

درس: ماشین الکتریکی ۱

مدرس: دکتر یوسف علی نژاد برمی

جلسه سوم - چهارم: ادامه بحث مدارهای مغناطیسی

در این جلسه به ادامه بحث مدارهای مغناطیسی می پردازیم. عناوین این بحث ها به شرح زیر می باشد.

۱- دو روش متداول برای حل مدارهای مغناطیسی.

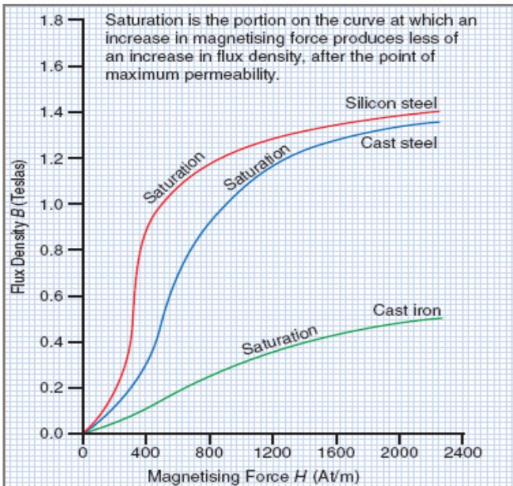
۲- بررسی مشخصات مواد فرومغناطیسی مورد استفاده در ساخت هسته ماشینهای الکتریکی.

۳- مکانیزم ایجاد تلفات - تقسیم بندی و محاسبه تلفات انرژی در مواد فرومغناطیسی .

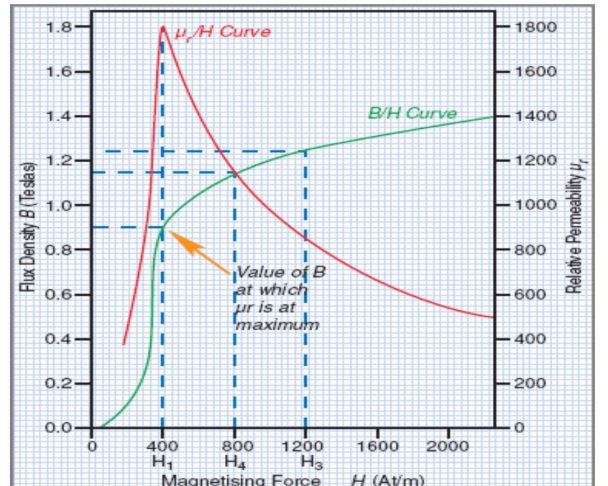
۴- تعریف شار پیوندی - اندوکتانس یک سیم پیچ - اندوکتانس متقابل بین چند سیم پیچ و محاسبات مربوطه.

۱- بررسی دو روش برای حل مدارهای مغناطیسی

در جلسه اول دیدیم که یک مشکل اساسی در تحلیل مدارهای مغناطیسی غیر خطی بودن رابطه بین H و B می باشد که باعث می گردد کمی محاسبات را پیچیده تر می کند. این دو شکل را قبلا دیدیم.



منحنی تغییرات B در مقابل H برای انواع ورقه های آهنی که در ساخت هسته ماشینهای الکتریکی مورد استفاده قرار می گیرد



منحنی تغییرات μ در مقابل H برای یک نمونه از ورقه های آهنی که در ساخت هسته ماشینهای الکتریکی مورد استفاده قرار می گیرد

در تمرینات مربوط به محاسبات کمیات مغناطیسی بایستی منحنی مشخصه مغناطیسی ماده مورد استفاده در هسته مدار مغناطیسی (منحنی $(B=f(H))$ OR $\mu = f(H)$) به عنوان یک معلوم که یا به فرم منحنی و یا به صورت جدول داده شود.

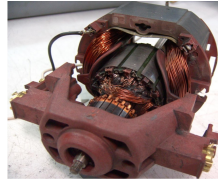
$B(T)$	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8
$H(At/m)$	50	80	110	160	220	300	380	490	600	760	980	1300	1700	2400	3300	4700	7500	11500
μ_r	1592	1990	2170	1990	1809	1592	1466	1299	1195	1047	893	735	608	465	362	270	180	125

جدول ۱-۲: مقادیر H و B در یک ماده مغناطیسی

نکته دیگری که اینجا بایستی ذکر شود اینست که وقتی مدار معادل الکتریکی یک مدار مغناطیسی را رسم میکنیم به دو صورت می توانیم رابطه ولتاژی کرشهوف را حلقه های مدار مغناطیسی بنویسیم.

$$F_{mmf} = NI = H \times 2\pi r = HL_{av} = (B/\mu_0\mu) L_{av} = (L_{av}/\mu_0\mu A) \Phi = \Phi \times R_m$$

$\sum N_i I_i = \sum H_i L_i$	۱- جمع نیروهای محرکه هر حلقه $\sum N_i I_i$ برابر جمع	$\sum N_i I_i = \sum R_i \Phi_i$	۲- جمع نیروهای محرکه هر حلقه $\sum N_i I_i$ برابر جمع
-------------------------------	---	----------------------------------	---



درس: ماشین الکتریکی ۱

مدرس: دکتر یوسف علی نژاد برمی

	افت پتانسیل های مغناطیسی روی هر مقاومت مغناطیسی $\sum H_i L_i$	افت پتانسیل های مغناطیسی روی هر مقاومت مغناطیسی $\sum R_i \Phi_{ii}$
<p>یک مدار الکتریکی ساده</p>	<p>الف) مدار مغناطیسی نمونه</p>	<p>ب) مدار معادل الکتریکی</p>

