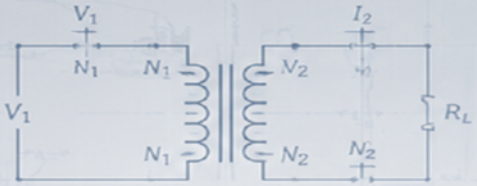
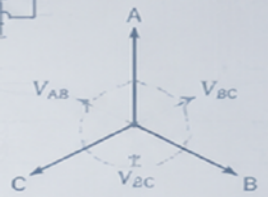
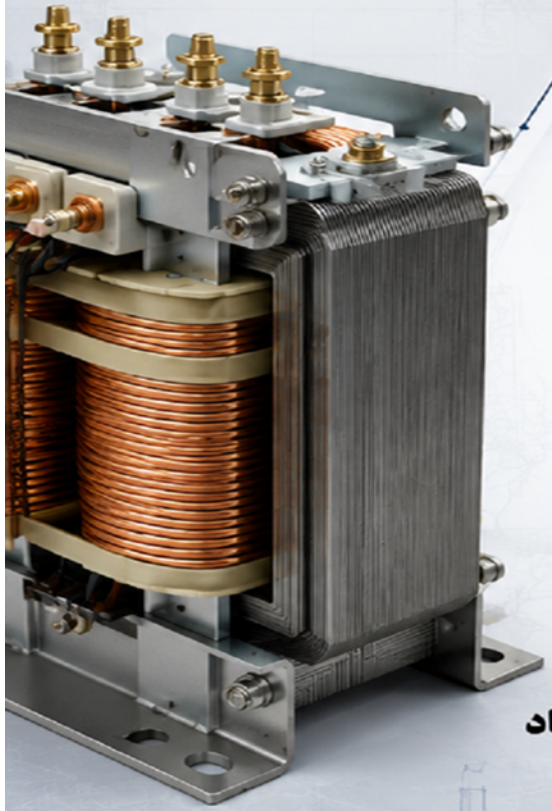
مجتمع آموزش عالی گناباد



$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2} = a$$





ماشین های الکتریکی ۲

استاد درس: دکتر امین رنجبران

عضو هیات علمی مجتمع آموزش عالی گناباد

(بسم الله الرحمن الرحیم)

ماشین های الکتریکی ۲

فصل اول: ترانسفورماتور

منابع و مراجع

ردیف	عنوان	نویسنده	مترجم
۱	ماشینهای الکتریکی(تحلیل-بهره برداری-کنترل)	P.C.Sen	دکترعابدی-مهندس نبوی
۲	اصول ماشینهای الکتریکی	ال هاواری	دکتر عابدی
۳	ماشینهای الکتریکی	ج-ر-سلمون	دکتر لسانی
۴	اصول ماشینهای الکتریکی	چاپمن	دکتر فیض
۵	ماشینهای الکتریکی(تئوری,عملکرد وکاربردها)	بیم بهارا	دکتر سلطانی-دکتر لسانی
۶	ترانسفورماتور و ماشین آسنکرون	دکتر میرسلیم	
۷	ترانسفورماتور	مهندس قلعه نوی	
۸			
۹	تکنولوژی برق(جلد)	تراژا	شعاری نژاد

فصل اول: ترانسفورماتورها

- ترانسفورماتور و دلایل استفاده از آن
- انواع ترانسفورماتور و بخش های اصلی آن
- انواع هسته های مغناطیسی
- اساس کار ترانسفورماتورها
- مدار معادل ترانس ایده آل
- تطبیق امپدانس
- تعیین بلاریته سرهای ترانس
- تراسفورماتور واقعی
- مدار معادل ترانسفورماتور واقعی
- دیاگرام فازوری ترانس ها
- سیستم یکایی(per-unit) :

- آزمایش های ترانس:
- ۱- آزمایش بی باری
- ۲- آزمایش اتصال کوتاه

بدست آوردن پارامترهای پریونیت شده ترانس از روی آزمایش ها

ولتاژ امپدانسی

جریان اتصال کوتاه ترانس

- پخش توان و بهره
- بازدهی ماکزیمم
- بازدهی شبانه روزی
- رگولاسیون ولتاژ (تنظیم ولتاژ)

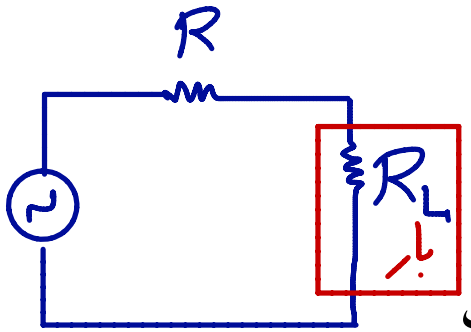
ماکزیمم توان ولتاژ

تنظیم ولتاژ صفر

ترانسفورماتور(transformers):

ترانسفورماتور انرژی الکتریکی را در یک سیستم با جریان متناوب از یک مدار الکتریکی به مدار الکتریکی دیگر منتقل می کند و باعث افزایش یا کاهش ولتاژ می گردد و جریان را بر عکس ولتاژ تغییر می دهد اما در توان تاثیری ندارد.

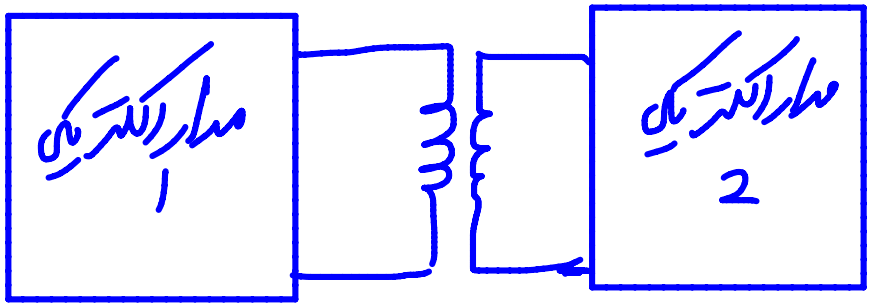
نکته: درترانسفورماتور انتقال انرژی انجام می گیرد و دراین انتقال انرژی، فرکانس ثابت است.
نکته: ترانسفورماتور به این دلیل که حرکتی ندارد، یک ماشین ایستا است .
نکته: به تراسفورماتور در مکانیک، چرخ دنده می گویند.



دلایل استفاده از ترانسفورماتور:

حداکثر توان زمانی به R_L داده می‌شود که $R=R_L$

۱- تغییر دامنه ولتاژ و جریان
۲- تطبیق امپدانس جهت انتقال ماکزیمم توان و کاهش تلفات
۳- ایزوله کردن دو مدار الکتریکی و یا چند مدار الکتریکی از یکدیگر



انواع ترانسفورماتور:

۱- ترانس‌های قدرت: شامل ترانس موجود در نیروگاه - موجود در پست توزیع- ترانس کوره‌های ذوب- ترانس جوشکاری و ..

۲- ترانس اندازه گیری : شامل ترانس جریان و ترانس ولتاژ

۳- ترانس های خاص: جهت تطبیق امپدانس- ترانس های ایزوله- ترانس های آزمایشگاه های فشار قوی- ترانس های زمین برای ایجاد نقطه صفر- ترانس های الکترونیک

بخش های اصلی یک ترانسفورماتور:

۱- هسته

۲- سیم پیچ

علاوه بر هسته مغناطیسی و سیم پیچ هایی که اولیه و ثانویه دارند، اجزای جانبی هم بسته به اندازه ترانس وجود دارند:

۳- تانک روغن

۴- بوشینگ ها (برای اتصال اولیه ترمینال ها)

۵- منبع انبساط

۶- تپ چنجر

۷- ترمومتر

۸- نمایشگر سطح روغن

۹- رله حفاظت

۱۰- سوپاپ اطمینان (فشار شکن)

۱۱- رادیاتور یا مبدل حرارتی

۱۲- پمپ روغن

رادیاتور: بخشی است که مقاومت گرمایی بین نقطه گرم و نقطه سرد را کم می کند و باعث می شود گرمای داخل نقطه گرم، سریعتر به محیط منتقل شود.

فن : برای خنک کاری به کار می رود. در ترانس های بزرگ از روغن به عنوان مایع خنک کننده استفاده می‌گردد به این صورت که روغن را در چرخه ای می‌چرخانند و روغن گرم شده توسط آب خنک و یا توسط باد خنک از طرف فن ، سرد می شود و روغن سرد شده دوباره به مخزن (تانک روغن) باز می گردد.

تپ چنجر: برای تغییر ولتاژ به کار می رود.

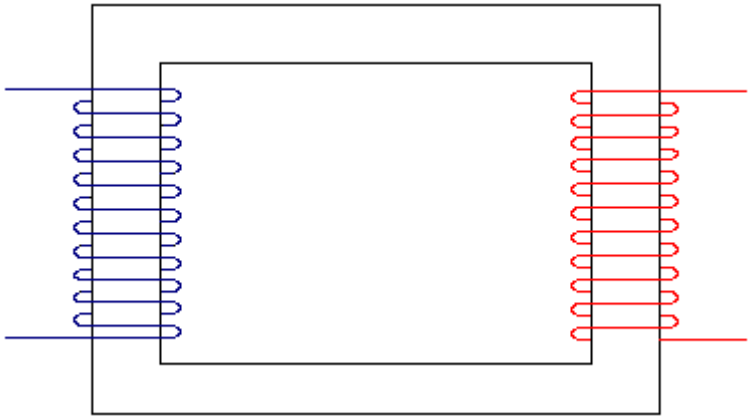
۱- on-Load ← زیر بار تغییر تپ انجام می‌شود
off-Load ← برای تغییر تپ باید ترانس بی بار باشد

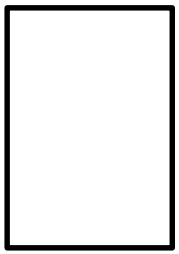
منبع انبساط: خود روغن که برای خنک کاری و عایق کاری و نیز گرفتن رطوبت به کار می رود، پس از گرم شدن منبسط می شود و روغن اضافه وارد یک مخزن می گردد که منبع انبساط نام دارد.

