

دانش اگر در ثریا هم باشد مردمانی از سرزمین پارس بر آن دست خواهند یافت.

پیامبر اعظم (ص)

شرح جامع

ماشین‌های الکتریکی ۱

«مهندسی برق»

مولف: محسن رضایی

انتشارات ارشد

پیشگفتار ناشر

خداوند بزرگ را شاکریم که فرصتی عنایت فرمود تا بتوانیم قدمی در جهت گسترش علم و فرهنگ کشور عزیزمان برداریم و مسیری هموار را در اختیار مخاطبان و داوطلبان علاقمند به ادامه تحصیل قرار دهیم. از آنجائی که درحوزه کتاب‌های درسی و کمک درسی کارشناسی ارشد کتاب‌های زیادی به رشته تحریر در آمده است با این حال وجود یک مجموعه جامع، دقیق، کامل و دارای رفرنس(منابع) مستند احساس می‌شود.

همیشه دغدغه داشتیم که ای کاش می‌شد تمامی منابع پراکنده و گاهاً دست نایافتنی کنکور در یک مجموعه به گونه‌ای جذاب و شیوا آماده می‌شد و همچنین سوالات دوره‌های قبل کنکور نیز به گونه‌ای تشریحی پاسخ داده می شدند، که خدشه‌ای بر آنها وارد نشود و خیال داوطلبان عزیز آنقدر آسوده باشد که اطلاعات مندرج در پاسخنامه‌ها را برای بهره‌گیری در آزمون خود بکار گیرند. این کار با یاری خداوند بزرگ و همکاری نخبه‌ترین دانشجویان و اساتید کشور در انتشارات ارشد هماهنگ گردید و در تمامی مقاطع تحصیلی از کاردانی به کارشناسی، کارشناسی ارشد و دکتری در حوزهٔ آزمون‌های سراسری – آزاد و پیام نور بسته‌های آموزشی که شامل کتاب‌های بانک سوالات و کتاب‌های شرح جامع درس آماده گردید. در تهیه مجموعه‌های فوق‌الذکر از فارغ‌التحصیلان کارشناسی ارشد که حائز رتبه‌های تک رقمی کنکور می‌باشند، استفاده کرده‌ایم، تا شما عزیزان بتوانید در راستای افزایش توان علمی خود در جهت نیل به مقصود خویش نایل آیید. بدون تردید می‌توان گفت که برای اولین بار در نظام آموزشی کشور مجموعه‌ای به این سبک عرضه می‌شود که در کیفیت و کمیت بی‌نظیر بوده و تمامی نیازهای داوطلبان عزیز را پوشش داده است. امید است که استفاده از این مجموعه عزیزان را در جهت موفقیت در آزمون یاری رسانده باشد. در پایان لازم به ذکر است که بی نقصی محض از آن خداوند متعال می‌باشد، بنا براین از تمامی خوانندگان و داوطلبان عزیز خواهشمندیم نظرات سازنده خود را در مورد این کتاب به سایت انتشارات ارشد اعلام نمایند تا ما را در جهت هر چه بهتر آماده کردن این محصولات یاری رسانند.

با تشکر

ناشـــــر

www.arshadbook. ir

تقدیم به:

پدر بزرگوارم

و

مادر عزیزم

پیشگفتار مؤلف

از آنجاییکه همه ما می‌دانیم نشانه رشد و اعتلای صنعتی هر کشوری پیشرفت در صنعت برق آن است لذا پیش‌نیاز این امر تفهیم درست تئوری این رشته در میان مهندسین برق است که مهندسین با مراجعه به منابع تئوری جامع بتوانند آنها را به صورت صحیح، عملیاتی و پیاده‌سازی نمایند. لذا دانشجویان این رشته عدم وجود اثری که بتواند نیازهای آنان را اعم از تفهیم درست و جامع و بی‌عیب و نقص برآورده سازد را احساس می‌کردند لذا اینجانب بر آن شدم تا در کمک (هرچند اندک) به این قشر که آینده اقتصادی و صنعتی کشورمان را رقم خواهند زد قدمی بردارم که امیدوارم توانسته باشم این خلاء را پرکنم. با توجه به اینکه همه ما جایزالخطا هستیم و این امری اجتناب‌ناپذیر است صمیمانه پذیرای انتقادات و پیشنهادات شما دوستان هستیم. متعاقباً از زحمات و کمک‌های بی‌شائبه خانم‌ها محدثه رضایی و معصومه رضایی جهت ویراستاری و مدیریت محترم مؤسسه انتشاراتی ارشد صمیمانه تشکر می‌نمایم.

