

مبانی مهندسی برق

دکتر پدرام پیوندی

www.pedram-payvandy.com

1

مبانی مهندسی برق

۴-۱۱-

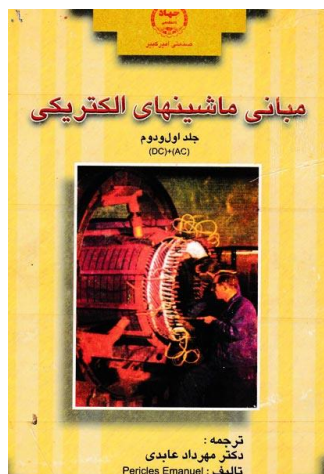
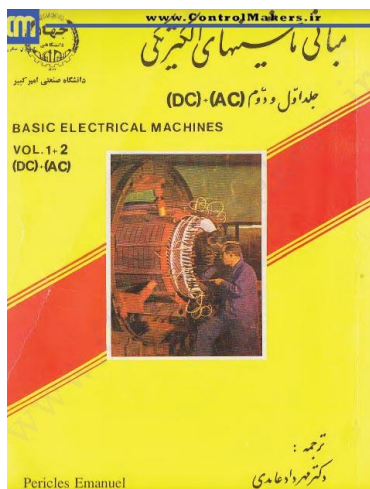
Electrical Engineering Fundamentals

کد درس	۳۱۱	تعداد واحد	۳	تعداد ساعت	۴۸
نوع درس	تخصصی- نظری				
درس یا دروس پیش نیاز	فیزیک عمومی (۲)				
آموزش تکمیلی:	دارد ☐	ندارد ☒			
مدر علم:	دارد ☐	ندارد ☒			
سمینار:	دارد ☐	ندارد ☒			
اهداف کلی درس:	آشنایی نمرود دانشجویان با اصول نظری جریانهای دائم و متناوب در ابزارهای الکتریکی.				
روش مطالب:	مفاهیم و تکنیکهای مفاهیم، محاسبات نیروی مغناطیسی، مدارهای مغناطیسی، اصول کار ماشینهای چرخان دائم با تحریک سری و موازی و مرکب و جداگانه، ترانسفورماتور یک فاز و سه فاز، اتوترانسفورمر، ترانسفورماتور افزاینده، انواع اتصالات ترانسفورماتورهای سه فاز، ماشینهای سنگین به صورت مولد و موتور اتصال سوازی سولدهای سنگین، ماشینهای آسنکرون با موتور سیم پیچی شده و موتور قفس سنجایی، آشنایی با ماشینهای یک فاز با قطب شکافدار یا شارژ، موتور لاکتانی.				
روش ارزیابی:					
ارزشیابی مستمر	میان ترم	آزمون نهایی	آزمون نوشتاری	مسلکری	
فهرست منابع:	۱. مهندس عبادی، "مبانی ماشینهای الکتریکی"، جهاد دانشگاهی دانشگاه صنعتی امیرکبیر، ۱۳۸۶. ۲. استیون ج. چاپمن، ترجمه علیرضا صدوقی، محمود دیانی، "مبانی ماشینهای الکتریکی"، چاپ چهارم، نص، ۱۳۸۵.				

www.pedram-payvandy.com

2

مرجع درسی:



www.pedram-payvandy.com

3

ارزیابی:

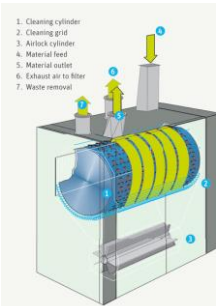
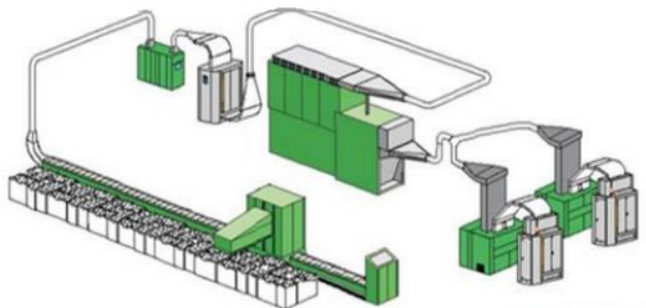
- میان ترم ۶ نمره
- پایان ترم ۱۰ نمره
- تمرین و کوئیز ۴ نمره

هرگونه ارفاق فقط به دانشجویانی تعلق خواهد گرفت که از مجموع نمره میان ترم و پایان ترم بیش از نمره 8 کسب کرده باشند

www.pedram-payvandy.com

4

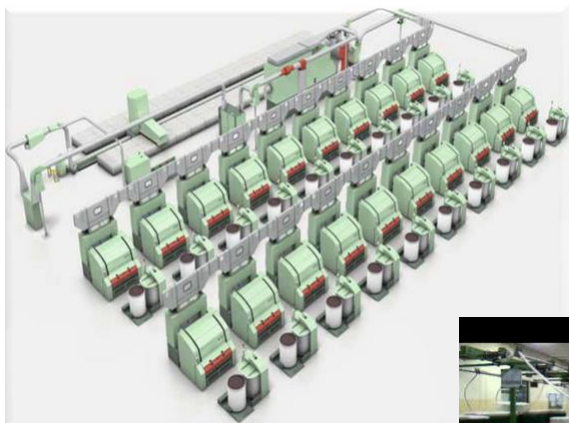
کاربرد مهندسی برق در صنعت نساجی



www.pedram-payvandy.com

5

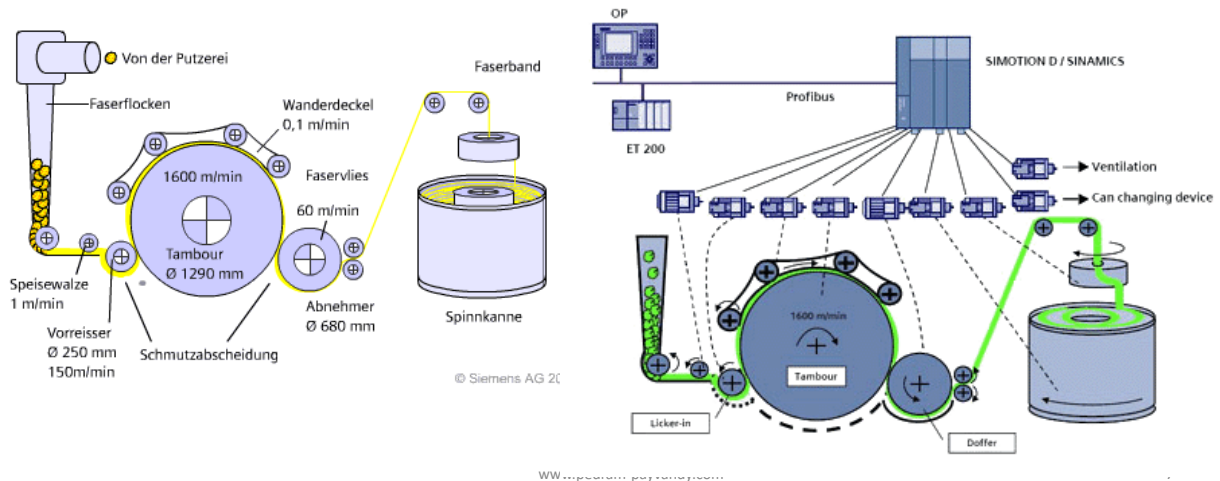
کاربرد مهندسی برق در صنعت نساجی



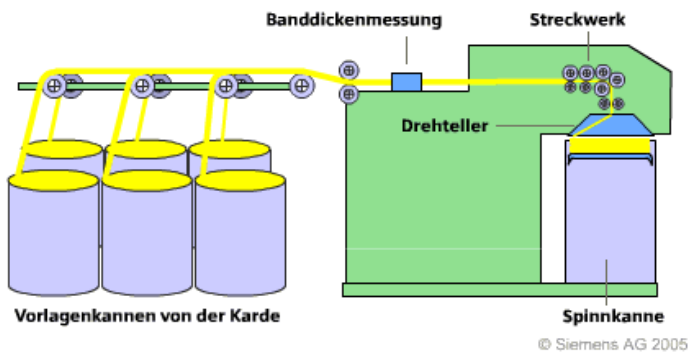
6

کاربرد مهندسی برق در صنعت نساجی

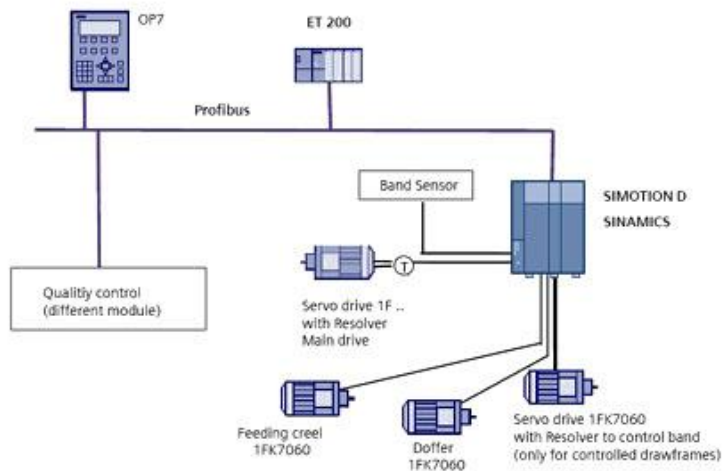
Driving the main units requires between 3 and 5 drive motors, including about 3 servo motors:
1 motor 11-15 kW for the main cylinder; 3 motors 0.5 kW for taker-in and doffing cylinder, corresponding drives



