحنی کاهش مغناطیس شوندگی روی نقطه‌ای که $B_m H_m$ قرار گرفته و مقادیر $B_m = 0.95^T$، $H_m = -42^{\frac{kA}{m}}$ تعیین شده است. ابعاد آهن ربای دائمی را برای این کاربرد محاسبه نمایید.

www.teyf.com

راه اندازی موتورهای DC :

۱- جریان راه اندازی بدون راه انداز



مشکلات راه اندازی بدون راه انداز :

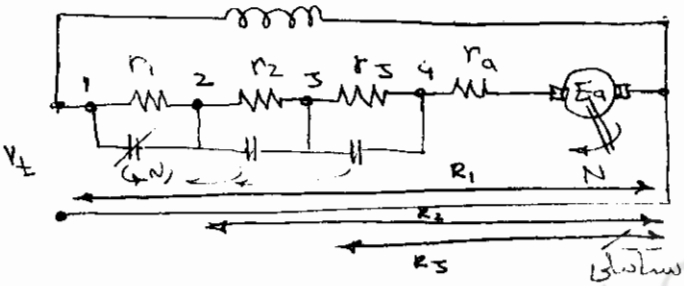
۱) جریان خیلی زیاد از آرمیچر سبب تلفات زیاد در سیم پیچ آرمیچر و تلفات زیاد در سیستم کموتاسیون.

۲) منبع تغذیه موتور قابلیت ارائه جریان را داشته باشد (در بعضی شرایط خیلی سخت را احتمال از بین رفتن)

۳) شوک مکانیکی خیلی بالا از گشتاور زیاد حاصل شده به سیستم مکانیکی آسیب می رساند.

انواع راه اندازها :

۱) راه اندازهای مقاومتی : (بیشترین تلفات)



الف) راه اندازهای دستی

ب) راه اندازهای اتوماتیک
- ۱) رله های مغناطیسی
- ۲) مدارهای مبدل های استاتیکی

www.teyf.com

طراحی راه انداز :

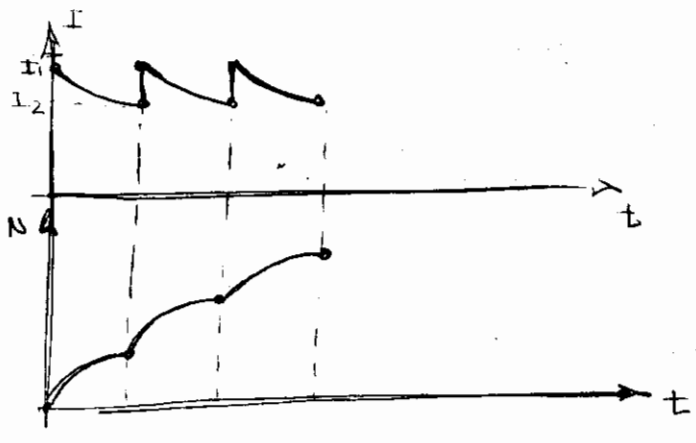
۱) تعداد مقاومت های مسیر آرمیچر

۲) مقدار مقاومت های مرحله

اصول طراحی :

۱) مقدار جریان ماکزیمم روی سیم راه اندازی تعیین می کنیم (معمولاً ماکزیمم جریان ، 2 برابر جریان اسمی ماشین در نظر گرفته می شود و مقداری بیشتر بین ماکزیمم جریان و جریان اسمی ماشین است)

$I_{max} = 2I_n$ ، $I_{min} = 1.5\, I_n$



ماکزیمم جریان راه اندازی $I_1 = \frac{V_t}{R_1}$

$I_2 = \frac{V_t - E_{a(N_1)}}{R_1}$

در مرحله اول و دوی تمام مقاومت ها هستند.

زمانی که r_1 اتصال کوتاه در نظر گرفته نشود

$$I_1 = \frac{V_t - E_{a(N)}}{R_2} \Rightarrow \frac{I_1}{I_2} = \frac{R_1}{R_2}$$

* در حالت کلی:

برای K نقطه راه اندازی $(K-1)$ بخش متناوبی لازم خواهد بود.

