Subject: ماشین الکتریکی ۱

Year Month Date

ماشین الکتریکی: جدول انرژی
- الکترومغناطیسی: دستگاه { مولد / موتور
- الکترواستاتیکی: سنسور ← ترانس

مراجع:
مدار الکتریکی: مسیر بسته برای جریان الکتریکی. ✓ ماشین الکتریکی چاپمن
P.C.C.E.A " "
مدار مغناطیسی: مسیر بسته ای برای عبور شار مغناطیسی. " " بیم جهاد
" " سلصون
" " نیتر جرالد

کمیت های مغناطیسی:

۱- شار مغناطیسی (Φ): خطوط مغناطیسی که از سطح می گذرد و واحد آن wb یا V.S. (مجموعه)

۲- چگالی شار (B): میزان شار عبوری از واحد سطح و واحد آن $\frac{wb}{m^2}$ یا T.

$$B = \frac{\Phi}{A} \Rightarrow \Phi = B \cdot A$$

۳، نیروی محرکه مغناطیسی (MMF): نیروی مغناطیسی که سبب تولید شار در مدار مغناطیسی می شود (سیم پیچی که از آن جریان عبور کند ← دور آن میدان ایجاد می شود) ← مثال

(به جنس هسته بستگی ندارد) واحد [A.T] (دور)

$$MMF = \theta = N.I$$

نیروی محرکه الکتریکی ← EMF

Subject:
Year: Month: Date:

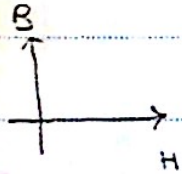
۴) شدت میدان مغناطیسی (H): طبق تعریف، نسبت نیروی MMF به طول متوسطی که شار در آن جریان دارد گویند. از نظر عددی برابر نیرویی است که از طرف قطب شمال آهنربا، فوت نیروی دل بر ۱wb ایجاد کند. (جنس هسته بستگی ندارد)

$$H = \frac{\theta}{L_{av}} = \frac{NI}{L_{av}}$$

واحد: $\left[\frac{N}{wb}\right]$ یا $\left[\frac{A.T}{m}\right]$

۵) ضریب نفوذ مغناطیسی مطلق (μ) و ضریب نفوذ مغناطیسی نسبی (μ_r):

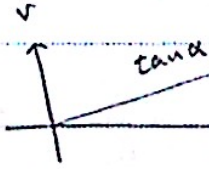
اگر یک ماده‌ی مغناطیسی مثلاً یک میله‌ی آهنی را داخل میدان بگذاریم به شدت H قرار دهیم، چگالی شار B در آن ایجاد می‌شود. رابطه‌ی بین B و H به وسیله ضریبی به نام μ صورت می‌گیرد که به آن ضریب نفوذ مطلق ماده گویند.



$$\mu = \frac{B}{H}$$

اگر میدان ایجاد شده در خلاء باشد، این ضریب مقداری ثابت برابر با $4\pi \times 10^{-7} \frac{wb}{A.m}$ خواهد بود که آن را با μ_0 نشان داده و به آن ضریب نفوذ مطلق خلاء گویند.

$$\left[\frac{H}{m}\right]$$



⇐ میدان الکتریکی

" به جنس هسته وابسته است "

نکته:

ضریب نفوذ مغناطیسی هر ماده در نسبت به خلاء سنجیده و به آن ضریب نفوذ نسبی جسم گویند:

$$\mu_r = \frac{\mu}{\mu_0} \quad \text{یا} \quad \mu = \mu_0 \mu_r$$

KAYOSH

Subject:
Year Month Date:

۶) مقاومت مغناطیسی (رلوکتانس) (R_M) : میزان مقاومتی که یک جسم در مقابل عبور شار مغناطیسی از خود نشان می‌دهد (وابسته به جنس هسته بستگی دارد)

$$R_m = \frac{Lav}{\mu . A} \quad \begin{matrix} \to [m] \\ \leftarrow \left[\frac{H}{m}\right] \\ \to [m^2] \end{matrix}$$

واحد: $\left[\frac{A}{wb}\right]$

دسته بندی مواد مغناطیسی :

۱) مواد مغناطیسی طبیعی (فرومغناطیس) : μ_r آن‌ها بسیار بزرگتر از ۱ است (حدود چند هزار) و کمتر ثابت است.

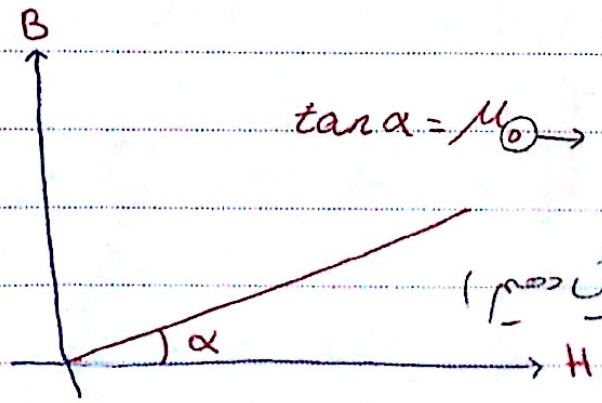
۲) مواد غیرمغناطیسی (پارامغناطیس) : μ_r آن‌ها کمی بزرگتر از ۱ است (حدود ۴ تا ۵)
مثلاً هوا: $\mu_r = 1.0000004$

۳) مواد ضدمغناطیس (دیامغناطیس) : μ_r آن‌ها کمی کوچکتر از ۱ است.
مثلاً آب: $\mu_r = 0.99999$

رابطه بین شدت میدان مغناطیسی و چگالی میدان :

$$B = \mu H \quad , \quad \mu = \mu_0 \mu_r$$

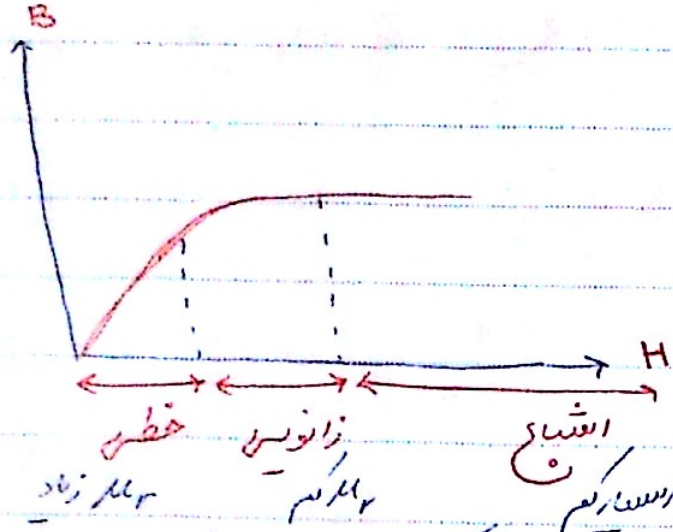
۱) برای مواد غیرمغناطیسی و ضدمغناطیسی :
در حالی که μ_r ثابت است ($\tan\alpha = \mu_0$ ثابت است) دقت خوبی دارد



(دقت شود هم H با زیاد شدن یعنی جریان افزایش دهم)

Subject:
Year: Month: Date:

۲) برای مواد فرومغناطیس ←



نکته) مقدار μ در مواد فرومغناطیس هیچ‌گاه نبود و بستگی به نقطه کار (مقدار H_0B) دارد.

کمیت مغناطیسی

کمیت الکتریکی	نماد	واحد	رابطه	کمیت مغناطیسی	نماد	واحد	رابطه
جریان	I	آمپر	$\int j\,dA$	شار	Φ	wb	$\int B\cdot dA$
نیروی محرکه الکتریکی	EMF	ولت	—	نیروی محرکه مغناطیسی	$\frac{\theta}{AmF}$	$A.T$	$N.I$
مقاومت "	Re	$\frac{V}{A}=\Omega$	$\frac{\rho L}{A}=\frac{L}{\delta\cdot A}$	مقاومت مغناطیسی	R_m	$\frac{A}{wb}$	$\frac{Lav}{\mu A}$
چگالی جریان "	j	$\frac{A}{m^2}$	$\frac{I}{A}$	چگالی میدان "	B	$\frac{wb}{m^2}$ T	$\frac{\Phi}{A}$
شدت میدان "	E	$\frac{V}{m}$	$\frac{EMF}{L}$	شدت میدان "	H	$\frac{A.T}{m}$	$\frac{NI}{Lav}$ / $\frac{MMF}{L}$
هدایت ویژه "	δ	$\frac{\Omega}{m}$	—	ضریب نفوذ "	μ	$\frac{H}{m}$	—

Subject:
Year Month Date

HSOAVOSH

٤

Subject: (۱۲۷ روی صفحه) ۴ام ۳۰ عبوری

Year Month: Date:

مدار مغناطیسی: مسیر عبور شار

تعاریف مالی:

۱) شاخه مغناطیسی: بخشی از یک مدار مغناطیسی که در هر سطح مقطع یکسانی از آن شار یکتایی از آن عبور می‌کند.

۲) مقطع شاخه مغناطیسی: بخشی از یک شاخه مغناطیسی که در آن جنس ماده و سطح مقطع یکسان است

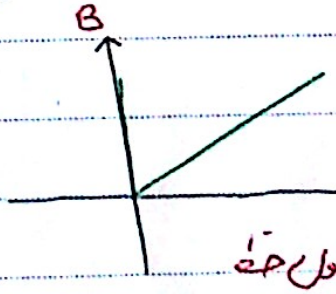
۳) گره مغناطیسی: محل تلاقی بیش از ۲ شاخه مغناطیسی را گره مغناطیسی گویند.

۴) مدار مغناطیسی ساده: مداری که در آن جنس و سطح مقطع هست در تمام مسیرهایی که شار عبور می‌کند یکسان باشد.

۵) مدار مغناطیسی مرکب: مداری که در آن جنس یا سطح مقطع در طول مسیر عبور شار تغییر کند.

۶) مدار مغناطیسی خطی: مداری که ضریب نفوذ مغناطیسی قسمت‌های فرومغناطیسی مدار

ثابت (یا بی‌نهایت) باشد



فرمول خط: $B = \mu H$

ضریب نفوذ

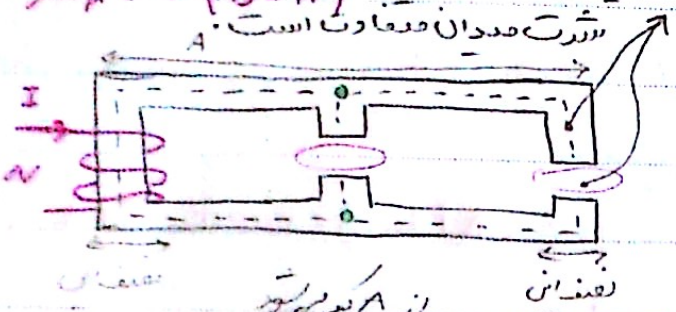
$\mu = \infty \Rightarrow$ ابررسانا (رسانای مطلق)

$\mu = 0$ (عایق) کاملا نارسانا

Subject:
Year: Month: Date:

۷) مدار مغناطیسی غیرخطی: مداری که ضریب نفوذش تابعی از شار و نمودار B-H آن غیرخطی است.

$\mu_r = F(B-H)$ نفوذ بین این دو نقطه یکسان است.



سرعت مدار مغناطیسی متفاوت است.

تعداد ۲ گره

۵ قطعه ۲ شاخه

۲ فاصله هوایی + ۳ شاخه

۳ شاخه

کاربرد قانون مداری آمپر در مدارهای مغناطیسی:

۱) KVL مغناطیسی (KML): تعریف: افت پتانسیل مغناطیسی در قطعه شاخه: (لزوماً جنس آن یکنواخت یکسان باشد)

افت نیروی محرکه مغناطیسی تولیدی در یک سیم پیچ در اثر عبور جریان در هر قطعه شاخه (با نام افت MMF - افت آمپر دور) می‌گویند.

(مدار از دید میدان ⇐ $H = \frac{NI}{Lav}$

بر اساس دید بین قرون

افت ... می‌نویسیم)

شدت میدان

$\nu_m = H_{av} L_{av} = \frac{Lav}{\mu A} \times \Phi$

$\hookrightarrow \frac{B_{av}}{\mu}$

$= R_m \cdot \Phi$ از دید الکتریکی

هنوز ⇐ RI

KML: $\sum_{j=1}^{n} \nu_{mj} = \sum_{j=1}^{n} H_j L_j = \sum_{k=1}^{m} N_k I_k$

(هنوز RI در مدار الکتریکی)

نکته: اگر جهت شار در مدارهایی که دارای چند سیم پیچ باشد متفاوت شود

افت پتانسیل (MMF) آن ها با علامت منفی لحاظ می شود.

۲) KCL مغناطیسی (KFL) :

$$\sum_{i=1}^{n} \Phi_i = 0 \Rightarrow \sum_{i=1}^{n} B_i A_i = 0$$

روش تحلیل مدارهای مغناطیسی:

A) کاربرد قانون آمپر

B) مدار معادل الکتریکی

A) ⇐ روش کاربرد قانون آمپر (برای مدارات خطی و غیرخطی) :

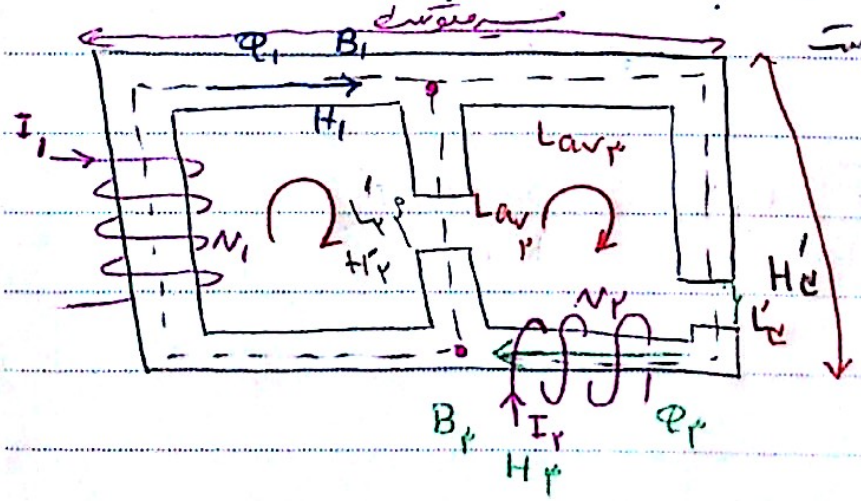
الف) تعیین شاخه ها و جهت شار آن ها

ب) مشخص کردن قطعه شاخه های هر یک از شاخه ها و تعیین رابطه B-H آن ها

ج) اعمال KML در بعضی حلقه ها و اعمال KFL در تقاطع ها به جز یک گره

د) تشکیل رابطه B-H و دخیل کردن روابط دیگر جهت به دست آوردن H قطعه و شاخه ها

طول متوسط برای قطعه شکاف است



Subject:

Year: Month: Date:

KmL
$$\begin{cases} \nu_{m_1} + \nu_{m_2} + \nu'_{m_2} = N_1 I_1 \\ \nu_{m_2} + \nu'_{m_2} - \nu_{m_3} - \nu'_{m_3} = N_2 I_2 \end{cases}$$
KFL ←
$$\Phi_1 = \Phi_2 + \Phi_3$$

تکمیل حلقه:
$$\begin{cases} B_1 = \mu_0 \mu_{r_1} H_1 \\ B_2 = \mu_0 \mu_{r_2} H_2 \cdot \Rightarrow B'_2 = \mu_0 H'_2 \Rightarrow B_2 = B'_2 \end{cases}$$ چون Φ ثابت

$$B_{3_1} = \mu_0 \mu_{r_3} H_3 \Rightarrow B'_3 = \mu_0 H'_3$$

$B_i = B'_i \Rightarrow H'_i = \mu_{r_i} H_i$ در صورت صرف نظر کردن از شار پراکندگی

مسیر برابر شدت میدان در قسمت نازک
$$\begin{cases} H_1 L_{av_1} + H_2 L_{av_2} + H'_2 L'_2 = N_1 I_1 \\ -H_2 L_{av_2} - H'_2 L'_2 + H_3 L_{av_3} + H'_3 L'_{av_3} = N_2 I_2 \\ \Phi_1 - \Phi_2 - \Phi_3 = 0 \end{cases}$$

در صورت جایگذاری Φ با یکدیگر سه معادله و سه مجهول بر حسب H_1 و H_2 و H_3 خواهیم داشت

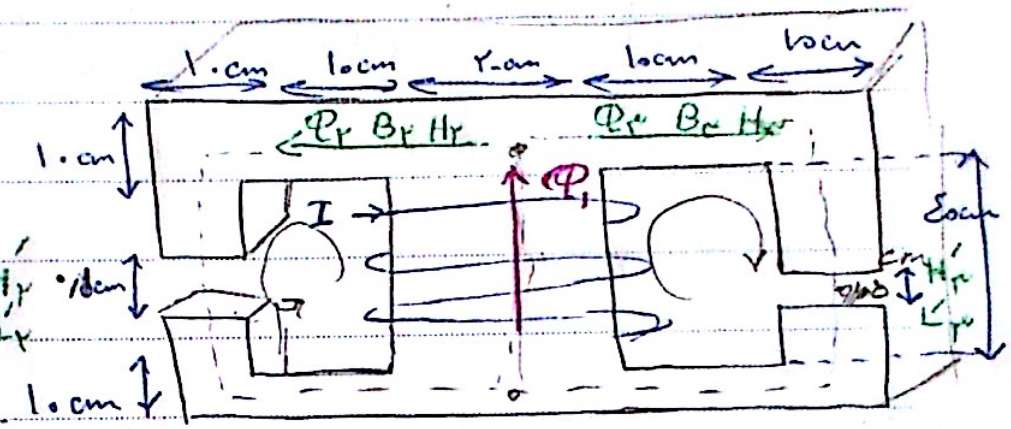
$$\Phi = B \cdot A = \mu \cdot H \cdot A$$
$$\frac{1}{2} \quad \frac{0}{0} \quad \frac{1}{2} \quad \frac{2}{3}$$

Subject:

Year: Month: Date:

مثال ، در مدار زیر اگر ضریب نفوذ پذیری در تمام قسمت‌های هسته برابر ۲۰۰۰ عمق هسته در همه جا برابر 1cm و تعداد دور سیم پیچ برابر ۴۲۵ دور باشد، چگالی شار در میدان مغناطیسی در فواصل هوایی g_1 و g_2 چقدر است؟ A ، ۱ سانتی‌متر مربع است.