انواع هسته های مغناطیسی:

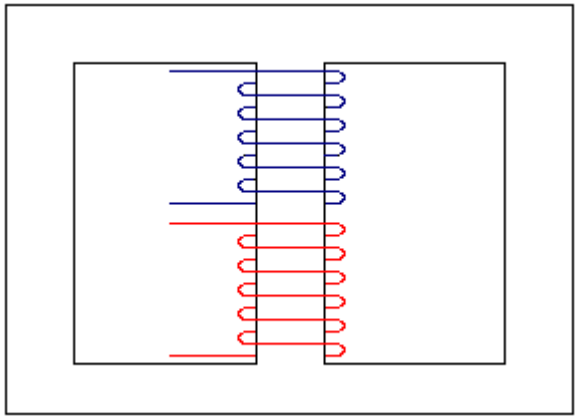
به طور کلی دو نوع هسته داریم:

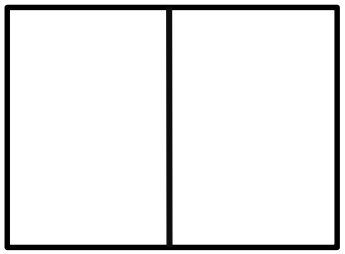
الف- هسته ستونی (core type) :





ب-هسته ~~نوعی~~ زره‌ای (shell type) :

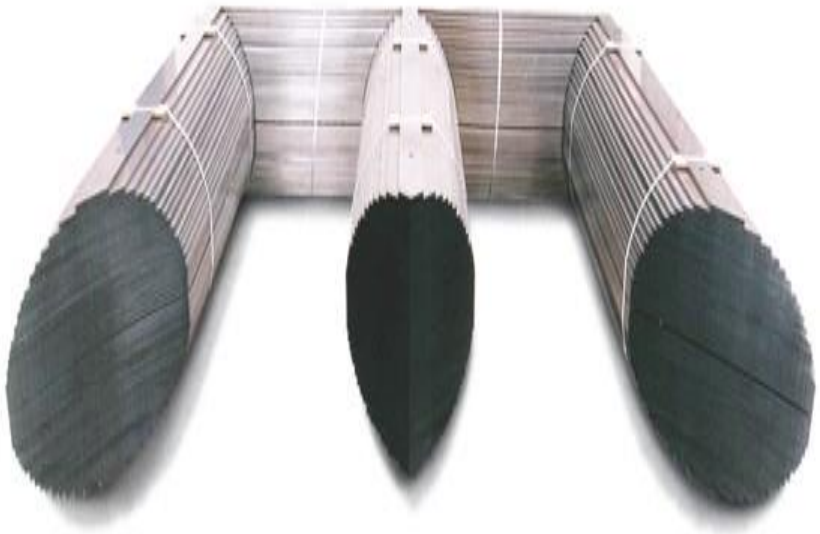




انواع هسته

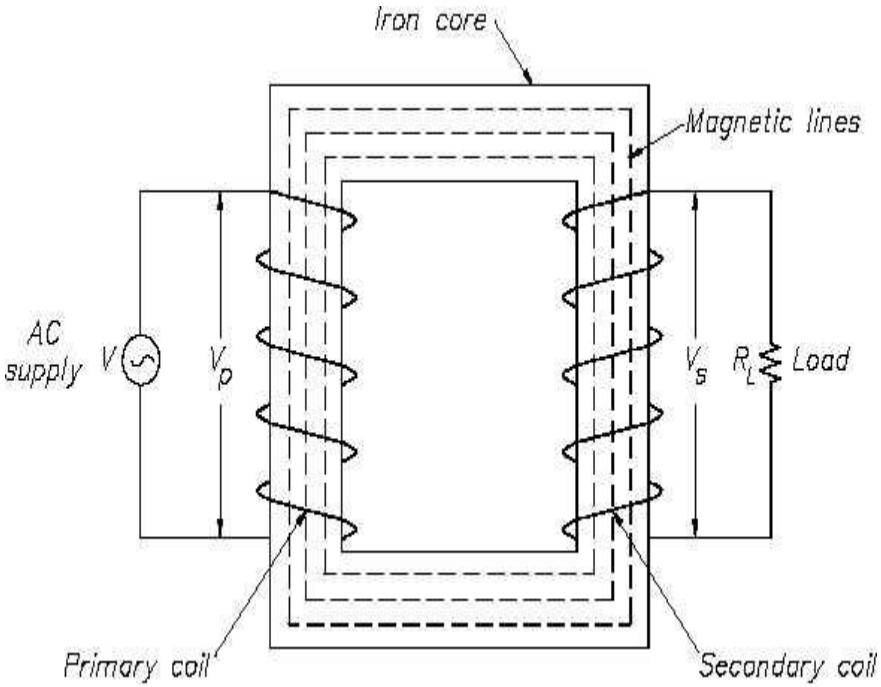
- **زره ای** shell type

ستونها سیم پیچها را احاطه میکنند



- **ستونی** Core type

سیم پیچها ستونها را احاطه میکنند



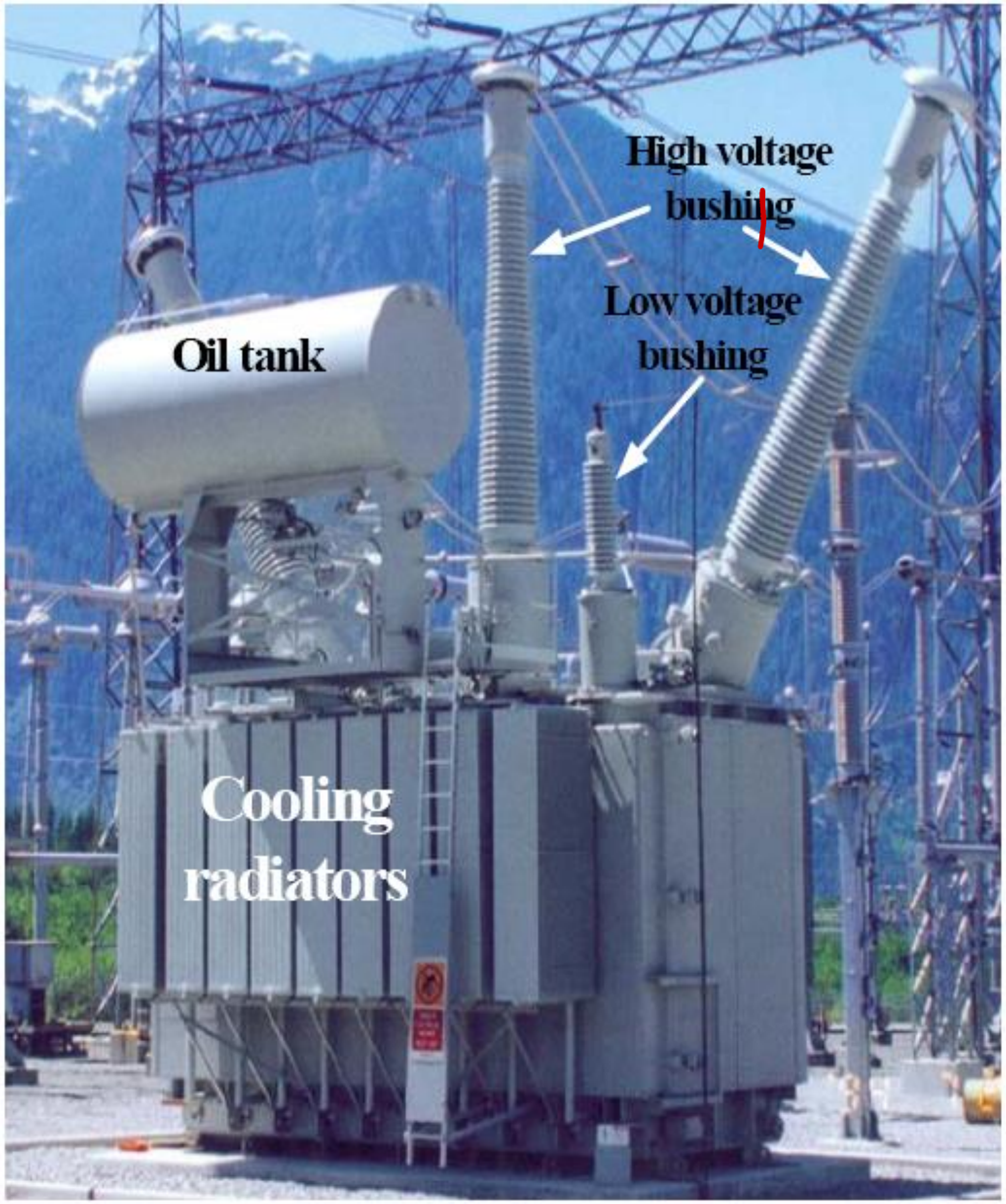
انواع ترانسها برحسب وظایف

- ترانسفورماتورهای قدرت در نیروگاهها و پستهای فشار قوی
- ترانسهای توزیع در پستهای توزیع زمینی و هوایی ، برای پخش انرژی در سطح شهرها و کارخانه ها
- – ترانسهای قدرت برای مقاصد خاص مانند کوره های ذوب آلومینیم ، یکسوسازها و واحدهای جوشکاری
- اتوترانسها جهت تبدیل ولتاژ با نسبت کم و راه اندازی موتورهای القایی
- ترانسهای الکترونیک
- ترانسهای ولتاژ و جریان جهت مقاصد اندازه گیری و حفاظت
- ترانسهای زمین برای ایجاد نقطه صفر و زمین کردن نقطه صفر
- ترانسهای آزمایشگاه فشار قوی وسایر ترانسفورماتورها مانند ترانسفورماتورهای کوره ، ترانسفورماتورهای تغییر دهنده فاز و.. بعنوان ترانسفورماتورهای خاص قلمداد می گردند

انواع ترانسها از نظر ماده عایقی و خنک کننده

- ترانسفورماتورهای روغنی
  Oil immersed power Transformer
- ترانسفورماتورهای خشک Dry type transformer
- ترانسفورماتورهای با عایق گازی
  SF6 (Gas insulated transformer)

نمای داخلی ترانس توزیع(روغنی)


