جزوه آموزشی درس مبانی مهندسی برق (۲)	شرکت مهندسی پتروپالامحور	R&D Department

جـــزوه آمـــوزشـــی درس

مبانی مهندسی برق (۲)

(رشته مهندسی مکانیک با گرایش حرارت و سیالات)

شرکت مهندسی پتروپالامحور

گردآوری و تنظیم :

فـــــرشـــــاد ســـــرایـــــی

با تقدیم والاترین درودها و احترامات به استاد ارجمندم جناب آقای مهندس حیرانی نوبری
که مطالب مندرج در این جزوه بر گرفته از آموزش های ایشان می باشد.

جزوه آموزشی درس مبانی مهندسی برق (۲)	شرکت مهندسی پتروپالامحور	**R&D Department**

مقدمه :

جزوه حاضر که فرا روی شما خواننده گرامی قرار دارد ، مشتمل بر مباحث و سرفصل های مربوط به درس دانشگاهی « مبانی مهندسی برق (۲) » در رشته مهندسی مکانیک با گرایش حرارت و سیالات می باشد.

مطالب مندرج در این جزوه آموزشی به تبیین روابط حاکم بر ارتباط میان الکتریسیته و مغناطیس و مبانی طراحی و عملکرد ترانسفورماتورها و ماشین های الکتریکی جریان مستقیم و متناوب می پردازد.

کتاب مرجع دانشگاهی که میبایست به عنوان مکمل در کنار این جزوه مطالعه شده و مورد استناد و ارجاع قرار گیرد عبارت است از :

- ماشین های الکتریکی ، نوشته : G.R.Slemon و A.Straughen ، ترجمه : آقای دکتر حمید لسانی

مطالب مندرج در این جزوه برگرفته از کلاس های آموزشی ارائه شده توسط جناب آقای مهندس حیرانی نوبری در دانشکده فنی دانشگاه آزاد اسلامی واحد جنوب تهران در سال ۱۳۷۲ خورشیدی می باشد که به همان صورت دست نویس (برداشت شده توسط اینجانب) تقدیم حضور خوانندگان گرامی می شود ، به این امید که مفید فایده و مقبول نظر واقع گردد. همچنین بر خود لازم میدانم از حسن همکاری و زحمات سرکار خانم نیره رضائی که اینجانب را در گردآوری و تنظیم این جزوه الکترونیکی یاری نمودند کمال سپاسگزاری را به عمل آورم.

همچنین از خوانندگان محترم درخواست می نمایم هرگونه نظرات اصلاحی ، انتقادات و پیشنهادات خود را از طریق آدرس ایمیل : f.saraei@petropalamehvar.com با اینجانب در میان گذارند.

فرشاد سرایی

دی ماه ۱۳۹۰

« سر درب ورودی دانشکده فنی دانشگاه آزاد اسلامی واحد جنوب تهران »

« پیشنهاد همکاری به مهندسین تازه فارغ التحصیل دانشگاه »

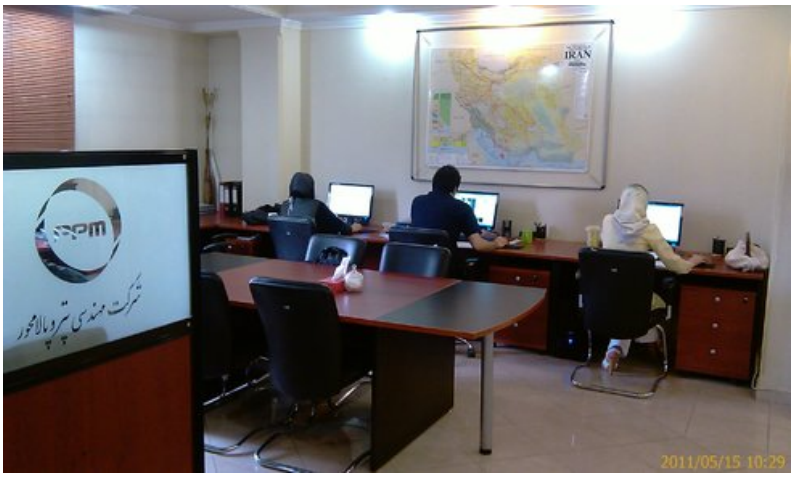
مدیریت شرکت مهندسی «پتروپالامحور» در راستای بسط و توسعه فرهنگ مهندسی دانش بنیان و حمایت از مهندسین جوان و علاقمند ، شرایطی را فراهم آورده که دانش آموختگان بتوانند با مراجعه به کتب ، جزوات و مقالاتی که بصورت رایگان در بخش «کتب و مقالات» وب سایت این شرکت در دسترس عموم قرار گرفته ، اصول و مبانی صحیح طراحی و مدلسازی سه بعدی سیستم های لوله کشی صنعتی (Piping) را به صورت خود آموز فراگرفته و سپس آموخته های خود را در قالب یک پروژه آموزشی پیاده سازی نموده و جهت بررسی مهندسین ارشد و با سابقه این شرکت ارسال نمایند تا پس از بررسی کارشناسی ، توصیه های فنی لازم در جهت بهبود طراحی به صورت رایگان به ایشان ارائه گردد.

مهندسین تازه فارغ التحصیل دانشگاه های معتبر در رشته «مکانیک» میتوانند با مراجعه به این کتابخانه الکترونیکی به آدرس : http://www.petropalamehvar.com/articles_fa.html ضمن دریافت فایل کتب ، جزوات و مقالات آموزشی با فرمت PDF به مطالعه آنها پرداخته و دانش مقدماتی مورد نیاز جهت طراحی و مدلسازی سه بعدی سیستم های لوله کشی صنعتی (Piping) را فرا گیرند.

پس از فراگیری مقدمات فوق ، مهندسین جوان میبایست به پروژه آموزشی ارائه شده در آیتم شماره ۳۲ کتابخانه الکترونیکی مراجعه نموده و بسته فشرده محتوی فایل های این پروژه را دانلود نمایند.
پروژه فوق متشکل از دو نقشه P&ID و Area Plot Plan یک واحد پتروشیمی فرضی می باشد که با ویرایش ۲۰۰۷ نرم افزار نقشه کشی Autocad و با فرمت فایل الکترونیک DWG تهیه شده و به همراه یک فایل PDF محتوی توضیحات مورد نیاز جهت اجرای پروژه ، در قالب یک پکیج رایگان ارائه گشته است.

مهندسین علاقمند میبایست بر اساس توضیحات ضمیمه این پروژه ، گام به گام نسبت به تکمیل طرح و تهیه نقشه ها و مدارک فنی مورد نیاز (که دقیقا مشابه یک پروژه واقعی تنظیم شده) اقدام نمایند.
نقشه ها و مدارک تهیه شده پس از تکمیل میبایست در قالب یک فایل فشرده با ظرفیت حداکثر ۱۰ مگابایت بسته بندی شده و جهت کنترل و بررسی مهندسین ارشد واحد تحقیق و توسعه شرکت مهندسی «پتروپالامحور» به آدرس پست الکترونیک این شرکت : info@petropalamehvar.co ارسال گردد. ذکر عبارت «درخواست بررسی پروژه آموزشی تکمیل شده» در عنوان (Subject) ایمیل و همچنین درج نام ، نام خانوادگی ، رشته تحصیلی ، میزان سابقه کار و شماره تماس مهندس طراح در متن ایمیل ارسالی ضروری بوده و به ایمیل هایی که فاقد مشخصات فوق الذکر باشد ترتیب اثر داده نخواهد شد.

طرح های دریافتی به نوبت توسط تیم بازبینی واحد تحقیق و توسعه شرکت مهندسی «پتروپالامحور» مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته و نقاط قوت و ضعف موجود در آنها به انضمام توصیه های فنی و تجربی مورد نیاز جهت بهبود طرح ، متعاقبا به آدرس پست الکترونیک شخص فرستنده ارسال خواهد گشت.



علاوه بر خدمات فوق که به صورت رایگان از طرف مدیریت شرکت مهندسی «پتروپالامحور» برنامه ریزی و جهت استفاده عموم علاقمندان ارائه می گردد ، با هدف تشویق هر چه بیشتر دانشجویان و مهندسین جوان به شرکت در این خودآزمایی و توسعه دانش فنی طراحی لوله کشی صنعتی (Piping) در میان دانش آموختگان کشور ، هیئت بازبینی واحد تحقیق و توسعه این شرکت پس از بررسی طرح های دریافتی به آنها امتیازی بین ۰ الی ۱۰۰ خواهد داد.طرح هایی که موفق به کسب امتیاز ۸۰ یا بالاتر از مجموع ۱۰۰ امتیاز گردند به عنوان **طرح برگزیده** انتخاب گشته و مهندس طراح مربوطه پس از دعوت به محل دفتر مرکزی شرکت و انجام مصاحبه حضوری جهت اطمینان از صحت مدارک ارسالی و تهیه آن توسط خود شخص ، جهت **استخدام در شرکت مهندسی «پتروپالامحور»** دعوت به همکاری خواهد شد.

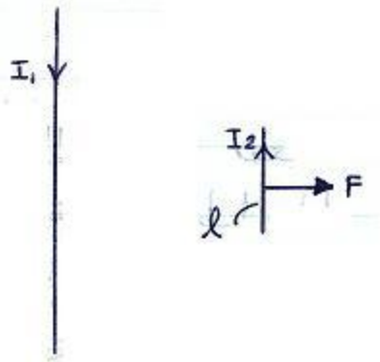
شماره های تماس شرکت مهندسی «پتروپالامحور»
۴۸ الی ۲۲۶۸۵۰۴۶ (کد شهر تهران ۰۲۱)

آدرس وب سایت شرکت مهندسی «پتروپالامحور»
www.petropalamehvar.com

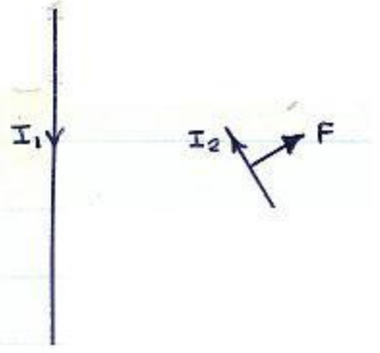
آدرس وبلاگ تخصصی «طراحی تاسیسات مکانیکی و لوله کشی صنعتی»
به مدیریت آقای مهندس «فرشاد سرایی»
www.fsaraei.persianblog.ir

درس : مبانی مهندسی برق (۲)

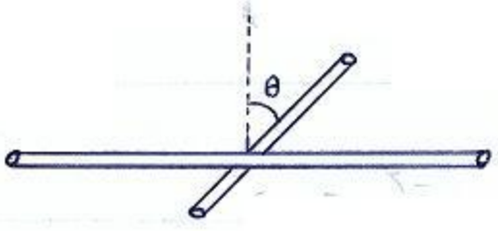
استاد : آقای مهندس حیرانی نوبری



$$F = 2 \times 10^{-7} I_2 l \frac{I_1}{r}$$



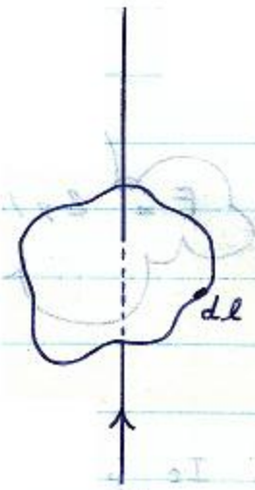
* برآیند F نیرو همواره بر I_2 عمود است و اندازه آن ثابت است و این درصورتی است که دو سیم در یک صفحه باشند.



* اگر دو سیم متنافر باشند نیرو همواره به دو چیز عمود است- یکی به I_2 و یکی به صفحه- نرمال و اندازه آن :

$$F = 2 \times 10^{-7} I_2 l \frac{I_1}{r} \sin\theta$$

$$\begin{cases} \vec{F} = 2\times10^{-7}\ \vec{I_2 l} \times \vec{B} \\ \vec{F} = \vec{I_2 l} \times \vec{B} \\ |\vec{B}| = 2\times10^{-7}\ \frac{I_1}{r} \end{cases}$$



* اگر ما انتگرال بسته روی هر مغنی که نقطه ای را احاطه نموده است بگیریم اندازه این انتگرال خطی بسته به نوع مغنی بستگی ندارد لذا معمولاً مغنی را دایره در نظر می گیریم :

** $\oint_{C(r)} \vec{B}\cdot\vec{dl} = \oint_{C(r)} \frac{I_1}{r}\times 2\times10^{-7}\times dl =$

$\oint_{C(r)} \vec{dl}\times\frac{I_1}{r}\times 2\times10^{-7} = \frac{I_1}{r}\times 2\pi r\times 2\times10^{-7}$

$$\oint_{C(r)} \vec{B}\cdot\vec{dl} = \underbrace{4\pi\times10^{-7}}_{\mu_0} I_1$$

$$\vec{H} = \frac{\vec{B}}{\mu_0}$$

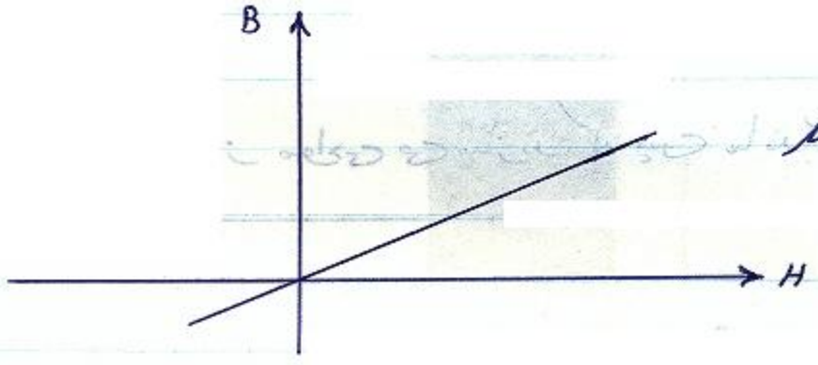
$\longrightarrow$

$$\oint_C \vec{H} \cdot d\vec{l} = I \quad \text{کل عبوری از منحنی } (C)$$

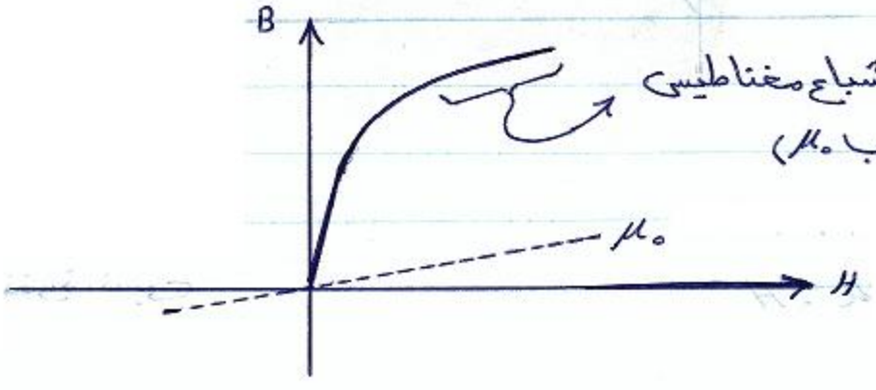
* در صورتی $\vec{H}$ دقیقاً $\frac{\vec{B}}{\mu_0}$ است که هیچ نوع ماده مغناطیسی نداشته باشیم تا جریانهای مقید ایجاد کنند. لذا $\vec{H}$ حاصل از آن $\vec{B}$ است که مربوط به جریان آزاد می باشد.

---

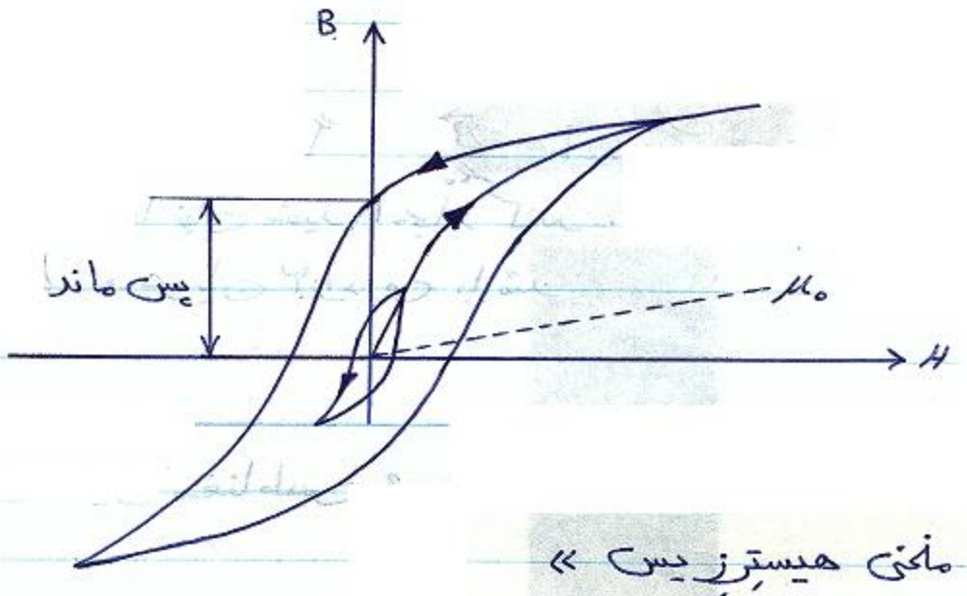
* در مواد غیر مغناطیس شونده همواره : $\vec{B} = \mu_0 \vec{H}$



* در مواد مغناطیسی اگر اسپینها هم جهت نباشند ؛ $\vec{B}$ صفر است و اگر توسط جریانی $\vec{H}$ را پیرامون آنها تولید کنیم $\vec{B}$ ناشی از آن هم $\mu_0 \vec{H}$ است و هم ناشی از خاصیت مغناطیسی آن ماده :

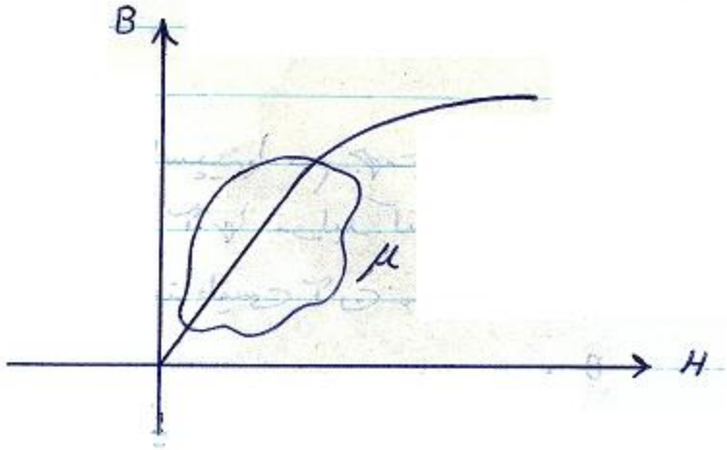


* اگر جریان را کاهش دهیم روی منحنی قبلی باز نمی گردیم :



« منحنی هیسترزیس »

* آهن رباهای دائمی را از موادی می سازند که پس ماندشان زیاد باشد.

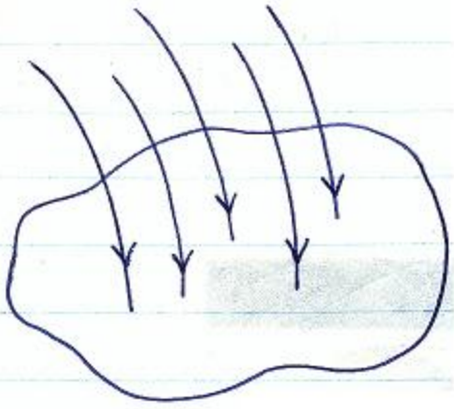


μ - ضریب نفوذ مطلق

μ_r - ضریب نفوذ نسبی

$\mu = \mu_r \mu_0$

$B = \mu . H$

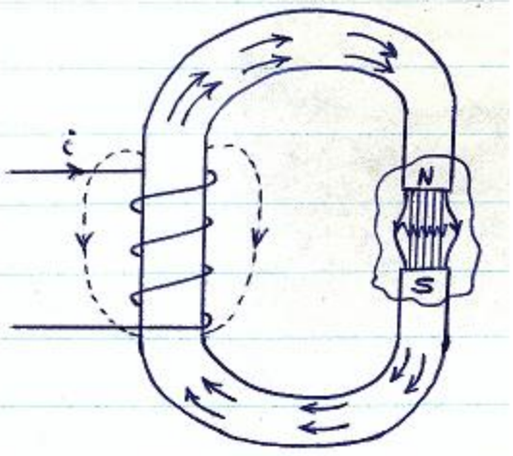


* شار گذرنده از هر سطح بسته ای صفر است ، چون به همان میزانی که به محیط سرایت می کند از آنجا خارج می شود .

$$\oint \vec{B} \cdot \vec{dS} = 0$$

---

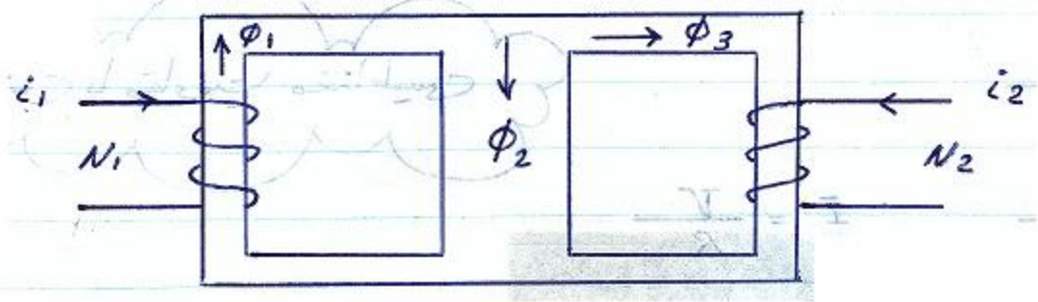
* مواد آهنی سرایت دهنده های خوبی برای خاصیت مغناطیسی هستند و خطوط میدان را بطور عمده از خود عبور می دهند :

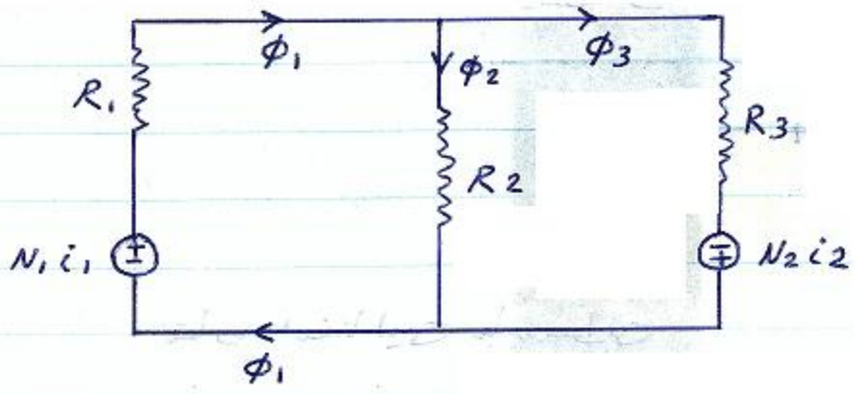


* خطوط گذرنده از هوا بسیار اندک است.

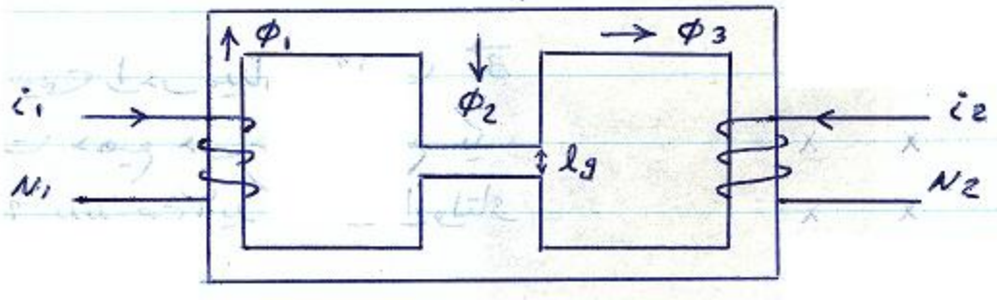
پتروپالامحور پیشتاز در ارائه خدمات مهندسی و متعهد به کیفیت

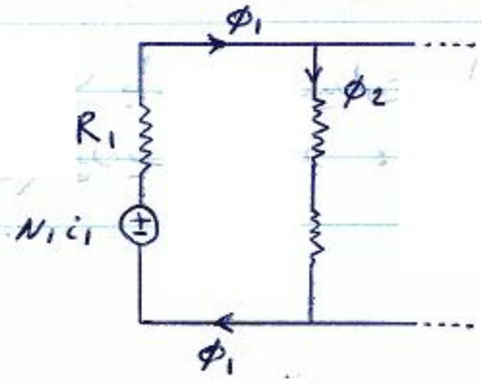
PPM , Dedicated For The Best Quality





$$f_{\phi} = \mathcal{R}\phi^2 = \frac{f^2}{\mathcal{R}}$$





رلوکتانس یا مقاومت مغناطیسی :

$$\begin{cases} R = \dfrac{l}{\mu A} \\ \phi = \dfrac{f}{R} \end{cases} \qquad I = \frac{V}{R}$$

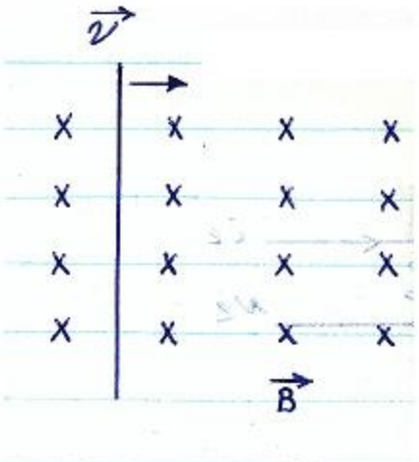
$$\phi = \frac{(ni)^{f}}{\frac{l_c}{\mu_0 \mu_r A_c} + \frac{l_g}{\mu_0 A_g}}$$

(ni)^f : نیروی محرکه مغناطیسی

$\frac{l_c}{\mu_0 \mu_r A_c}$ ← مقاومت مغناطیسی هسته

$\frac{l_g}{\mu_0 A_g}$ ← مقاومت مغناطیسی ماده هوائی

قانون فاراده :

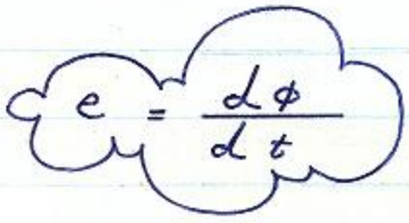


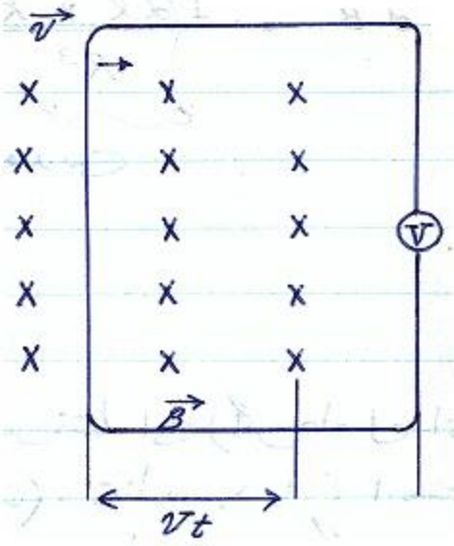
* اگر سیمی را در میدان ثابت $\vec{B}$ حرکت دهیم در دو سر سیم یک ولتاژ پدید می‌آید که آن را ولتاژ القائی گویند.

