✱ مدارهای مغناطیسی و الکتاد:

جایگاه شار مغناطیسی

$\nabla \cdot B = 0$ (چشمه میدان نیست) — $\nabla \cdot D = \rho$ تئوری گوس

معادلات ماکسول: $\nabla \times E = -\frac{\partial B}{\partial t}$ قانون فاراده — $\nabla \times H = J + \frac{\partial D}{\partial t}$ قانون آمپر

$B = \mu_0 \mu_r H$ — $D = \epsilon_0 \epsilon_r E$

✱ در سیستم‌های فرکانس پایین مقدار

$\int_S J \cdot ds = \oint_C H \cdot dl$ ⟵ $\nabla \times H = \vec{J}$

✱ قوانین میدان مغناطیسی:

منبع میدان مغناطیسی: حرکت بارهای الکتریکی (جریان) به وجود می‌آید.

قانون لورنس: حرکت بار الکتریکی q با سرعت v در میدان مغناطیسی B نیروی را به بار الکتریکی اعمال می‌کند

$$\vec{F} = q\vec{V} \times \vec{B}$$

که به قانون لورنس معروف است.

برای بارهای توزیع شده: $d\vec{F} = dq(\vec{V} \times \vec{B})$ یا $d\vec{F} = (I \times B)dl \Rightarrow F = \oint_C I \cdot \vec{dl} \times \vec{B}$

$dq\vec{V} = I \cdot \vec{dl}$

✱ قانون بیوساوار: میدان مغناطیسی از حرکت بار الکتریکی q تحت سرعت v از طریق این قانون تعریف می‌شود

خطی شار مغناطیسی در نقطه‌ای به فاصله R از بار q در فضای آزاد مطابق قانون بیوساوار به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} q \frac{\vec{V} \times \hat{a}_r}{r^2}$$ بردار واحد از بار به طرف نقطه P اشاره می‌کند $\hat{a}_r$

$dqV = I\,dl$ $\quad B = \frac{\mu_0}{4\pi} \oint_C \frac{I\,dl \times \hat{a}_r}{r^2}$

قانون آمپر:

خطی شار مغناطیسی:

$$\oint_C B\,dl = \begin{cases} \mu_0 I & \text{مسیر جریان } I \text{ را در بر گیرد} \\ 0 & \text{نگیرد} \end{cases}$$

ضریب نفوذپذیری مغناطیسی و شدت میدان مغناطیسی،

μ_0: ضریب نفوذپذیری مغناطیسی فضای آزاد $4\pi \times 10^{-7}$

محیط سیستم‌های الکترومغناطیس مواد فرومغناطیس است.

برای مواد فرومغناطیس

هر ماده فرومغناطیس ضریب نفوذپذیری نسبی دیگر را به سیستم معرفی می‌نماید μ_r $(2000 - 8000)$

μ_r وابسته به $\frac{B}{I}$ ی تولید خطی (یک مقدار) یا غیرخطی بودن وابسته به میدان

مواد به دو دسته تقسیم می‌شوند:

1- مواد غیرمغناطیسی (مواد عایق مغناطیسی) ضریب نفوذپذیری آن‌ها معادل μ_0 است.

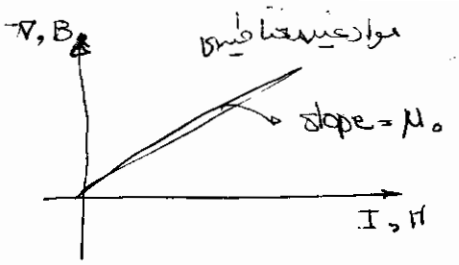
2- مواد فرومغناطیس:

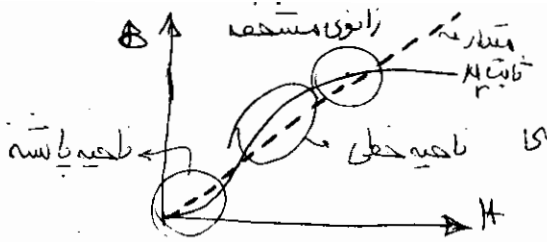
I) مواد فرومغناطیسی نرم: آلیاژ سیستم‌های الکترومغناطیسی را تسلیل می‌دهد.

II) مواد فرومغناطیسی سخت: (ساخت آهن ربای دائم) در ساخت آهن ربای دائم از این مواد استفاده می‌شود

www.teyf.com

مغناطیس شوندگی:

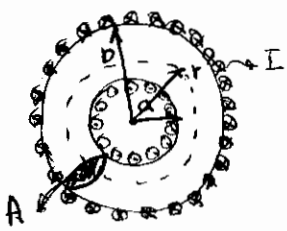




* نقطه کاربهینه سیستم‌های مغناطیسی، زانوی مشخصه نامیده می‌شود.
* برای خطی کردن مشخصه غیرخطی آن را یعنی مشخصه مغناطیس شوندگی را خطی می‌کنیم (مقدار ثابت μ_r)

اگر حریان را N بار دور بزند. $\oint_c H.dl = NI$ اگر یک دور $\oint_c H.dl = I$

IN = نیروی محرکه مغناطیسی = $mmf = F$



مثال: شدت میدان را داخل و خارج این مادهٔ مغناطیسی بدست آورید سپس تبدیل به میدان مغناطیسی کنید:

* متوسط شدت میدان هسته را در وسط هسته در نظر می‌گیریم ولی مطلوب ماد تمام مسائل مغناطیسی است.