کاربرد مهندسی برق در صنعت نساجی

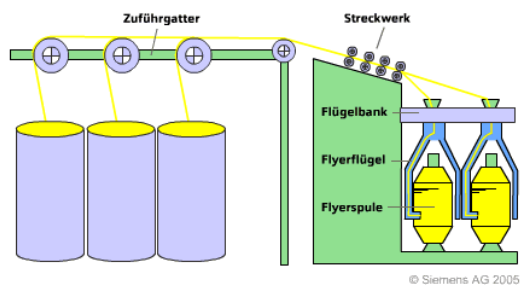


کاربرد مهندسی برق در صنعت نساجی

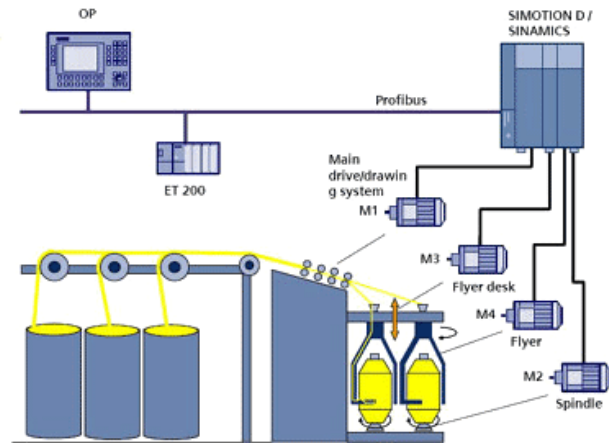
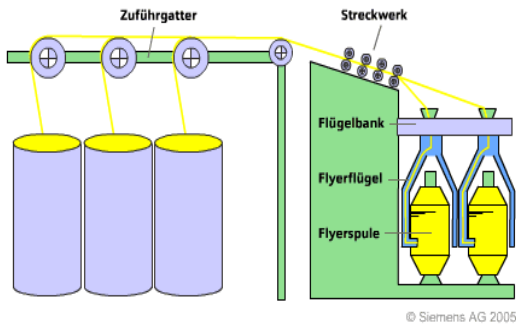


9

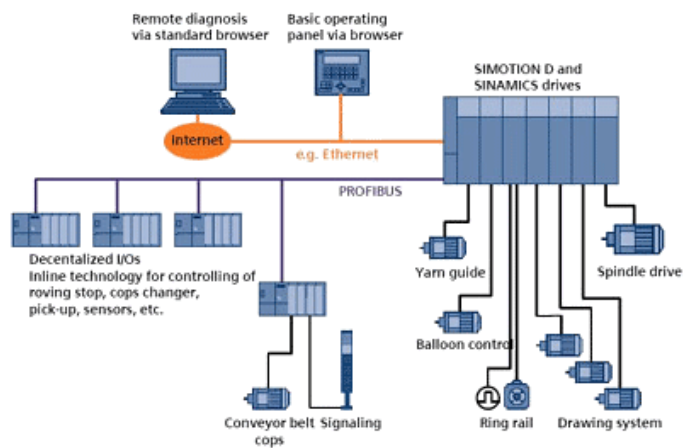
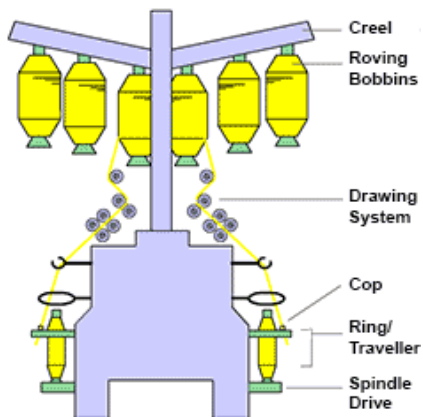
کاربرد مهندسی برق در صنعت نساجی



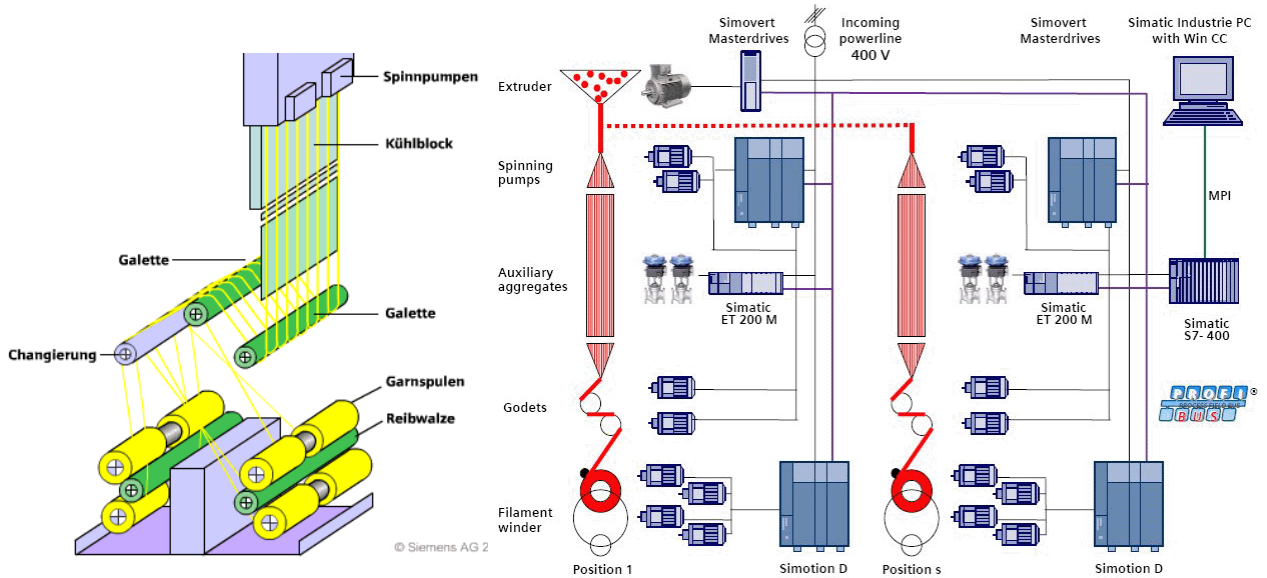
کاربرد مهندسی برق در صنعت نساجی



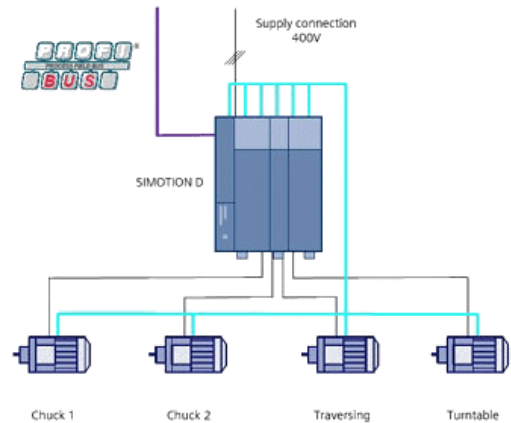
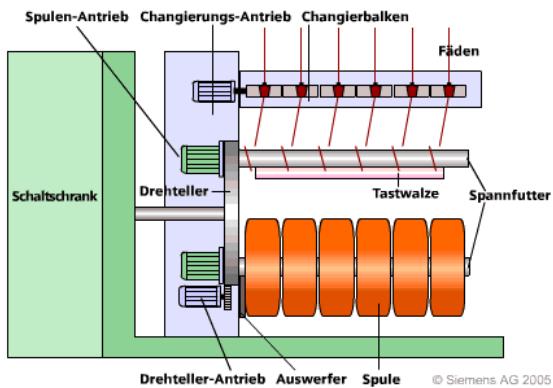
کاربرد مهندسی برق در صنعت نساجی



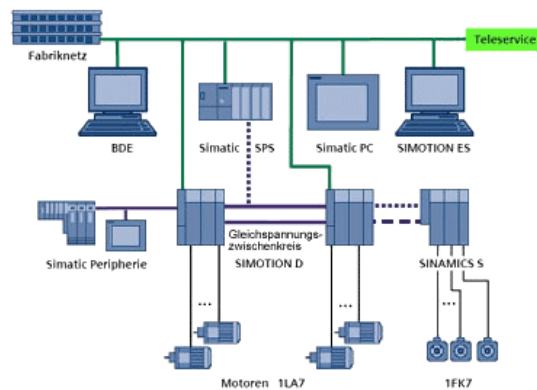
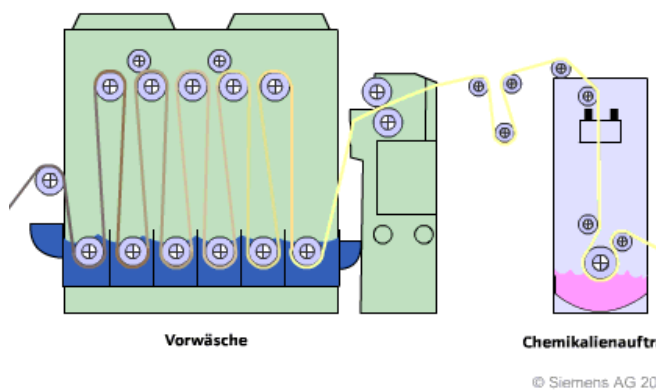
کاربرد مهندسی برق در صنعت نساجی



