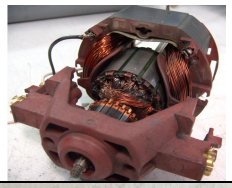
فصل سوم
بررسی انواع ماشینهای DC
جلسه پنجم

در این جلسه می پردازیم به تقسیم بندی ماشینهای DC و بررسی مشخصات هر کدام

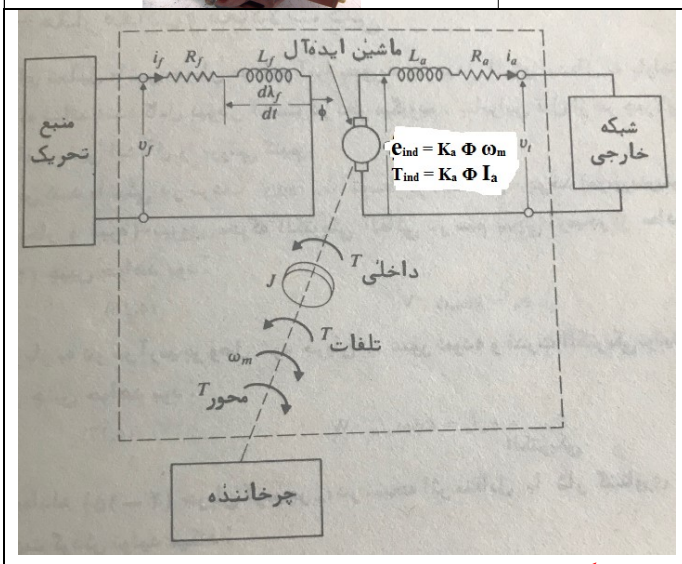
۱- تقسیم بندی ماشینهای الکتریکی به مولدها و موتورها ← انواع مولدها و موتورها ی DC

۲- بررسی مشخصات الکتریکی و مکانیکی انواع مولدها و موتورهای DC

نمایش یک ماشین DC واقعی



شکل مقابل مدار معادل الکتریکی یک ماشین DC را نشان می دهد.



چرخاننده : همان محرک مکانیکی است که به عنوان سیستم ورودی وقتی ماشین در نقش مولد است و به عنوان سیستم خروجی وقتی ماشین در نقش موتور عمل می کند شناخته می شود.به طور کلی در یک ماشین DC روابط الکتریکی و مکانیکی به شرح زیر است:

در داخل آرمیچر :

$$e_{ind} = K_a \Phi \omega_m$$
$$T_{ind} = K_a \Phi I_a$$
$$P_{ind} = e_{ind} I_a = T_{ind} \omega_m$$

$$P_{in} = P_{\text{چرخاننده}} = T_{\text{محور}} \times \omega_m \quad \text{Watt}$$
$$P_{in} = P_{ind} + P_{\text{تلفات}}$$

از این توان مکانیکی ورودی دو نوع تلفات مکانیکی داریم که از توان ورودی کم شده و بقیه به آرمیچر می رسد و تبدیل به توان الکتریکی می گردد. دو گشتاور اصطکاک و گشتاور اینرسی داریم:

$$T_{\text{اصطکاک}} = K_{\text{اصطکاک}} \omega_m \quad \text{and} \quad T_{\text{اینرسی}} = J(d\omega_m/dt)$$
$$P_{\text{تلفات}} = T_{\text{اصطکاک}} \times \omega_m + T_{\text{اینرسی}} \times \omega_m \quad \text{Watt}$$
$$P_{\text{تلفات مکانیکی}} = P_{\text{اصطکاک}} + P_{\text{اینرسی}} \quad \text{Watt}$$
$$P_{ind} = P_{in} - P_{\text{تلفات}}$$

شبکه خارجی: درحالتی که ماشین مولد باشد همان بار الکتریکی است. و در صورتیکه ماشین موتور باشد منبع ولتاژ DC است که به عنوان سیستم ورودی نامیده می شود و توان الکتریکی به ماشین میدهد.

منبع تحریک:

یک منبع DC می باشد که تامین کننده جریان مغناطیس کننده سیم پیچ آرمیچر است. و در نهایت شار مغناطیسی Φ طبق رابطه زیر بدست می آید.

$$F_{mmf} = N_f I_f = \Phi \times R_m$$

تلفات الکتریکی در ماشین DC:

تلفات در مدار آرمیچر:

$$P_{\text{آرمیچر}} = R_a I_a^2 \quad \text{Watt}$$

تلفات در مدار تحریک :

$$P_{\text{تحریک}} = R_f I_f^2$$

سوال : معیار تقسیم بندی ماشینهای DC چیست:

معیار تقسیم بندی نحوه تامین منبع الکتریکی DC مورد نیاز برای تامین جریان تحریک (I_f) در مدار استاتور می باشد.براین اساس انواع مولد ها و موتورهای DC عبارتند از:

الف) مولدهای DC :

۱- مولد تحریک مستقل ۲- مولد شنت (موازی) ۳- مولد سری (متوالی) ۴- مولدهای کمپوند (ترکیب سری و شنت)

ب) موتورهای DC :

۱- موتور تحریک مستقل ۲- موتور شنت (موازی) ۳- موتور سری (متوالی) ۴- موتورهای کمپوند (ترکیب سری و شنت)

از اینجا به بعد می پردازیم به ساختار مداری و مشخصات الکتریکی و مکانیکی هر کدام از انواع این ماشینهای DC .