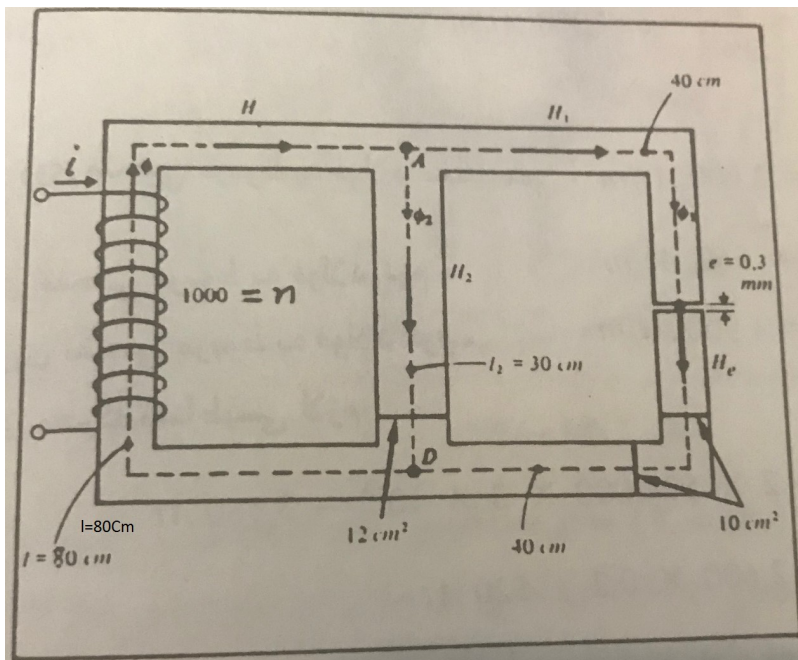
به عنوان مثال در مدار مغناطیسی فوق می توانیم به دو روش معادلات KVL را در دو حلقه به شرح زیر بنویسیم:

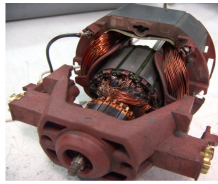
$F_1 = N_1 I_1 = 5000 = H_1 L_1 + H_3 L_3 + H_4 L_4$ <p>روش دوم</p>	$F_1 = N_1 I_1 = 5000 = R_1 \Phi_1 + (R_3 + R_4) \Phi_3$ <p>روش اول</p>
$F_2 = N_2 I_2 = 5000 = H_2 L_2 + H_3 L_3 + H_4 L_4$	$F_2 = N_2 I_2 = 5000 = R_2 \Phi_2 + (R_3 + R_4) \Phi_3$

تمرین: ثابت کنید این دو رابطه یکسان هستند.

اینکه برای حل یک تمرین مغناطیسی از کدام روش بایستی استفاده کنیم به شرایط مسئله بستگی دارد. مثلا در مدار مغناطیسی فوق اگر تمام هسته مغناطیسی از یک ماده مغناطیسی یکسان با μ_r ثابت تشکیل شده باشد از روش اول به راحتی قابل حل است. چون یک دستگاه دو معادله و دو مجهول است در حالیکه روش دوم از دو معادله و سه مجهول تشکیل شده است.

برای یافتن راه حل مناسب بایستی تمرینات مختلفی حل گردد تا مسلط به آنالیز مدارهای مغناطیسی گردیم. تمرین ۱: در مدار نشان داده شده در شکل زیر دو حلقه با ضریب قابلیت نفوذ متغیر مفروض است. جنس هسته از مواد فرومغناطیسی نرم بوده و مقادیر B و H در نقاط مختلف منحنی $B=f(H)$ مطابق جدول ۱-۲ می باشد.





درس: ماشین الکتریکی ۱

مدرس: دکتر یوسف علی نژاد برمی

اگر بخواهیم چگالی شار مغناطیسی در فاصله هوایی ($e = 0.3 \text{ mm}$) برابر 0.3 Tesla باشد ($B = 0.3 \text{ T}$) مقدار جریانی که بایستی از سیم پیچ 1000 دوری عبور نماید را محاسبه نمایید. (ابعاد قسمتهای مختلف هسته در شکل نشان داده شده است).
حل:

در اینجا محاسبه مقاومتیهای مغناطیسی در قسمتهای مختلف به علت متغیر بودن ضریب نفوذ مغناطیسی امکان پذیر نیست. لذا برای محاسبه جریان الکتریکی مورد نیاز بایستی نیروی محرکه مغناطیسی تولید شده توسط سیم پیچ 1000 دوری را محاسبه نماییم. این عمل از روش محاسبه H در قسمتهای مختلف به روش هوشمندانه قابل محاسبه است. کمیات H و H_1 و H_2 و H_e در شاخه های مختلف مدار مغناطیسی نشان داده شده است. (دانشجویان می توانند مدار معادل الکتریکی را نیز رسم نمایند).

در حلقه سمت چپ رابطه KVL را می نویسیم:

$$n_i = H L + U$$

$$U = H_2 L_2 = H_1 L_1 + H_e g$$

روشن است که U پتانسیل مغناطیسی بین دو نقطه A و D می باشد.

طبق کمیت معلوم مسیله $B_g = 0.3 \text{ Tesla}$ پس شار عبوری از از فاصله هوایی:

$$\Phi_g = B_g \cdot A_g = 0.3 \times 10 \times 10^{-4} = 0.3 \times 10^{-3} \text{ Wb}$$

به جهت اینکه در شاخه سمت راست $\Phi_g = \Phi_e$ و $B_g = B_e = 0.3 \text{ T}$ از روی جدول خواهیم داشت :

$$H_g = (B_g / \mu_0) = 239000 \text{ A/m} \text{ و } H_1 = 110 \text{ A/m}$$

$$U = H_1 L_1 + H_g g = (110 \times 80 \times 10^{-2}) + (239000 \times 0.3 \times 10^{-3}) = 88 + 72 = 160 \text{ At}$$

برای پیدا کردن مقدار H بایستی شار مغناطیسی شاخه سمت راست را بدست آوریم:

$$U = H_2 L_2 \rightarrow H_2 = (160 / 0.3) = 534 \text{ A/m}$$

از روی جدول 534 بین 490 و 600 است که این دو عدد نظیر چگالی شارهای 0.8 و 0.9 تسلا می باشد. در نتیجه $B_2 = 0.84 \text{ T}$ را انتخاب می کنیم لذا:

$$\Phi_2 = B_2 \cdot A_2 = 0.84 \times 12 \times 10^{-4} = 1.01 \times 10^{-3} \text{ Wb}$$

از مدار مشخص است که:

$$\Phi = \Phi_1 + \Phi_2 = 1.31 \times 10^{-3} \text{ Wb}$$

$$B = (\Phi / A) = (1.31 \times 10^{-3}) / (10 \times 10^{-4}) = 1.31 \text{ T}$$

و از روی جدول داریم:

$$H = 1770 \text{ A/m}$$

$$N_i = H L + U = 1770 \times 80 \times 10^{-2} + 160 = 1575 \text{ At}$$

$$I = 1.575 \text{ A}$$

مثال ۲-۴: مدار مغناطیسی شکل (۱۶-۲) با مشخصات مندرج در روی آن مفروض است جنس مدار مغناطیسی از چدن بوده و تغییرات ضریب قابلیت نسبی آن مطابق جدول زیر با منحنی نشان داده شده در شکل (۲-۷) میباشد میخواهیم اندازه اندوکسیون B را در فاصله هوایی بدست آوریم.

