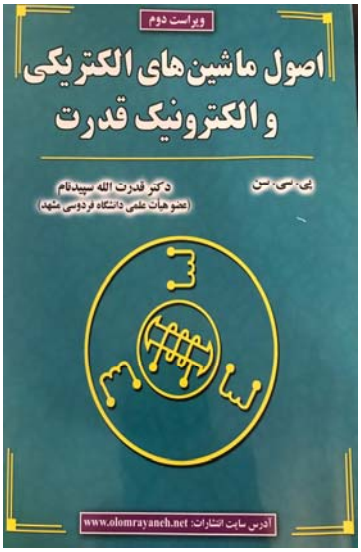
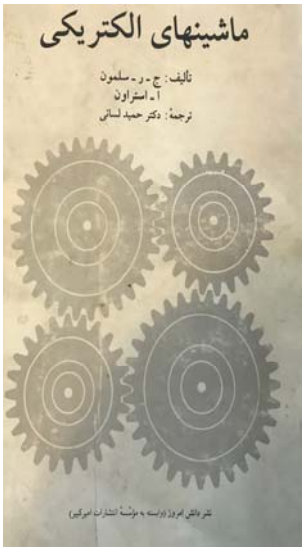
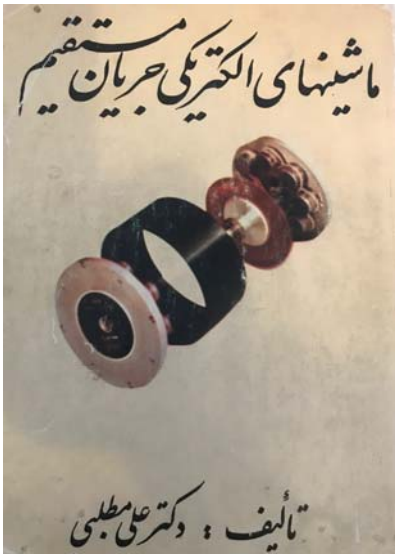
جلسه اول: مقدمه

مراجع : دانشجویان محترم برای تقویت بحث های مطرح شده در این درس از مراجع زیر می توانند استفاده نمایند







۱- تعریف ماشین الکتریکی

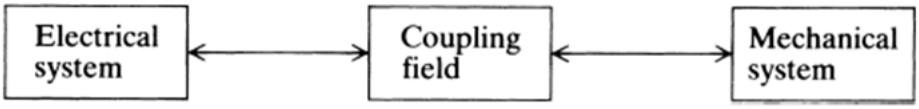
ماشین الکتریکی دستگاهی است که انرژی الکتریکی را به انرژی مکانیکی تبدیل می کند و بر عکس.

در این تبدیل انرژی ماشینهای دوار الکتریکی (ماشینهای DC – ماشینهای القایی – و ماشینهای سنکرون) نقش اساسی را به عهده دارند.

(توجه گردد که یکی از ماشینهای مهم الکتریکی در صنعت برق ترانسفورماتورها هستند . کار ترانسفورماتورها تبدیل انرژی نیست بلکه نقش اساسی را در انتقال انرژی در صنعت برق به عهده دارند که در درس ماشین ۲ به تفصیل مورد بحث قرار می گیرند).

شکل ۱-۱ بلوک دیاگرام یک سیستم ابتدایی الکترو مکانیکی را نشان می دهد

Generator←
→Motor



سیستم الکتریکی	میدان مغناطیسی پیوند دهنده	سیستم مکانیکی
E→Electrical Potential (Volt) I→Electrical Current (Ampere) $P_e=E\times I$→Electrical Power (Watt) $W_e=P_e\times t$→Electrical Energy (W.Sec. or Joule)	ϕ→Magnetic Flux (Weber) B→Magnetic Flux Density (Tesla) H→Magnetic Field Intensity (A/m) $\mu=\mu_0\mu_r$→Magnetic Permeability (H/m) $\mathbb{R}$→Magnetic Reluctance (AT/Weber) $W_f=1/2\ \phi^2\ \mathbb{R}$ →Stored Magnetic Energy (J/m^3)	T_m→Mechanical Torque (Nm) $\acute{\omega}_m$→Mechanical Speed (Rad/Sec.) $P_m=T_m\times\acute{\omega}_m$ (watt) $W_m=T_m\times\acute{\omega}_m$ → Mechanical Energy (Joule)

شکل ۱-۱ نمودار بلوکی یک سیستم ابتدایی الکترومکانیکی

با نگاهی به شکل ۱-۱ می توان فهمید:

۱: ماشین الکتریکی دوار یک تجهیزی است که یک سیستم مکانیکی با توان P_m و انرژی مکانیکی W_m را به یک سیستم الکتریکی با توان P_e و انرژی الکتریکی W_e تبدیل می کند.

۲: این تبدیل انرژی در حضور میدان مغناطیسی با انرژی W_f امکان پذیر است.

۳:با توجه به نوع سیستم ورودی و خروجی ماشین یا به صورت مولد الکتریکی(تبدیل انرژی مکانیکی به انرژی الکتریکی) یا موتور الکتریکی(تبدیل انرژی الکتریکی به انرژی مکانیکی) عمل می کند.

لذا می توان فهمید که برای درک صحیح از ساختمان و اساس کار و بررسی عملکرد و مشخصات فنی ماشینهای الکتریکی لازم است در ابتدا دو فصل مقدماتی به شرح زیر مورد مطالعه دقیق قرار گیرد و سپس فصل سوم درس مطالعه گردد.

فصل بندی درس ماشین ۱

فصل اول: میدانهای مغناطیسی و مدارهای مغناطیسی

فصل دوم: اصول تبدیل انرژی الکترومکانیکی

فصل سوم: بررسی ماشینهای الکتریکی DC (اساس کار –انواع- ساختمان و اجزای تشکیل دهنده و وظیفه هرکدام – مشخصات فنی)

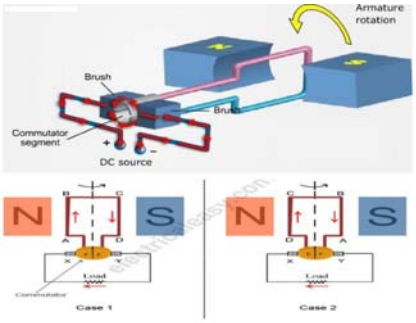
نکته مهم:

دانشجویان مهندسی برق لازم است جهت درک دقیق از عملکرد و ساختمان و طراحی ماشینهای الکتریکی اعم از DC یا AC تکفاز یا سه فاز یا ماشینهای مخصوص الکتریکی توجه خاصی به مطالعه دقیق و فهم کامل دو فصل اول این درس داشته باشند.

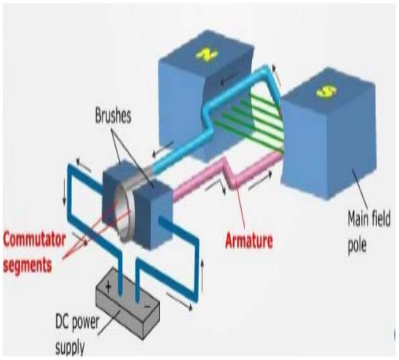
تمرین ۱: با رسم نمودار بلوکی یک سیستم تبدیل انرژی الکترومکانیکی به طور اجمال نحوه تبدیل انرژی را تشریح نمایید.

فصل اول: میدان های مغناطیسی و مدارهای مغناطیسی

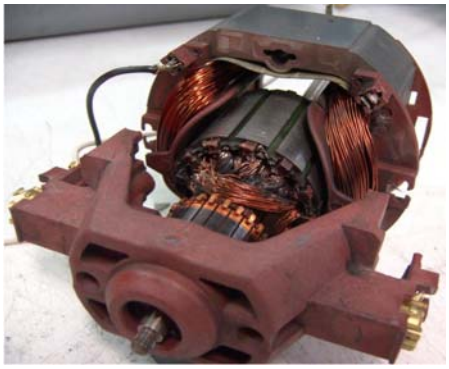
در شکل ۱-۲ ساختار و عملکرد ساده ای از یک ماشین DC به تصویر کشیده شده است.



الف) نمای ساده عملکرد یک مولد DC



ب) نمای ساده عملکرد یک موتور DC



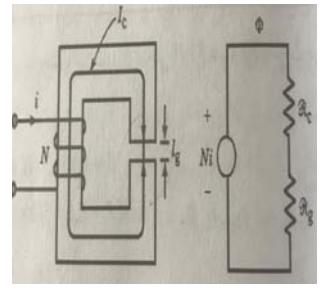
ج) نمای یک ماشین DC

شکل ۱-۲ : نمایش ساختار و عملکرد یک ماشین DC

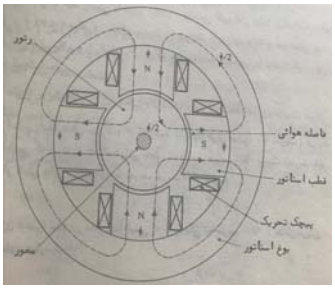
توجه

اجزای ماشینهای الکترومغناطیسی غیر از اجزای مکانیکی آنها مانند محور و یاطاقانها از یک مدار مغناطیسی و یک مدار الکتریکی تشکیل شده است.

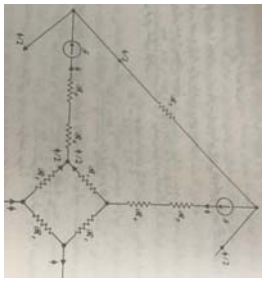
شکل ۱-۳ نمونه هایی از مدار مغناطیسی و مدار الکتریکی در یک ماسین DC را نشان می دهد.



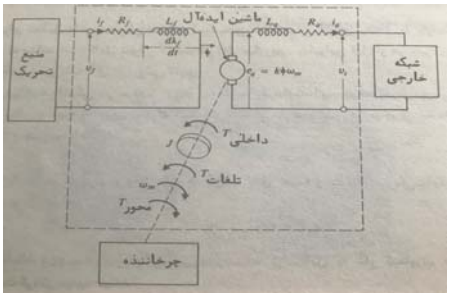
الف)نمایش یک هسته مغناطیسی و مدار معادل مغناطیسی آن



ب) مدار مغناطیسی یک ماشین چهار قطب



ج) قسمتی از مدار معادل مغناطیسی ماشین چهار قطب (ب)



د) مدار معادل الکتریکی ماشین DC

شکل ۱-۳ : نمایش مدار معادل مغناطیسی و الکتریکی

بایستی توجه گردد که در کاربرد ماشینهای الکتریکی با روابط بین متغیرهای خروجی الکتریکی و مکانیکی مانند: اختلاف پتانسیل – جریان – سرعت –گشتاور و نیرو سرو کار داریم. این روابط در مدار معادل الکتریکی نشان داده شده در شکل ۱-۳ (د) قابل ملاحظه است که در فصل ۳ این درس به طور کامل مورد مطالعه قرار می گیرد.