الف-۱) مولد DC تحریک مستقل:

شکل مقابل مدار معادل الکتریکی این ماشین را نشان می دهد. ملاحظه می گردد که جریان تحریک از یک منبع DC مستقل تامین می گردد.

$$V_f = R_f I_f$$

۱-محور مکانیکی آرمیچر با سرعت ω_m رادیان بر ثانیه می چرخد:

$$\omega_m = \left(\frac{Nm}{60} \times 2\pi\right)$$

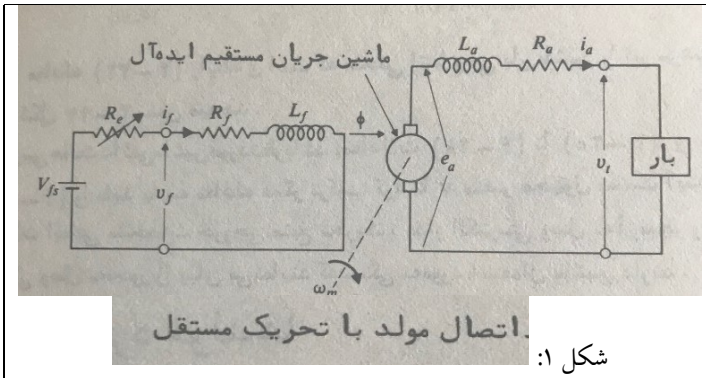
روابط نیروی محرکه الکتریکی و گشتاور القایی عبارتند از:

$$e_{ind} = K_a \Phi \omega_m$$
$$T_{ind} = K_a \Phi I_a$$
$$P_{ind} = e_{ind} I_a = T_{ind} \omega_m$$

توان مکانیکی ورودی عبارتست از:

$$P_{in} = P_{\text{چرخاننده}} = T_{\text{محور}} \times \omega_m \quad \text{Watt}$$
$$P_{ind} = P_{in} - (P_{\text{تلفات مکانیکی}} = P_{\text{اصطکاک}} + P_{\text{اینرسی}}) = T_{ind}\,\omega_m$$

وقتی ماشین به سرعت نامی رسید تلفات اینرسی صفر میگردد.



شکل ۱:

در حلقه مدار آرمیچر داریم: $e_{ind} + R_a I_a + V_t = 0$

$$V_t = e_{ind} - R_a I_a = K_a \Phi \omega_m - R_a I_a$$

توانی که توسط بار مصرفی از مولد دریافت می کند:

$$P_{Load} = P_{out} = V_t \times I_a$$
$$P_{in} = P_{Load} + (\text{Total Power Loss})$$
$$\text{Total Power Loss} = (P_{\text{اصطکاک}} + P_{\text{اینرسی}}) + R_a I_a^2$$

راندمان در ماشین DC تحریک مستقل

$$\eta\% = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{Vt \times Ia}{T_{محور} \times \omega_m + R_f I_f^2}\%$$

مشخصات الکتریکی مولد DC تحریک مستقل

در مولدهای الکتریکی دو مشخصه مهم الکتریکی عبارتند از:

الف) مشخصه بی باری:

در این مشخصه تغییرات ولتاژ خروجی (که در ترمینالهای خروجی ماشین اندازه گیری می شود) نسبت به تغییرات جریان تحریک (I_f) وقتیکه سرعت چرخش محور مکانیکی ثابت است و بار مصرفی صفر است $(I_a=0)$ بدست آمده و رسم می گردند.

$V_t = f(I_f)$

ب) مشخصه بارداری:

در این مشخصه تغییرات ولتاژ خروجی (که در ترمینالهای خروجی ماشین اندازه گیری می شود) نسبت به تغییرات جریان بار (I_a) وقتیکه سرعت چرخش محور مکانیکی ثابت است$(\omega_m=Cte)$ و جریان تحریک نیز ثابت است $(I_f=Cte)$ بدست آمده و رسم می گردد.

$V_t = f(I_a)$

حال می پردازیم به اولین مشخصه مولد DC تحریک مستقل:

الف) مشخصه بی باری:

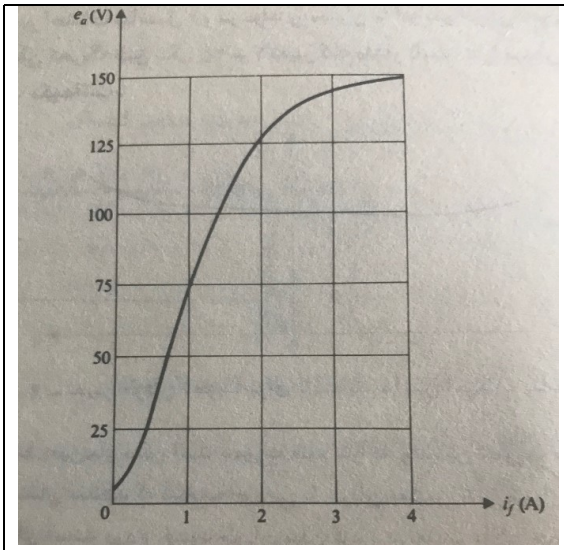
در این مشخصه هیچگونه بار مصرفی به مولد متصل نمی گردد به عبارت دیگر $I_a = 0$ است و مولد با یک سرعت ثابتی می چرخد و جریان تحریک I_f را از صفر افزایش می دهیم و برای هر مقدار از جریان تحریک ولتاژ ترمینالهای خروجی را اندازه گیری می نماییم و در دو ستون یک جدول این دو مقدار را یادداشت می کنیم. سپس با استفاده از این جدول منحنی مقابل را رسم می کنیم.