$B(T)$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
μ_r	480	350	300	250	200	150	120	110	90	50

شکل (۱۶-۲)

حل - سطح مقطع در تمام مسیر یکسان و برابر S میباشد:

$$n_i = \left(\frac{l_f}{\mu_0 \mu_r} + \frac{e}{\mu_0} \right) \Phi$$

و با داشتن $S = 5 \text{ mm}^2$:

$$n_i = \left(\frac{l_f}{\mu_0 \mu_r} + \frac{e}{\mu_0} \right) B S$$

با در نظر گرفتن مقادیر عددی داده شده در مسئله رابطه فوق به فرم زیر میشود:

$$1,63 = \left(\frac{200}{\mu_r} + 1 \right) B$$

اینک با استفاده از راجل تقریبات متوالی اندازه اندوکسیون را برابر $B = 0,6 \text{ T}$ انتخاب می کنیم:

$$0,6 \left(\frac{200}{150} + 1 \right) = 1,7$$

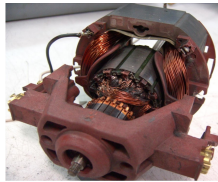
عدد $1,7$ در مقایسه با طرف اول معادله که برابر $1,63$ است مقداری کوچک میباشد لذا محاسبه را با انتخاب $B = 0,7 \text{ T}$ تکرار می کنیم:

$$0,7 \left(\frac{200}{120} + 1 \right) = 1,87$$

ملاحظه می کنیم که عدد $1,87$ بزرگتر از $1,63$ است در نتیجه برای رسیدن به مقداری نزدیک به واقعیت متوسط دو مقدار انتخاب شده را برای اندوکسیون در نظر میگیریم:

$$\frac{0,6 + 0,7}{2} = 0,65$$

$B = 0,65 \text{ T}$



در هر فاصله هوایی: $B = \frac{0.06}{0.08} = 0.75 T$

در آرمیچر: $B = \frac{0.03}{0.02} = 1.5 T$

در یوغ: $B = \frac{0.03}{0.035} = 0.86 T$

در هر هسته قطبی: $B = \frac{0.06}{0.045} = 1.33 T$

با بردن این اندوکسیونها روی منحنی‌های شکل (۶-۲) میدانهای مربوط به هر بدست می‌آوریم:

در فاصله هوایی: $H = \frac{B}{\mu_0} = 597\,000 \text{ At/m}$

در آرمیچر از روی منحنی مربوط به فولاد سیلیسی: $H = 2\,600 \text{ At/m}$

در یوغ از روی منحنی مربوط به فولاد نرم: $H = 560 \text{ At/m}$

در هسته از روی منحنی مربوط به فولاد نرم: $H = 1\,900 \text{ At/m}$

از آنجا نیروی محرکه مغناطیسی لازم:

$$Hl = 2 \times 597\,000 \times 3 \times 10^{-3} = 3\,580 \text{ At}$$

$$Hl = 2\,600 \times 0.2 = 520 \text{ At}$$

$$Hl = 560 \times 0.5 = 280 \text{ At}$$

$$Hl = 2 \times 1\,900 \times 0.15 = 570 \text{ At}$$

$$ni = 3\,580 + 520 + 280 + 570 = 4\,950 \text{ At}$$

چون این آمپر دور برای مدار دو قطب مجاور محاسبه گردیده پس هر قطب باید تولید نماید. از آنجا با داشتن: $n = 1200$ اندازه جریان تحریک چنین خواهد

$$i_f = \frac{2\,475}{1\,200} = 2.06 \text{ A}$$

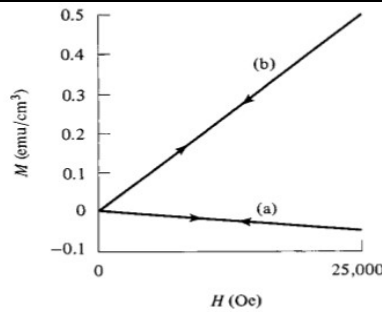
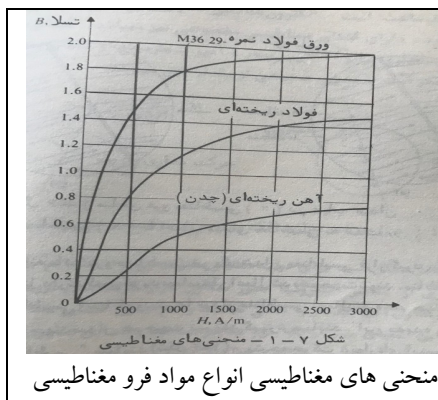
شکل (۱۴-۲)

مثال ۲-۲: شکل (۱۴-۲) مدار مغناطیسی یک دیناموی ۴ قطبی را نشان می‌دهد. آرمیچر از فولاد سیلیسی و یوغ و هسته‌های قطبی از جنس فولاد معمولی نرم هستند سیم پیچی‌های قطبها با هم سری شده‌اند. اندازه هندسی ابعاد در روی شکل داده شده‌اند و تعداد دحلقه‌های هر بدست واقع بر هسته قطبی $n = 1200$ دور میباشد. جریان تحریک را طوری محاسبه نمایند تا فورانی برابر 0.06 و بر در زیر هر قطب ایجاد شود. منحنی‌های مغناطیسی مربوط به این مدار همان منحنی‌های نشان داده شده در شکل (۶-۲) میباشد. از فوران پراکندگی صرف نظر میشود. حل - یک خط فوران را بین دو قطب مجاور هم مانند $ABCDEF$ را در نظر میگیریم:

فوران 0.06 و بر که در فاصله هوایی CD وجود دارد بدو قسمت متساوی تقسیم میگردد یکی بسمت چپ در امتداد EF و دیگری بسمت راست در امتداد EH هدایت میشود. بنا - براین فورانی که در امتداد FE و در قسمت AB بوغ گردش خواهد نمود برابر 0.03 و بر خواهد بود. برعکس در قسمت BC هسته فوران همان 0.06 و بر باقی میماند.