در اینجا برای ورود به بحث مدارهای مغناطیسی ابتدا از تعریف انواع کمیت های مغناطیسی و واحدهای آنها در دو سیستم اندازه گیری C.G.S و M.K.S یا SI شروع می کنیم.

دو منبع اساسی تولید میدان مغناطیسی عبارتند از:

۱- مغناطیس دایم(Permanent Magnet-PM) ⟵(که به صورت طبیعی وجود دارد یا توسط کارخانه های تولیدی ساخته می شود. میدان مغناطیسی تولیدی توسط این منبع دایمی و ثابت است)

۲- الکترومغناطیس (Electromagnet-EM) ⟵(که توسط عبور جریان الکتریکی از یک هادی و یا یک سیم پیچ بوجود می آید. شدت میدان مغناطیسی تولید شده توسط این منبع با مقدار جریان قابل تغییر است)

در اینجا از مغناطیس دایم شروع نموده و با مفهوم انواع کمیات مغناطیسی و واحدهای انها را مرور می کنیم.

۱- مفهوم میدان مغناطیسی (Concept of The Magnetic Field)

سوال اول اینست که وقتی صحبت از میدان مغناطیسی می کنیم منظور چیست؟

با مطالعه و ترجمه متن زیر می توانید مفهوم میدان مغناطیسی را به طور کامل درک نماییم.

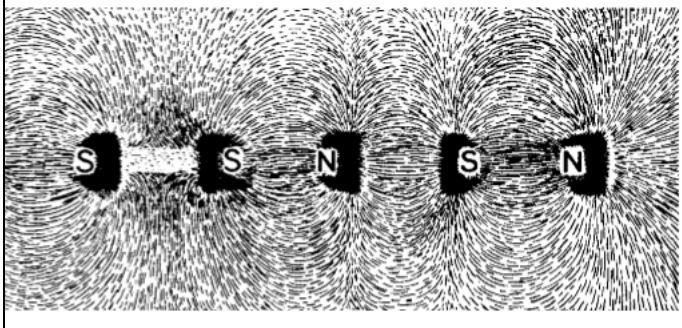
THE MAGNETIC FIELD

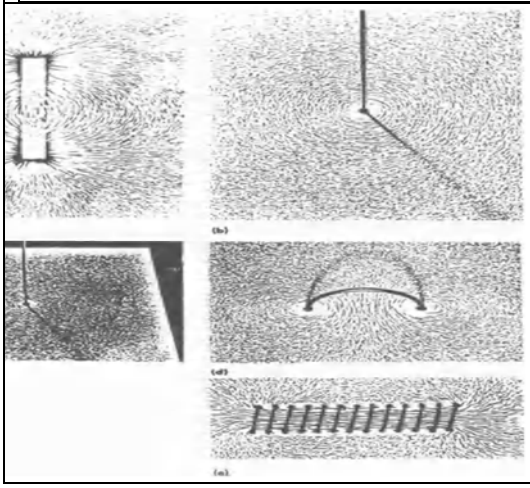
What do we mean by 'magnetic field'?

One of the most fundamental ideas in magnetism is the concept of the magnetic field. When a field is generated in a volume of space it means that there is a change in energy of that volume, and furthermore that there is an energy gradient so that a force is produced which can be detected by the acceleration of an electric charge moving in the field, by the force on a current-carrying conductor, by the torque on a magnetic dipole such as a bar magnet or even by a reorientation of spins on electrons within certain types of atoms.

توضیح بیشتر از مفهوم میدان مغناطیسی:

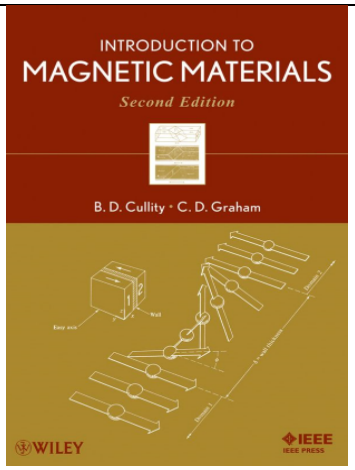
وقتی در یک حجمی از فضا یک میدان مغناطیسی ایجاد می شود (توسط یک PM یا EM) در واقع یک فضای با قابلیت تولید نیرو و گشتاور در آن فضا ایجاد می گردد (به شکل ۱-٤ توجه کنید). مثلا اگر یک سیم حامل جریان در این فضا قرار بگیرد بر ان نیرو وارد می شود. یا مثلا اگر یک بار الکتریکی در این فضا در حال حرکت باشد بر آن نیرو وارد می گردد. لذا می توان گفت در این فضا میدان مغناطیسی بوجود امده است.

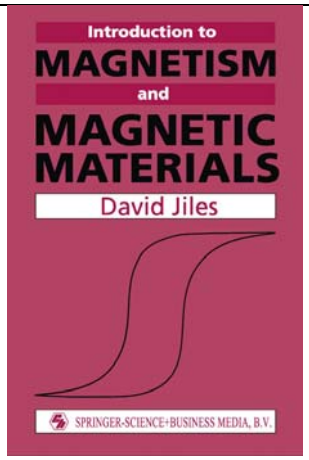




شکل:۱-۴ میدان مغناطیسی تولید شده توسط چند مغناطیس دایم و الکتریکی که با استفاده از براده های اهن نمایان گردیده است.

در اینجا دو مرجع معرفی می گردد که به طور جامع مباحث مربوط به مفاهیم مغناطیسی و مواد فرومغناطیس و مشخصات مهم انها را مطرح می نمایند. این کتابها مراجع اصلی درس مواد فرو مغناطیسی که در دوره ارشد و دکتری در دانشگاه توسط اینجانب تدریس می گردد می گردد.





دانشجویان علاقه مند می توانند برای ارتقاع اطلاعات خود در خصوص این مواد از این مراجع استفاده نمایند.

۲- شار مغناطیسی Φ (Magnetic Flux)

سوال اینست که چگونه می توان وجود این میدان مغناطیسی را نشان دهیم. به متن انگلیسی زیر توجه فرمایید.

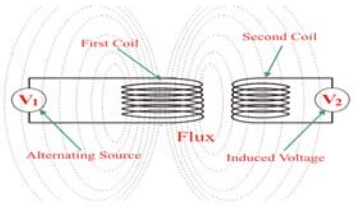
How can we demonstrate the presence of a magnetic field?

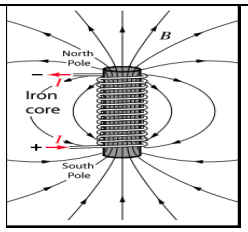
Whenever a magnetic field is present in free space there will be a magnetic flux (Φ). This magnetic flux is measured in units of webers and its rate of change can be measured since it generates an e.m.f. in a closed circuit of conductor through which the flux passes. Small magnetic particles such as iron filings align themselves along the direction of the magnetic flux as shown in Fig.1-4. We can consider the magnetic flux to be caused by the presence of a magnetic field in a medium.

همانطوریکه از شکل ۱-٤ قابل مشاهده است میتوان این جور تصور کرد که در فضایی که میدان مغناطیسی ایجاد شده در واقع یک مجموعه ای از خطوط بسته ایجاد می شود که از قطب شمال مغناطیسی منبع مولد میدان (PM or EM) خارج شده و در فضای اطراف مسیر خودش را ادامه داده و از قطب جنوب وارد منبع گردیده و در داخل منبع مسیر خود را می بندد. این مجموعه خطوط که به آنها خطوط قوای مغناطیسی (Magnetic Lines of Forces) گفته می شود را شار مغناطیسی می نامند. و ان را با Φ نمایش می دهند.

Permanent Magnet

$$e = -N\frac{d\phi}{dt}$$





Electromagnet

واحد Φ در سیستم C.G.S ماکسول است و با Max نشان می دهند و واحد Φ در سیستم M.K.S وبر است و با Wb نشان می دهند. $1Wb=10^8Max$

امروزه در اکثر مقالات و کتابها از واحدهای کمیات مغناطیسی تعریف شده در سیستم M.K.S یا همان S.I استفاده می گردد . در این سیستم واحدها یک وبر عبارتست از مقدار شار مغناطیسی که اگر به طور یکنواخت در مدت زمان ۱ ثانیه به صفر کاهش یابد باعث تولید نیروی محرکه یک ولت در یک سیم پیچ یک دوری گردد.

We know from Faraday's law that when the magnetic flux (ϕ) linking a coil of N turns changes, an e.m.f. (e) is induced in the coil: is given by:

$$e = -N\frac{d\phi}{dt}$$

The weber

The weber is the amount of magnetic flux which when reduced uniformly to zero in one second produces an e.m.f. of one volt in a one-turn coil of conductor through which the flux passes.

۳- چگالی شار مغناطیسی B (Magnetic Induction)

از انجا که شار مغناطیسی(Φ) به مجموعه خطوط قوای مغناطیسی که از قطب شمال مغناطیسی مولد میدان خارج می شود و در مسیرهای اطراف مولد طی مسیر داده و از طریق قطب جنوب وارد مولد میدان گردیده و مسیر خود را می بندد. لذا مشاهده می گردد که به علت پراکندگی خطوط شار در مسیرهای مختلف – کمیت Φ معیار مناسبی جهت تشخیص شدت و ضعف میدان مغناطیسی در یک نقطه نمی باشد. لذا با تعریف کمیت چگالی شار مغناطیسی B این مشکل بر طرف می گردد.