$e_{ind} = K_a \Phi \omega_m$ and $V_t = e_{ind} - R_a I_a \rightarrow I_a = 0 \rightarrow V_t = e_{ind}$

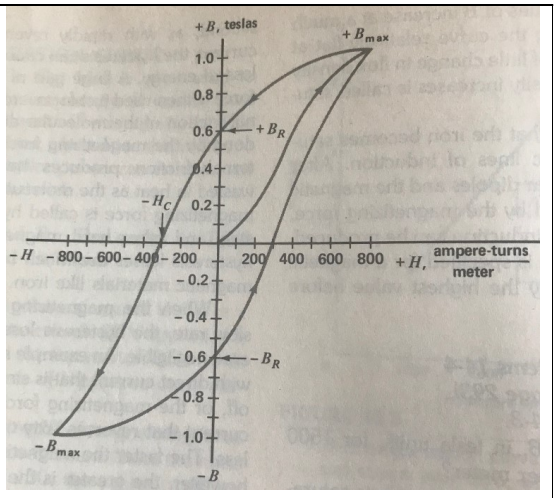
$e_{ind} \rightarrow$ متناسب $\rightarrow B$

$I_f \rightarrow H$

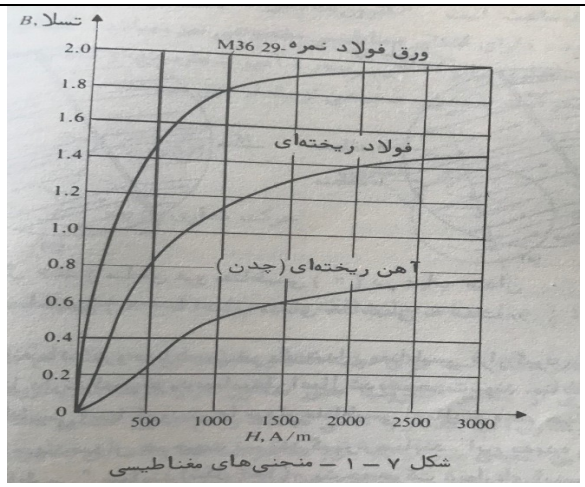
پس انتظار می رود که منحنی شبیه منحنی مغناطیس شوندگی داشته باشیم. به دو منحنی زیر توجه فرمایید.



شکل ۲ : مشخصه بی باری مولد DC تحریک مستقل



شکل ٤: مشخصه B-H Loop مواد مختلف تشکیل دهنده هسته استاتور و آرمیچر



شکل ۳: مشخصه های مغناطیسی مواد مختلف تشکیل دهنده هسته استاتور و آرمیچر

ب) مشخصه بارداری:

در این مشخصه

اولا آرمیچر با سرعت نامی (ω_m OR n_m) چرخانده می شود و سیم پیچ آرمیچر با جریان نامی (I_{fn}) تغذیه می گردد.

بار قرار گرفته بر روی مولد کم کم اضافه می گردد.مثلا:

I_a=0→20%→30%→40%→50%→60%→70%→80%→100%I_{an}

جریان نامی آرمیچر حد اکثر جریان مجاز با توجه به توان نامی و ولتاژ نامی آرمیچر می باشد.

مشخصات نامی مولد DC درج شده بر روی پلاک ماشین

$P_n = 10$ Kw , V_n=220 V , $n_m = 3000$ RPM, $I_{fn} = 5$ A

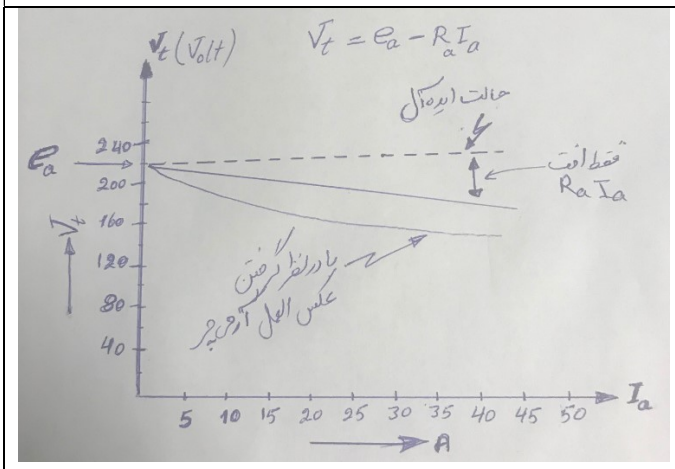
اگر مشخصات نامی یک مولد مانند جدول فوق باشد:

$$I_{an} = \frac{P_n}{V_n}$$

$$I_{an} = \frac{10000}{220}$$

$$I_{an} = 45.5 \text{ A}$$

پس جریان خروجی بین ۰ تا ٤٥/٥ آمپر به تدریج اضافه می گردد. و به ازای هر مقدار از این جریان بار ولتاژ دو سر ترمیناتهای خروجی مولد را یادداشت می کنیم و هر زوج جریان و ولتاژ را در دو ستون یک جدول قرار داده و سپس تبدیل به یک منحنی می کنیم.



شکل ۵: مشخصه بارداری یک مولد DC نوع تحریک مستقل

تمرین ۱: یک مولد جریان مستقیم از نوع تحریک مستقل دارای مشخصات نامی مطابق جدول زیر می باشید.