* حال اگر سیم ثابت باشد و میدان با زمان تغییر کند باز هم ولتاژ القائی در سیم پدید می‌آید :

($\vec{B}$ = متغیر با زمان = $Bm \sin 100\pi t$)

* فارادی هر دو این پدیده ها را در قالب یک قانون مطرح نمود :





* فارادی گفت ولتاژ القائی برابر است با سرعت تغییر شار گذرنده از یک مدار بسته فرض.

$A(t) = l \times Vt \rightarrow$

$\phi(t) = Blvt \rightarrow e = \frac{d\phi}{dt} = Blv$

$$AB = \phi$$

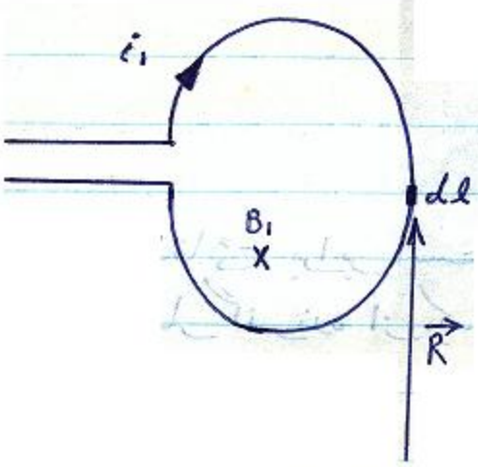
$$\frac{d\phi}{dt} = A\frac{dB}{dt} = AB_m\, 100\pi \cos 100\pi t$$

« در حالت میدان متغیر »

مسائل :

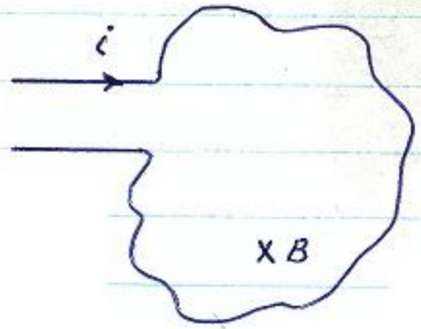
P 12 - 1 ، 5 ، 6 ، 9 ، 15

P 13 - 2 ، 5



$$d\vec{B} = \frac{I\, d\vec{l} \times \vec{R}}{R^3}$$

عوامل هندسی



* B در هر نقطه‌ای (اگر حاصل از i باشد) متناسب با i است و ضریب تناسب بستگی به شکل هندسی دارد :

$B \propto i$

$\Phi = \int \vec{B} \cdot d\vec{s}$

$\longrightarrow \quad \Phi \propto i$

$\longrightarrow \quad \Phi = L \cdot i$

* ضریب تناسب (L) را ضریب خود القائی آن سیم پیچ گویند. حال اگر سیم پیچ N دور داشته باشد:

$\Phi_1 = L_1 i +$

$\Phi_2 = L_2 i$

$\Phi N = \lambda = \underbrace{(L_1 + L_2 + \cdots + L_n)}_{L_{کل}} i \longrightarrow$

$\lambda = L i$

$\lambda = N \cdot \Phi$

* اگر سیم پیچها مشابه باشند:

→ $e = \frac{d\lambda}{dt}$ ولتاژ القائی کل

* اگر شار عبوری تنها ناشی از جریان عبوری خودش باشد و شار حاصل از جریانهای اطراف روی آن تاثیر نگذارد ولتاژ القائی را (ولتاژ خود القائی) و (L) را (ضریب خود القائی) سیم پیچ گویند:

$$e = \frac{d\lambda}{dt} = L\frac{di}{dt}$$

* یعنی برای تغییر جریان در سیم پیچ چون ولتاژ خود القاء پدید می‌آید لذا برای غلبه بر آن باید ولتاژ خرج کنیم. (قانون لنز)

* از نظر الکتریکی هر المانی که رابطه V و I آن بصورت $V = L\frac{di}{dt}$ باشد یک (سلف) است امّا مدار واقعی بصورت زیر است؛ یعنی یک سیم پیچ در واقع یک سلف و یک مقاومت (ناشی از سیم) است:

$$V = Ri + L\frac{di}{dt}$$

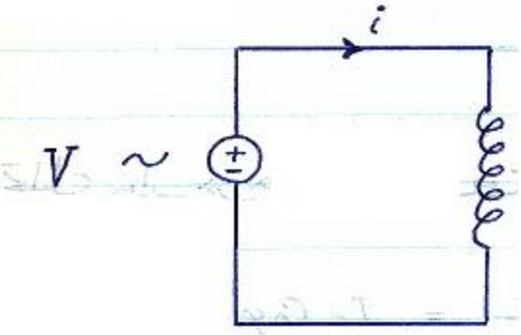
مثال - نشان دهید :

$$L = \frac{N^2}{R}$$

(R ← رلوکتانس)

راهنمائی : $\left(L = \frac{\lambda}{i} \qquad \phi = \frac{Ni}{R}\right)$

مثال -



$$v_L = V\sqrt{2}\ \sin \omega t$$

$$e_L = V\sqrt{2}\ \sin \omega t = \frac{d\lambda}{dt} \rightarrow$$

$$\lambda = \int e_L \cdot dt = \frac{\sqrt{2}\,V}{\omega} \cos \omega t$$

$$\lambda_{max} = \frac{\sqrt{2}\,V}{\omega}$$

(اگر سیم پیچ N دوری باشد) : $\phi_{max} = \frac{\sqrt{2}\,V}{N\omega}$

$$i = \frac{\lambda}{L} = \frac{-\sqrt{2}\,V}{L\omega} \cos \omega t \rightarrow$$

$$I = \frac{V}{L\omega}$$ « جریان مؤثر »

$L\omega = X_L$

* یعنی جریان ناشی از یک ولتاژ سینوسی حتماً سینوسی است و نسبت ولتاژ موثر به جریان موثر (X_L) است. X_L را مقاومت ظاهری سلف گویند. امّا سلف تنها در مدت کوتاه تغییر جریان از صفر تا یک مقداری مقاومت می‌کند و پس از تثبیت جریان نقش سیم را ایفا می‌کند. (مطابق قانون لنز)

تحلیل مدار در حالت سینوسی :

$$i_1 = Ie\sqrt{2}\sin(\omega t + \varphi) = \underbrace{Ie\angle\varphi}_{\text{قطبی}} = \underbrace{Ie\cos\varphi + j\,Ie\sin\varphi}_{\text{مختلط}}$$

توان : $P_t = V \cdot i$

$$P_t = Ve\sqrt{2}\sin(\omega t + \varphi_v)\; Ie\sqrt{2}\sin(\omega t + \varphi_i)$$

توان کل تحویل شده : $P = W = \int_0^T P_t\,dt$

$$\frac{W}{T} = \frac{1}{T}\int_0^T P_t\,dt \quad \text{(توان تحویل شده در یک پریود)}$$

$$\frac{W}{T} = Ve\,Ie\underbrace{\cos\varphi}_{\text{ضریب توان (P.F)}} \quad (W) \quad \text{توان حقیقی}$$

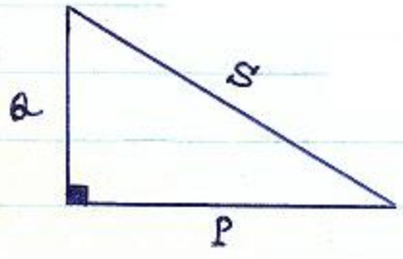
$\varphi = |\varphi_i - \varphi_v|$: اختلاف فاز جریان هر شاخه با ولتاژش.

$P = \frac{W}{T}$ را توان حقیقی (Active) گویند.

$S = Ve \cdot Ie$ (ولت آمپر VA) که (توان ظاهری)

$Q = Ve\ Ie\ Sin\varphi$ (VAR) (توان Reactive) یا (توان غیرحقیقی)

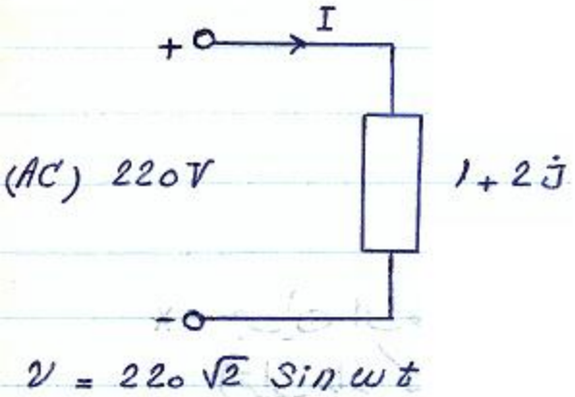
مثلث توان :



---

* هرچه با (ولت آمپر) بیان شد توان ظاهری است.

مثال -



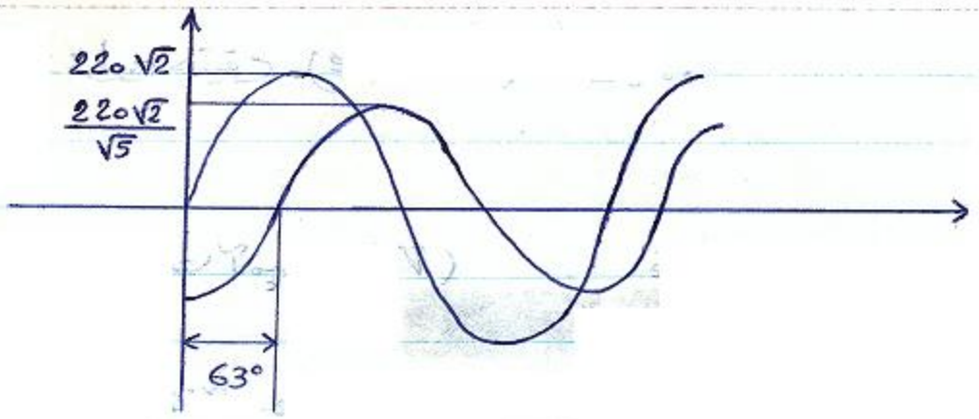
$v = 220\sqrt{2}\ Sin\ wt$

$\underline{I} = \frac{220\ \angle 0}{1+2j}$

$\underline{I} = \frac{220}{\sqrt{5}}\ \angle -63°$

$i = \frac{220}{\sqrt{5}}\sqrt{2}\ Sin\ (wt - 63°)$

چون جریان نسبت به ولتاژ تأخر دارد بار سلفی است.

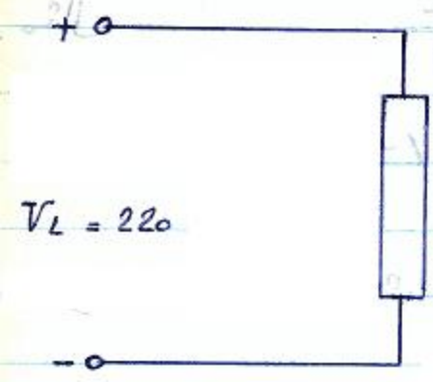


تأخر فاز جریان نسبت به ولتاژ

$$Z = R + Xj = Z \angle \varphi$$

$Z = \sqrt{R^2 + X^2}$ امپدانس بار $\varphi = \tan^{-1} \frac{X}{R}$

مثال - باری 15KV.A را در 220V با ضریب توان پس فاز 0.85 تحویل می گیرد.



$S = 15\ KV.A$

$Cos\varphi = 0.85$

$\varphi < 0$

* جریان از ولتاژ عقب است (پس فاز)
(قرارداد کتاب سلمون)

* $I_L = \frac{S}{V_L} = \frac{15 \times 10^3}{220} = 68.2\ A$

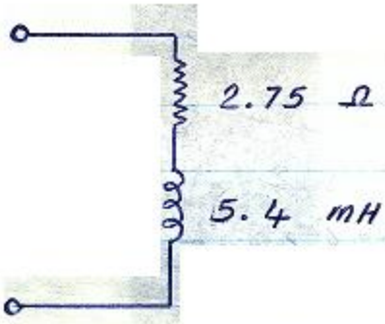
* $P = V_L I_L \cos\varphi = S \cos\varphi = 15 \times 10^3 \times 0.85 = 12.75\ K.W$

* $Z = \frac{V_L}{I_L} = \frac{220\ \angle 0}{68.2\ \angle -31.8} = 3.23\ \angle 31.8$

$= 2.75 + j\ 1.7$

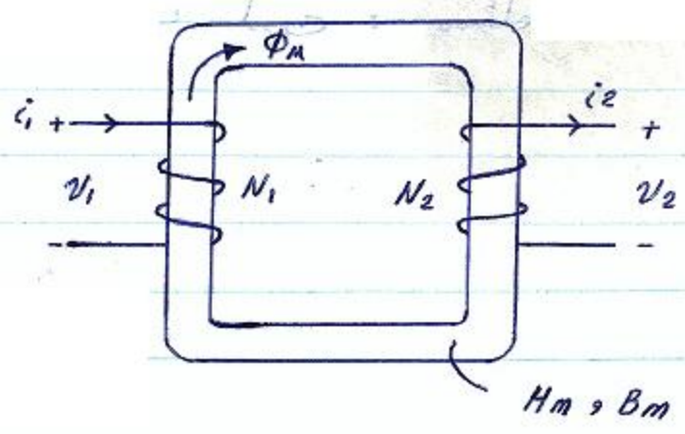
* $\varphi = -\cos^{-1} 0.85 = -31.8°$

* $X_L = 1.7\ \Omega = L\omega \rightarrow L = \frac{1.7}{50 \times 2\pi} = 5.4\ (mH)$



ترانسفورماتورها

۱- ترانس ایده‌آل :



الف - هسته دارای مقاومت مغناطیسی صفر است ($\mathcal{R} = \infty$)
ب - شار پراکندگی در هوا قابل صرفنظر کردن است.
ج - مقاومت الکتریکی سیمها صفر است.

$$\begin{cases} \lambda_1 = \lambda_2 \\ v_1 = \dfrac{d\lambda_1}{dt} = N_1 \dfrac{d\varphi_M}{dt} \\ v_2 = \dfrac{d\lambda_2}{dt} = N_2 \dfrac{d\varphi_M}{dt} \end{cases} \longrightarrow \frac{v_1}{v_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

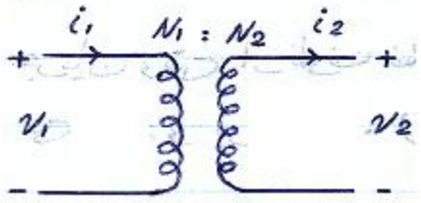
$$H_m l_m = N_1 i_1 - N_2 i_2 \qquad \left(\oint \vec{H} d\vec{l} = I_{\text{داخل}}\right)$$

قانون مداری آمپر

$$0 = N_1 i_1 - N_2 i_2 \longrightarrow \frac{i_1}{i_2} = \frac{N_2}{N_1}$$

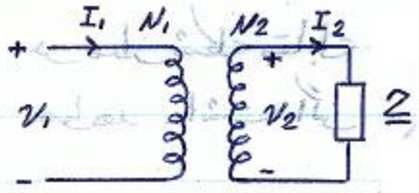
$$\varphi_{M(max)} = \frac{V_1 \sqrt{2}}{N_1 \omega}$$

تمرین - کتاب سلمون : مسئله 2.3 - 2.2 - 2.4



« نماد ترانس ایده آل »

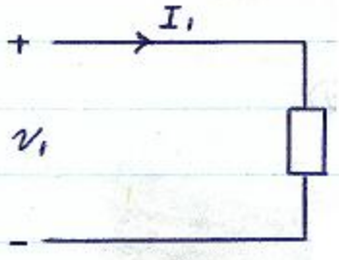
(در ترانس ایده آل) : $(I_2 = 0)$ مدار باز $\rightarrow$ $(I_1 = 0)$



امپدانس که اولیه می بیند $\underline{Z}'_1 = \frac{\underline{V}_1}{\underline{i}_1}$

$$\underline{Z}'_1 = \frac{N_1/N_2 \ \underline{V}_2}{N_2/N_1 \ \underline{i}_2} = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 \underline{Z}$$

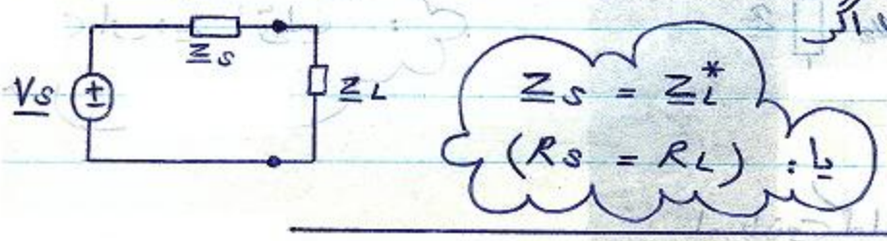
$\equiv$



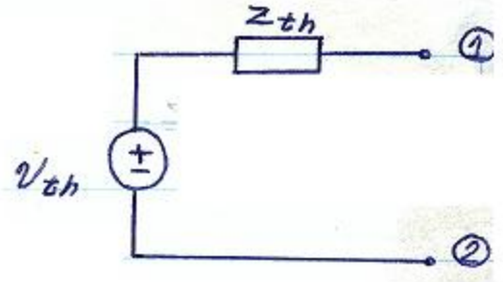
* یعنی اگر ترانس ایده آل باشد می توان مدار معادل دو سمتی را در نظر گرفت و بطور اتوماتیک ترانس را حذف نمود. توان های مربوطه به بار (حقیقی و مجازی) و هم بار با انتقال بار از ثانویه به اولیه تغییر نمی کند امّا جریان و ولتاژ تغییر می کند.

قرارداد :
۱- جریان وقتی از طرف فشار قوی بطرف فشار ضعیف می‌آید زیاد می‌شود و برعکس. (به نسبت ضریب تبدیل ترانس)
۲- ولتاژ وقتی از طرف فشار قوی بطرف فشار ضعیف می‌آید کم می‌شود و برعکس.

قضیه - در مدار شکل مقابل توان حقیقی تحویلی به بار ماکزیمم مقدار خود را خواهد داشت اگر

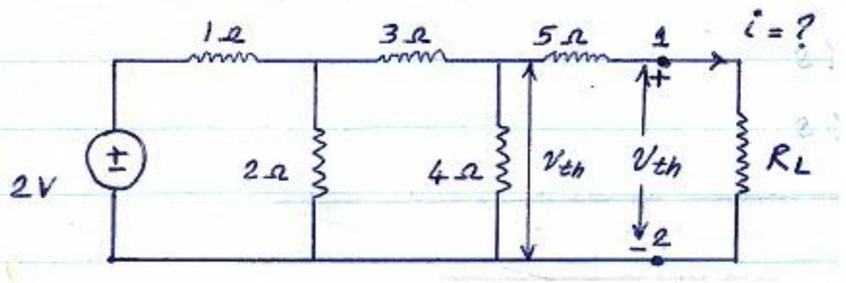


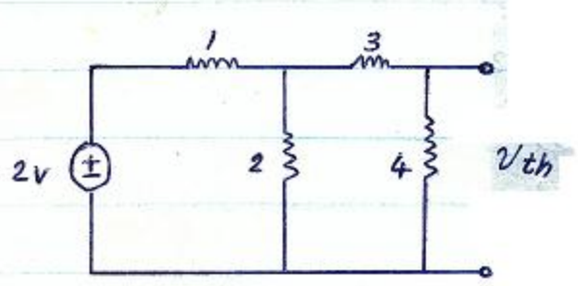
یادآوری : قضیه تونن در حالت دائمی سینوسی - هر دوسری از یک شبکه را که در آن فقط از المانهای خطی تغییر ناپذیر با زمان استفاده شده است می‌توان بصورت زیر مدل نمود.



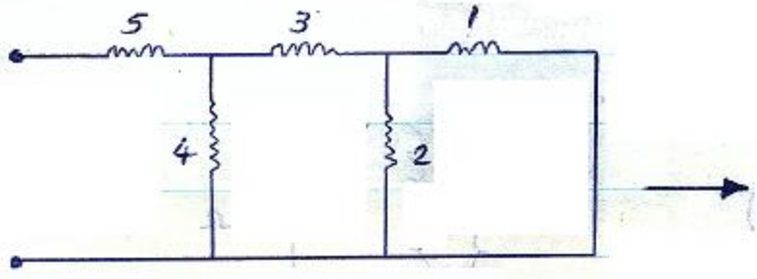
که در آن V_{th} همان ولتاژ دیده شده از دوسر ① و ② است و Z_{th} برابر است با امپدانس معادل دیده شده از آن دوسر به شرط آنکه تمامی منابع داخل شبکه را صفر کنیم.

مثال -

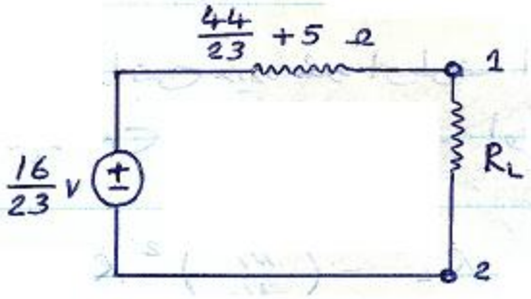




$$V_{th} = \frac{16}{23}\ V$$



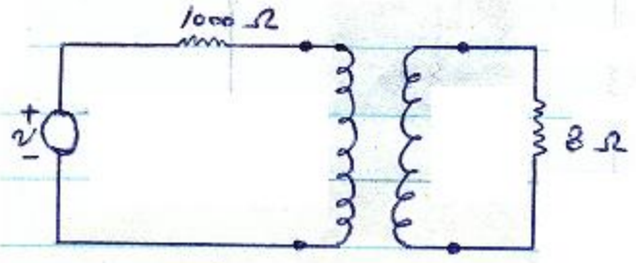
$$R_{th} = \frac{44}{23} + 5$$



و مدار معادل تونن

$$\underline{Z}_s = R_s + j X_s$$
$$\underline{Z}^*_s = R_s - j X_s$$

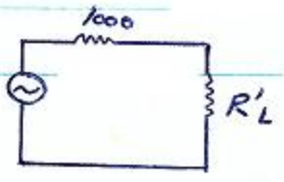
مسئله ۵_۳ - سلمون - یک تقویت کننده باید توسط یک ترانس به بلندگو وصل شود. بلندگو بار مقاومتی ۸Ω است و تقویت کننده را می توان بصورت یک منبع ولتاژ سری با یک مقاومت ۱۰۰۰Ω در نظر گرفت. به فرض ایده آل بودن ترانس ضریب تبدیل را طوری بیابید که قدرت حداکثر را به بلندگو تحویل دهد.



* باتوجه به قضیه فوق امپدانس دیده شده از طرف اولیه مساوی ۱۰۰۰Ω باید باشد.
باتوجه به فرمول امپدانس دیده شده از طرف اولیه :

$$* \quad R_L = 8\,\Omega \rightarrow R'_L = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 R_L = R_s = 1000\,\Omega$$

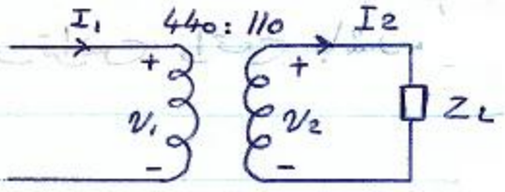
$$\rightarrow \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 = \frac{1000}{8} \rightarrow \frac{N_1}{N_2} = 11.2$$



مسئله س ـ ۲ ـ (5 KVA ، 60 Hz ، 440v : 110v) : ترانس
ترانس به بار وصل شده بطوری که جریان اولیه ـ
$I_1 = 10A$ با $\cos\theta = 0.9$ پیش فاز . مقاومت
ظاهری بار وصل شده به طرف فشار ضعیف را بیابید
و آن را بصورت فازوری نشان دهید .