High voltage bushing
Low voltage bushing
Oil tank
Cooling radiators

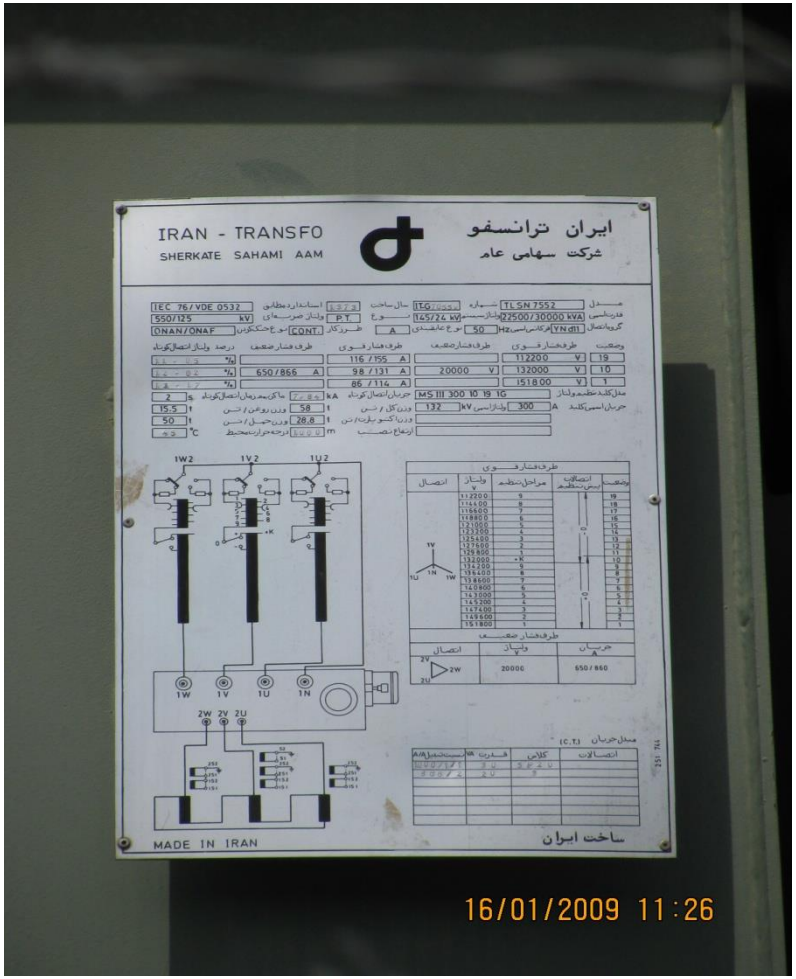
اجزاء جانبی ترانسهای روغنی

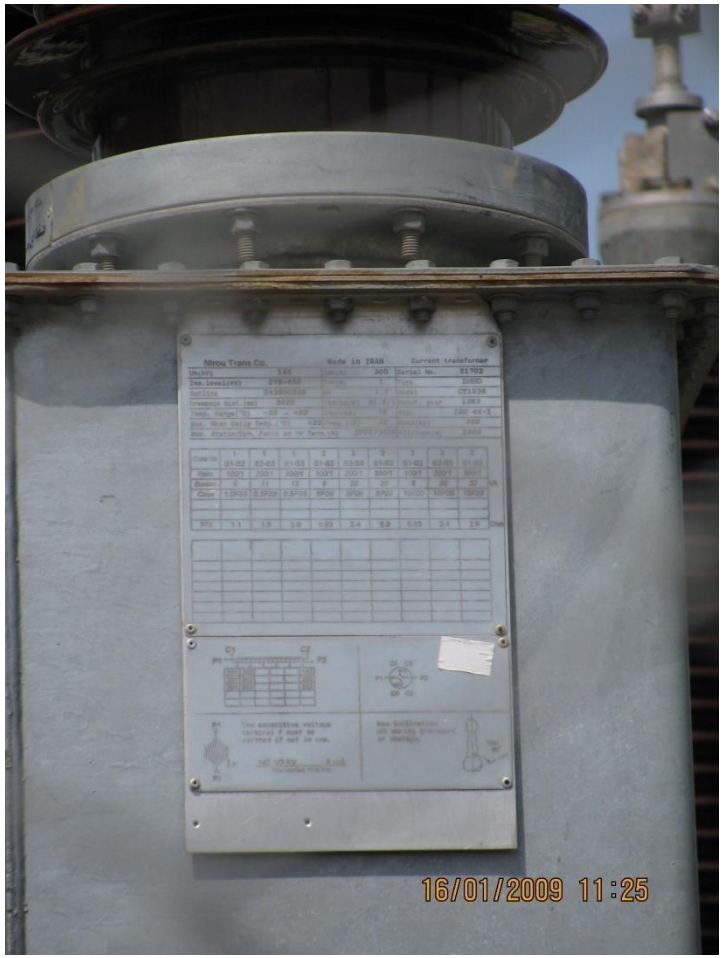
- تانک
- کنسرواتوریا منبع انبساط روغن
- تب چنجر
- ترمومترها
- نشان دهنده های سطح روغن
- رله بوخ هلتز
- سوپاپ اطمینان یا لوله انفجاری / شیر فشار شکن
- رادیاتور یا مبدلهای حرارتی

- پمپ و فن ها
- شیرهای نمونه برداری از روغن درپایین و بالای تانک
- شیرهای مربوط به پرکردن و تخلیه روغن ترانس
- مجرای تنفسی و سیلیکاژل مربوط به تانک اصلی و تب چنجر
- تابلوی کنترل
- تابلوی مکانیزم تب چنجر
- چرخ ها
- برقگیرها
- پلاک مشخصات نامی

رله بوخهلتس:

- این رله دروسایلی بکارگرفته می شودکه در آنهاازروغن به عنوان خنک کننده وایزولاتور استفاده می شود.
- بروز یکی ازخطاهای زیردرترانسفورماتور سبب تشکیل گاز وعبورآن باعث عملکرد رله بوخهلتز جهت حفاظت می شود:
- جرقه بین سیم های حامل جریان.
- جرقه بین قسمت های حامل جریان وهسته آهنی بامحفظه روغن.
- سوختن هسته.
- قطع شدن یک فاز که منجربه ایجادجرقه می گردد.

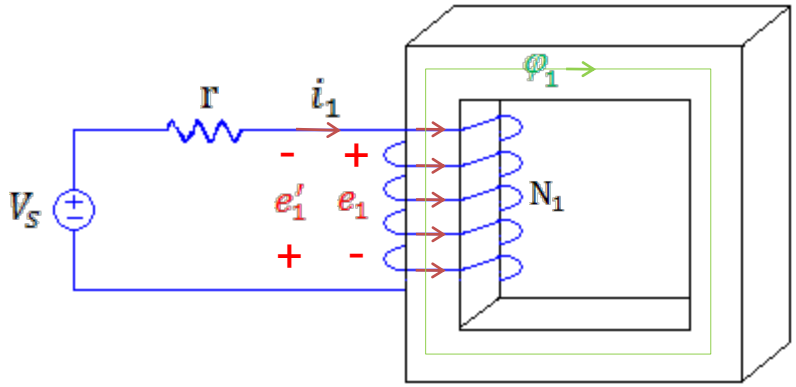

IRAN - TRANSFO
SHERKATE SAHAMI AAM
ایران ترانسفو
شرکت سهامی عام
MADE IN IRAN
ساخت ایران
16/01/2009 11:26


Nirou Trans Co.
Made in IRAN
Current transformer
16/01/2009 11:25

رله بوخهلتس

اساس کار ترانسفورماتورها:

همان طور که مشاهده می شود با ایجاد جریان متناوب i_1در سیم پیچ، میدان مغناطیسی ایجاد شده در اطراف آن باعث برقرار شدن شار در هسته آهنی می شود که جهت آن از قانون دست راست به سمت بالا خواهد بود. (هرچه هسته ایده آل تر باشد، انرژی کمتری برای مغناطیس شدن نیاز است)



طبق قانون القای فارادی به دلیل متناوب بودن جریان و تغییر شار در سیم پیچ نیرو محرکه القا می شود و اگر شار متغیر با زمان باشد طبق قانون فارادی داریم:

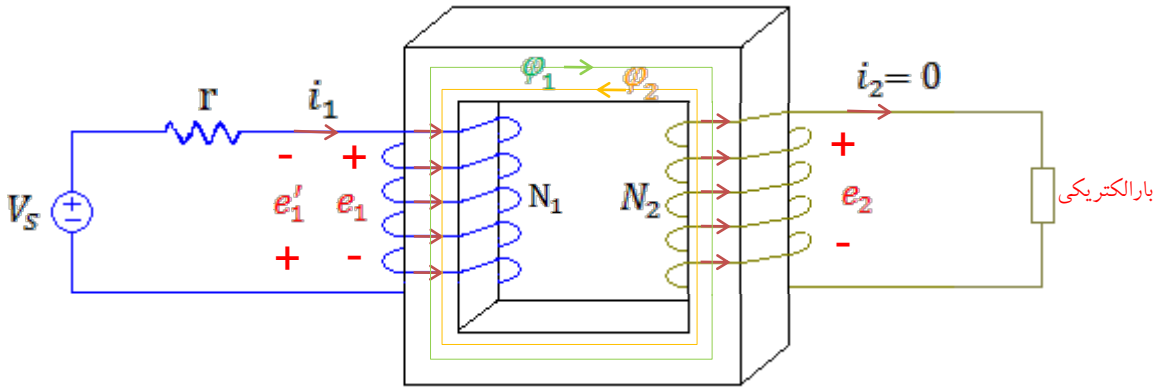
$$e_1 = -N_1 \frac{d\varphi_1}{dt}$$

طبق قانون لنز نیرو محرکه القایی با عامل به وجود آورنده آن مخالفت می کند بنابراین e_1 و v_1 باید در خلاف جهت هم باشند اما چون در شکل e_1 را طوری گرفتیم که با v_1 هم جهت است، با آن جمع می شود، بنابراین علامت منفی باعث غیرهم جهت شدن آن ها می گردد. اما اگر e_1 را در نظر بگیریم چون $e_1 = -e_1$ بنابراین می توان علامت فعلی قانون لنز را حذف کرد:

$$e_1 = N_1 \frac{d\varphi_1}{dt} \quad , \quad i_1 = \frac{v_i - e_1'}{r}$$

قرار دادن سیم پیچ دوم:

حال اگر سیم پیچ دوم را که از نظر الکتریکی با سیم پیچ اول کاملا ایزوله است قرار دهیم:



قبل از اتصال بار الکتریکی مدار در طرف دوم باز است و جریانی در سیم پیچ دوم برقرار نیست و شار φ_2 هم وجود ندارد.

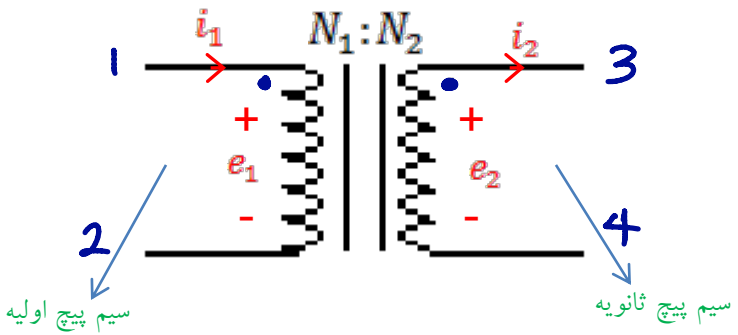
با قرار دادن بار در سیم پیچ دوم در اثر عبور شار φ_1، نیرو محرکه φ_1 القا می شود که این نیرو محرکه جریان i_2 را ایجاد می کند اما جهت جریان باید طوری باشد که شار حاصل از آن(φ_2) با φ_1 مخالفت کند بنابراین با تعیین جهت φ_2،جهت جریان i_2 تعیین می گردد.