کاربرد مهندسی برق در صنعت نساجی



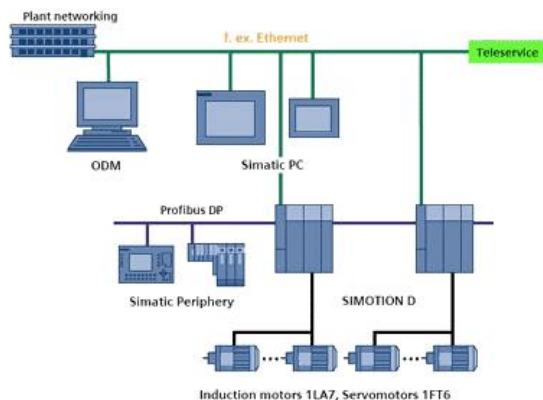
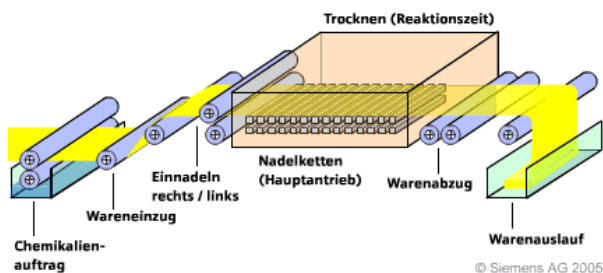
کاربرد مهندسی برق در صنعت نساجی



www.pedram-payvandy.com

15

کاربرد مهندسی برق در صنعت نساجی



www.pedram-payvandy.com

16

کاربرد مهندسی برق در صنعت نساجی



www.pedram-payvandy.com

17

کاربرد مهندسی برق در صنعت نساجی



www.pedram-payvandy.com

18

کاربرد مهندسی برق در صنعت نساجی



www.pedram-payvandy.com

19



کاربرد مهندسی برق در صنعت نساجی

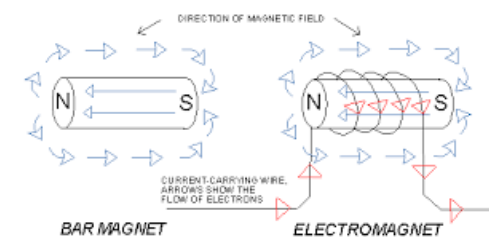
www.pedram-payvandy.com

20

کاربرد مهندسی برق در صنعت نساجی

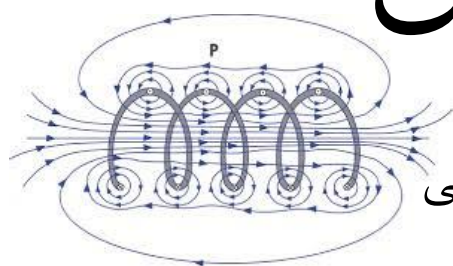
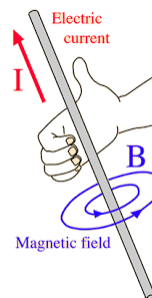
www.pedram-payvandy.com

21

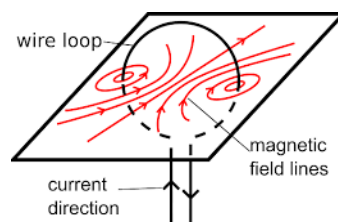


فصل اول

مغناطیس



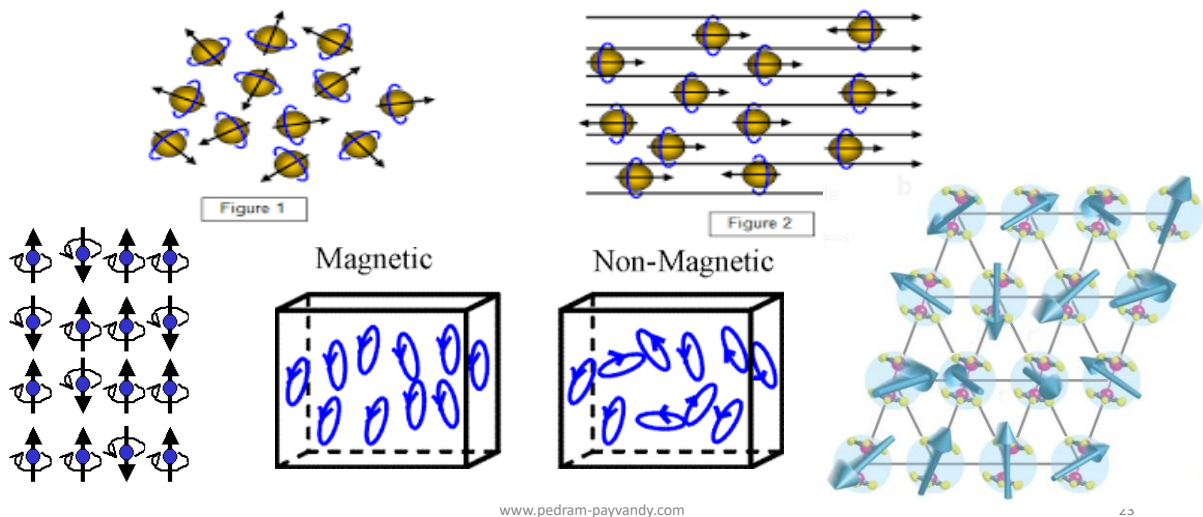
مفاهیم اولیه
مدارات الکترومغناطیسی



www.pedram-payvandy.com

22

طریقه ایجاد میدان مغناطیسی



23

میدان مغناطیسی

- میدان مغناطیسی میدانی است که توسط یک جسم مغناطیسی یا ذرات، و یا با تغییر میدان الکتریکی، تولید شده است. و توسط نیرویی که روی دیگر مواد مغناطیسی و یا حرکت بار الکتریکی اعمال می شود شناسایی می شود. میدان مغناطیسی در هر نقطه ی داده شده توسط هر دو پارامتر جهت و شدت (یا مقاومت) مشخص می شود، که به عنوان یک میدان برداری شناخته می شود. اشیایی که خود میدان مغناطیسی تولید می کنند آهنربا نامیده می شوند. آهنرباها توسط نیروها و گشتاورهایی که توسط میدان های مغناطیسی تولید می کنند بر یکدیگر تاثیر می گذارند.
- میدان مغناطیسی برای دو میدان برداری مختلف استفاده می شود، که میدان های B و H نامیده می شوند (توجه بسیاری از نام های جایگزین برای هر دو وجود دارد) برای اجتناب از اشتباه، در اینجا از میدان B و میدان H استفاده شده است. در هر مورد که هر دوی آنها استفاده شده اند از میدان مغناطیسی نام برده شده است.

www.pedram-payvandy.com

25

میدان مغناطیسی

- خارج از مواد، میدان های B و H غیر قابل تشخیص هستند. (آن ها تنها در واحدهای خود و مقدار، متفاوتند و در تغییرات زمانی و مکانی تفاوتی ندارند) تنها در داخل ماده ای که تفاوت مهم است. میدان B به جریان بستگی دارد (هم ماکروسکوپی و هم میکروسکوپی مانند حرکت الکترون به دور هسته آن). در حالی که میدان H به جریان های ماکروسکوپی و برداری که به پدیده ی شار مغناطیسی بسیار نزدیک است، بستگی دارد

Alternative names for B

used by	name
electrical engineers	magnetic flux density
applied mathematicians electronics engineers	magnetic induction
physicists	magnetic field

Alternative names for H

used by	name
electrical engineers	magnetic field intensity
electronics engineers	magnetic field strength
applied mathematicians	auxiliary magnetic field
physicists	magnetizing field

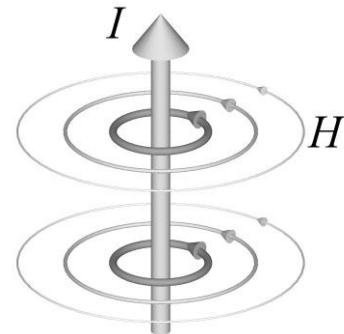
www.pedram-payvandy.com

26

شدت میدان مغناطیسی

- در اطراف سیم حامل جریان الکتریکی شدت میدان مغناطیسی ایجاد می گردد که میزان آن به نوع محیط اطراف سیم بستگی ندارد.

$$H = \frac{I}{2 \cdot \pi \cdot r} \quad (\text{A/m})$$



www.pedram-payvandy.com

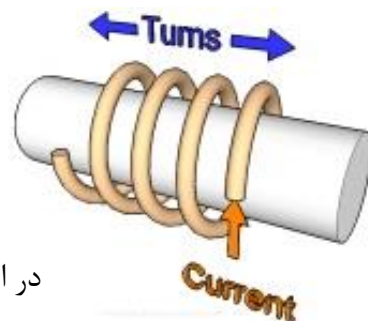
27

شدت میدان مغناطیسی

- در حالت کلی شدت میدان مغناطیسی برابر با مقدار نیروی محرکه مغناطیسی تقسیم بر طول خطوط میدان مغناطیسی می باشد.

$$MMF, F_m = I N$$

$$H = \frac{I N}{l} = \frac{F_m}{l}$$



در این رابطه مقدار جریان و N تعداد دور سیم پیچ است.

www.pedram-payvandy.com

28

چگالی میدان مغناطیسی

- در اثر در معرض شدت میدان مغناطیسی قرار گرفتن مواد در درون آن چگالی میدان مغناطیسی ایجاد می گردد.

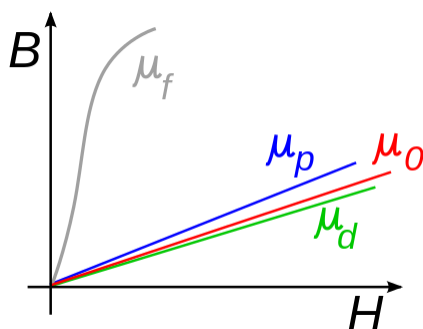
$$B = \mu \cdot H \quad (T)$$

www.pedram-payvandy.com

29

گذردهی مغناطیسی (پرما بیلته)

گذردهی مغناطیسی معیاری برای قابلیت هر ماده برای عمل کردن به صورت مسیری برای خطوط نیروی مغناطیسی.