$P_n = 4.5$ Kw , $V_n = 125$ V , $n_n = 1150$ r/min ,

مقاومت مدار آرمیچر ۰/۳۷ اهم است وقتی ماشین در سرعت نامی می چرخد منحنی اشباع بی باری مطابق شکل ۲ است . اگر مقاومت متغیر مدار تحریک طوری تنظیم گردد که جریان ۲ آمپر از مدار تحریک بگذرد و ماشین در سرعت ۱۰۰۰ دور در دقیقه بچرخد اختلاف پتانسیل دو سر ماشین وقتیکه جریان بار مقدار نامی است چقدر است؟ (از اثر واکنش آرمیچر و مقاومت تماس جاروبکها صرفنظر کنید.)

حل: با توجه به اینکه می دانیم $e_{ind} = K_a \Phi \omega_m$ و چون ماشین هم در سرعت کم کار می کند. پس نیروی محرکه القایی در هر مقدار Φ با I_f متناسب است . حالا از منحنی بی باری اشباع در سرعت نامی برای $I_f = 2$ A مقدار $e_{ind} = 126$ V بدست می آید. چون دور ماشین ۱۰۰۰ دور در دقیقه است پس:

$e_{ind} = (1000/1150) \times 126 = 109$ V
$I_{L(Nominal)} = (4500/125) = 36$ A
$V_t = e_{ind} - R_a \times I_a = 109 - 0.37 \times 36 = 96$ V

تمرین ۲:

یک ماشین DC چهار قطبی مفروض است و داریم:

شعاع متوسط = ۱۲/۵ سانتیمتر – طول موثر آرمیچر = ۲۵ سانتیمتر و قطبها ۷۵ در صد محیط آرمیچر را می پوشاند.سیم پیچی آرمیچر ۳۳ کلاف دارد و هر کلاف ۷ حلقه دارد (کلافهای ۷ دوری). کلافها در ۳۳ شیار جای گرفته اند. چگالی شار متوسط زیر هر قطب ۰/۷۵ تسلا است. مطلوبست :

۱- اگر سیم پیچی آرمیچر از نوع حلقوی باشد

الف) ضریب K_a را حساب کنید.

ب) اگر آرمیچر با سرعت ۱۰۰۰ دور در دقیقه بچرخد ولتاژ القاء شده در آرمیچر چقدر است.

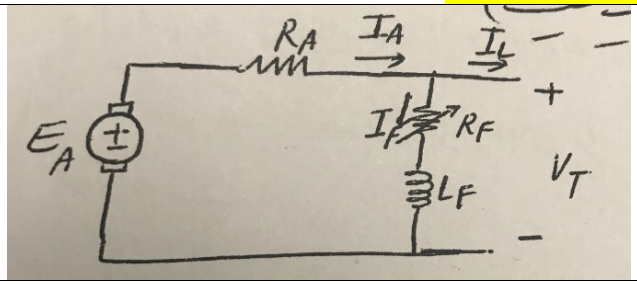
ج) اگر جریان آرمیچر ۴۰۰ آمپر باشد جریان کلافها و گشتاور الکترمغناطیسی حاصله را حساب کنید.

د) توان حاصله توسط آرمیچر را بیابید.

۲- اگر سیم پیچی آرمیچر از نوع موجی باشد فرضهای الف تا د فوق را با شرط اینکه جریان اسمی کلافها همانند قسمت قبل باشد را تکرار کنید.

الف-۲) مولد DC تحریک شنت:

در این ژنراتور جریان تحریک (میدان) توسط اتصال مستقیم سیم پیچی میدان به ترمینالهای ماشین تامین می گردد. در واقع سیم پیچی تحریک با آرمیچر موازی می گردد و احتیاجی به منبع جداگانه برای تحریک نیست.



روابط الکتریکی در این مولد مانند زیر است:

$I_A = I_F + I_L$ $\quad V_T = E_A - R_A I_A$

$E_A = K_a \Phi \omega_m = K' \Phi n$ $\quad V_F = V_T = R_F I_F$

$I_F = \frac{V_T}{R_{F+R_{adj}}}$

سوال اساسی اینست که وقتی ژنراتور تحریکش را خودش تامین می کند پس وقتی برای اولین بار روشن می شود چگونه شار میدان اولیه را جهت راه اندازی بدست می آورد؟

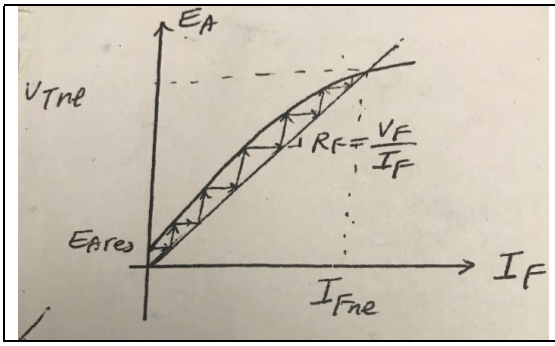
در قطبهای ژنراتور مقداری شار پسماند (Φ_{res}) وجود دارد. وقتی ژنراتور شروع به چرخیدن می کند یک ولتاژ داخلی E_A در آن به وجود می آید. $E_A = k_a \Phi_{res} \omega_m$

این ولتاژ باعث ایجاد جریان I_F در سیم پیچ تحریک می شود.

$I_F = (V_T/R_F)$

مطابق شکل I_F شار Φ را افزایش می دهد.

$\Phi\uparrow \rightarrow E_A\uparrow \rightarrow I_F\uparrow \rightarrow \Phi\uparrow \rightarrow$ .....