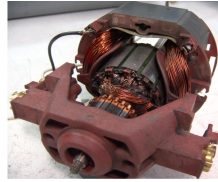
با داشتن اندازه مقاطع در قسمتهای مختلف: اندوکسیونهای مربوط با آنها را به ترتیب زیر محاسبه مینماییم:

۲- بررسی مشخصات مواد فرومغناطیسی مورد استفاده در ساخت هسته ماشینهای الکتریکی.



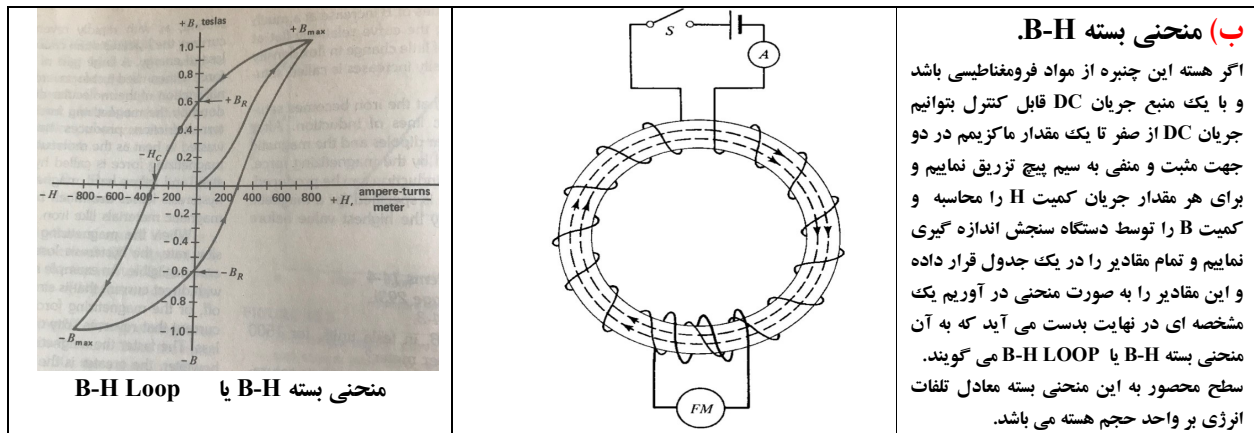
الف) اولین مشخصه مواد فرومغناطیسی عبارت است از منحنی‌های مغناطیسی که بیان کننده تغییرات B در ازای تغییرات H ، یعنی منحنی $B=f(H)$ این منحنی غیر خطی است و مشکلات زیادی را برای طراحان ماشینهای الکتریکی به وجود می آورد.

منحنی‌های وسطی مشخصات مغناطیسی مواد دبا و پارا مغناطیس است

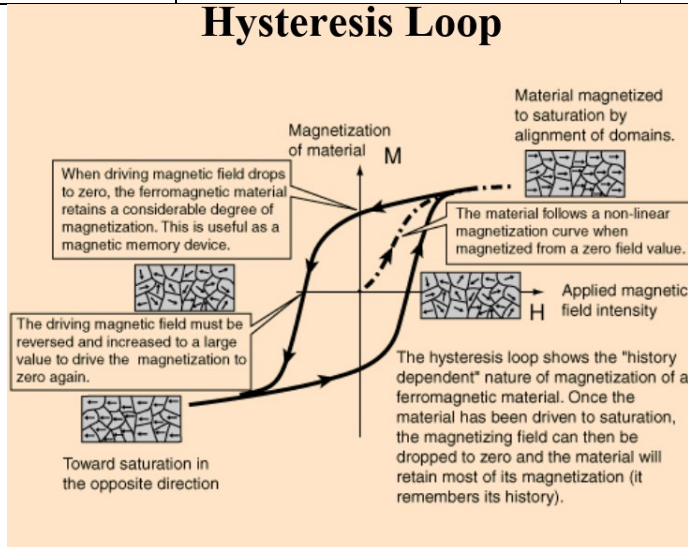


درس: ماشین الکتریکی ۱

مدرس: دکتر یوسف علی نژاد برمی



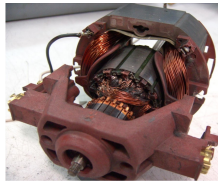
Hysteresis Loop



فرایند مغناطیس شوندگی در یک سیکل کامل

۳- مکانیزم ایجاد تلفات - تقسیم بندی و محاسبه تلفات انرژی در مواد فرومغناطیسی .

۱-۳ ثابت کنید که سطح محصور به منحنی بسته مغناطیسی (B-H LOOP) معادل انرژی تلف شده در واحد حجم هسته فرومغناطیسی می باشد.



$$V_i = R_i i + N \frac{d\phi}{dt}$$

$$P_i = (R_i i + N \frac{d\phi}{dt}) i = R_i i^2 + N i \frac{d\phi}{dt}$$

$$H \cdot l_{av} = N \cdot i$$

$$\phi = \frac{H \cdot l_{av}}{N} \cdot A \frac{dB}{dt} = A l_{av} H \frac{dB}{dt}$$

$$A l_{av} = V \rightarrow \text{حجم هسته}$$

$$P_{core} = V \left(H \cdot \frac{dB}{dt} \right)$$

$$dW_{core} = P_{core} \cdot dt = V \left(H \cdot \frac{dB}{dt} \right) dt$$

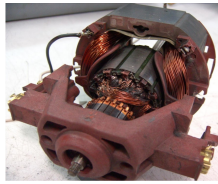
$$W_{core} = V \int H dB = V \left(\int_{-B_{max}}^{+B_{max}} H dB \right)$$

$$\int H dB \frac{dt}{dt} = \frac{W_{core}}{V}$$

پس به راحتی اثبات می‌گردد که سطح محصور به منحنی بسته مغناطیسی (B-H LOOP) معادل تلفات انرژی بر واحد حجم در هسته های مغناطیسی می باشد.