$r<a : \oint_c H.dl = 0$

$r>b : \oint_c H.dl = 0$

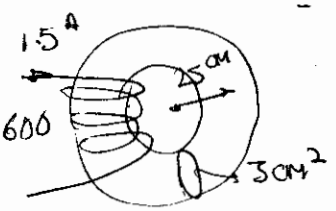
$a<r<b : H = \frac{NI}{2\pi r}$ $\quad r = r_{ar} \Rightarrow H_{ar} = \frac{NI}{2\pi r_{ar}}$

شار مغناطیسی $\phi = \int B.dA \Rightarrow \phi = \frac{\mu.NIA}{2\pi r_{ar}}$

$\phi = F\frac{\mu A}{2\pi r_{ar}}$ $\quad l_{ar} = 2\pi r_{ar} \Rightarrow \phi = F\frac{\mu A}{l_{ar}}$

مقاومت یا رلوکتانس مغناطیسی $= \frac{l_{ar}}{\mu A} = \mathcal{R}$ $\quad \phi = \frac{F}{\mathcal{R}}$ $\quad \mathcal{R} = \frac{l_{ar}}{\mu_0 \mu_r A}$

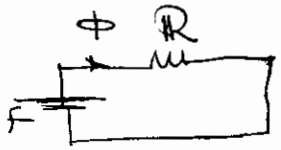
مثال ۱: در یک سیستم الکترومغناطیس مطابق شکل زیر با سطح مقطع $3cm^2$ سطح متوسط 25^{cm} تعداد دور سیم پیچ 600 دور، جریان عبوری 1.5 آمپر ضریب نفوذپذیری مغناطیسی 1500 مقادیر زیر را محاسبه کنید. مقاومت مغناطیسی هسته، mmf، H و شار و چگالی شار.

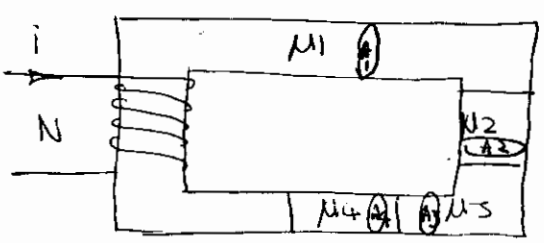


$\mu_r = 1500$ $\quad \mathcal{R} = 2.78\times10^6 \frac{At}{wb}$

$F = NI = 900\ At$ $\quad \phi = \frac{F}{\mathcal{R}} = 3.24\times10^{-4}\ wb$

$H = \frac{F}{l_{ar}} = 5746\ \frac{At}{m}$ $\quad B = \frac{\phi}{A} = 1.08\ Tesla$

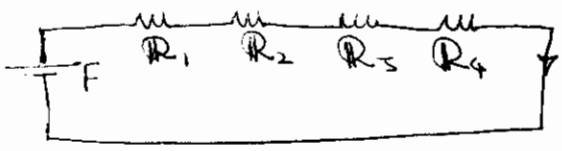




سری کردن مدارهای مغناطیسی:

فرض: اگر میدان مغناطیسی یکنواخت در سیستم حاکم باشد مدار مغناطیسی می‌تواند به صورت سری در نظر گرفته شود.

www.tevf.com



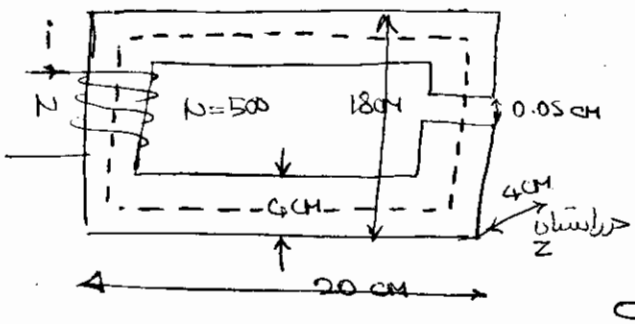
Φ یکنواخت $\Phi \Rightarrow B_1 = \frac{\Phi}{A_1}$, $B_2 = \frac{\Phi}{A_2}$, ..., $B_4 = \frac{\Phi}{A_4}$

$B_i = \mu_i H_i \qquad H_i = \frac{B_i}{\mu_i} = \frac{\Phi}{\mu_i A_i}$

$$F = NI = \Phi\left(\frac{l_1}{\mu_1 A_1} + \frac{l_2}{\mu_2 A_2} + \cdots + \frac{l_4}{\mu_4 A_4}\right)$$

$$\mathcal{R}_i = \frac{l_i}{\mu_i A_i} \qquad F = (\mathcal{R}_1 + \mathcal{R}_2 + \mathcal{R}_3 + \mathcal{R}_4)\Phi$$

مثال ۲: اندازه یک مدار مغناطیسی تک حلقه‌ای در زیر نشان داده شده اگر جریانی ثابتی معادل 1A در این سیم پیچ با ضریب نفوذپذیری نسبی 5880 جریان داشته باشد را محاسبه نمایید.



$l_{av} = 60\ cm \qquad A_i = A_g = 16\times10^{-4}\ m^2$

$\mathcal{R}_g = \frac{l_g}{\mu_0 A_g} = 248.68\times10^3$

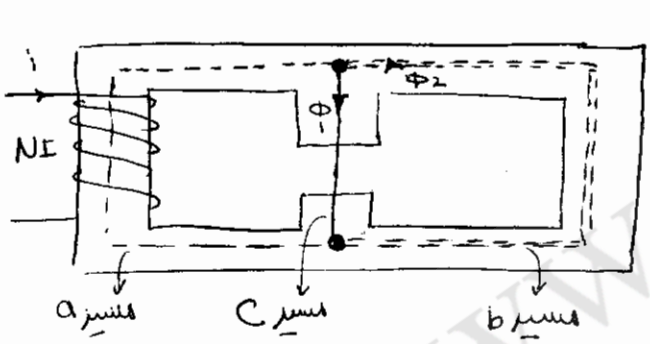
$\mathcal{R}_i = \frac{l_i}{\mu_0 N r A_i} = 74.97\times10^3$

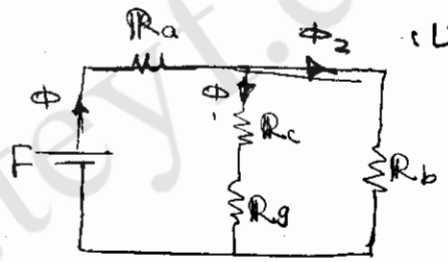
$\Phi = B.A = 1.6\times10^{-3}\ wb$

$F = \Phi(\mathcal{R}_i + \mathcal{R}_g) = 517.85\ A.t$

مدارهای چند پنجره‌ای:

مثال:





$F = H_a l_a + H_g l_g + H_c l_c \qquad H_a = \frac{\Phi}{A_a \mu} \qquad H_c = \frac{\Phi_1}{A_2 N} \qquad H_g = \frac{\Phi_1}{A_g \mu_0}$