($\mu_0 = 10^{-6}$)



$H'_i = \mu_{r_i} H_i$

$\Phi = B \cdot A$

$\Phi = \mu H A$

$\mu_0 \mu_i$

KML
$$+\nu m_1 + \nu m_2 + \nu' m_2 = NI$$
$$+\nu m_1 + \nu m_3 + \nu' m_4 = NI$$

KFL
$$\Phi_1 = \Phi_2 + \Phi_3$$

$\mu_{r_2} H_2$

$$H_1 L_{av_1} + H_2 L_{av_2} + H'_2 L'_2 = NI$$
$$H_1 L_{av_1} + H_3 L_{av_3} + H'_3 L'_3 = NI$$
$$\Phi_1 = \Phi_2 + \Phi_3$$

$\mu_{r_3} H_3$

$$\mu_0 \mu_{r_1} H_1 A_1 = \mu_0 \mu_{r_2} H_2 A_2 + \mu_0 \mu_{r_3} H_3 A_3$$

A_1: $20\,cm \times 1\,cm = 2 \times 10^{-3}\,m^2$ (عمق $\times 10^{-2}$)

A_2: $10 \times 10^{-4} = 10^{-3}\,m^2$

A_3: $10 \times 1 \times 10^{-4} = 10^{-3}\,m^2$

$$Lav_1 = 40 + \frac{10}{2} + \frac{10}{2} = 50$$

$$Lav_2 = \frac{20}{2} + 10 + \frac{10}{2} + 10 + 40 + \frac{10}{2} + \frac{10}{2} + 10 + \frac{20}{2} = 100$$

Lav_3 مثل Lav_1 $= 100$

$$\begin{cases} 50H_1 + 4H_2 = 492.8 \\ 50H_1 + 2H_3 = 492.8 \\ 2H_1 - H_2 - H_3 = 0 \end{cases} \Rightarrow \text{حل معادله} \Rightarrow \text{جواب نهایی} \Rightarrow \begin{cases} H_1 = 128 \ \frac{AT}{m} \\ H_2 = 100 \\ H_3 = 180 \end{cases}$$

$$L'_2 = 0.1 \times 10^{-2} = 10^{-3} \ m$$

$$L'_3 = 0.05 \ cm = 0.05 \times 10^{-2} \ m$$

$$\begin{cases} Bg_1 = \mu_0 \mu_r H_2 = 0.2 \ T \\ Bg_2 = \mu_0 \mu_r H_3 = 0.3 \ T \end{cases}$$

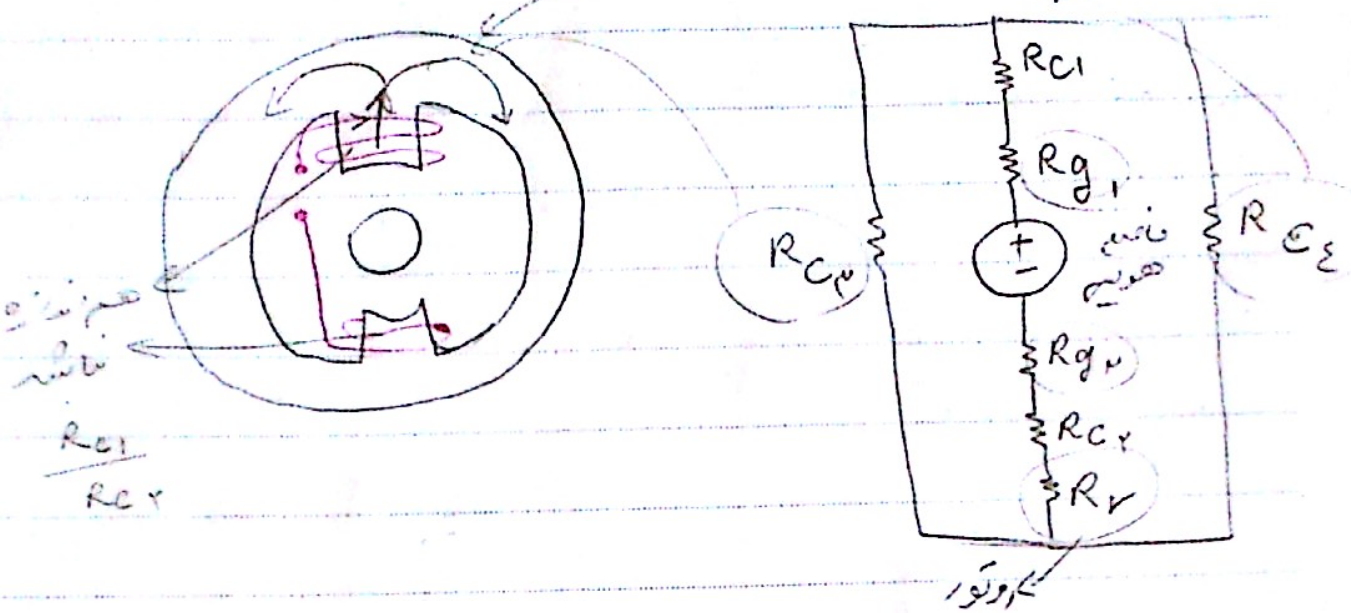
۳) روش حداقل انرژی (روش رلوکتانس):

بهتر است این روش برای مدارهای خطی (μ_r ثابت یا بی نهایت) استفاده نشود

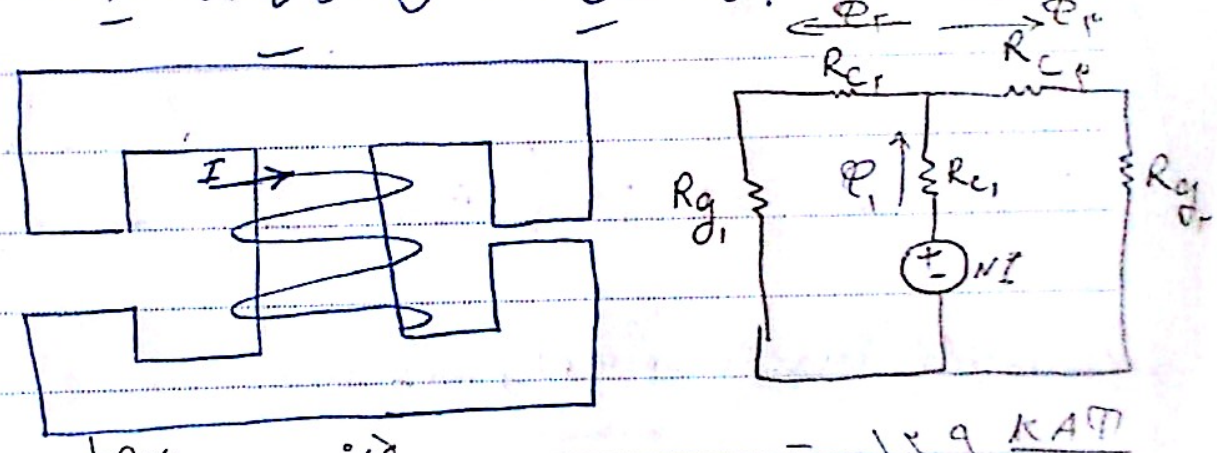
الف) جای هوسیم پیچ حامل جریان یک منبع ولتاژ قرار دهیم، مقدار آن برابر آمپر دور است، هرگاه دور از خارج شود مقدار مثبت است.

ب) جای هر رلوکتانس (هسته یا فاصله هوایی) در قطعه شاخه ها، یک مقاومت

مدار معادل دهم (برابر با رلوکتانس)



مثال) مثال قبل را از طریق مدار معادل رلوکتانسی حل نمایید.



$$R_{C1} = \frac{L_{av1}}{\mu_0 \mu_r A_1} = \frac{0.5}{10^{-6} \times 2 \times 10^3 \times 2 \times 10^{-4}} = 1249 \frac{KAT}{wb}$$

$$R_{C2} = \frac{L_{av2}}{\mu_0 \mu_r A_2} = 500 \frac{KAT}{wb}$$

$$R_{C3} = \frac{L_{av3}}{\mu_0 \mu_r A_3} = 500 \frac{KAT}{wb}$$

$$R_{g1} = \frac{L'_2}{\mu_0 A_2} = 1000 \frac{KAT}{wb}$$

$$R_{g2} = \frac{L'_3}{\mu_0 A_3} = 500 \frac{KAT}{wb}$$

Subject:

Year: Month: Date:

$$\begin{cases} \nu_{m_1} + \nu_{m_2} + \nu'_{m_2} = \mathcal{N} I \\ \nu_{m_1} + \nu_{m_3} + \nu'_{m_4} = \mathcal{N} I \\ \Phi_1 = \Phi_2 + \Phi_4 \end{cases}$$

$$\begin{cases} R_{c_1}\Phi_1 + R_{c_2}\Phi_2 + R_{g_1}\Phi_4 = \mathcal{N} I \\ R_{c_1}\Phi_1 + R_{c_4}\Phi_3 + R_{g_2}\Phi_4 = \mathcal{N} I \\ \Phi_1 = \Phi_3 + \Phi_4 \end{cases}$$

$$\begin{cases} \Phi_1 = 20\ mWb \\ \Phi_2 = 12 \\ \Phi_4 = 8\ ? \end{cases}$$

$$\nu_{g_1} = \frac{\Phi_2}{A_2} = \frac{12 \times 10^{-6}}{100 \times 10^{-4}} = 1.2\ T$$

$$\nu_{g_2} = \frac{\Phi_3}{A_4} = \frac{8 \times 10^{-6}}{100 \times 10^{-4}} = 0.8\ T$$

نوشتن سعی:

$$Req = \left[(R_{c_4} + \underbrace{Rg_1}_{1.0} \,||\, \underbrace{R_{c_3}}_{8k} + \underbrace{R_{g_2}}_{8k}) \right] + R_{c_1} =$$

$$Req = (16k \,||\, 10.0) + 12.8\ K = \text{؟}$$

$$\Phi_1 = \frac{\mathcal{N} I}{Req} = \frac{2490}{\text{؟}} =$$

$$\Phi_2 = \frac{R_{c_4} + Rg_2}{R_{c_4} + R_{g_2} + R_{c_2} + R_{g_1}} \times \Phi_1$$

$$\Phi_4 = \Phi_1 - \Phi_2$$

Subject:
Year: Month: Date:

از یک ماده با ضریب نفوذ کم / بالا

ماده با ضریب نفوذ بالا / کم

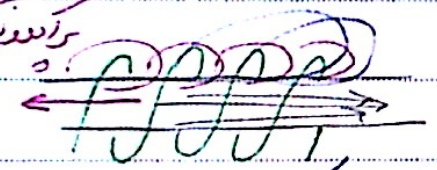
شکفتگی شار

هرگاه شار مغناطیسی از یک ماده با ضریب نفوذ مغناطیسی بزرگ خارج

و به یک ماده با ضریب نفوذ مغناطیسی نسبتاً پایین مانند هوا وارد شود

حجم زیادی گسترده تر می شود و به این پدیده شکفتگی شار یا تراوش می گویند

شار پراکندگی و شار پیوندی:



شار پیوندی (linkage flux): مسیر خود را از طریق رسانا بسته می بندد

Φ_m

شار پراکندگی (leakage flux): مسیر خود را از طریق هوا از اطراف

سیم پیچ می بندد

Φ_L

نکته: اثر شکفتگی شار برای B است نه Φ

نکته: شار پیوندی (Φ_m) مسیر خود را از طریق هسته می بندد بین

سیم پیچ های مختلف که روی هسته هستند. ارتباط برقرار می کند

Subject:
Year: Month: Date:

اگر این میدان شار برابر Φ حرکت شود و هر کدام از سیم پیچ ها n دور باشند حاصلضرب این دو مقدار شار خود

این شار ها هستند دارای N دور باشند حاصلضرب این دو مقدار شار خود

گوییم: $\lambda = N \cdot \Phi$

اگر Φ_1 و Φ_2 و ... Φ_n به ترتیب سیم پیچ های N_1 و N_2 و ... و N_n

در بدینه: $\lambda_1 = N_1 \cdot \Phi_1$ ، $\lambda_2 = N_2 \cdot \Phi_2$ ، ... ، $\lambda_n = N_n \cdot \Phi_n$

تعداد حوزه پیوندی کل برابر است با

آثار

$$\lambda_T = \lambda_1 + \lambda_2 + \cdots + \lambda_n = \sum_{i=1}^{n} \lambda_i$$

$$= \sum_{i=1}^{n} N_i \Phi_i$$

شار معادل: مقدار شاری که لازم است تا برای تولید شار پیوندی حاصل

همه حلقه ها در بر گیرد:

$$\Phi_{eq} = \frac{\lambda_T}{N_1 + \cdots + N_n}$$

Subject:
Year: Month: Date:

اندوکتانس: یک مدار استریپ خطی اندوکتانس نامیم چنانچه میدان مغناطیسی عبوری از سطح محدود به مدار، با جریان مدار رابطه خطی داشته باشد. در صورتی که مدار شامل مواد فرومغناطیس باشد رابطه B-H خطی نباشد، اندوکتانس خطی محدود در غیر این صورت غیر خطی است.

در حوزه (۲) اهمیت خواهیم داشت:

$$L = \frac{\lambda}{i}$$

چنانچه مدار خود تولیدی (موجود) توسط جریان خود دارای شار موجود آمده باشد اندوکتانس حاصل را اندوکتانس خودی و در صورت جریان شار ایجاد موجود آمده باشد آن را اندوکتانس متقابل گوییم.

* **محاسبه اندوکتانس در مدارات مغناطیسی:**

در یک مدار مغناطیسی با n سیم پیچ با جریان های I_1 تا I_n داشته باشیم شارهای λ_1 تا λ_n داشته باشیم برای بدست آوردن اندوکتانس هر سیم پیچ دو حالت زیر عمل می‌کنیم:

Subject:
Year: Month: Date:

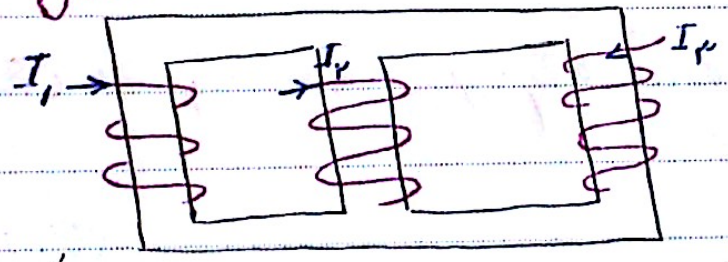
الف) اندوکتانس خودی

۱) مدار معادل الکتریکی سیستم مغناطیسی را رسم کرده و رکوتانس هر شاخه را حساب می‌کنیم.

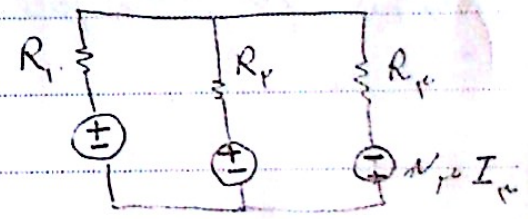
۲) رکوتانس معادل را از دید دو سر سیم پیچ مورد نظر بدست می‌آوریم (با صفر کردن تحریک منابع)

۳) اندوکتانس خودی سیم پیچ مورد نظر را از رابطه $L = \frac{N^2}{Req}$ بدست می‌آوریم

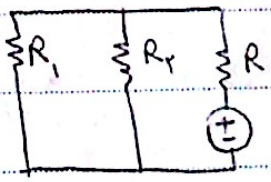
(مثال)



$L_{33} = ?$



با صفر کردن ⇒ منابع ۱ و ۲ اتصال کوتاه



$$Req = (R_1 \,||\, R_2) + R_3$$

$$L_{33} = \frac{N_3^2}{(R_1 \,||\, R_2) + R_3}$$

Subject:
Year: Month: Date:

ب) اندوکتانس متقابل: (بین سیم پیچ اول و دوم)

۱) رسم معادله های الکتریکی

۲) روشتاس معادله را از دیدگاه سیم پیچ اولی حل می کنیم.

(با صفر کردن بقیه منابع)

۳) شار تولیدی در سیم پیچ اول را حل می کنیم

$$\Phi_i = \frac{N_i I_i}{Req_i}$$

۴) سهم شار سیم پیچ اول را با استفاده از قانون تقسیم شار حل می کنیم

(Φ_{ij}).

۵) شار دور سیم پیچ دوم را حل می کنیم:

$$\lambda_j = N_j \Phi_j$$

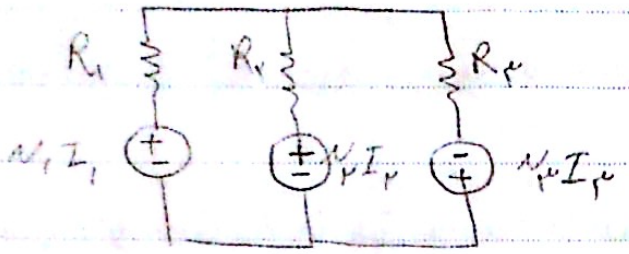
۶) $L_{ij} = \frac{\lambda_j}{I_i}$

KAYOSH

Subject:

Year: Month: Date:

اندوکتانس متقابل ⇐ (مثال متن) $L_{23} = ?$ تحریک ۲ روی ۳



① $Req_{r_2} = (R_1 \parallel R_3) + R_2$

② $\Phi_2 = \dfrac{N_2 I_2}{Req_{r_2}}$

③ ⇒ تقسیم جریان

$\Phi_{2(3)} = \dfrac{R_1}{R_1 + R_3} \times \Phi_2$

$\Phi_{2(3)}$ ← R_3

④ ⇒ $\lambda_3 = N_3 \Phi_3 \Rightarrow N_3 \times \dfrac{R_1}{R_1 + R_3} \times \Phi_2$

⑤ ⇒ $L_{23} = \dfrac{\lambda_3}{I_3} = \dfrac{N_3 \times \dfrac{R_1}{R_1 + R_3} \times \dfrac{N_2 I_2}{Req_{r_2}}}{I_3}$

$\Rightarrow L_{23} = \dfrac{N_2 N_3 R_1}{(R_1 + R_2)\left[(R_1 \parallel R_3) + R_2\right]}$

Subject:
Year Month Date

قانون دوم فاراده:

هرگاه شار یا شار دود حدبر گذرنده یک سیم پیچ متغیر با زمان باشد جریان

سیم پیچ تولید می‌شود که متناسب با تغییرات زمانی شار است

بیان: $e(t) = -\frac{d\lambda(t)}{dt} = -N\frac{d\Phi(t)}{dt}$

منفی = قانون لنز: پلاریته ولتاژ القایی در سیم پیچ چنان

است که همواره با عامل به وجود آورنده اش مخالفت می‌کند.

- ولتاژ خود القایی: چنانچه شار متغیر با زمان در سیم پیچ خود جریان

توسط خود آن سیم پیچ (جریان آن سیم پیچ) تولید شده باشد، ولتاژ

القایی به وجود آمده را ولتاژ خود القایی می‌گویند.

Subject:
Year: Month: Date:

تذکر: مقدار متغیر با زمان به دو صورت پدید می‌آید:

۱- تغییرات جریان عبوری از سیم پیچ ← ولتاژ خود القایی ترانسفورماتور $e_1(t)$

۲- تغییرات وضعیت نسبی مسیر شار در طول زمان (مثلاً تغییرات فاصله هوایی) ← ولتاژ خود القایی روتور نسبی $e_2(t)$

$$e(t) = \frac{d\lambda(t)}{dt} \Rightarrow e(t) = \frac{-d(L(t)\,i(t))}{dt} =$$

$$\lambda(t) = N\Phi(t) = L(t)\,i(t)$$

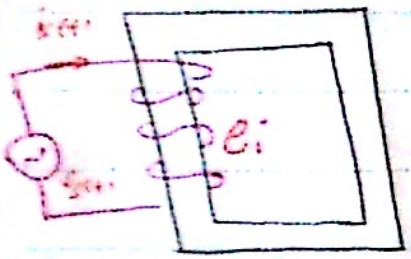
$$= -\left[\underbrace{L(t)\frac{di(t)}{dt}}_{e_1(t)} - \underbrace{i(t)\frac{dL(t)}{dt}}_{e_2(t)}\right]$$

- ولتاژ القایی تزویجی: از شار متغیر با زمان ناشی از خود سیم پیچ نباشد بلکه ناشی از سیم پیچ دیگری از مدار باشد، ولتاژ القایی دوسرآن را ولتاژ القایی تزویجی گویند.