لطفاً انتقادات ، پیشنهادات و نقطه نظرات خود را به آدرس زیر ارسال کنید:

Mail: kntumr@mail.com

با تشکر

محسن رضائی

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

پیشگفتار ناشر ۳
پیشگفتار مؤلف ۴

فصل اول : مدارهای مغناطیسی

۱- ماشین‌های الکتریکی ۹
۲- ماشین‌های دوار ۹
۳- مدارهای مغناطیسی ۹
۴- تفاوت‌های مدارهای الکتریکی و مغناطیسی ۱۱
۵- منحنی مغناطیسی ۱۳
۶- انواع مدارهای مغناطیسی ۱۳
۷- منحنی(حلقه) هیسترزیس ۲۰
۹- ولتاژ القایی ۲۶
۱۰- جریان تحریک(**Exciting current**) ۲۷
۱۱- موادمغناطیسی به دو دسته تقسیم می‌شوند ۲۸
خلاصه فصل ۳۲
تست‌های آخر فصل ۳۳
پاسخ تست‌های آخر فصل ۳۶

فصل دوم : اصول کار ماشین‌های الکتریکی

۱- تبدیل انرژی الکتریکی ۴۱
۲- سیستم تک‌تحریکه ۴۲
۳- بررسی حالت گذرا ۴۴
۴- موتور رلاکتانسی ۴۷
۵- قانون هم‌ترازی **Alignment** ۴۸
۶- محاسبه گشتاور از طریق توان ۵۰
۷- سیستم دو تحریکه ۵۲
۸- ماشین سنکرون تکفاز با روتور استوانه‌ای ۵۴
۹- ماشین سنکرون دو فاز با روتور استوانه‌ای ۵۵
۱۰- ماشین سنکرون تکفاز با روتور قطب برجسته ۵۶
۱۱- ماشین آسنکرون (القایی) ۶۲

عنوان صفحه

۱۲- اساس کار ماشین‌های آسنکرون ۶۲
۱۳- دینامیک سیستم‌های تبدیل انرژی الکترومکانیکی ۶۴
خلاصه فصل ۶۶
تست‌های آخر فصل ۶۷
پاسخ تست‌های آخر فصل ۷۲

فصل سوم : ساختار ماشین‌های DC و انواع آنها

۱- ماشین‌های **DC** ۷۹
۲- ولتاژ القایی در یک حلقه ۸۲
۴- سطح خنثی ۸۴
۵- گشتاور القایی ۸۴
۶- بررسی ولتاژ القایی در یک ماشین **DC** چهارکویلی ۸۵
۷- دیاگرام گسترده برای نمایش شیارها و هادیها ۸۶
۸- انواع سیم پیچ‌ها ۸۶
۹- ولتاژ القایی ۹۰
۱۰- گشتاور القایی ۹۱
۱۱- عکس‌العمل آرمیچر ۹۱
۱۲- اثر عکس‌العمل آرمیچر ۹۲
۱۳- فرآیند کموتاسیون ۹۳
۱۴- تلفات در ماشین **DC** ۹۷
۱۵- انواع ژنراتورهای **DC** ۱۰۱
۱۶- ژنراتور **DC** نوع شنت ۱۰۴
۱۷- ژنراتور **DC** نوع سری ۱۰۶
۱۸- ژنراتور **DC** کمپوند و انواع آن ۱۰۷
۱۹- موازی کردن ژنراتورها ۱۰۹
۲۰- موتورهای **DC** ۱۱۱
۲۱- مدار معادل موتور **DC** شنت و مشخصه خروجی آن ۱۱۲
۲۲- روش‌های کنترل سرعت موتورهای **DC** ۱۱۳
۲۳- موتور **PMDC** ۱۱۵
۲۴- موتور **DC** نوع سری ۱۱۵
۲۵- موتور **DC** کمپوند و انواع آن ۱۱۶
۲۷- تلفات و بازده ۱۲۲
۲۸- روش اندازه‌گیری مقاومت آرمیچر ۱۲۳
خلاصه فصل ۱۳۱
تست‌های آخر فصل ۱۳۴
پاسخ تست‌های آخر فصل ۱۴۰
منابع و مآخذ ۱۴۹

فصل اول

مدارهای مغناطیسی

عناوین اصلی

- ماشین‌های الکتریکی
- ماشین‌های دوار
- مدارهای مغناطیسی
- تفاوت‌های مدارهای الکتریکی و مغناطیسی
- منحنی مغناطیسی
- انواع مدارهای مغناطیسی
- منحنی(حلقه) هیسترزیس
- ولتاژ القایی
- جریان تحریک (Exciting current)
- موادمغناطیسی به دو دسته تقسیم می‌شوند