نمودار ساده شده برای مقایسه گذردهی مغناطیسی در:
فرومغناطیسها (μ_f)، پارامغناطیسها (μ_p)، فضای آزاد (μ_0) و
دیامغناطیسها (μ_d)

www.pedram-payvandy.com

30

گذردهی مغناطیسی نسبی (پرمابیلیته)

گذردهی مغناطیسی معیاری برای قابلیت هر ماده برای عمل کردن به صورت مسیری برای خطوط نیروی مغناطیسی نسبت به گذردهی مغناطیسی هوا (خلاء).

• μ ضریب نفوذ پذیری هوا (خلاء) بوده و مقدار آن عبارت است از:

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$$

$$\mu = \mu_0 \cdot \mu_r$$

در این رابطه μ ضریب گذر دهی مطلق ماده می باشد و μ_0 مقدار ضریب نفوذ در خلا و μ_r مقدار ضریب نفوذ نسبی ماده را بیان می کند یعنی ضریب نفوذ آن نسبت به خلا .

www.pedram-payvandy.com

31

واحد گذردهی مغناطیسی (پرمابیلیته)

$$B = \mu_0 \cdot \mu_r \cdot H$$

$$\mu = \frac{B}{H} \quad \mu \text{ واحد} \quad [\mu] = \frac{\left[\frac{wb}{m^2}\right]}{\left[\frac{A}{m}\right]} = \frac{wb}{m.A} = \frac{V.S}{m.A} = \frac{\Omega.S}{m} = \frac{H}{m} \rightarrow \mu \left[\frac{H}{m}\right]$$

www.pedram-payvandy.com

32

R مقاومت مغناطیسی (رلوکتانس)

ایستادگی در مقابل عبور خطوط میدان یا در مقابل عبور جریان مغناطیسی را مقاومت مغناطیسی می گویند.

$$\text{Reluctance } R_m = \frac{mmf}{\Phi} = \frac{N.I}{B.A} = \frac{N.I}{\mu_0 \cdot \mu_r \cdot H.A} = \frac{N.I}{\mu_0 \cdot \mu_r \cdot \frac{N.I}{L} \cdot A} = \frac{L}{\mu_0 \cdot \mu_r \cdot A}$$

در رابطه بالا L طول جسم و A سطح مقطع جسم می باشد و همچنین μ ضریب نفوذ مغناطیسی جسم می باشد.

$$R = \frac{L}{\mu_0 \cdot \mu_r \cdot A}$$

www.pedram-payvandy.com

33

مواد مغناطیسی

همه آهنرباهای دائم (موادی که می توانند توسط یک میدان مغناطیسی خارجی مغناطیسی شوند و بعد از حذف میدان مغناطیسی خارجی آهنربا باقی بمانند) **فرومغناطیس** هستند، به طوری که مواد دیگر به آنها جذب می شوند.

پارامغناطیس شکلی از خاصیت مغناطیسی مواد است که به واسطه آن برخی از مواد به وسیله ی میدان خارجی اعمال شده جذب می شوند. مواد پارامغناطیس شامل بیشتر عناصر شیمیایی و برخی از ترکیبات می شوند. آنها تراوایی مغناطیسی نسبی ای بزرگتر یا مساوی با یک دارند و از همین رو توسط میدان مغناطیسی جذب می شوند. این مواد که به مقدار اندکی توسط یک میدان مغناطیسی جذب می شوند پس از قطع میدان حالت مغناطیسی خود را حفظ نمی کنند.

مواد **دیامغناطیس**، موادی هستند که در اثر اعمال یک میدان مغناطیسی خارجی در آنها یک میدان مغناطیسی القایی در جهت مخالف ایجاد می شود و توسط میدان دفع می شوند. مواد پارامغناطیس برعکس این رفتار را از خود نشان می دهند.

www.pedram-payvandy.com

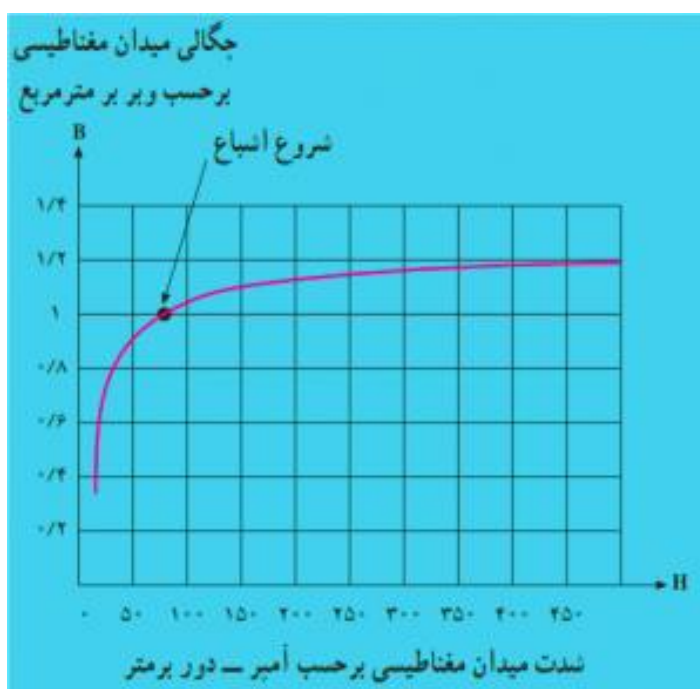
34

پدیده ی اشباع و اثر آن

- می دانیم که با افزایش عامل مغناطیس کننده (نیروی محرکه مغناطیسی ، جریان الکتریکی ، شدت میدان مغناطیسی) باعث منظم شدن مولکول های مغناطیسی هسته می شود و در نتیجه میدان درون هسته رو به افزایش است. اما مقدار این افزایش خطی نیست و به مرور در حال نقصان است تا جایی که دیگر افزایشی انجام نمی گیرد و هر چه عامل مغناطیس کننده بیشتر شود در افزایش میدان تاثیری ندارد که به این پدیده اشباع مغناطیسی می گوئیم .
- علت این امر این است که افزایش میدان در هسته های فری و فرو با منظم شدن مولکول های مغناطیسی انجام می شود هرچه این مولکول ها منظم تر شوند میدان افزایش می یابد تا جایی که تمام مولکول های مغناطیسی منظم شده اند و دیگر با افزایش جریان الکتریکی یا نیروی محرکه میدان افزایش نمی یابد چون تمام مولکول های مغناطیسی هسته منظم شده اند.

www.pedram-payvandy.com

35



36

شار مغناطیسی

به تعداد خطوط میدان مغناطیسی که از یک سطح بسته می گذرند شار مغناطیسی گفته می شود.

که واحد آن در سیستم SI وبر می باشد.

$$\text{Magnetic flux} = \Phi = B A$$

Magnetic field →
Area perpendicular to magnetic field B →

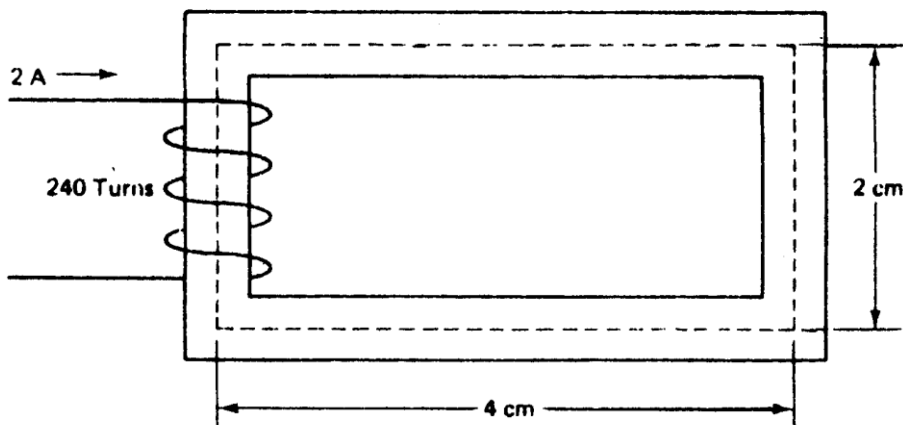
www.pedram-payvandy.com

37

Example 1-10 (SI)

مثال ۱-۱۰ (سیستم SI) :

هسته ای مطابق شکل (۹-۱) مفروض است. جنس هسته از چدن بوده و سطح مقطع آن در کل مسیریکنواخت است. مطلوبست محاسبه چگالی شار (B) در این هسته.