* با در نظر گرفتن مطالب مربوط به انتقال امپدانس داریم :

$(I_2 = 4 \times 10^1 = 40A)$



* فرض می کنیم که بار در ولتاژ نامی کار می کند :

$(V_2 = 110\,V)$

* $\angle Z_L = \dfrac{110\ \angle 0}{40\ \angle \cos^{-1} 0.9} = \dfrac{110}{40}\ \angle -25.8°$

* $Z_L = 2.475 - j\,1.2$

نکته ـ بار در ولتاژ نامی کار می کند یعنی همان ولتاژهایی که داده شده مثلاً 110 و 440 . امّا وقتی می گوییم بار نامی است یعنی بار توان نامی را تحویل می گیرد، مثلاً در مسئله فوق (5 KVA) را می کشد.

نکته ـ از روی توان نامی با داشتن آمپر یا ولتاژ می توان دیگری را ـ محاسبه نمود :

$(S = V \cdot I)$

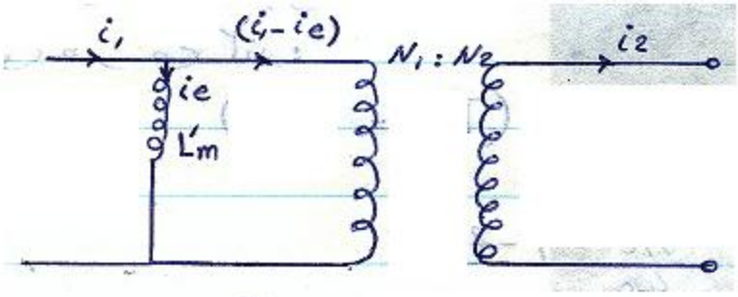
(I و V بدست آمده لزوماً نامی نیستند)

ترانس واقعی :

* توجه کنید در تحلیل ترانس ایده‌آل فرض کردیم هسته ایده‌آل است و مقاومت مغناطیسی آن را صفر فرض کردیم و نوشتیم :

$$\oint \vec{H} \cdot d\vec{l} = N_1 i_1 - N_2 i_2 = R_m \phi_m$$

* حال اگر ترانس واقعی باشد دیگر این مقدار صفر نخواهد بود :



مدل :

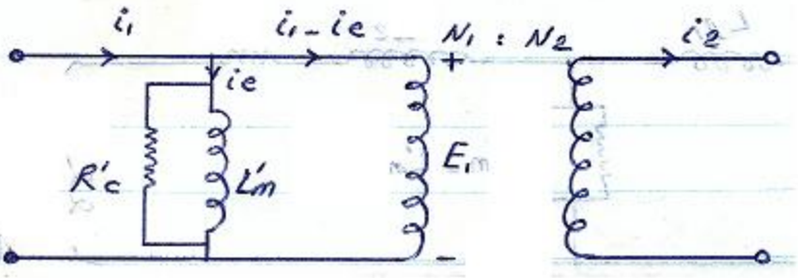
$$L'_m = \frac{N_1^2}{R_m}$$

$$\frac{i_1 - i_e}{i_2} = \frac{N_2}{N_1}$$

$$R_m \phi_m = N_1 i_e$$

مدل یک سلف

* حال اگر به ماهیت هیسترزیس و جریانهای فوکو توجه کنیم ؛ تلفات مربوط به این دو پدیده را مجموعاً تلفات هسته گویند. پس R'_c را قرار می‌دهیم ؛ (یعنی تلفات هسته را با مقاومت R'_c مدل می‌کنیم البته در یک فرکانس معین) :

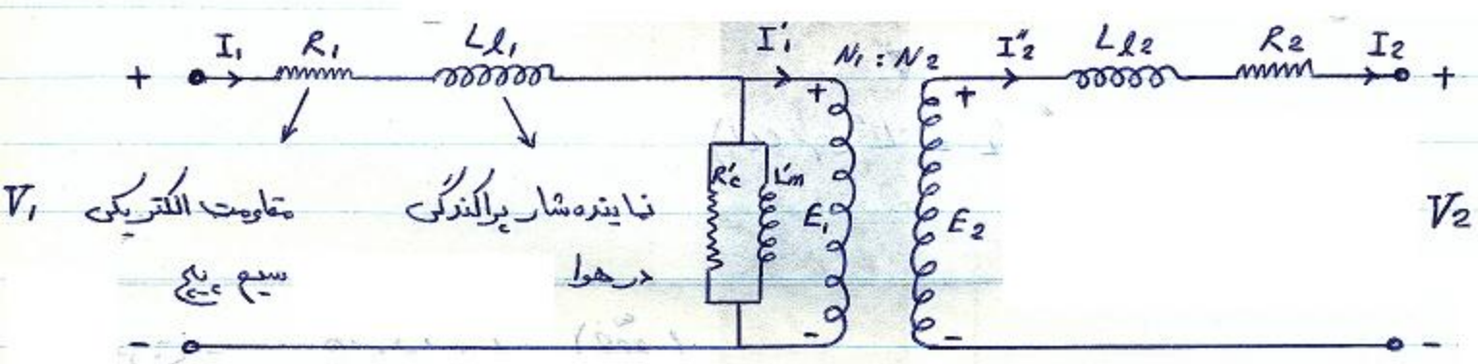


* انرژی ذخیره شده در هسته :

$$U = \frac{1}{2} L'_m I_e^2$$

* انرژی تلف شده در هسته :

$$U' = \frac{E_1^2}{R'_c} = P_c$$

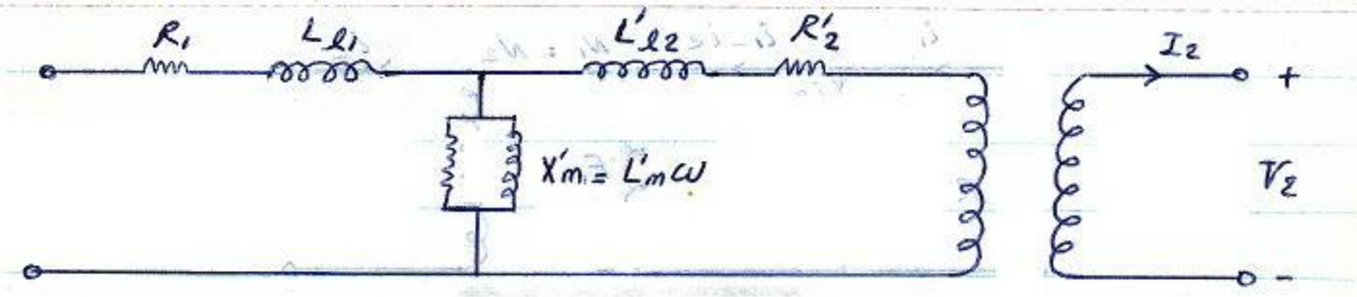


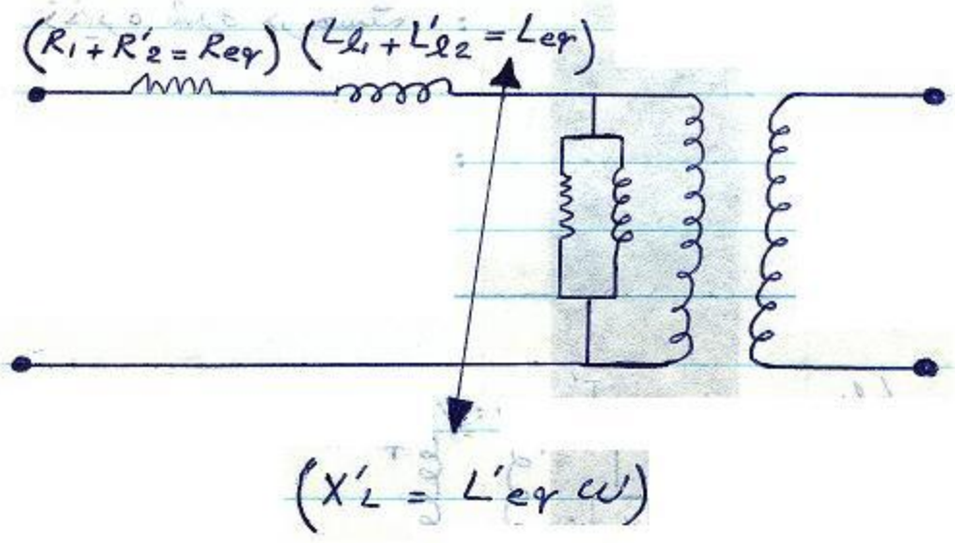
مدل واقعی ترانس

* اگر ترانس خوب ساخته شود :

$$P_c = \frac{E_1^2}{R'_c} \simeq \frac{V_1^2}{R'_c}$$

* باکمی اغماض داریم :

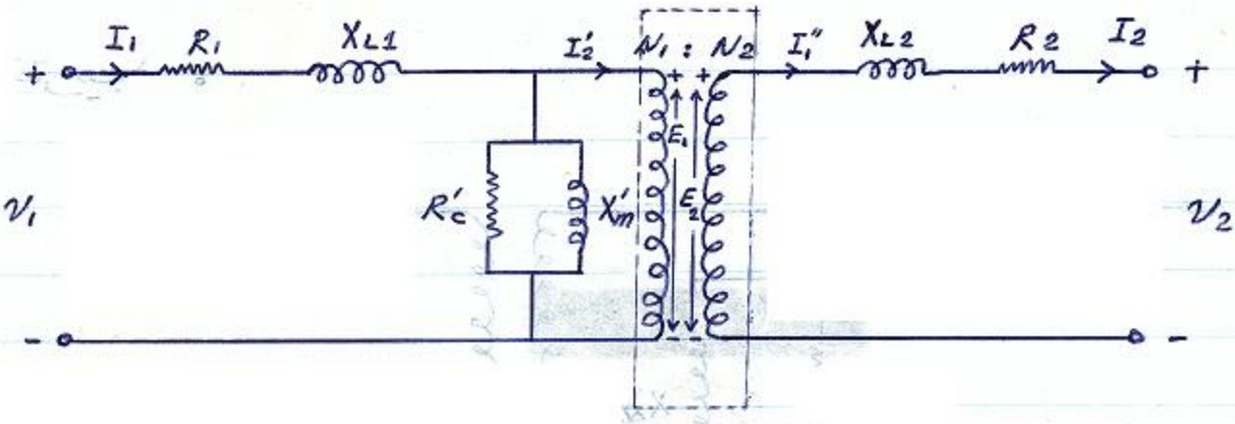




تمرین - P. 13.10 (صفحه)

فرشاد سرایی - مهندس پایه یک تاسیسات مکانیکی
طراحی - نظارت - اجرا
نظام مهندسی: ۱۰-۴-۰-۱۷۲۷۶
پروانه مهندسی: ۱۰-۴۰۰-۰۲۸۱۵
شماره شهرسازی: ۱۰۴-۰۱۲۲۲

جزوه آموزشی درس مبانی مهندسی برق (۲) آقای مهندس حیرانی نوبری
دانشگاه آزاد اسلامی واحد جنوب تهران – دانشکده فنی (۱۳۷۲)

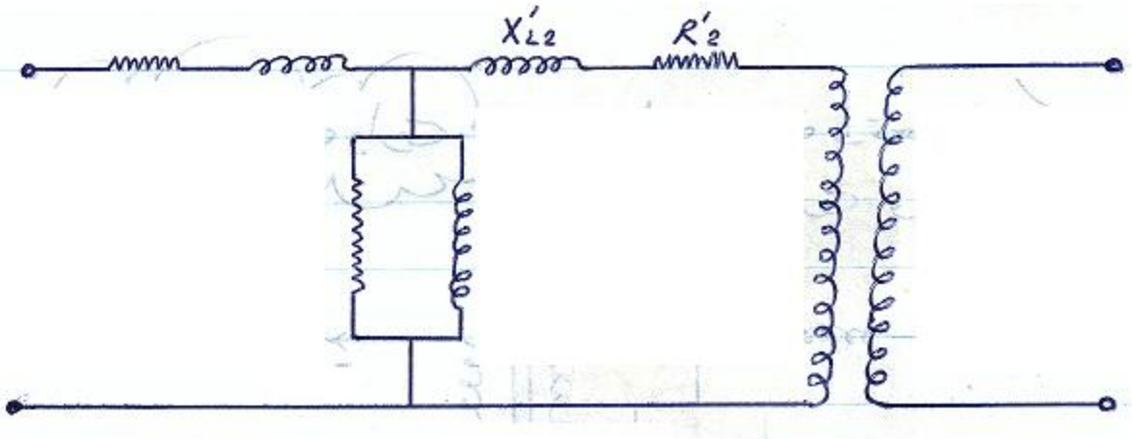


(مدل ترانس ایده آل)

* در مورد ترانس ایده آل تمام قوانین ذکر شده برقرار می باشد.

توان تلف شده هسته : $P_c = \frac{E_1^2}{R'_c}$

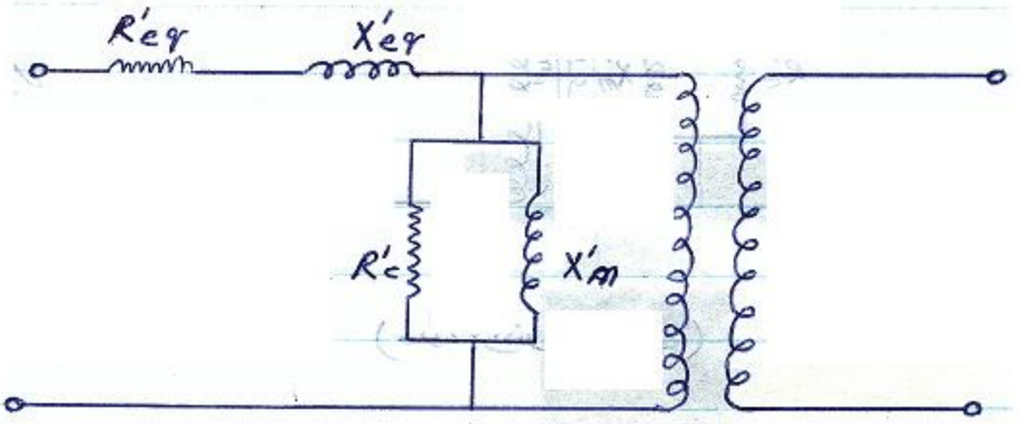
* حال هم بارها را به اولیه ارجاع می دهیم :



$$\begin{cases} X'_{L2} = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 X_{L2} \\ R'_2 = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 R_2 \end{cases}$$

مدل ارجاع شده به اولیه

باکمی تقریب :

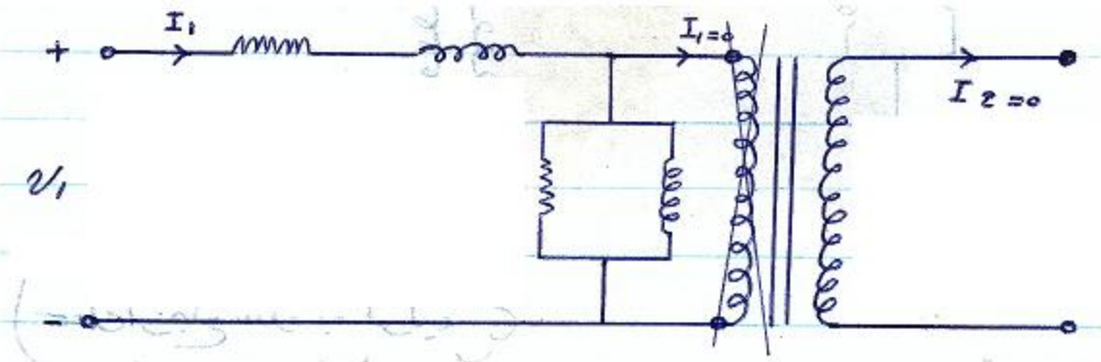


$$\begin{cases} R'_{eq} = R_1 + \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 R_2 \\ X'_{eq} = X_{L1} + \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 X_{L2} \end{cases}$$

* حال با دو آزمایش مدل هر ترانس را می یابیم :

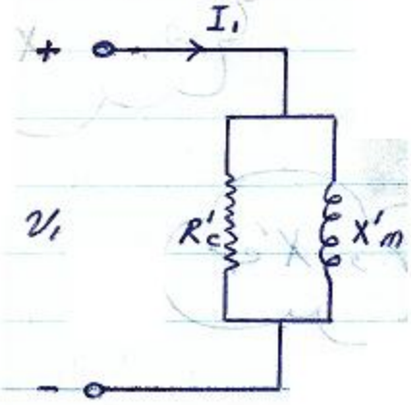
---

1. آزمایش بی باری : طرف اولیه را تغذیه می کنیم و به طرف ثانویه باری وصل نمی کنیم :



* یعنی $I_1 = 0$ و مدار باز می شود.

* چون R'_c و X'_m نسبت به X'_{eq} و R'_{eq} خیلی بزرگتر هستند :



$\equiv$ اولیه

$$P_1 = \frac{V_1^2}{R'_c}$$

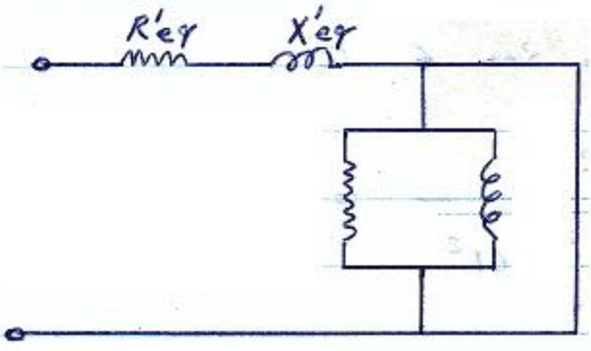
$$Q_1 = \frac{V_1^2}{X'_m} = \sqrt{(V_1 I_1)^2 - P_1^2}$$

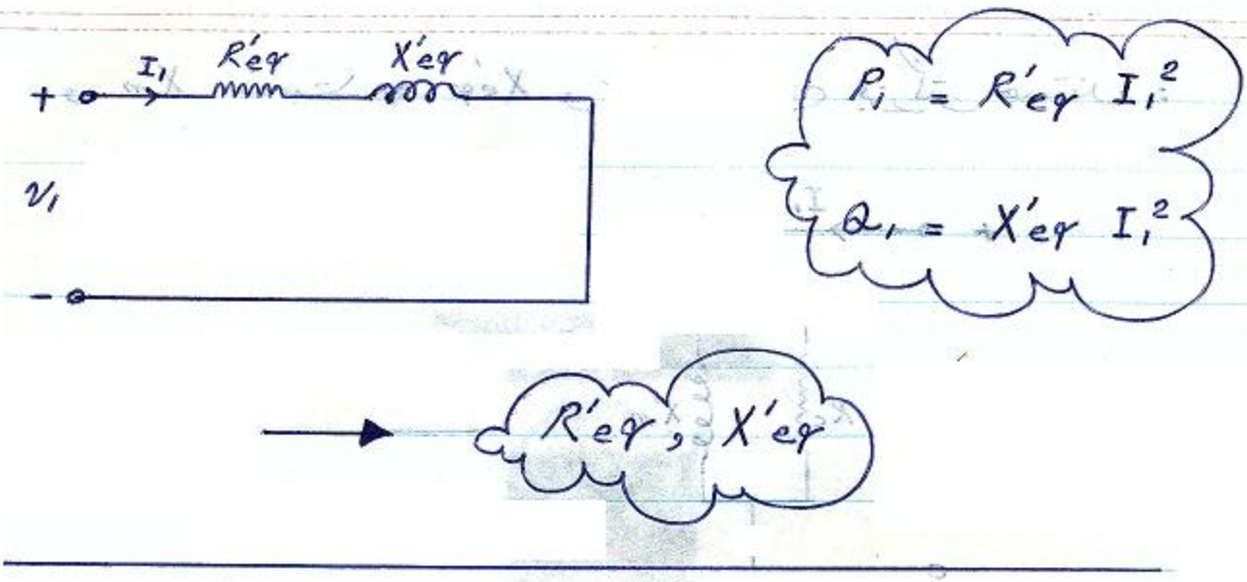
$\rightarrow$ R'_c , X'_m

$$\begin{bmatrix} S_1^2 = P_1^2 + Q_1^2 \\ (V_1 I_1)^2 = P_1^2 + Q_1^2 \end{bmatrix}$$

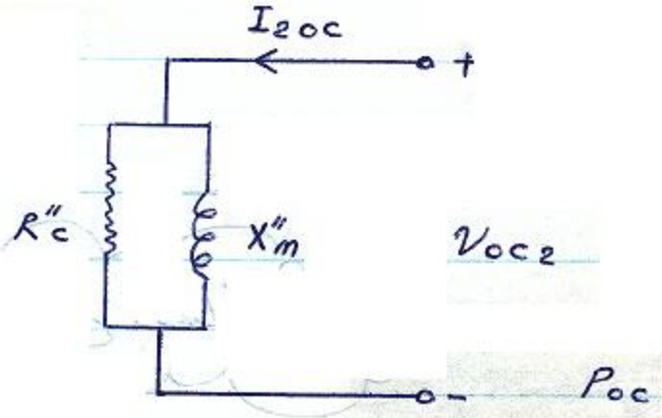
---

2. آزمایش اتصال کوتاه :





مسئله 2.15 سلمون - اگر از طرف ثانویه این آزمایشها انجام شود بجای R'_c و X'_c و R'_{eq} و X'_{eq} مقادیر R''_c و X''_c و R''_{eq} و X''_{eq} بدست می آید.