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_1}{R_2} = \frac{R_2}{R_3} = \dots = \frac{R_{K-1}}{R_K}$$

$$\frac{R_1}{R_2} \cdot \frac{R_2}{R_3} \cdot \dots \frac{R_{K-1}}{R_K} = \left(\frac{I_1}{I_2}\right)^{K-1} = \gamma^{K-1}$$

$$\frac{R_1}{R_K} = \gamma^{K-1} \Rightarrow \frac{R_1}{R_a} = \gamma^{K-1}$$

مراحل طراحی راه انداز:

1) از معادله $I_1 = \frac{V_t}{R_1}$، مقدار R_1 انتخاب می‌شود.

2) از معادله $\frac{R_1}{R_a} = \gamma^{K-1}$ تعداد پله های راه انداز تعیین می‌شود.

3) از معادله $\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_1}{R_2} = \frac{R_2}{R_3} \dots$ مقاومت‌های $R_1, R_2, \dots$ تعیین شده تا مقاومت‌های قسمت‌های راه انداز $r_1, r_2, r_3, \dots$ مشخص گردد.

مثال: راه اندازی برای موتور شنت با ولتاژ 220^V مورد نیاز است. جریان بیشینه مجاز و سیم راه اندازی 55^A و 35^A در نظر گرفته می‌شود. اگر مقاومت آرمیچر ماشین 0.4^Ω در نظر گرفته شود. مطلوبست تعیین راه اندازه مربوطه.

$$1.585 = \gamma = \frac{I_1}{I_2} \Leftarrow K=6 \text{ به صورت } K=6.1 \Leftarrow \gamma = 1.57 \text{ ، } R_1 = 4^\Omega \text{ (جواب)}$$

$$\Rightarrow R_2 = \frac{4}{1.585} = 2.52^\Omega \text{ ، } R_3 = \frac{2.52}{1.585} = 1.589^\Omega$$

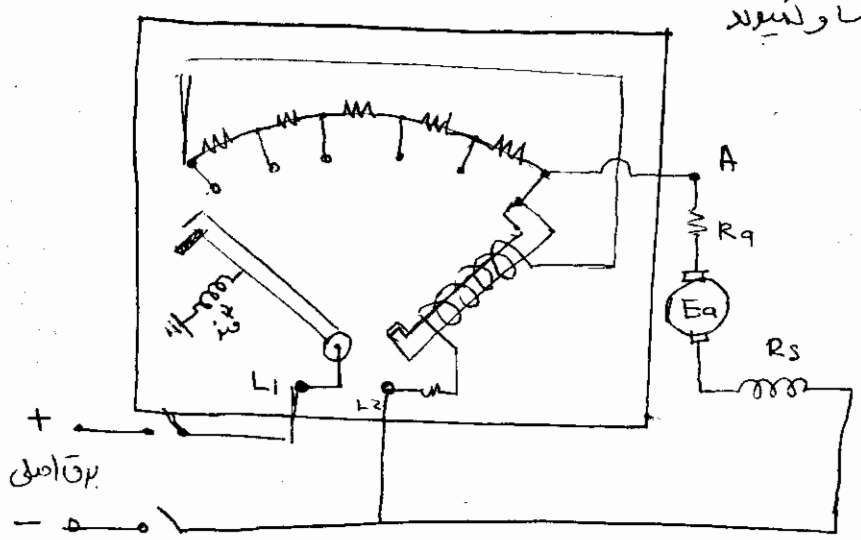
$$r_1 = R_1 - R_2 = 1.48^\Omega \text{ ، } r_2 = R_2 - R_3 = 0.93^\Omega \text{ ، } r_3 = 0.587^\Omega$$