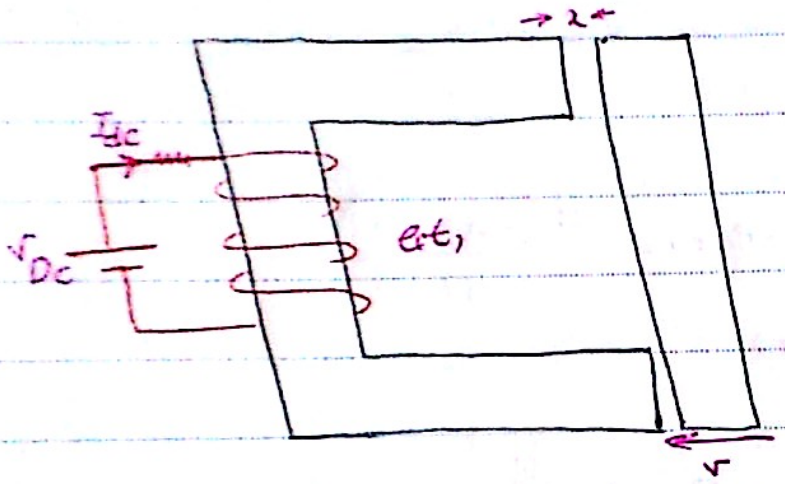
Subject:

Year: Month: Date:

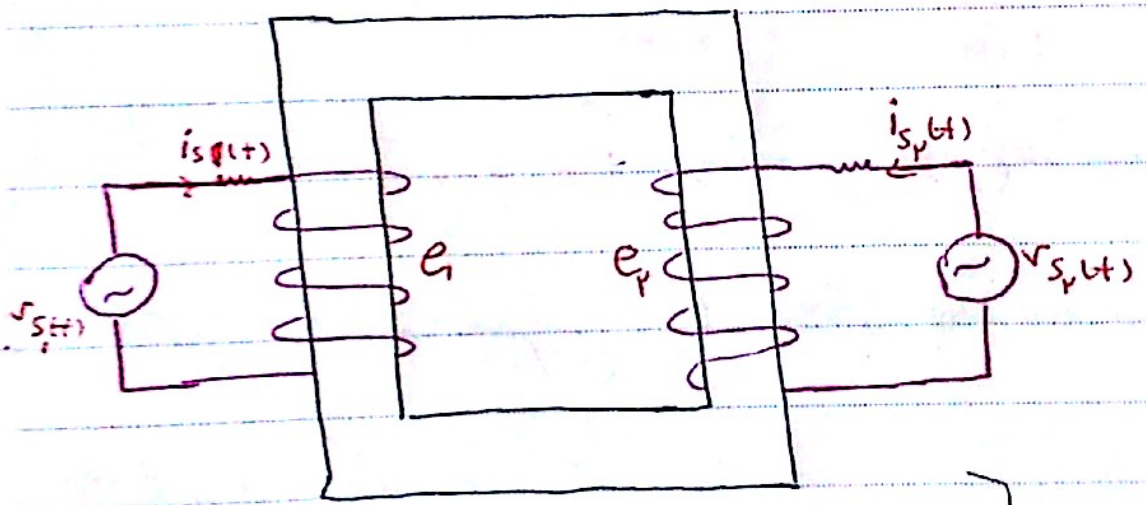
مثال ۱



$$e_i = -L \frac{di_s(t)}{dt}$$



$$e(t) = \frac{-I_d(t)}{dt}$$



$$e_1 = -\left[L_{11} \frac{di_{s_1}(t)}{dt} + L_{12} \frac{di_{s_2}(t)}{dt}\right]$$

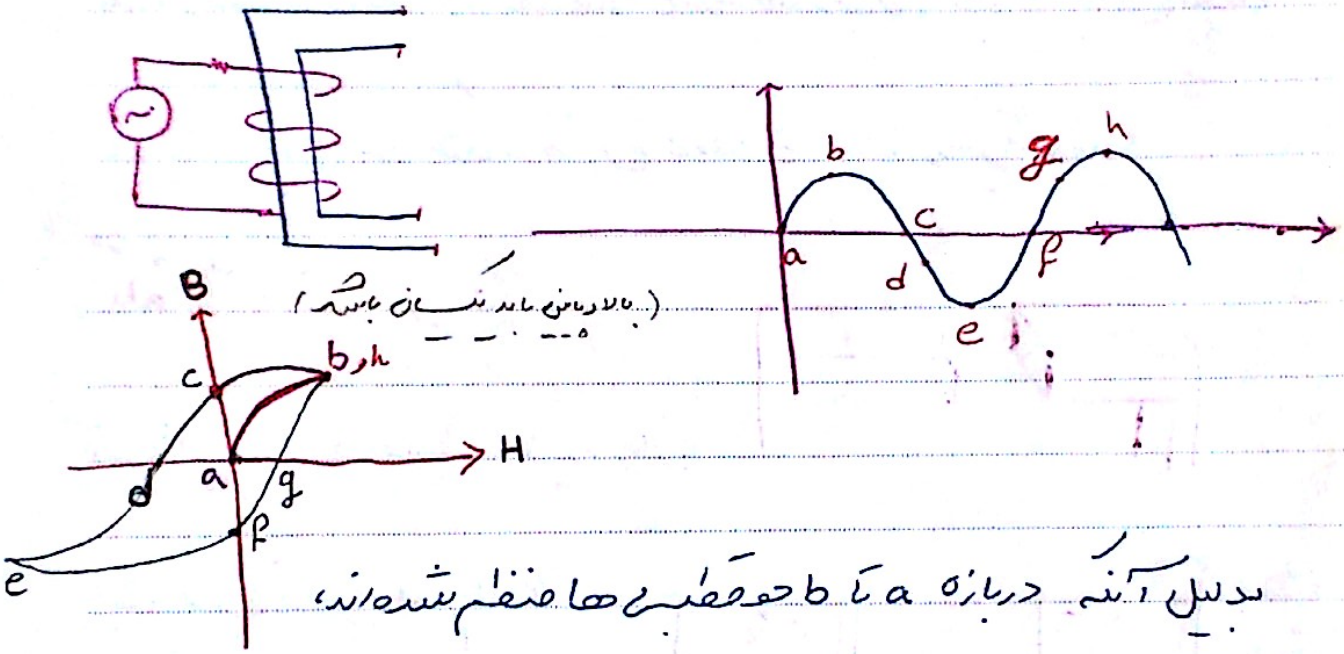
$$e_2 = -\left[L_{22} \frac{di_{s_2}(t)}{dt} + L_{21} \frac{di_{s_1}(t)}{dt}\right]$$

Subject:
Year: Month: Date:

* تلفات انرژی در مدارهای مغناطیسی :

تلفات مغناطیسی در اثر عبور شار متغیر : { هیسترزیس / فوکو

تلفات هیسترزیس :



بدلیل آنکه در بازه a تا b حوضچه ها منظم شده اند،

با کاهش شدت میدان ، حوضچه ها سریعاً به حالت نامنظم برمیگردد

وچنانچه میدان با شدت کمتری کاهش یابد ← مسیر برگشت روی مسیر

رفت نخواهد بود

- در نقطه c با آنکه جریان صفر است اما میدان مقداری غیرصفر دارد

Subject:
Year: Month: Date:

که آن میدان پیمانه می‌شوند:

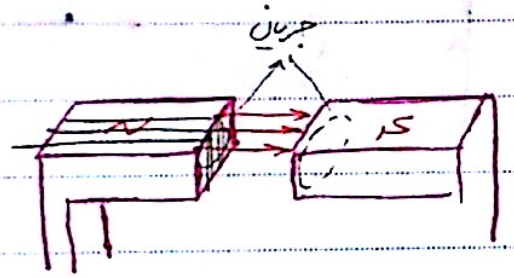
- نقطه c: نقطه اشباع فرومغناطیس است

در این سیکل حلقه هیسترزیس گویند و سطح محصور در این نمودار

بیانگر صدمات انرژی تلف شده در هسته برای از بین بردن دیده

هیسترزیس می‌باشد که در آن عملیات هیسترزیس گویند:

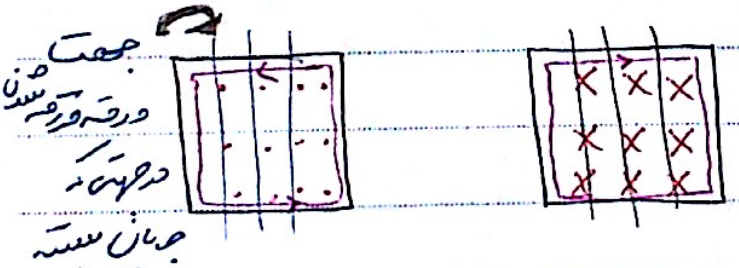
تلفات فوکو:



آرایش حاری در هسته متغیر با زمان

باشد طبق قانون لنز نیروی

ولتاژی در هسته القا می‌شود



و به علت بسته بودن مسیر هسته این ولتاژ موجب ایجاد

جریان می‌شود و این جریان ناخواسته جریان گردابی یا فوکو (Eddy current)

گویند.

Subject:
Year: Month: Date:

فصل چهارم : تبدیل انرژی

در یک مبدل انرژی بخشی از انرژی دریافتی از ورودی به شکل مطلوب مورد نظر در خروجی ظاهر می‌شود. بخشی دیگر داخل سیستم ذخیره شده و مقداری نیز تلف می‌شود یعنی خواهیم داشت :

A) در حالت موتوری :

$$\text{کل انرژی ورودی الکتریکی} = \text{کل انرژی تلف شده} + \text{کل انرژی ذخیره شده} + \text{انرژی مکانیکی خروجی}$$

$$W_{e_i} = W_{m_0} + (W_{mag_s} + W_{m_s}) + (W_{m_L} + W_{mag_L} + W_{e_L})$$

(مکانیکی، مغناطیسی)

B) حالت ژنراتوری :

$$\text{کل انرژی ورودی مکانیکی} = \text{انرژی الکتریکی خروجی} + \text{کل انرژی ذخیره شده} + \text{کل انرژی تلف شده}$$

$$W_{m_i} = W_{e_0} + (W_{m_s} + W_{mag_s}) + (W_{e_L} + W_{mag_L} + W_{m_L})$$

Subject:
Year: Month: Date.

سوم کلیه نیروی های هم جنس را کنار هم قرار دهیم

A) حالت موتوری :

$$(\omega_{e_0} - \omega_{e_L}) = (\omega_{m_0} + \omega_{m_s} + \omega_{me}) + (\omega_{mag_s} + \omega_{mag_L})$$

$$\omega_{elec} = \omega_{mech} + \omega_{Fld}$$

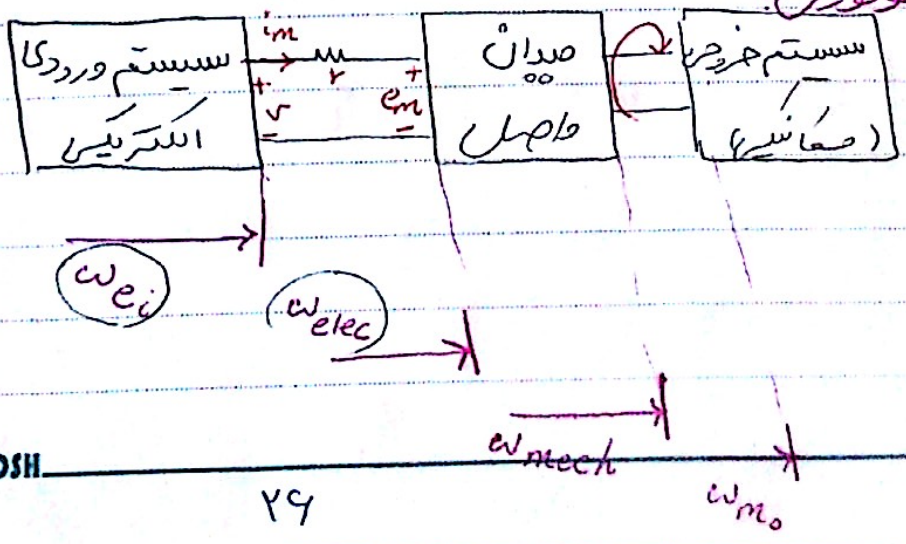
B) حالت ژنراتوری :

$$(\omega_{m_0} - \omega_{m_s} - \omega_{me}) = (\omega_{e_0} - \omega_{e_L}) + (\omega_{mag_s} + \omega_{mag_L})$$

$$\omega_{mech} = \omega_{elec} + \omega_{Fld}$$

نکته ۱ در سیستم های صنعتی کنترل مکانیکی :

A) در حالت موتوری:



Subject:
Year: Month: Date:

نکته:

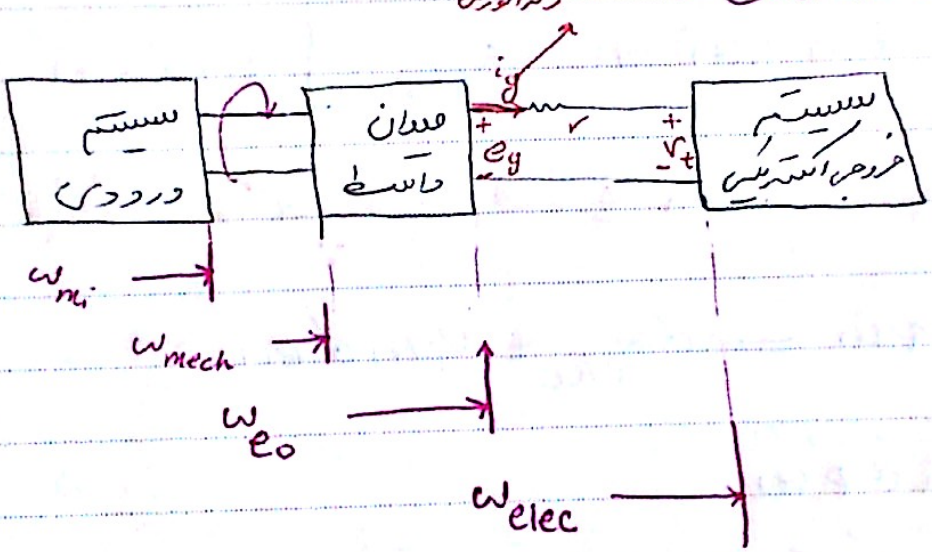
$$w_{elec} = w_{e_i} - w_{e_L}$$

$$\Rightarrow dw_{elec} = dw_{e_i} - dw_{e_L} = d(v_t i_m) - d(r i_m^2)$$

$$\Rightarrow dw_{elec} = v_t i_m dt - r i_m^2 dt \rightarrow dw_{elec} = \underbrace{(v_t - r i_m)}_{e_m} i_m dt$$

$$\Rightarrow dw_{elec} = e_m i_m dt$$

B - حالت ژنراتوری :



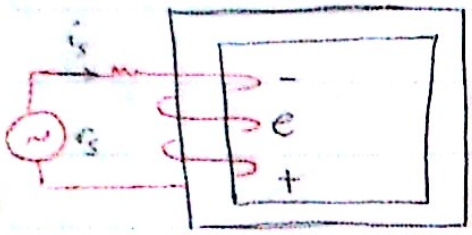
$$dw_{elec} = dw_{e_o} - dw_{e_L} \Rightarrow dw_{elec} = e_g i_g dt - r i_g^2 dt$$

$$\Rightarrow dw_{elec} = (e_g - r i_g) i_g dt \Rightarrow dw_{elec} = v_t i_g dt$$

Subject:
Year Month Date:

۵ بررسی مبدل های الکترومکانیکی تک تحریکه :

الف) انرژی الکتریکی ورودی :



$$\text{انرژی الکتریکی} = \frac{e(t)}{1} = \frac{d\lambda(t)}{dt}$$

$$\Rightarrow d\lambda(t) = e(t)\,dt \xrightarrow{\times i(t)} e(t)\,i(t)\,dt = i(t)\,d\lambda(t)$$

$$\Rightarrow dw_{elec} = i(t)\,d\lambda(t) \Rightarrow w_{elec} = \int i(t)\,d\lambda(t)$$

با فرض آنکه شار پراکندگی صفر باشد :

(اگر شار پراکندگی صفر نباشد dw_{elec} = صفر)

$$\lambda(t) = N\varphi(t) \Rightarrow dw_{elec} = N\,i(t)\,d\varphi(t)$$

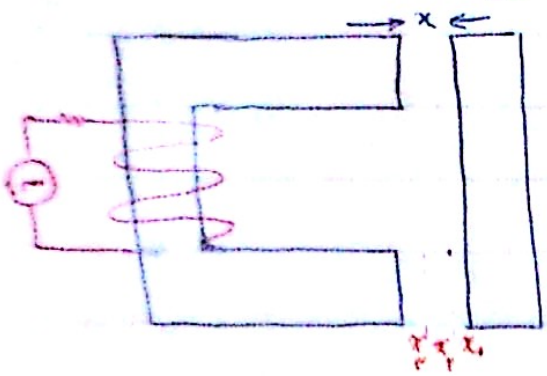
$$\Rightarrow \mathcal{F}_m\,d\varphi(t)$$

در این سیستم حتما باید شار متغیر با زمان باشد تا

$dw_{elec} \neq 0$ (تا مدار مغناطیسی بتواند از منبع مدوری انرژی دریافت کند)

Subject:
Year Month Date:

ب) انرژی ذخیره شده در میدان مغناطیسی :



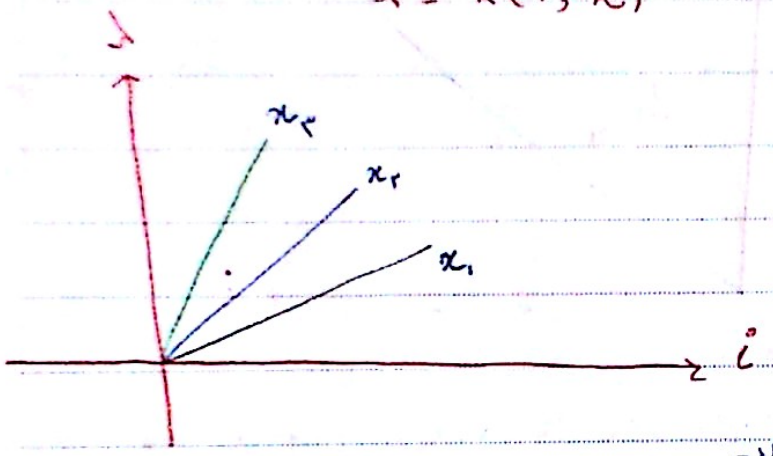
حرکت جزء متحرک ← شار ← Φ ← λ ← ظاهر رلوکتانس

$$\frac{N i}{R_m} = \frac{N i}{\frac{2x}{\mu_0 A}}$$

تذکر: طبق رابطه ی فوق :

$$\Phi = \Phi(i, x)$$

$$\lambda = \lambda(i, x)$$



x: تغییر وضعیت ⇒ $x_1 < x_2 < x_3$ ← کمترین فاصله هوایی

اگر از حرکت قسمت مکانیکی جلوگیری شود

$$dw_{elec} = \cancel{dw_{mech}} + dw_{Fld}$$

این جزء انرژی مکانیکی ذخیره شده در سیستم الکترومکانیکی

$$dw_{Fld} = dw_{elec}$$

از حرکت قسمت متحرک جلوگیری شود، تمام انرژی الکتریکی دریافتی از

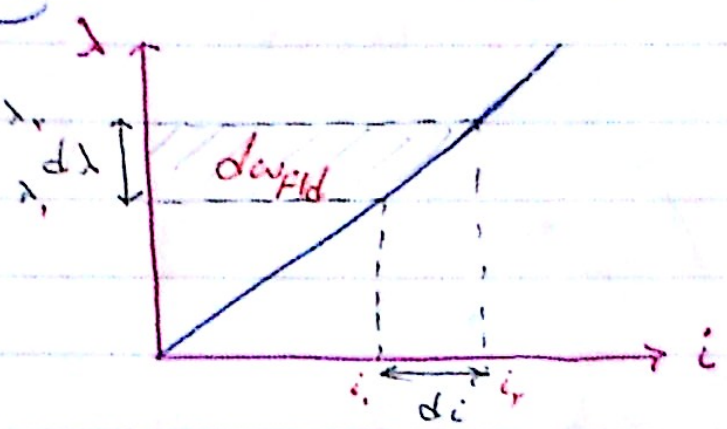
Subject:
Year Month Date

سیستم دو ورودی مغناطیسی خطی شده

$$dw_{Fld} = dw_{elec} = i\,d\lambda$$

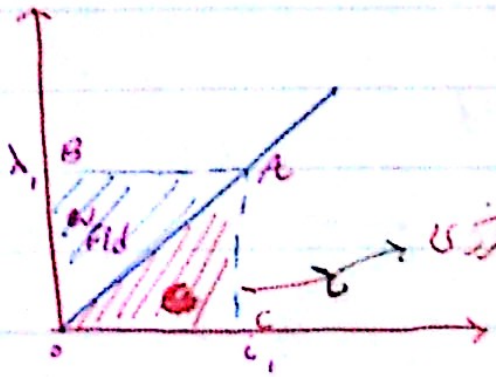
$$\Rightarrow w_{Fld} = \int i\,d\lambda$$

نکته: علت وجود حاصله حجمی در سیستم منحنی $\lambda - i$ (منحنی B-H) نمودار خطی است و متناسب خواهد بود



سطح بالای نمودار $\lambda - i$ معرف انرژی ذخیره شده در میدان است

$$w_{Fld} = \int_0^{\lambda_1} dw_{Fld} = \int_0^{\lambda_1} i\,d\lambda = S_{OABO}$$



$$i = \frac{\partial w_{Fld}}{\partial \lambda}$$

هم‌چنین ⇒ کوانرژی

Subject:
Year: Month: Date:

سطح OACO را صلاحاً شبه انرژی (کوانرژی) تعریف می‌کنیم

عدم حضور انرژی است و آن را با ω'_{Fld} نشان می‌دهیم.

$$\omega'_{Fld} = \int_0^i \lambda di = S_{OACO}$$

$$\lambda = \frac{\partial \omega'_{Fld}}{\partial i}$$

نکته: در سیستم‌های خطی $\omega'_{Fld} = \omega_{Fld}$ و در سیستم‌های غیرخطی

عموماً $\omega'_{Fld} > \omega_{Fld}$.