شکل ۹-۱: هسته مربوط به مثال ۱-۱۰

$$l = 4 \text{ cm} + 2 \text{ cm} + 4 \text{ cm} + 2 \text{ cm}$$

$$= 12 \text{ cm}$$

$$= 12(0.01) = 0.12 \text{ m}$$

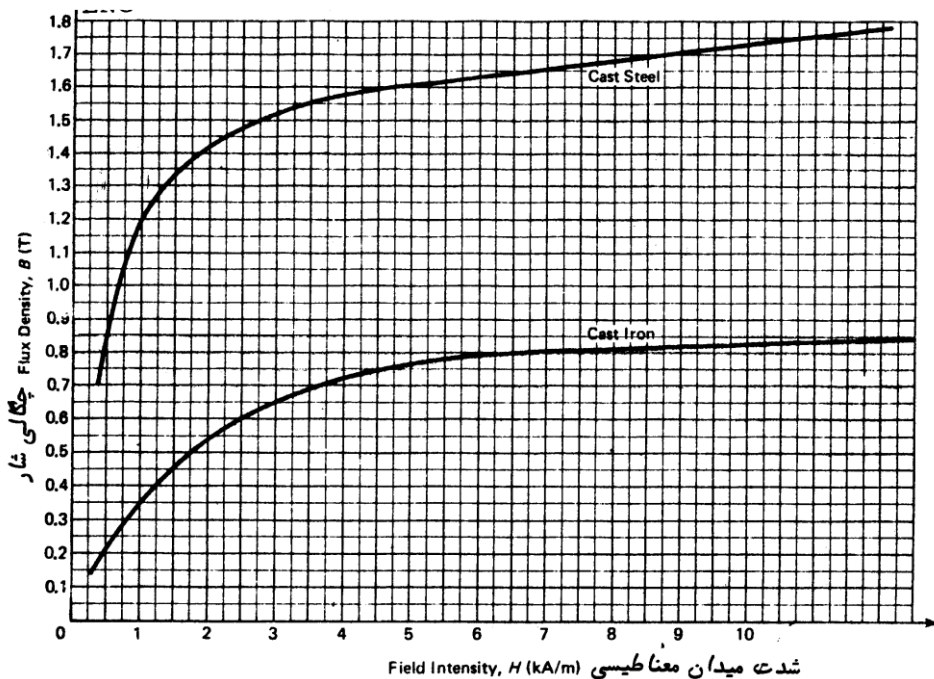
از رابطه (b-4) داریم:

$$H = \frac{NI}{l}$$

$$H = \frac{240(2)}{0.12}$$

$$= 4000 \text{ A/m} = 4 \text{ kA/m}$$

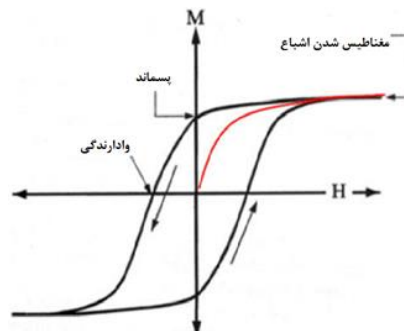
حال از منحنی B-H در شکل (۷-۱) استفاده کرده و با دانستن H، B را میخوانیم. ملاحظه میکنیم B معادل ۰/۷۱ تسلا خواهد بود. توجه کنید که در اینجا دیگر رابطه (۹-۱) کارساز نخواهد بود.



شکل ۷-۱: منحنی مغناطیس‌شوندگی برای فولاد ریخته‌گری و چدن در سیستم SI

پسماند مغناطیسی (هیستریزیس)

- پسماند در مواد فرومغناطیسی پدیده‌ای معروف است. هنگامی که یک میدان مغناطیسی خارجی بر روی یک فرومغناطیس عمل کند دوقطبی‌های اتمی، خود را با این میدان خارجی هم‌راستا می‌کنند. حتی پس از خنثی کردن میدان مغناطیسی خارجی، بخشی از این جهت‌گیری به جا می‌ماند. بنابر این در این حالت اصطلاحاً گفته می‌شود که این ماده مغناطیده شده‌است.



41

Example 1-12 (SI)

مثال ۱۲ - ۱ (سیستم SI) :

- میخواهیم در یک هسته مفروض ماکزیم شاری (ϕ_{max}) معادل ۰/۰۰۳۵ وبر بوجود آوریم . مطلوبست محاسبه سطح مقطع مینیم برای این هسته . اگر :
- الف : جنس هسته از چدن با حداکثر چگالی شار ۰/۸ تسلا باشد .
- ب) : جنس هسته فولاد ریخته‌گری با حداکثر چگالی شار ۱/۶ تسلا باشد .

حل :

$$B_{max} = \frac{\phi_{max}}{A_{min}} \quad \text{الف) : از رابطه (b-۱) داریم :}$$

$$A_{min} = \frac{\phi_{max}}{B_{max}} = \frac{3.5 \times 10^{-3} \text{ Wb}}{0.8 \text{ T}} = 4.375 \times 10^{-3} \text{ m}^2 \quad \text{لذا :}$$

$$A_{min} = \frac{\phi_{max}}{B_{max}} = \frac{3.5 \times 10^{-3} \text{ Wb}}{1.6 \text{ T}} = 2.1875 \times 10^{-3} \text{ m}^2 \quad \text{ب) :}$$

مدارات مغناطیسی

"یک مدار مغناطیسی موجود است. اگر بخواهیم در آن شار مفروضی بوجود آوریم، MMF مورد نیاز را بدست می آوریم. اینگونه مسائل مشابه مدارهای الکتریکی سری هستند که می خواهیم جریان مفروضی از این مدارها بگذرد و مجهول مساله همان نیروی محرکه الکتریکی یا EMF خواهد بود. همانطور که میدانیم حل اینگونه مدارهای الکتریکی بسیار ساده است، یعنی تمامی افتهای RI را در کل مسیر حساب نموده و با یکدیگر جمع می کنیم تا (EMF) مورد نظر بدست آوریم. در مدارهای مغناطیسی باید عملیات زیر را انجام داد.

- ۱- با دانستن شار (ϕ) و سطح مقطع باید B را حساب کرد.
- ۲- با معلوم شدن B و دانستن جنس هسته از روی منحنیهای $B-H$ ، H را حساب می کنیم.
- ۳- حال افتهای HL (یا همان افتهای $MMF^{(1)}$) را در دور حلقه حساب کرده و مجموع افتهای HL همان MMF مورد نیاز $(MMF \text{ کل})$ خواهد بود.

www.peuram-payvanuy.com

43

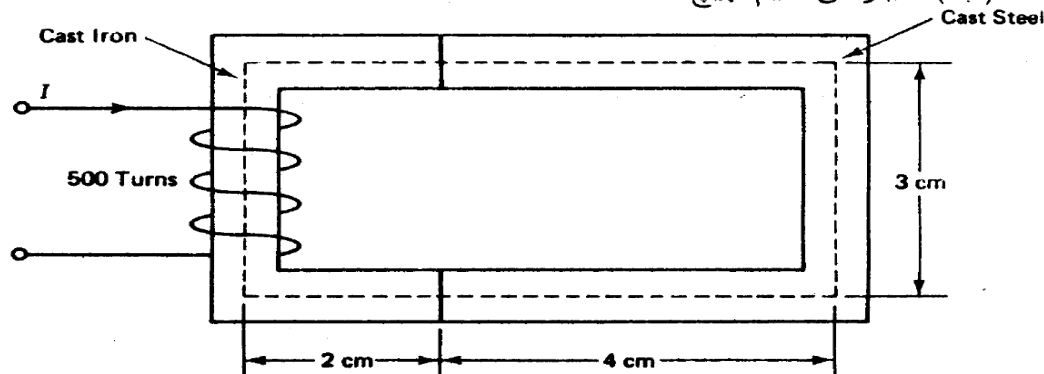
Example 1-14 (SI)

مثال ۱۴-۱ (سیستم SI):

هسته ای مطابق شکل (۱۲-۱) مفروض است. سطح مقطع در کل هسته یکنواخت بوده و معادل $0/00009$ متر مربع می باشد. اگر بخواهیم شار در هسته $0/000075$ وبر باشد، مطلوبست:

(الف): MMF مورد نیاز که باید توسط سیم پیچ تولید شود.

(ب): جریان سیم پیچ.



شکل ۱۲-۱: هسته مربوط به مثال ۱۴-۱

$$B = \frac{\phi}{A} = \frac{0.75 \times 10^{-3}}{9 \times 10^{-4}} = 0.83 \text{ T}$$

$$l = 2 \text{ cm} + 3 \text{ cm} + 2 \text{ cm}$$

$$= 7 \text{ cm} = 0.07 \text{ m}$$

$$l = 4 \text{ cm} + 3 \text{ cm} + 4 \text{ cm}$$

$$= 11 \text{ cm} = 0.11 \text{ m}$$

$$\text{total MMF} = 658 + 55 = 713 \text{ A}$$

$$\text{Total MMF} = NI$$

$$713 = 500I$$

$$I = \frac{713}{500} = 1.43 \text{ A}$$

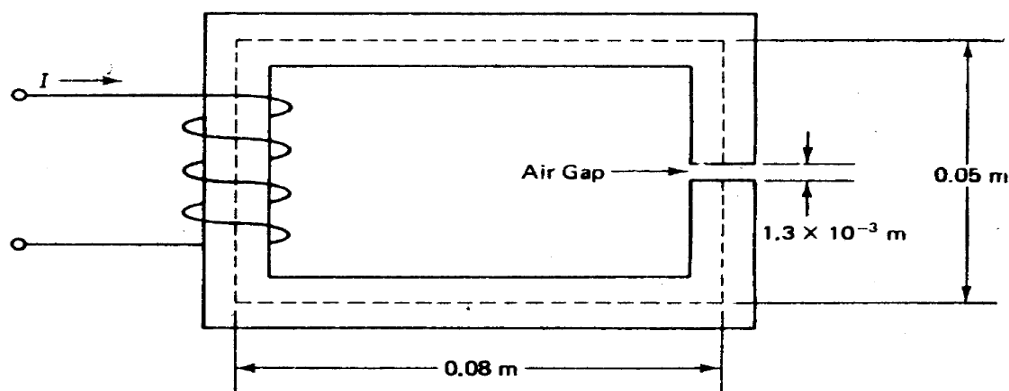
www.pedram-payvandy.com

45

Example 1-16 (SI)

مثال ۱۶-۱ (سیستم SI) :