۲-۳- در اینجا بهتر است تلفات هسته ها را بر حسب W/Kg بدست آوریم.

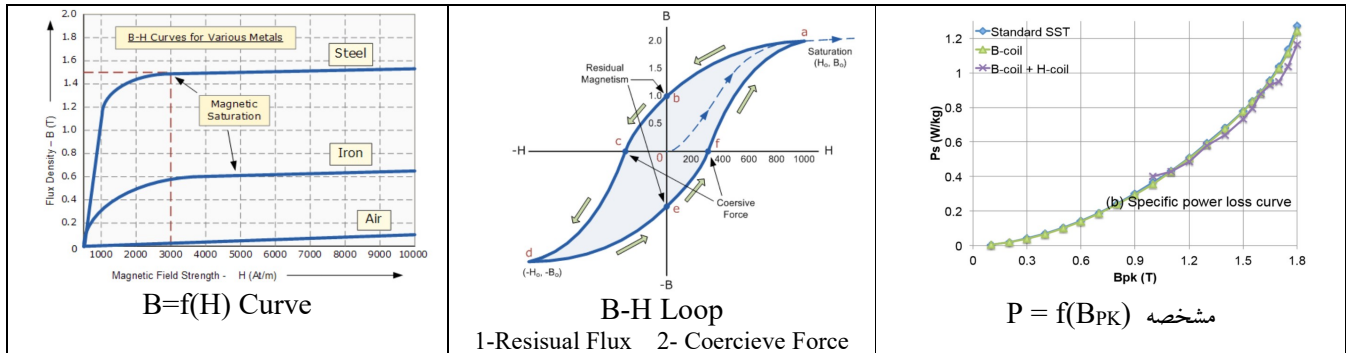
پیر داریم: $W_{core} = V \int H dB \rightarrow \text{Joule}$
 اگر فرض کنیم رابط فوق را در زمان هر چرخش مغناطیسی کنتری یعنی هر یک بار با واحد cycle/Sec. تکرار تلف کرده‌ایم. تلفات تلف کرده‌ایم. تلفات تلف کرده‌ایم.
 $P_{core} = f V \int H dB \rightarrow \text{J/Sec} \rightarrow \text{W}$
 این تلفات تلفات تلفات مغناطیسی با حجم هسته است اما اگر تلفات هسته را بر حسب W/Kg تعیین کنیم با کارهای عملی طراحی ماشین‌های الکتریکی مناسب‌تر است. پیدا کردن تلفات هسته خیلی آسانتر از محاسبه حجم هسته است.
 $\rho = \frac{m}{V} \rightarrow \text{Kg/m}^3$
 اگر فرض کنیم رابط فوق را بر m تقسیم کنیم داریم.
 $\frac{P_{core}}{m} = \frac{f}{m/V} \int H dB = \frac{f}{\rho} \int_{-B_{max}}^{+B_{max}} H dB$
 می‌توانیم حدود استاندارد به زمان تبدیل کنیم.
 $P_{core} = \frac{f}{\rho} \int H \left(\frac{dB}{dt} \right) dt \rightarrow \text{W/Kg}$



درس: ماشین الکتریکی ۱

مدرس: دکتر یوسف علی نژاد برمی

پس سومین مشخصه مواد فرومغناطیسی مشخصه مربوط به تلفات هسته می باشد.



۳-۳ تقسیم بندی تلفات هسته

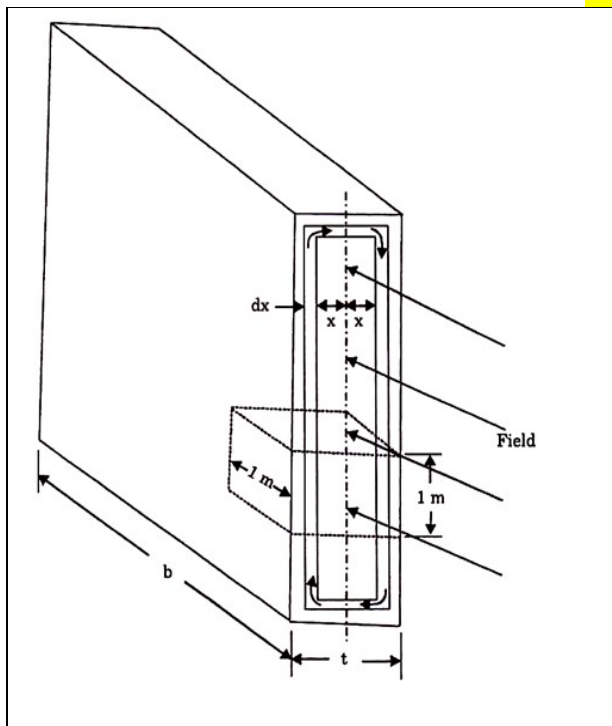
تلفات هسته به دو صورت تحت عنوان تلفات هیستریزیس و تلفات جریانهای گردابی در هسته ماشینهای الکتریکی ایجاد می گردد.

۱-۳-۳ تلفات هیستریزیس (Hysteresis Core Loss)

مکانیزم ایجاد این تلفات مرتبط است با چگونگی رفتار داخلی مواد فرومغناطیسی که در پروسه تقویت کنندگی میدان توسط این مواد انجام می شود. برای محاسبه این مولفه تلفات هسته بایستی وقتی هسته را در آزمایشگاه تحت میدان مغناطیسی قرار می دهیم افزایش جریان در سیم پیچ مغناطیس کننده را به آرامی در دو جهت مثبت و منفی افزایش و کاهش دهیم تا از ایجاد جریانهای گردابی و در نتیجه از مولفه دوم تلفات که تلفات ناشی از جریانهای گردابی است جلوگیری شود.

مساحت منحنی بسته ای که به این ترتیب بدست می آید مساوی انرژی تلف شده بر واحد حجم این مولفه از تلفات می باشد. و می توان با محاسباتی که در بالا انجام شد بر حسب W/Kg بدستش آورد.

۲-۳-۳ تلفات جریانهای گردابی با جریانهای فوکو (Eddy Current Power Loss).