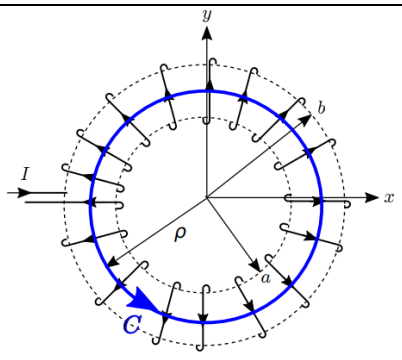
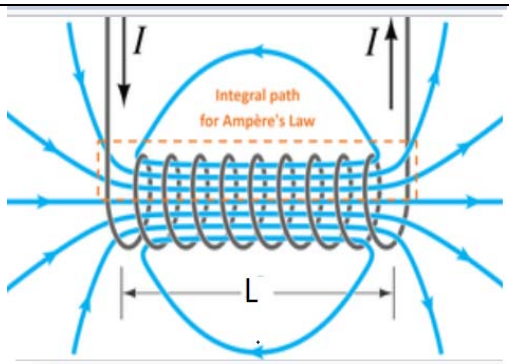
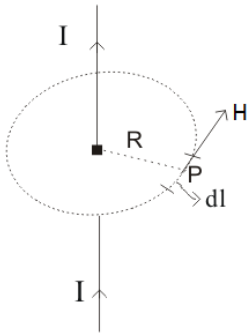
چگالی شار مغناطیسی در یک نقطه عبارتست از مقدار خطوط قوای مغناطیسی عبوری از واحد سطح به شرطی که این سطح واحد عمود بر مسیر عبور شار قرار گیرد. واحد چگالی شار در سیستم C.G.S گوس و در سیستم S.I تسلا می باشد.

رابطه بین شار و چگالی شار و سطح مقطع	The unit of magnetic induction
$B = \frac{\phi}{A} \quad Wb/m^2$ ϕ →Magnetic Flux (Wb) B→Magnetic Flux Density(T) A→Cross Sectrion(m^2)	The flux density in webers/m2 is also known as the magnetic induction B and consequently a flux density of one weber per square meter is identical to a magnetic induction of one tesla (T).

٤- شدت میدان مغناطیسی H .

شدت میدان مغناطیسی کمیت مغناطیسی دیگری است که در واقع اگر میدان مغناطیسی توسط جریان الکتریکی در یک فضا ایجاد شود برای محاسبه کمیت میدان مغناطیسی مطرح شده است.

به سه روش می توان توسط جریان الکتریکی میدان مغناطیسی ایجاد نمود.

میدان H تولید شده توسط یک چنبره با سیم پیچی N دوری حامل جریان I	میدان H تولید شده توسط یک سیم پیچی N دوری حامل جریان I	میدان H تولید شده توسط یک هادی بلند حامل جریان I
		
شدت میدان مغناطیسی H بر روی دایره ای C به شعاع R=(b-a)/2 طبق قانون مداری آمپر	شدت میدان مغناطیسی H در نقطه P در مرکز داخل یک سولنوید N دوری به طول L طبق قانون مداری آمپر	شدت میدان مغناطیسی H در نقطه P بر روی دایره ای به شعاع R طبق قانون مداری آمپر
$\oint_l H \cdot dl = \int_S J \cdot dS$	$\oint_l H \cdot dl = \int_S J \cdot dS$	$\oint_l H \cdot dl = \int_S J \cdot dS$
H=NI/2πR	H=NI/L	H×2πR =I →H=I/2πR

۵- رابطه بین B و H

در روش تولید میدان مغناطیسی به روش الکتریکی (الکترومغناطیس) با استفاده از قانون مداری آمپر شدت میدان مغناطیسی یعنی H محاسبه می گردد . اگر مسیرخطوط قوای مغناطیسی تولید شده درون خلا باشد رابطه بین B و H عبارتست از:

$$B=\mu_0 H \ (Tesla)$$

توجه گردد:

μ_0 به نام ضریب نفوظ مغناطیسی خلا (Permeability of free space) می نامند که برابر است با $4\pi\times10^{-7}$ (H/m)
در واقع دیمانسیون μ_0 عبارتست از [VS/Am] . به این ترتیب دیمانسیون B می شود [(VS/Am)×(A/m)] که می شود [VS/m^2] و چون VS (ولت-ثانیه) دیمانسیون ϕ (شار مغناطیسی) یعنی Wb می باشد و Wb/m^2 می شود تسلا (T) که واحد B می باشد

اگر مسیر عبور شار از موادی غیر خلا باشد نتایج تجربیات آزمایشگاهی نشان می دهد که ضریب نفوذ مغناطیسی دیگر عدد ثابت $4\pi\times10^{-7}$ (H/m) نیست بلکه عدد متغیری می باشد که بستگی به نوع ماده ای دارد که شار مغناطیسی در آن جاری می گردد.

از این به بعد این ماده تشکیل دهنده مسیر جاری شدن شار مغناطیسی را هسته الکترومغناطیس می نامیم.

بنابراین برای به حساب آوردن این تغییرات از کمیتی به نام ضریب نفوذ مغناطیسی نسبی (Relative Permeability) استفاده می گردد که با رابطه زیر تعریف می گردد. (بدون دیمانسیون)

$$\mu_r = \frac{\mu}{\mu_0}$$

به این ترتیب برای الکترومغناطیس با هسته تشکیل شده از مواد مختلف خواهیم داشت:

$$B=\mu_0\mu_r H \ (Tesla) \qquad or \qquad B=\mu H \ (Tesla)$$

رابطه فوق نشان می دهد که شار مغناطیسی (Φ) تولید شده توسط یک الکترومغناطیس ناشی از فعالیت دو عامل می باشد.

الف) کمیت H :که ناشی از فعالیت جریان الکتریکی می باشد و از قانون مداری آمپر محاسبه می گردد.
ب) کمیت μ_r : که توانایی مواد مختلف تشکیل دهنده هسته الکترومغناطیس در تقویت میدان مغناطیسی را نشان می دهد.

برای اینکه بتوانیم فقط توانایی مواد تشکیل دهنده هسته را در تقویت میدان مغناطیسی بررسی نماییم در واقع بایستی بردار مشخص کننده خاصیت آهنربایی(M) ماده را مورد نظر قرار دهیم. به عبارت دیگر داریم:

$$M = \chi H \rightarrow B = \mu_0(H + M) = \mu_0(1+\chi)H$$

χ را سوسپتیبیلیتی (Susceptibility) ماده می نامند

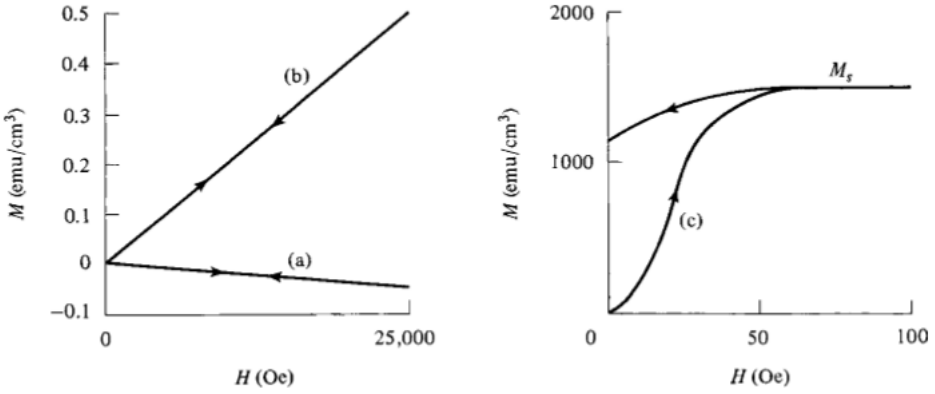
پس داریم:

$$\mu = \mu_0(1+\chi) \rightarrow \mu/\mu_0 = (1+\chi) \rightarrow \mu_r = 1+\chi$$

با توجه به توانایی مواد تشکیل دهنده هسته در تقویت میدان مغناطیسی کل مواد موجود در طبیعت را به لحاظ مغناطیسی به سه گروه به شرح زیر تقسیم می شوند.

۱- مواد دیامغناطیس	این مواد دارای سوسپتیبیلیتی χ منفی بوده و نه تنها تقویتی ندارند بلکه کمی تضعیف هم می کنند. از این مواد می توان به آب با χ برابر با -9×10^{-6} و بیسموت با χ برابر با -15×10^{-5} و مس با χ برابر با -1×10^{-5} نام برد.
۲- مواد پارامغناطیس	این مواد دارای سوسپتیبیلیتی χ مثبت بوده و کمی شار مغناطیسی را تقویت می کنند. از این مواد می توان به هوا با χ برابر با $+3.8\times10^{-7}$ و اکسیژن O_2 با χ برابر با $+2\times10^{-5}$ و آلومینیوم با χ برابر با 2.2×10^{-5} نام برد.
۳- مواد فرو مغناطیس	این مواد دارای سوسپتیبیلیتی χ فوق العاده بزرگ و متغیر میباشند. از این مواد می توان به آهن و کبالت و نیکل و آلیاژهای آنها می توان اشاره کرد.

یکی از مشخصه های مهم مواد مختلف منحنی های مربوط به تغییرات B یا M بر حسب H می باشد شکل ۱-۵ منحنی های مربوط به این سه گروه از مواد را نشان می دهد.



شکل ۱-۵ : نمونه منحنی تغییرات M=f(H) برای سه گروه از مواد مختلف (a) ماده از نوع دیامغناطیس (b) ماده از نوع پارامغناطیس (c) ماده از نوع فرومغناطیس

میتوان فهمید که مواد فرو مغناطیسی توانایی تقویت کنندگی بسیار بالایی دارند و لذا برای تولید میدانهای مغناطیسی در تبدیل انرژی در ماشینهای الکتریکی از این مواد به عنوان هسته ماشینهای الکتریکی استفاده می شود.