فصل اول

مدارهای مغناطیسی

۱- ماشین‌های الکتریکی

به دستگاهی گفته می‌شود که بتواند انرژی مکانیکی را به الکتریکی یا انرژی الکتریکی را به مکانیکی تبدیل کند. اگر انرژی الکتریکی را به مکانیکی تبدیل کند. موتور الکتریکی نام دارد. اگر انرژی مکانیکی را به الکتریکی تبدیل کند. ژنراتور نام دارد.

۲- ماشین‌های دوار

به طور پیوسته و مستمر در هر مدت زمان اختیاری، تبدیلات انرژی را به هر دو صورت انجام می‌دهند در مقابل این ماشین‌ها، ماشین‌ها۰۰یی وجود دارند که در یک مقطع کوتاه تبدیل انرژی را انجام داده و عمل به پایان می‌رسد مانند رله‌ها.

ترانسفورماتورها جزء ماشینهای الکتریکی نیستند.چون تنها انتقال انرژی را شامل می‌شود نه تبدیل آن و در ماشین‌های الکتریکی برای تبدیل یا انتقال انرژی از یک واسطه استفاده می‌شود که نمی‌تواند میدان الکتریکی یا مغناطیسی باشد ولی چون نیروی ایجاد شده در میدان مغناطیسی بیشتر است از میدان مغناطیسی استفاده شده و مسیر بطورساده مدار مغناطیسی نام دارد.

یک ماشین الکتریکی را می‌توان به چند بخش تقسیم کرد:

مدار مغناطیسی: مسیر عبور شار یا فلاکس

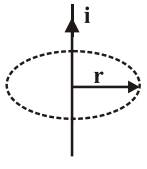
مدار الکتریکی: مسیر عبور جریان الکتریکی

مدار حرارتی: انتقال حرارت تولید شده به سه طریق صورت می‌گیرد: هدایت، تشعشع و جابجایی که عمده آن از طریق جابجایی منتقل می‌شود و مسیر عبور این حرارت مدار حرارتی نام دارد. تولید حرارت تا جایی ادامه دارد که به درجه حرارت ماکزیمم برسد و دیگر درجه حرارت ماشین بالا نمی‌رود این حالت زمانی اتفاق می‌افتد که مقدار حرارت تولید شده در اثر تلفات انرژی با مقدار حرارت اتتقال یافته به بیرون برابر شود.

θ_m: ماکزیمم افزایش درجه حرارت نسبت به محیط که برای هر ماشین مقدار خاصی دارد و به همین دلیل قدرت دریافتی از ماشین محدود است در صورتی که اگر تمام گرمای تولید شده به خارج منتقل می‌شود می‌توانستیم قدرت بی‌نهایت از ماشین بگیریم.

قدرت ژنراتور الکتریکی برحسب watt و قدرت موتورالکتریکی برحسب horse power بیان می‌شود. (۱hp=۷۴۶ watt)

۳- مدارهای مغناطیسی



$$\oint \overline{H}.\overline{M} = \sum i$$

$$H.2\pi r = i$$

$$H = \frac{i}{2\pi r}[\frac{A}{m}]$$

$B \Leftarrow \vec{B} = \mu \vec{H}$: چگالی شار مغناطیسی

H: شدت میدان مغناطیسی

μ: ضریب نفوذ(permeability)

$$\varphi = \int \vec{B}.\vec{ds} \quad \underset{\text{B یکنواخت}}{\theta = ۹۰^\circ} \quad \underset{[\omega b]}{\varphi} = \underset{[T]\ \omega b/m^۲}{B} . A$$

در مورد هوا و خلأ داریم:

$$B = \mu_. H \rightarrow \mu_. = ۴\pi \times ۱۰^{-۶} \quad [\frac{H}{m}] = [\frac{\omega b}{mA}]$$

برای بدست آوردن واحد μ طبق قانون فاراده داریم:

$$e = N\frac{d\varphi}{dt} \rightarrow \omega b = v.sec \rightarrow H = \frac{\omega b}{A}$$

تقسیم بر طرفین

$$e = L\frac{di}{dt} \rightarrow H = \frac{v.sec}{A}$$

$$\mu_r = \frac{\mu}{\mu_.} \rightarrow \mu = \mu_. \mu_r \quad , \quad B = \mu_. \mu_r H$$

هوا $\mu_r = ۱$: مواد مغناطیسی و $\mu_r = ۲۰۰۰ - ۶۰۰۰$ (در ماشین به کار می‌روند.)