نکته: در حالت کلی در سیستم‌های غیرخطی:

$$\omega'_{Fld} + \omega_{Fld} = \lambda i$$

مثال: در یک مدار مغناطیسی رابطه $\lambda - i$ به صورت $\lambda = 2.5\sqrt{i}$

داده شده است انرژی ذخیره شده در این مدار به ازای جریان $i = 4A$

چقدر است؟

Subject

Year Month Date

حالت دوم: $\lambda = \lambda(i, x) \xrightarrow[x = cte]{} \lambda = \lambda(i)$

$$W_{fd} = \int_0^{\lambda} i \, d\lambda$$

$$\lambda = 0.3\, i^{0.4} \Rightarrow d\lambda = 0.3 \times 0.4\, i^{-0.6} di \Rightarrow \frac{0.3}{2\sqrt{i}}\, di$$

$$W_{fd} = \int_0^{i} i \times \frac{0.3}{2} \times i^{-0.6}\, di = \int_0^{i} \frac{0.3}{2}\, i^{0.4}\, di$$

$$\int_0^{4} 0.15\, i^{0.4} = \left[\frac{0.3}{2} \times \frac{1}{1.4} \times i^{1.4} \right]_0^{4} = 0.8\ J$$

محاسبه کوانرژی:

$$W'_{fd} = \int_0^{i} \lambda \, di$$

$$\Rightarrow \int_0^{4} 0.3\, i^{0.4}\, di \Rightarrow 1.6\ J$$

$$\lambda = 0.3\sqrt{4} = 0.6 \quad \left(i = \frac{0.6}{0.3}\right)^{2}$$

$$\begin{cases} i = 4 \\ \lambda = 0.6 \end{cases} \rightarrow W'_i = 2.4$$

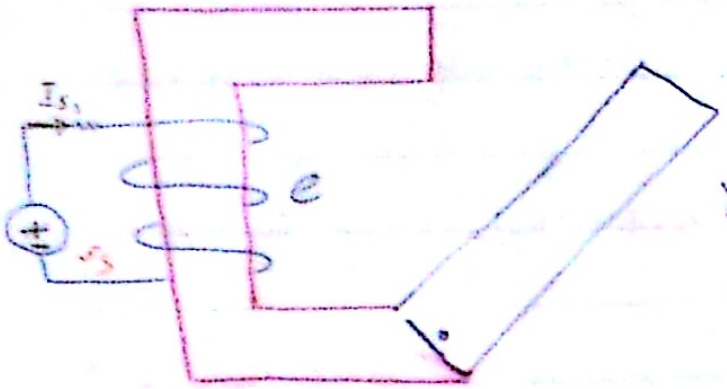
$$W'_{fd} + W_{fd} = \lambda I \Rightarrow 1.6 + W_{fd} = 2.4$$

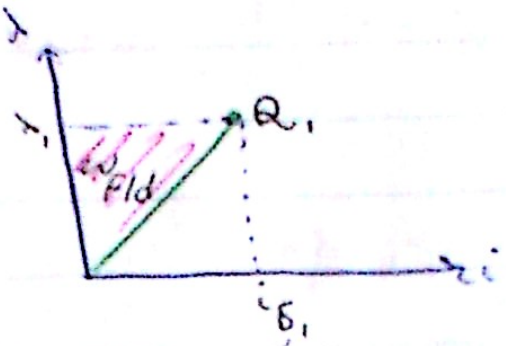
$$W_{fd} = 0.8\ J$$

Subject:
Year Month Date

ج) ۷ مکانیزم انجام شده در سیستم های تک تحریکه :

A) زبانه زبانه است و سیم وصل میشود.



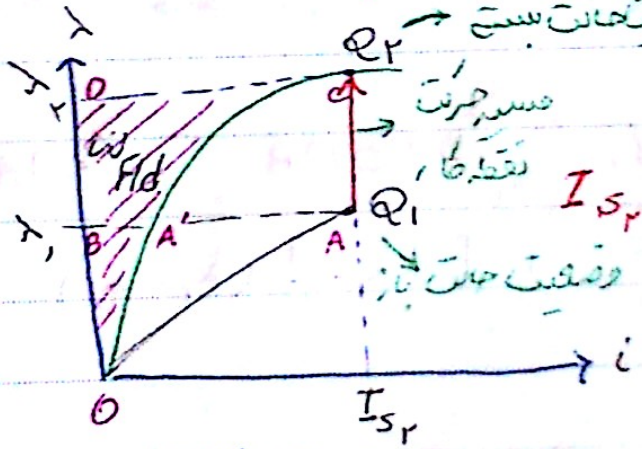


$N\Gamma = R\downarrow \cdot \Phi\uparrow$

تذکر مهم: نقطه‌ی کار Q_1، نقطه کار سیستم قبل از حرکت زبانه (قبل از بسته شدن کلید) صحیح است.

$$I_{S_1} = \frac{V_S}{2}$$

B) زبانه بسته است و کلید K بسته می‌شود



$$I_{S_2} = I_{S_1} = \frac{V_S}{2}$$

چون کوتاهتر شدن در حالت B از حالت اول بسیار کمتر است ⇐ حالت دوم مورد توجه و حساسیت ما اشکال می‌رود با بسته شدن کلید و حرکت زبانه.

Subject:
Year Month Date

نقطه کار حداکثر از Q_1 به Q_2 تغییر می‌کند. مسیر این تغییر وضعیت چگونه است؟

وابسته به حرکت مشتقت متحرک است.

۳ حالت برای حرکت مشتقت متحرک:

A) حرکت آرام زیاد

①

$$e = \frac{\Delta\lambda}{\Delta t} = \frac{\lambda_2 - \lambda_1}{t_2 - t_1}$$

علت حرکت آرام زیاد تغییرات شار حول (λ_1 به λ_2) و تأثیر القایی ناچیزی در سیم پیچ القا می‌کند ← جریان سیم پیچ ثابت می‌ماند.

$$W_{Fld} = \left(\text{انرژی ذخیره شده در حالت بسته} - \text{انرژی ذخیره شده در حالت باز} \right)$$

$$W_{Fld_2} - W_{Fld_1} = S_{OA'CDBO} - S_{OAA'BO}$$

$$\text{تغییر انرژی } W_{elec} = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} I\,d\lambda = I(\lambda_2 - \lambda_1)$$

نقطه کار از Q_1 به Q_2

$$= S_{ACDBA'A}$$

Subject:
Year Month Date

طبق معادله داریم:

$$W_{elec} = W_{Fld} - W_{mech}$$

$$\Rightarrow W_{mech} = W_{elec} - W_{Fld}$$

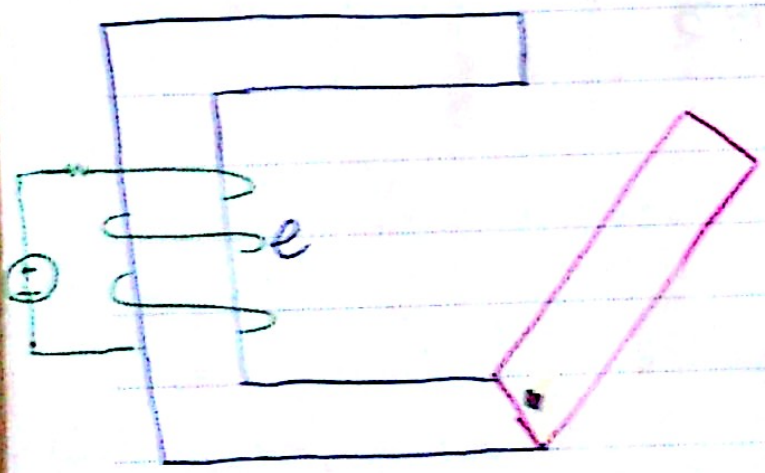
$$W_{mech} = S_{ACDBAA'} - S_{oA'CDBo} + S_{oAA'Bo}$$

سطح محصور بین دو منحنی بار و بیشتر برابر کار مکانیکی انجام شده در حرکت آرمیچر بار است.

تذکر: میزان تغییرات انرژی مکانیکی خروجی معادل افزایش شبه انرژی میدان مغناطیسی است.

$$\Delta W_{mech} = \Delta W_{Fld}$$

B) حرکت سریع آرمیچر:

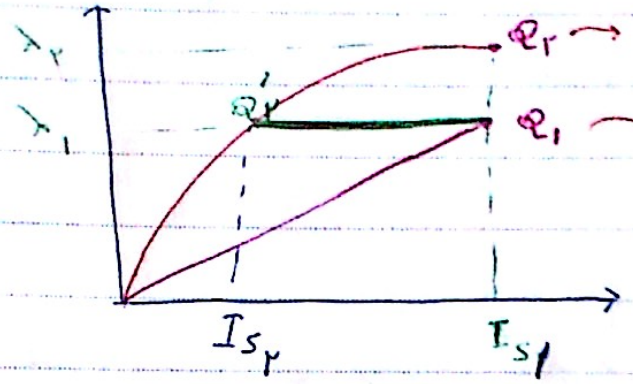


Subject:
Year Month: Date:

طبق اصل ثبات شار و عدم تغییرات آنی آن، شار حول نمی‌تواند جهش کند

تا شار تغییر نکند شار حول همان مقدار ثابت می‌ماند حال

اگر شار ثابت بماند، جریان هم ثابت می‌ماند.



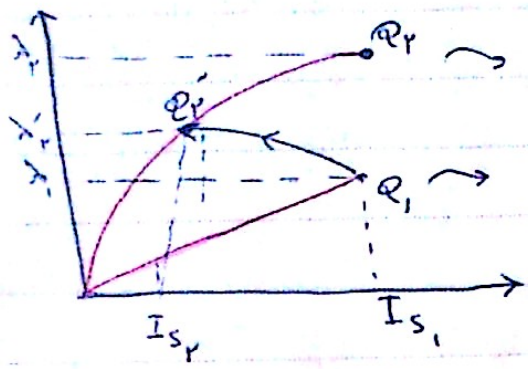
$$W_{fld} = W_{fld_2} - W_{fld_1} \Rightarrow S_{OA'BO} - S_{OAA'BO} = S_{OAA'O}$$

$$W_{elec} = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} i \, d\lambda = 0$$

$$W_{mech} = W_{fld} = S_{OAA'O}$$

Subject:
Year Month Date

ج) حرکت با سرعت متوسط :



حالت بسته

حالت باز

حرکت در ابتدا آرام و به تدریج سریعتر :

$$w_{Fld} = w_{Fld_2} + w_{Fld_1}$$

$$= S_{OA'C'EBO} - S_{OAA'BO}$$

$$w_{elec} = \int_{\lambda_1}^{\lambda'_2} i\,d\lambda = S_{AC'EBA'A}$$

$$w_{mech} = S_{OAC'A'O}$$

مثال : تابع شبه انرژی یک سیستم تک کویله به صورت $w'_{Fld} = \frac{i^2(x+1)^2}{3}$ تعریف شده است. این سیستم با سرعت خیلی سریع از وضعیت $x=0$ و $i=0$ شدت جریان $5A$ و وضعیت $x=2$ برده می‌شود. اندازه‌ی این تغییر مقدار جریان سیم‌پیچی چقدر است ؟

$$w'_{Fld} = w'_{Fld}(i,x)$$

$$\lambda = \frac{\partial w'_{Fld}}{\partial i}$$

Subject:
Year: Month: Date:

$$\lambda = i^{2}(x + 0.1)^{2}$$

حرکت سریع : $\lambda = cte \rightarrow \lambda_1 = \lambda_2$

$$i_1^{2}(x_1 + 0.1) = i_2^{2}(x_2 + 0.1)^{2}$$

x_1: 0.1 ↓ , i_2: 6 ↓ , x_2: 0.2 ↓ , $i_2 = 4.8A$

۲) محاسبه نیروی مکانیکی در سیستم‌های تک‌کیه:

$$W_{mech} = \int Fe\,dx \longrightarrow Fe = \frac{dW_{mech}}{dx}$$

* قضیه اصلی تبدیل انرژی: در تمامی سیستم‌های الکترومغناطیسی نیروی وارد بر قسمت متحرک در هنگام حرکت مستقل از نوع حرکت بوده و به مقادیر ابتدایی و انتهایی حرکت وابسته است.

با توجه به این قضیه می‌توان برای محاسبه نیرو از هر مسیر دلخواه استفاده نمود. اگر این مسیر دلخواه مسیر جریان ثابت (حرکت آرام) یا مسیر شار ثابت (حرکت تند) باشد محاسبات نیرو بسیار ساده‌تر خواهد بود چرا که $\frac{di}{dt}$ یا $\frac{d\lambda}{dt} = 0$

Subject:
Year Month Date:

در هر جدول الکترومکانیکی ۳ پارامتر i و λ و x وجود دارد، اما با توجه به رابطه

i و λ کافیست یکی از این ۲ متغیر را به همراه x برای توصیف حالت سیستم

(معادلات حالت) به کار ببریم. به این ۲ متغیر که به عنوان تعریف شده

حالت سیستم در نظر گرفته می‌شود (x, λ) یا (x, i) متغیرهای مستقل گویند.

الف) اگر (x, i) به عنوان متغیر مستقل فرض می‌شوند.

$$w_{Fld} = w_{Fld}(i, x)$$

ثابت می‌شود

$$w_{Fld} = w'_{Fld}(i, x)$$

$$Fe = \frac{\partial w'_{Fld}(i, x)}{\partial x}\Big|_{i=cte}$$

به این روش، روش شبه نیروی گویند.

ب) اگر (x, λ) به عنوان متغیر مستقل استفاده شوند.

$$w_{Fld} = w_{Fld}(\lambda, x)$$

$$\longrightarrow$$

$$w'_{Fld} - w'_{Fld}(\lambda, x)$$

Subject:
Year: Month: Date:

$$Fe = \frac{\partial W_{Fld}(\lambda, x)}{\partial x}\Big|_{\lambda = cte}$$ ← روش انرژی

تعیین شکل استاندارد انرژی و کوانرژی:

۱) فرمت استاندارد: W_{Fld} به صورت تابعی از (λ, x) یعنی $W_{Fld}(\lambda, x)$ و $W'_{Fld}(i, x)$ به صورت W'_{Fld} بیان شده است:

۲) فرمت غیر استاندارد:
$$\begin{cases} W_{Fld}(i, x) \\ W'_{Fld}(\lambda, x) \end{cases}$$
در حل مسئله حتماً باید از فرمت استاندارد استفاده کرد

تبدیل به فرم استاندارد:

الف) تبدیل $W_{Fld}(i, x)$ به $W'_{Fld}(i, x)$ ← $W_{Fld}(\lambda, x)$

$$i = \frac{dW_{Fld}(i, x)}{d\lambda}$$

$$i = \frac{dW_{Fld}(i, x)}{di} \times \frac{di}{dx}$$

Subject:
Year Month Date:

$$\lambda = \lambda(i,x) \Rightarrow w'_{Fld}(i,x) = \int \lambda(i,x)\, di$$

$$\Rightarrow Fe = \frac{\partial w'_{Fld}(i,x)}{\partial x}$$

$$i = i(\lambda,x) \Rightarrow w_{Fld}(\lambda,x) = \int i(\lambda,x)\, d\lambda$$

$$Fe = -\frac{\partial w_{Fld}(\lambda,x)}{\partial x}$$

ب) تبدیل $w_{Fld}(\lambda,x)$ و $w'_{Fld}(i,x)$ به $w_{Fld}(\lambda,x)$

$$\lambda = \frac{dw'_{Fld}(\lambda,x)}{di} = \frac{d\,w'_{Fld}(\lambda,x)}{d\lambda} \times \frac{d\lambda}{di}$$

① $i = i(\lambda,x) \Rightarrow w_{Fld}(\lambda,x) = \int i(\lambda,x)\, d\lambda$

$$\Rightarrow Fe = -\frac{\partial w_{Fld}(\lambda,x)}{\partial x}$$

②

$$\lambda = \lambda(i,x) \Rightarrow w'_{Fld}(i,x) = \int \lambda(i,x)\, di$$

$$\Rightarrow Fe = \frac{\partial w'_{Fld}(i,x)}{\partial x}$$

مثال ۱: در یک سیستم الکترومغناطیسی تک کویله، انرژی ذخیره شده در سیستم به صورت $w_{Fld} = (1+x)i^{\frac{4}{3}}$ است که در آن شدت جریان سیم پیچ i و x مقدار ثابتی است. نیروی وارد بر قسمت متحرک

Subject:
Year Month Date:

و همچنین اندازه ی خطاهایی که در نتیجه ی فرض حرکت سریع رخ می دهد را در $x = 0.5$ و $x = 0.1$ محاسبه کنید.

در صورتی که $\lambda(i, 0.1) = 1.5$ باشد با دقت بیشتری بدست آورید.

$$i = \frac{\partial W_{fld}(i,x)}{\partial i} \times \frac{di}{d\lambda} \quad \text{حرکت غیر استاندار} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow i = \frac{3}{2}(1+x)\, i^{1/2} \times \frac{di}{d\lambda}$$

$$d\lambda = \frac{3}{2}(1+x)\, i^{-1/2}\, di \Rightarrow \lambda = 2(1+x)\, i^{+1/2}$$

$$W'_{fld} = \int \lambda\, di = \int 3(1+x)\, i^{1/2}\, di = 2(1+x)\, i^{3/2}$$

$$\Rightarrow Fe = \frac{\partial W'_{fld}}{\partial x} = 2 i^{3/2}$$

ب) حرکت سریع λ ثابت است:

$$\lambda(0.1, 0.5) = \lambda(0.3) = 1.5$$

$$\begin{cases} W_{fld} = \int i\, d\lambda \\ \lambda = 2(1+x)\, i^{1/2} \Rightarrow i = \dfrac{\lambda^2}{9(1+x)^2} \end{cases} \Rightarrow W_{fld} = \int \frac{\lambda^2}{9(1+x)^2}\, d\lambda = \frac{\lambda^3}{27(1+x)^2}$$

$$Fe = -\frac{\partial W_{fld}}{\partial x} = \frac{2\lambda^3}{27(1+x)^3} \Rightarrow W_{mech} = \int_{x_1}^{x_2} Fe\, dx$$

$$\int_{x_1}^{x_2} Fe\, dx = \left. \frac{-0.125}{(1+x)^2} \right|_{0.1}^{0.3} = 0.02\ J = 20\ mJ$$

Subject:
Year: Month: Date:

اصول ماشین های جریان مستقیم:

ماشین های الکتریکی دوار: { گردان (روتور) / ثابت (استاتور) }

ولتاژ القا شده در هادی: انرژی هادی درون میدان خطوط شار

قطع شدن درون های ولتاژ القا می شود

$E = BL\,v\sin\theta$ ← زاویه بین بردار حرکت و میدان

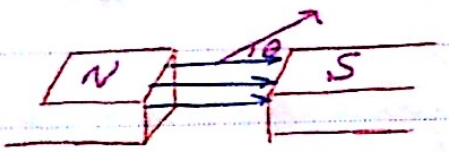
چگالی میدان — طول موثر سیم — سرعت حرکت

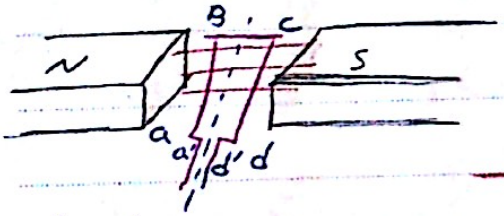
قانون دست راست:

چهار انگشت : B

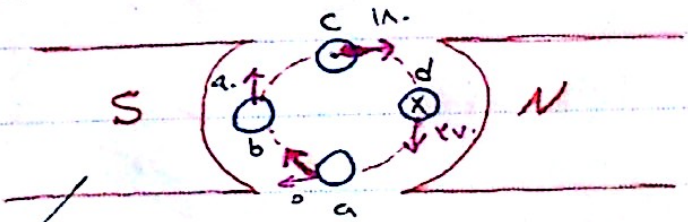
شست : جهت حرکت

کف دست : I

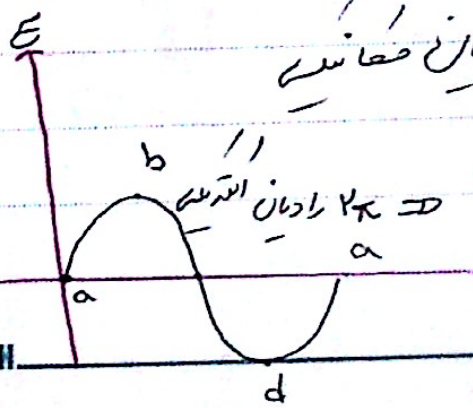




a.b ✓
c.d ✓



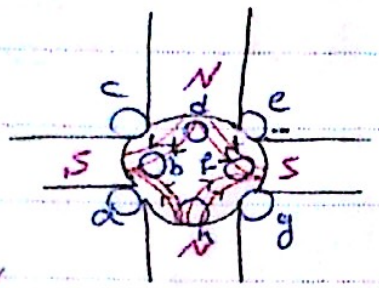
۲π رادیان فضایی

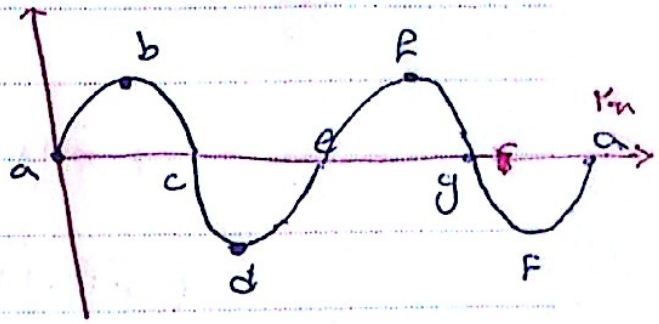


۲π رادیان الکتریکی

خروجی شکل موج جا زدن ۲π رادیان t فضایی

KAVOSH





در ازای 2π رادیان حرکت مکانیکی

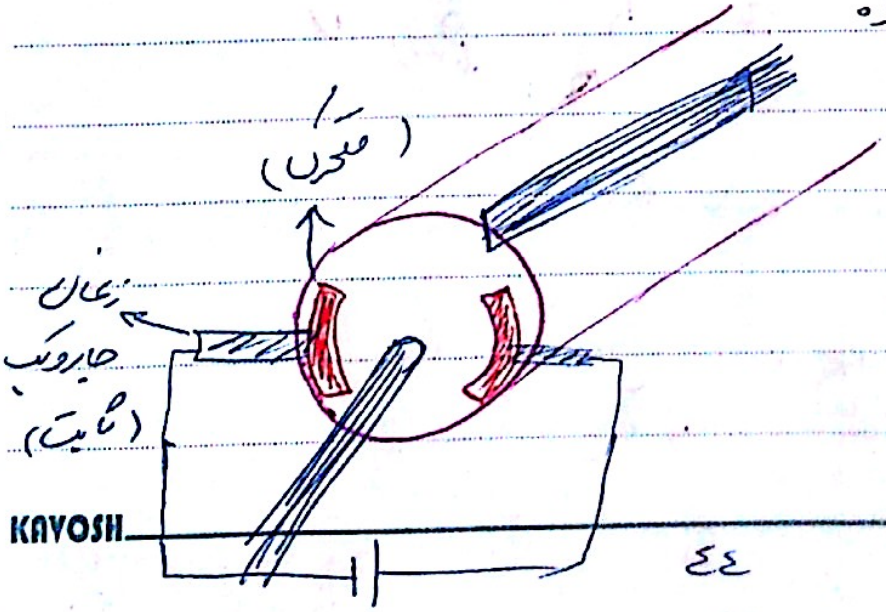
π رادیان الکتریکی داریم

نیروی تولید شده توسط سیم حامل جریان:

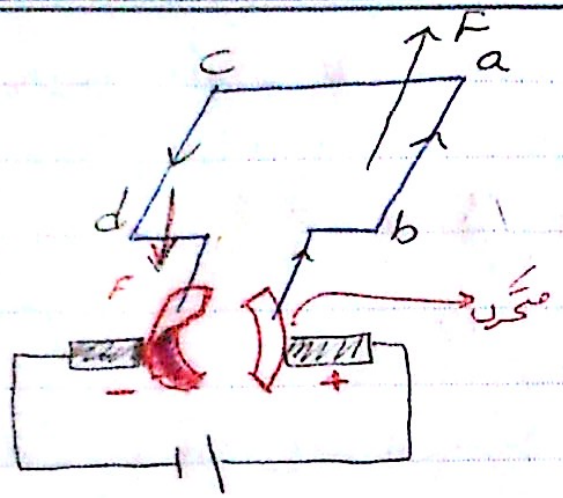
قانون بیو ساوار: اگر از یک سیم که در میدان الکتریکی قرار دارد جریانی بگذرد نیروی بر سیم وارد خواهد شد که معادل زیر است.

$$F = BIL$$

جهت نیرو: قانون دست چپ: اگر با انگشت دست چپ B را نشان دهد و جریان از کف دست خارج شود شست جهت نیرو را نشان خواهد داد.



Subject:
Year Month Date

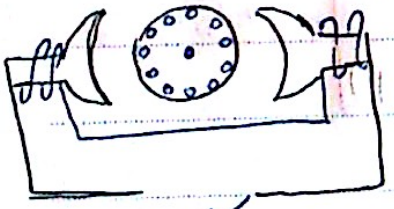


محاسبه ولتاژ القائی و گشتاور القایی در ماشین های DC : (دید کلی تئوری)

۱- اگر آرمیچر یک ماشین با سرعت ω بچرخاند مقدار ولتاژ القا شده در ماشین برابر است با :

$$E_a = \frac{P}{a} Z \Phi \frac{\omega}{2\pi} = K \Phi \omega$$

(P: تعداد قطب، Z: تعداد هادی های کل روی سیم پیچ های آرمیچر، a: تعداد مسیر موازی سیم پیچ های آرمیچ)



۲- اگر از آرمیچر یک ماشین DC جریان I_a عبور کند مقدار عمومی گشتاور القایی در این سیم پیچی برابر است با :

$$T_e = \frac{P}{a} Z \Phi \frac{I_a}{2\pi} = K \Phi I_a$$

Subject:
Year Month Date

از ضرب رابطه T_e در ω ضرب شدند:

$$T_e \cdot \omega = K \Phi \omega I_a \Rightarrow T_e \cdot \omega = E_a I_a$$

E_a $\quad$ P_e ← قدرت خاصی از رتور

این رابطه نشان می‌دهد قدرت الکتریکی و مکانیکی در ماشین با هم برابرند

نکته: طبق روابط مربوطه E_a و T_e می‌توان نوشت:

$$\frac{E_{a_1}}{E_{a_2}} = \frac{\Phi_1 \omega_1}{\Phi_2 \omega_2} \Rightarrow \frac{T_{e_1}}{T_{e_2}} = \frac{\Phi_1 I_{a_1}}{\Phi_2 I_{a_2}}$$

* مولدهای جریان مستقیم

$$E_a = K \Phi \omega$$

تولید شار:
① - آهنربای دائم (قطب‌های دائمی) : P.M
② - سیم پیچی ← چگالی شار بالاتر / قابلیت کنترل شار

جریان تحریک:
منبع تغذیه جداگانه ← تحریک مستقل
استفاده از جریان خروجی ← تحریک خودی

Subject:
Year: Month: Date:

اتصال بین مدار تحریک و مدار آرمیچر:

1- سری ← ترانزیستور سری

2- موازی ← " شنت

3- سری - موازی ← کمپوند (ترکیب مختلط)

سیم پیچ سری: سیم ضخیم و تعداد دور کم،

" شنت: سیم نازک و تعداد دور زیاد.

مدار کمپوند:
- سری
- شنت
- کمپوند
  - شنت کوتاه
    - اضافی
      - فوق کمپوند
      - تخت
      - زیر کمپوند
    - نقصانی
  - شنت بلند
    - نقصانی
    - اضافی
      - فوق کمپوند
      - تخت
      - زیر کمپوند

مقادیر ناحیه:

مقادیری است که موتور ماشین تحویل میشود یا از ماشین گرفته میشود، بدون آنکه آسیبی به آن وارد شود

T_n ، ω_n ، I_{F_n} ، I_{a_N} ، V_{t_n} ، P_N

Subject:
Year Month Date:

* مشخصه های اصلی مولد های Dc :

۱- مشخصه بی باری (مشخصه داخلی - مغناطیسی - شنت)

تغییرات نیروی محرکه القا شده دو سر آرمیچر بر حسب تغییرات جریان تحریک

$$E_a = F(I_f)$$

۲) مشخصه باری (مشخصه خارجی - ترمینال)

تغییرات ولتاژ خروجی بر حسب جریان بار

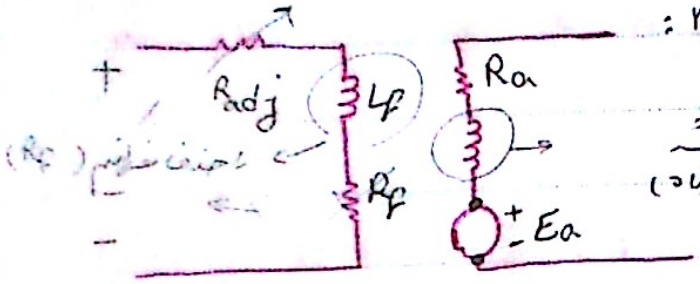
$$V_t = F(I_L)$$

۳) مشخصه تنظیم: تغییرات جریان تحریک بر حسب جریان بار، جهت ثابت نگه داشتن ولتاژ ثابت ماندن ولتاژ خروجی در بارهای مختلف جریان تحریک چقدر تغییر باید:

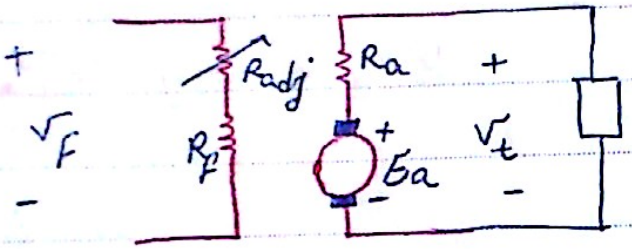
$$I_f = F(I_L)$$

Subject:
Year Month Date

مدل مداری مولدهای DC:



شرایط کار مستقل:

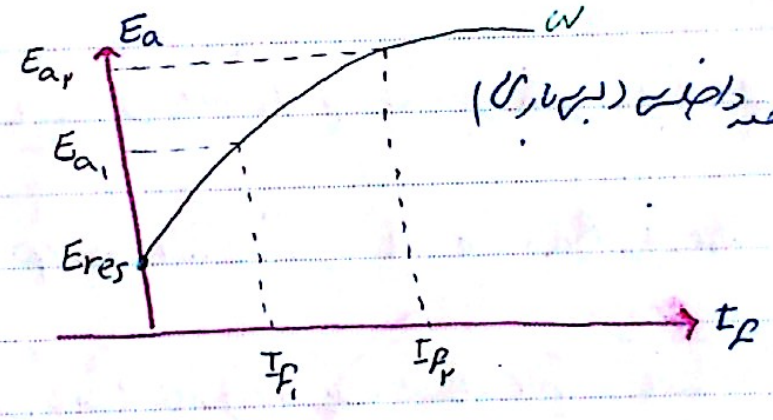


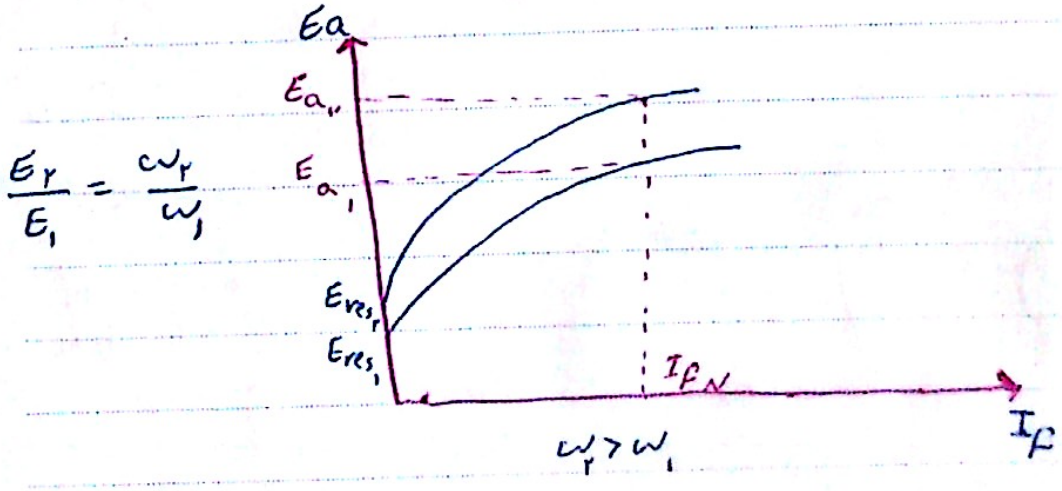
$$-E_a + R_a I_a + V_t = 0$$

$$\Rightarrow V_t = E_a - R_a I_a - V_b$$

$$\boxed{I_a = I_L}$$

نمودار مشخصه داخلی (بی‌باری)





$$\frac{E_2}{E_1} = \frac{\omega_2}{\omega_1}$$

Subject:
Year: Month: Date:

نکته ۵) طبق رابطه حاصل تولید دینامیکی القایی:

$$\frac{E_{a2}}{E_{a1}} = \frac{\Phi_2 \omega_2}{\Phi_1 \omega_1}$$

در ژنراتورهای جریان مستقیم:

$$\frac{E_{a2}}{E_{a1}} = \frac{I_{f2} \omega_2}{I_{f1} \omega_1}$$

نکته ۶) در حالت بی باری

$$V_t = E_a$$

مثال) در یک موتور تحریک مستقل سرعت چرخشی در بار نامی ۱۰ kW و ۲۰۰ V برابر ۱۰۰۰ rpm است اگر $R_a = 0.5\ \Omega$ و بار موتور ۲۰٪ کاهش یابد با فرض ثابت ماندن تحریک سرعت چقدر تغییر می‌کند تا دوباره ثابت بماند؟

حالت اول:
$P_1 = 10\ kW$
$V_t = 200\ V$
$N_1 = 1000\ rpm$

حالت دوم:
$P_2 = 80\% P_1 = 8\ kW$
$V_t = 200$
$N_1 = ?$

Subject:

Year: Month: Date:

$E_a = K\Phi\omega$ $\quad \frac{E_{a_2}}{E_{a_1}} = \frac{\Phi_2 \omega_2}{\Phi_1 \omega_1}$

$\frac{\Phi_2}{\Phi_1} = \frac{?}{} = 1$

$\frac{E_{a_2}}{E_{a_1}} = \frac{\omega_2}{\omega_1}$ $\quad E_a = V_t - R_a I_a$

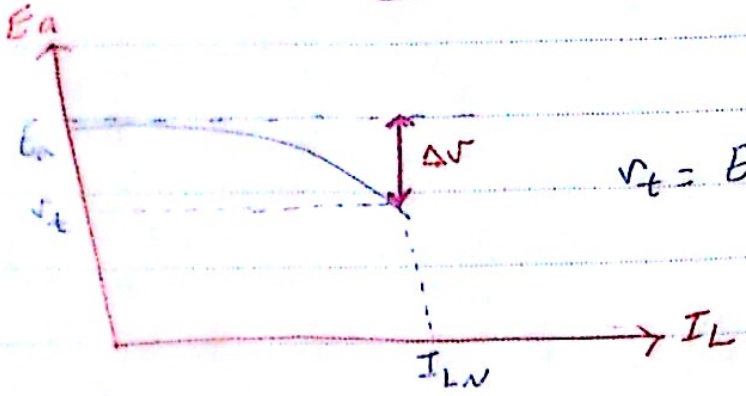
$I_a = \frac{P}{V_t} \longrightarrow \begin{cases} E_{a_1} = V_t - R_a I_{a_1} \\ I_{a_1} = \frac{P_1}{V_t} = \frac{10\,\xi}{100} = 50\,A \end{cases}$

$\Rightarrow E_{a_1} = 100 - 0.5 \times 50 = 44\,\Omega$

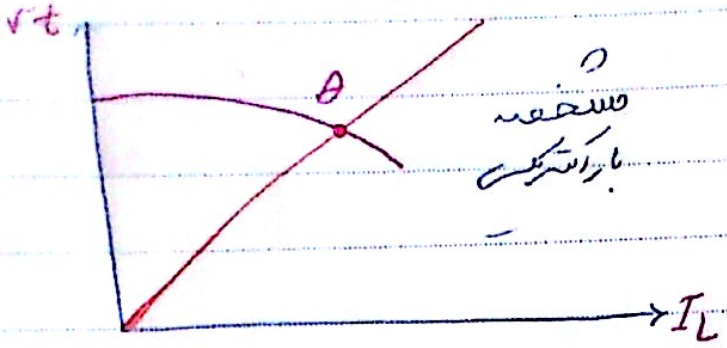
KEYOS

Subject:
Year Month Date

مشخصه بارداری مولد تحریک مستقل:



$$V_t = E_a - R_a I_a - V_b - \varepsilon$$

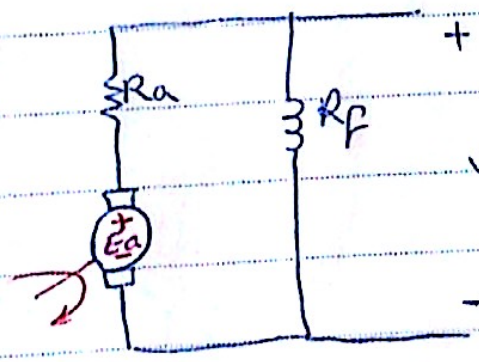


مشخصه بارالکتریکی

تنظیم ولتاژ (Voltage regulation)

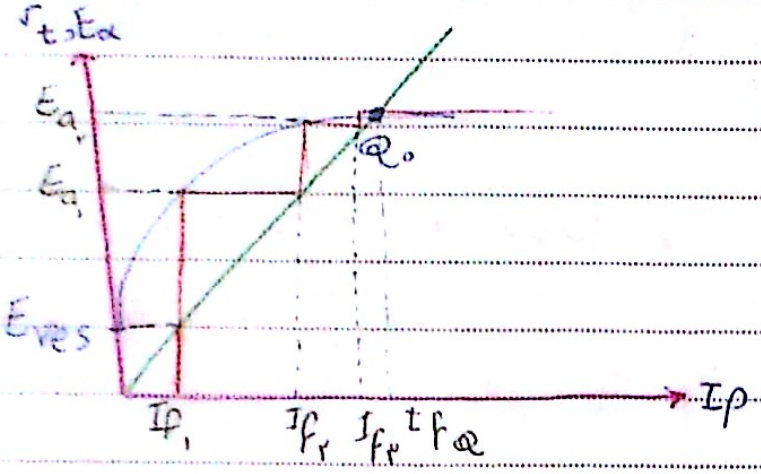
$$V.R\% = \frac{\Delta V}{V_t} \times 100 = \frac{E_a - V_t}{V_t} \times 100$$

* مدار تحریک شنت:



Subject : Date

مشخصه بیرونی این مولد مشابه مشخصه بیرونی دینامو مستقل است



شرط ولتاژ دهی مولد شنت

۱- وجود شار باقی‌مانده

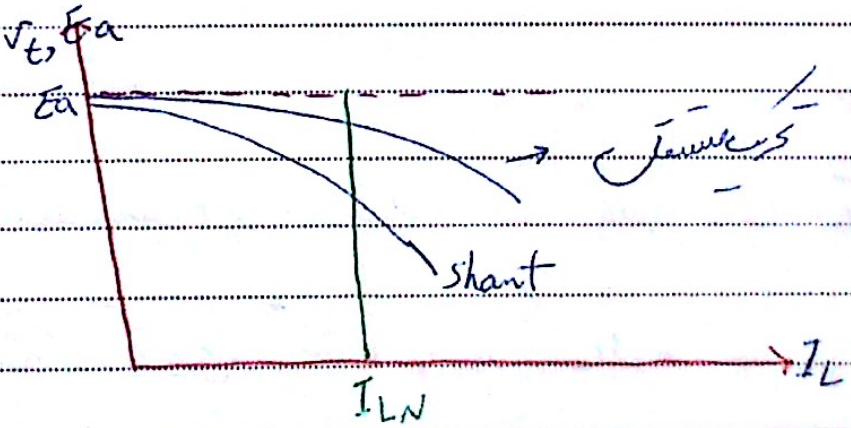
۲- جهت چرخش

۳- جهت شار میدان

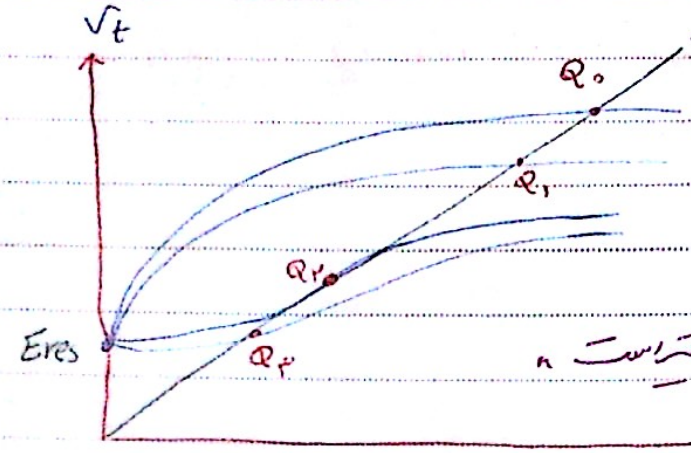
۴- بیشتر بودن سرعت چرخش از سرعت بحرانی

مشخصه بیرونی ژنراتور شنت:

$$V_t = E_a - R_a I_a - V_b - \mathcal{E}$$



MICRO



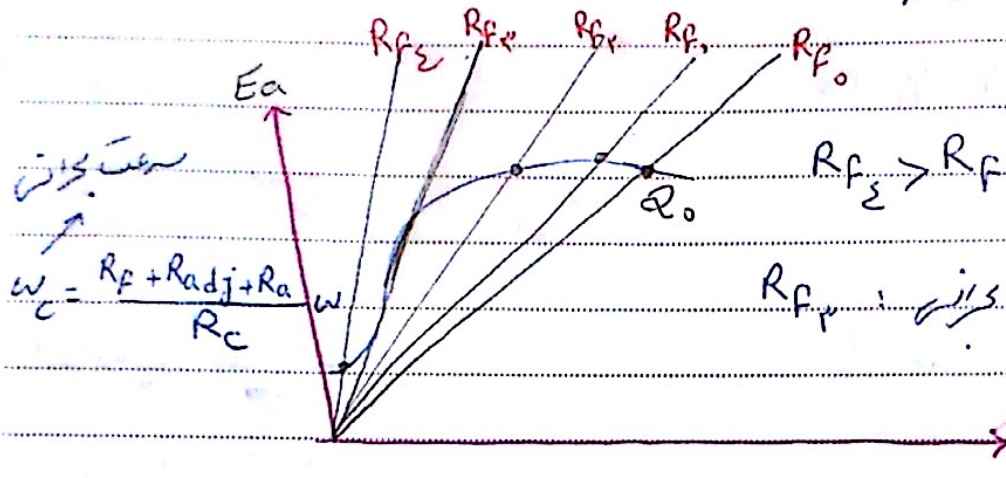
$R_f + R_{adj} = R_f = \frac{V_t}{I_f}$ خط القا

سرعت نامی = ω_0

$\omega_3 > \omega_2 > \omega_1 > \omega_0$

Q_3 کدام یک پایین‌تر است؟ Eres نزدیک‌تر است

Q_2 ← نقطه بحرانی



سرعت بحرانی

$\omega_c = \frac{R_f + R_{adj} + R_a}{R_c}$ ω

$R_{f4} > R_{f3} > R_{f2} > R_{f1}$

R_{f3} : مقاومت بحرانی

نکته: نقطه بحرانی جهت ایجاد می‌شود که خط القا مستقیم با آن مماس نشود.

مقاومت بحرانی تحریک (R_c) مقداری است که در آن خط القا بر مستقیمی مماس می‌شود

مقاومت مستقیم‌بار همواره با مقاومت خارجی جمع می‌شود و در نتیجه شیب خط القا کم می‌شود

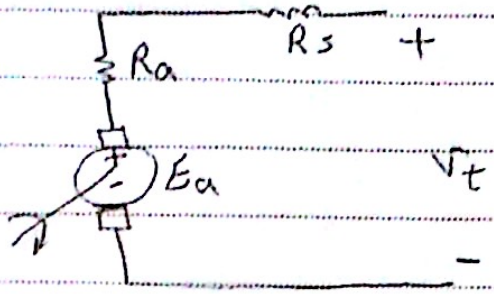
مقاومت بحرانی است که دینامو در آن تولید نشده و وارد تحریک نخواهد شد

Subject :

Date

سرعت بگیرنده

مولد تحریک سری :

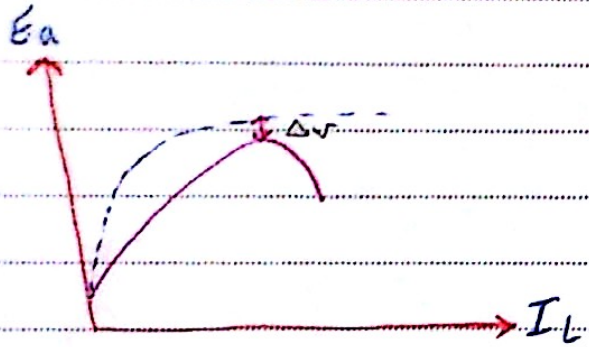


$$\begin{cases} V_t = E_a - (R_s - R_a) I_a - V_b - \mathcal{E} \\ I_L = I_a \end{cases}$$

مشخصه بیرونی مولد تحریک سری همانند مشخصه بیرونی تحریک مستقل است.

مشخصه بار دار :

$$V_t = E_a - (\underbrace{R_a I_a + R_s I_s + \mathcal{E}}_{\Delta V})$$



تا قبل از زانویی تیز Ea غالب است

از بعد از زانویی تیز $(R_s + R_a)$ غالب است

Subject :

Date

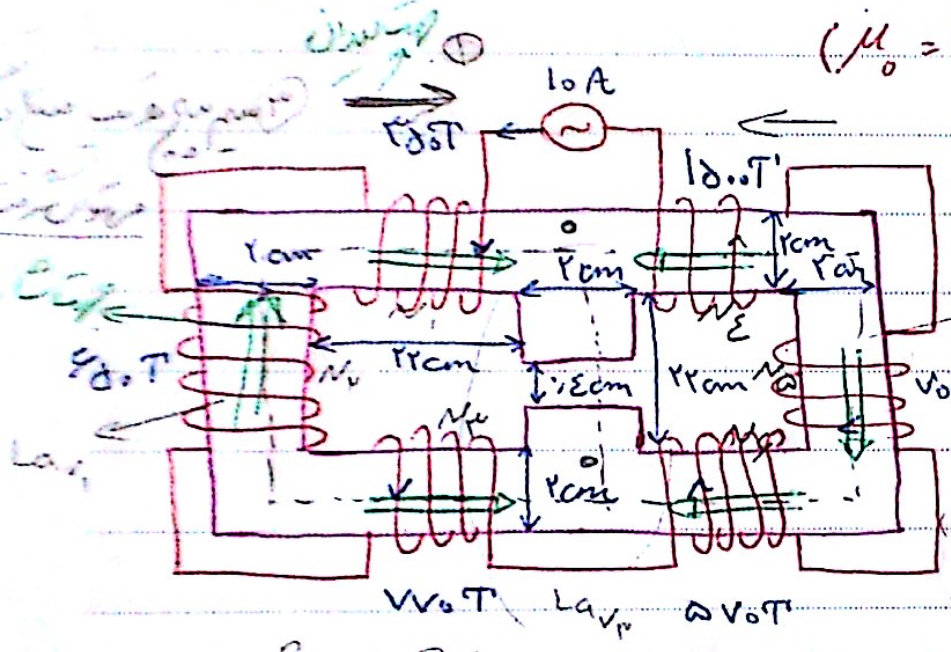
Subject:
Year: Month: Date:

نمونه سوال:

۱- در شکل زیر، سطح مقطع هسته مربعی بوده و تعداد دور سیم پیچ‌ها روی شکل مشخص است. اگر ضریب نفوذ مغناطیسی نسبی در همه جا برابر ۱۰۰۰ باشد، چگونگی قرار دادن و شدت جریان‌ها را طوری تعیین کنید که شار مغناطیسی در ساق وسط صفر شود.

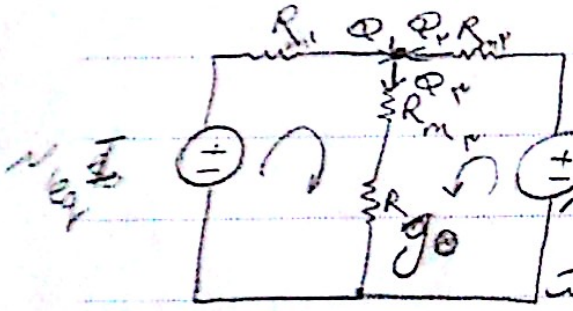
حل: با توجه به اینکه، خطوط شار تمایل دارند، جریان در بیشتر از کدام سیم‌پیچ‌ها عبور کند.

(بدست آورید: $\mu_0 = 10^{-6}\ \frac{H}{m}$)



* جریان شاخه با آمپاز دست ساعت کرده

در جهت جریان مدار ① بود ⊕ در خلاف جهت ⊖ بود



شاخه سمت چپ $N_1I + N_2I - N_3I \Rightarrow$

$(۲۵۰ + ۶۵۰ - ۷۷۰) \times ۱۰ = ۲۲۰۰ AT$

شاخه سمت راست $\Rightarrow N_4I - N_5I - N_6I \Rightarrow$

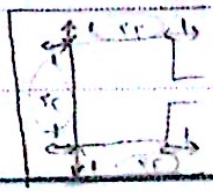
$(۱۵۰۰ - ۷۰۰ - ۵۷۰) \times ۱۰ = ۲۲۰۰ AT$

$La_{۱} = ۱ + ۲۲ + ۱ + ۱ + ۲۲ + ۱ + ۱ + ۲۲ + ۱ = ۷۲cm$

$La_{۲} = ۲۲ + ۱ + ۱ = ۲۴cm$

$= ۱۲۶cm$

$La_{۱} = La_{۲}$



Subject:

Year Month Date

$R_{m_1} = \frac{L_{ar_1}}{\mu_0 \mu_1 A_1}$ ، $A_1 = 2 \times 10^{-2} \times 2 \times 10^{-2} = 4 \times 10^{-4}$ سطح مقطع مشترک برابر سطح مقطع هوا

$R_{m_1} = \frac{72 \times 10^{-2}}{10^{-6} \times 10^{4} \times 4 \times 10^{-4}} = 18 \times 10^{5}$ AT/wb

$R_{m_2} = R_{m_1}$

$R_{m_4} = \frac{L_{ar_4}}{\mu_0 \mu_1 A_4} = \frac{0.24}{10^{-6} \times 10^{4} \times 4 \times 10^{-4}} = 6 \times 10^{5}$ AT/wb

$R_g = \frac{L_g}{\mu_0 A_4} = \frac{4 \times 10^{-4}}{10^{-6} \times 4 \times 10^{-4}}$ مساحت هوایی فاصله هوا هست که برابر L_{ar} است اما در رلوکتانس حساب می‌شود.

$R_g = 10^{6} \frac{AT}{wb}$

Kml ← تعداد حلقه‌ها ، m تعداد حلقه‌ها

KfL ← تعداد گره‌ها یا نقطه ، f تعداد گره‌ها یا نقطه

KmL:
$$\begin{cases} N_1 I = R_{m_1}\Phi_1 + R_{m_2}\Phi_2 + R_g \Phi_3 \\ N_2 I = R_{m_3}\Phi_2 + R_{m_4}\Phi_3 + R_g \Phi_4 \end{cases}$$

KfL:
$$\Phi_1 + \Phi_2 = \Phi_4$$

جهت + ضد جهت −
$$\begin{cases} 23000 = 18 \times 10^{5}\Phi_1 + 6 \times 10^{5}\Phi_3 + 100 \times 10^{5}\Phi_4 \\ 23000 = 18 \times 10^{5}\Phi_2 + 6 \times 10^{5}\Phi_3 + 100 \times 10^{5}\Phi_4 \\ \Phi_1 + \Phi_2 = \Phi_4 \end{cases}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} 18 \times 10^{5}\Phi_1 - 18 \times 10^{5}\Phi_2 = 0 \\ 23000 - 18 \times 10^{5}\Phi_2 - 106 \times 10^{5}(\Phi_1 + \Phi_2) = 0 \end{cases}$$

$$\Rightarrow 18 \times 10^{5}\Phi_1 - 18 \times 10^{5}\Phi_2 = 0$$

$$\Phi_1 = \Phi_2 = 10^{-4}\ wb$$

$$\Phi_4 = 2 \times 10^{-4}\ wb$$

(۲)

$$B_{avg} = \frac{\Phi_2}{A} = \frac{۲\times۱۰^{-۴}}{۴\times۱۰^{-۴}} = \frac{۱}{۲}\ T$$

$$H_{avg} = \frac{B_{avg}}{\mu_0} = \frac{۱/۲}{۱۰^{-۶}} = ۱/۲\times۱۰^{۶}\ \frac{AT}{m}$$

روش مغناطیسی:

$$\text{KVL}\begin{cases} N_1 I = H_1 L_{ar_1} + H_2 L_{ar_2} + H_2 L_g \\ N_2 I = H_3 L_{ar_3} + H_2 L_{ar_2} + H_2 L_g \\ \Phi_1 + \Phi_2 = \Phi_3 \end{cases}$$

$H_2 L_{ar_2} \rightarrow \mu_1 H_2$

$\Phi_3 \rightarrow \mu_0 \mu_r H_3 A_3$

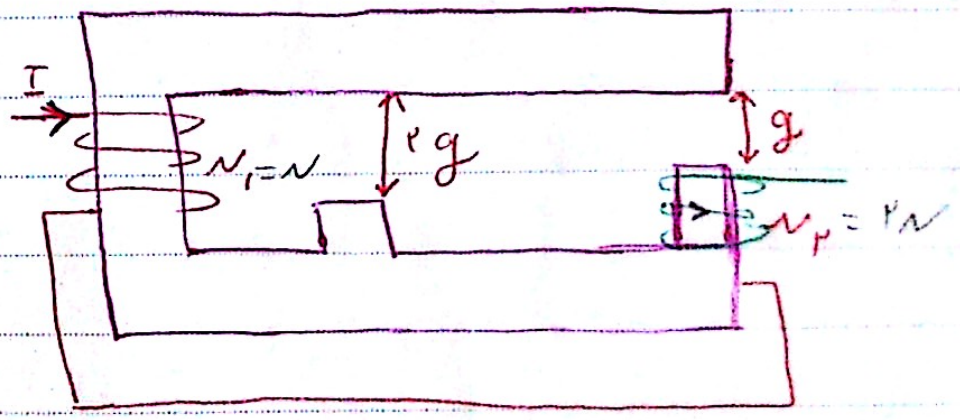
$\Phi_1 \rightarrow \mu_0 \mu_r H_1 A_1$

$\Phi_2 \rightarrow \mu_0 \mu_r H_2 A_2$

۱- نحوه‌ی H ها

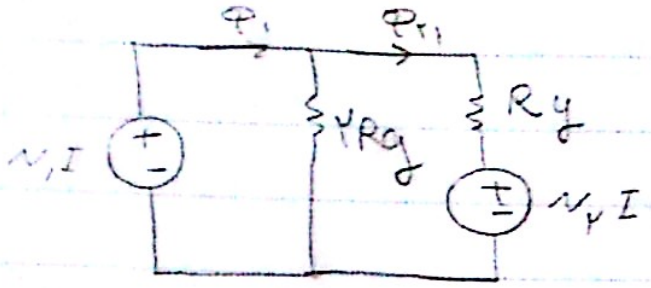
۲- دست راست

۳- در شکل زیر اگر تعداد دور سیم پیچ دوم ۲ برابر سیم پیچ اول باشد نسبت $\frac{L_{11}}{L_{12}}$ را بیابید؟ (از نشت آمد دور بروی هسته صرف نظر شود) (هسته‌ی مغناطیسی خطی)



Subject:

Year Month Date



$$R_g = \frac{l}{\mu_0 A}$$

$$L_{11} = \frac{N_1^2}{Req_1\ (2R_g \| R_g)} = \frac{N^2}{\frac{2}{3}R_g} = \frac{3}{2}\frac{N^2}{R_g}$$

$$R \| R = \frac{R}{n} = \frac{R}{n+1}$$

$$L_{12} : \Phi_1 = \frac{NI}{\frac{2}{3}R_g} \Rightarrow \Phi_{21} = \Phi_1 \times \frac{2R_g}{R_g + 2R_g} = \frac{2}{3}\Phi_1$$

$$\boxed{\Phi_{21} = \frac{NI}{R_g}}$$

$$\lambda_2 = N_2 \Phi_{21} = 2N \times \frac{NI}{R_g} = \frac{2N^2 I}{R_g}$$

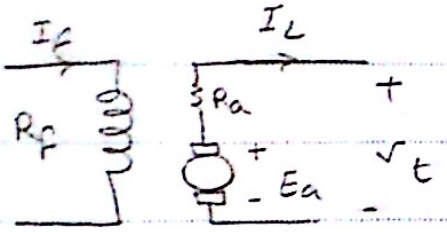
$$\Rightarrow L_{12} = \frac{\lambda_2}{I_1} = \frac{\lambda_2}{I} = \frac{2N^2}{R_g}$$

$$\frac{L_{11}}{L_{12}} = \frac{\frac{3}{2}\frac{N^2}{R_g}}{\frac{2N^2}{R_g}} = \frac{3}{4}$$

Subject:
Year: Month: Date:

مولدها (فصل ۳)

۱- در یک مولد تحریک مستقل و فلزی بر بار، ولتاژ از رابطه $E_a = \phi + 100\sqrt{I_f}$ بیان شده است. اگر این مولد یک بار ۲kW با ۲۰۰V تغذیه می‌نماید و مقاومت تحریک ۵۵Ω و مقاومت آرمیچر ۰٫۶Ω باشد ولتاژ مولد تحریک چقدر خواهد بود؟



$$I_L = \frac{P}{V_t} = \frac{2000}{200} = 10A = I_a$$

$$E_a = R_a I_a + V_t = 0.6 \times 10 + 200 = 206\ V$$

$$206 = \phi + 100\sqrt{I_f} \Rightarrow I_f = 4$$

$$V_f = R_f I_f \Rightarrow 55 \times 4 = 220\ V$$

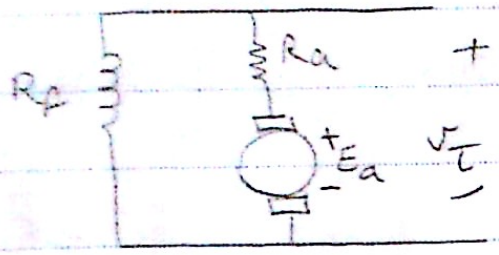
۲- در یک مولد تحریک مستقل و سرعت چرخش دربار نامی 10kW و ۲۰۰V برابر 1000 rpm است اگر $R_a = 0.5\Omega$ بوده و مولد ۲۰٪ طاقت بار باید با فرض ثابت ماندن جریان تحریک سرعت چقدر باید تغییر یابد تا ولتاژ ترمینال ثابت باقی بماند؟ (از اشباع صرف نظر شده)

Subject:
Year: Month: Date:

۳۵- دینامو موازی شنت، مخزن بی باری در سرعت ۱۵۰۰ rpm با ولتاژ ترمینال

۱۲۵ V و مقاومت مدار آرمیچر ۰.۵ Ω، با شیب ولتاژ ترمینال حالت

بی باری چقدر است؟



با خط آنها با مخزن $V_t - I_f$ مقطع

داده شود:

$V_t = E_a$ حالت بی باری $\xrightarrow{\text{در حالت}}$ معادله خط آنها $= V_t = R_f I_f$

مخزن $= E_a = 6 + 18 \cdot \sqrt{I_f}$

$$\Rightarrow \begin{cases} E_a = 186\, I_f \\ E_a = 6 + 18 \cdot \sqrt{I_f} \end{cases} \Rightarrow 186\, I_f = 6 + 18 \cdot \sqrt{I_f}$$

$$\boxed{I_f = 1\ A}$$

$$V_t = 186 \times 1 = \boxed{186\ V}$$

۳۶- یک ژنراتور شنت با مشخصه زیر داده شده است، وقتی جریان آرمیچر

100 A باشد ولتاژ خروجی برابر ۲۴۰ V خواهد بود، اگر جریان

شنت ژنراتور بی بار شود ولتاژ خروجی چقدر می شود؟

(سرعت و مقاومت میدان تغییر نکرده و $R_a = 0.1\ \Omega$)

تبدیل انرژی : (فصل ۲)