حال با ایجاد شار φ_2 دوباره طبق قانون فارادی داریم:

$$\varphi = \varphi_1 - \varphi_2$$

$$e_1 = N_1 \frac{d\varphi}{dt} = N_1 \frac{d\varphi_1}{dt} - N_1 \frac{d\varphi_2}{dt}$$

$$e_2 = N_2 \frac{d\varphi}{dt} = N_2 \frac{d\varphi_1}{dt} - N_2 \frac{d\varphi_2}{dt}$$



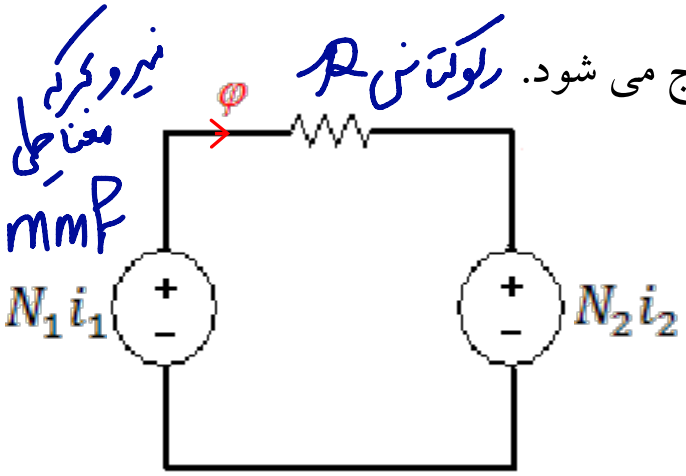
مدار معادل الکتریکی ترانس ایده‌آل:

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{e_1}{e_2} = a$$

نکته: سرهای نقطه دار ترانس از نظر ولتاژ هم فازند.

نکته: جریان از سر نقطه دار اولیه وارد و از سر نقطه دار ثانویه خارج می شود.

مدار معادل مغناطیسی ترانس ایده‌آل:



$$\mathcal{R} = \frac{L}{\mu_0 \mu_r A} \to 0$$

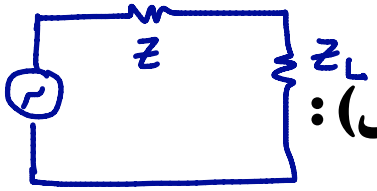
$$\mu_r \to \infty$$

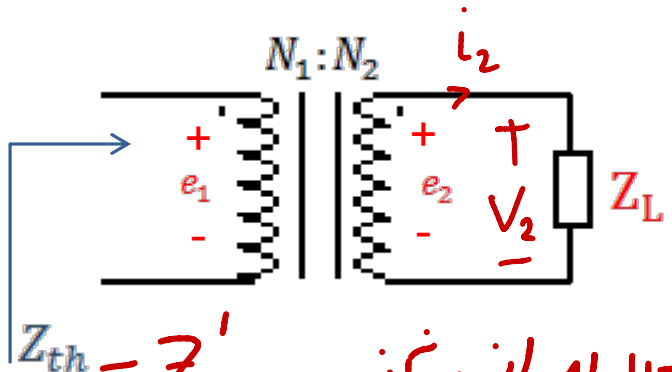
$$\text{kvl}: \quad -N_1 L_1 + R_c.\varphi + N_2 L_2 = 0 \qquad \Rightarrow R_c.\varphi = N_1 i_1 - N_2 i_2$$

هسته ایده آل $\xrightarrow{\mu r \to \infty \Rightarrow R_c \to 0}$ $N_1 i_1 - N_2 i_2 = 0 \Rightarrow N_1 i_1 = N_2 i_2$

$$\Rightarrow \frac{N_1}{N_2} = \frac{i_2}{i_1} = \frac{e_1}{e_2} = a$$

تطبیق امپدانس(انتقال امپدانس) :





انتقال امپدانس ثانویه به اولیه

$$Z_{th} = \frac{V_i}{i_i} = \frac{V_1}{i_1}$$

از طرفی : $\frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2} = a$

$$\left.\begin{aligned} &\frac{i_1}{i_2} = \frac{N_2}{N_1} = \frac{1}{a} \\ &Z_L = \frac{V_2}{i_2} \\ &V_1 = \frac{N_1}{N_2} V_2 = aV_2 \\ &i_1 = \frac{N_2}{N_1} i_2 = \frac{i_2}{a} \end{aligned}\right\} \Rightarrow Z_{th} = \frac{av_2}{\frac{i_2}{a}} = a^2 \frac{v_2}{i_2} = a^2 Z_L \longrightarrow \boxed{Z_{th} = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 Z_L}$$

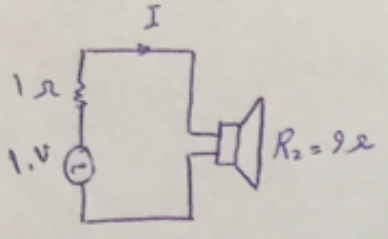
اگر امپدانس ثانویه به اولیه منتقل کنید به a^2 ضرب می‌شود.

اگر $Z_{th} = Z_L$ بیشترین توان به بار منتقل می‌شود.

مثال: یک بلندگو ۹ اهمی به یک منبع ولتاژ AC ۱۰ ولتی با مقاومت داخلی یک اهم متصل است.

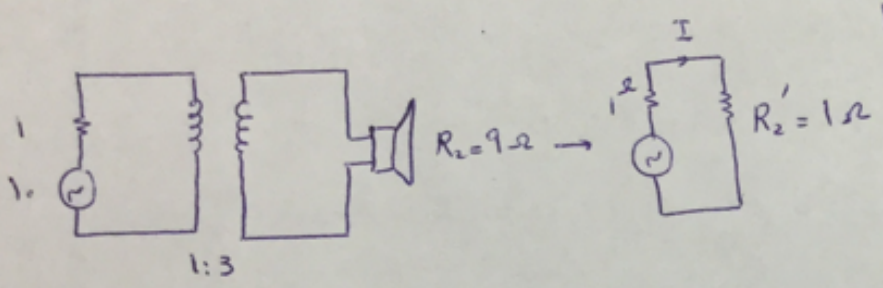
الف) توان مصرفی بلندگو را حساب کنید؟

ب) اگر بخواهیم توان مالگریم بلندگو برسد یک ترانسفورماتور با نسبت تبدیل ۱:۳ بین منبع و بلندگو قرار دهیم. توان مصرفی بلندگو را حساب کنید.



الف) $I = \frac{10}{1+9} = 1A \Rightarrow P = RI^2 = 9 \times 1 = 9\ w$

ب) $R_2' = a^2 R_2 = \frac{1}{3^2} \times 9 = 1\Omega$



$I = \frac{10}{1+1} = 5A$

$P = 1 \times 5^2 = 25\ w$

مثال: یک ترانس تلفات ایده‌آل با مشخصات ۲۴۰۰/۲۴۰ ، ۶۰ Hz ، ۱۰۰ kVA مفروض است. اگر این ترانس تحت شرایط نامی کار کند مطلوبست

۱- نسبت تبدیل ۲- جریان اولیه ۳- مقدار ولتاژ ثانویه بار از دید اولیه.

$a = \frac{2400}{240} = 10$ (۱) $S = V_2 I_2 \Rightarrow 100 \times 10^3 = 240 \times I_2 \Rightarrow I_2 = 416.67\ A$

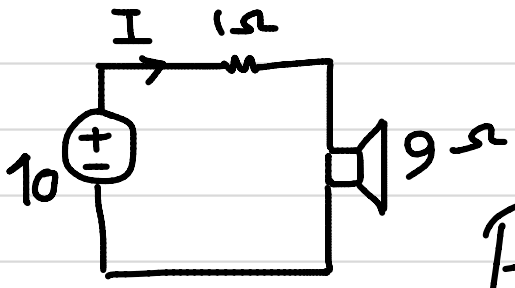
$\frac{I_2}{I_1} = a \Rightarrow I_1 = \frac{1}{a} I_2 = 41.67\ A$ (۲)

$Z_2 = \frac{V_2}{I_2} = \frac{240}{416.67} = 0.576 \Rightarrow Z_L' = a^2 Z_L = 100 \times Z_L = 57.6\Omega$

نکته مهم:

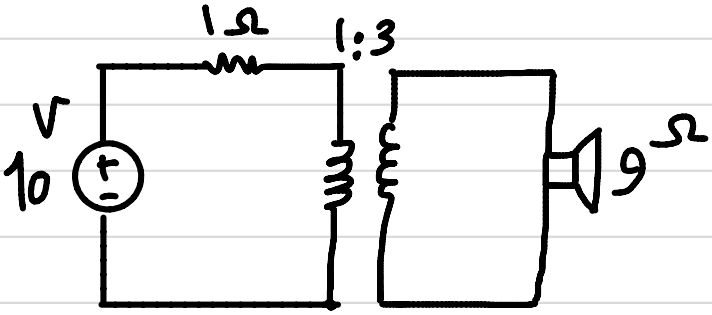
ترانس تلفات ایده‌آل بایستی در شرایط نامی مورد بهره‌برداری قرار گیرند.