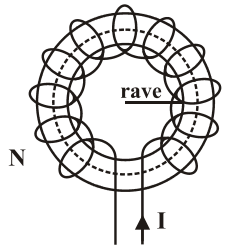
هرچه ضریب نفوذ نسبی (μ_r) بالاتر باشد. با کمترین نیروی مغناطیسی می‌توان در آن چگالی شار به وجود آورده و آن را مغناطیسی نمود.

برای قوی‌تر شدن ارتباط مغناطیسی سیم‌پیچ‌ها، از مواد مغناطیسی استفاده می‌کنیم. زیرا عبور چگالی شار مغناطیسی از این مواد، بهتر از هوا صورت می‌گیرد.

میدان مغناطیسی در اثر وجود بارالکتریکی متحرک ایجاد می‌شود. در مواد مختلف حرکت الکترونها به دور خود و هسته میدان مغناطیسی ایجاد می کند و در تمام مواد به جز آهن و نیکل و کبالت اثرات این میدانها خنثی می‌شود ولی در این عنصرها، گشتاور حاصله از این میدانها همسو بوده و به ماده خاصیت مغناطیسی می‌دهند و به همین دلیل، آهن و کبالت و نیکل مواد فرومغناطیسی نام دارند. البته این مواد به ظاهر خاصیت مغناطیسی از خود نشان نمی‌دهند چون مسیر شار در آنها بسته شده و قطب N و S وجود ندارد و به این دلیل فرومغناطیس نامیده می‌شوند که با کمترین جریان، چگالی شار بالایی در آنها ایجاد می‌شود.

منظور از حل مدار مغناطیسی، یافتن چگالی شار اجزای آن است و تمام قوانین مدارهای الکتریکی، قابل تعمیم به مدارهای مغناطیسی هستند.

اگر یک چنبره در نظرمی‌گیریم و جریانی از آن عبور دهیم. می‌توان از شارنشتی(شاری که از طریق هوا مسیرش بسته می‌شود) می‌توان صرف‌نظر کرد چون اغلب شار از داخل هسته می‌گذرد. به این دلیل که هسته و هوا یک مدار موازی را تشکیل داده و شار بیشتر از قسمتی می‌گذرد که ضریب نفوذ بیشتری دارد. اگر در این چنبره، ضخامت هسته را نسبت به شعاع حلقه آن بسیار کوچک فرض کنیم. می‌توان میدان مغناطیسی را تقریباً یکنواخت در نظر بگیریم.



اگر سیم‌پیچ را به صورت متمرکز نیز قرار دهیم B تقریباً تفاوتی نمی‌کند.

$$H : l_{ave} = \underbrace{Ni}_{F}$$ نیروی محرک مغناطیسی (mmf)

$$H \cdot l_{ave} = F \rightarrow H = \frac{F}{l_{ave}} \Rightarrow \frac{B}{\mu} = \frac{F}{l_{ave}}$$

$$\frac{\varphi}{\mu A} = \frac{F}{L_{ave}} \rightarrow \varphi = \frac{F\mu A}{L_{ave}} \rightarrow \varphi = \frac{F}{\frac{L_{ave}}{\mu A}}$$

$R = \frac{L_{ave}}{\mu A} \Rightarrow$ Reluctance مقاومت مغناطیسی

این قانون مشابه قانون اهم در مدارالکتریکی ($i = \frac{e}{R}$) است.

$$\varphi = \frac{F}{R}$$

$i \rightarrow \varphi \quad , \quad e \rightarrow F = Ni \quad R \rightarrow R$

$R = \rho \frac{l}{A} = \frac{l}{\sigma A}$ مقاومت الکتریکی

$R = \frac{l_{ave}}{\mu A}$ مقاومت مغناطیسی و

واحد رلاکتانس عبارت است از: $[\frac{A}{\omega b}]$

$$\frac{۱}{R} = G \rightarrow \frac{۱}{R} = \lambda(\text{permanence})[\frac{\omega b}{A}]$$

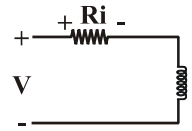
۴- تفاوت‌های مدارهای الکتریکی و مغناطیسی

در مدارهای الکتریکی، جریان الکتریکی و حرکت الکترونها کاملاً واقعی بوده و الکترونها در ماده حرکت می‌کنند ولی شار مغناطیسی و خطوط شار، پدیده‌ای فرضی بوده و چیزی از داخل ماده عبور نمی‌کند.