۱- در یک هسته فرومغناطیس رابطه شار حد جریان به صورت تقریبی به صورت $\lambda = N\Phi = \varepsilon(i)^{1/3}$ می‌باشد. در صورتی که ۸ تعداد حلقه‌های هادی روی هسته فرومغناطیس و جریان عبوری از هادی‌ها باشد، انرژی ذخیره شده در سیستم مغناطیسی وقتی $i = 8A$ چقدر است؟

$$W_{Fld} = \int_0^{\lambda} i\,d\lambda =$$

روش اول:

$$W_{Fld} = \int_0^{\lambda} i\,d\lambda = \left.\begin{array}{l} \lambda = \varepsilon(i)^{1/3} \Rightarrow d\lambda = \frac{\varepsilon}{3}(i)^{-\frac{2}{3}}di \end{array}\right\} \xrightarrow{\text{ه}}$$

$$\Rightarrow W_{Fld} = \int_0^{i} i \times \frac{\varepsilon}{3}(i)^{-\frac{2}{3}}di = \frac{\varepsilon}{3}\int_0^{i} i^{1/3}di =$$

$$\frac{\varepsilon}{3} \times \frac{i^{\varepsilon/3}}{\varepsilon/3}\Big|_0^{\lambda} = \lambda^{\varepsilon/3} - 0 = 16$$

روش دوم:

$$\lambda = \varepsilon(i)^{1/3} \Rightarrow i = \left(\frac{1}{\varepsilon}\right)^3\lambda^3$$

$$W_{Fld} = \int_0^{\lambda} i\,d\lambda \Rightarrow \int_0^{\lambda}\left(\frac{1}{\varepsilon}\right)^3\lambda^3 d\lambda = \frac{1}{64}\times\frac{1}{\varepsilon}\lambda^{\varepsilon}\Big|_0^{\lambda} = 16\,J$$

جایی $i = 8 \Rightarrow \lambda = 8$

Subject:
Year: Month: Date:

۲- در یک سیستم الکترومکانیکی تک‌گرله انرژی ذخیره شده برحسب

جریان و موقعیت به صورت $W_{fld} = \frac{i^{\frac{4}{2}}}{2\sqrt{\sin 6x}}$ داده شده است

رابطه نیروی وارد بر قسمت متحرک را بدست آورید:

$$W_{fld} \Rightarrow i = \frac{\partial W_{fld}}{\partial \lambda} = \frac{dW_{fld}}{di} \times \frac{di}{d\lambda}$$

$$\Rightarrow i = \frac{3/2\, i^{1/2}}{2\sqrt{\sin 6x}} \times \frac{di}{d\lambda} \Rightarrow d\lambda = \frac{3/2\, i^{1/2}}{i \times 2\sqrt{\sin 6x}} \times di$$

$$d\lambda = \frac{4}{2} \frac{i^{-1/2}}{2\sqrt{\sin 6x}} di = \frac{i^{-1/2}}{2\sqrt{\sin 6x}} di$$

$$\lambda = \int d\lambda = \int \frac{1/2\, i^{-1/2}}{\sqrt{\sin 6x}} di \Rightarrow \lambda = \frac{i^{1/2}}{\sqrt{\sin 6x}}$$

$$i^{1/2} = \lambda \sqrt{\sin 6x} \Rightarrow i = \lambda^2 \sin 6x$$

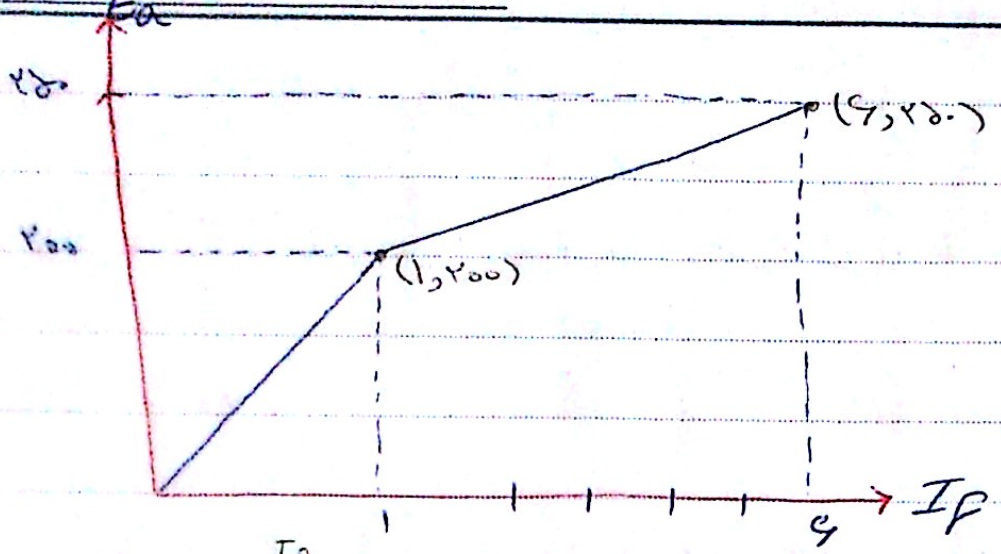
$$W_{fld} = \int i\, d\lambda = \int \lambda^2 \sin 6x\, d\lambda = \frac{1}{3} \lambda^3 \sin 6x$$

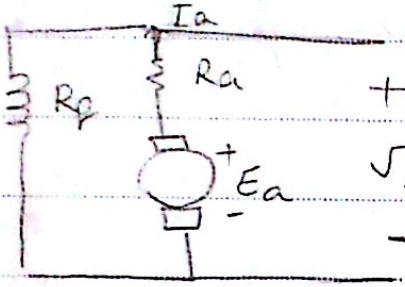
$$Fe = -\frac{\partial W_{fld}}{\partial x} = -2\lambda^3 \cos 6x$$

KAYOSH

Subject:

Year: Month: Date:





$$E_{aFL} = R_a I_{a_{FL}} + V_{t_{FL}}$$

$$E_a = (۰.۶ \times ۱۰۰) + ۲۴۰ = ۲۵۰ V$$

در ربع سوم $\rightarrow I_f = ۶A$

$$R_f = \frac{V_t}{I_f} = \frac{۲۴۰}{۶} = ۴۰\ \Omega$$

معادله خط ظاهر: $V_t = R_f I_f = ۴۰ I_f$

معادله خط دوم نمودار: $E_a - ۲۰۰ = \left(\frac{۲۵۰ - ۲۰۰}{۶ - ۱}\right)(I_f - ۱)$

$$E_a = ۱۰(I_f - ۱) + ۲۰۰ \Rightarrow E_a = ۱۰ I_f + ۱۹۰$$

چون حرکت بر روی خط است $E_a = V_t = ۴۰ I_f$

$$۴۰ I_f = ۱۰ I_f + ۱۹۰ \Rightarrow ۳۰ I_f = ۱۹۰$$

$$V_{t_{NL}} = R_f I_f = ۴۰ \times \frac{۱۹}{۳} = ۲۵۳.۳۳ V \qquad I_f = \frac{۱۹}{۳}$$

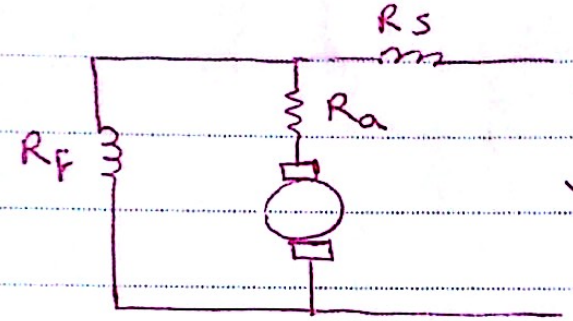
Subject:
Year: Month: Date:

مولد تحریک کمپوند :

مولد شنت : افزایش بار ← مقاومت خروجی : کاهش

مولد سری : " " ← " " " : افزایش

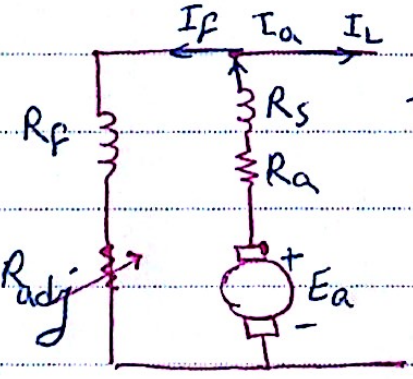
مولد کمپوند : ۲ سیم پیچ که به صورت سری و موازی به صورت هم زمان بار را تحریک میکنند.



شنت کوتاه

$$\begin{cases} V_t = E_a - R_a I_a - R_s I_L - V_b - \varepsilon \\ I_a = I_f + I_L \end{cases}$$

$$I_f = \frac{V_t + R_s I_L}{R_f + R_{adj}}$$



شنت بلند

$$V_t = E_a - (R_a + R_s) I_a - V_b - \varepsilon$$

$$I_a = I_L + I_f$$

$$I_f = \frac{V_t}{R_f + R_{adj}}$$

KAVOSH

Subject:
Year: Month: Date:

اثر نعل اسب : آرشار سیم پیچ سری و موازی حضیص تقویت شده ⟵ کفیوند اضافی

آرشار ، ، تضعیف شده ⟵ کفیوند نقصانی

آرمیچر با تعداد سیم پیچ سری و موازی با هم برابر بود ⟵ کفیوند خنثی

مشخصه بیرونی کفیوند همانند مولد مستقل است.

مشخصه بارداری مولد کفیوند:

در کفیوند اضافی جهت جریان سیم پیچ سری و شنت هم راستا است

و سیم پیچ سری نقش جبران کننده برای افت ولتاژ سیم پیچ موازی را دارد.

اگر جریان تولیدی سیم پیچ سری به اندازه کافی جبران افت ولتاژ سیم پیچ شنت باشد ⟵ کفیوند خنثی

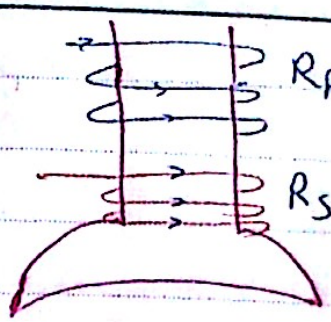
اگر جریان تولیدی سیم پیچ سری بیشتر از نیاز سیم پیچ شنت باشد ⟵ فوق کفیوند

، ، ، کمتر ، ، ⟵ زیر کفیوند

Subject:
Year: Month: Date:

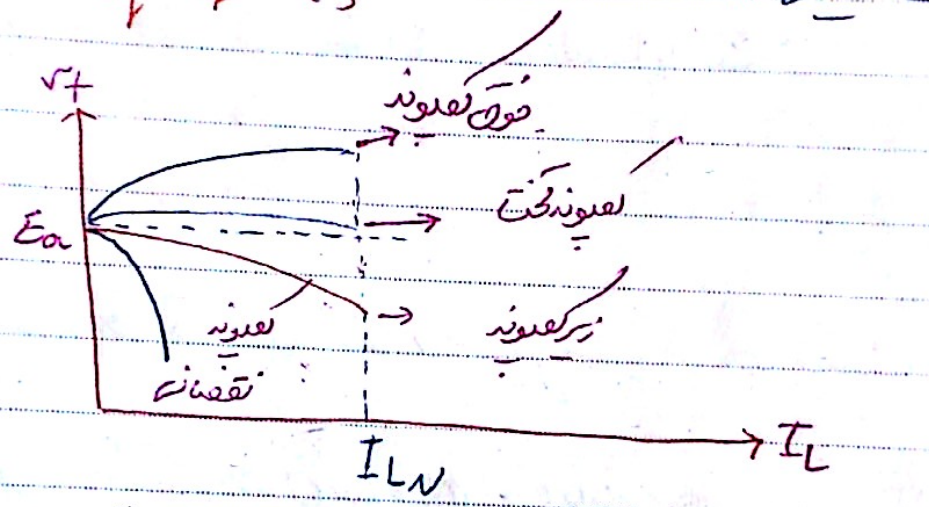
$$\Phi_{eq} = \Phi_f \pm \Phi_s$$

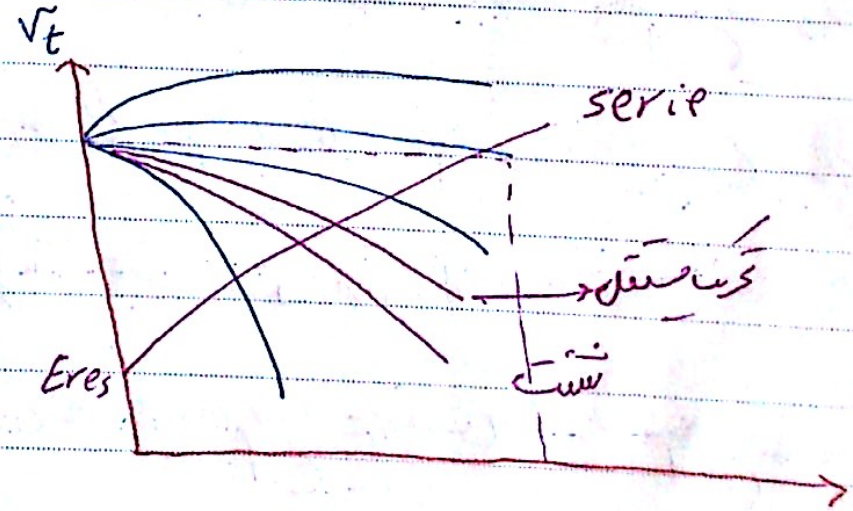
$$\Rightarrow \Phi_{eq} \sim (N_f I_f \pm N_s I_s)$$



در کمپوند تفاضلی خودن توسری سیم پیچ های شنت و سری عوض

$$\Phi_{eq} = \Phi_f - \Phi_s$$: کمپوند تفاضلی





$$rpm \times \frac{2\pi}{60} = \frac{Rad}{s}$$

Subject:

Year Month Date

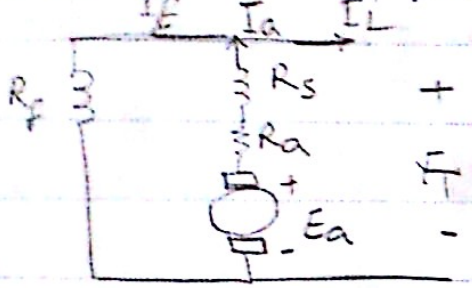
$$Rad/s \times \frac{60}{2\pi} = Rpm$$

مثال ۱: ژنراتور شنت بلند ۲۵۰kW و ۵۰۰V مفروض است، این ژنراتور در بارداری با سرعت 1000 rpm چرخانده می‌شود و ۵۸۰V تولید می‌کند.

سرعت در بار ناصری چقدر است که ولتاژ خروجی ۵۰۰V شود؟

افت ولتاژ هادی آن $R_a = 0.05\Omega$ و $R_f = 100\Omega$ و $R_s = 0.02\Omega$ باشد.

درصد افزایش شار را در بار کامل حساب کنید؟ (سیستم مغناطیسی خطی است)



$$I_{L_{FL}} = \frac{250 \times 10^3}{500} = \frac{P_N}{V_t} = 500A$$

$$I_{f_{FL}} = \frac{500}{100} = \frac{V_{t_{FL}}}{R_f} = 5A$$

$$\Rightarrow I_{a_{FL}} = I_{f_{FL}} + I_{L_{FL}} \Rightarrow 500 + 5 = 505A$$

$$E_{a_{FL}} = V_t + R_s I_a + R_a I_a = 500 + (0.02 + 0.05) I_a^{2.0}$$

$$\boxed{E_{a_{FL}} = 536.4 V}$$

$$\frac{E_{aFL}}{E_{aNL}} = \frac{\Phi_{FL} \times \omega_{FL}}{\Phi_{NL} \times \omega_{NL}} \Rightarrow \frac{536.4}{580} = \frac{\Phi_{FL}}{\Phi_{NL}} \times \frac{970}{1000}$$

$$\frac{\Phi_{FL}}{\Phi_{NL}} = \frac{970}{1000} \times \frac{536.4}{580} = 1.155$$

Subject:
Year: Month: Date:

$$\left| \frac{\Phi_{N-L} - \Phi_{F-L}}{\Phi_M} \right| \times 100 =$$

موتورهای DC

* نیروی ضدمحرکه (Back Emf)

از دید موتوری اگر به موتور ولتاژ اعمال شود جریان تولید شده و موجب ایجاد گشتاور می‌گردد و این گشتاور محور را به حرکت درمی‌آورد و این حرکت موجب ایجاد ولتاژ می‌شود اما این ولتاژ از آن جریان نمی‌باید زیرا سرعت موتور دیگر سرعت خاص ثابت می‌ماند و گشتاب صفر خواهد شد و این صورت طبق رابطه‌ی $\alpha = \frac{T}{J}$ ، α شتاب زاویه‌ای T گشتاور و J همان اینرسی باید گشتاور صفر باشد و شتاب صفر شود اما طبق فرمول $T = K\Phi I_a$ ، I_a باید صفر شود تا گشتاور صفر شود پس باید ولتاژی وجود داشت

Subject:
Year Month Date

باشد تا بتواند جریان موتور را به حداقل برساند (حداقل جریان برای غلبه بر اصطکاک داخلی موتور)

حد واقعی این ولتاژ، ولتاژی است که در حالت کار موتور در صورت خنثی بودن ماشین ایجاد می‌شود زیرا طبق قانون اول فاراده هر چه سرعت حرکت هادی در میدان ولتاژی در دو سر آن القا می‌کند و با مولد $E_a = K\Phi W$ قابل مقایسه است، این ولتاژ با ولتاژ مولد مخالفت کرده و در حدود تولید جریان مخالف جریان ورودی می‌باشد است تا بتواند مانع از حرکت موتور بشود این ولتاژ ضد محرکه (Back Emf) می‌گویند

* مشخصه‌های موتور DC:

۱) مشخصه الکترومغناطیسی $T = f(I_a)$

۲) " " الکترومکانیکی $\omega = f(I_a)$

۳) " " مکانیکی $\omega = f(T$

Subject:

Year: Month: Date:

* انواع ژنراتور و موتورهای DC :

۱- ژنراتور و موتور الکتریکی

$$T_m = \frac{P_m}{\omega}$$ ← مکانیکی

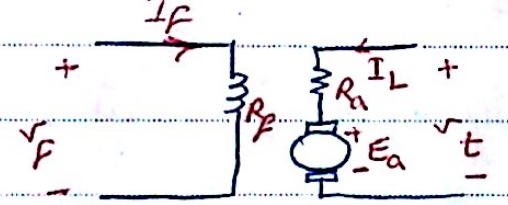
۲- ژنراتور و موتور الکتریکی

$$T_e = \frac{P_e}{\omega}$$

(توان خالص هوایی :
توانی که بین خالص هوایی وجود دارد و باید تبدیل شود)

$$P_e = E_a I_a$$

۱- موتور جریان مستقیم با تحریک مستقل :

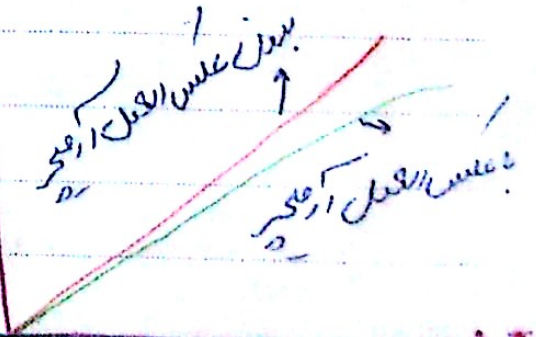


$$\begin{cases} V_t = E_a + R_a I_a + V_b \\ I_f = \frac{V_F}{R_f} \\ I_L = I_a \end{cases}$$

a) مشخصه الکترومکانیکی :

$$T_e = f(I_a)$$

$$\begin{cases} T = K \Phi I_a \\ \Phi \sim I_f \rightarrow \text{مستقل از } I_a \\ \Rightarrow T = K_1 I_a \end{cases}$$



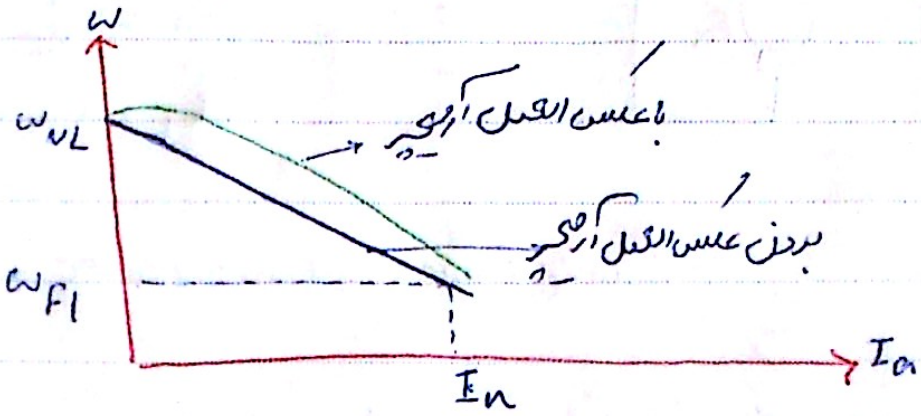
Subject:

Year Month Date

b) مشخصه الکترومکانیکی :

$$\begin{cases} V_t = E_a + R_a I_a \\ E_a = K\Phi\omega \end{cases} \longrightarrow \omega = \frac{V_t - R_a I_a}{K\Phi} = \frac{V_t}{K\Phi} - \frac{R_a}{K\Phi} I_a =$$

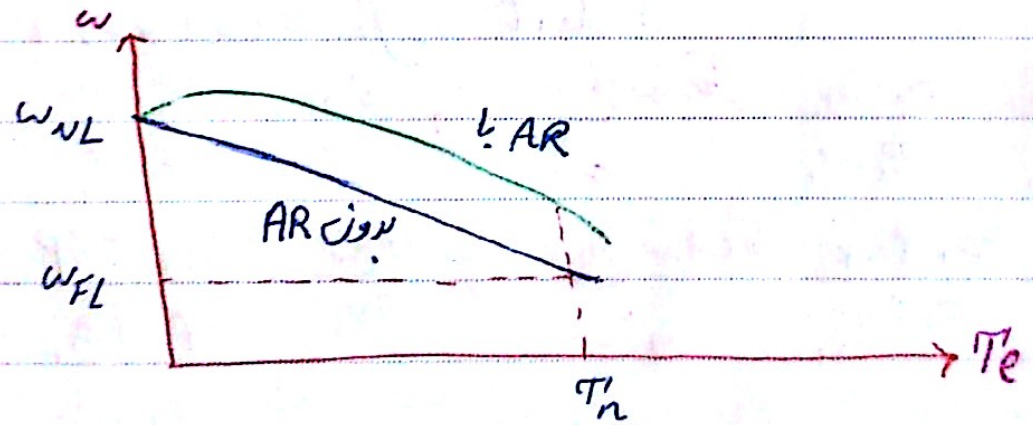
$$A_1 - B_1 I_a$$



c) مشخصه مکانیکی :

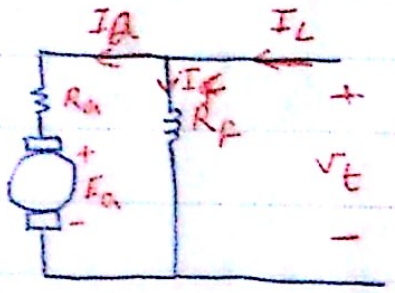
$$\begin{cases} V_t = E_a + R_a I_a \\ E_a = K\Phi\omega \\ T_e = K\Phi I_a \end{cases} \Rightarrow \omega = \underbrace{\frac{V_t}{K\Phi}}_{A_1} = \underbrace{\frac{R_a}{K\Phi R}}_{B_1} T_e$$

$$= A_1 - B_1 T_e$$



Subject:
Year Month Date

۲) موتور جریان مستقیم با تحریک شنت :



$$\begin{cases} V_t = E_a + R_a I_a + V_b \\ I_f = \dfrac{V_t}{R_f} \\ I_L = I_a + I_f \end{cases}$$

مشخصه موتورهای شنت همانند موتور تحریک مستقل است

سؤال) اثر افزایش بار مکانیکی بر روی محور موتور بر رفتار موتور تحریک مستقل و شنت چیست؟

$$\text{بار} \uparrow \longrightarrow \omega \downarrow \longrightarrow E_a = K\Phi\omega \downarrow \longrightarrow I_a \uparrow = \frac{V_t - E_a \downarrow}{R_a}$$
$$\Rightarrow T \uparrow = K\Phi I_a \uparrow$$

نکته در موتور تحریک مستقل و shunt :

۱) $\dfrac{E_{a_2}}{E_{a_1}} = \dfrac{\Phi_2 \omega_2}{\Phi_1 \omega_1} \xrightarrow[\text{شود}]{\text{از تقسیم صورت بر مخرج}} \dfrac{E_{a_2}}{E_{a_1}} = \dfrac{I_{f_2} \omega_2}{I_{f_1} \omega_1}$

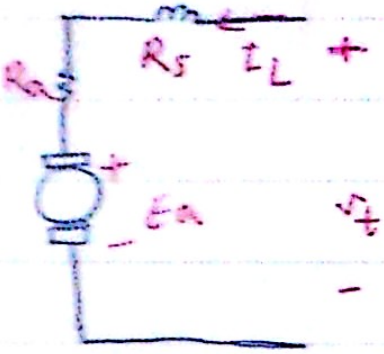
۲) $\dfrac{T_{e_2}}{T_{e_1}} = \dfrac{\Phi_2 I_{a_2}}{\Phi_1 I_{a_1}} \xrightarrow[\text{شود}]{\text{از تقسیم صورت بر مخرج}} \dfrac{T_{e_2}}{T_{e_1}} = \dfrac{I_{f_2} I_{a_2}}{I_{f_1} I_{a_1}}$

KAYOSH

Subject:

Year Month Date

۳) موتور جریان مستقیم با تحریک سری :



$$\begin{cases} V_t = E_a + (R_a + R_s) I_a + V_b \\ I_L = I_a \end{cases}$$

a) مشخصه استاتیکی سرعت :

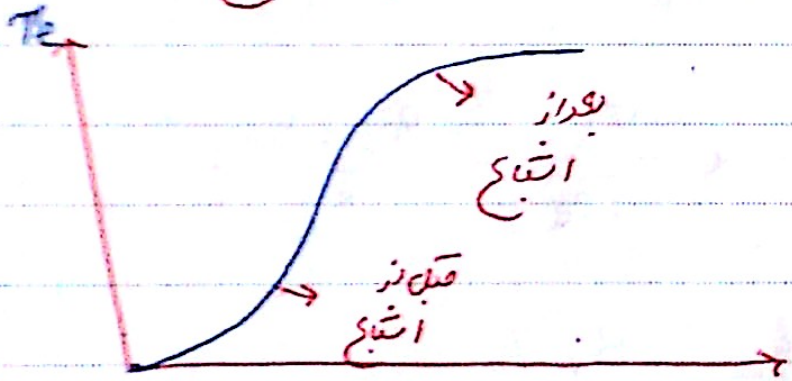
$T_e = K \Phi I_a$ ← قبل از اشباع طبیعا

$\Phi \propto I_a$

$\Phi = c + e$ ← بعد از اشباع

$T_e = K' I_a^2$

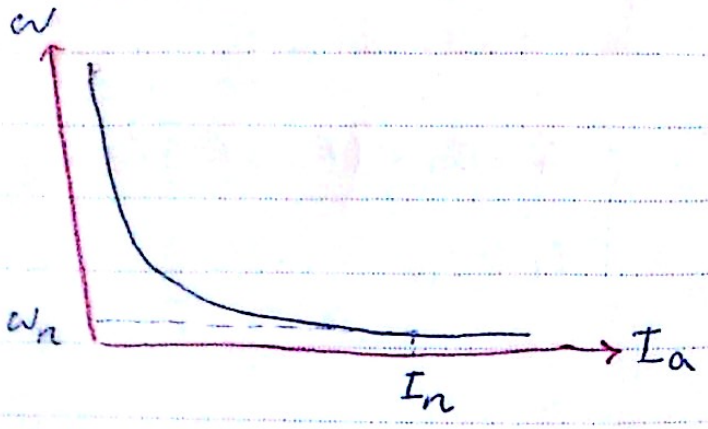
$T_e = K_1 I_a$



b) مشخصه الکترومکانیکی :

$$\begin{cases} V_t = E_a + (R_a + R_s) I_a \\ E_a = K \Phi \omega = K_a I_a \omega \end{cases} \rightarrow \omega = \frac{V_t - (R_a + R_s) I_a}{K_a I_a}$$

$$\Rightarrow \omega = \frac{V_t}{K_a} \times \frac{1}{I_a} + \frac{(R_a + R_s)}{K_a} \Rightarrow \omega = \frac{A V}{I_a} - B \rho$$



ج) مشخصه مکانیکی:

$$\begin{cases} V_t = E_a + (R_a + R_s) I_a \\ E_a = K \Phi \omega = K_a I_a \omega \\ T_e = K_T I_a^2 \Rightarrow I_a = \sqrt{\frac{T_e}{K_T}} \end{cases}$$

$$\Rightarrow \omega = \frac{\sqrt{K_T}}{K_a} \times \frac{V_t}{\sqrt{T_e}} - \frac{R_s + R_a}{K_a}$$

$$\Rightarrow \omega = \frac{A\varepsilon}{\sqrt{T_e}} - B\varepsilon$$

نکته) در موتور سری:

۱) $\frac{E_{a2}}{E_{a1}} = \frac{\Phi_2 \omega_2}{\Phi_1 \omega_1}$ → از اشباع صرف نظر شود → $\frac{E_{a2}}{E_{a1}} = \frac{I_{a2} \omega_2}{I_{a1} \omega_1}$

۲) $\frac{T_{e2}}{T_{e1}} = \frac{\Phi_2 I_{a2}}{\Phi_1 I_{a1}}$

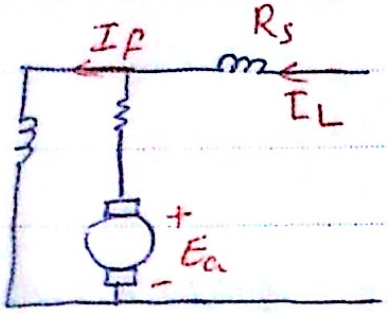
قبل از اشباع → $\frac{T_{e2}}{T_{e1}} = \left(\frac{I_{a2}}{I_{a1}}\right)^2$

بعد از اشباع → $\frac{T_{e2}}{T_{e1}} = \frac{I_{a2}}{I_{a1}}$

Subject:
Year: Month: Date:

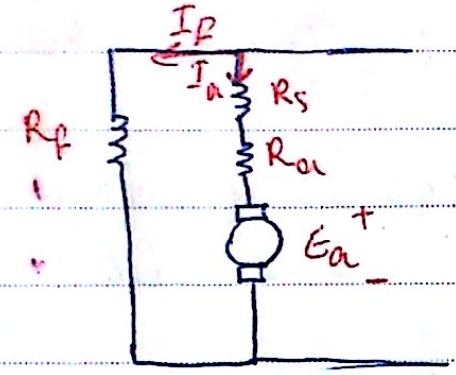
۴) موتور جریان مستقیم کمپوند:

سری کوتاه:

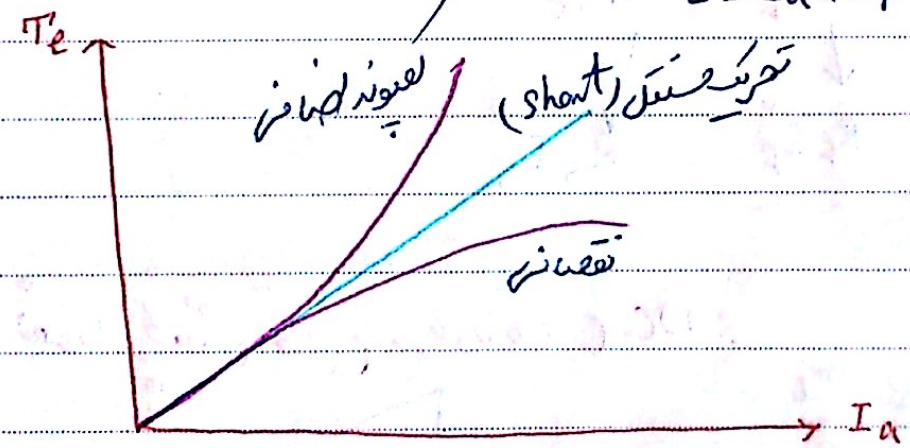


$$\begin{cases} V_t = E_a + R_a I_a + R_s I_L + V_b \\ I_f = \dfrac{V_t - R_s I_L}{R_f + R_{adj}} \\ I_L = I_s = I_a + I_f \end{cases}$$

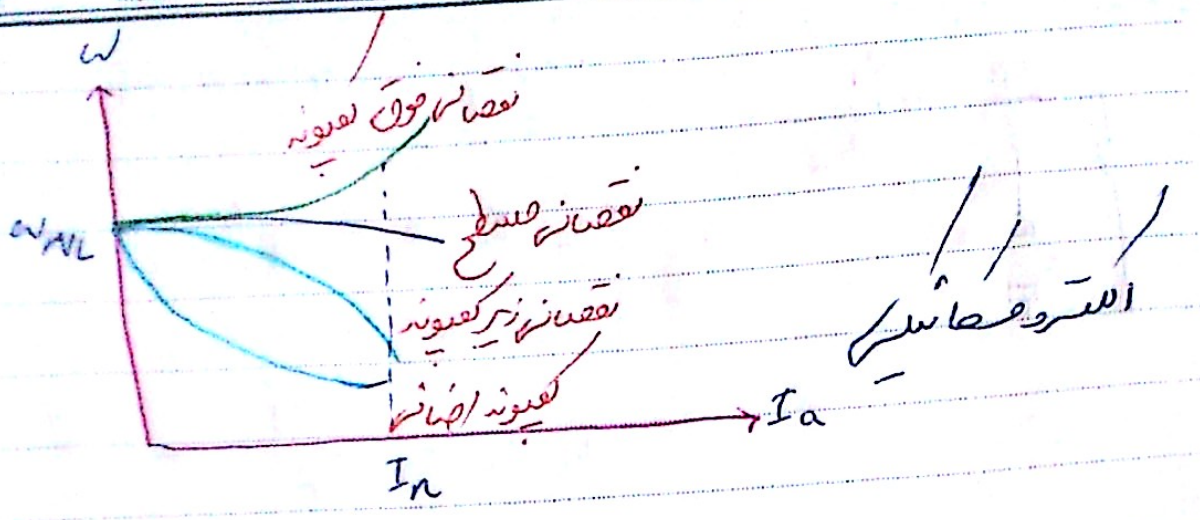
شنت بلند:



$$\begin{cases} V_t = E_a + (R_a + R_s) I_a + V_b \\ I_f = \dfrac{V_t}{R_f} \\ I_L = I_a + I_f \;,\; I_a = I_s \end{cases}$$



Subject:
Year: Month: Date:



الکترو صفاشیں

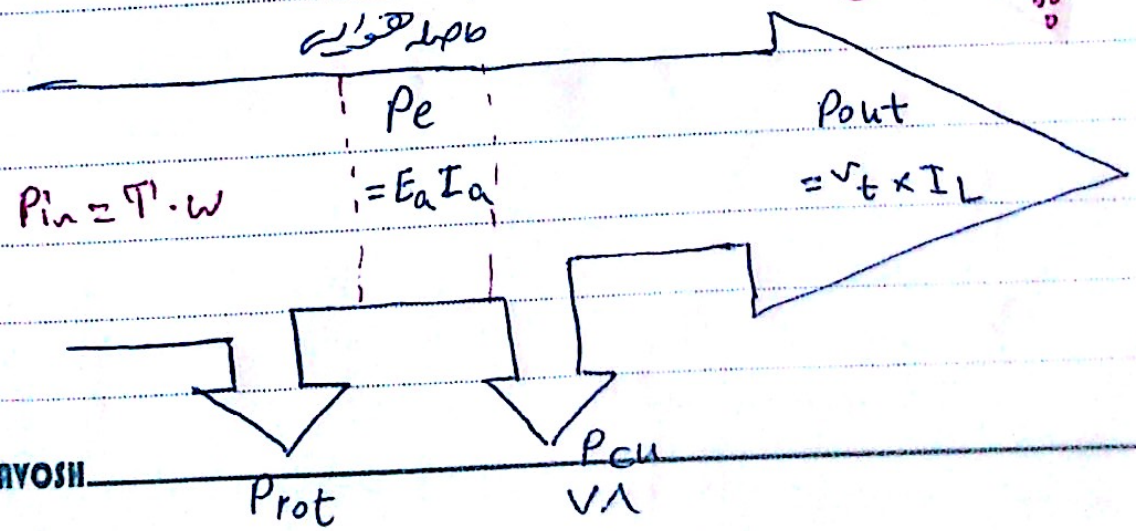
تلفات درماشین های DC :

۱) تلفات چرخشی یا باری (P_{rot})
۲) تلفات مسی

$$P_{cu} = P_{cu_a} + P_{cu_f} + P_{cu_{se}}$$

$$R_a \times I_a^2 \qquad R_f I_f^2 \qquad R_s I_s^2$$

نمودار کشش توان درموٹروں DC :

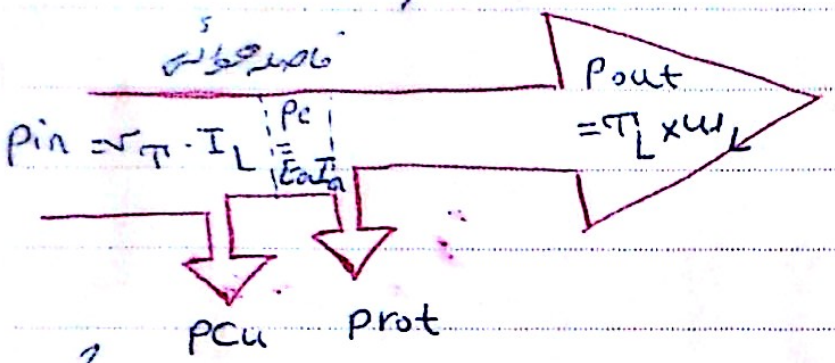


Subject:
Year: Month: Date:

راندمان $\eta_g = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{P_{out}}{P_{out} + \underbrace{P_{cu} + P_{rot}}_{P_e}} = \frac{P_{out}}{P_e + P_{rot}}$

$\eta_m = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{P_{in} - P_{cu} - P_{rot}}{P_{in}} = \frac{P_e - P_{rot}}{P_{in}}$

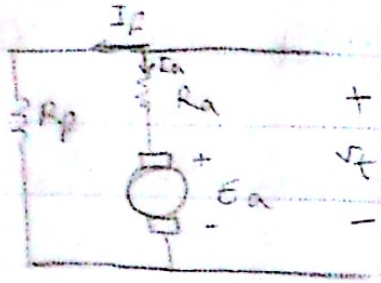
نمودار پخش توان در موتورهای DC :



مثال) یک موتور DC شنت با مقاومت آرمیچر $R_a = 0.05\ \Omega$ و مقاومت تحریک ۲۰ اهم در اختیار داریم، این ماشین به صورت موتور با ۲۵۰ V با سرعت ۱۰۰۰ rpm راه‌اندازی کرده توان خروجی آن ۱۰۰ kW است. در چه سرعتی ماشین به صورت ژنراتور کار کند تا توان خروجی آن همان ۱۰۰ kW و ولتاژ ترمینال هم ۲۵۰ V گردد ؟ (از تلفات صرف نظر شود)

Subject:
Year Month Date

حالت اول: موتوری



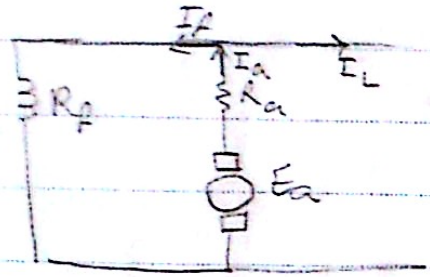
$$I_L = \frac{P}{V_t} = \frac{10^3}{100} = 500\ A$$

$$I_{f_m} = \frac{200}{20} = 10\ A$$

$$I_{a_m} = I_L - I_f = 490\ A$$

$$E_{a_m} = V_t - R_a I_{a_m} = 200 - 0{,}05 \times 490 = 187{,}5\ V$$

حالت دوم: ژنراتوری:



$$I_L = 500\ A$$

$$I_{fg} = 10\ A$$

$$I_a = 500 + 10 = 510$$

$$E_{ag} = 200 + 510 \times 0{,}05 = 225{,}5$$

$$\frac{E_{ag}}{E_{am}} = \frac{I_{fg} \times N_g}{I_{fm} \times N_m} = \frac{225{,}5}{187{,}5} = \frac{x}{1000}$$

$$x = 1203\ rpm$$

KAVOSH