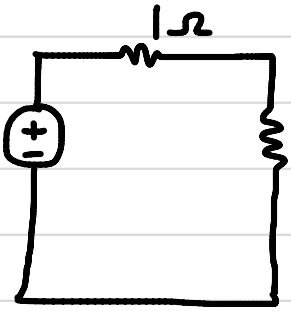
- اگر بار ترانس بیشتر از بار نامی (بار کامل) باشد جریان سیم پیچ‌ها بیش از جریان‌های نامی آنها خواهد بود و ممکن است به سیم پیچ‌ها آسیب برسد در این حالت ترانسفورماتور حالت اضافه بار یا over load یا بار سنگین Heavy load قرار می‌گیرد.
- اگر بار ترانس کمتر از بارهای نامی باشد به این معنی است از کل ظرفیت ترانس استفاده نمی‌شود و این امر هیچ‌گونه اقتصادی نیست. به این حالت light load گفته می‌شود.
- بهره‌برداری از ترانس در شرایط نامی هم اقتصادی است و هم علمی و دستیابی به آن آسان می‌باشد.



$$I = \frac{10}{1+9} = 1^A \Rightarrow P = R|I|^2$$

$$P = 9 \times 1^2 = 9^W$$ (الف





(ب

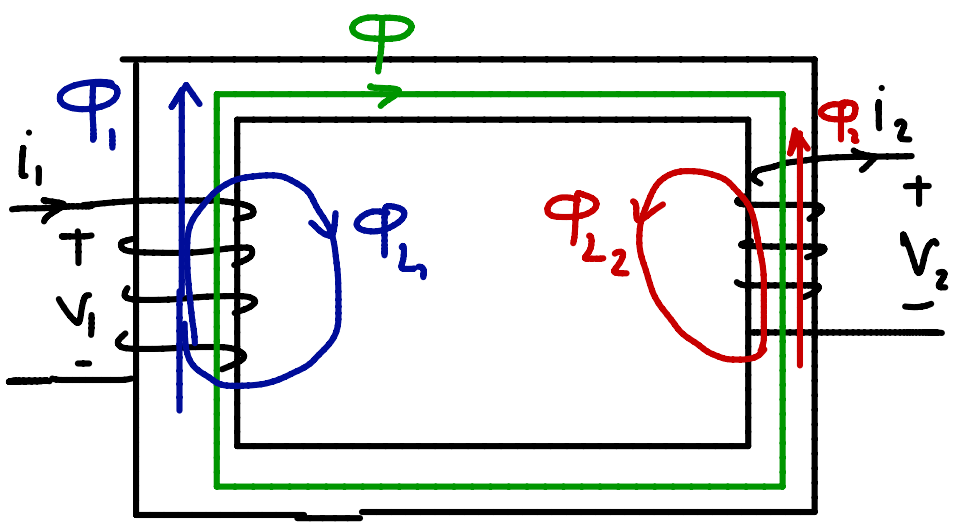
$= 1/9 \times 9 = 1\Omega$

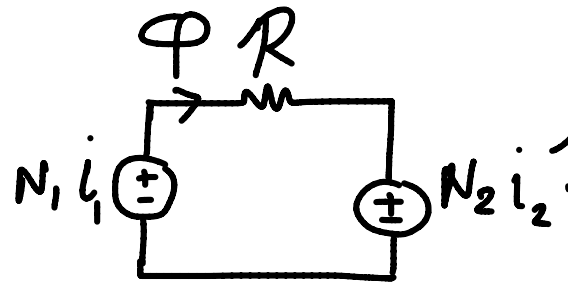
$$a = \frac{N_1}{N_2} = \frac{1}{3} \Rightarrow a^2 = 1/9$$

$$\Rightarrow I = \frac{10}{1+1} = 5^A \Rightarrow P = R|I|^2 = 1 \times 5^2$$

$$= 25^W$$

ترانسفورماتور واقعی:





۱- $\mu_r \to \infty \Leftarrow \mathcal{R} \to 0$

$$N_1 i_1 - N_2 i_2 = \mathcal{R}\Phi = mmf$$

$$i_1 = \frac{N_2}{N_1} i_2 + \frac{mmf}{N_1}$$

$$\Rightarrow i_1 = i_2' + i_m$$

جریان مغناطیس کننده

$$i_2' = \frac{N_2}{N_1} i_2$$

$$e = \frac{d\lambda}{dt} = N\frac{d\Phi}{dt}$$

$$V_1 = \frac{d\lambda_1}{dt} = N_1\frac{d\Phi_1}{dt} = N_1\frac{d\Phi}{dt} + N_1\frac{d\Phi_{L1}}{dt}$$

$$V_2 = \frac{d\lambda_2}{dt} = N_2\frac{d\Phi_2}{dt} = N_2\frac{d\Phi}{dt} - N_2\frac{d\Phi_{L2}}{dt}$$

۲- در نظر گرفتن شار پراکندگی:

$\Phi_1 = \Phi + \Phi_{L1}$

$\Phi_2 = \Phi - \Phi_{L2}$

$$V_1 = e_1 + N_1\frac{d\Phi_{L1}}{dt}$$

$$V_2 = e_2 - N_2\frac{d\Phi_{L2}}{dt}$$

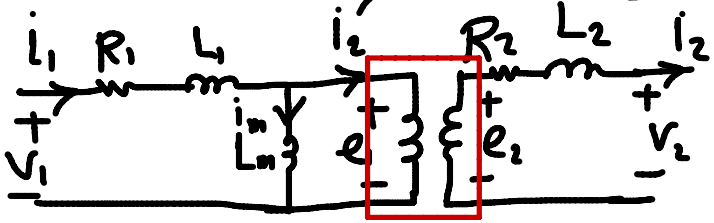
از طرفی $N\Phi = Li \Leftarrow$

L_1 و L_2 اندکتانس پراکندگی سیم پیچ اولیه و ثانویه هستند.

$$\begin{cases} V_1 = e_1 + L_1\frac{di_1}{dt} \\ V_2 = e_2 - L_2\frac{di_2}{dt} \end{cases}$$

۳- در نظر گرفتن تلفات مسی: $P_{cu1} \neq 0$ ⇐ سیم پیچ‌های اولیه و ثانویه دارای مقاومت اهمی هستند.

$P_{cu2} \neq 0$



$$V_1 = R_1 I_1 + j X_1 I_1 + E_1$$

$$V_2 = -R_2 I_2 - j X_2 I_2 + E_2$$

$$V_1 = R_1 i_1 + L_1 \frac{di_1}{dt} + e_1$$

$$V_2 = -R_2 i_2 - L_2 \frac{di_2}{dt} + e_2$$

$X_1 = L_1 \cdot \omega$

$X_2 = L_2 \cdot \omega$

اگر روابط فوق را در حالت ماندگار بنویسیم:

۴- در نظر گرفتن تلفات هسته: تلفات هسته را با مقاومت R_c نشان می‌دهیم به طوری که موازی دیگر امپدانس‌ها قرار گیرد، چون آن را مستقیماً تلفات هسته می‌نامند.

$$P_c = P_h + P_e$$

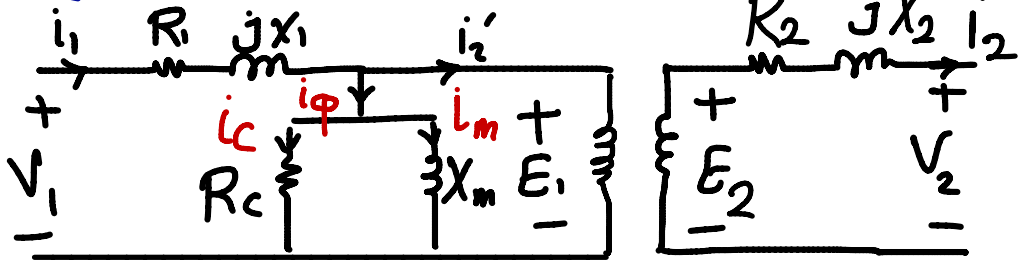
$$P_h = k_h B_{max}^{n} \cdot f$$

$$P_e = k_e B_{max}^{2} \cdot f^2$$

$B_{max} \propto V$

$\Rightarrow P_c \propto V \cdot f$

$\Rightarrow P_c = E^2 / R_c$



X_1: راکتانس نشتی سیم پیچ اولیه

X_2: " " " ثانویه

i_φ جریان تحریک

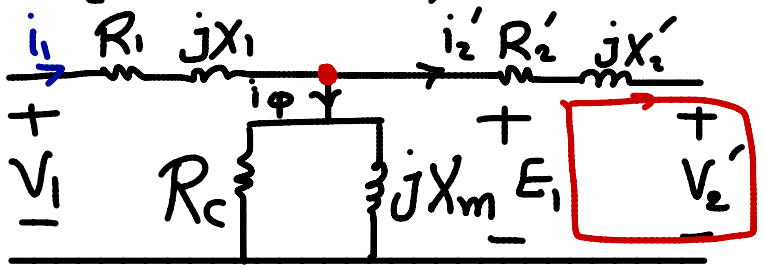
$i_\varphi = i_m + i_c$

- مدل معادل های ترانسفورماتور:

۱- مدل معادل T:

اگر پارامترهای ثانویه را به اولیه ترانس منتقل کنیم داریم:

$R_2' = a^2 R_2 \quad , \quad X_2' = a^2 X_2$



$$\frac{V_2'}{V_2} = \frac{N_1}{N_2} = a \Rightarrow V_2' = a V_2$$

$$\frac{i_2'}{i_2} = \frac{N_2}{N_1} = \frac{1}{a} \Rightarrow i_2' = \frac{1}{a} i_2$$

اگر مقادیر V_2 و i_2 معلوم باشند و بخواهیم مقادیر V_1 و i_1 را بدست آوریم:

$$\left.\begin{matrix} V_2 \\ i_2 \end{matrix}\right\} \Rightarrow \text{مدار} \Rightarrow \begin{cases} V_2' = a V_2 \\ i_2' = \frac{1}{a} i_2 \end{cases}$$

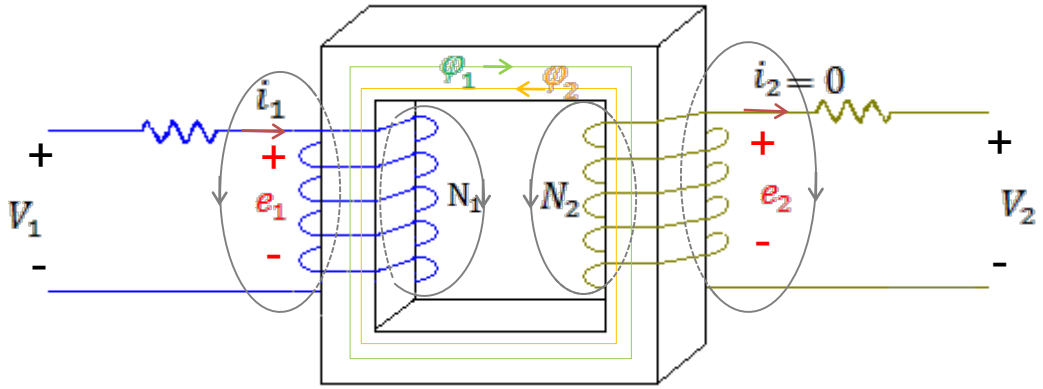
$$\left.\begin{matrix} E_1 = V_2' + (R_2' + jX_2')\, i_2' \\ i_\varphi = i_c + i_m \quad \text{جریان تحریک: } i_\varphi \end{matrix}\right\} \Rightarrow i_\varphi = \underbrace{\frac{E_1}{R_c}}_{i_c} + \underbrace{\frac{E_1}{jX_m}}_{i_m}$$

$$i_1 = i_2' + i_\varphi$$

$$V_1 = (R_1 + jX_1)\, i_1 + E_1$$

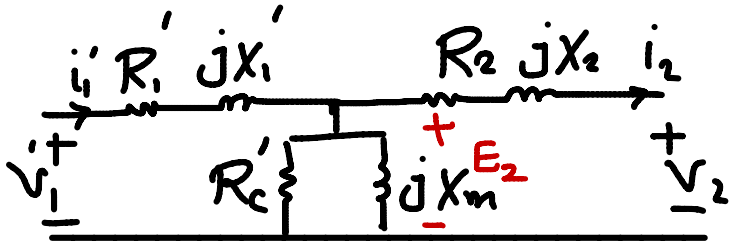
ترانسفورماتور واقعی :

در ترانس واقعی علاوه بر شار پیوندی (مغناطیس کنندگی) φ_m، شار نشتی φ_{l1} و φ_{l2}هم وجود دارند و جهت آن در اطراف سیم پیچ ها به گونه ای است که در داخل آن ها هم جهت با شار پیوندی آن سیم پیچ هم جهت باشد. این شارهای نشتی از طریق هوا ایجاد حلقه می کنند.