در مدارهای الکتریکی معمولاً را مقاومت ثابت درنظر می‌گیریم ولی رلاکتاس ثابت نیست چون μ تغییر می‌کند. (به دلیل خطی نبودن منحنی مغناطیسی ماده)

در مدارهای الکتریکی تا زمانی که مدار برقرار است، از منبع انرژی گرفته می‌شود ولی در مدارهای مغناطیسی برای ایجاد فشار به انرژی نیاز داریم ولی برای ابقای شار به انرژی نیازی نیست، یعنی در یک مدارمغناطیسی تا زمانی که شار ثابت است. انرژی لازم نیست و فقط در هنگام تغییرات شار، از منبع انرژی گرفته می‌شود.

$$p = \frac{d\omega}{dt} \rightarrow d\omega = pdt$$



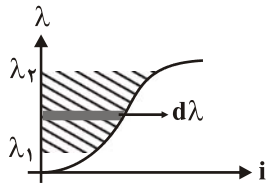
انرژی جذب شده

$$\underbrace{vidt}_{\text{توان گرفته‌شده از منبع}} - \underbrace{Ri^2 dt}_{\text{توان تلف شده در مقاومت}} = \underbrace{(v - Ri)}_{e} idt = \underbrace{e}_{\text{ولتاژ القایی دوسر سیم‌پیچ}} idt$$

$$e = \frac{d\lambda}{dt} = N\frac{d\varphi}{dt} (\lambda = N\varphi)$$

$$d\omega = eidt = \frac{d\lambda}{dt} i\,dt = i\,d\lambda$$

$$\omega = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} i\,d\lambda$$



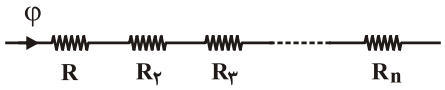
منحنی تغییرات λ نسبت به i

اگر λ تغییر کند، از منبع انرژی گرفته می‌شود ولی اگر λ ثابت باشد. انرژی از منبع گرفته نمی‌شود. می‌توان منحنی تغییرات λ نسبت به i را از طریق منحنی B-H بدست آورد به این ترتیب که داریم:

$$\lambda = N\varphi = NBA \quad , \quad H.L_{ave} = Ni$$

در منحنی $\lambda - i$ ، سطح بین منحنی و محور λ انرژی جذب شده را بدست می‌دهد.

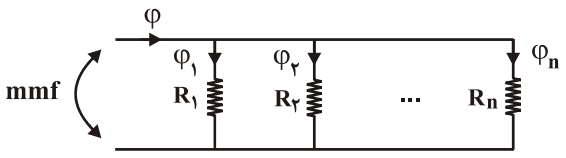
در مدارهای مغناطیسی نیز مانند مدارهای الکتریکی، اجزاء موازی mmf یکسان و اجزاء سری، چگالی شار یکسانی دارند.



$$F = F_1 + F_2 + \cdots + F_n = \varphi R_1 + \varphi R_2 + \cdots + \varphi R_n$$

$$F = \varphi(R_1 + R_2 + \cdots + R_n)$$

$$R_{eq} = \frac{F}{\varphi} - R_1 - R_2 + \cdots + R_n$$



$$\varphi = \varphi_1 + \varphi_2 + \cdots + \varphi_n$$

$$\varphi = \frac{F}{R} = F\Lambda$$

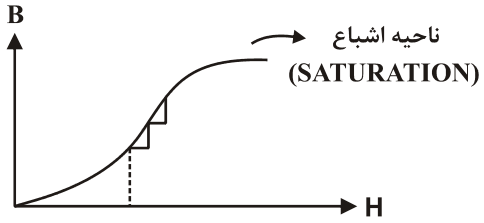
$$\varphi = F\Lambda_1 + F\Lambda_2 + \cdots + F\Lambda_n$$

$$\rightarrow \varphi = F(\Lambda_1 + \Lambda_2 + \cdots + \Lambda_n) \rightarrow \Lambda_{eq} = \frac{\varphi}{F} = \Lambda_1 + \Lambda_2 + \cdots + \Lambda_n$$

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \cdots + \frac{1}{R_n}$$

۵- منحنی مغناطیسی

اگر یک ماده مغناطیسی را که قبلاً مغناطیس نشده در مسیر عبور جریان قرار دهیم، یعنی در آن شار ایجاد کرده و به تدریج با افزایش شار و شدت میدان مغناطیسی. چگالی شار را محاسبه و منحنی تغییرات B را نسبت به H رسم کنیم، خواهیم داشت:



اثر بارک هاوزن (Bark housen effect): در بعضی نواحی B ثابت بوده و در نقاطی که دومین‌ها در راستای میدان قرار می‌گیرند، B ناگهان تغییر می‌کند.