توجه:

عیب عمده این مواد فرومغناطیسی عبارتند از:

۱- **رابطه غیر خطی بین M و یا B با تغییرات H می باشد که مشکلاتی را در عملکرد ماشینهای الکتریکی بوجود می آورد که بعدا مورد بررسی قرار می گیرد.**

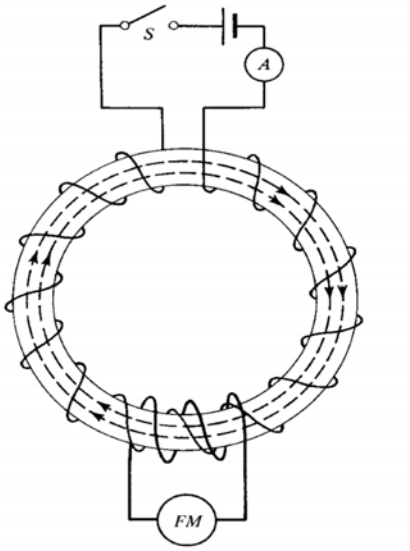
۲- **منحنی در مقدار مشخصی از H دیگر تغییراتی در مقدار M و در نتیجه B و نهایتا Φ (شار مغناطیسی) ایجاد نمی کند و اصطلاحا هسته ماشین وارد منطقه اشباع گردیده است.**

۳- **منحنی M=f(H) یا B=f(H) در رفت و بر گشت بر هم منطبق نیستند که این موضوع باعث ایجاد تلفاتی در هسته ماشینهای الکتریکی می گردد که باعث ایجاد گرما و در نتیجه تلفات انرژی می گردد که بعدا مورد بررسی و تحت عنوان تلفات هسته های ماشینهای الکتریکی مورد محاسبه قرار می گیرد.**

علی رغم تمام این معایب - خاصیت بسیار مهم این مواد در تقویت کنندگی بالای شار مغناطیسی- امکان ساخت و طراحی ماشینهای الکتریکی در قدرتهای مختلف را فراهم آورده است.

لازم به ذکر است که طی سالیان طولانی مطالعات و تحقیقات بسیاری برای کاهش این عیوب انجام شده است.

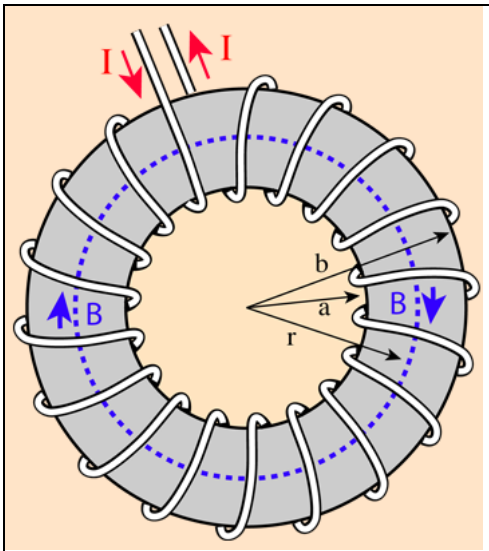
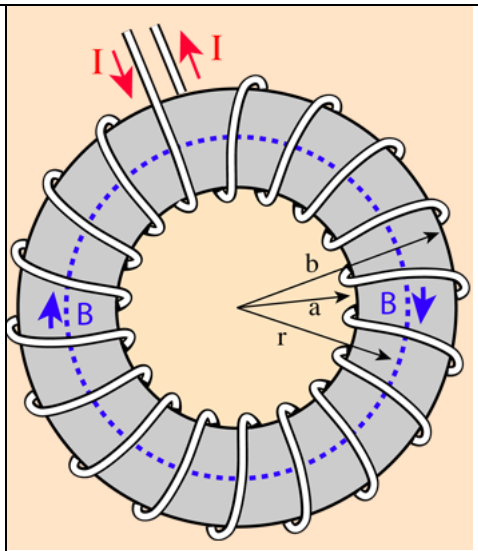
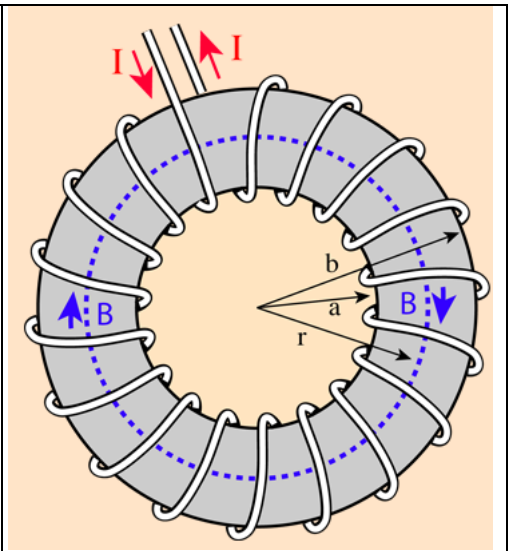
طی سالهای اولیه توسعه صنعت برق در دنیا آزمایشهای بسیاری روی مواد مختلف برای آشنا شدن با توانایی مواد در تقویت میدان مغناطیسی انجام گردیده است. شکل ۱-٦ یک سیستم تست را نشان می دهد. هسته تشکیل دهنده الکترومغناطیس به شکل چنبره با مواد مختلف از سه گروه ذکر شده انتخاب و تحت شرایط تزریق یکسان جریان به سیم پیچی- شار مغناطیسی تولید شده در هسته توسط یک دستگاه اندازه گیری شار مغناطیسی (فلاکس متر FM) اندازه گیری می گردد.



شکل ۱-٦ دستگاه اندازه گیری شار مغناطیسی

این آزمایشهای عملی نشان داد که مواد فرومغناطیسی در تحت شرایط یکسان شار مغناطیسی بسیار بالایی نسبت به سایر مواد ایجاد می کنند.

به عنوان یک تمرین فرض کنیم سه عدد چنبره نشان داده شده در شکل زیر دارای ابعاد یکسان بوده و تعداد دورسیم پیچ هر کدام N=500 و دارای شعاع متوسط برابر 50 سانتیمتر $(r = [a+((b-a)/2)] = 50\ Cm)$ باشند .جریان الکتریکی تزریق شده به سیم پیچ در هر سه مورد یکسان و برابر ۱۰ آمپر در نظر بگیرید.

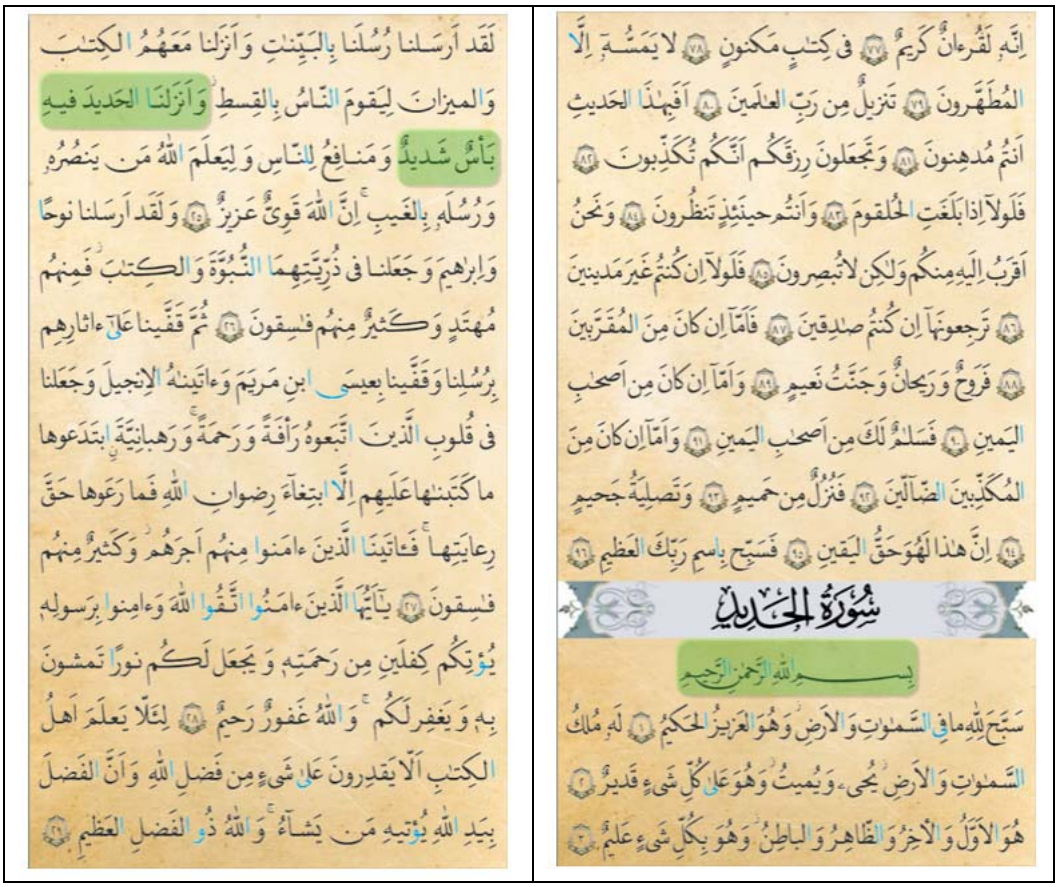
		
جنس هسته از گروه ۱: بیسموت با $\chi = -15\times10^{-5}$ مقدار B ایجاد شده برابر است با: B=1.25 mT	جنس هسته از گروه ۲: آلومینیوم با $\chi = 2.2\times10^{-5}$ مقدار B ایجاد شده برابر است با: B=1.50 mT	جنس هسته از گروه ۳: آهن با $\chi = 1000$ مقدار B ایجاد شده برابر است با: B=1.25 T

تمرین۲ : لطفا محاسبات مربوطه را انجام داده و صحت جوابهای فوق را بررسی نمایید.

تا اینجا به این نتیجه کلی می رسیم که وجود فلزاتی از خانواده آهن در طبیعت باعث گردیده که در صنعت برق مبدلهای انرژی با قدرت و راندمان بالا طراحی و تولید گردند. چون تا اینجا متوجه شدیم که نقش اساسی در این تبدیل انرژی را میدان های مغناطیسی به عهده دارند.

لذا لازم است طبق عادت همیشگی اینجانب در تدریس فصل اول درس ماشین ۱ متذکر می گردم که به اتفاق همدیگر یک بار دیگر شکر خداوند را به جای آوریم که آهن را در دل طبیعت قرار داده و باعث شده تا صنعت برق از این نعمت بهره مند گردد. بدون وجود فلزات خانواده آهن و ساخت آلیاژهای آنها امکان توسعه صنعت برق (تولید – انتقال - توزیع) با این گستردگی امکان پذیر نمی گردید .

دراینجا اشاره ای به وجود سوره مبارک الحدید (سوره شماره ۵۷) می نمایم و آیه مربوط به منافع آهن که در آیه شماره ۲۵ به آن اشاره شده است.