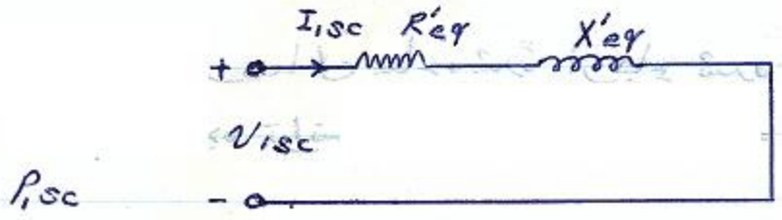


الف)

$$R''_c = \frac{V_{oc}^2}{P_{oc}} = \frac{(220)^2}{161} = 300.6\ \Omega$$

$$X''_m = \frac{V_{oc}^2}{Q_{oc}} = \frac{(220)^2}{\sqrt{(220 \times 1.52)^2 - 161^2}} = 165.1\ \Omega$$

ب)



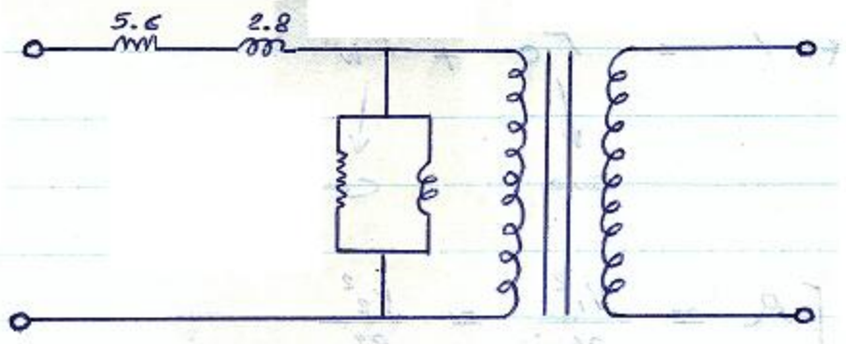
$$R'_{eq} = \frac{P_{sc}}{I_{sc}^2} = \frac{465}{9.1^2} = 5.6\ \Omega$$

$$X'_{eq} = \frac{Q_{sc}}{I_{sc}^2} = \frac{\sqrt{(205 \times 9.1)^2 - (4.65)^2}}{(9.1)^2} = 21.8\ \Omega$$

ج) با ارجاع بطرف اوّل :

$$R'_c = (10)^2 \times R''_c = 30060\ \Omega$$

$$X'_m = (10)^2 \times X''_m = 16510\ \Omega$$

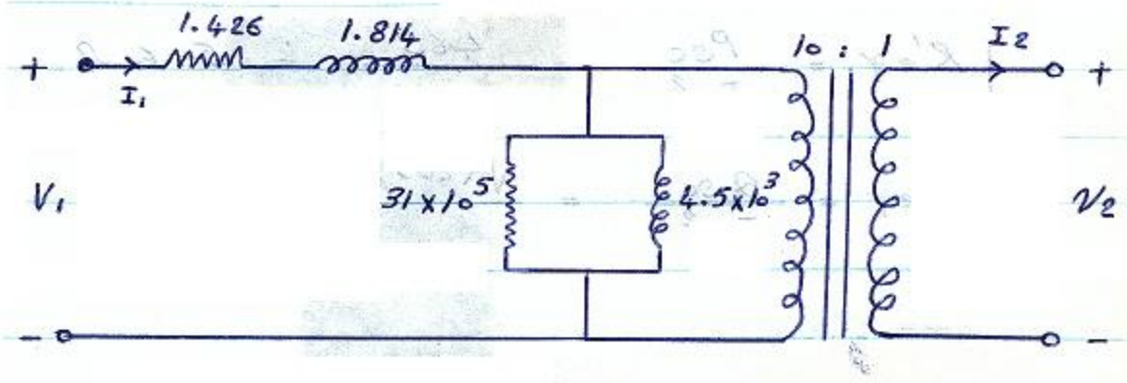


مسئله - آزمایشهای OC و SC ترانسفورماتوری بشرح زیر است و اطلاعات نامی آن 60 Hz و 50 KVA و 2400 / 240 است :

$V_{1sc} = 48V$	$V_{2oc} = V_{2n}$ (← نامی)
$I_{1sc} = 20.8\ A$	$I_{2oc} = 5.41\ A$
$P_{1sc} = 617\ W$	$P_{2oc} = 186\ W$

الف) مدار معادل ساده شدهٔ ارجاع شده به طرف اولیه را محاسبه و رسم کنید.
ب) بازده ترانس را در بار نامی با $\cos\varphi = 0.8$ پس‌فاز بدست آورید. (0.8 پس‌فاز)

الف :



ب :

* تلفات شامل : تلفات Copper و تلفات هسته و بخشی هم بصورت صدا است، که صدا هم ناشی از همان جریانهای فوکو و هیسترزیس است.

$$* \quad P = P_c + P_w$$

P_c ↓ هسته ، P_w ↓ مسی

$$\begin{cases} P_c \simeq \dfrac{V_1^2}{R'_c} \simeq \dfrac{V_2^2}{R''_c} \\ P_w \simeq R'_{eq} I_1^2 \simeq R''_{eq} I_2^2 \end{cases}$$

$$\eta = \frac{\text{توان خروجی}}{\text{توان ورودی}} = \frac{V_2 I_2 \cos\varphi}{(P_w) + (P_c) + (V_2 I_2 \cos\varphi)}$$

* در بار نامی :

$$V_2 = V_{2n} = 240\ V$$
$$S_{2n} = 50\ KVA$$

* $\begin{cases} V_2 = 240 \\ S_2 = 50 \end{cases} \longrightarrow I_{2n} = \dfrac{50 \times 10^3}{240} = 208.3\ A$

* $P_{خروجی} = 50 \times 10^3 \times 240 \times \underbrace{\cos\varphi}_{0.8} = 40\ KW$

* $P_c = \dfrac{V_2^2}{R''_c} = \dfrac{(240)^2}{31 \times 10^3 \left(\frac{1}{10}\right)^2} = 185.8\ W$

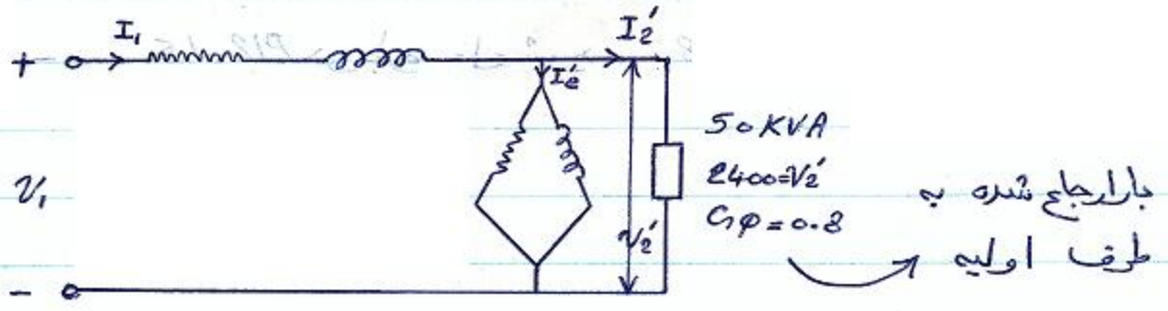
* $P_w = R''_{eq}\ I_2^2 = 0.01426 \times (208.3)^2 = 618.7\ W$

$$\eta = \frac{40 \times 10^3}{40 \times 10^3 + 185.8 + 618.7} \times \%100 \longrightarrow$$

$$\eta = 98.03\ \%$$

---

* در مسئله قبل : ولتاژ اولیه چقدر باشد تا بار نامی در ثانویه تغذیه شود ؟



* $\underline{V_2'} = 2400 \angle 0^\circ$: V_2' را مبداء فاز قرار می دهیم

$$\underline{I_2'} = 20.8 \angle -\cos^{-1}0.8 = 20.8 \angle -36.8^\circ = 16.7 - j\,12.5$$

$$\underline{I_e'} = \frac{\underline{V_2'} = 2400 \angle 0}{\underbrace{R_e' + j X_m'}_{10^3 \times 31.3 \angle 8.3^\circ}} = 75.47 \times 10^{-3} \angle -8.3^\circ = 0.075 \angle -8.3^\circ$$

* $\underline{I_1} = \underline{I_e'} + \underline{I_2'} = (16.7 + 0.074) - j\,(12.5 + 0.01)$

$$\underline{V_1} = \underbrace{\underline{I_1}\,(R_{eq}' + j X_{eq}')}_{} + \underbrace{2400 \angle 0}_{}$$

در ترانسفورماتور تک فاز (و سه فاز):

* $\eta = \dfrac{P_{خروجی}}{P_c + P_W + P_{خروجی}}$

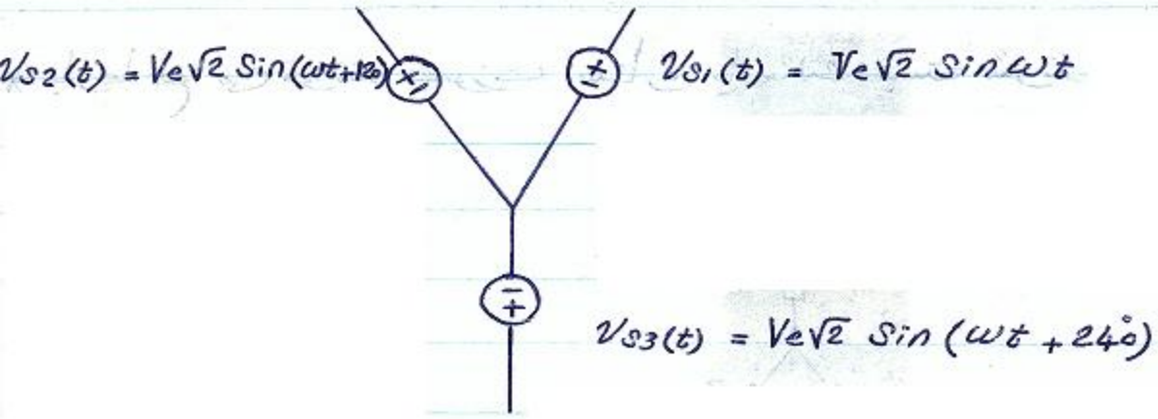
* هرگاه $P_c = P_W$ شود راندمان ترانس MAX مقدار خود را خواهد داشت.

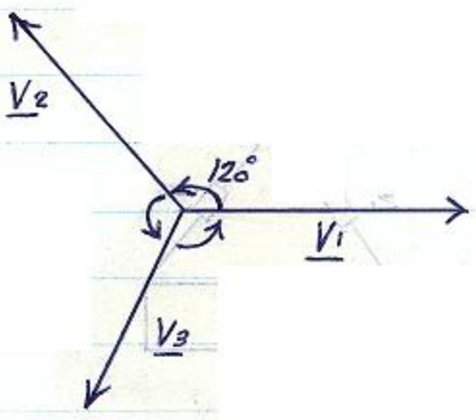
* پس باید سعی شود در طراحی تحت شرایطی که داریم (از نظر بار) طوری عمل کنیم که حتی المقدور $P_c = P_W$ شود.

مسائل - P12.15 دوباره حل شود. P.13.18 - P.13.21 - P.13.16

مدارات سه فاز و ترانسفورماتورهای سه فاز

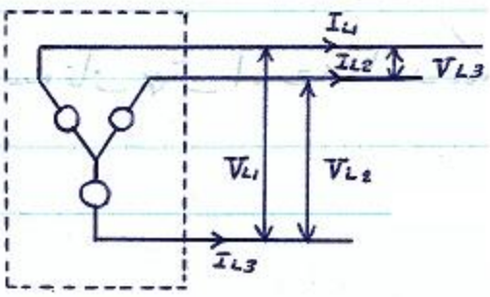
* یادآوری :

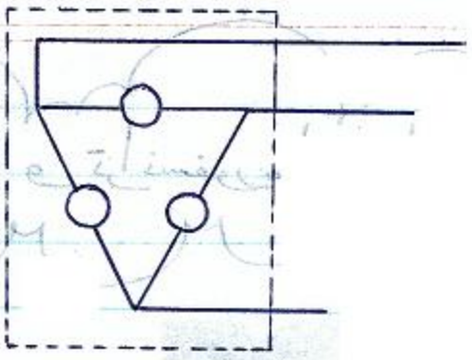




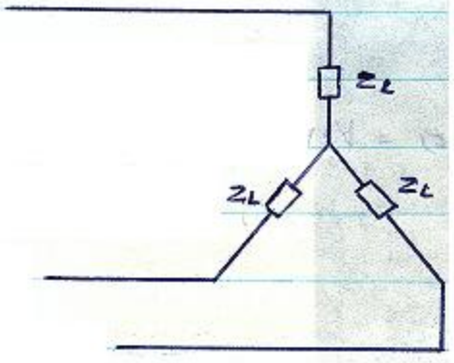
* حالت فوق را اتصال ستاره گویند که مدل یک منبع سه فاز است .

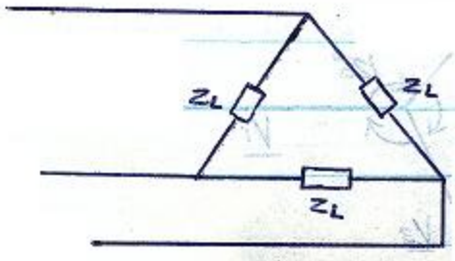
* هر منبع سه فاز با سه سر و سه ولتاژ خط مشخص می شود .





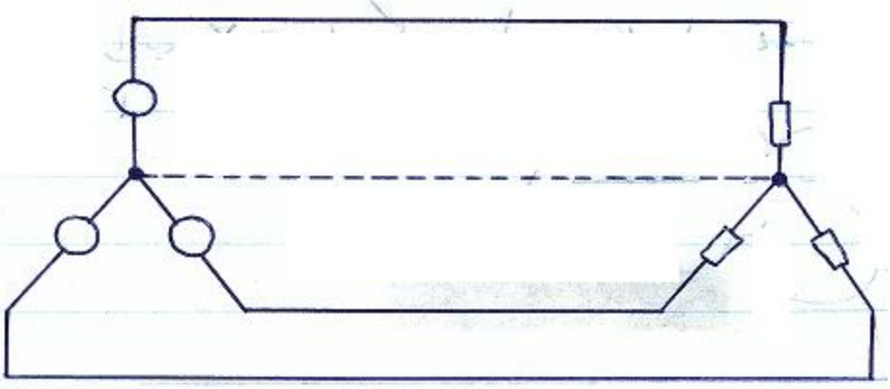
* بارها هم می توانند بصورت ستاره یا مثلث بسته شوند.

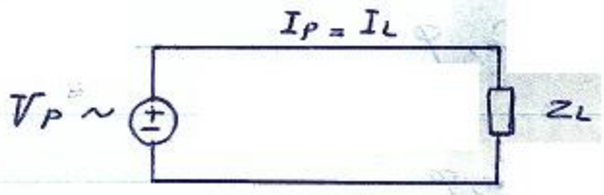




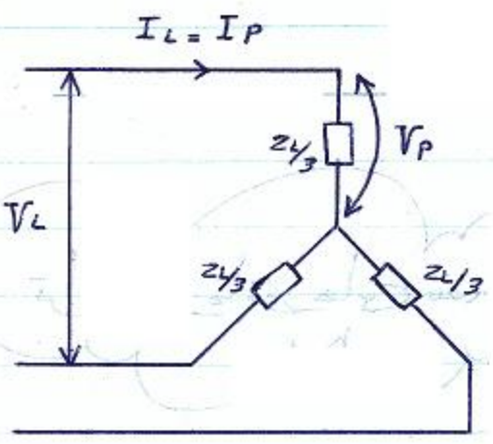
* اگر بارهای (Z_L) یکی باشند شبکه ما متعادل است (بار ما متعادل است). فرض متعادل بودن بار محاسبات را بسیار ساده می کند.

* در محاسبات سه فاز بهتر است تا حد ممکن منبع و بار را بصورت ستاره مدل - کنیم.



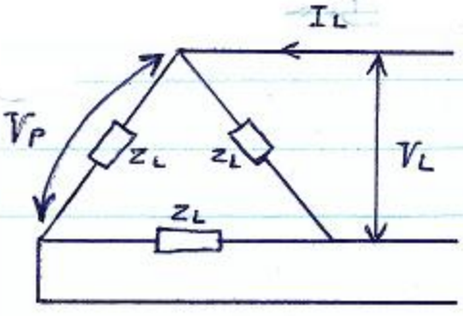


* حسن ستاره این است که می توان نقاط خنثی بار و منبع را هم ولتاژ دانست (بنابر تقارن) و لذا آنها را با سیم به هم وصل کرد و مدار را در حالت تک فاز حل کرد و سپس تعمیم داد.



$V_{LY} = \sqrt{3}\, V_{PY}$

$I_{LY} = I_{PY}$



$V_{L\Delta} = V_{P\Delta}$

$I_{L\Delta} = \sqrt{3}\, I_{P\Delta}$

* اگر بخواهیم Δ را به Y تبدیل کنیم باید V_L ها و I_L ها ثابت بماند و این به شرطی است که :

$$\frac{V_{PY}}{I_{PY}} = \frac{Z_L}{3}$$

---

* توان حقیقی :

* $P_{\text{سه فاز}} = 3 V_P I_P \cos\varphi$

* $P_{\text{سه فاز}} = \sqrt{3} V_L I_L \cos\varphi$

---

* توان مجازی :

* $Q = \sqrt{3} V_L I_L \sin\varphi$

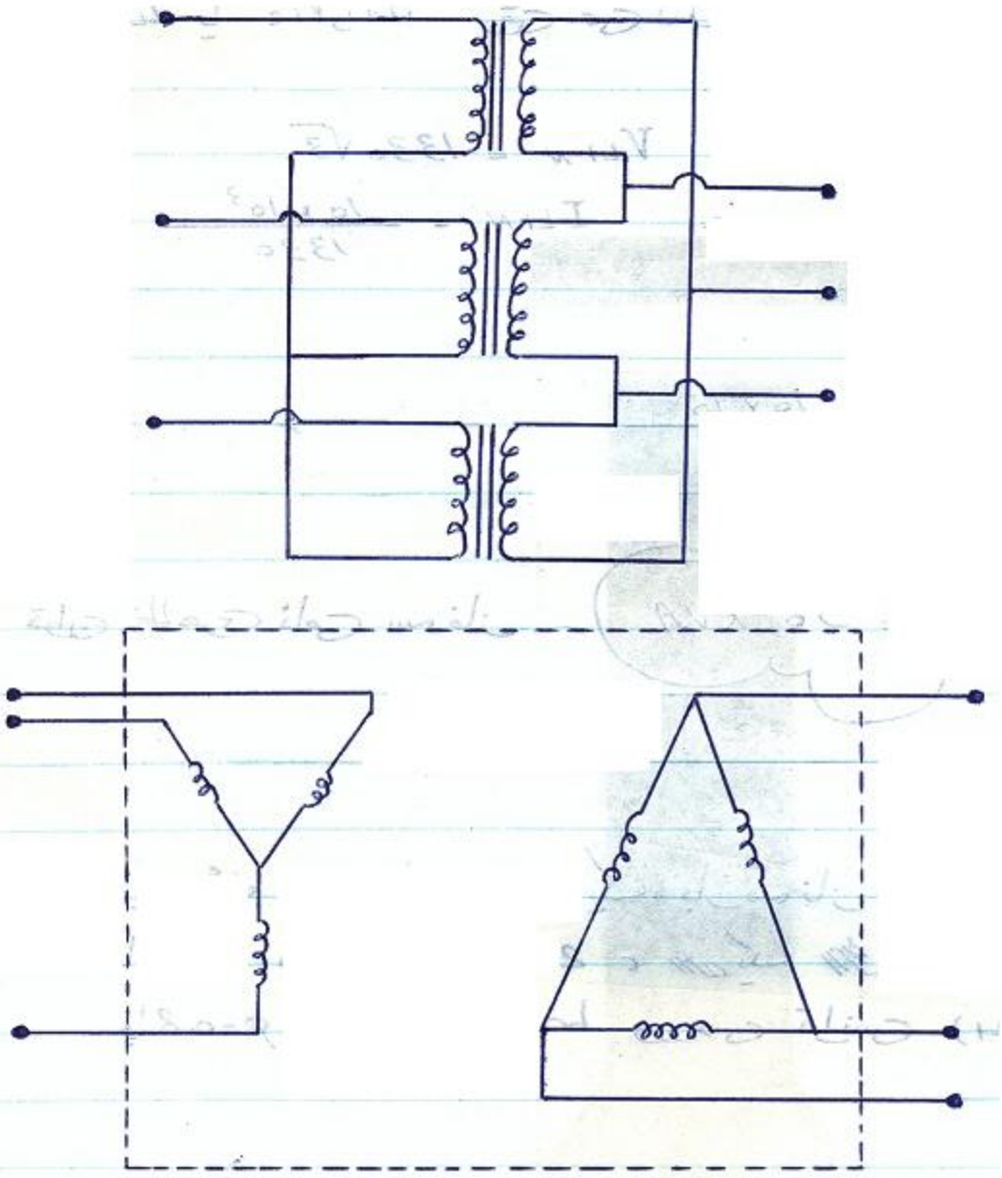
---

* توان ظاهری :

* $S = \sqrt{3} V_L I_L$

ترانسفورماتورهای سه فاز :

* می‌توان با اتصال سه ترانسفورماتور تک فاز یک ترانسفورماتور سه فاز تهیه کرد .



مثال- سه ترانس یک فاز (10 KVA ، 1330 : 230 ، 60Hz) را بصورت Δ : Y بسته ایم و ترانس سه فاز ساخته ایم. فرض می شود که - ترانس ها ایده آل است.

* $S = \sqrt{3}\, V_L I_L$ (V_{L1} و I_{L1} یا V_{L2} و I_{L2} فرقی نمی کند)

$$\begin{cases} V_{P1N} = 1330 \longrightarrow V_{L1N} = 1330\sqrt{3} \\ I_{P1N} = \dfrac{10 \times 10^3}{1330} \longrightarrow I_{L1N} = \dfrac{10 \times 10^3}{1330} \end{cases}$$

$$* \; S = \sqrt{3} \times 1330\sqrt{3} \times \frac{10 \times 10^3}{1330} \longrightarrow$$

$S = 30\ KVA$ توان ظاهری نامی سه فاز

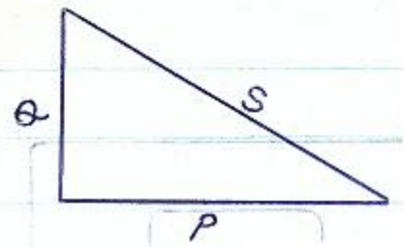
ب - در مسئله قبل ثانویه را به یک بار سه فاز ($V_L = 230$) و در هر فاز یک بار حرارتی 2kW ، یک موتور سه فاز 21 KVA با $\cos\varphi = 0.8$) . جریان خط ورودی ترانس (I_{L1}) را بیابید .

$$\begin{cases} \text{بار } V_L = V_{2n} = 230\ V \\ V_{L1} = V_{1n} = 2300\ V \end{cases}$$

$$P_{کل} = (3 \times 2\ kW) + (21\ KVA \times 0.8) = 22.8\ KW$$

$$Q_{کل} = \left(21\ KVA \times \frac{\sin\varphi}{0.6}\right) = 12.6\ KVAR$$

* بار حرارتی Q ندارد .



* $S_{کل} = \sqrt{22.8^2 + 12.6^2} = 26 \quad KVA$

* کل S کشیده شده توسط بار همان S_2 است و چون ترانس ایده‌آل است ($S_1 = S_2$) است :

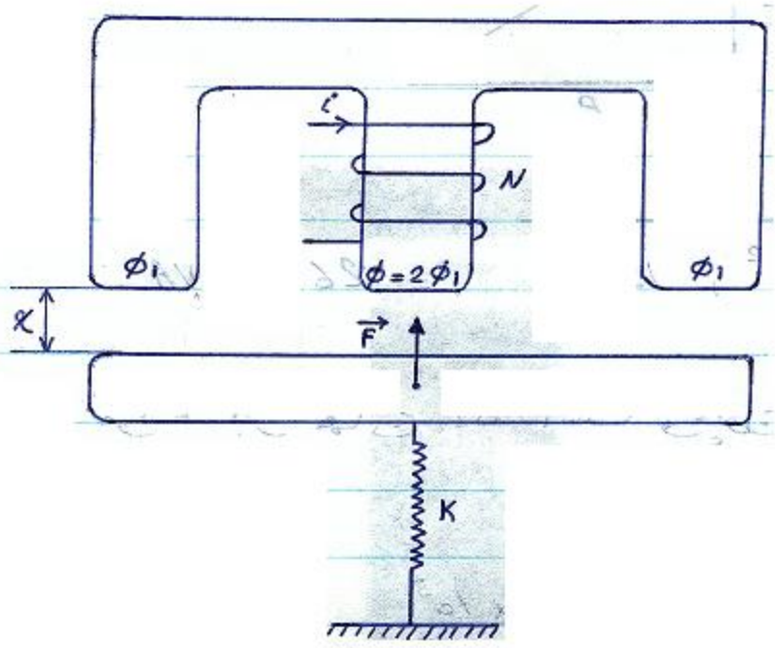
$$I_{L1} = \frac{S_1}{\sqrt{3}\, V_{L1}} = \frac{26 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 2300} = 6.52 \ A$$

* سلمون - ص ۳۵ و ۳۶ و ۳۷ الف

* یکی از مزایای Δ این است که اگر یکی از ترانس‌ها خراب شود توان را بطور ضعیف‌تر انتقال می‌دهد امّا قطع نمی‌کند. امّا برای پخش سه‌فاز بین خانه‌ها از Y استفاده می‌شود که یک سرخنثی (Nole) دارد که آن را به هر سه خانه می‌دهیم و سپس به هر کدام یک فاز می‌دهیم.

محاسبه نیروی حاصل از تبدیل انرژی الکترومغناطیسی به مکانیکی ؛

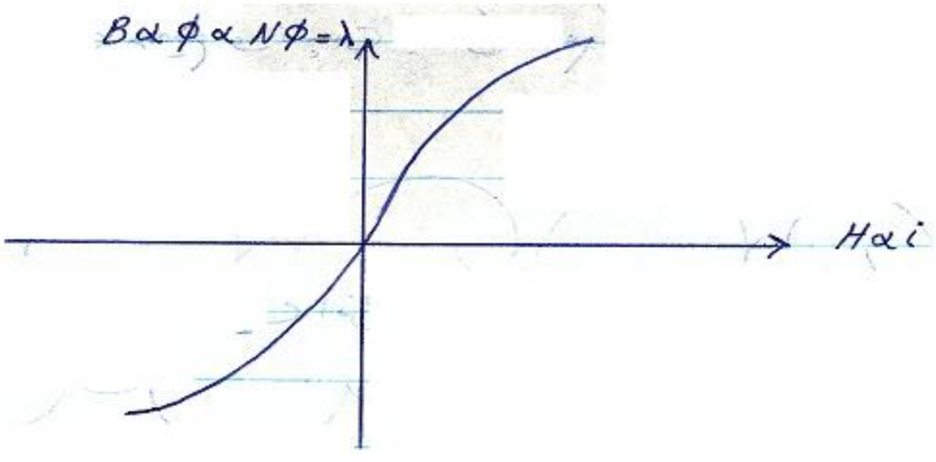
رله :

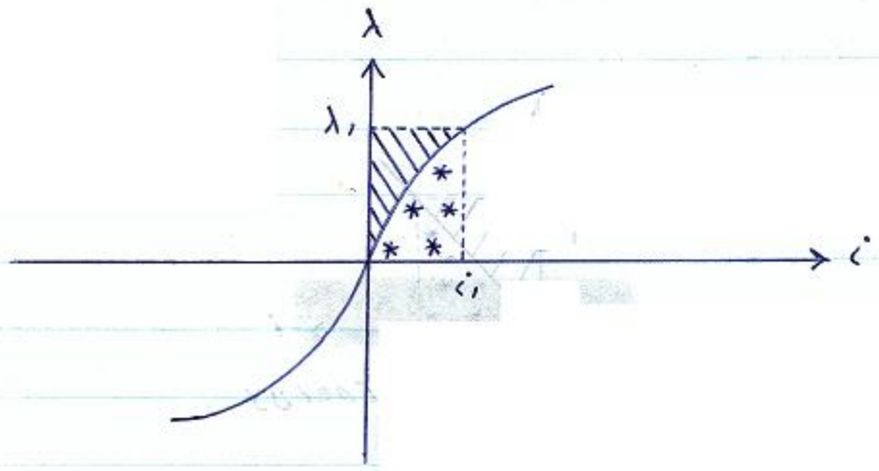


رله ابزاری است که مداری را قطع یا وصل می‌کند و یا دستگاههائی مثل درب بازکن الکتریکی هم جزء رله‌ها محسوب می‌شوند.

$$L(x) = \frac{N^2}{R_{\mathcal{M}}}$$

* انرژی ذخیره شده در میدان مغناطیسی : $W_B = \frac{1}{2} L i^2$





$$* \quad W(t) = \int_{t_0}^{t_1} P(t)\, dt = \int_{t_0}^{t_1} v \times i\, dt$$

$$\begin{cases} t_0 \longrightarrow & i(t_0) = 0 \\ t_1 \longrightarrow & i(t_1) = i_1 \end{cases}$$

$$W(t) = \int_{t_0}^{t_1} \frac{d\lambda}{dt}\, i\, dt = \int_{\lambda(t=t_0)}^{\lambda(t=t_1)} i\, d\lambda$$

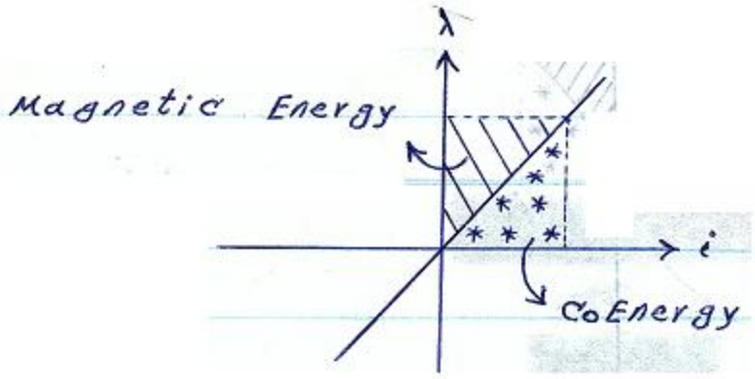
$$\begin{cases} \lambda(t_0) = 0 \\ \lambda(t_1) = \lambda_1 \end{cases}$$

* یعنی انرژی ذخیره شده در میدان مغناطیسی در هر لحظه سطح هاشور خورده است.