در ناحیه اشباع، راستای میدان‌های مغناطیسی داخل ماده تمایل دارند که هم‌جهت با میدان اصلی شده و جریان زیادی نیاز است به همین دلیل در ماشینهای الکتریکی از مواد مغناطیسی در ناحیه زانویی استفاده می‌شود چون در این ناحیه B تقریباً زیاد بوده و مقدار جریان و تلفات انرژی از ناحیه اشباع کمتر است. همچنین در ناحیه زانویی بیشترین μ(نفوذپذیری مغناطیسی) را داریم و نیز چون در این ناحیه B زیاد است برای دریافت شار بیشتر($\varphi = BA$) به سطح کمتری نیاز داشته و حجم ماشین کمتر خواهد شد.

۶- انواع مدارهای مغناطیسی

۱- خطی: منحنی مغناطیسی خطی و μ ثابت است.

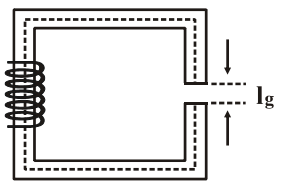
۲- غیرخطی: منحنی مغناطیسی غیرخطی و μ متغیر است وبرای حل آنها باید چگالی شار ثابتی را درنظر گرفت. در مدارهای مغناطیسی با فاصله هوایی اگر از رلاکتانس هسته در برابر رلاکتانس فاصله هوایی صرفنظر کنیم تغییر چندانی در نتیجه ایجاد نمی‌شود. چون طول فاصله هوایی معمولاً خیلی‌کم و رلاکتانس آن بسیار زیاد است.

در این شکل، هسته و فاصله هوایی به طور سری قرارگرفته‌اند و داریم:

شار× (رلاکتانس هوا+رلاکتانس هسته) = mmfتحریک

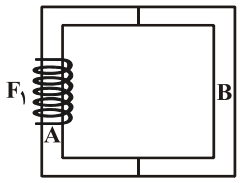
برای محاسبه mmf در مدارات مغناطیسی داریم:

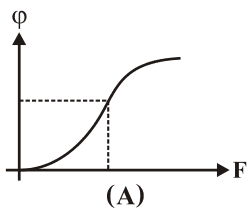
$$\left.\begin{array}{ll} F = \varphi R & \textbf{خطی} \\ F = H_1 l_1 + H_2 l_2 & \textbf{غیرخطی} \end{array}\right\}$$

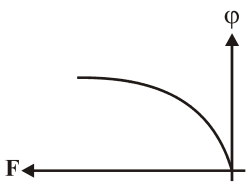


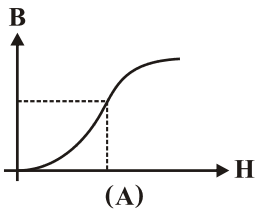
اگر در مواد مغناطیسی mmf تحریک را داده و چگالی شار را خواسته باشند و تعداد اجـزای مـدار زیـاد باشـد، بایـد از روش سعی و خطا استفاده کرد یعنی چگالی شار B را فرض کرده وmmf کل را محاسبه و با مقدار داده شده مقایـسه مـی‌کنـیم و بـا تغییر B، نهایتاً به جواب می‌رسیم.

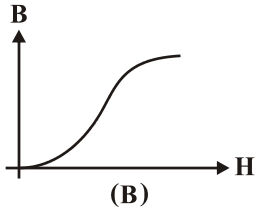
اگر در این حالت، مدار دارای دو جزء باشد، می‌توان از روش ترسیمی استفاده کرد.

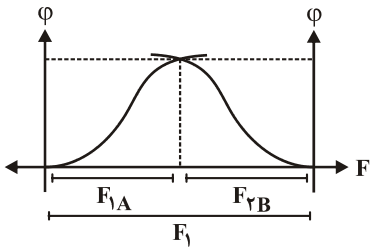












از طریق نمودارهای B-H می‌توان منحنی‌های $\varphi - F$ را رسم کرده ومحل تلاقی آنها شار مشترک دو ماده A و B را بدست می‌دهد.