سُورَةُ الحَدِيد

بِسْمِ اللهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِيمِ

سَبَّحَ لِلّٰهِ مَا فِي السَّمٰوٰتِ وَالْأَرْضِ وَهُوَ الْعَزِيزُ الْحَكِيمُ ۝١ لَهُ مُلْكُ السَّمٰوٰتِ وَالْأَرْضِ يُحْيِي وَيُمِيتُ وَهُوَ عَلٰى كُلِّ شَيْءٍ قَدِيرٌ ۝٢ هُوَ الْأَوَّلُ وَالْآخِرُ وَالظَّاهِرُ وَالْبَاطِنُ وَهُوَ بِكُلِّ شَيْءٍ عَلِيمٌ ۝٣

إِنَّهُ لَقُرْءَانٌ كَرِيمٌ ۝٧٧ فِي كِتٰبٍ مَكْنُونٍ ۝٧٨ لَا يَمَسُّهُ إِلَّا الْمُطَهَّرُونَ ۝٧٩ تَنْزِيلٌ مِنْ رَبِّ الْعٰلَمِينَ ۝٨٠ أَفَبِهٰذَا الْحَدِيثِ أَنْتُمْ مُدْهِنُونَ ۝٨١ وَتَجْعَلُونَ رِزْقَكُمْ أَنَّكُمْ تُكَذِّبُونَ ۝٨٢ فَلَوْلَا إِذَا بَلَغَتِ الْحُلْقُومَ ۝٨٣ وَأَنْتُمْ حِينَئِذٍ تَنْظُرُونَ ۝٨٤ وَنَحْنُ أَقْرَبُ إِلَيْهِ مِنْكُمْ وَلٰكِنْ لَا تُبْصِرُونَ ۝٨٥ فَلَوْلَا إِنْ كُنْتُمْ غَيْرَ مَدِينِينَ ۝٨٦ تَرْجِعُونَهَا إِنْ كُنْتُمْ صٰدِقِينَ ۝٨٧ فَأَمَّا إِنْ كَانَ مِنَ الْمُقَرَّبِينَ ۝٨٨ فَرَوْحٌ وَرَيْحَانٌ وَجَنَّتُ نَعِيمٍ ۝٨٩ وَأَمَّا إِنْ كَانَ مِنْ أَصْحٰبِ الْيَمِينِ ۝٩٠ فَسَلٰمٌ لَكَ مِنْ أَصْحٰبِ الْيَمِينِ ۝٩١ وَأَمَّا إِنْ كَانَ مِنَ الْمُكَذِّبِينَ الضَّالِّينَ ۝٩٢ فَنُزُلٌ مِنْ حَمِيمٍ ۝٩٣ وَتَصْلِيَةُ جَحِيمٍ ۝٩٤ إِنَّ هٰذَا لَهُوَ حَقُّ الْيَقِينِ ۝٩٥ فَسَبِّحْ بِاسْمِ رَبِّكَ الْعَظِيمِ ۝٩٦

لَقَدْ أَرْسَلْنَا رُسُلَنَا بِالْبَيِّنٰتِ وَأَنْزَلْنَا مَعَهُمُ الْكِتٰبَ وَالْمِيزَانَ لِيَقُومَ النَّاسُ بِالْقِسْطِ وَأَنْزَلْنَا الْحَدِيدَ فِيهِ بَأْسٌ شَدِيدٌ وَمَنَافِعُ لِلنَّاسِ وَلِيَعْلَمَ اللّٰهُ مَنْ يَنْصُرُهُ وَرُسُلَهُ بِالْغَيْبِ إِنَّ اللّٰهَ قَوِيٌّ عَزِيزٌ ۝٢٥ وَلَقَدْ أَرْسَلْنَا نُوحًا وَإِبْرٰهِيمَ وَجَعَلْنَا فِي ذُرِّيَّتِهِمَا النُّبُوَّةَ وَالْكِتٰبَ فَمِنْهُمْ مُهْتَدٍ وَكَثِيرٌ مِنْهُمْ فٰسِقُونَ ۝٢٦ ثُمَّ قَفَّيْنَا عَلٰى ءَاثٰرِهِمْ بِرُسُلِنَا وَقَفَّيْنَا بِعِيسَى ابْنِ مَرْيَمَ وَءَاتَيْنٰهُ الْإِنجِيلَ وَجَعَلْنَا فِي قُلُوبِ الَّذِينَ اتَّبَعُوهُ رَأْفَةً وَرَحْمَةً وَرَهْبَانِيَّةً ابْتَدَعُوهَا مَا كَتَبْنٰهَا عَلَيْهِمْ إِلَّا ابْتِغَاءَ رِضْوَانِ اللّٰهِ فَمَا رَعَوْهَا حَقَّ رِعَايَتِهَا فَـَٔاتَيْنَا الَّذِينَ ءَامَنُوا مِنْهُمْ أَجْرَهُمْ وَكَثِيرٌ مِنْهُمْ فٰسِقُونَ ۝٢٧ يٰٓأَيُّهَا الَّذِينَ ءَامَنُوا اتَّقُوا اللّٰهَ وَءَامِنُوا بِرَسُولِهِ يُؤْتِكُمْ كِفْلَيْنِ مِنْ رَحْمَتِهِ وَيَجْعَلْ لَكُمْ نُورًا تَمْشُونَ بِهِ وَيَغْفِرْ لَكُمْ وَاللّٰهُ غَفُورٌ رَحِيمٌ ۝٢٨ لِئَلَّا يَعْلَمَ أَهْلُ الْكِتٰبِ أَلَّا يَقْدِرُونَ عَلٰى شَيْءٍ مِنْ فَضْلِ اللّٰهِ وَأَنَّ الْفَضْلَ بِيَدِ اللّٰهِ يُؤْتِيهِ مَنْ يَشَاءُ وَاللّٰهُ ذُو الْفَضْلِ الْعَظِيمِ ۝٢٩

شکل ۱-۷: سوره مبارک الحدید و آیه مربوط به منافع آهن

تمرین ۳: لطفا سوره مبارک الحدید را قرایت نمایید.(التماس دعا)

٦-مدارات مغناطیسی:

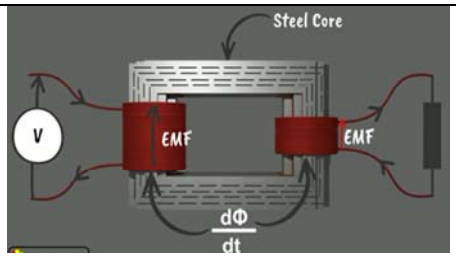
از اینجا به بعد می پردازیم به تجزیه و تحلیل مدارهای مغناطیسی و مشابه سازی آنها با مدارهای الکتریکی برای ساده سازی تحلیل و حل آنها :

یاد آوری می گردد که در تمام دستگاههای تبدیل انرژی(شامل مولدها – ترانسفورماتورها – موتورها) و همچنین وسایل دیگری مثل محرک ها – سولنوییدها – رله های مغناطیسی که به لحاظ حرکت خطی مورد توجه هستند از مواد مغناطیسی برای شکل دهی و هدایت میدانهای مغناطیسی که به عنوان محیط فرایند تبدیل انرژی به کار می روند استفاده می گردد.

و دیدیم که مزیت عمده به کارگیری مواد مغناطیسی در ماشینهای الکتریکی این است که چگالی شار بالا در ماشین بدست می آید که نتیجه آن گشتاور بالا و یا خروجی ماشین زیاد در واحد حجم ماشین طراحی شده است.

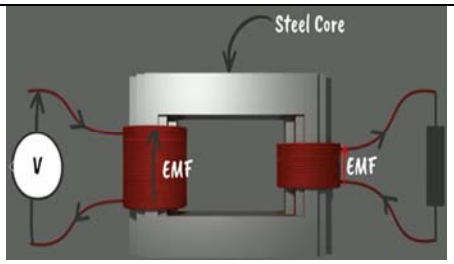
به عبارت دیگر استفاده از مواد مغناطیسی به شدت اندازه ماشین را کاهش داده و به این ترتیب مواد مغناطیسی بخش عمده ای از ساختمان ماشینهای الکتریکی را تشکیل می دهد.

تصاویر زیر نشان می دهد که چگونه می توان با استفاده از مواد فرومغناطیسی هدایت خطوط قوای مغناطیسی را در مسیر دلخواه هدایت کرده و به این ترتیب علاوه بر تقویت میدان مغناطیسی آنرا در مسیر مشخص نیز قرار داد.



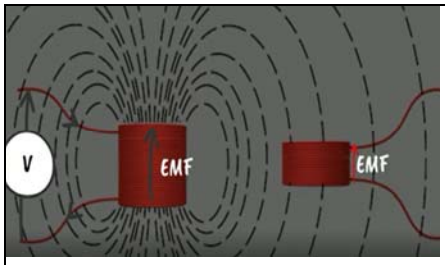
الف) نمایش خطوط شار مغناطیسی در هسته آهنی

با قرار دادن هسته آهنی تقریبا تمام شار تولیدی را هدایت کرده و به بوبین سمت راست منتقل نموده و امکان انتقال انرژی از منبع ورودی به منبع خروجی فراهم گردیده است



ب) قرار دادن یک هسته از جنس آهن با μ_r بسیار بالا

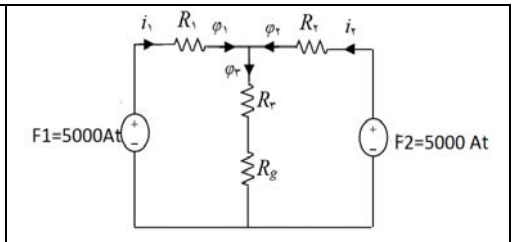
قرار گرفتن هسته از جنس مواد فرومغناطیسی باعث هدایت شار مغناطیسی در مسیر مورد نظر



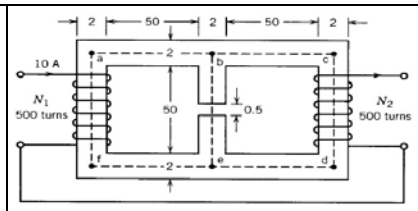
الف) تولید شار مغناطیسی توسط سیم پیچ سمت چپ

به علت اینکه هیچ مسیر ترجیهی برای عبور شار تولید شده نداریم – شار عبوری از سیم پیچ دوم بسیار کم است

همانطوریکه در یک مدار الکتریکی می توانیم با قرار دادن مقاومتهای مختلف در مسیرهای گوناگون مسیر و مقدار جریان الکتریکی را تحت کنترل داشته باشیم با همین روش نیز می توانیم مسیر عبور و مقدار شار را تحت کنترل در آوریم.