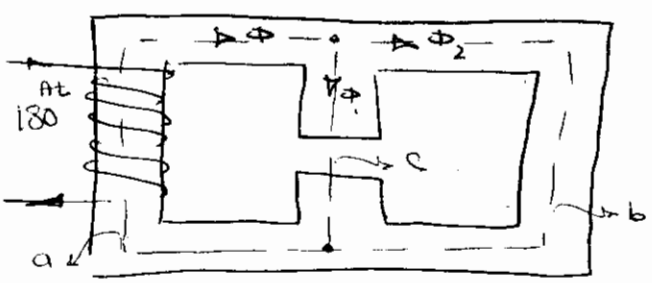
$F = \Phi\mathcal{R}_a + \Phi_1(\mathcal{R}_c + \mathcal{R}_g) \qquad \mathcal{R}_a = \frac{l_a}{\mu A_a} \qquad \mathcal{R}_c = \frac{l_c}{\mu A_c} \qquad \mathcal{R}_g = \frac{l_g}{\mu_0 A_g}$

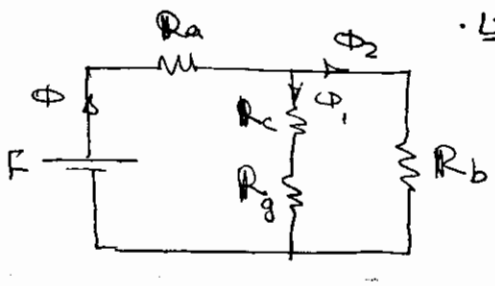
$\Phi = \Phi_1 + \Phi_2$

حلقه سمت راست: $0 = H_g l_g + H_c l_c - H_b l_b \Rightarrow 0 = \Phi_1\left(\frac{l_g}{\mu_0 A_g} + \frac{l_c}{\mu A_c}\right) - \Phi_2\left(\frac{l_b}{\mu A_b}\right)$

$0 = \Phi_1(\mathcal{R}_g + \mathcal{R}_c) - \Phi_2\mathcal{R}_b \qquad \mathcal{R}_b = \frac{l_b}{\mu A_b}$

مثال ۳: در سیستم دو پنجره‌ای نشان داده شده $\mu_r = 4000$, $l_a = l_b = 85^{cm}$, $l_c = 36^{cm}$ سطح مقطع هسته 0.008 مترمربع. اگر آمپر دور ورودی 180 آمپر دور باشد مطلوبست محاسبه: $l_g = 0.8^{mm}$ چگالی شار در فاصله هوایی.

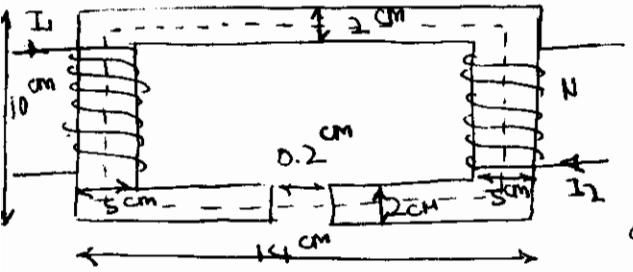


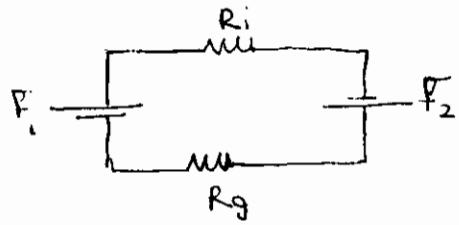


$B = 0.11\ Tesla$

www.teyf.com

مثال 4: سازه مغناطیسی شکل زیر دارای ضریب نفوذپذیری $\mu_r = 10000$ ، مساحت $2\ cm^2$ ، تعداد دور سیم پیچ‌ها 400 و جریان در سیم‌پیچ‌های 1 و 2 به ترتیب $1\ A$ و $1.2\ A$ می‌باشد. مطلوبست مقدار شار در فاصله هوایی در این سازه.



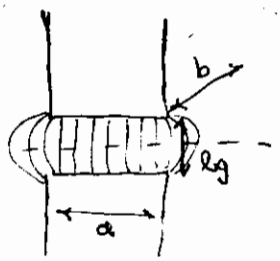


$$\mathcal{R}_i = \frac{l_i}{\mu A_i} = 32.4\times10^5 \frac{A}{wb}$$

$$\mathcal{R}_g = \frac{l_g}{\mu_0 A_g} = 5.97\times10^6 \frac{A}{wb}$$

$$\Phi = \frac{N(I_1+I_2)}{\mathcal{R}_g+\mathcal{R}_i} = \frac{400(1+1.2)}{5.97\times10^6+32.4\times10^5} \Rightarrow \Phi = 0.217\times10^{-5}\ wb$$

اثر انحراف شار در فاصله هوایی: (Fringing)



به دلیل وجود هوا ما سطح مقطع را بیشتر از مقدار واقعی در نظر می‌گیریم:

$A_i = a\times b$ بدون انحراف شار $A_g = (a+l_g)(b+l_g)$ با انحراف شار

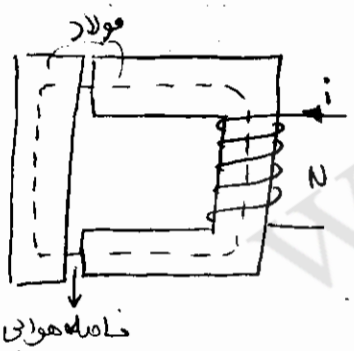
اثر فاصله هوایی در افت mmf: برای خطی سازی سیستم می‌توان استفاده کرد به شرط اینکه فرض کنیم:

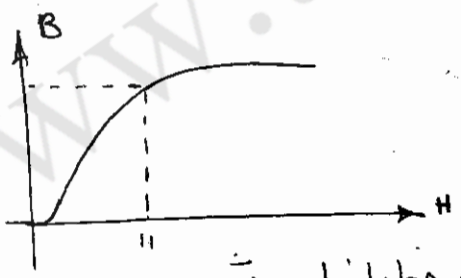
۱- μ_r آهن بسیار بزرگ است. ۲- فاصله هوایی بسیار کوچک است. حال از روابط زیر استفاده می‌کنیم:

$$\mathcal{R}_i = \frac{l_i}{\mu_0 \mu_r A_i} \qquad \mathcal{R}_g = \frac{l_g}{\mu_0 A_g} \qquad \mathcal{R}_g = \mathcal{R}_i \frac{\mu_r}{l_i/l_g}$$