ابتدا فرض می کنیم سیم پیچ دوم جریانی ندارد. در این صورت شاری توسط این سیم پیچ تولید نخواهد شد.

در حالت بعد سیم پیچ دوم دارای جریان است. در این صورت با توجه به شارهی پیوندی و نشتی تولیدی توسط هر دو سیم پیچ خواهیم داشت:



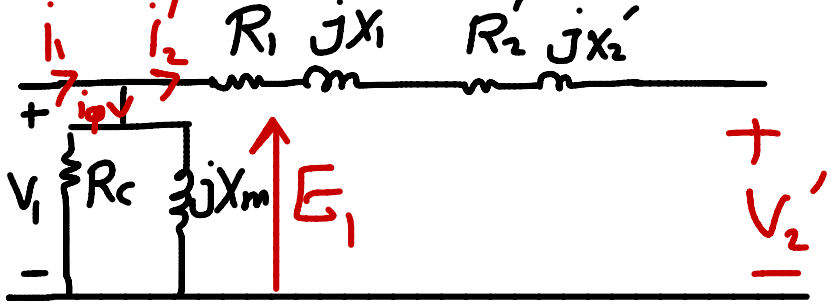
مدار معادل با انتقال پارامترها به اولیه:

$$R_1' = \frac{1}{a^2} R_1 \qquad R_c' = \frac{1}{a^2} R_c \qquad V_1' = \frac{1}{a} V_1$$

$$X_1' = \frac{1}{a^2} X_1 \qquad X_m' = \frac{1}{a^2} X_m \qquad i_1' = a\, i_1$$

۲- مدار معادل تقریبی ۱:

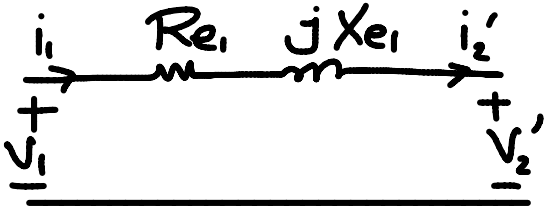
در ترانسفورماتور جریان تحریک i_φ را برای متعادل کردن در حدود حداکثر ۵٪ جریان نامی سیم پیچ اولیه در نظر گرفته است، بنابراین می‌توان از افت ولتاژ ناشی از جریان تحریک سری سیم پیچ اولیه صرف‌نظر کرد و ثانویه را به اولیه منتقل کرد که مدار معادل تقریبی ۱ به دست می‌آید:



$$E_1 = (R_1 + R_2')\, i_2' + j\,(X_1 + X_2')\, i_2' + V_2'$$

$$E_1 = R_{e_1}\, i_2' + j\, X_{e_1}\, i_2' + V_2'$$

$$i_\varphi = \frac{E_1}{R_c} + \frac{E_1}{jX_m} \Rightarrow i_1 = i_\varphi + i_2' \quad , \quad \boxed{V_1 = E_1}$$



$$R_{e_1} = R_1 + R_2'$$

$$X_{e_1} = X_1 + X_2'$$

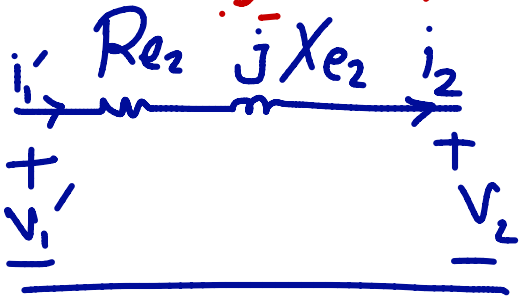
$$i_1 = i_2' \quad , \quad V_1 = (R_{e_1} + jX_{e_1})i_2' + V_2'$$

$$R_{e_2} = R_2 + R_1'$$

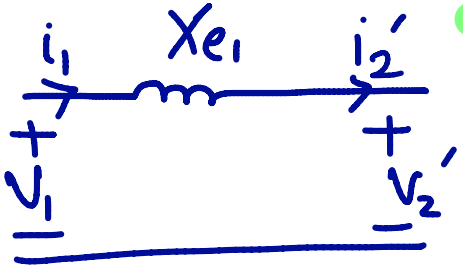
$$X_{e_2} = X_2 + X_1'$$

$$\Rightarrow \begin{cases} V_1' = V_2 + (R_{e_2} + jX_{e_2})i_2 \\ i_1' = i_2 \end{cases}$$

۳- مدار معادل تقریبی با حذف شاخه شنت:



۴- مدار معادل تقریبی با صرفنظر کردن از مقاومت سیم پیچ‌ها:



$$i_1 = i_2'$$

$$V_1 = V_2' + jX_{e_1}i_1$$

مثال: یک ترانس تکفاز با مشخصات زیر مفروض است

$R_1 = 0.01\ \Omega$ $X_1 = 0.03\ \Omega$

$R_2 = 0.25\ \Omega$ $X_2 = 0.75\ \Omega$

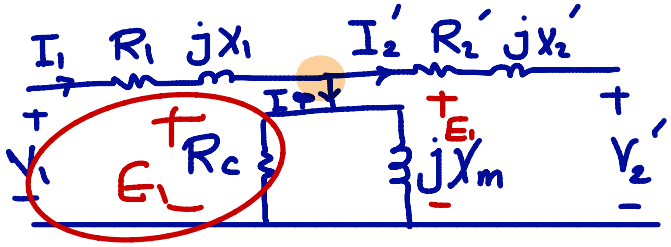
$R_c = 454.54\ \Omega$ $X_m = 149.25\ \Omega$ ← R_c و X_m نسبت به طرف اولیه داده شده است.

این ترانس بار $90\ KVA$ تحت ولتاژ $2\ kV$ و ضریب قدرت 0.8 پس فاز تغذیه می‌کند. با توجه به مدار معادل کامل و تقریبی ولتاژ و جریان سیم پیچ اولیه را محاسبه کرده و با هم مقایسه کنید؟

ولتاژ نامی اولیه 400^V

ولتاژ نامی ثانویه 2000^V

هدف تعیین مقادیر V_1 , I_1



$$a = \frac{V_1}{V_2} = \frac{400}{2000} = 0.2$$

$$V_2' = aV_2 = 0.2 \times 2000 = 400^V$$

$$R_2' = a^2 R_2 = (0.2)^2 \times 0.25 = 0.01\ \Omega$$

$$X_2' = a^2 X_2 = (0.2)^2 \times 0.75 = 0.03\ \Omega$$

Load $\begin{cases} S_L = 90\ KVA \\ V_L = 2\ kV = V_2 \angle 0^\circ \\ \cos\varphi = 0.8\ Lag \end{cases}$ $S_L = V_L \cdot I_L^*$ $\quad I_L = \frac{S_L^*}{V_L^*}$

$$I_L = \frac{90 \times 10^3 \angle -\cos^{-1}0.8}{2 \times 10^3 \angle 0^\circ} = 45 \angle -36.87^A = I_2 \Rightarrow I_2' = \frac{1}{a} I_2 = \frac{1}{0.2} 45 \angle -36.87$$

$$I_2' = 225 \angle -36.87^\circ$$

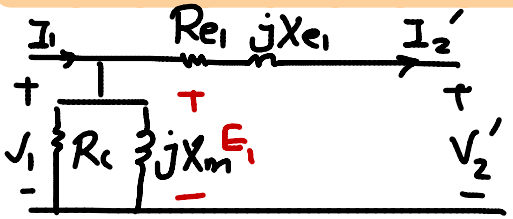
$$E_1 = V_2' + (R_2' + jX_2') I_2' = 400 \angle 0^\circ + (0.01 + j0.03) \times 225 \angle -36.87 = 405.81 \angle 0.572^\circ$$

$$I_\varphi = \frac{E_1}{R_c} + \frac{E_1}{jX_m} = \frac{405.87 \angle 0.572}{454.54} + \frac{E_1}{j149.25} = \cdots \Rightarrow I_1 = I_\varphi + I_2'$$

$$I_1 = 227.37 \angle -37.28$$

$$V_1 = (R_1 + jX_1) I_1 + E_1 = (0.01 + j\,0.03)\; 227.37\angle -37.28 + 405.87\angle 0.572 =$$

$$V_1 = 411.87\angle 1.127^{\circ}$$



$$R_{e_1} = R_1 + R_2' = 0.02\ \Omega$$

$$X_{e_1} = X_1 + X_2' = 0.06\ \Omega$$

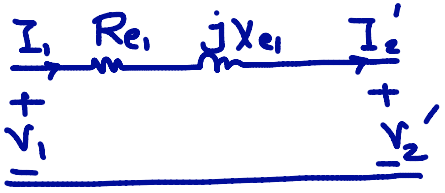
- مدار معادل تقریبی L

$$E_1 = V_2' + (R_{e_1} + jX_{e_1}) I_2' = 400\angle 0 + (0.02 + j0.06)\, 225\angle -36.87^{\circ} = 411.779\angle 1.127$$

$$V_1 = E_1$$

$$I_1 = I_\varphi + I_2' \quad , \quad I_\varphi = \frac{E_1}{R_c} + \frac{E_1}{jX_m} \Rightarrow$$