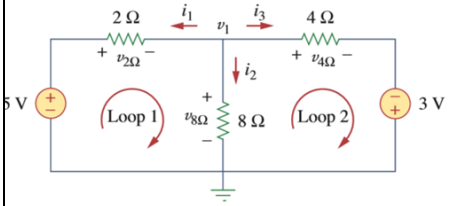


ب) مدار معادل الکتریکی



الف) مدار مغناطیسی نمونه

یک مدار الکتریکی ساده

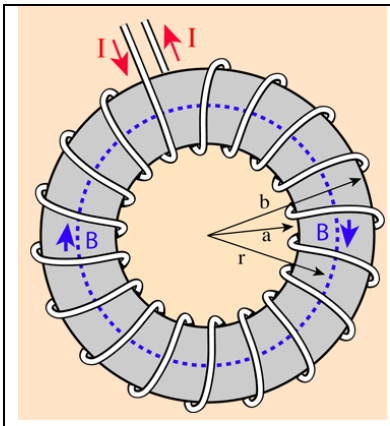


شکل ۱-۸ :در این مجموعه یک مدار الکتریکی و یک مدار مغناطیسی و مدار معادل الکتریکی آن را ملاحظه می کنید

همانطوریکه از شکل ۱-۸ قابل فهم است هدف از آنالیز مدارهای مغناطیسی یافتن شار مغناطیسی جاری شده در مسیرهای مختلف یک مدار مغناطیسی می باشد.

با رسم مدار معادل الکتریکی یک مدار مغناطیسی به راحتی میتوان با همان روش هایی که در آنالیز مدارهای الکتریکی آموختیم مجهولات خواسته شده در این مدارها را محاسبه نماییم.

دراینجا لازم است ابتدا اطلاعات مربوط به معادل سازی کمیت های مغناطیسی و الکتریکی را بیاموزیم.



اگر A سطح مقطع چنبره باشد داریم	مسیر متوسط عبور شار	داریم	طبق قانون مداری آمپر
$\Phi = B \times A$	$L_{av.} = 2\pi r$	$B=\mu_0\mu_r H$	$\oint_l H \cdot dl = \int_S J \cdot dS$

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

در اینجا دو کمیت مهم مدارهای مغناطیسی را می توانیم به شرح زیر تعریف نماییم.

$R_m = (L_{av}/\mu_0\mu A)\rightarrow$ رلوکتانس مغناطیسی معادل مقاومت الکتریکی	$F_{mmf} = NI \rightarrow$ Magneto Motive Force $\rightarrow$ نیروی محرکه مغناطیسی(معادل نیروی محرکه الکتریکی $(E_{emf})\rightarrow$

در اینجا می توانیم مطابق جدول زیر کمیت های مغناطیسی را با کمیت های الکتریکی معادل سازی نموده و با روشهای تحلیل مدارهای الکتریکی مدارهای مغناطیسی را نیز تحلیل و کمیات مجهول را محاسبه نماییم.

هدف از تحلیل مدارهای مغناطیسی بدست آوردن شار و یا چگالی شار یا شدت میدان مغناطیسی در قسمتهای مختلف مدار مغناطیسی و یا مقدار جریان مورد نیاز برای تولید شار مغناطیسی مورد نیاز در یک شاخه معینی از یک مدار مغناطیسی می باشد.

کمیت های مغناطیسی				کمیت الکتریکی			
نام کمیت	حروف مشخصه	واحد (SI)	روابط	نام کمیت	حروف مشخصه	واحد	روابط
شار مغناطیسی	Φ	Wb	$F_{mmf} = \Phi.R_m$	جریان الکتریکی	I	A	I=(E/R)
نیروی محرکه مغناطیسی (F_{mmf})	F_{mmf}	A.T	$F_{mmf} = N.\ i$	نیروی محرکه الکتریکی	emf	V	V=RI
مقاومت یا رلوکتانس	R_m	$\frac{A.T}{web}$	$R=\frac{lc}{\mu A}$	مقاومت الکتریکی	R	Ω	$R=\frac{L}{\sigma A}$
ضریب نفوذپذیری مغناطیسی	μ	$\frac{H}{m}$	$\mu=\mu_0\mu_r$	ضریب نفوذپذیری الکتریکی	σ	$1/\Omega=S$	—
چگالی میدان مغناطیسی	B	$\frac{web}{m^2}$	$B=\frac{\varphi}{A}$	چگالی جریان الکتریکی	j	$\frac{A}{m^2}$	$J=\frac{I}{A}$
شدت میدان مغناطیسی	H	$\frac{A.T}{m}$	$H=\frac{NI}{lc}$	شدت میدان الکتریکی	E	$\frac{V}{m}$	$\frac{emf}{L}$

با توجه به مطالب فوق چند تمرین شده را می آوریم و چند تمرین را برای حل توسط دانشجویان قرار می دهیم

تمرین ۳: در مدار شکل ۱-۹ ضریت نفوذ نسبی مغناطیسی مواد فرومغناطیسی تشکیل دهنده هسته ۱۲۰۰ می باشد. (μ_r =1200) از شار نشتی و شکفتگی شار صرفنظر کنید. تمام ابعاد ذکر شده به سانتی متر می باشد و سطح مقطع هسته مربعی می باشد . مطلوبست: محاسبه شار مغناطیسی و چگالی شار مغناطیسی و همچنین شدت میدان مغناطیسی در فاصله هوایی.

حل: ابتدا بهتر است یک مدار معادل الکتریکی مطابق شکل ۱-۱۰ رسم نماییم.

به جهت شار مغناطیسی تولید شده توسط دو سیم پیچ N1 و N2 و در نتیجه پلاریته منابع نیروی محرکه مغناطیسی توجه فرمایید.

$$F_1 = N_1 I_1 = 500 \times 10 = 5000 \text{ At}$$
$$F_2 = N_2 I_2 = 500 \times 10 = 5000 \text{ At}$$
$$\mu_c = 1200\mu_0 = 1200 \times 4\pi 10^{-7}$$

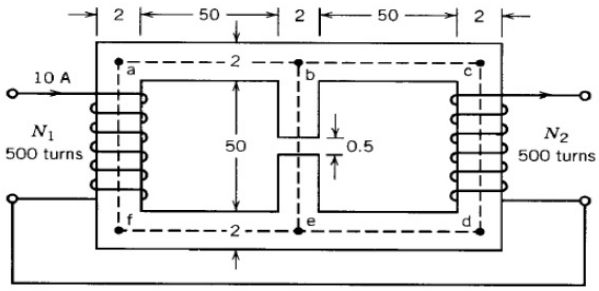
$$\mathcal{R}_{\text{bafe}} = \frac{l_{\text{bafe}}}{\mu_c A_c}$$
$$= \frac{3 \times 52 \times 10^{-2}}{1200 \times 4\pi 10^{-7} \times 4 \times 10^{-4}}$$
$$= 2.58 \times 10^6 \text{ At/Wb}$$

توجه گردد به علت قرینه بودن دو مسیر bafe و bcde رلوکتانس مغناطیسی این دو مسیر برابر با 2.58×10^6 At/Wb می باشد.

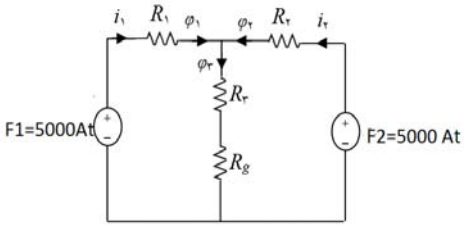
همچنین داریم:

$$\Phi_g = \Phi_1 + \Phi_2$$

لطفا محاسبات را انجام دهید.



شکل ۱-۹ : مدار مغناطیسی تمرین ۳



شکل ۱-۱۰ :مدار معادل الکتریکی شکل ۱-۹

From symmetry

$$\mathcal{R}_{\text{bcde}} = \mathcal{R}_{\text{bafe}}$$
$$\mathcal{R}_g = \frac{l_g}{\mu_0 A_g}$$
$$= \frac{5 \times 10^{-3}}{4\pi 10^{-7} \times 2 \times 2 \times 10^{-4}}$$
$$= 9.94 \times 10^6 \text{ At/Wb}$$
$$\mathcal{R}_{\text{be(core)}} = \frac{l_{\text{be(core)}}}{\mu_c A_c}$$
$$= \frac{51.5 \times 10^{-2}}{1200 \times 4\pi 10^{-7} \times 4 \times 10^{-4}}$$
$$= 0.82 \times 10^6 \text{ At/Wb}$$

The loop equations are

$$\Phi_1(\mathcal{R}_{\text{bafe}} + \mathcal{R}_{\text{be}} + \mathcal{R}_g) + \Phi_2(\mathcal{R}_{\text{be}} + \mathcal{R}_g) = F_1$$
$$\Phi_1(\mathcal{R}_{\text{be}} + \mathcal{R}_g) + \Phi_2(\mathcal{R}_{\text{bcde}} + \mathcal{R}_{\text{be}} + \mathcal{R}_g) = F_2$$

$$\Phi_1(13.34 \times 10^6) + \Phi_2(10.76 \times 10^6) = 5000$$
$$\Phi_1(10.76 \times 10^6) + \Phi_2(13.34 \times 10^6) = 5000$$

The air gap flux density is

$$B_g = \frac{\Phi_g}{A_g} = \frac{4.134 \times 10^{-4}}{4 \times 10^{-4}} = 1.034 \text{ T}$$

The magnetic intensity in the air gap is

$$H_g = \frac{B_g}{\mu_0} = \frac{1.034}{4\pi 10^{-7}} = 0.822 \times 10^6 \text{ At/m}$$

به نکات زیر در خصوص مدارهای مغناطیسی توجه فرمایید.