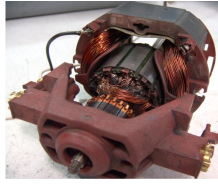


اگر در شکل روپرو یک میدان مغناطیسی متغیر با زمان از سطح یک ورقه از مواد فرومغناطیسی عبور نماید طبق قانون فارادی از قوانین القا یک نیروی محرکه الکتریکی در سطح هسته القا می گردد. و چون هسته از مواد فرو مغناطیسی که به لحاظ لاکتریکی هادی هستند تشکیل شده لذا این نیروی محرکه الکتریکی تبدیل به جریانهای گردابی در مسیرهای دورانی گردیده و چون مسیری که این جریانهای گردابی در آنها جاری می گردد دارای مقاومت الکتریکی R می باشد لذا باعث ایجاد تلفات انرژی گردیده که این مولفه از تلفات هسته را تلفات جریانهای گردابی یا تلفات فوکو می نامند.

$$d\Phi/dt \rightarrow e_i = -d\Phi/dt \rightarrow i_i = e_i/R \rightarrow P_{ed} = Ri^2$$

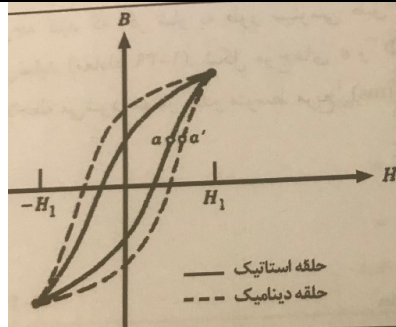
سوال: آیا مشخصه منحنی بسته B-H که معرف تلفات هسته می باشد هر دو مولفه تلفات هسته (هیستریزیس و فوکو) را نشان می دهد.

جواب: بله: B-H Loop اگر تحت شرایط بسیار آرام مغناطیس شوندگی بدست آید بطوریکه جریانهای گردابی در هسته بوجود نیاید سطح هسته متناسب با مولفه هیستریزیس است. در صورتیکه سیم پیچ مغناطیسگر با جریان متناوب تغذیه گردد در نتیجه یک شار مغناطیسی متغیر با زمان در هسته ایجاد می گردد که مطابق شرح فوق باعث ایجاد تلفات فوکو نیز می گردد. درواقع مغناطیس شوندگی دینامیکی باعث پهن تر شدن B-H Loop می گردد.



درس: ماشین الکتریکی ۱

مدرس: دکتر یوسف علی نژاد برمی



Let us consider 1 metre axial length and also 1 metre width of sheet. Take an elemental path of thickness dx at a distance x from the axis. Flux enclosed by 1 metre length of this path,

$$\phi = B \text{ (flux density)} \times 2x \times 1 \text{ (area)} = 2xB$$

$$= 2xB \sin \omega t$$

Instantaneous value of eddy e.m.f. induced in the elemental path,

$$e_x = \frac{d\phi}{dt} = \frac{d}{dt}(2xB_{\max} \sin \omega t)$$

$$= 2x B_{\max} \omega \cos \omega t = 2x \omega B_{\max} \cos \omega t.$$

R.m.s. value of eddy e.m.f. in the elemental path,

$$E_{e.m.s.} = \frac{1}{\sqrt{2}} \times E_{\max}$$

$$= \frac{1}{\sqrt{2}} \times 2x \omega B_{\max} \quad [\because E_{\max} = 2x \omega B_{\max} \text{ i.e., when } \cos \omega t = 1]$$

$$= \sqrt{2} x \omega B_{\max} = \sqrt{2} x \times 2\pi f B_{\max} = 2\sqrt{2} x \pi f B_{\max}$$

If ρ is the resistivity of material, the resistance of each elemental path,

$$R_{xe} = \frac{2 \times \rho}{1 \times dx} = \frac{2\rho}{dx}$$

(Neglecting portions of path parallel to edges of plates).

\therefore Eddy current in element path

$$I_{xe} = \frac{E_{xe}}{R_{xe}} = \frac{2\sqrt{2} x \pi f B_{\max}}{2\rho/dx} = \frac{\sqrt{2} \pi f B_{\max} x dx}{\rho}$$

Eddy current loss in this path with 1 metre length and 1 metre width is

$$P_{xe} = I_{xe}^2 R_{xe} = \frac{2\pi^2 f^2 B_{\max}^2 (x dx)^2}{\rho^2} \times \frac{2\rho}{dx}$$

$$= \frac{4\pi^2 f^2 B_{\max}^2}{\rho} \cdot x^2 dx$$

Total eddy current loss in a plate 1 metre wide, 1 metre long and t metre thick is

$$= \int_{x=0}^{x=t} \frac{4\pi^2 f^2 B_{\max}^2}{\rho} \cdot x^2 dx = \frac{4\pi^2 f^2 B_{\max}^2}{6\rho} t^3 \text{ watt}$$

\therefore Eddy current loss per unit volume

$$= \frac{4\pi^2 f^2 B_{\max}^2}{6\rho}$$

(the volume being $t \text{ m}^3$)

$$= K_e f^2 B_{\max}^2 \text{ watt}$$

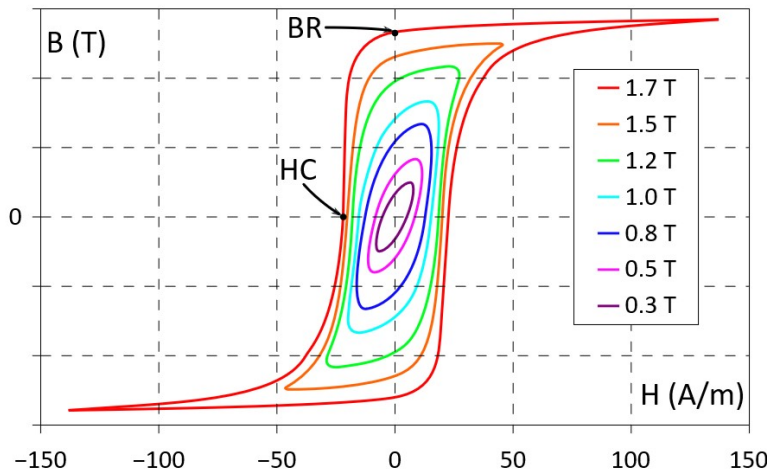
where, $K_e = \frac{4\pi^2 f^2}{6\rho}$

۳-۳-۳ اندازه گیری تلفات هسته

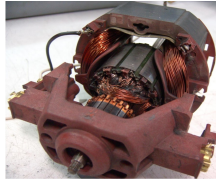
با مطالبی که تا اینجا بررسی شد مشخص است که تلفات کل هسته (جمع دو مولفه هیستریزیس و فوکو) در هر چگالی شاری که هسته را مغناطیس کنیم از رابطه زیر بدست می آید.