* رابطه $W_f = \frac{1}{2} L i^2$ وقتی صحیح است که رابطه λ و i خطی باشد و بصورت $(\lambda = L i)$. یا به عبارتی در محدوده‌ای از منحنی بتوان خط منحنی را با خط راست تقریب زد.

$$W = \int_{t_0}^{t_1} i L\, di = \frac{1}{2} L i^2 \Big|_{t_0}^{t_1} = \frac{1}{2} L i^2$$

* پس با فرض ($\lambda = Li$) :



* حال به محاسبه نیروی $\vec{F}$ می پردازیم :

* اگر در راه فوق قطعه آهن پایین را محکم نگه داریم تا حرکت نکند کل انرژی الکتریکی ما (We) ، در صورت نبودن اتلاف، در میدان مغناطیسی ذخیره شده :

$$(We = W_f)$$

* اگر قطعه را رها کنیم کار مکانیکی انجام می شود :

$$(\Delta We = \Delta W_f + \Delta Wm)$$

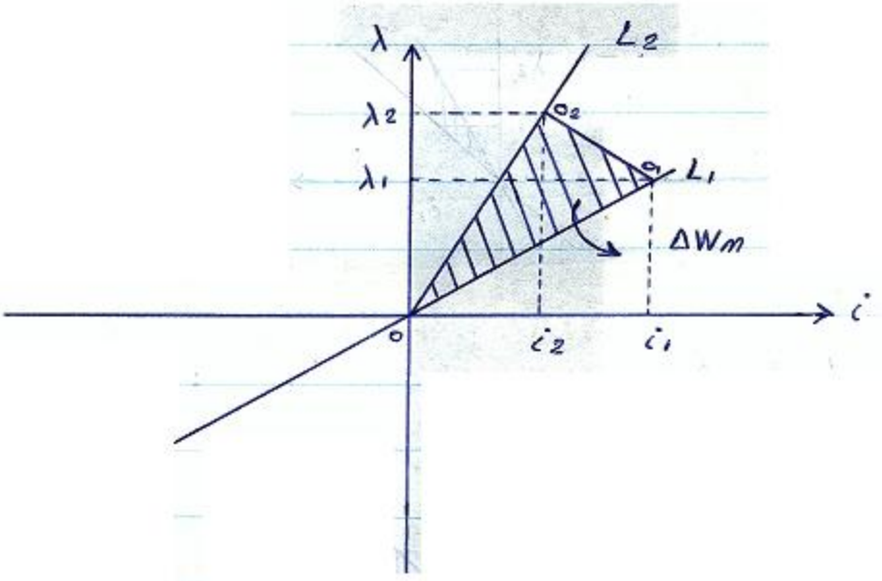
ΔWe : تغییرات انرژی الکتریکی که از طرف منبع الکتریکی داده می شود منهای تلفات اهمی .

ΔW_f : تغییرات انرژی مغناطیسی بعلاوه تلفات هسته

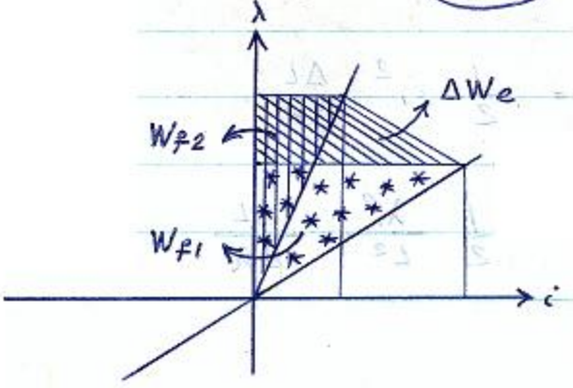
ΔWm : تغییرات انرژی مکانیکی تحویلی به بار مکانیکی بعلاوه تلفات مکانیکی

* $F = \frac{\Delta W_m}{\Delta x}$

$\Delta W_m = \Delta W_e - \Delta W_f$



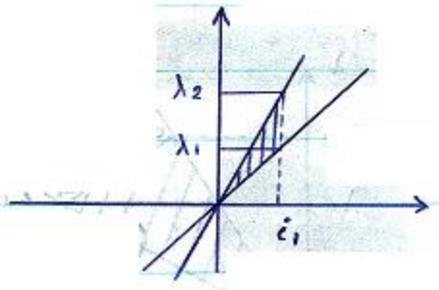
* چون L تابع x است پس در حالت اول L_1 داریم و با یک تکان کوچک Δx، L_2 خواهیم داشت. طول o_1o_2 مسیر طی شده است که آن را با خط راست تقریب زده‌ایم.



$$* \quad W_f = \frac{1}{2} L i^2 = \frac{1}{2} \frac{\lambda^2}{L}$$

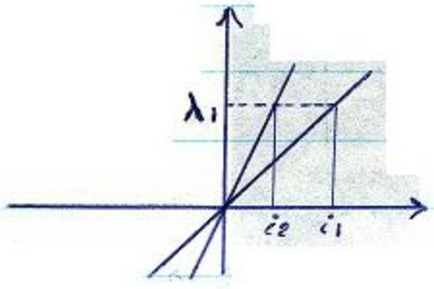
1. به فرض ثابت بودن i :

$$S_{oo_1o_2}^{\Delta} = \frac{1}{2} i_1 (\Delta\lambda)$$



2. به فرض ثابت بودن λ :

$$S_{oo_1o_2}^{\Delta} = \frac{1}{2} \lambda_1 \Delta i$$



① $\Delta W_m = \frac{1}{2} i_1 \Delta\lambda$ $\quad (\lambda = Li \rightarrow \Delta\lambda = i_1 \Delta L)$

② $\Delta W_m = \frac{1}{2} \lambda_1 \Delta i$ $\quad (i = \frac{\lambda}{L} \rightarrow \Delta i = -\frac{\lambda_1}{L^2} \Delta L)$

$\Rightarrow$

$$F = \frac{\Delta W_m}{\Delta x} = \frac{1}{2} i_1^2 \frac{\Delta L}{\Delta x} \quad \leftarrow 1$$

$$F = \frac{\Delta W_m}{\Delta x} = -\frac{1}{2} \frac{\lambda_1^2}{L^2} \frac{\Delta L}{\Delta x} \quad \leftarrow 2$$

$$\left(L = \frac{N^2}{R} \quad , \quad \begin{cases} \lambda = N\phi \\ \lambda = Li \end{cases} \right) \rightarrow$$

$$F = \frac{1}{2} i^2 \frac{dL}{dx}$$

$$F = -\frac{1}{2} \phi^2 \frac{dR_{\mathcal{M}}}{dx}$$

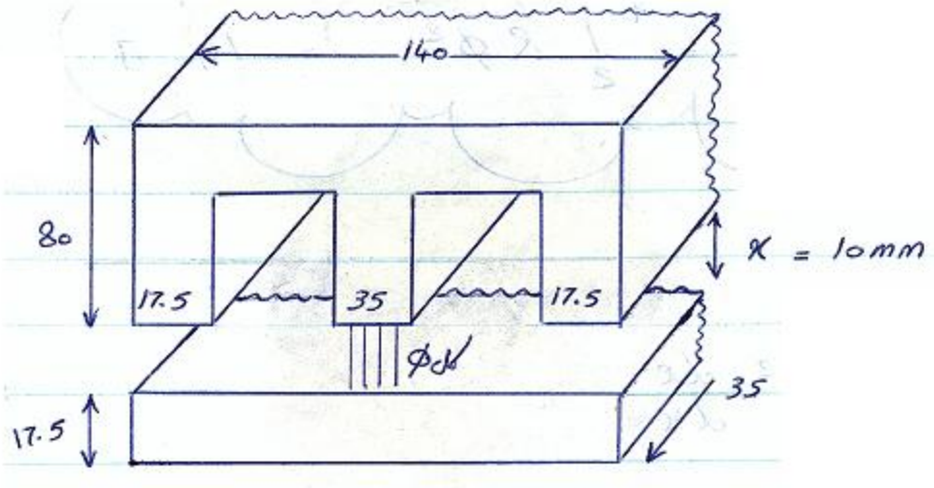
R - رلوکتانس مغناطیسی

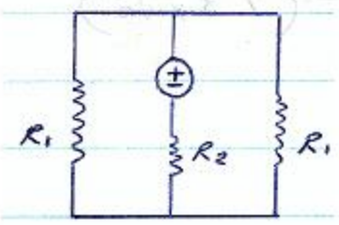
---

* مثال کتاب سلمون - (با فرض ایده‌آل بودن هسته، یعنی رلوکتانس هسته صفر است و تنها مقاومت هوائی داریم).

$B_a = 1.2\ T$

$N = 2000$





* $\mathcal{R} = (\mathcal{R}_1 // \mathcal{R}_1) + \mathcal{R}_2 = \frac{1}{2}\mathcal{R}_1 + \mathcal{R}_2$

$$\mathcal{R} = \frac{1}{2} \times \frac{x}{\mu_0 (17.5 \times 10^{-3} \times 35 \times 10^{-3})} + \frac{x}{\mu_0 (35 \times 10^{-3} \times 35 \times 10^{-3})}$$

$$\left.\begin{array}{l} \mathcal{R} = 1.3 \times 10^9 \, x \\ x = 10\ mm \end{array}\right\} \rightarrow \quad \mathcal{R} = 13 \times 10^6 \ A/Wb$$

$(B \rightarrow \phi)$: $\phi \mathcal{N} = B (35 \times 10^{-3} \times 35 \times 10^{-3})$

$\phi \mathcal{N} = 1.47 \times 10^{-3} \ (Wb)$

$W_f = \frac{1}{2} L i^2 = \frac{1}{2} \mathcal{R} \phi^2 = 14\ j$ انرژی ذخیره شده در میدان مغناطیسی

---

* محاسبه نیرو :

$$|F| = \frac{1}{2} \phi^2 \frac{d\mathcal{R}}{dx}$$

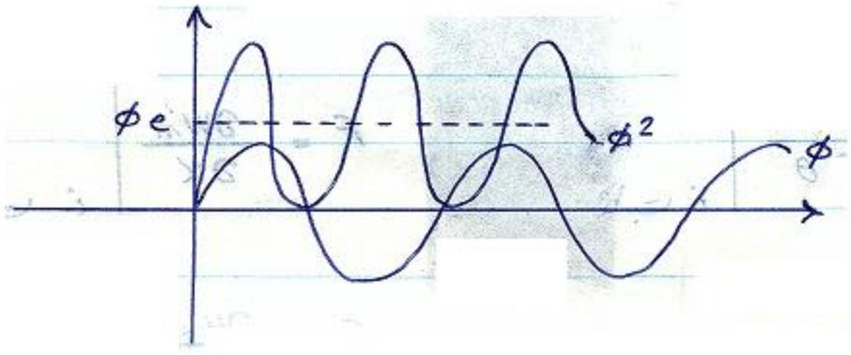
$$|F| = \frac{1}{2} (1.47 \times 10^{-3})^2 (1.3 \times 10^9)$$

$$|F| = 1400\ N$$

* اگر جریان سینوسی داشتیم یک ϕ سینوسی پدید می‌آید که از روی i_m - می‌توان ϕ_m و یا از روی i_e می‌توان ϕ_e را یافت . باوجود این که ϕ سینوسی است ولگاهی + و گاهی - است امّا ϕ^2 همواره (+) است وچون $F = -\frac{1}{2}\phi^2 \frac{dR}{dx}$ است داریم :

$$F_{av} = \phi_e^2 \left(\frac{dR}{dx}\right)$$

$$\phi = \sqrt{2}\,\phi_e \sin(\omega t + \alpha)$$



* برای محاسبه گویل :

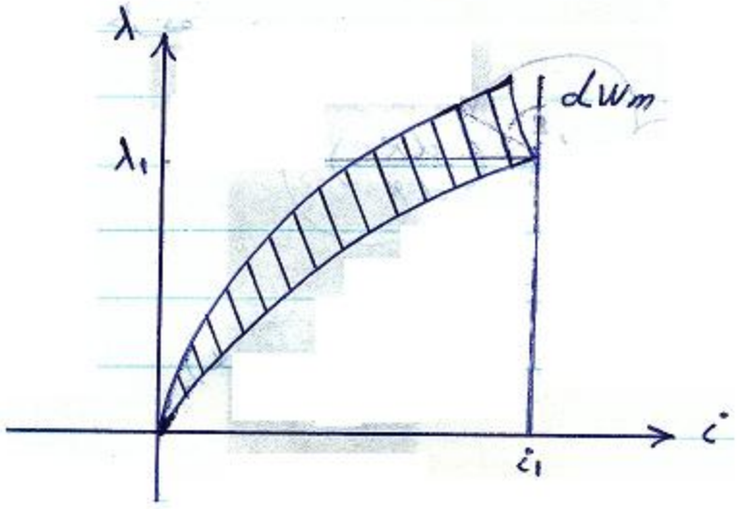
$$T = -\frac{1}{2}\phi^2 \frac{dR}{d\theta}$$

---

* مسئله P13.33 - P13.31 - P13.32

* جمعه ۷۳/۱۸/۲۷ ساعت ۹ صبح امتحان میان ترم .

مبحث مربوط به امتحان پایان ترم



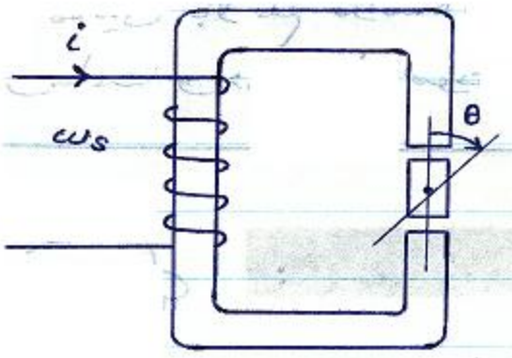
$$T = \left.\frac{\partial W'_m}{\partial \theta}\right|_{i \text{ ثابت}}$$

$$F = \left.\frac{\partial W'_m}{\partial x}\right|_{i \text{ ثابت}}$$

$$F = \left.\frac{\partial W_m}{\partial x}\right|_{\lambda \text{ ثابت}}$$

موتور رلوکتانس (موتور مقاومت مغناطیسی)

* تنها موتوری است که فقط یک سیم پیچی دارد.

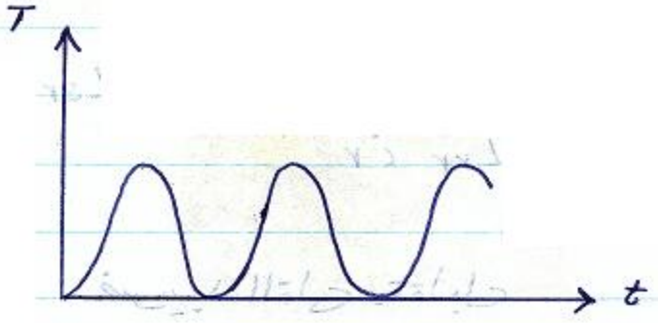


$$T = \frac{1}{2} i^2 \frac{dL}{d\theta}$$

* اگر قطعه گردش کننده را استارت بزنیم و با سرعت ω_m بگردانیم تا وقتی که $\omega_m = \omega_s$ شود، در این هنگام کوپل متوسط دیگر صفر نیست و موتور می‌تواند بگردد، لذا سرعت این موتور همواره ثابت است. این سیستم خطی نیست چون T به θ بسته است و همچنین وابسته به زمان نیز هست.

* موتورهائی که تنها با یک سرعت کار می‌کنند سنکرون (همزمان) نامیده می‌شوند و آن سرعت را (سرعت سنکرون) گویند.

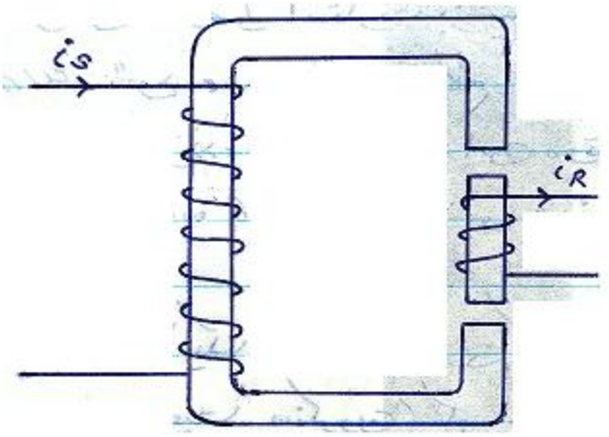
* چون این موتورها کوپلهای نوسانی تولید می‌کنند لذا دائماً می‌لرزند و این امر تلفات مکانیکی پدید می‌آورد.



* کوپلهایی که بصورت $T = \frac{1}{2} i^2 \frac{dL}{d\theta}$ تولید شوند (یعنی ناشی از تغییرات رلوکتانس خودی باشند) همواره نوسانی هستند. در جاهائی که به سرعت ثابت

نیاز حاریع و load مکانیکی بالا هم نداشته باشیم به صرفه است که از این موتورها استفاده کنیم . مثلاً در ساعت و در ضبط صوت .

موتورهای دو سیم پیچه :



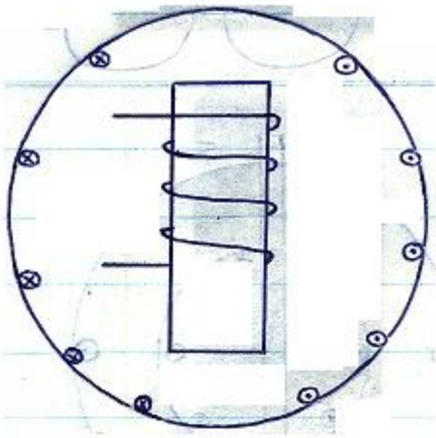
S - استاتور

R - روتور

$$\begin{cases} T = \frac{1}{2} i_s^2 \frac{dL_{ss}}{d\theta} + \frac{1}{2} i_r^2 \frac{dL_{rr}}{d\theta} + i_s i_r \frac{dL_{sr}}{d\theta} \\ \lambda_s = L_{ss} i_s + L_{sr} i_r \\ \qquad (L_{sr} = L_{rs}) \\ \lambda_r = L_{rs} i_s + L_{rr} i_r \\ L_{sr} : \text{ضریب القای متقابل} \end{cases}$$

* چون شار هر کدام مقداری هم از سیم پیچ دیگر عبور می کند پس ضریب القای متقابل پدید می آید .

* دو ترم اوّل T خودسان است امّا می توان کاری کرد که ترم $i_s i_r \frac{dL_{sr}}{d\theta}$ متغیر بازمان نباشد. لذا باید سعی کنیم دو ترم اوّل را حذف کنیم. بدین منظور شکل روتور و استاتور را استوانه‌ای می کنند.

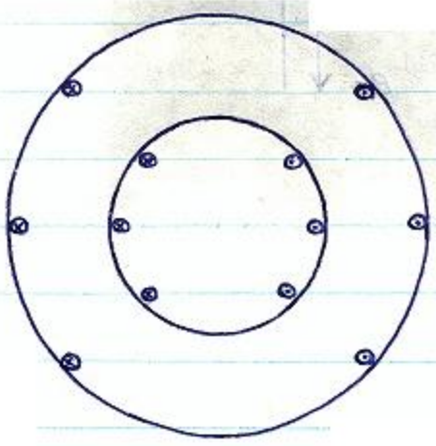


* در شکل فوق استاتور استوانه‌ای شده امّا روتور استوانه‌ای نیست.

* $\frac{1}{2} i_r^2 \frac{dL_{rr}}{d\theta} = 0$ ← 0

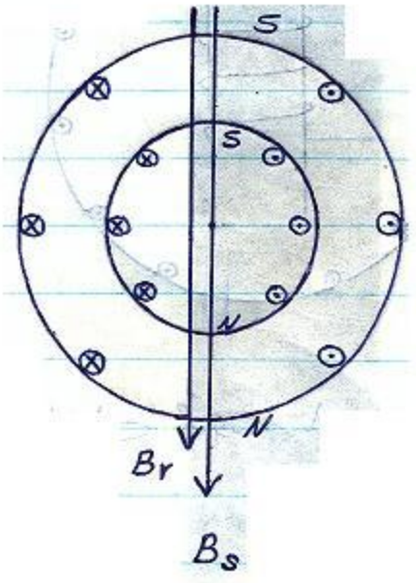
* پس اگر روتور را هم استوانه‌ای کنیم ترم اوّل هم حذف می شود.

* $\frac{1}{2} i_s^2 \frac{dL_{ss}}{d\theta} = 0$ ← 0

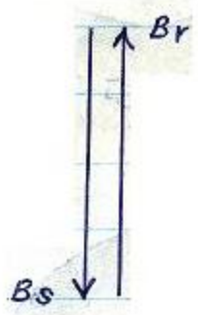


* پس کوپل نهائی در ماشینهای استوانه‌ای بصورت زیر است :

$$T = i_s\, i_r \frac{\partial L_{sr}}{\partial \theta}$$



* اگر Rotor بگردد :

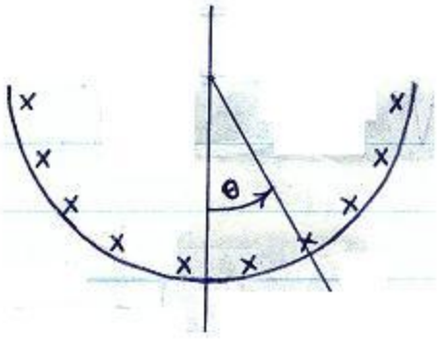


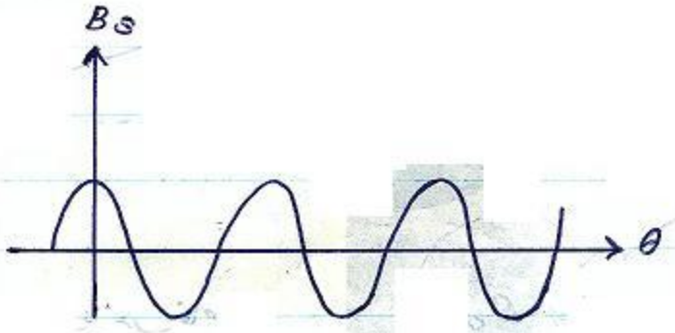
فرشاد سرایی - مهندس پایه یک تاسیسات مکانیکی
طراحی - نظارت - اجرا
نظام مهندسی: ۱۰-۴-۰-۱۷۲۷۶
پروانه مهندسی: ۱۰-۴۰۰-۰۲۸۱۵
شماره شهرسازی: ۱۰۴-۰۱۲۲۲

فرضیات :

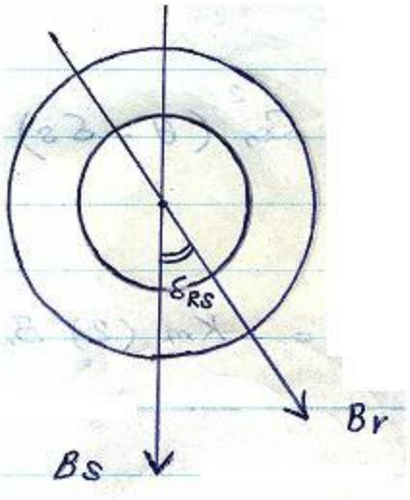
۱ - سیم پیچی سینوسی است و لذا :

$$B_s = B_{ms} \cos\theta$$
$$B_r = B_{mr} \cos\theta$$





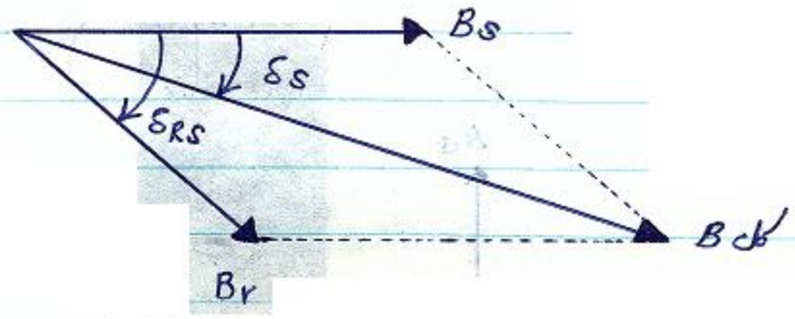
محاسبه کوپل :



* $B_s = B_{ms} \cos\theta$
* $B_r = B_{mr} \cos(\theta - \delta_{RS})$

* $B_{کل} = B_{mRS} \cos(\theta - \delta_S)$

$$B_{mRS} = \sqrt{B_{mr}^2 + B_{ms}^2 + 2 B_{mr} B_{ms} \cos\theta_{RS}}$$



$$W = \frac{1}{2} R_m \phi^2 = K_m B_{کل}^2$$

انرژی کل ذخیره شده در فاصله هوائی بین Rotor و Stator

$$W = K_m B_{mRS}^2 \cos^2(\theta - \delta_S)$$

$$T = \frac{\partial W}{\partial \delta_{RS}} = -K_m (2) B_{mr} B_{ms} \sin\delta_{RS}$$

* حال چه کار کنیم تا موتور ما بگردش درآید ؟

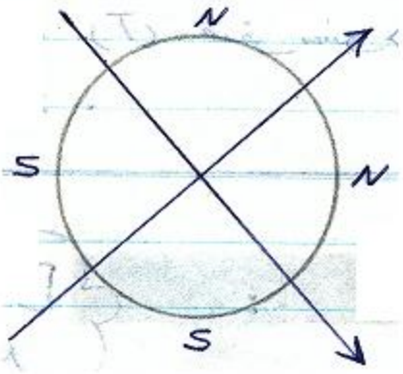
جواب - باید کاری کنیم که (T) صفر نشود . پس باید کاری کنیم که - (δ_{RS}) صفر نشود .