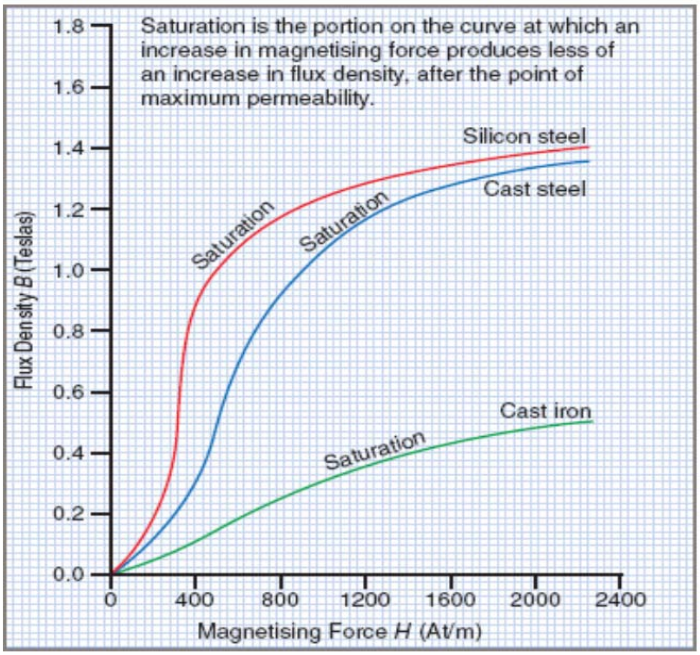
۱- قوانین KVL و KCL در مدارات مغناطیسی صادقند:

۱-۱- KCL مغناطیسی: $\sum \varphi$ **مجموع جبری شار در هر گره از مدار مغناطیسی صفر است.**

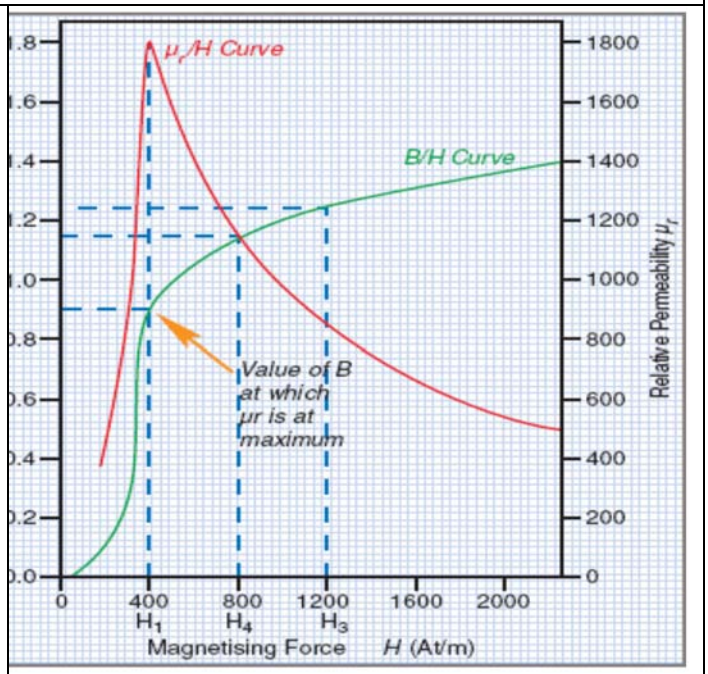
۱-۲- KVL مغناطیسی: $\sum mmf$ **مجموع جبری نیروهای محرکه مغناطیسی در هر حلقه از مدار مغناطیسی صفر است.**

۲- رابطه بین B و H غیر خطی است (B=μH) بنا براین مقدار μ ثابت نبوده و به ازای هر مقدار H و B مقدار μ متفاوت است: به منحنی مغناطیسی مواد فرو مغناطیسی توجه فرمایید. $\mu = \mu_\circ \mu_r$

۳- مواد فرومغناطیسی مورد استفاده در ساخت هسته ماشینهای الکتریکی با کیفیت متفاوت تولید می گردد که مهمترین معیارهای کیفیت مناسبتر بالا بودن μ و هر چه نزدیکتر بودن به تغییرات خطی منحنی B=f(H) و همچنین تلفات انرژی کمتر این مواد در مغناطیس شدگی AC.

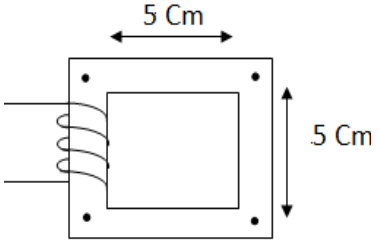


منحنی تغییرات B درمقابل H برای انواع ورقه های آهنی که در ساخت هسته ماشینهای الکتریکی مورد استفاده قرار می گیرد



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

تمرین ٤: مدار مغناطیسی شکل زیر را در نظر بگیرید. ضریب نفوذپذیری و رلوکتانس کل هسته را بدست آورید.



$$\left.\begin{aligned} \mu_r &= 2000 \\ A &= 81\,cm^2 \times 10^{-4} \end{aligned}\right\}$$

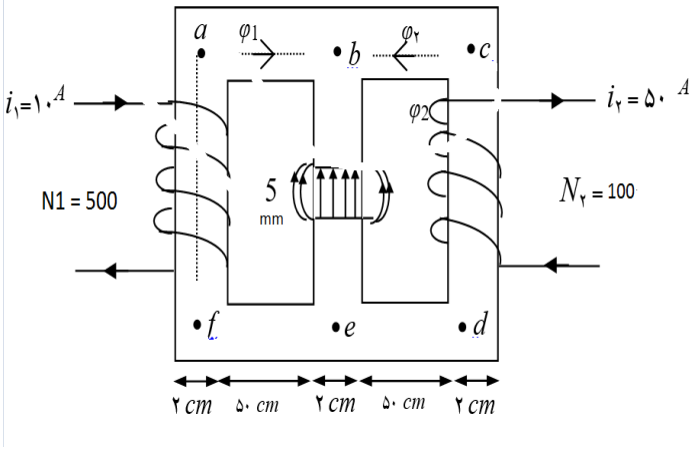
حل:

$$L_c = 5+5+5+5 = 20\,cm = 0/2m$$

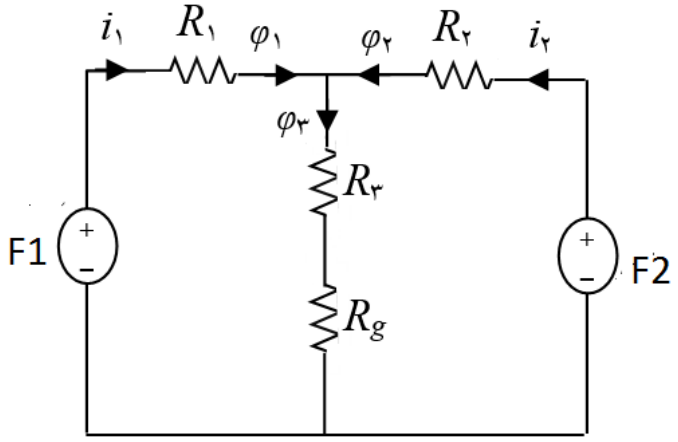
$$R = \frac{L_c}{\mu A} = \frac{0/2}{4\pi \times 10^{-7} \times 2000 \times 81 \times 10^{-4}}$$

$$\Rightarrow \quad 9824\,\frac{A.T}{web}$$

تمرین ۵ : مدار مغناطیسی شکل زیر مفروض است. ضریب نفوذپذیری مغناطیسی هسته ۱۲۰۰ بوده (و ثابت فرض شده است) و از شار نشتی و پدیده شکفتگی شار صرف نظر می کنیم سطح مقطع هسته مربع بوده و در تمام مسیر یکسان است شار و چگالی شار و شدت میدان مغناطیسی در شکاف هوایی را صادر کنید.



مدار مغناطیسی تمرین ۵



مدار معادل مغناطیسی تمرین ۵

حل:

داده ها = μ_r = ۱۲۰۰

$$R=\frac{L}{\mu A}$$

$$R=bafe=\frac{3\times52\times10^{-2}}{1200\times4\pi\times10^{-7}\times2\times2\times10^{-4}}=2/58\times10^{6}\ \frac{A.T}{web}$$

$$\mu=\mu_{\circ}\mu_r$$

$$R_{be}=\frac{51/5\times10^{-2}}{1200\times4\pi\times10^{-7}\times2\times2\times10^{-4}}=0/82\times10^{6}\ \frac{A.T}{web}$$

فاصله هوایی $R_g=\frac{L_g}{\mu A_g}=\frac{0/5\times10^{-2}}{4\pi\times10^{-7}\times2\times2\times10^{-4}}=9/94\times10^{6}\ \frac{A.T}{web}$

$$A_g=a\times b$$

با در نظر گرفتن اثر شکستی شار $A_g=(a+L_g)(b+L_g)$

قانون اهم $\boxed{V=Ri}$

$$KVL_1=R_{bafe}\times\varphi_1+(R_{be}+R_g)\times(\varphi_1+\varphi_2)=F_1$$

$$KVL_2=R_{bcde}\times\varphi_1+(R_{be}+R_g)\times(\varphi_1+\varphi_2)=F_2$$

$$F_1=N_1i_1=500\times10=5000\ \ At$$

$$F_2=N_2i_2=100\times50=5000\ \ At$$

ساده کردن معادله مجهول $\Rightarrow$
$$\begin{cases}\varphi_1(13/34\times10^{-6})+\varphi_2(10/76\times10^{16})=5000\\ \varphi_1(10/76\times10^{16})+\varphi_2(13/34\times10^{6})=5000\end{cases}$$

حل $\Rightarrow\ \varphi_1=\varphi_2=2/067\times10^{-4}\ web$

$$\varphi_g=\varphi_1+\varphi_2=4/134\times10^{-4}\ web$$

$$\boxed{\varphi = BA} \qquad B_g = \frac{\varphi_g}{A} = \frac{4/134\times10^{-6}}{4\times10^{-4}} = 1/034\,T$$

$$H_g = \frac{B_g}{\mu q} = \frac{1/034T}{4\pi\times10^{-7}\times1} = 822\times10^{3}\,\frac{At}{m}$$

تمرین هایی که باید حل کنید و ارسال نمایید.