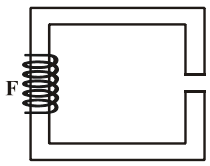
اگر مساحت دو ماده A و B برابر بود نیازی به تبدیل φ و B نیست و فقط باید محور H را به F تبدیل کرد اگر مـساحت دو ماده برابر نبوده ولی طول آنها برابر باشد. B را به φ تبدیل کرده و محور افقی همان H باقی می‌ماند و در این حالت داریم.

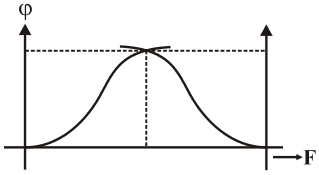
$$F_1 = H_1 l + H_2 l \rightarrow H_1 + H_2 = \frac{F_1}{l} = H_{tot}$$

اگر هم مساحت و هم طول دو ماده برابر باشند، از همان منحنی‌های B-H استفاده می‌کنیم.

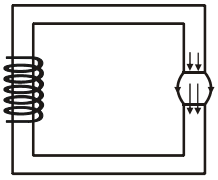
برای فاصله هوایی داریم:

$$B = \mu . H$$





اگر فاصله هوایی خیلی کوچک باشد، شار به طور مستقیم و بدون تغییر از فاصله هوایی عبور می‌کند ولی اگر فاصـله هـوایی خیلی کوچک نباشد. شار در اطراف لبه‌ها، اندکی پراکنده می‌شود و در نتیجه سطح عبور شار از مساحت هسته بیشتر مـی‌شـود چون شار همیشه میل دارد که از محیط با رلاکتانس کمتر عبور کند.



شار پراکندگی(Fringing Flox) غیر از شار

(نشتی است) $\text{مساحت} = (a - l_g)(b - l_g)$

$$\varphi = \varphi_{max} \sin \omega t$$

برای سطح ثابت

$$e = N\frac{d\varphi}{dt} \Rightarrow e = N\omega\varphi_{max}\cos\omega t \quad Erms = \frac{N\varpi\varphi_{max}}{\sqrt{۲}} = \sqrt{۲}\pi fN\varphi_{max} = ۴/۴۴\,NFB\,max\,A$$

توجه: ولتاژ القایی است و با ولتاژ اعمالی مقداری متفاوت است به علت مقاومت هادی و شار نشتی

رلاکتانس(ضریب القایی):L

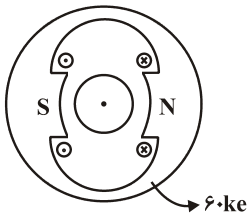
مقدار شار مغناطیسی(φ) است که واحد جریان را به وجود می‌آورد.

$$L = \frac{\lambda}{i} = \frac{N\varphi}{i} = \frac{N^۲\varphi}{Ni} = \frac{N^۲\varphi}{R\varphi} = \frac{N^۲}{R} = N^۲\Lambda$$

$$L = \frac{N^۲}{\frac{l^۲}{\mu R}} = \frac{N^۲.\mu.A}{l}$$

مثال

یک ژنراتور دو قطب دارای مدار مغناطیسی با ابعاد زیر است و نصف آمپر و دور تحریک روی هر یک از قطب‌ها قرارگرفته است.



قطب: $L = ۱۰cm, A = ۴۰۰cm^۲$ از جنس فولاد ریخته‌گری

شکاف هوا: $L = ۰/۱cm, A = ۴۰۰cm^۲$

رتور: $L_{av} = ۲۰cm, A_{av} = ۴۰۰cm^۲$ از جنس فولاد سیلیکنی

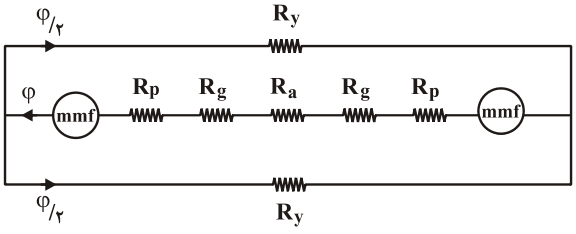
Yoke: $L_{av} = ۱۶۰cm, A_{av} = ۲۰۰cm^۲$ از جنس فولاد ریخته‌گری شده

الف- مدار معادل مغناطیسی این ماشین را رسم کنید.

ب- مطلوست آمپر دور مورد نیاز هر قطب برای تولید چگالی شار $۱/۱T$ در مدار مغناطیسی

ج- شار آرمیچر را بدست آورید.