* در این شرایط می‌توان سیستم مغناطیسی آهن را به صورت اتصال کوتاه در نظر گرفت $\Rightarrow \frac{l_i}{l_g} \ll \mu_r$ ، $\frac{\mathcal{R}_g}{\mathcal{R}_i} \gg 1$: فرض

سیستم غیرخطی:





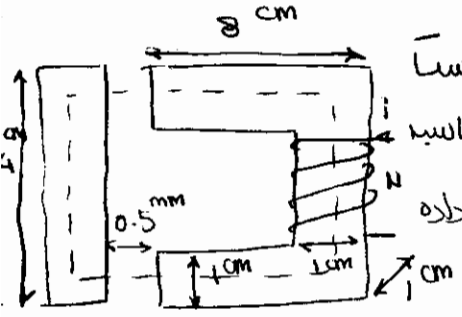
در دو حالت معمولی تحلیل سیستم‌های غیرخطی انجام می‌شود:

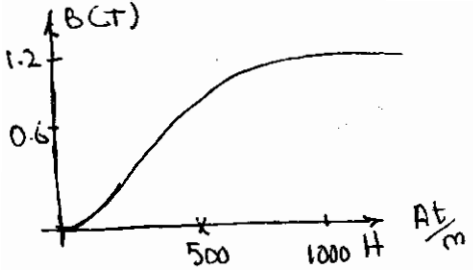
۱) شار در داخل سیستم مشخص و mmf ورودی سیستم محاسبه شود.

۲) mmf اعمالی به سیستم مشخص و شار مغناطیسی داخل سیستم را محاسبه کنیم.

۱) در حالت اول mmf فاصله هوایی را محاسبه می‌کنیم و سپس H را از روی منحنی B-H به دست آورده و حال می‌توان mmf ورودی را به دست آورد حال داریم: $Ni = H.l$

مثال 5: سیستم غیرخطی مغناطیسی به صورت رله مغناطیسی مطابق شکل مفروض است. اگر شاری برابر با $50\ \mu wb$ داخل سازه موجود باشد mmf مورد نیاز سیستم را محاسبه نمایید. جنس هسته از فولاد ریخته‌گری بوده و منحنی B-H آن مطابق شکل داده شده است. اثر انحراف شار را هم در نظر بگیرید.





$l_i = 2(3+7.5)+2(0.5) = 22\ cm$

$l_g = 1\ mm \quad A_i = 10^{-4}\ m^2 \quad A_g = (1.05\times10^{-2})^2 = 110.25\times10^{-6}$

$B_g = \frac{\Phi}{A_g} = \frac{50\times10^{-6}}{110.25\times10^{-6}} = 0.4535\ T$

$H_g = \frac{B_g}{N_0} = 360.9\times10^3 \quad F_g = H_g l_g = 360.9$

$B_i = \frac{\Phi}{A_i} = 0.5\ T \quad H_i = 350\ \frac{At}{m} \quad F_i = H_i l_i = 77\ At \quad mmf = F_i + F_g = 437.9\ At$

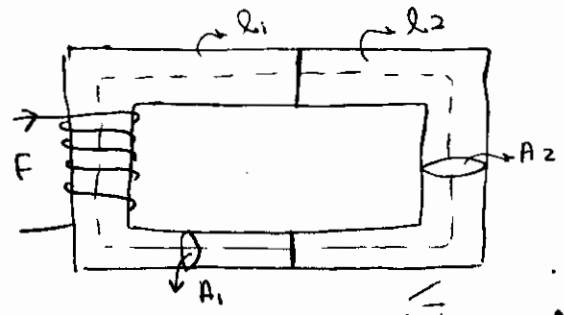
2) درحالتی که mmf ورودی مشخص و Φ مجهول باشد.

i) به صورت سعی و خطا جریانی را در داخل هسته فرض نمایید و mmf روی هسته‌های مختلف را جمع نمایید تا به mmf ورودی برسید.

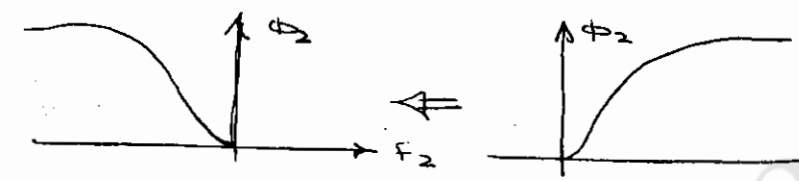
ii) روش ترسیمی: به صورت زیر انجام می‌گیرد.

الف) منحنی B-H برای هر ماده را به منحنی $\Phi - F$ تبدیل می‌کنیم به صورتی که:

$\Phi = BA \ ; \ F = Hl$

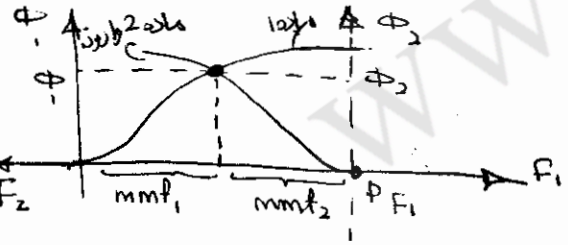


ب) منحنی $\Phi - F$ ماده 2 را به صورت معکوس رسم کرده به طوری که بردار F ماده 2 در طرف منفی رسم شود.



ج) در روی منحنی $F_1 - \Phi_1$ ازاده $\frac{1}{2}$ به اندازه mmf داده شده روی F_1 جدا می‌کنیم.

د) منحنی $F_2 - \Phi_2$ وارونه را طوری قرار می‌دهیم که مبدأ آن روی نقطه P قرار گیرد. از تلاقی این دو منحنی شار هر یک به سیستم مشخص خواهد شد همچنین mmf های هرکدام از مواد نیز از محور افقی تعیین خواهد شد.