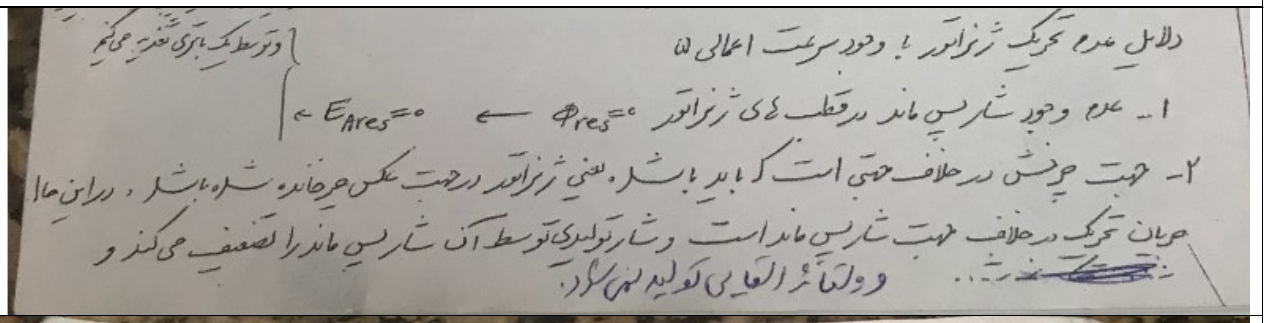


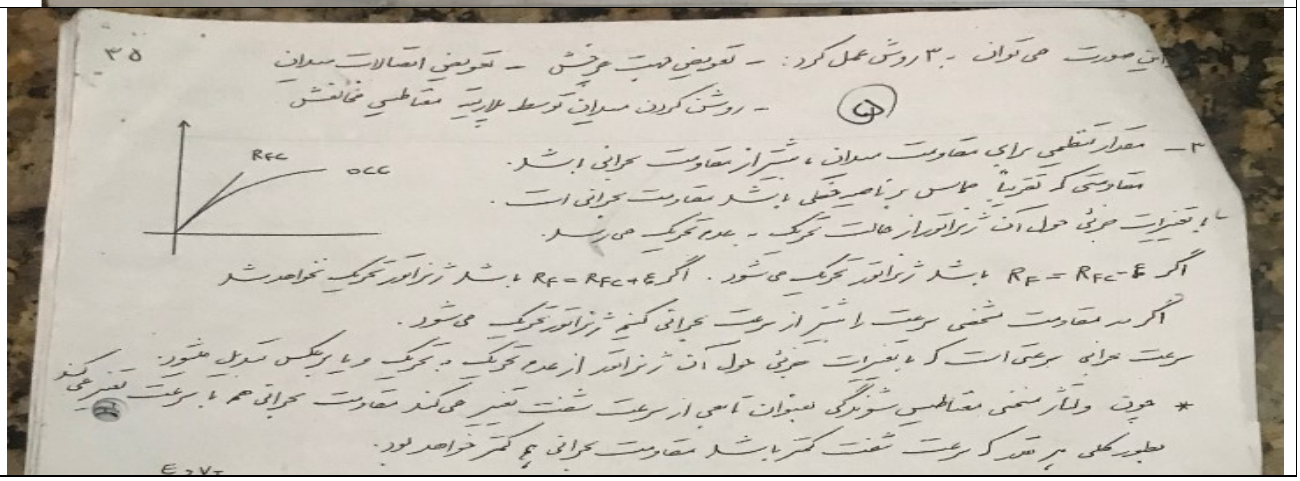
این افزایش شار و جریان تحریک آنقدر ادامه می یابد تا اینکه منحنی $V_F = R_F I_F$ و منحنی مغناطیس شوندگی (بی باری) همدیگر را قطع کنند.

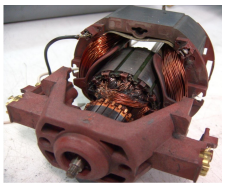
اگر اشباع وجود نداشت دو منحنی موازی هم بودند و تا ابد همدیگر را تقویت می کردند . (پس اشباع مغنایسی در سطح قطبها ولتاژ خروجی را محدود می کند)