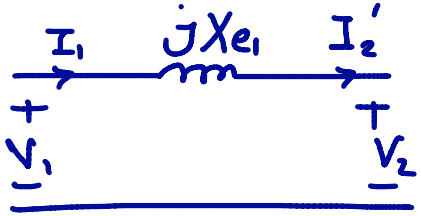
$$\boxed{I_1 = 227.418\angle -37.28}$$



مدار معادل تقریبی با خذف شاخه تحت:

$$V_1 = V_2' + (R_{e_1} + jX_{e_1}) I_2' = 400\angle 0 + (0.02 + j0.06)\, 225\angle -36.87$$

$$\boxed{V_1 = 411.78\angle 1.127 \quad , \quad I_1 = I_2' = 225\angle -36.87}$$



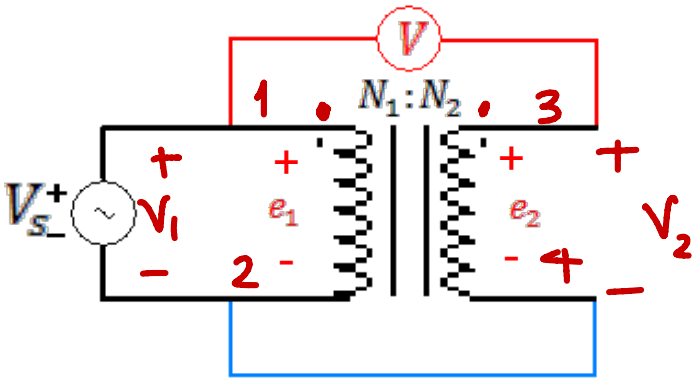
$$V_1 = V_2' + jX_{e_1} I_2' = 400 + j\,0.06 \times 225\angle -36.87 = 408.29\angle 1.516$$

$$\boxed{I_1 = I_2' = 225\angle -36.87}$$

تعیین پلاریته سرهای ترانس:

برای این کار از یک ولتمتر استفاده می کنیم. در این صورت دو حالت ممکن است اتفاق بیافتد:

۱- حالت اول حالتی است که سرهای مثبت و منفی را درست تشخیص دهیم(سرهای منفی را به هم و سرهای مثبت را به ولتمتر وصل می کنیم):

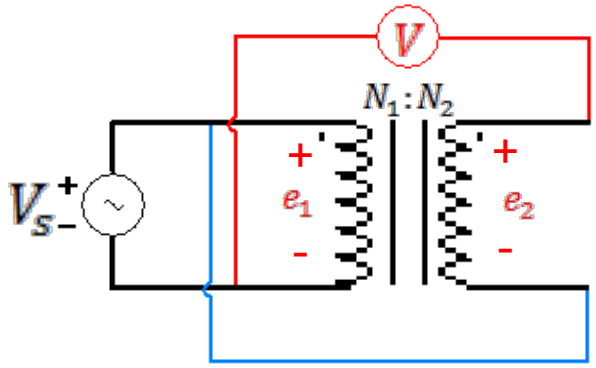


$$v = |e_1 - e_2|$$

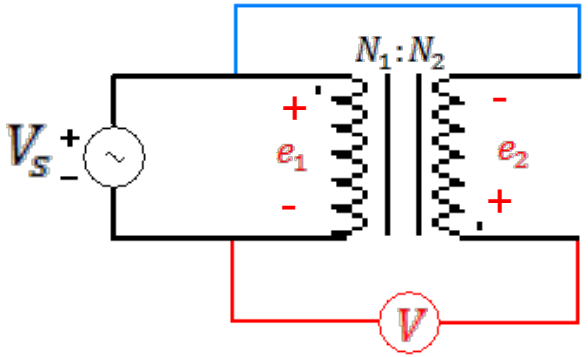
سرهای ۱ و ۳ و ۲ و ۴ هم پلاریته اند.

$$V = V_1 - V_2$$

۲- حالت دوم حالتی است که سرهای مثبت و منفی را در تشخیص ندهیم:

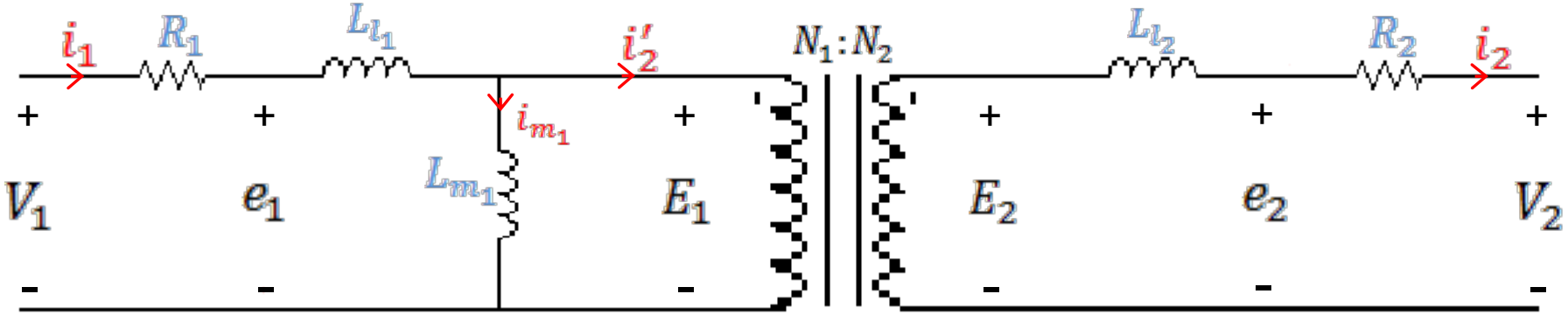


$$v = |e_1 + e_2|$$



در هر یک از حالت ها که ولتمتر عدد کمتری را نشان دهد، آن شیوه اتصال درست بوده و سرهای نقطه دار به آن صورت خواهد بود.

مدار معادل الکتریکی ترانس واقعی :

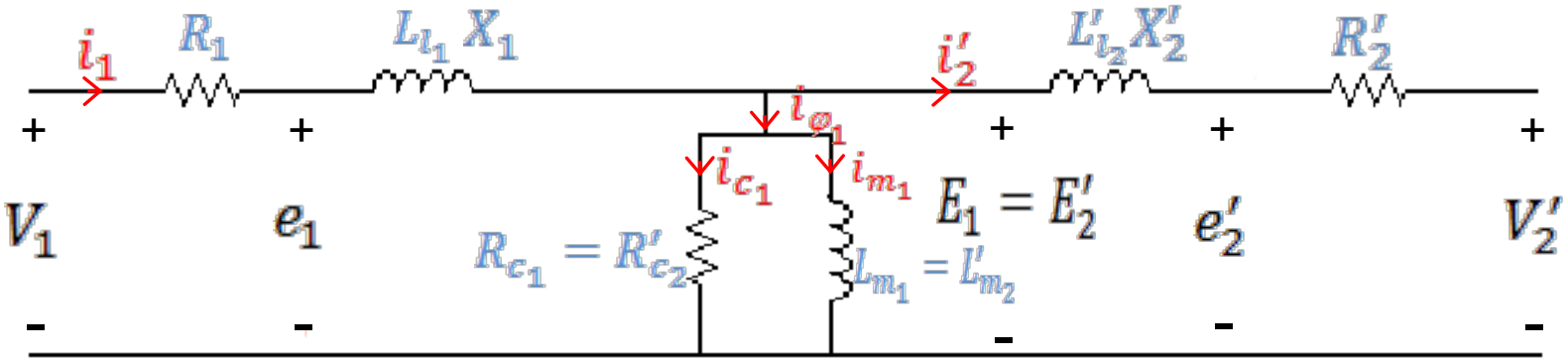


$$P_c = P_{fe} = P_e\,(\text{فوکو}) + P_h\,(\text{هیسترزیس})$$

$$\begin{cases} P_e = k_e B_m^2 f^2 \\ P_h = k_h B_m^n f = k'_e V^2 \\ B.A = \varphi \propto \dfrac{V}{f} \end{cases} \longrightarrow \boxed{P_c \propto E^2}$$

کل تلفات هسته با مجذور ولتاژ رابطه مستقیم دارد و چون تقریبا ولتاژ در ترانس ثابت است.

اگر مدار معادل الکتریکی یک ترانس واقعی را با انتقال امپدانس به طرف اولیه انتقال دهیم، داریم:



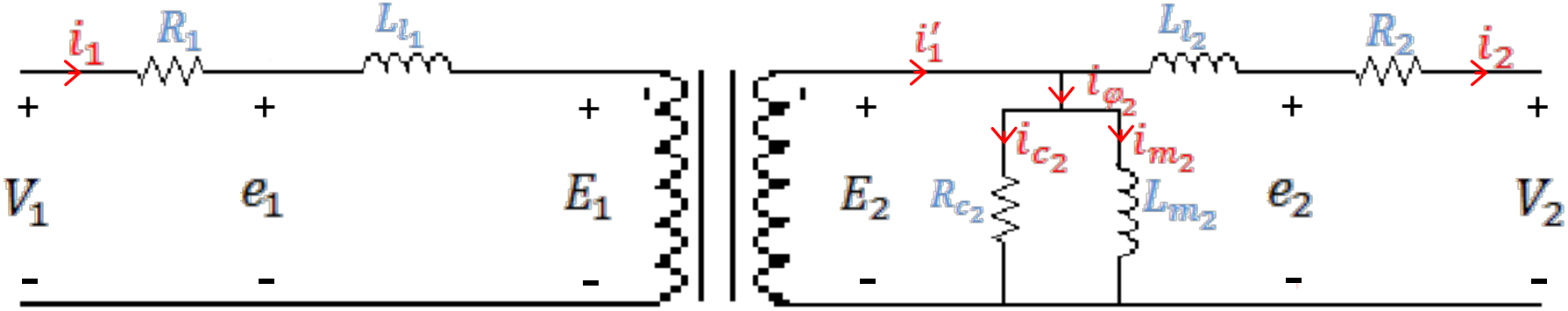
$$R'_{C_2} = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 R_{C_2} \qquad R'_2 = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 R_2$$

$$L'_{L_2} = L'_2 = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 L_{L_2} \qquad L'_{m_2} = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 L_{m_2}$$