هسته‌ای مطابق شکل (۱۴-۱) مفروض بوده و از جنس چدن ساخته شده است. اگر بخواهیم شار در این مدار ۰/۰۰۱۵ و بر باشد، مطلوبست محاسبه MMF مورد نیاز فرض بر آن است که سطح مقطع در کل هسته و نیز در فاصله هوایی یکسان بوده و معادل ۰/۰۰۲ متر مربع باشد.



$$B = \frac{\phi}{A} = \frac{15 \times 10^{-4}}{20 \times 10^{-4}} = 0.75 \text{ T}$$

$$B = \mu_0 H$$

$$H = \frac{B}{\mu_0} = \frac{0.75 \text{ T}}{4\pi \times 10^{-7} \frac{\text{T}}{\text{A/m}}} = 5.97 \times 10^5 \text{ A/m}$$

$$l = 0.08 \text{ m} + 0.05 \text{ m} + 0.08 \text{ m} + 0.05 \text{ m} = 0.26 \text{ m}$$

$$\text{total MMF} = 1170 + 776.1 = 1946.1 \text{ A}$$

www.pedram-payvandy.com

47

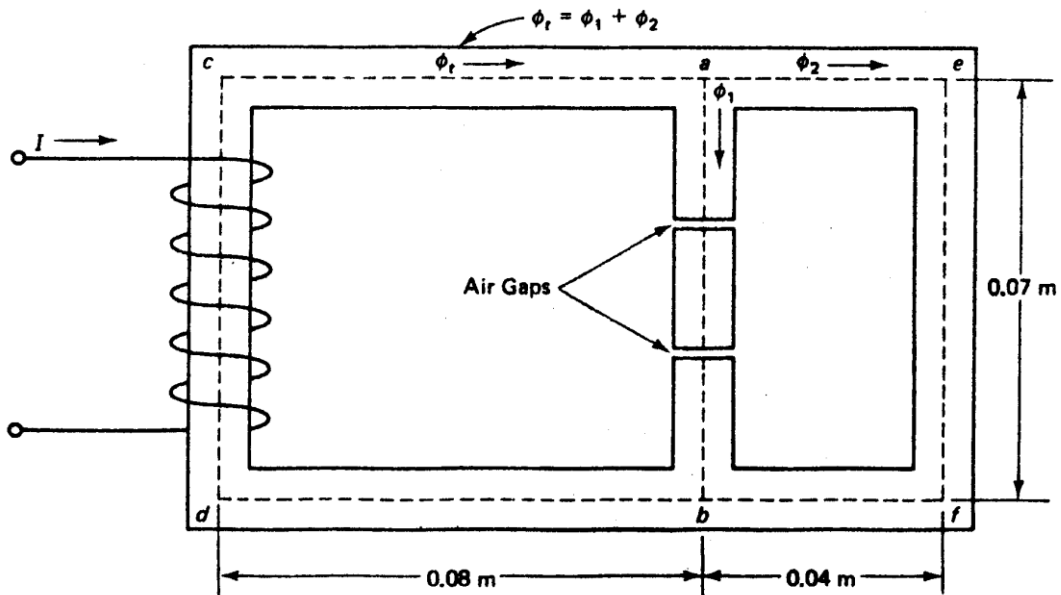
Example 1-18 (SI)

مثال ۱۸-۱ (سیستم SI):

هسته‌ای مطابق شکل (۱۶-۱) مفروض بوده و از جنس فولاد ریخته‌گری می‌باشد. اگر بخواهیم شار در فاصله هوایی (ϕ_1) معادل 0.0024 وبر باشد، MMF مورد نیاز را حساب کنید. فرض بر آن است که سطح مقطع در پایه وسطی هسته (a تا b) و همچنین سطح مقطع فواصل هوایی 0.0028 متر مربع می‌باشد. سطح مقطع قسمت سمت راست هسته 0.0035 متر مربع و سطح مقطع قسمت سمت چپ هسته 0.005 متر مربع می‌باشد. طول هر کدام از فواصل هوایی 0.001 متر است.

www.pedram-payvandy.com

48



شکل ۱۶-۱ هسته مربوط به مثال ۱۸-۱

www.pedram-payvandy.com

49

$$H_{ab} = 0.5 \text{ kA/m} = 500 \text{ A/m}$$

$$H_{\text{air gap}} = \frac{B}{\mu_0} = \frac{0.86}{4\pi \times 10^{-7}} = 684 \text{ kA/m}$$

$$B = \frac{\phi}{A} = \frac{24 \times 10^{-4}}{28 \times 10^{-4}} = 0.86 \text{ T}$$

$$Hl = 35 + 1368 = 1403 \text{ A}$$

$$H = \frac{Hl}{l} = \frac{1403}{0.15} = 9.353 \text{ kA/m}$$

$$B = 1.72 \text{ T}$$

$$\phi_2 = B \times A = 1.72 \times 35 \times 10^{-4} = 60.2 \times 10^{-4}$$

$$\phi_t = \phi_1 + \phi_2$$

$$= 24 \times 10^{-4} + 60.2 \times 10^{-4} = 84.2 \times 10^{-4}$$

$$B = \frac{84.2 \times 10^{-4}}{50 \times 10^{-4}} \approx 1.68 \text{ T}$$

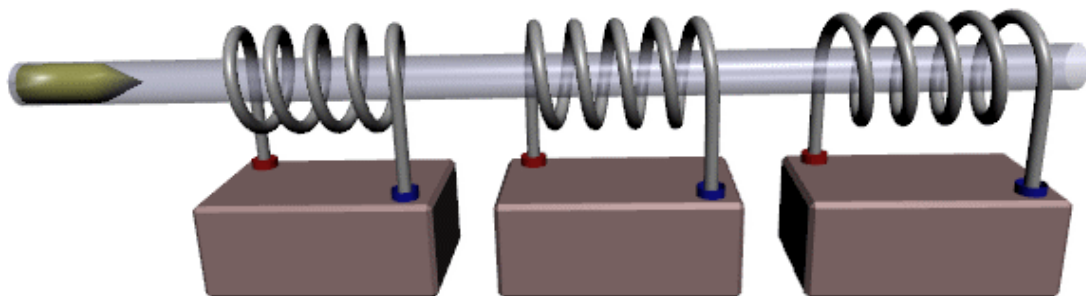
$$H = 7.75 \text{ kA/m}$$

$$Hl = 7.75 \text{ k} \times 0.23 = 1782.5 \text{ A}$$

$$\text{Total coil MMF} = 1782.5 + 1403 = 3185.5 \text{ A}$$

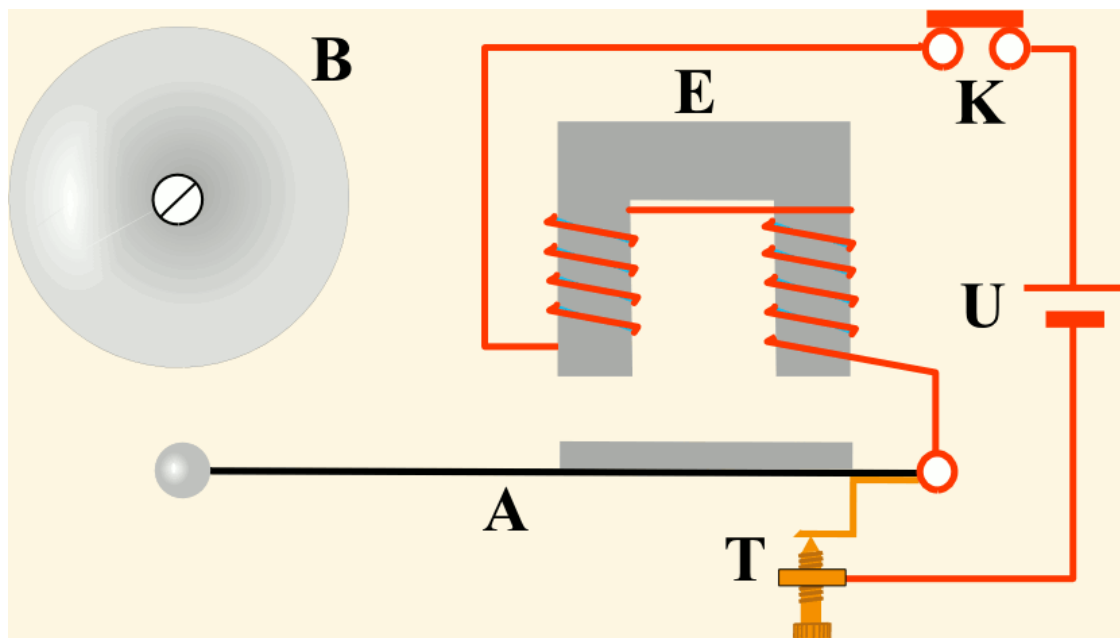
$$1782.5 + 35 + 1368 = 3185.5 \text{ A.}$$