ماشینهای D.C :

* ماشینهائی هستند که با جریان D.C کار می کنند مثل استارت ماشین . وقتی Rotor حرکت می کند و به زاویه 180° برسد وسیله ای بنام - (کموتاتور) قطبهای منبع را عوض می کند و این عمل باعث گردش - مداوم Rotor می شود . ماشینهای D.C باید کموتاتور داشته باشند. کموتاتور کویل را یکطرفه می کند امّا مقدار کویل با (δ_{RS}) تغییر می کند. δ_{RS} بین 0 و 180° تغییر می کند پس ما باید تا حد امکان این محدوده را کم کنیم تا T تقریباً ثابت شود . برای این کار بجای یک سیم پیچ چند- سیم پیچ در جاهای مختلف Rotor می پیچیم و از چند جفت کموتاتور استفاده می کنیم .

---

* زاویه بین میدان روتور و استاتور بین 0 و 180° تغییر می کند (Sin بین- 0 و 1 تغییر می کند) . ما باید حتی المقدور کاری کنیم که این زاویه تغییر نکند. برای این کار قطبهای مختلف درست می کنیم . این کار با چند سیم پیچی امکان پذیر است، که در فواصل معین سوئیچ می شوند و میدان روتور در یک - ماشین مثلاً 4 قطب بین 45° و 135° تغییر می کند (یعنی رنج تغییرات بجای 180° می شود 90°) ولذا دامنه Sin کاهش می یابد و گشتاور تقریباً ثابت می شود . معمولاً باید Rotor و Stator تعداد قطبهای یکسان داشته باشند.



(قطب ٤ Rotor)

* در ماشینهای D.C کوچک مثل آرمیچر اسباب بازی‌ها برای استاتور دیگر سیم پیچی نمی کنند بلکه از آهن ربای دائمی بهره می گیرند. اگر استاتور سیم پیچی باشد ما دو سر سیم برای استاتور داریم و دو سر سیم برای Rotor.

ماشینهای A.C :

S - استاتور

$$\begin{cases} B_s(\theta) = B_s \cos\theta \\ B_s = K i_s(t) \end{cases} \longrightarrow$$

$$B_s(\theta, t) = K i_s(t) \cos\theta$$

$$B_s(\theta, t) = K I_m \cos \omega_s t \cos \theta$$

* یعنی میدان حاصل در هر نقطه‌ای (θ هر) با زمان تغییر می‌کند.

* تمام فرمولهای فوق در مورد (Rotor) هم صدق می‌کند.

میدان دوّار : یعنی میدان مغناطیسی که جای Max آن در حال چرخش است امّا مقدار Max آن با زمان ثابت است.

---

* ما با بستن دو سیم پیچ بروی stator که باهم زاویه 90° می‌سازند و جریانهای گذرنده از آنها هم باهم اختلاف فاز $\frac{\pi}{2}$ دارند می‌توانیم میدان دوار بسازیم :

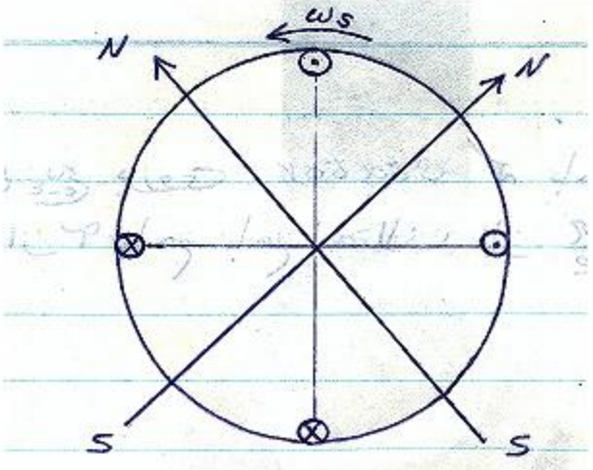
$$\begin{cases} B_{sy}(\theta, t) = K I_m \cos \omega_s t \cos \theta \\ B_{sx}(\theta, t) = K I_m \cos(\omega_s t - \frac{\pi}{2}) \cos(\theta - \frac{\pi}{2}) \end{cases} \longrightarrow$$

$$B_{xy\,کل} = K I_m \cos(\omega_s t - \theta)$$ میدان دوّار

* پس برای ساختن میدان دوّار کافیست جای سیم پیچها را طوری بپیچیم که باهم $\frac{\pi}{2}$ زاویه بسازند و از یک منبع دو فاز استفاده کنیم که جریانهای آن $\frac{\pi}{2}$ اختلاف فاز دارند. و یا می توان از جریان حاصل از منبع سه فاز- استفاده کنیم و سیم پیچها را با اختلاف 60° (قطب به قطب) بپیچیم. میدان دوار با سرعت w_s می چرخد و ناظر فرضی سوار بر آن همواره مقدار Max را اندازه می گیرد.

---

* توجیه : در فرمول $B_{xy} = K I_m \cos(w_s t - \theta)$ اگر ناظری فرضی سوار بر میدان با سرعت w_s بچرخد θ آن در هر لحظه برابر است با $w_s t$ پس : $\cos(w_s t - w_s t) = 1$ یعنی این ناظر همواره (B) ماکزیمم را می بیند.



---

* یعنی با این ابتکار بدون چرخیدن خود سیم پیچها میدان برآیند حاصل از آنها می چرخد و میدان های دوّار اساس کار ماشینهای A.C است.

ماشین سنکرون :

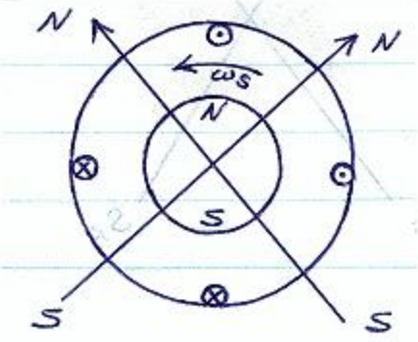
* برای گردش ثابت موتور یعنی گردش آن بطوری که کوپل هم ثابت بماند باید میدان دوّار در stator و Rotor بگونه‌ای تولید شود که سرعت دوران هردو میدان (ω_s) باشد.

---

* در ماشینهای سنکرون بجای Rotor آهن ربای دائمی قرار می دهند (یا سیم پیچی که از آن جریان DC می گذرد برای ماشینهای بزرگ سنکرون) و موتور را تا جائی می چرخانند که سرعت دوران آن به (ω_s) برسد.- ماشین سنکرون از این پس شروع بکار می کند. ماشینهای سنکرون بیشتر در نیروگاهها و بصورت ژنراتوری بکار می روند و توسط نیروی بخار و یا آب و.... (Rotor) آنها می چرخد و جریان سه فاز با همان فرکانس : $f = \frac{\omega_s}{2\pi}$ تولید می کند.

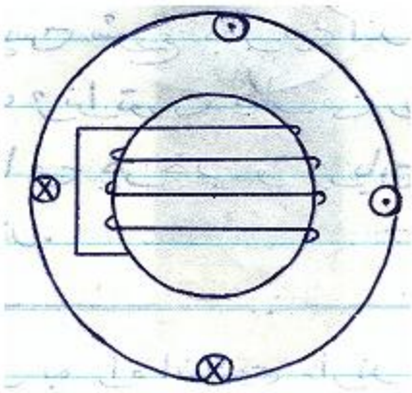
---

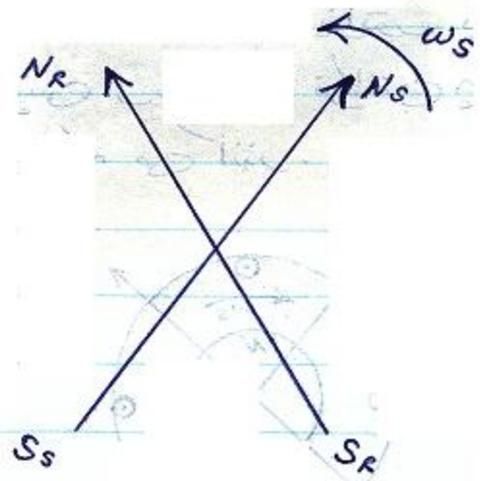
* ماشینهای سنکرون نیاز به راه اندازی دارند. در حالت ژنراتوری راه اندازی بدین معنا است که (Rotor) را تا جائی بچرخانند که فرکانس آن به فرکانس شبکه برسد (چون تا قبل از آن ژنراتور بار از شبکه خواهد کشید و حکم موتور را دارد). پس از رسیدن فرکانس چرخش ژنراتور به فرکانس شبکه آن را وارد مدار شبکه می کنند.



ماشین آسنکرون (القائی) :

* استاتور آن درست مانند ماشین سنکرون است و یک میدان دوّار دارد. امّا (Rotor) آن متفاوت است. در (Rotor) سیم پیچی سه فاز - می بندیم و آن را اتصال کوتاه می کنیم. جرائی چرخیدن میدان استاتور روی Rotor ولتاژ سه فاز القاء می شود که اگر اتصال کوتاه باشد یک جریان سه فاز القائی در Rotor پدید می آید و این جریان یک میدان دوّار در Rotor پدید می آورد.





* فرض کنید جریان القائی در Rotor دارای فرکانس ω_r باشد و سرعت چرخش محور Rotor (سرعت مکانیکی) ω_m باشد. باید توجه کرد که سرعت میدان دوّار Rotor ($\omega_r + \omega_m$) است. دقت شود که میدان Rotor نسبت به خود Rotor با سرعت ω_r می چرخد و چون خود Rotor هم با سرعت ω_m در حال چرخش است لذا میدان دوّار Rotor با سرعت $\omega_r + \omega_m$ خواهد چرخید. میتوان نشان داد که تحت همه شرایط:

$$\omega_r = \omega_s - \omega_m$$

* یعنی مشابه ترانسفورماتوری است که Stator حکم اوّلیه و Rotor حکم ثانویه را دارد. امّا مانند ترانسفورماتور فرکانس القائی همان ω_s نیست مگر این که نیروی محور شفت را نگه دارد تا $\omega_m = 0$ شود و آنوقت مثل ترانسفورماتور سه فاز ($\omega_s = \omega_r$) می شود.

* ω_s را سرعت سنکرون گویند. وقتی ω_r به ω_s برسد ولتاژ القائی به Rotor (D.C) می شود. لذا کویل ثابت یکطرفه در ماشین آسنکرون تولید می شود. ماشین سه فاز القائی نیازی به راه اندازی ندارد.

ماشینهای D.C (بررسی کمّی) :

سیم پیچی Stator = سیم پیچی (تحریک)

سیم پیچی Rotor = آرمیچر

۱- بافتن ولتاژ القاء شده به سیم پیچ آرمیچر (e_a) ناشی از میدان سیم پیچی تحریک که خود ناشی از i_f (جریان سیم پیچی تحریک است) می باشد برای ما مهم است :

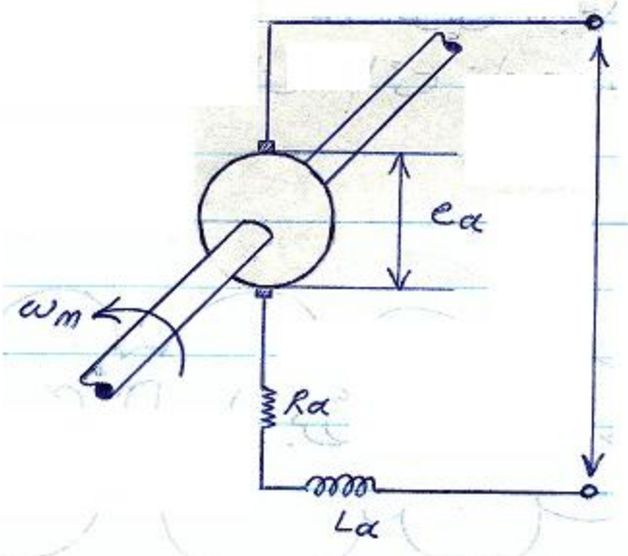
* $i_f \longrightarrow \phi$

$$e_a = \frac{d\phi}{dt} = K\phi \frac{d\theta_m}{dt} \longrightarrow$$

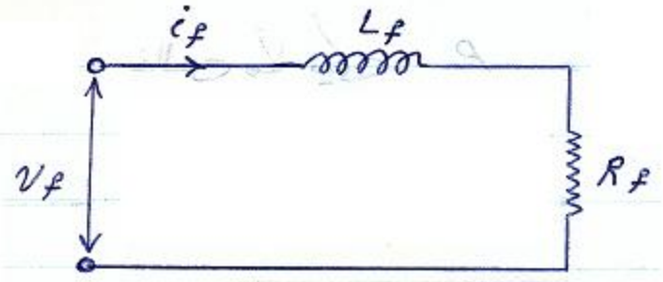
$$e_a = K\phi\omega_m$$

* یعنی (e_a) متناسب با شار القاء شده و سرعت دوران مکانیکی می باشد.

(مدل آرمیچر)



(مدل Stator)



* در حالت ژنراتوری (ω_m) خروجی می‌گیریم و (V_t) می‌گیریم . در حالت موتوری مثل استارت ماشین ولتاژ (V_t) را به دو سر وصل کرده و (ω_m) می‌گیریم.

مثال - ساختمان دورسنج (تاکومتر) در واقع یک ژنراتور کوچک D.C است که بدلیل کمی بار کشیده شده $e_a \approx V_t$ است و ($e_a \propto \omega_m$) است لذا به کمک آن می‌توان دور موتورهای D.C را کنترل کرد .

---

۲ - محاسبه (کوپل) :

الف - حالت موتوری - کوپل ناشی از توان الکتریکی است که ما به ماشین D.C داده‌ایم (در حالت موتوری) . ($P = V_t . i_a$) توان ورودی است که بخشی در مقاومت سیم‌پیچ آرمیچر (R_a) هدر می‌رود و باقی (L_a) در لحظات اولیه است و در حالت ماندگار که مورد بحث ما است معمولاً از (L_a) صرفنظر می‌کنیم .

خالص مکانیکی P = خالص الکتریکی P ⟶

$(e_a \cdot i_a = T\,\omega_m)$ ⟶

$K\phi\,\omega_m\, i_a = T\,\omega_m$ ⟶

کوپل داخلی

* در لحظه اول اتصال باطری چون ($\omega_m = 0$) است لذا ($e_a = 0$) است و مثل حالت اتصال کوتاه است لذا (i_a) ماکزیمم مقدار خود را دارد. این (i_a) مقدار ماکزیمم (T) را ایجاد می‌کند و T هم (ω_m) می‌سازد و ω_m هم (e_a) ایجاد می‌کند لذا i_a و T کاهش می‌یابد. اگر شفت موتور به دلایلی گیر کند ($\omega_m = 0$) شده و ($e_a = 0$) می‌شود و (i_a) مقدار Max خود را می‌یابد و در سیستم هم می‌ماند و باعث سوختن سیم پیچی می‌شود.

* در حالت موتوری (T) و (ω_m) هم‌جهت هستند.

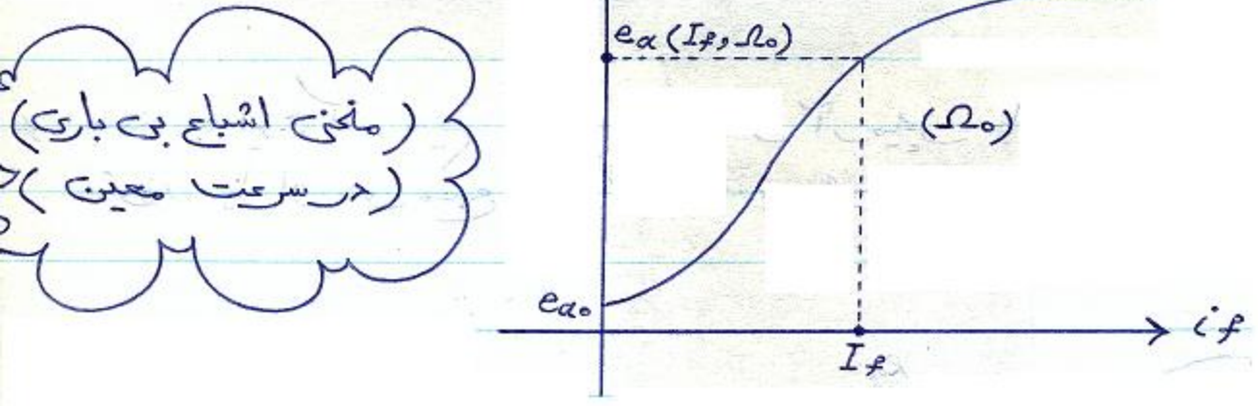
۲- حالت ژنراتوری - ما (T) خارجی صرف می‌کنیم که حتماً باید از (T) داخلی قوی‌تر باشد تا شفت را بگرداند. در این حالت T داخلی و ω_m هم‌جهت نیستند بلکه T داخلی مزاحم است. در این حالت -

e_a بزرگتر از V_t است . توان خروجی نهائی ($i_a \cdot V_t$) خواهد بود (مقداری از توان تلف می شود) .

۲ـ آزمایش - اگر I_f زیاد شود ϕ هم زیاد می شود امّا چون میدان مغناطیسی اشباع می شود اگر I_f از حدی بالاتر رود - ϕ چندان زیاد نمی شود .

$$\begin{cases} \omega_m = \Omega_0 = Const. \longrightarrow \\ e_a = K \phi \Omega_0 \end{cases}$$

* در حدود هیچ بار الکتریکی قرار نمی دهیم (بی باری) و فقط اندازه‌گیری می کنیم .



(e_{a0} پس ماند)

$$e_a = e_a(i_f, \omega_m) = K\phi(i_f)\,\omega_m \xrightarrow{i_f = I_f \text{ مخصوص}}$$

$$\left.\begin{aligned} e_a(I_f, \omega_m) &= K\phi(I_f)\,\omega_m \\ e_a(I_f, \Omega_0) &= K\phi(I_f)\,\Omega_0 \end{aligned}\right\} \xrightarrow{\div}$$

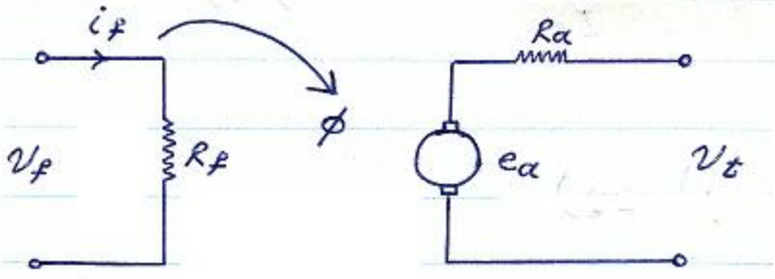
$$e_a(I_f, \omega_m) = \frac{\omega_m}{\Omega_0}\, e_a(I_f, \Omega_0)$$

* یعنی با فرمول فوق و نمودار داده شده می توان در هر جریان (I_f) (e_a) را برای هر (ω_m) بدست آوریم.

انواع تحریک در ماشین D.C

* بسته به این که سیم پیچی تحریک و آرمیچر باهم سری شوند، موازی شوند یا از دو منبع جداگانه تغذیه شوند سه نوع تحریک خواهیم داشت:

۱- تحریک جداگانه -



مثال - مولّد جریان مستقیم . آرمیچر ، ۱۲۵ V و 4.5 KW) :
است . $R_a = 0.37\,\Omega$ است . $\omega_{mN} = 1150$ rpm است . مغنی -
اشباع بی باری در سلمون داده شده . رگولاتوری جریان تحریک -
تنظیم شده که $(i_f = 2A)$ است . در $\omega_m = 1000$ rpm ، $(V_t = ?)$
و $(i_{LN} = ?)$ است . تحریک جدا گانه است .

* $i_L = i_a = i_{LN}$

$$i_{LN} = \frac{4.5 \times 10^3}{125} = 36\ A = i_a$$

* $V_t = e_a - R_a i_a$

$$e_a(2, 1000) = \frac{1000}{1150} \times \underbrace{e_a(2, 1150)}_{126\ V}$$

از مغنی :

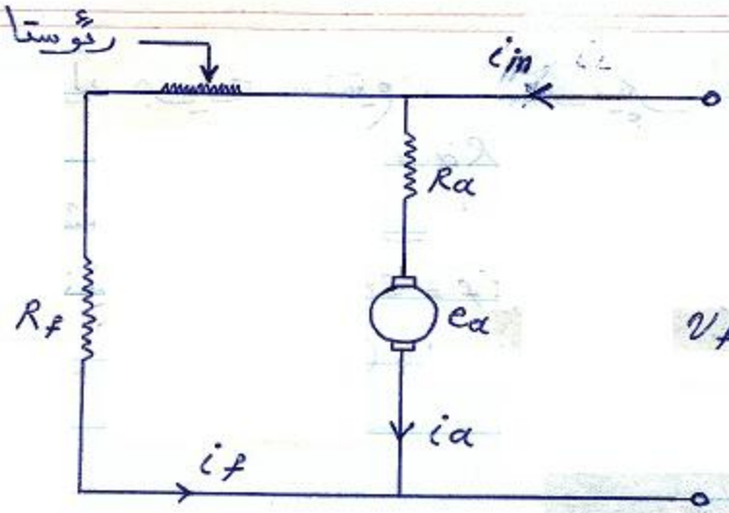
$$e(2, 1000) = \frac{1000}{1150} \times 126 = 109\ V$$

* $V(t) = 109 - (36 \times 0.37) = 96\ V$

$$P_{\text{خروجی}} = 36 \times 96\ W$$

* تلفات همواره جزء توان ورودی محسوب می شود .