در ماشین‌ها، معمولا نصف آمپر دور تحریک روی قطبها قرار می‌گیرد چون اگر روی یک هسته دو سیم‌پیچ در جهت مخالف یکدیگر قرارداشته باشند. اثر یکدیگر را خنثی کرده و شاری از داخل هسته عبور نمی‌کند.



می‌توان از طریق مدار معادل فوق محاسبات را انجام داد و یا می‌توان برای یک قطب، جواب را بدست آورده و نتیجه برای قطب دیگر نیز صادق است.

$$\text{قطب}: B_p = ۱/۱T \xrightarrow{\text{زروی منحنی}} H = ۸۰۰\frac{A}{m}, F = ۸۰۰\times۱۰\times۱۰^{-۲} = ۸۰A.T$$

$$\text{فاصله هوایی}: B_g = ۱/۱T \rightarrow H = \frac{B}{\mu_.} = \frac{۱/۱}{۴\pi\times۱۰^{-۷}} = ۸۸\times۱۰^{۴}\frac{A}{m}, F = H.L = ۸۸۰A.T$$

اگر مساحت فاصله هوایی و قطب برابر نبودند باید شار خروجی از قطب را بر مساحت شکاف هوا تقسیم کرده و B هوا را بدست می‌آوردیم که دیگر با ۱/۱T برابر نخواهد بود.

$$\text{مساحت برابر با قطب رتور}: B_a = ۱/۱T \rightarrow H = ۲۸۰\frac{A}{m}, F = ۲۸۰\times۲۰\times۱۰^{-۲} = ۵۶A.T$$

$$\text{yoke}: B_y = ۱/۱T \rightarrow H = ۸۰۰\frac{A}{m}, F = ۸۰۰\times۱۶۰\times۱۰^{-۲} = ۱۲۸۰A.T$$

چون در قسمت yoke، شار و مساحت نصف می‌شود، باز هم میدان ۱/۱T خواهد بود.

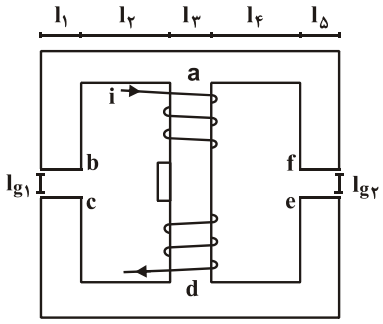
$$AT = AT_P + AT_g + AT_a + AT_g + \cdots = (۲\times۸۰) + (۲\times۸۸۰) + ۵۶ + ۱۲۸۰ = ۳۲۵۶A.T$$

$$AT_P - \frac{AT}{۲} = ۱۶۲۸A.T$$

اگر بخواهیم برای یک قطب محاسبه کنیم داریم:

$$\varphi_a = B.A_a = ۱/۱\times۴۰۰\times۱۰^{-a} = ۴۴۰\times۱۰^{-۴} = ۴۴MWB$$

مثال



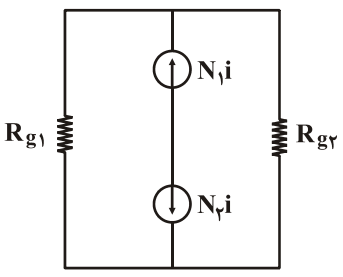
$$Lg_۱ = ۰/۰۵cm$$

$$Lg_۲ = ۰/۱cm$$

$$L_۱ = L_۲ = L_۴ = L_۵ = ۲/۵cm$$

$$L_۳ = ۵cm$$

در مدار مغناطیسی شکل فوق شار در دو فاصله هوایی ایجاد می‌شود. کلانها به طور سری به یکدیگر متصل بوده و جریان $i = ۰/۵A$ از آنها عبور می‌کند. از شار نشتی و رلاکتانس هسته صرفنظر شده(μ هسته بی‌نهایت، فرض شده) و از شار پراکندگی در فاصله هوایی نیز صرفنظر شده، مطلوبست شار و چگالی شار در فاصله هوایی:



$$\text{depth of core} = ۲/۵cm$$

$$N_۱ = ۷۰۰, N_۲ = ۲۰۰ \quad \text{(عرض هسته)}$$

$$A = ۲/۵\times۲/۵\times۱۰^{-۴} = ۶۲۵\times۱۰^{-۶}\ m^۲$$

$$R_{g_۱} = \frac{L_{g_۱}}{\mu_\circ A} = \frac{۰/۰۵\times۱۰^{-۲}}{۴\pi\times۱۰^{-۷}\times۶۲۵\times۱۰^{-۶}} = ۶۳۶۶۱۹۰۸$$