$$r_4 = 0.370^\Omega \qquad r_5 = 0.235^\Omega$$

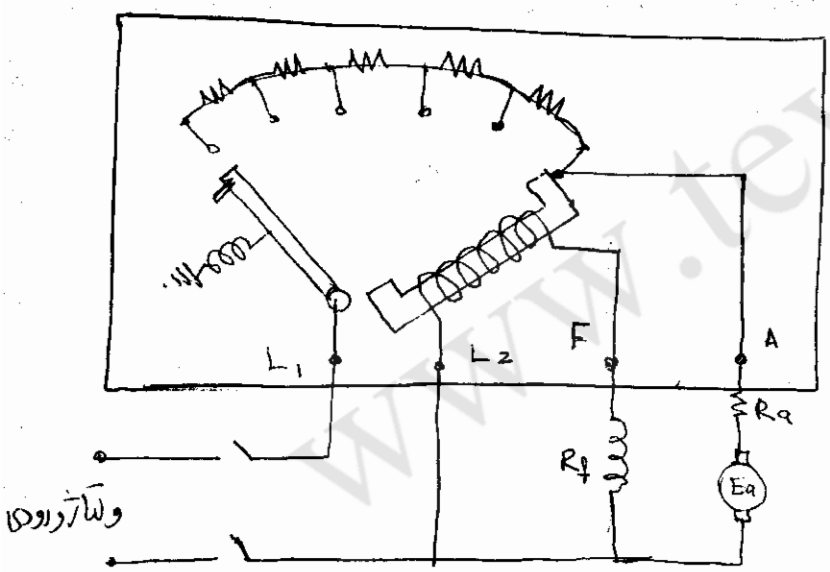
www.teyf.com

انواع راه اندازها:

۱) دستی
- الف) سه نقطه ای معمولاً برای موتورهای سری
- ب) چهار نقطه ای برای شنت و کمپوند



راه انداز سه نقطه ای:

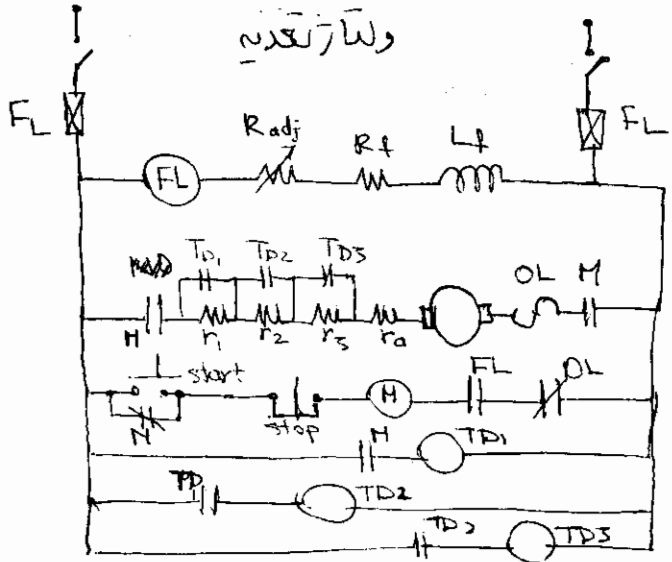


راه انداز چهار نقطه ای:

www.teyf.com

راه انداز اتوماتیک:

رله های تأخیری:



- FL: بوبین میدان (برای مطمئن شدن از برقدار شدن)
- OL: Over Load رله حرارتی
- M: بوبین
- TD1: رله های تأخیری زمانی

راه اندازهای با سیکل های استاتیکی :

یکسوکننده های قابل تنظیم :

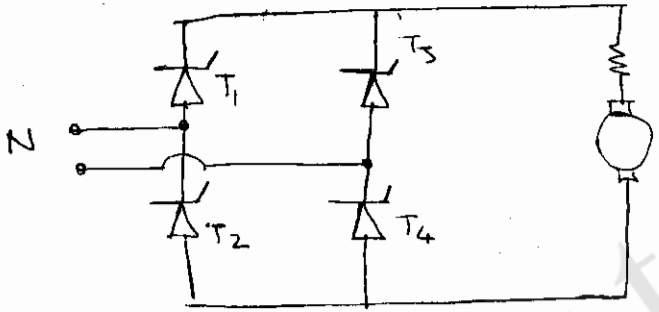
* بهترین نوع راه اندازی با استاتیکی است.

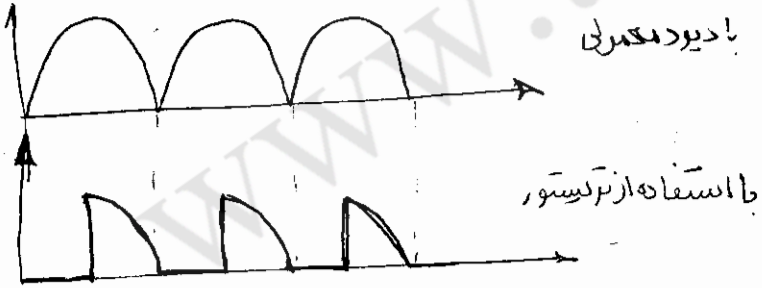
* همه ی اندازه و همه برای کنترل سرعت بهترین روش ی با استاتیکی است.

* سیستم بدون تلفات

* T_1 و T_4 سیکل مثبت

T_2 و T_3 سیکل منفی





www.teyf.com