50



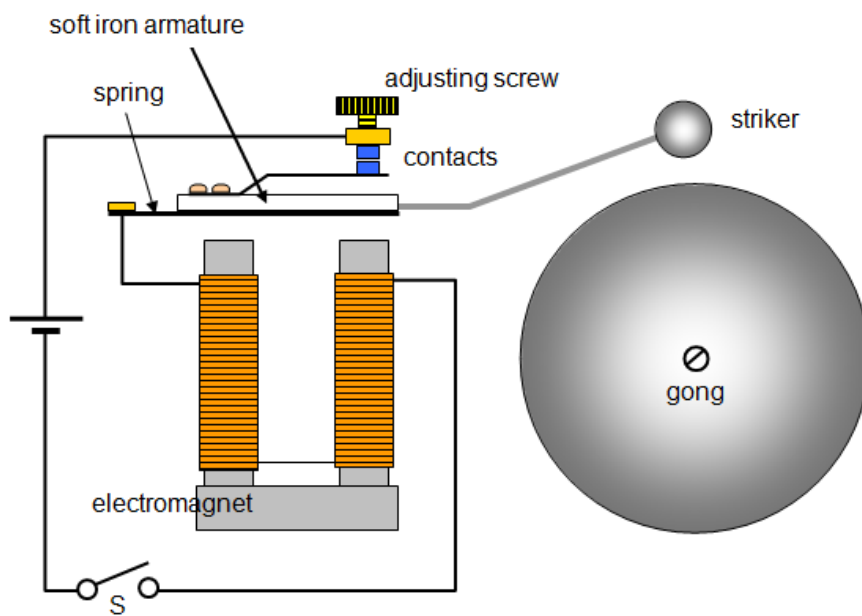
www.pedram-payvandy.com

51



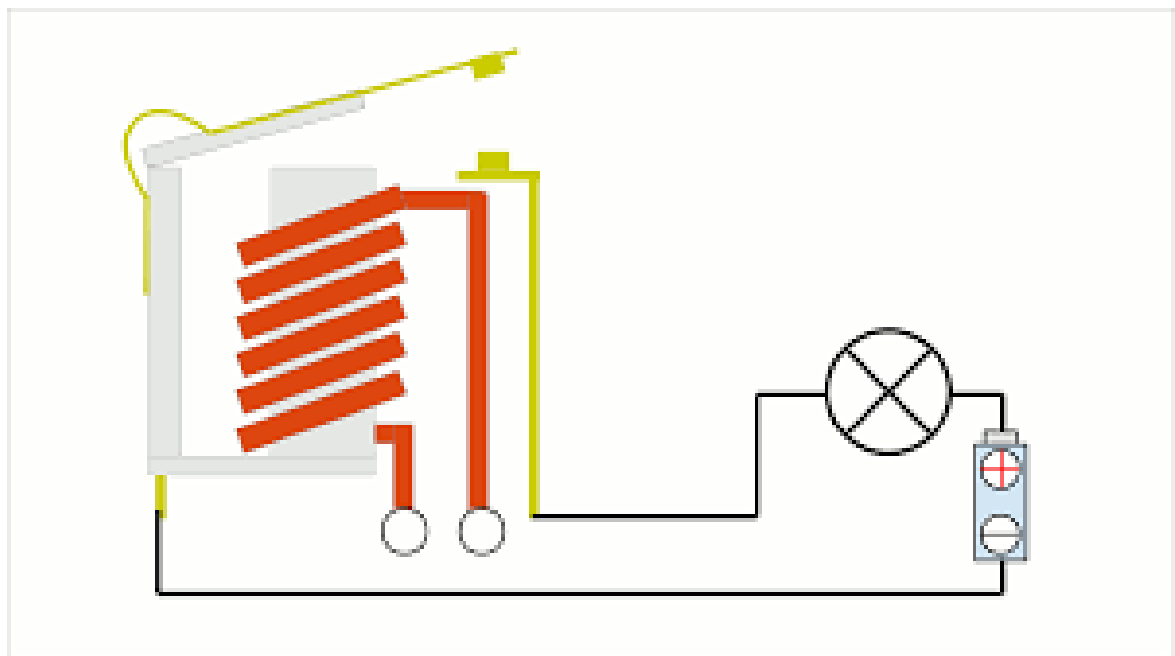
www.pedram-payvandy.com

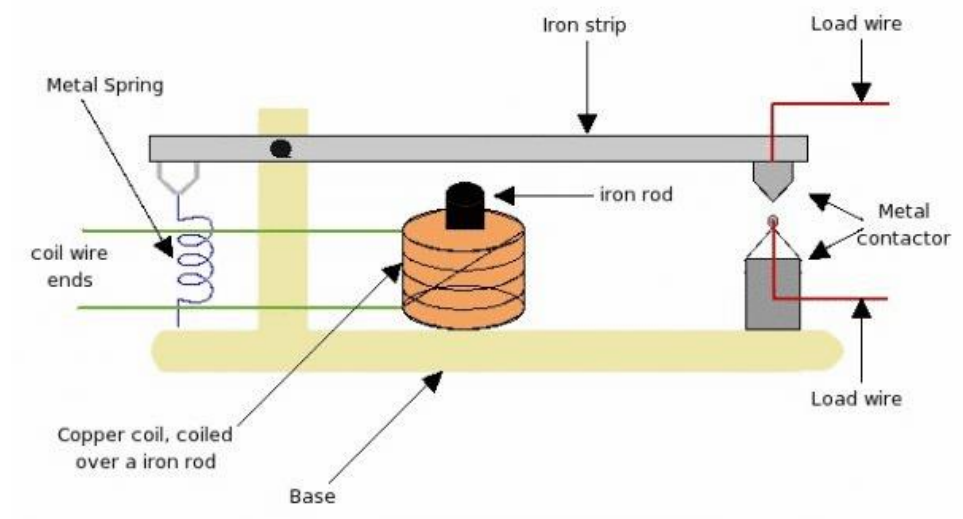
52



www.pcuram-payvanuy.com

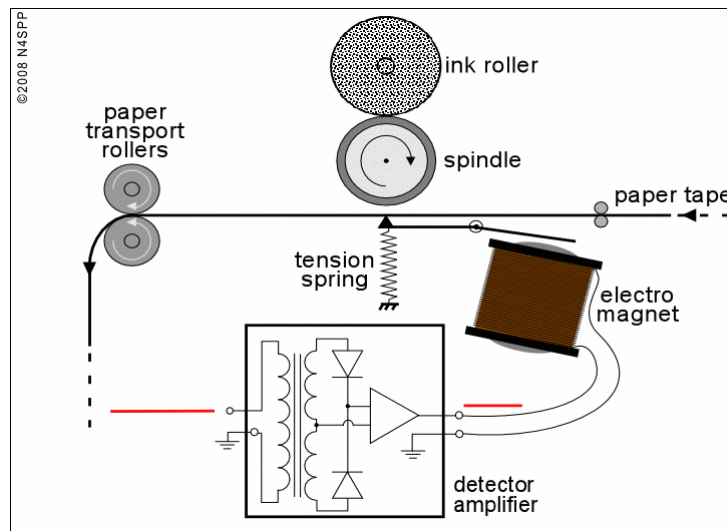
53





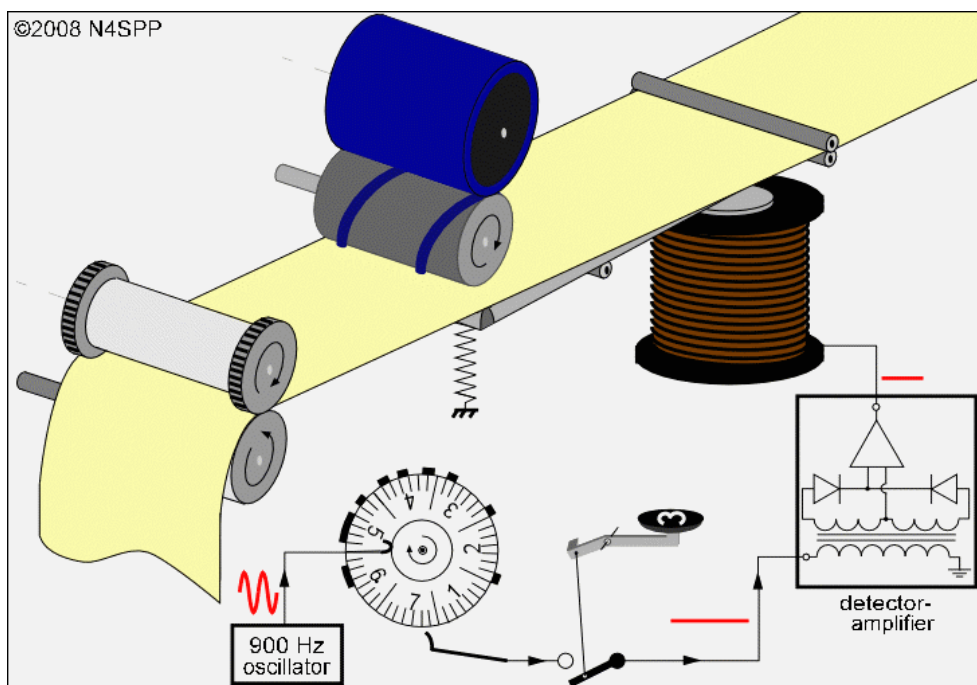
www.pedram-payvandy.com

55

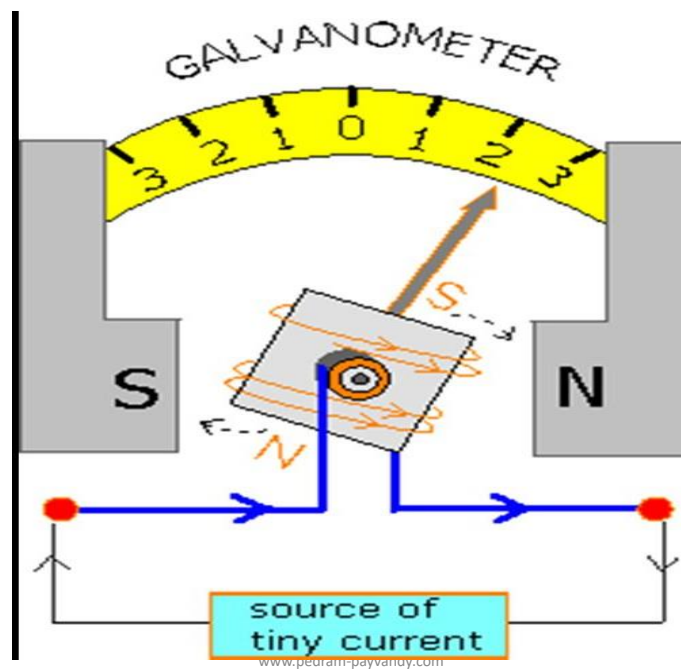