تمرین ۱:

۱۳ ـ ۲ ـ تمرینات فصل دوم:

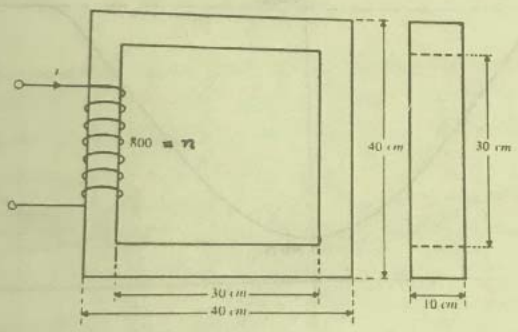
تمرین ۱: مدار فرومغناطیسی شکل (۳۹ ـ ۲) را در نظر میگیریم اندازه جریان i را که باید از بوبین $n = 800$ حلقه عبور دهیم تا فورانی برابر $\varphi = 6/5\times10^{-3}$ wb درمدار مزبور ایجاد شود برای دو حالت زیر محاسبه نمائید:

a ـ وقتی ضریب قابلیت نفوذ نسبی مدار در $\mu_r = 5000$ ثابت بماند.

b ـ ضریب قابلیت نفوذ نسبی مدار μ_r تغییراتی مطابق جدول زیر داشته باشد.

B(T)	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1,1	1,2	1,25	1,3	1,35	1,4	1,45	1,5	1,55	1,6	1,65	1,7
H(At/m)	52	58	65	76	90	110	132	165	220	300	380	600	900	1200	2000	3000	4500	6000	10000	14000

جوابها: $i = 0/362\,A$ و $i = 1/05\,A$



شکل (۳۹ ـ ۲)

تمرین ۲: اندازه اندوکسیون B را در فاصله هوائی مدار شکل (۴۰ ـ ۲) برای چهار حالت زیر محاسبه نمائید:

a ـ وقتیکه ضریب قابلیت نفوذ نسبی هسته ثابت و برابر $\mu_r = 4000$ باشد.

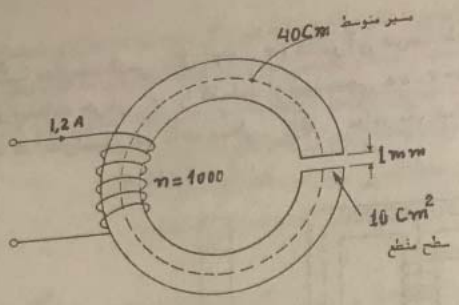
b ـ وقتیکه ضریب قابلیت نفوذ نسبی هسته بینهایت است $\mu_r = \infty$

c ـ هنگامیکه منحنی تغییرات مغناطیس شدن B(H) مدار طبق جدول تمرین ۱ باشد.

d ـ موقعیکه ضریب قابلیت نفوذ نسبی دارای تغییراتی مانند جدول زیر باشد.

B(T)	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1,1	1,2
$\mu_r = \frac{\mu}{\mu_0}$	1700	2000	2300	2500	2550	2400	2300	2100	2000	1500	1000

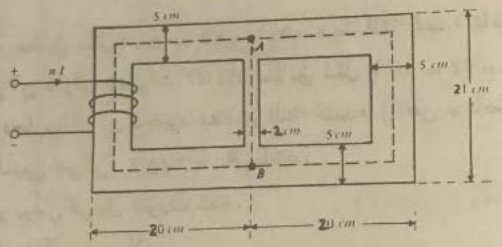
جوابها: $B = 1/37\,T$ و $B = 1/51\,T$ و $B = 1/27\,T$ و $B = 1/135\,T$



شکل (۲ – ۴۰)

تمرین ۳: مدار مغناطیسی شکل (۲ – ۴۱) بضخامت یکنواخت ۴ سانتیمتر و با تغییرات $B(H)$ مانند تمرین ۱ میباشد. نیروی محرکه مغناطیسی nI را چنان تعیین نمائید که فورانی برابر $1/4 \times 10^{-3}$ Wb از شاخه سمت راست آن عبور نماید.

جواب: ۱۸۷ آمپر دور



شکل (۲ – ۴۱)

تمرین ۴: مدار مغناطیسی که منحنی تغییرات $B(H)$ آن مانندتمرین ۱ استمطابق شکل (۲ – ۴۲) شامل سه بوبین با مشخصات زیر میباشد:

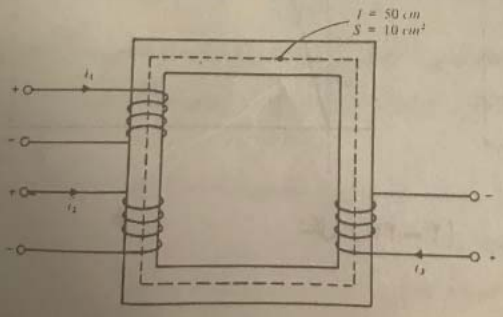
$n_1 = ۲۰۰۰$ $\quad i_1 = ۶۵$ A

$n_2 = ۴۰۰$ $\quad i_2 = ۱$ A

$n_3 = ۱۰۰۰$

جریان i_3 چه اندازه باید باشد تا فورانی برابر $1/5 \times 10^{-3}$ Wb درهسته ایجادگردد.

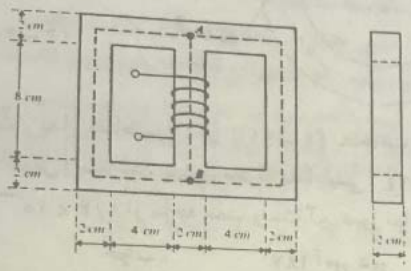
جواب: $i_3 = ۰/۹$ A



شکل (۲ – ۴۲)

تمرین ۵: مدارمغناطیسی شکل (۴۳ ـ ۲) که در آن ضریب قابلیت نفوذ نسبی طبق‌جدول تمرین ۲ تغییر مینماید جریان i را که باید از سیم‌پیچی ۲۰۰۰ حلقه‌ای عبور داده شود چنان محاسبه نمائید که اندوکسیون در شاخه وسطی AB برابر یک تسلا باشد.

$i = ۳۷/۵\ A$



شکل (۴۳ ـ ۲)

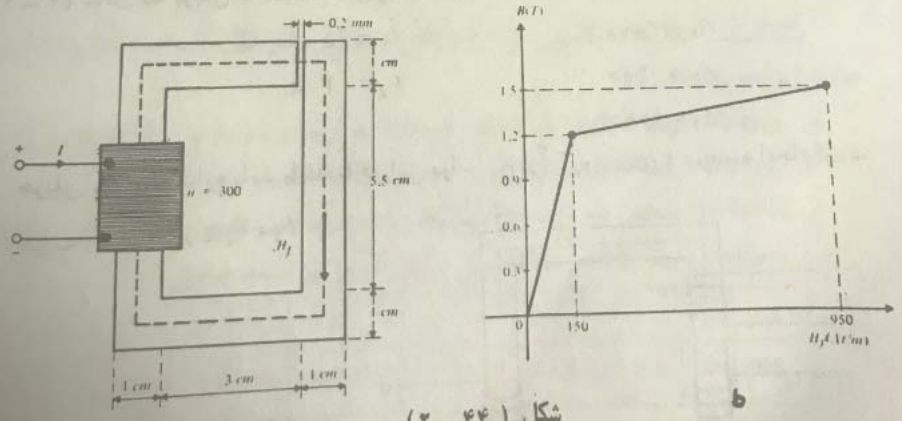
تمرین ۶: مطابق شکل (a ـ ۴۴ ـ ۲)هسته یک القاءکننده شامل یک‌فاصله هوائی بوده و ماده مغناطیسی آن دارای تغییرات $B(H)$ مطابق شکل (b ـ ۴۴ ـ ۲) میباشد.

مطلوبست محاسبه انرژی ذخیره شده در القاء کننده (آهن + فاصله هوائی) بدو روش زیر در حالیکه اندوکسیون در آن $B = ۱/۵\ T$ باشد:

۱ ـ با بکار بردن فرمول تعریف شده.

۲ ـ با محاسبه آمپر دور لازم.

جوابها: $W = ۲/۳۳ \times ۱۰^{-۲}\ J$ و $W = ۲/۳۳ \times ۱۰^{-۲}\ J$



شکل (۴۴ ـ ۲)

۸۱

تمرین ۷ : مدار مغناطیسی نشان داده شده در شکل (۴۵ ـ ۲) مفروض است این مدار شامل یک فاصله هوائی در شاخه سمت راست و بوبینی با ۵۰۰ حلقه در روی شاخه وسطی بوده ومنحنی تغییرات B(H) آن همانند جدول تمرین ۱ میباشد در صورتیکه اندوکسیون در فاصله هوائی برابر B = ۱/۱ T باشد خواسته‌های زیر را محاسبه نمائید :

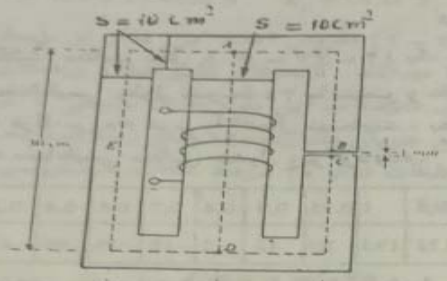
a ـ اختلاف پتانسیل مغناطیسی بین دو نقطه A و D

b ـ فوران در دو شاخه‌ها اگه فاقد فاصله هوائی هستند

c ـ جریان i در بوبین

جوابها : ۹۸۵ آمپردور و $\varphi = 1/428 \times 10^{-3}$ Wb و $\varphi_{AD} = 2/55 \times 10^{-3}$ Wb

و $i = 5/42$ A



شکل (۴۵ ـ ۲)

تمرین ۸ : شکل (۴۶ ـ ۲) مقطع یک ماشین ۶ قطبی را نشان میدهد استاتور حامل سیم‌پیچی اندوکتور پیچیده شده در پیرامون قطبها میباشد جهت و پیچش و همینطور اندازه سطح مقطع مسیرها در شکل مشخص شده‌اند ، و همینطور داریم :

$AB = 25$

$BC = 7$

$CD = 2$ (فاصله هوائی)

$DE = 7$

فرض میشود تمام قسمتهای فرومغناطیسی ازقبیل یوغ ـ هسته ـ هسته قطبی ـ آرمیچر تماما" ازفولاد ومنحنی B(H) آن مطابق جدول تمرین ۱ میباشد ، و از فوران پراکندگی صرفنظرمیشود ($\mu_r = K = 1$).

تعداد حلقه‌های هر سیم‌پیچی را در هر قطب طوری تعیین نمائید تا فوران در زیر هرقطب در ازاء ۰/۵ آمپر برابر ۰/۰۱ وبر گردد .

جواب : $n = 1903$