$$P_{\text{core}} = (f/\rho) [\text{integral}](HdB/dt) \rightarrow \text{W/Kg}$$

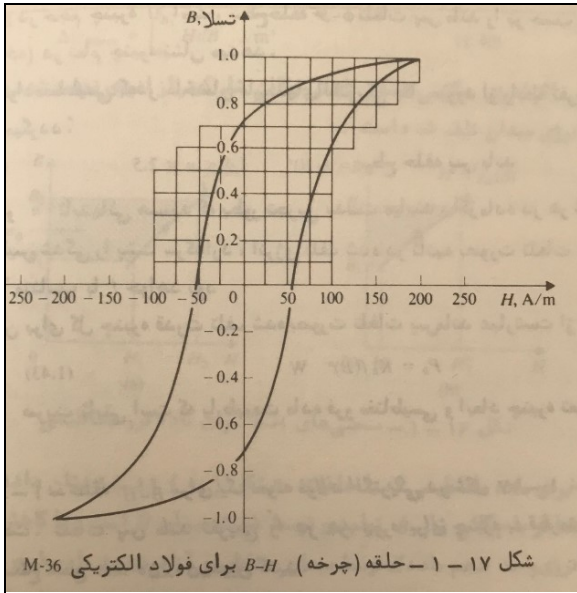
این رابطه نشان می دهد که اصل کار در محاسبه تلفات هسته اندازه گیری سطح منحنی بسته مغناطیسی یا همان B-H Loop است.



منحنیهای بسته B-H در چگالی شارهای مختلف



محاسبه دقیق توان تلف شده در هسته در هر چگالی شاری از محاسبه سطح B-H Loop در آن چگالی شار بدست می آید. برای شروع به تمرین زیر توجه کنید.



مثال ۴-۱ - حلقه B-H برای یک نمونه فولاد الکتریکی در شکل ۱۷-۱ نشان داده شده است. تلفات پس ماند تقریبی را در هر دوره برای چنبره به قطر متوسط ۳۰۰ mm و سطح مقطع ۵×۵۰ mm تعیین کنید.

حل:

سطح هر مربع در شکل ۱-۱۷ عبارتست از:

$$\frac{2}{5} \times \frac{2}{5} = \frac{4}{25} = 0.16 \text{ متر مربع}$$

اگر مربع هائی که بیش از نصف آنها داخل حلقه است کاملاً داخل حلقه پس ماند در نظر گرفته و از مربع هائی که بیش از نصف آنها خارج حلقه است صرف نظر کنیم مساحت چرخه پس ماند چنین خواهد شد:

$$2 \times 43 \times 2.5 = 215 \text{ J/m}^2$$

حجم چنبره عبارتست از:

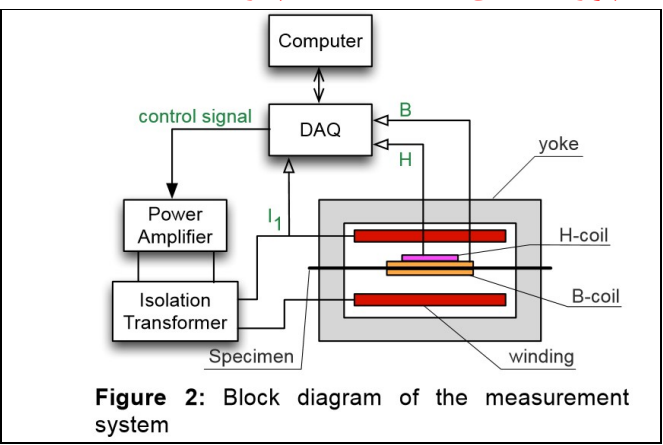
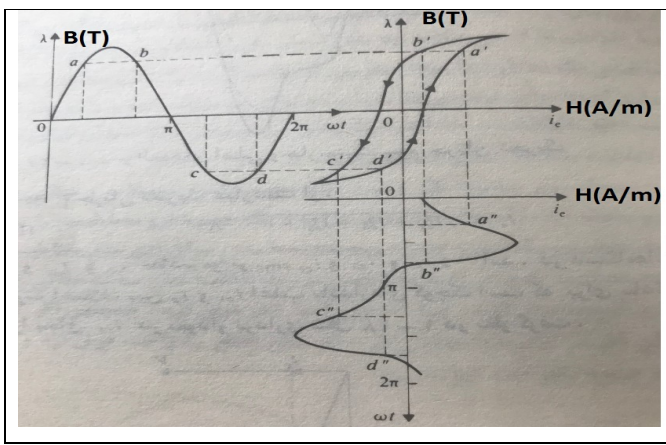
$$0.05^2 \times 0.3\pi = 2.36 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

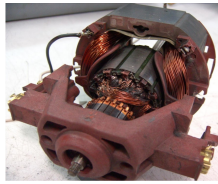
تلفات انرژی در چنبره بر هر سیکل عبارتست از:

$$2.36 \times 10^{-3} \times 215 = 0.507 \text{ J}$$

تمرین: اگر چگالی جرمی مواد مغناطیسی تشکیل دهنده هسته چنبره تمرین فوق ۷۸۰۰ کیلو گرم ($\rho = 7800 \text{ Kg/m}^3$) بر متر مکعب باشد تلفات هسته را در فرکانس ۵۰ هرتز ($f=50 \text{ Hz}$) بر حسب W/Kg بدست آورید.

مشاهده می گردد که مشکل اساسی اینجا محاسبه دقیق سطح منحنی بسته می باشد ولی امروزه با استفاده از سیستمهای دیجیتالی و نرم افزارهای کامپیوتری به راحتی محاسبه تلفات امکان پذیر شده است.