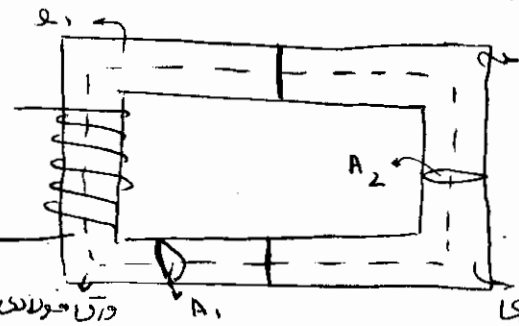
www.teyf.com

دوباره در روش ترسیمی:

1) اگر سطح مقطع های دو ناحیه یکسان باشد تبدیل B به Φ لازم نخواهد بود.

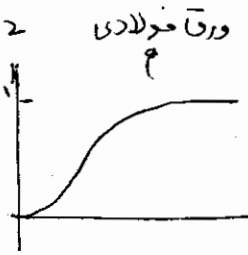
2) اگر سطح مقطع متفاوت ولی طول مواد مغناطیسی یکسان باشد تبدیل H به F لازم نخواهد بود.

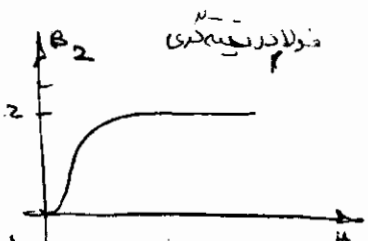
مثال: مدار مغناطیسی شکل زیر مفروض است. حالتی شار و شدت میدان مغناطیسی در این دو ماده سازه را برای حالت‌های زیر محاسبه نمایید. الف) mmf اعمالی 800 At باشد ب) mmf اعمالی 1200 At ج) mmf اعمالی 1400 At در نظر گرفته شود



$l_1 = l_2 = 0.4\ m$

$A_1 = A_2 = 8\times10^{-4}\ m^2$

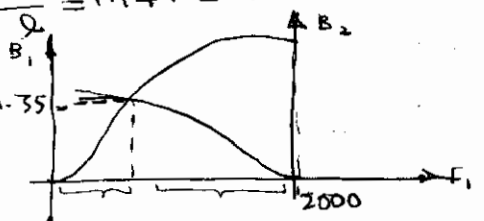




الف)

$F = H_1 l_1 + H_2 l_2 \quad l_1 = l_2 \Rightarrow F = l_1(H_1 + H_2) \Rightarrow \frac{F}{l_1} = H_1 + H_2$

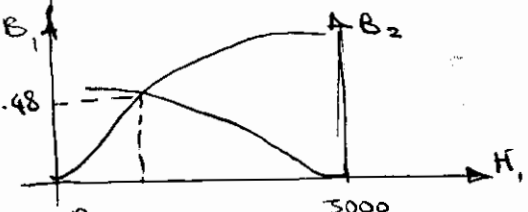
$H_1 + H_2 = 2000$



$\Phi_1 = \Phi_2 = 1.35 \times 8 \times 10^{-4} = 10.8 \times 10^{-4}$ وب

ب)

$H_1 + H_2 = \frac{1200}{0.4} = 3000$

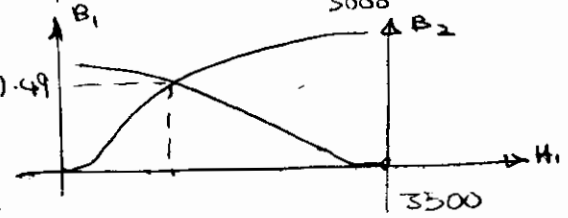


$H_1 = 450 \quad H_2 = 2556 \Rightarrow \Phi = 11.84 \times 10^{-4}$ وب

ج)

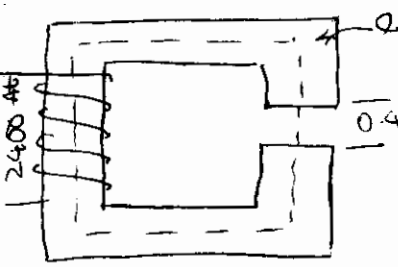
$H_1 + H_2 = \frac{1400}{0.4} = 3500$

$H = 550 \quad H_2 = 1950$



$B_1 = B_2 = 1.49 \Rightarrow \Phi = 1.49 \times 8 \times 10^{-4} = 11.92 \times 10^{-4}$ وب

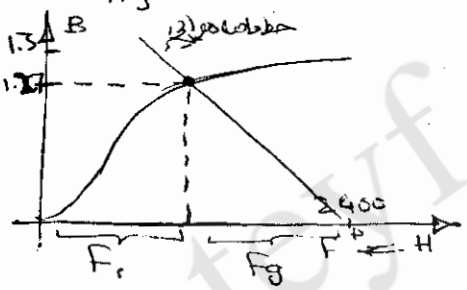
مثال 7: در مسأله مغناطیسی شکل زیر هسته‌ای از جنس فولاد ریخته‌گری با طول 80 cm و طول فاصله هوایی 0.4π mm است. اگر mmf لازم برای 2400 At باشد چگالی شار هسته را محاسبه نمایید. از اثر انحراف شار صرف‌نظر کنید.



$A_g = A_i$

$F_g = H_g l_g = \frac{B_g}{\mu_0} l_g = \frac{B_g (0.4\pi \times 10^{-3})}{4\pi \times 10^{-7}}$

$\Rightarrow F_g = 1000 B_g$

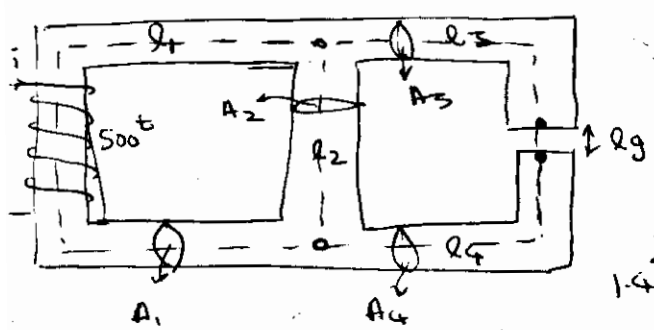


$B = 1.27 = B_1 = B_2$

مثال: یک حلقه فولادی با سطح مقطع دایره‌ای دارای قطر 30 cm و محیط متوسط 80 cm موجود است. اگر از این حلقه فولادی 1 mm برداشته شود و سیم پیچی با تعداد دور 600 t روی آن پیچیده شود مطلوبست الف) محاسبه جریان برای ایجاد شار 0.75 میلی وبر در فاصله هوایی. ب) اگر جریان عبوری 2 A باشد شار حاصله در فاصله هوایی. مشخصه آهن فولادی مطابق روبرو می‌باشد.