۲- تحریک شنت (موازی) :



$$i_{in} = i_a + i_f$$

مثال - مولّد شنت : $P_N = 15\ KW$ و $V_N = 230\ V$

R مقاومت کل تحریک شنت $= 115\ \Omega$

R مقاومت آرمیچر $= 1\ \Omega$

P تلفات مکانیکی چرخشی $= 1300\ W$

* مقادیر زیر را در بار نامی بیابید :

$i_f = ?$ و $i_L = ?$

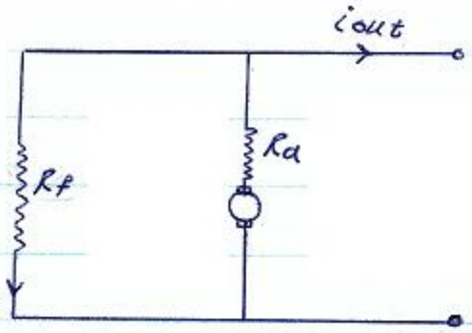
$i_a = ?$ و تلفات $P = ?$

$\eta = ?$

* $i_f = \frac{230}{115} = 2A$

* $i_L = i_{in} = \frac{15 \times 10^3}{230} = 65.2\ A$

* $i_a = 2 + 65.2 = 67.2\ A$



P_N : توان نامی (خروجی)

* تلفات $= R_f i_f^2 + R_a i_a^2 = 4976\ W$ مدار تحریک و آرمیچر P

* $\eta = \dfrac{15000}{15000 + 1300 + 4976} \times 100\% = 70.5\%$

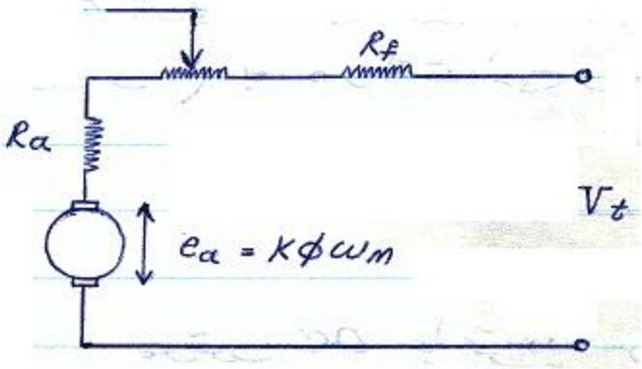
جمعه ۱۰ - ۸ (کلاس جبرانی)

مسائل : P 16.2 , 5 , 11 , 14 , 22

ادامه بحث موتورهای D.C

* تحریک سری :

(حالت موتوری)



$$\phi(i_f) = K_1 i_f \quad (I)$$

$$i_a = i_f = i_i$$

$$T = K\phi i_a \xrightarrow{I} T = KK_1 i_f i_a$$

در حالت سری $T = K_2 i^2$

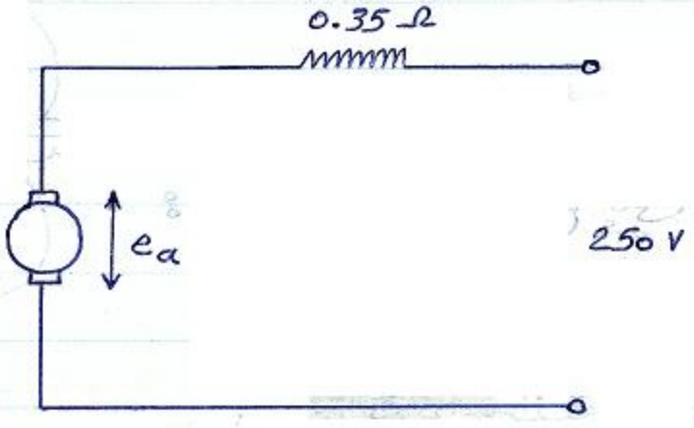
نتیجه فوق با فرض تقریبی خطی بودن نمودار اشباع در حالت سری بدست آمد. فرمول بالا با توجه به توان دوم جریان نشان می دهد که T همواره (+) است و این بدین معناست که موتورهای DC که بصورت سری بسته شوند می توانند با جریان AC هم کار کنند و دو منظوره شوند. این نوع موتورها را (موتور اونیورسال) گویند. راندمان آن را در حالتی که با AC کار می کند می توان با تدابیری (مونق کردن هسته روتور و استاتور و...) به حد اقتصادی رساند.

مثال- موتور DC با تحریک سری مشخصات ذیل را دارد:

(250 V ، 50 A ، 600 rpm و مقاومت کل = 0.35Ω)

اگر شار میدان در 15 A نصف شار آن در 50A باشد، سرعت این موتور را وقتی جریان 15 A از منبع 250V

کشیده شود را بدست آورید.



* $e_{a1} = V_t - Ri = 250 - (0.35 \times 50)$ →

$e_{a1} = 232.5$ V

در حالت اوّل

$$e_{a1} = K\phi_1 \omega_{m1} = K\phi_1 \times 600 \times \frac{2R}{60} \quad ①$$

$$e_{a2} = 250 - (0.35)(15) = 244.75 \text{ V}$$

$$e_{a2} = K\phi_2 \omega_{m2} \quad ②$$

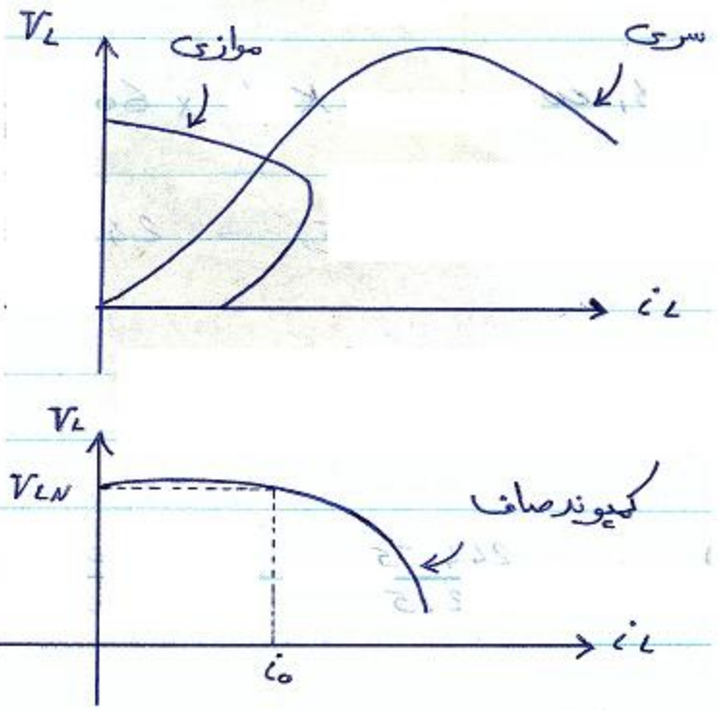
$$② \div ① \rightarrow \frac{244.75}{232.5} = \frac{K\phi_2 \omega_{m2}}{K\phi_1 \omega_{m1}} = \frac{\frac{1}{2} K\phi_1 \omega_{m2}}{K\phi_1 \omega_{m1}}$$

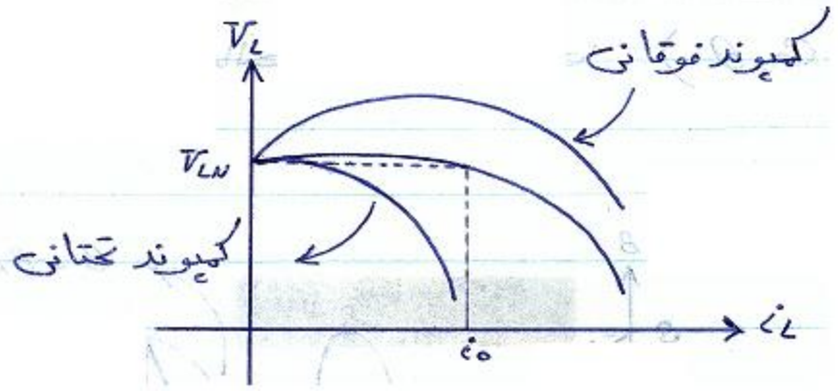
$$\omega_{m2} = \frac{244.75}{232.5} \times 2\omega_{m1} = 1263 \quad rpm$$

تحریک مختلط
Compound

: قسمتی از سیم پیچی تحریک را با قسمتی از سیم پیچی آرمیچر سری می کنند و قسمتی را موازی می کنند. چون حالت سری و موازی هرکدام مزایایی دارد و با ترکیب متناسب آنها می توان از مزایای هر دو بهره برد. این عمل اغلب در حالت ژنراتوری استفاده می شود.

در حالت ژنراتوری :



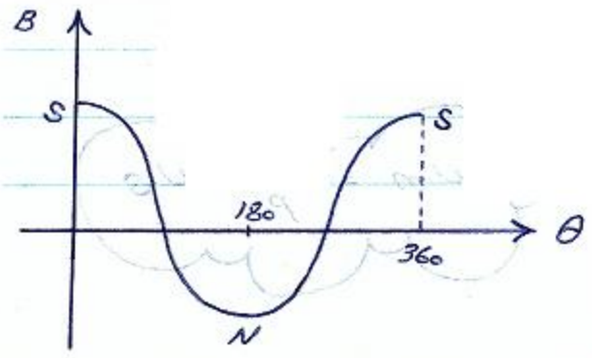


کمپوند صاف بهترین حالت است (تا حدود جریان i_0 ولتاژ منبع ما تقریباً ثابت می ماند) . اگر بیشتر سری کنیم کمپوند فوقانی و اگر بیشتر موازی کنیم کمپوند تحتانی می شود .

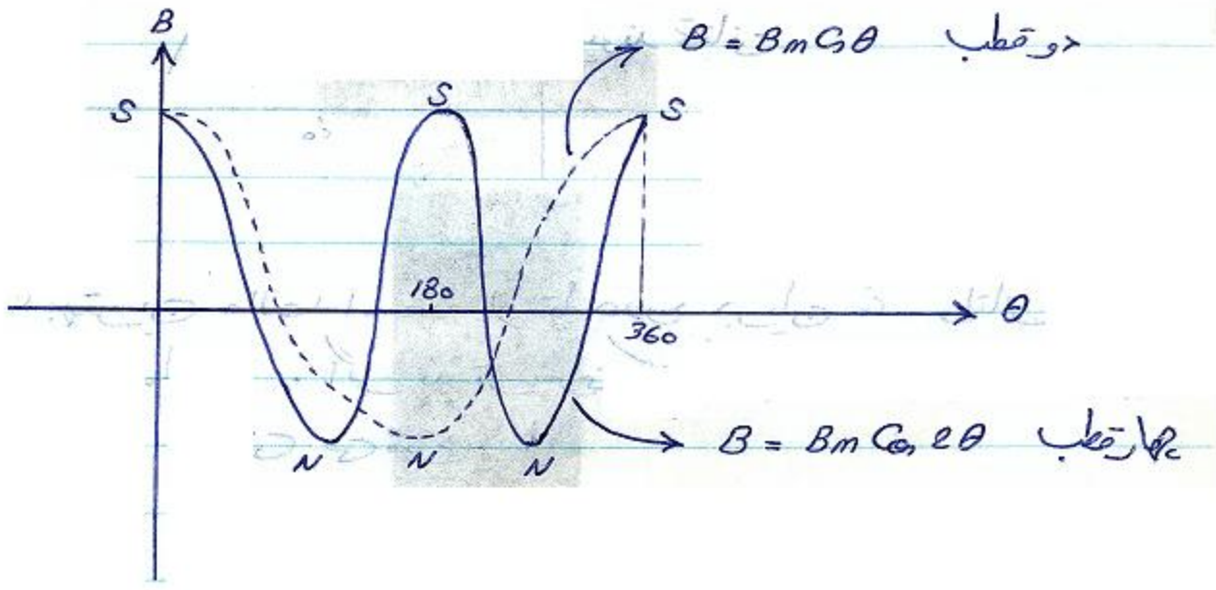
* در تحریک جداگانه اگر دو سر آرمیچر را برعکس کنیم جهت چرخش عکس خواهد شد (چون جهت جریان آرمیچر و استاتور عکس می شود) . در حالت سری و شنت چون تغییر جهت جریان Rotor و Stator باهم انجام می شود این عمل اتفاق نخواهد افتاد .

موتورهای القائی سه فاز

* در حالت دو قطب : $w_s = w_r + w_m$



نمودار فوق توزیع شار در حالت دو قطب است $(B = Bm \cos\theta)$



پس در حالت P قطب (P همواره + است) :

$$B = Bm \cos\left(\frac{P}{2}\theta\right)$$

$$B \quad (\text{کل دو قطب}) = Bm \cos(\omega_s t - \frac{P}{2}\theta)$$

$$\omega_s t - \frac{P}{2}\theta = 0 \quad \rightarrow \quad \theta = \frac{2}{P}\omega_s t$$

سرعت سنکرون ، سرعت میدان دوار استاتور

$$\rightarrow \quad \omega_m = \frac{2}{P}\omega_s$$

در ماشین القائی :

$$\omega_m = \frac{2}{P}(\omega_s - \omega_r)$$

ω_r: سرعت میدان دوار روتور نسبت به خود روتور

ω_s: سرعت میدان دوار استاتور نسبت به استاتور $\frac{2}{P}\omega_s$

مثال - ماشین القائی سه فاز با مشخصات زیر داریم :

60 Hz ، سرعت در بار نامی 840 rpm ، سرعت در بی باری 900 rpm

الف - تعداد قطبها
ب - فرکانس جریان القائی به Rotor در بار کامل
ج - سرعت گردش میدان Rotor در بار کامل (۱- نسبت به خود Rotor ۲- نسبت به Stator)

الف) سرعت سنکرون = 900 rpm = $\frac{2}{P}\omega_s$

$\omega_s = 60 \times 2\pi = 120\pi$ rad/s = 3600 rpm

$900 = \frac{2}{P} \times 3600 \rightarrow P = 8$

* در ماشین القائی Max سرعت ، سرعت سنکرون است.

ب) $840\ rpm = \frac{2}{8}(3600 - n_r) \rightarrow$

$$n_r = 240\ rpm$$

$$f_r = \frac{240}{60} = 4\,Hz$$

ج - ۱ - $n_r = 240 \times \frac{2}{8}\ rpm = 60$ (نسبت به خود Rotor)

ج - ۲ - $900\ rpm$ نکته: $(840 + 60 = 900)$

* چون هم استاتور و هم روتور باید نسبت به ناظر خارجی با سرعت سنکرون بچرخند پس سرعت میدان دوّار Rotor نسبت به Stator (ناظر خارجی) همان سرعت سنکرون $900\ rpm$ است.

لغزش در موتورهای القائی (S)

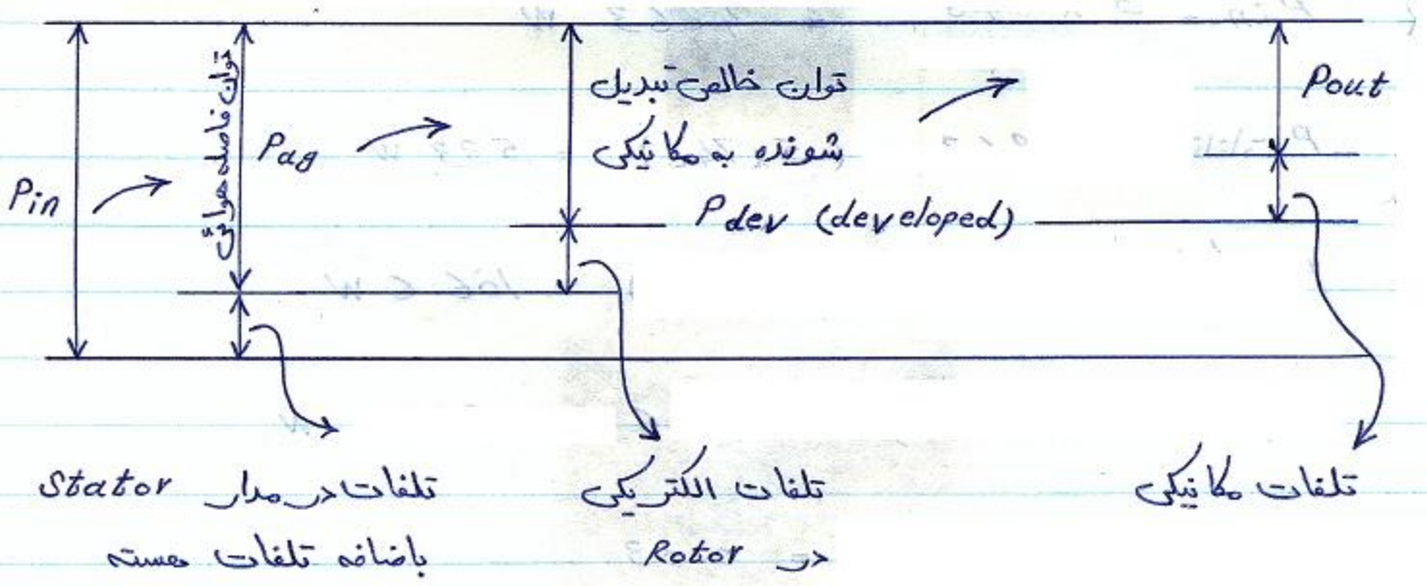
در حالت موتوری همواره $(1 \geq S)$ است. $S = \frac{\omega_r}{\omega_s}$

* $$S = \frac{\frac{2}{p}\omega_s - \omega_m}{\frac{2}{p}\omega_s}$$

$\frac{2}{p}\omega_s$: سرعت سنکرون

- موتور ایستاده ($\omega_m = 0$) $\xrightarrow{\text{تا}}$ $\omega_m = \frac{2}{p}\omega_s$
- $S = 1$ $\xrightarrow{\text{تا}}$ $S = 0$

بحث توان :



$$P_{dev} = T_{dev}\,\omega_m$$

$$P_{ag} = \underbrace{(1-S)\,P_{ag}}_{P_{dev}} + \underbrace{S\,P_{ag}}_{\text{تلفات در مدار Rotor}}$$

$\eta_{max} = \dfrac{P_{dev}}{P_{ag}} = 1-S$: اگر او تلفات استاتور و تلفات مکانیکی صرفنظر شود.

مثال - موتوری با مشخصات پارنامی (60Hz ، 5hP ، 1740 rpm) $\eta = 87.5\%$ و تلفات مکانیکی = 20% کل تلفات و $P=4$ توان ورودی چقدر است؟ (در بار کامل) و لغزش در بار کامل؟ P_{ag} در بار کامل؟

$$* \quad P_{in} = \frac{5 \times 746}{0.875} = 4263\ W$$

$$P_{\text{تلفات}} = 4263 - (5 \times 746) = 533\ W$$

$$P_{\text{تلفات مکانیکی}} = 20\%\ (533) = 106.6\ W$$

$$P_{dev} = (5 \times 746) + 106.6 = 3837\ W$$

$$* \quad S = \frac{1800 - 1740}{1800} = 0.03$$

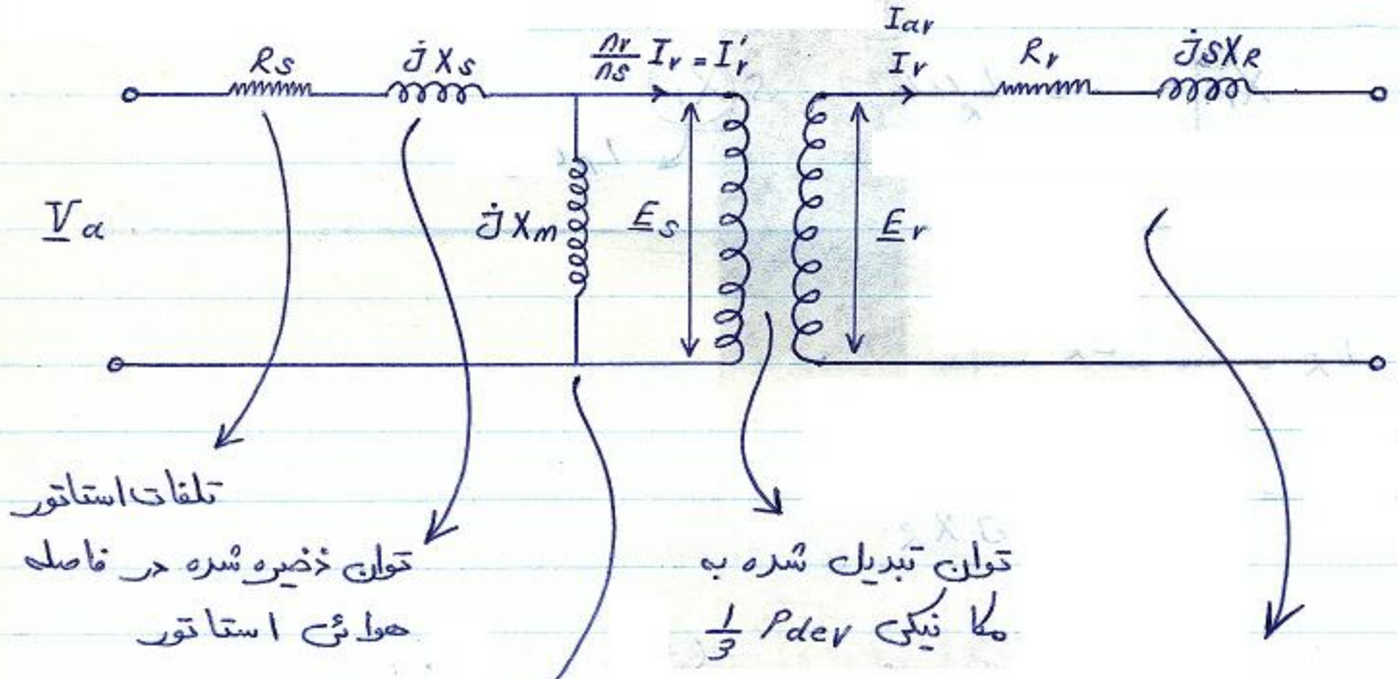
$$P_{dev} = (1-S)\,P_{ag} \longrightarrow P_{ag} = \frac{1}{1-S}\,P_{dev}$$

$$* \quad P_{ag} = \frac{1}{1-0.03} \times 3837 = 3969\ W$$

P_R تلفات در روتور $= S \times 3969 = 132\ W$

$\eta_{max} = 96\ \%$

مدار معادل موتور القائی سه فاز :



$P_{ag} = P_{dv} + P_R$

* مدار فوق برای یک فاز رسم شده و لذا $(\frac{1}{3})$ ظاهر - شده است.

$$\frac{E_S}{E_r} = \frac{n_S}{S\, n_r} \longrightarrow$$

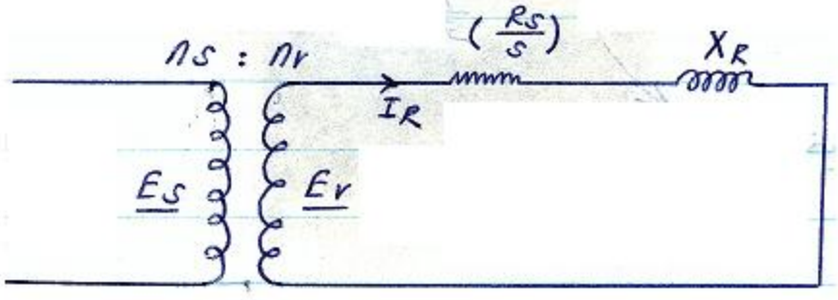
$$E_r = S \frac{n_r}{n_S} E_S$$

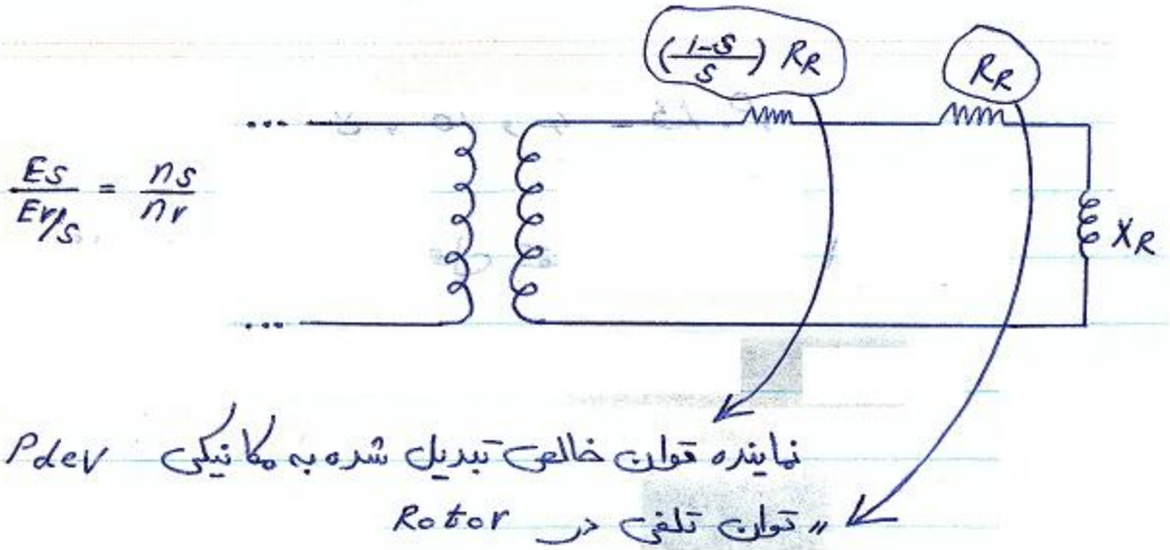
* در سمت راست (X) بر حسب ω_r حساب شده و در سمت چپ بر حسب ω_S و چون $\omega_r = S\omega_S$ پس

$$X_r\Big|_{\omega_r} = L_R \omega_r = S\,(X_r)_{L_R \omega_S}$$

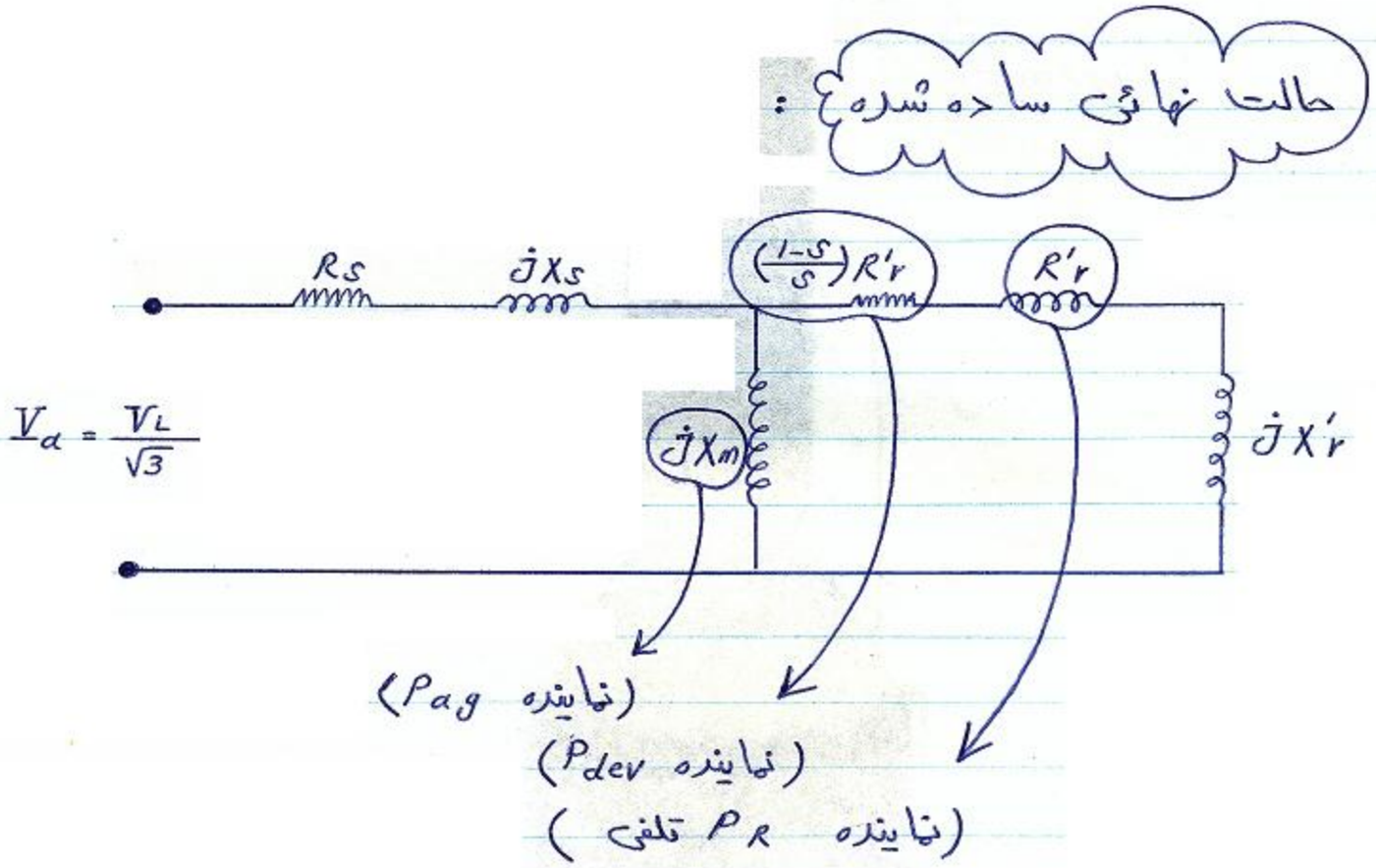
$$I_R = \frac{E_R}{R_R + jSX_R}$$

$$I_R = \frac{E_R/S}{R_R/S + jX_R}$$





حالت نهائی ساده شده :