www.pedram-payvandy.com

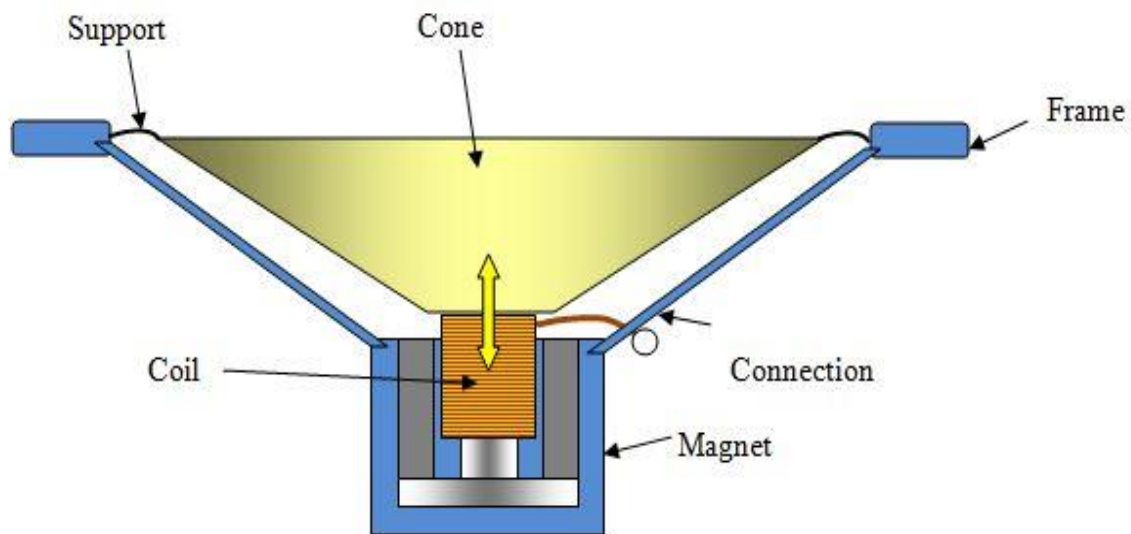
56



57

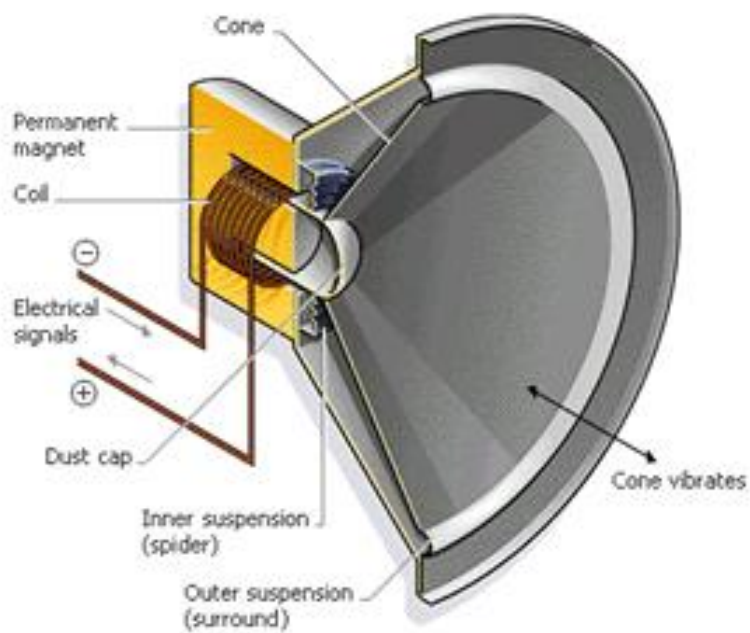


58



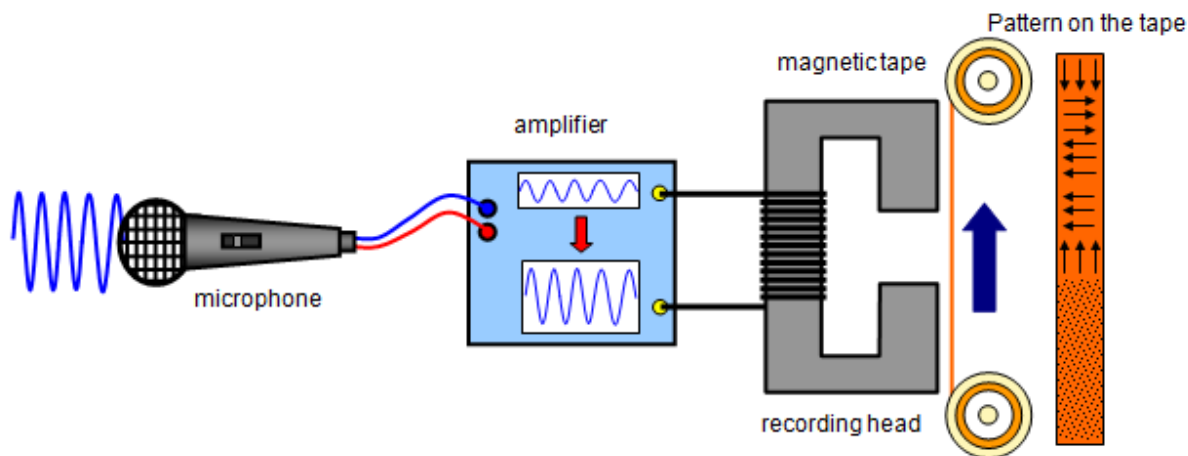
www.pedram-payvandy.com

59



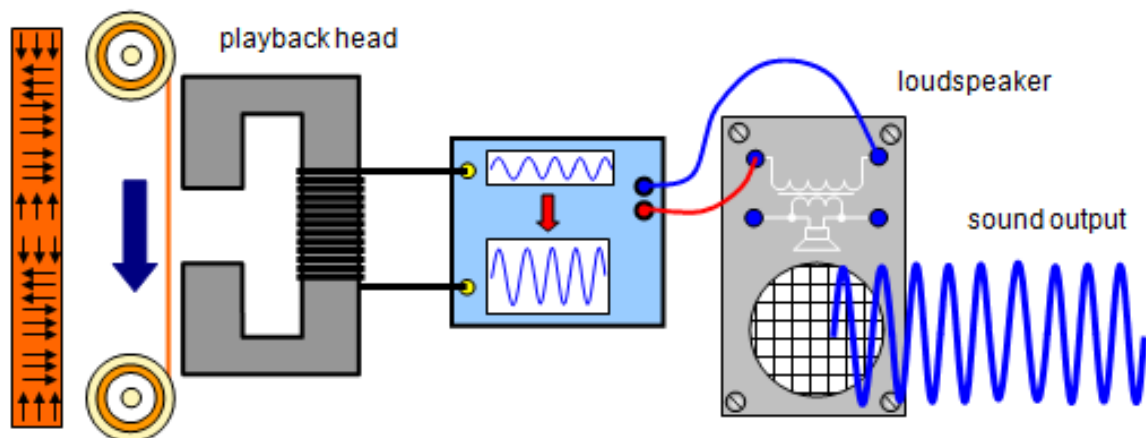
www.pedram-payvandy.com

60



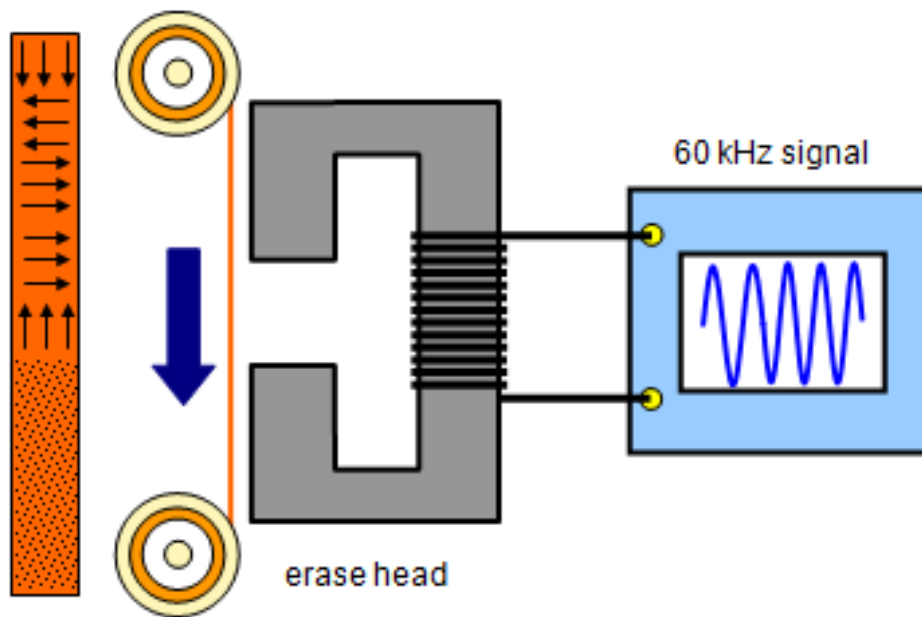
www.pedram-payvandy.com

61



www.pedram-payvandy.com

62



www.pedram-payvandy.com

63