H(AT/m)	200	400	600	800	1000	1200	1400	1600	1800	2020
B(T)	0.1	0.32	0.6	0.9	1.08	1.18	1.27	1.32	1.36	1.4

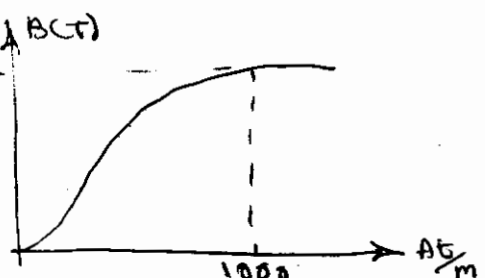
مثال: در مسأله مغناطیسی مطابق شکل مفروض است اگر در فاصله هوایی این شاره شاری برابر 2^{mwb} فرض شود با تعداد دور سیم پیچی 500 t جریان ورودی سیم پیچ را محاسبه نمایید. جنس هسته از چوبه فولاد سیلیکونی و منحنی مشخصه آن مطابق شکل داده شده است.



$l_1 = 40$ cm $\quad l_2 = 24$ cm $\quad l_3 = l_4 = 26$ cm

$A_1 = 10$ cm^2 $\quad A_2 = 12$ cm^2 $\quad A_3 = A_4 = 25$ cm^2

$l_g = 25 \times 10^{-3}$ cm $\quad A_g = 26$ cm^2



www.tofyf.com

تقسیم بندی مواد مغناطیسی و خواص آن ها:

بر اساس ضریب μ_r تقسیم می شوند:

i - 1) مواد پارامغناطیس ($\mu_r \gtrsim 1$) } غیرمغناطیس ها : برای تحلیل μ_r این مواد را برابر 1 قرار
2) مواد دیامغناطیس ($\mu_r \lesssim 1$) } می دهیم.

ii - 1) مواد فرومغناطیس ← فرومغناطیس نرم: آهن یا آلیاژهای نیکل، کوبالت، آلومینیوم، تانگستن و فولادهای سیلیکونی
فرومغناطیس سخت: (آهنربای دائم) شامل آلنیکو - خلرات کرومیوم و آلیاژهای آن با نیکل کوبالت و مواد کمیاب مانند نئودیمیوم.

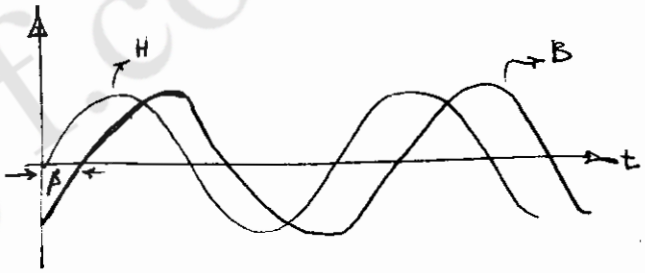
(مواد مغناطیسی یا مغناطیس ها)

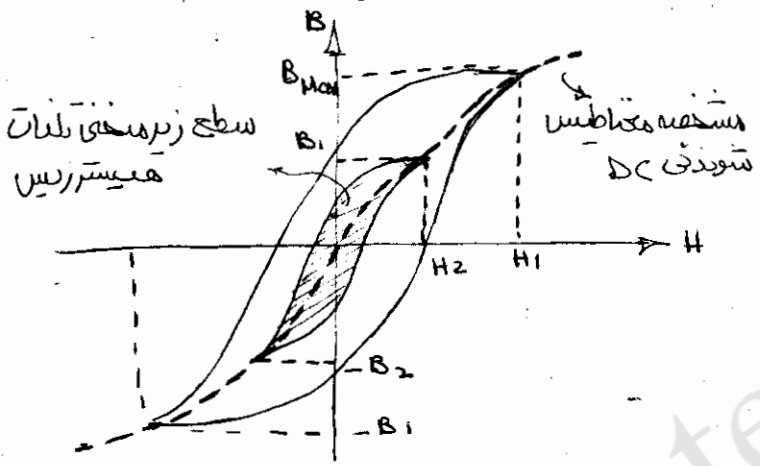
2) مواد فری مغناطیس ← فریت نرم: از این مواد در فرکانس های بالا استفاده می شود. جنس تلفات آن ها در فرکانس های بالا کم است.
(فریت ها) (اکسیدهای آهن) ← فریت سخت:

3) مواد سوپر پارامغناطیس ها (پودر آهن با Molybdenum و نیکل) نام دیگر آن پرمالوی است و برای فرکانس بالا استفاده می شود.

خواص مواد فرومغناطیسی در میدان های متناوب:

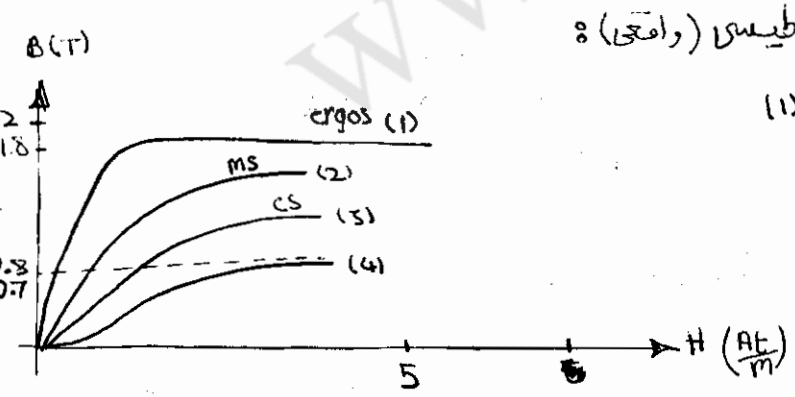
* B نسبت به H پس فاز است.
B تا خیر فاز است.