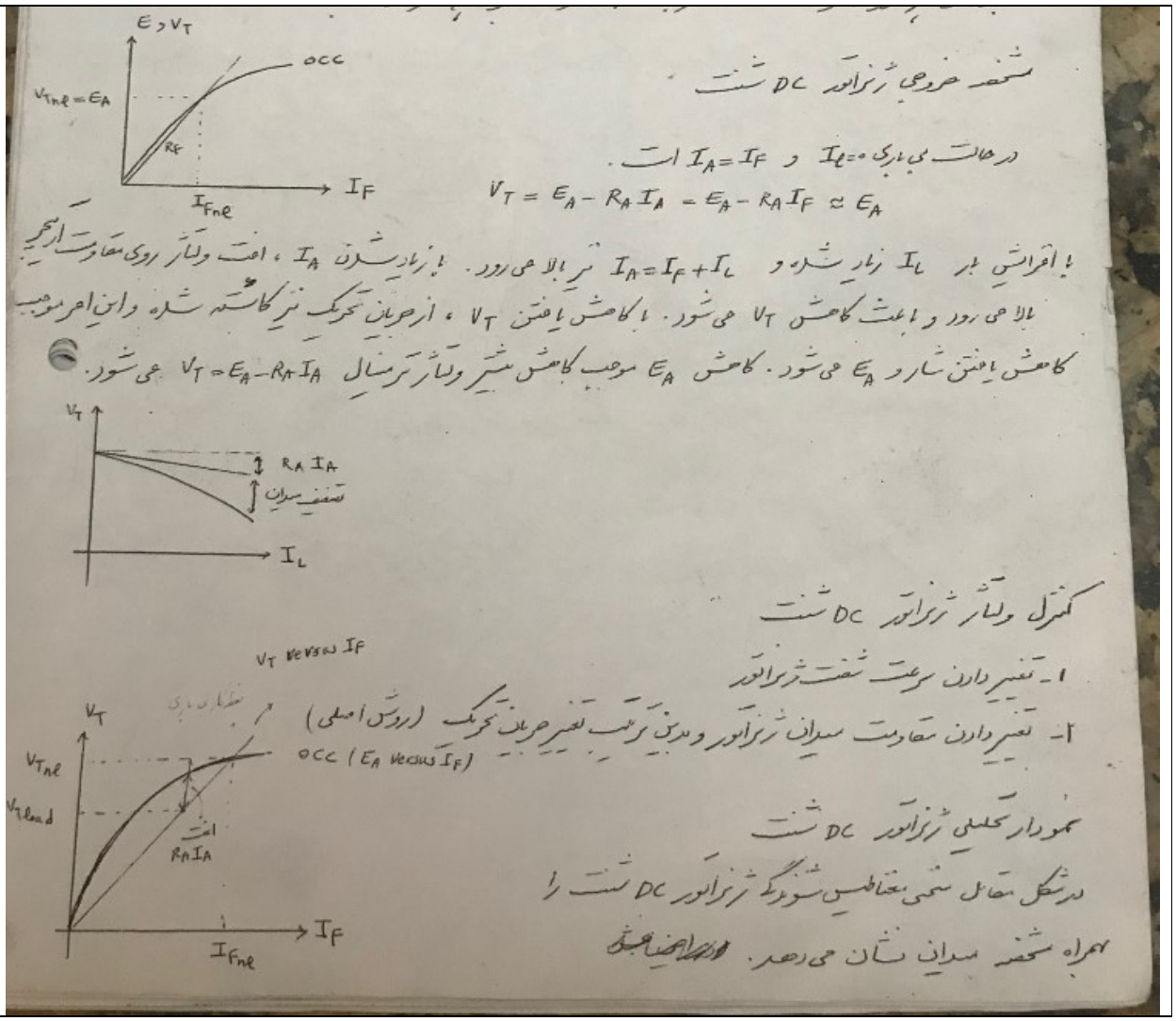
نکته : در حالت بی باری می توان از افت ولتاژ $R_A I_{Fnl}$ به علت کوچکی صرفنظر نمود و لذا $V_T = E_A$ خواهد بود.

دلایل عدم تحریک ژنراتور با و جود سرعت اعمالی ω









مشخصه خروجی ژنراتور DC شنت

در حالت بی باری $I_L=0$ و $I_A=I_F$ است.

$$V_T = E_A - R_A I_A = E_A - R_A I_F \simeq E_A$$

با افزایش بار I_L زیاد شده و $I_A=I_F+I_L$ نیز بالا می رود. با زیاد شدن I_A، افت ولتاژ روی مقاومت آرمیچر بالا می رود و باعث کاهش V_T می شود. با کاهش یافتن V_T، از جریان تحریک نیز کاسته شده و این امر موجب کاهش یافتن شار و E_A می شود. کاهش E_A موجب کاهش بیشتر ولتاژ ترمینال $V_T=E_A-R_A I_A$ می شود.