درس: ماشین الکتریکی ۱

مدرس: دکتر یوسف علی نژاد برمی

روابط مربوط به جدا سازی تلفات هیستریزس و فوکو

(۲-۲۸) $P_E = \eta_E f^2 V e^2 B_{max}^2$

ملاحظه میشود که برای یک اندوکسیون یکسان: تلفات هیستریزس متناسب با فرکانس تغییر میکند در صورتیکه تلفات فوکو با مجذور فرکانس تغییر مینماید. در ماشینهای الکتریکی تلفات هیستریزس و فوکو پدیده‌هایی زیان‌آور و مزاحمی را ایجاد میکنند، بدین دلیل همواره سعی میشود تا مواد مغناطیسی نگار گرفته شده حتی الامکان دارای حلقه هیستریزس باریک و کوچک باشند. مثلا " فولاد نرم برای ساختن یوگ یا استاتور ماشین‌های گردان، و فولاد با سیلیسیم عیار پائین (۲ تا ۳) درصد برای آرمیچر یا روتورهای ماشینهای جریان دائم، فولاد با ذرات جهت داده شده با عیار بالائی از سیلیسیم (۴ تا ۵) درصد برای ورتهای ترانسفورماتور.

شکل (۲-۲۲)

۳-۸-۲- فرمول‌های عملی محاسبه تلفات: میتوان تلفات هیستریزس را بطریقی دیگر بیان نمود که در آن انرژی داده شده بوسیله منبع جهت مغناطیس کردن حلقه مغناطیسی در نظر گرفته میشود: طبق رابطه (۱-۵۶) انرژی جزئی یک جزء حجمی d از حلقه مغناطیسی برای یک تغییرات dB اندوکسیون که در آن میتوان H را ثابت نگهداشته باشیم چنین میشود:

$$d\left(\frac{dW}{dt}\right) = H dB$$

انرژی جزئی که بوسیله جزء حجمی از منبع در یک پریمود جذب میگردد بوسیله سطح σ از سیکل هیستریزس $B(H)$ مطابق زیر مشخص شده است.

$$\frac{dW}{dt} = \int_{\text{پریمود}} H dB = \sigma$$

چنانچه با V حجم حلقه مغناطیسی را نشان دهیم: انرژی جذب شده در یک پریمود برابر است با:

$$W = \sigma V$$

و قدرت مطابقت کننده با فرکانس f عبارتست از:

$$P_H = f \sigma V \quad (۲-۲۶)$$

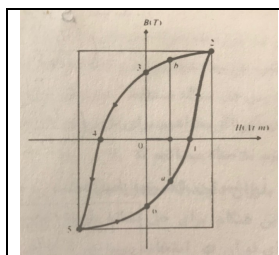
از طرفی چون سطح σ با مجذور اندوکسیون ماکزیم B_{max} متناسب است:

$$\sigma = \eta_H B_{max}^2$$

پس رابطه (۲-۲۶) میتواند چنین نوشته شود:

$$P_H = \eta_H f V B_{max}^2 \quad (۲-۲۷)$$

که در آن η_H ضریب مشخصه مربوط به فرم و تلفات هیستریزس میباشد. در فلزات تلفات دیگری بنام تلفات فوکو داخل میشوند که در اثر گردش جریان‌های حاصله نیروی‌های محرکه القاء شده در مسیرهای بسته فلز ناسی میشوند که برای تضعیف و کاستن این تلفات: هسته مغناطیسی را مورق کرده و ورته‌ها را از هم عایق مینمایند. اگر حجم هسته V و ضخامت هر ورقه e باشد تلفات فوکو از فرمول زیر محاسبه میشود:

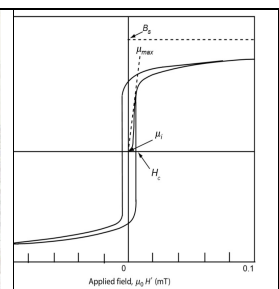


مشخصه B-H Loop

ورق آهن معمولی وارد شده به کارخانه با تلفات بسیار زیاد و ضریب نفوذ مغناطیسی بسیار کم

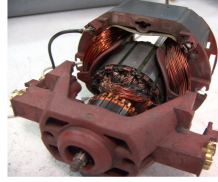


ورقه های فولاد الکتریکی تولید شده در کارخانه سازنده این مواد جهت ساخت هسته ماشینهای الکتریکی



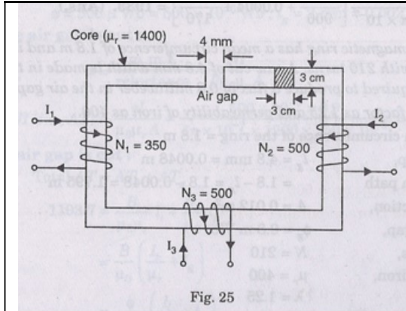
منحنی بسته مغناطیسی (B-H Loop) ورقه های الکتریکی

تولید شده جهت ساخت هسته ماشینهای الکتریکی با تلفات بسیار کم و ضریب نفوذ مغناطیسی بسیار بالا



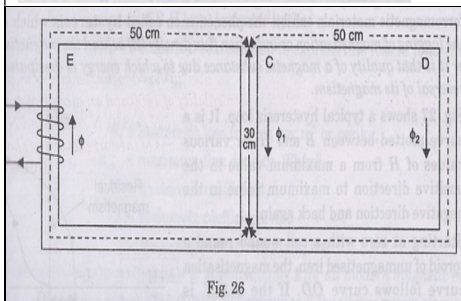
درس: ماشین الکتریکی ۱

مدرس: دکتر یوسف علی نژاد برمی



rectangular core shown in Fig. 25 has a mean length of magnetic path of 120 cm, cross-section of $(3 \text{ cm} \times 3 \text{ cm})$, relative permeability of 1400 and an air gap of 4 mm cut in the core. The three coils carried by the core have number of turns $N_1 = 350$, $N_2 = 500$ and $N_3 = 500$, and the respective currents are 1.5 A, 3.5 A and 2.5 A. The directions of the currents are as shown. Find the flux in the air gap.

تمرین ۱:



Example 16. A cast steel magnetic structure made for a bar of section $2 \text{ cm} \times 2 \text{ cm}$ is shown in Fig. 29. Determine the current that the 600 turn magnetising coil on the left limb should carry so that a flux of 2 mWb is produced in the right limb. Take $\mu_r = 600$ and neglect leakage.

تمرین ۲-