تلفات هسته = تلفات هیسترزیس + تلفات جریان گردابی ← وابسته به جریانی است که در هسته به وجود می آید.

منحنی های مشخصه های B - H مواد فرومغناطیسی (واقعی):



1) ماده فرومغناطیس فولاد جهت داده شده (1)
2) فولاد نرم (2) (mild steel) (MS)
3) فولاد (3) (CS)
4) چدن (4) (ci)

نیروی محرکه القا شده و نیروی مکانیکی:

نیروی محرکه القا شده: $\nabla \times E = -\frac{\partial B}{\partial t}$ (قانون ماراده) $\Rightarrow \oint E.dl = -\int \frac{\partial B}{\partial t} ds$

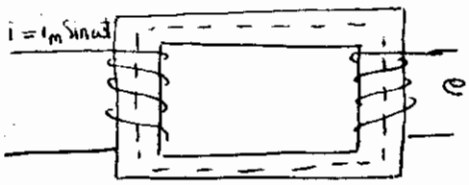
$e = -N\frac{\partial \Phi}{\partial t}$ (N تعداد دور کلاف) $\Rightarrow \lambda = N\Phi =$ شار در برگیرنده $\Rightarrow e = \frac{\partial \lambda}{\partial t}$

در سه حالت ولتاژ القا شده مار تغییر شار به وجود می آید:

1) القا استاتیکی. اگر سیم (هادی) درون میدان ساکن باشد و شار درون آن متغیر نسبت به زمان باشد القا ولتاژ در این حالت القا استاتیکی است.

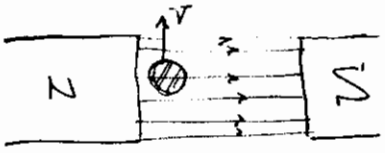
www.teyf.com

مثال (القاء استاتیکی): به این حالت القاء ترانسفورماتوری گفته میشود. اساس کار ترانسفورماتورها



2) القاء دینامیکی: در این حالت حرکتی شار در سیستم سکون ولی هادی داخل شار سکون حرکت می‌کند.

مثال (القاء دینامیکی): در ماشین‌های DC از این نوع القا استفاده می‌شود.



3) القاء ترکیبی (القاء استاتیکی و دینامیکی باهم): برای ماشین‌های AC است.

القاء دینامیکی: یک هادی به طول l داخل یک میدان B در جهت عمود بر B با زاویه‌ای با آن حرکت کند با سرعت V

θ: زاویه بین جهت میدان و حرکت هادی می‌باشد

$$e = |V \times B| . l = BlV\sin\theta$$

$$e_{max} = BlV$$

اندوکتانس:

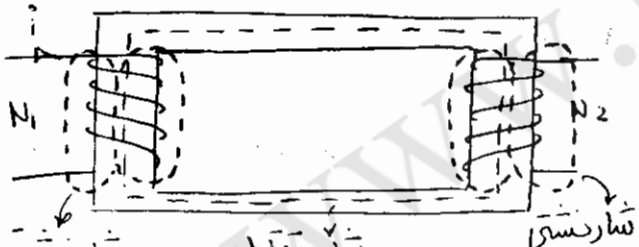
$$e = N\frac{d\Phi}{dt} = N\frac{d\Phi}{di}\cdot\frac{di}{dt} = L\frac{di}{dt}$$

اندوکتانس خودی $L = N\frac{d\Phi}{dt} = \frac{d\lambda}{dt}$ برای سیم‌پیچ‌های خطی $\Rightarrow L = \frac{\lambda}{i}$

$i = \frac{Hl}{N}$, $\lambda = BAN \Rightarrow L = \frac{N^2BA}{Hl}$

$$\Rightarrow L = \frac{N^2BA}{Hl} = N^2N\frac{A}{l} = \frac{N^2}{\mathcal{R}} = N^2\mathcal{P}$$ ← پرمیانس

اندوکتانس متقابل:



اندوکتانس خودی سیم‌پیچ 1 $L_1 = M + l_1$ (اندوکتانس نشتی، اندوکتانس متقابل)

" " " 2 " $L_2 = M + l_2$

$M_{12} = \frac{\lambda_{12}}{i_2}$ شار در سیم‌پیچ 1 از جریان سیم‌پیچ دوم $= \lambda_{12}$

$M_{21} = \frac{\lambda_{21}}{i_1}$ شار در سیم‌پیچ 2 از جریان سیم‌پیچ اول $= \lambda_{21}$

$$M_{12} = M_{21} = M$$

* اگر شار در سیم‌پیچ‌ها قابل صرف‌نظر کردن باشد کوپلاژ سیم‌پیچ‌ها حتمی یا ایده‌آل می‌باشد

$\Rightarrow M = \sqrt{L_1L_2}$ اگر قابل صرف‌نظر کردن نباشد $\Rightarrow M = K\sqrt{L_1L_2}$ (K ضریب کوپلاژ)

القاء ترکیبی:

$$\lambda = Li \Rightarrow e = L\frac{di}{dt} + i\frac{dL}{dt}$$

القاء استاتیکی — القاء دینامیکی

القاء استاتیکی:

$\Phi = \Phi_M\sin\omega t \Rightarrow e = N\frac{d\Phi}{dt} = \omega N\Phi_M\cos\omega t$

مقدار موثر $E = \frac{2\pi}{\sqrt{2}}fN\Phi_M = 4.44fN\Phi_M = 4.44fNB_MA_C$

www.tey1.com

* ولتاژ القا شده نسبت به شار اعمال شده 90° پیش فاز است.