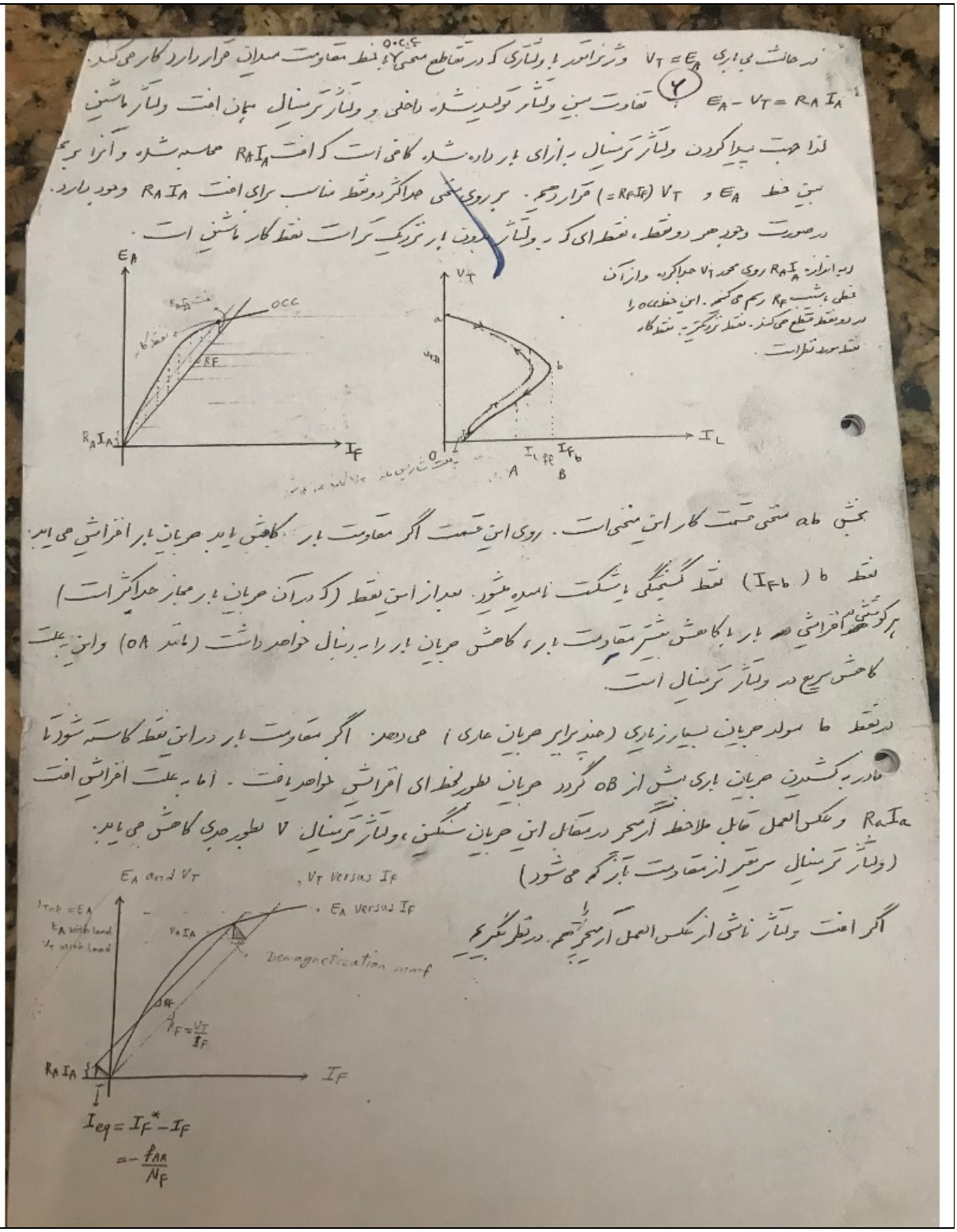
کنترل ولتاژ ژنراتور DC شنت

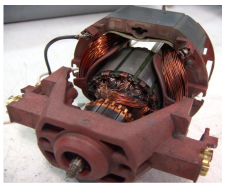
۱- تغییر دادن سرعت شفت ژنراتور

۲- تغییر دادن مقاومت میدان ژنراتور و بدین ترتیب تغییر جریان تحریک (روش اصلی)

نمودار تحلیلی ژنراتور DC شنت

در شکل مقابل منحنی مغناطیس شوندگی ژنراتور DC شنت را همراه مشخصه میدان نشان می دهد.


OCC
RF
E_A
V_T
I_F
I_L
$R_A I_A$
A
B
E_A and V_T Versus I_F
E_A Versus I_F
Demagnetization mmf
$I_{eq} = I_F^* - I_F$
$= -\frac{f_{AR}}{N_F}$



اگر ماشین دارای سیم پیچی جبران کننده نباشد آنگاه ولتاژ E_A تحت تأثیر عکس العمل آرمیچر با افزایش بار کاهش می یابد.

$$f_{net} = N_F I_F - f_{AR} \rightarrow I_F^* = I_F - \frac{f_{AR}}{N_F}$$

I_F^* جریان تحریک معادل

I_F : جریان ... واقعی

مثال:

مقادیر نامی یک ژنراتور DC تحریک مستقل دارای سیم پیچی جبران کننده عبارتست از 172kW و 1800 rpm و 430V و 400A

الف. اگر مقاومت متغیر Radj را روی $63\ \Omega$ تنظیم کنیم و محرک اولیه با سرعت 1600 rpm حرکت کند ولتاژ بی باری ترمینال چقدر است؟

ب. اگر بار $R_L = 1\ \Omega$ به ترمینال ژنراتور وصل شود ولتاژ خروجی چقدر می شود؟

ج. چه تنظیمی باید انجام گیرد تا ولتاژ ترمینال به مقدار یافت شده در قسمت الف برگردد؟

د. برای برگرداندن ولتاژ ترمینال به مقدار سالم در بی باری، چه جریان تحریکی نیاز است؟

حل: الف.

$$I_F = \frac{V_F}{R_F} = \frac{V_F}{R_F + Radj} = \frac{430^V}{83\ \Omega} = 5.2A$$

رگولاتور ولتاژ

$\rightarrow E_A = 430V$

E_A	n
430	1800
x	1600

$x = E_A = V_T = 382V$ ← (no load)

ب:

$$I_L = I_A = \frac{E_A}{R_A + R_L} = \frac{382}{0.05 + 1} = 364\ A \rightarrow V_T = E_A - R_A I_A = 382 - 364 \times 0.05 = 364^V$$

ج. برای افزایش ولتاژ ترمینال باید E_A را افزایش داد. برای انجام Radj را کمتر خواهد کرد (کم می کنیم)

د:

$V_T = 382V \rightarrow E_A = V_T + R_A I_A \Rightarrow E_A = 382 + 382 \times 0.05 = 401V$

$E_A = 401V$ در سرعت 1600rpm است. ولتاژ در سرعت 1800rpm برابر خواهد بود با: $E_A = 401 \times \frac{1800}{1600} = 451V$

$I_F = 6.15A$ برابر می آید ← یک متغیر مقاومتی شونتی

$$R_F + Radj = \frac{V_F}{I_F} = \frac{430}{6.15} = 69.9 \rightarrow Radj = 49.9\ \Omega$$

مثال: در ژنراتور مثال قبل اگر سیم پیچی جبران کننده نداشته باشد در بار کامل و جریان 400A عکس العمل آرمیچر $F_{AR} = 500\ At$ باشد و مقاومت متغیر را روی $63\ \Omega$ تنظیم کرد و سرعت هم 1600 دور باشد ولتاژ بی باری را بدست آورید.

اگر ترمینال با R_L وصل کنیم $I_F = 364^A$ می شود. در این حال ولتاژ خروجی را بدست آورید.