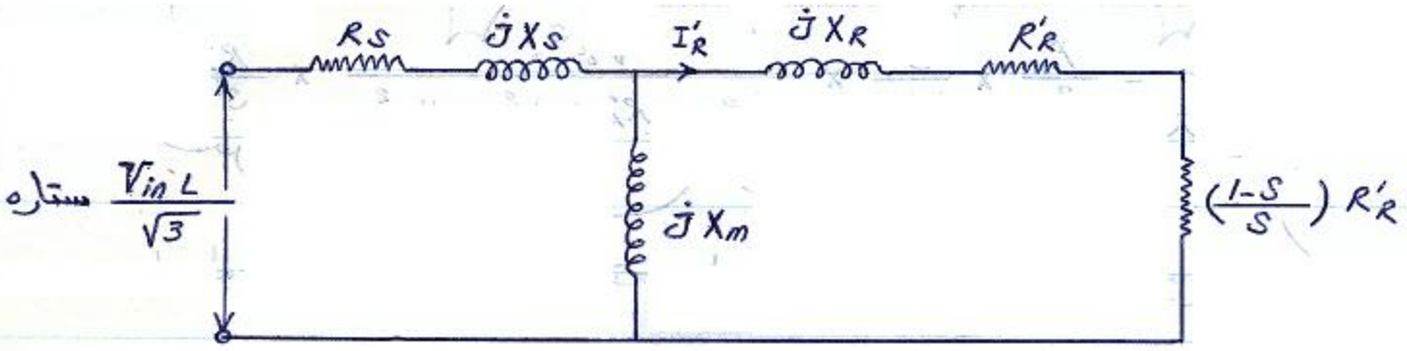
$$\begin{cases} X'_R = \left(\frac{n_S}{n_r}\right)^2 X_R \\ R'_R = \left(\frac{n_S}{n_r}\right)^2 R_R \end{cases}$$

$V_a = \frac{V_L}{\sqrt{3}}$ با فرض ستاره بدست آمده اما با فرض مثلث هم فرقی نخواهد کرد.

مسائل - P.15 - 4 و 10 و 8 ...

(در مسئله 4 نقط کار محل تقاطع دو منحنی است.)

فرشاد سرایی - مهندس پایه یک تاسیسات مکانیکی
طراحی - نظارت - اجرا
نظام مهندسی: ۱۰-۴-۰-۱۷۲۷۶
پروانه مهندسی: ۱۰-۴۰۰-۰۲۸۱۵
شماره شهرسازی: ۱۰۴-۰۱۲۲۲



ساده شده

توان تلفات مسی Rotor : $P = R'_R\, I'^2_R$

توان تبدیل شده به مکانیکی : $P_{dev} = (\frac{1-S}{S})\, R'_R\, I'^2_R$

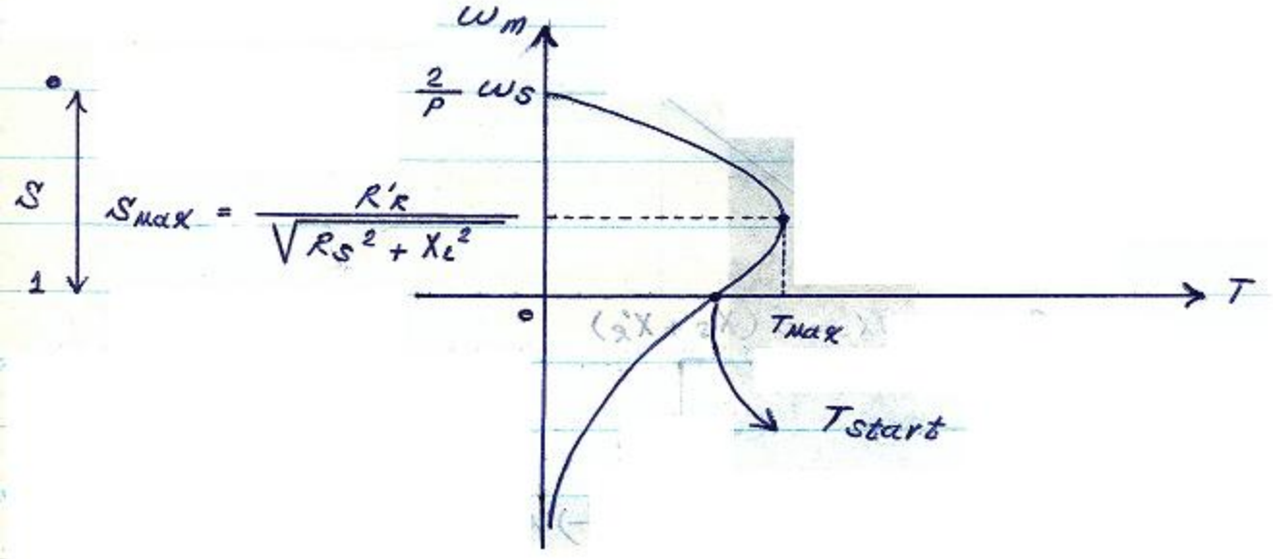
$$T_{dev} = \frac{3P_{dev}}{\omega_m} = \frac{3(1-S)}{S\,\omega_m} \times R'_R\, I'^2_R$$

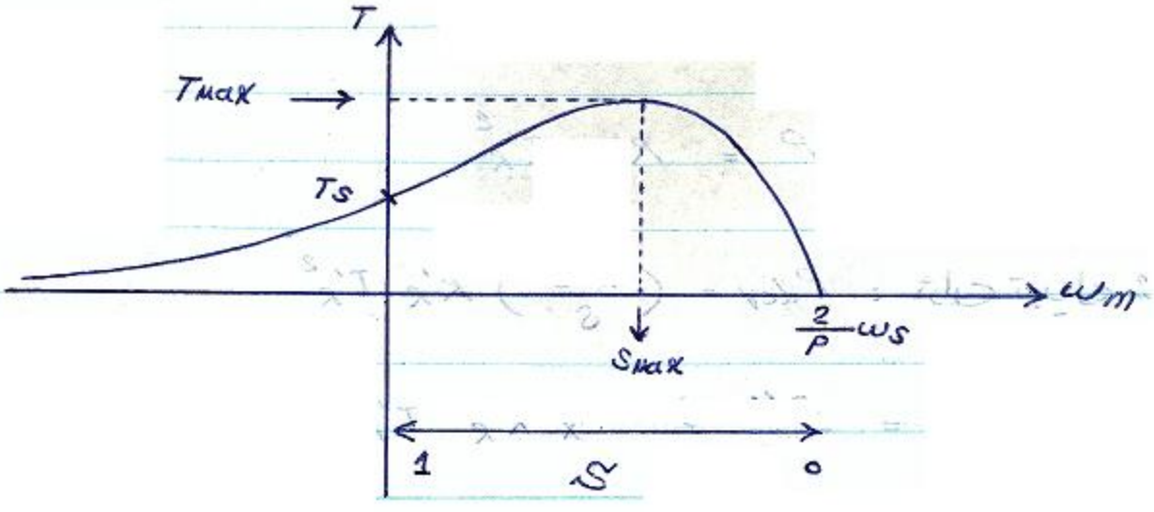
$$I'_R = \frac{V_t}{\sqrt{(R_S + R'_R/S)^2 + X_L^2}}$$

$$T_{dev} = \frac{P}{2} \times \frac{3}{\omega_s} \times \frac{V_t^2}{(R_s + R'_r/s)^2 + X_L^2} \times \frac{R'_r}{s}$$

* در رابطه فوق تنها (s) متغیر است و با (ω_s) تغییر می‌کند.

$$\left(s = \frac{\frac{2}{P}\omega_s - \omega_m}{\frac{2}{P}\omega_s} \right)$$





$$* \quad T_S = \frac{2}{p} \times \frac{3}{\omega_S} \times \frac{R'_R \, V_t^2}{(R_S + R'_R)^2 + X_L^2} = K_1 V_t^2$$

$\omega_S = Cte$

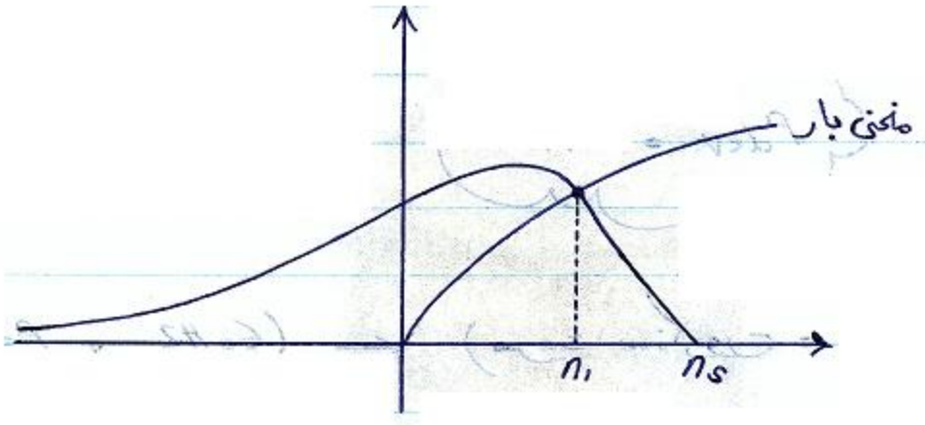
$R'_R = Cte$

$$* \quad S_{max} = \frac{R'_R}{\sqrt{R_S^2 + X_L^2}} \longrightarrow$$

$$* \quad T_{max} = \frac{p}{4} \times \frac{3}{\omega_S} \times \frac{V_t^2}{\sqrt{R_S^2 + X_L^2} + R_S} = K_2 V_t^2$$

$\omega_S = Cte$

مثال -



$$S = \frac{n_S - n_1}{n_S}$$

مثال - موتور القائی سه فاز دوقطب (60Hz و 110V ، P=2)

$$\begin{cases} R_S = 0.22\ \Omega \\ R'_R = 0.42\ \Omega \\ X_L = 1.6\ \Omega \\ X_m = 34\ \Omega \end{cases}$$

الف - قدرت مکانیکی تولیدی در سرعت 3500 RPM :

$$S = \frac{3600 - 3500}{3600} = \frac{1}{36}$$

$$I'_R = \frac{110/\sqrt{3}}{(0.22 + \frac{0.42}{1/36} + J\,1.6)} = 4.1\,\angle -6^\circ$$

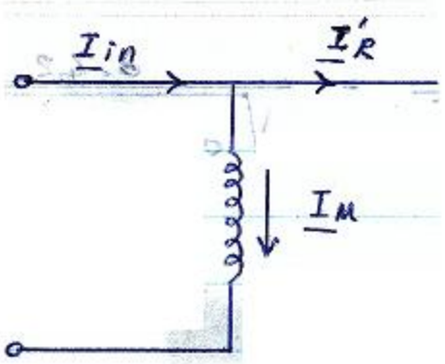
$$P_{dev} = 3 \times R'_R \left(\frac{1-S}{S}\right) I'^2_R = 3 \times 0.42 \times \left(\frac{1-1/36}{1/36}\right) \times 4.1^2$$

$$P_{dev} = 741\ W$$

* چون (P=2 و 60Hz) ← (سرعت سنکرون = 3600)
* 110V ولتاژ خط است.

ب - توان ورودی و ضریب توان ورودی :

$$\underline{I}_{in} = \underline{I}_m + \underline{I}'_R$$



* $\underline{I}_{in} = \frac{110/\sqrt{3}}{jX_m} + 4.1\ \angle -6°$

* $\underline{I}_{in} = 1.87\ \angle -90° + 4.1\ \angle -6° = 4.68\ \angle -30°$

ضریب توان $= \cos(-30°) = 0.87$

توان ورودی $= 3 \frac{V_L}{\sqrt{3}} \times \underline{I}_{in} \times \cos\varphi$

V_L ↑ V_P ، $\underline{I}_{in}$ ↑ I_P

$P = 3 \times \frac{110}{\sqrt{3}} \times 4.68 \times 0.87 = 777\ W$

ج - گشتاور Max (شکست) را بیابید و بگویید در چه سرعتی رخ می‌دهد؟

$$S_{Max} = \frac{R'_2}{\sqrt{R_S^2 + X_L^2}} = \frac{0.42}{\sqrt{0.22^2 + 1.6^2}} = 0.26$$

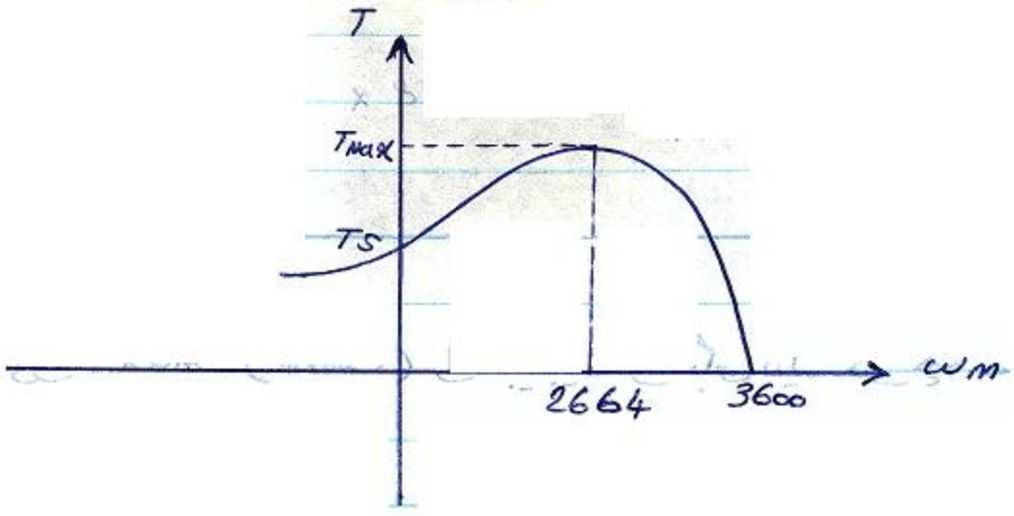
$$S_{Max} = \frac{3600 - n_{T_{Max}}}{3600} = 0.26 \longrightarrow n_{T_{Max}} = 2664 \text{ rpm}$$

$$T_{Max} = \frac{3}{120\pi} \times \frac{2}{4} \times \frac{(110/\sqrt{3})^2}{\sqrt{(0.22)^2 + (1.6)^2} + 0.22} = 8.75 \text{ N.m}$$

← گشتاور راه انداز را بیابید.

$$T_S = \frac{3}{120\pi} \times \frac{2}{2} \times \frac{0.42\ (110/\sqrt{3})^2}{(0.22 + 0.42)^2 + 1.6^2} = 4.54 \text{ Nm}$$

$$S = 1 \longrightarrow n_{T_S} = 0$$

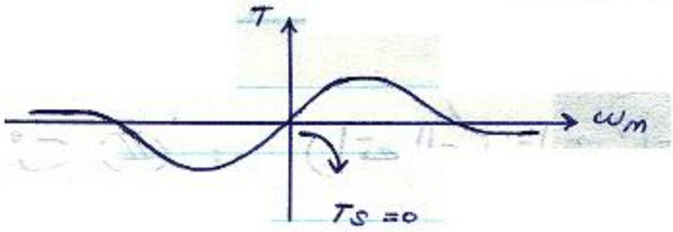


ماشین القائی قفس سنجابی

* این گونه روتورها سیم پیچی ندارند و دارای یکسری شیارهای هادی هستند.

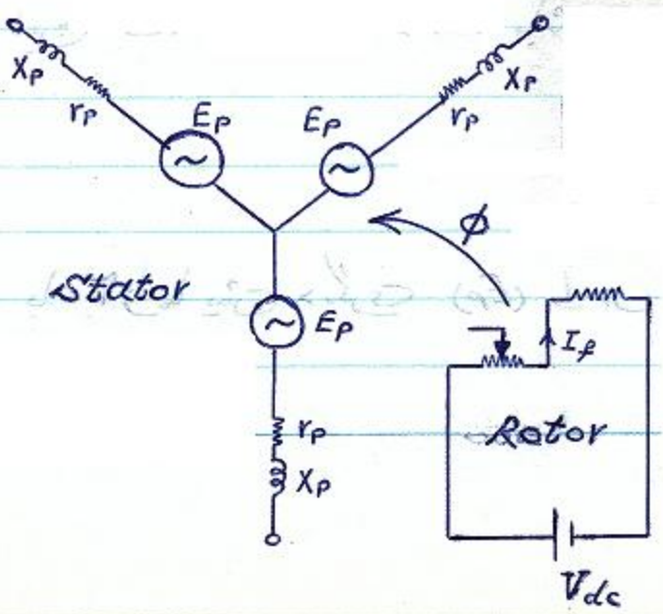
---

* اکثر لوازم خانگی موتورهای تک فاز القائی دارند که نیاز به راه اندازی دارند و روشهای راه اندازی بصورت زیراست :



۱ـ خازنی
۲ـ سیم پیچ کمکی
۳ـ قطب شکافدار

ژنراتور سنکرون :



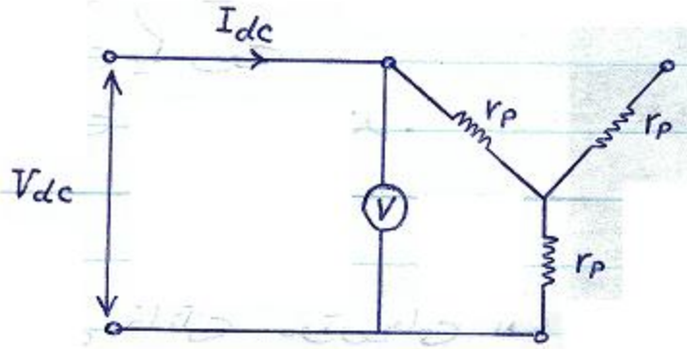
$$\omega_m = \frac{2}{P}\,\omega_S$$

امپدانس سنکرون

$$Z_p = \sqrt{r_p^2 + X_p^2}$$

---

* آزمایش (I) :



$$\frac{V_{DC}}{I_{DC}} = 2r_p \rightarrow r_p$$

---

* آزمایش (II) : (اتصال کوتاه ژنراتور سنکرون)

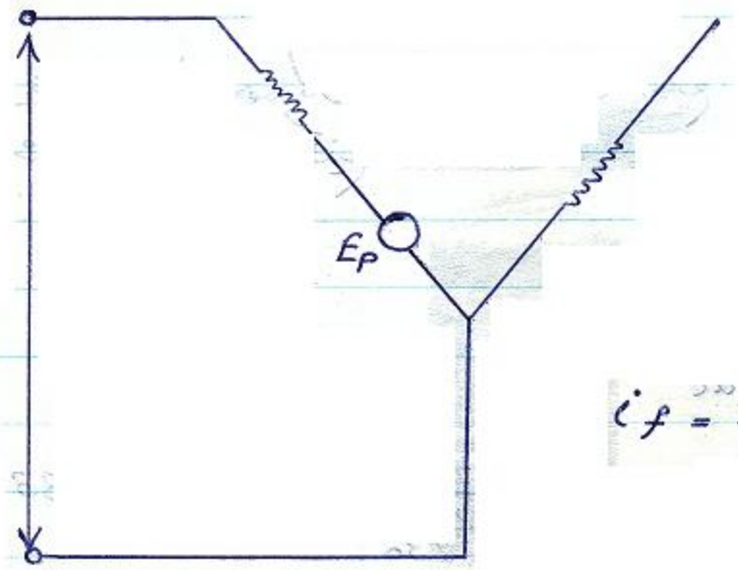
* برای نسوختن سیم پیچها ابتدا به کمک رئوستا (I_f) را از ۰ شروع می کنند و کم کم I_f را زیاد می کنند تا (I_{sc}) مقدار قابل توجهی مثلاً جریان نامی شود. ۲ نگاه I_f و I_{sc} را یادداشت می کنیم. اگر در این لحظه (E_p) را داشته باشیم :

$$\left(Z_p = \frac{E_p}{I_{sc}}\right)$$

* با آزمایش دیگری (E_p) را در حالت فوق اندازه می گیریم.

---

* آزمایش (III) : (آزمایش بی باری)



$V_{NL} = \sqrt{3}\, E_p$

(no load)

آزمایش قبل $I_f = i_f$

$$Z_p = \frac{\frac{V_{NL}}{\sqrt{3}}}{I_{sc}}$$

مثال - ژنراتور سنکرون :

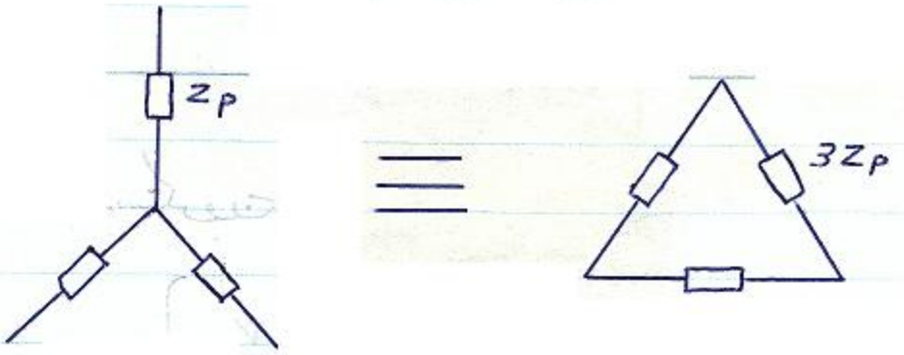
- ولتاژ نامی ترمینال (ولتاژ خط) = 230 V
- توان نامی = 30 KVA
- نوع اتصال : Δ

- آزمایش اتصال کوتاه - $I_f = 23A$ و جریان نامی $I_L =$
- آزمایش بی باری - $V = 63V$ $I_f = 23\ A$
- آزمایش مقاومت - $V_{dc} = 3.6\ V \longrightarrow I_{dc} = 28\ A$

* مقاومت ، راکتانس و امپدانس هر فاز را بیابید .

توجه - با فرض ستاره هم کارها را انجام می دهیم و بعد جوابها را برای مثلث تبدیل می کنیم :

$$\begin{cases} r_p = \frac{1}{2}\,\frac{V_{dc}}{I_{dc}} = 0.0643\ \Omega \\ z_p = \frac{63/\sqrt{3}}{I_{Ln}} = \frac{63/\sqrt{3}}{\underbrace{\frac{30\times10^3}{\sqrt{3}\ 230}}_{75.3}} = 0.483\ \Omega \\ X_p = \sqrt{z_p^2 - r_p^2} = 0.479\ \Omega \end{cases}$$



* پس اعداد بدست آمده را ضربدر (3) می کنیم تا جوابهای مسئله حاصل شود.

خدمات فنی قابل ارائه از طرف شرکت مهندسی پتروپالامحور :

- طراحی سیستم های لوله کشی (Piping)
- طراحی سیستم های مکانیکی ثابت (Fixed Equipment)
- طراحی سیستم های مکانیکی دوار (Rotary Equipment)
- طراحی سیستم های تاسیسات مکانیکی و تهویه مطبوع (Plumbing & HVAC)
- طراحی تاسیسات مکانیکی زیربنائی
- طراحی سیویل و سازه در پروژه های عمرانی و صنعتی

شرکت مهندسی پتروپالامحور

کیفیت تعهد ماست