توان:

$$P = ie = i\frac{d\lambda}{dt}$$

انرژی ذخیره شده الکتریکی در میدان مغناطیسی در زمان t_1 تا t_2 در صورتیکه λ از λ_1 به λ_2 افزایش پیدا کند به صورت زیر می باشد:

انرژی ذخیره شده در میدان مغناطیسی $W_f = \int_{t_1}^{t_2} P\,dt = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} i\,d\lambda$

$$W_f = \int_{B_1}^{B_2} \left(\frac{H_c l_c}{N}\right)(A_c N)\,dB_c = A_c l_c \int_{B_1}^{B_2} H_c\,dB_c$$

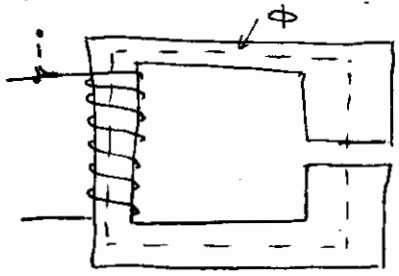
* $A_c l_c$ حجم هسته مغناطیسی است.

انرژی در میدان به صورت زیر می باشد:

$$W_f = \int_{B_1}^{B_2} H_c\,dB_c \qquad \frac{J}{m^3}$$

انرژی چگالی

مثال: در شکل هسته نشان داده شده سیم پیچی دارای 600 دور برای هسته در نظر گرفته شود. $\mu_r = 6000$ اگر مشخصات فیزیکی هسته به ترتیب عبارتند از: $A_c = 4\times4\ cm^2$ ، $l_g = 0.06^{cm}$ ، $l_c = 40\ cm$ اگر چگالی شار ماصله هوایی 1.2^T فرض شود مطلوبست محاسبات زیر: الف) ولتاژ القا شده در سیم پیچ با چگالی شار سینوسی و فرکانس 50 هرتز. ب) رلوکتانس مسیر مغناطیسی ج) اندوکتانس هسته، د) انرژی ذخیره شده در میدان مغناطیسی تحت چگالی شار 1.2^T ! $(B_{max} = 1.2^T)$



$B = 1.2\sin 314t \qquad \lambda_M = 1.152\ wbT \qquad \lambda = 1.152\sin 314t$

$e = \frac{d\lambda}{dt} = 361.7\cos 314t \qquad R_c = \frac{l_c}{\mu_0 \mu_r A_c} = 3.317\times10^4$

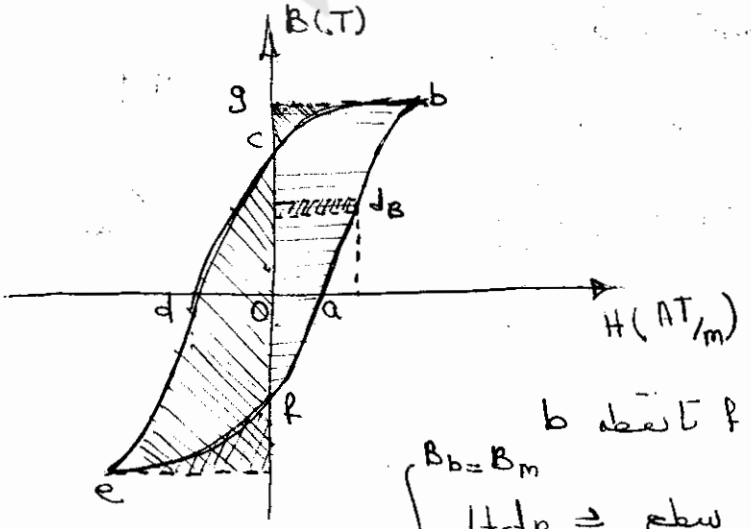
$R_g = \frac{l_g}{\mu_0 A_g} = 29.856\times10^4 \qquad i = 1.06\ A \qquad L = \frac{\lambda}{i}$

$L = \frac{1.152}{1.06} = 1.08^H$ b $L = \frac{N^2}{R} = 1.08^H$ $\qquad W_f = \int_0^{\lambda} i\,d\lambda = \int_0^{\lambda} \frac{\lambda}{L}\,d\lambda = \frac{1}{2}\frac{\lambda^2}{L}$

$W_f = 0.6144^J$

تلفات هیسترزیس:

تلفات هیسترزیس: در هر دوره تناوب از تغییرات میدان سطح زیر منحنی هیسترزیس ماده فرومغناطیس به عنوان تلفات هیسترزیس شناخته می شوند.



انرژی در زمان افزایش چگالی شار در میدان از نقطه f تا نقطه b

$$\int_{B_f}^{B_{b=B_m}} H\,dB = \text{سطح } ofabgo = \text{انرژی ذخیره شده در میدان مغناطیسی}$$

انرژی منفی در زمان کاهش H از مقدار ماکزیمم تا صفر یعنی چگالی شار از B_m تا B_c:

$$\int_{B_b}^{B_c} H\,dB = \text{سطح } cbg$$

www.teyl.com

میزان با فرکانس و حجم ↗ $P_h = W_h V f$ W_h = سطح fabcdef : تلفات هیسترزیس

*رابطه اشتین متز:

تلفات هیسترزیس: $P_h = K_h f B_m^{n}$ $1.5 < n < 2.5$

(K_h ضریب) ($n = 1.6$ برای مواد مختلف است و در سیستم های الکترومغناطیس معمولی)

تلفات فوکو: تلفات اهمی هسته از جریان القا شده در آن.

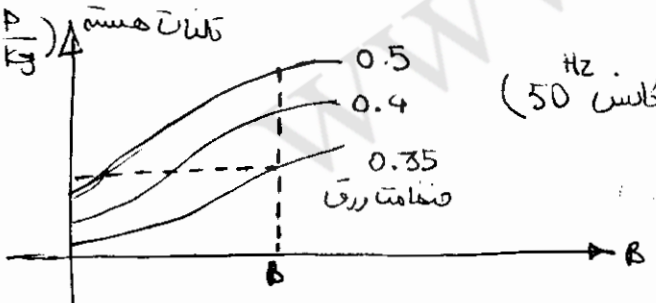
برای کاهش تلفات فوکو:

1) با انتخاب ورق های نازک برای هسته.
2) انتخاب ورق ها با مقاومت های زیاد
3) عایق کردن سطح ورق ها با مواد عایقی

تلفات فوکو: $P_e = f^2 . B_m^2 . K_e$ (K_e = ضریب ثابت)

محاسبه تلفات هسته:

از منحنی های چگالی تلفات ($\frac{P}{Kg}$)



www.teyf.com