I_A	F_{AR}
400	500
364	$x = 455\ At$

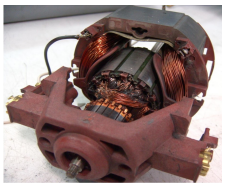
$$I_F^* = I_F - \frac{F_{AR}}{N_F} = 5.2 - \frac{455}{1000} = 4.75A \xrightarrow{\text{منحنی}} E_A = 410V$$

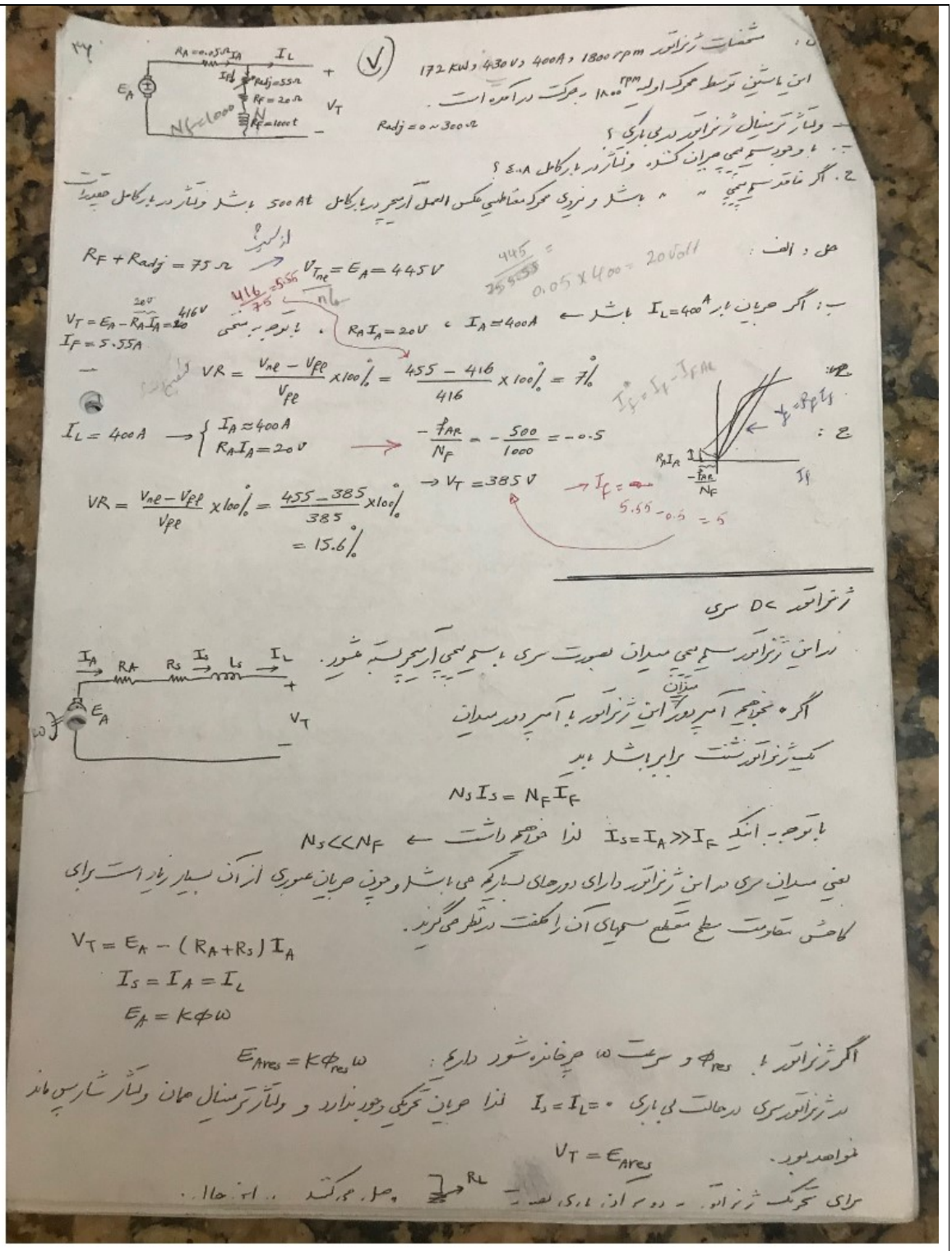
410V

(ع)

n	E_A
1800	410
1600	$x = 364^V$

$\rightarrow V_T = 364 - 0.05 \times 364 = 346$




RA = 0.05Ω
IA
IL
Radj = 55Ω
RF = 20Ω
NF = 1000
Rf = 100Ω
EA
VT
+
-
Radj = 0 ~ 300Ω
172 KW, 430 V, 400A, 1800 rpm
1800 rpm
RF + Radj = 75Ω
VTnl = EA = 445V
VT = EA - RA IA = 416V
IF = 5.55A
RA IA = 20V
IA = 400A
IL = 400A
VR = (Vnl - Vfl)/Vfl x 100% = (455 - 416)/416 x 100% = 7%
-FAR/NF = -500/1000 = -0.5
VT = 385 V
VR = (455 - 385)/385 x 100% = 15.6%
5.55 - 0.5 = 5
IA
RA
RS
IS
LS
IL
EA
VT
ω
VT = EA - (RA + RS) IA
IS = IA = IL
EA = kΦω
EAres = kΦres ω
VT = EAres
RL

سوال :مشخصات الکتریکی مولد DC تحریک شنت (موازی)را به طور کامل تشریح نمایید.

الف) مشخصه بی باری:

$V_t = f(I_f)$

ب) مشخصه بارداری:

$V_t = f(I_a)$