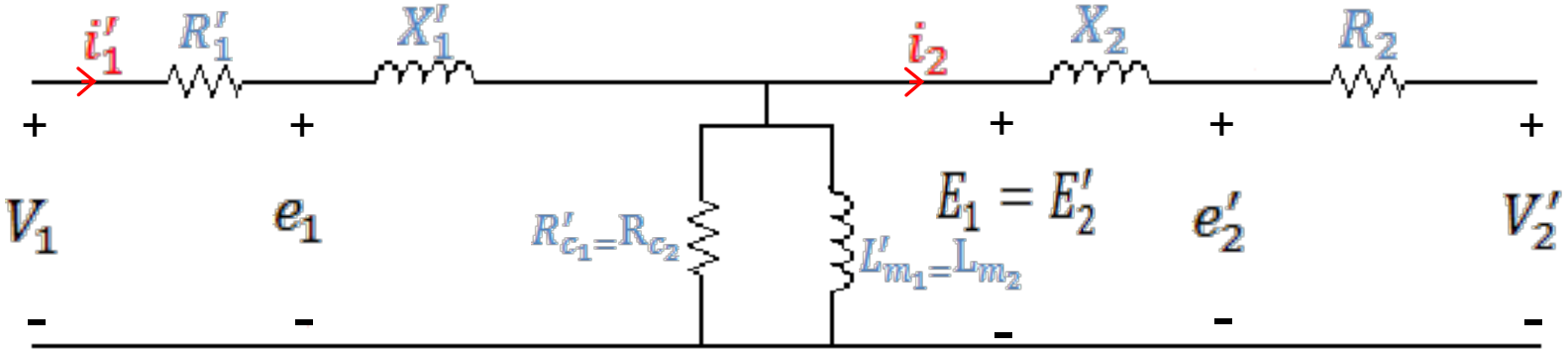
$$X'_2 = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 X_2 \qquad V'_2 = \frac{N_1}{N_2} V_2$$

$$i'_1 = \frac{N_1}{N_2} i_1 \qquad i'_2 = \frac{N_2}{N_1} i_2$$

مدار معادل الکتریکی ترانس از دیدگاه ثانویه :



مدار معادل انتقال یافته الکتریکی ترانس از دیدگاه ثانویه :



دیاگرام فازوری :

شکل فوق مدار معادل انتقال یافته یک ترانس واقعی است. با استفاده از دیاگرام فاز وری می خواهیم v_1 را به دست آوریم. تقریبا ثابت است و فقط مقدار کمی با بار تغییرات دارد. بنابراین آن را به عنوان خط مرجع در نظر می گیریم.

$$v_1 = E_1 + R_1 I_1 + jX_1 I_1$$

$$E_1 = E_2' = V_2' + R_2' I_2' + jX_2' I_2'$$

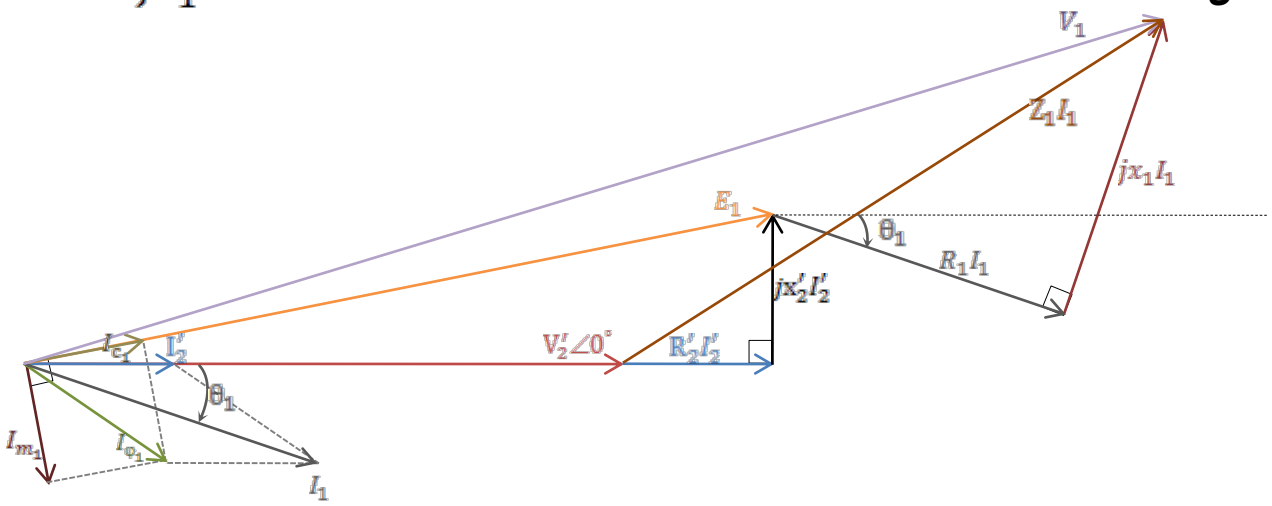
$$I_1 = I_2' + I_\varphi$$

$$I_\varphi = I_{C_1} + I_{m_1}$$

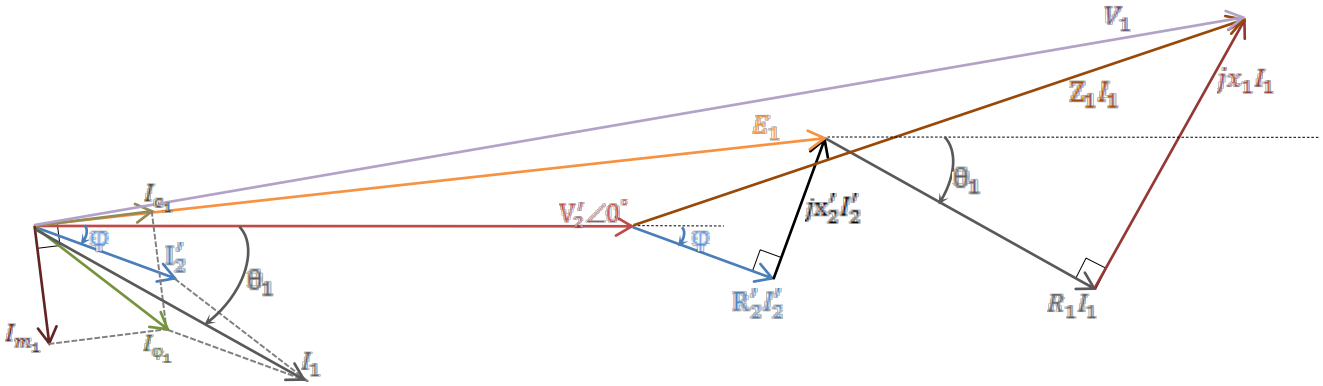
$$Ic_1 = \frac{E_1}{R_{C_1}}$$

$$I_{m_1} = \frac{E_1}{jX_1}$$

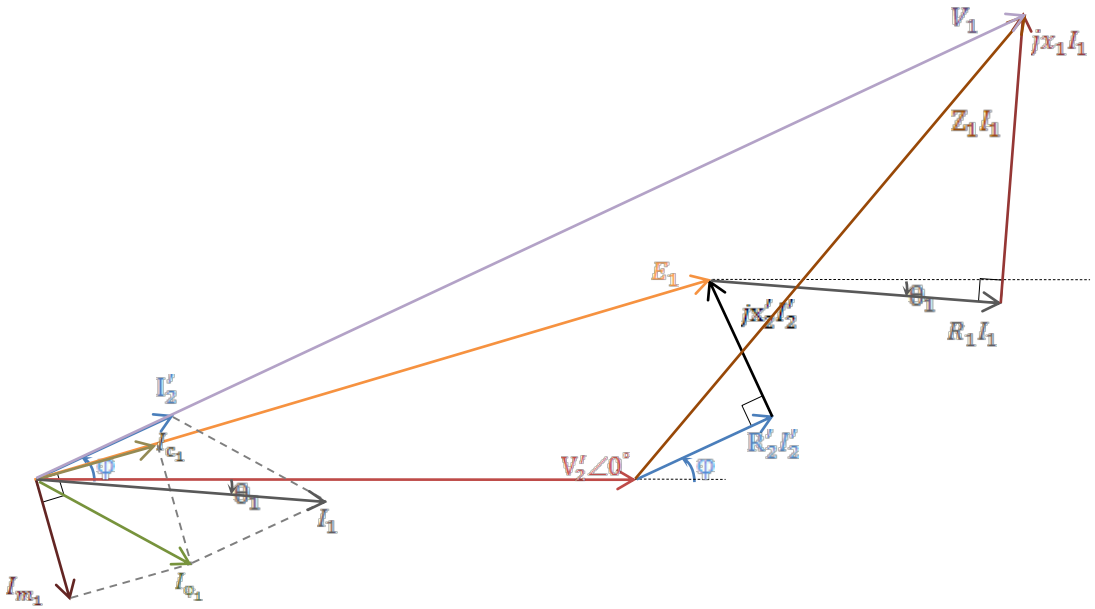
الف) دیاگرام بار اهمی خالص :



ب) دیاگرام بار سلفی :



ج) دیاگرام بار خازنی :



سیستم پریونیت یا یکتایی (per-unit)

$$\text{مقدار پریونیت} = \frac{\text{مقدار واقعی}}{\text{مبنا}} \Rightarrow V_{1p.u} = \frac{420\angle 30}{400} = 1.05\angle 30 \ pu$$

$$V_{2pu} = \frac{380\angle -60}{400} = 0.95\angle -60 \ pu$$

$V_1 = 420^{kv}\angle 30^\circ$

$V_2 = 380^{kv}\angle -60$

ولتاژ مبنا $V_b = 400^{kv}$

در سیستم‌های قدرت چهار کمیت اساسی داریم S, V, Z, I دو کمیت را به عنوان مبنا انتخاب می‌کنیم S_b, V_b

$$I_b = \frac{S_b}{V_b} \ , \ Z_b = \frac{V_b}{I_b} = \frac{V_b}{S_b/V_b} = \frac{V_b^2}{S_b} \Rightarrow \boxed{I_b = \frac{S_b}{V_b} \ , \ Z_b = \frac{V_b^2}{S_b}}$$

$$S = P + jQ \Rightarrow S_{p.u} = \frac{S}{S_b} = \frac{P}{S_b} + j\frac{Q}{S_b} = P_{p.u} + jQ_{p.u}$$

$$Z = R + jX \Rightarrow Z_{p.u} = \frac{Z}{Z_b} = \frac{R}{Z_b} + j\frac{X}{Z_b} = R_{p.u} + jX_{p.u}$$

$$S = V.I^* \Rightarrow S_{p.u} = \frac{S}{S_b} = \frac{V.I^*}{V_b.I_b} = \frac{V}{V_b} \cdot \frac{I^*}{I_b} = V_{p.u} \cdot I_{p.u}^* \rightarrow$$ برای سیستم‌های تک‌فاز

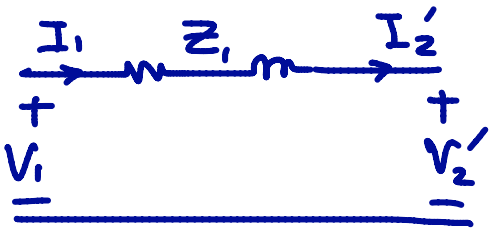
$$S = \sqrt{3}VI^* \Rightarrow S_{p.u} = \frac{S}{S_b} = \frac{\sqrt{3}V.I^*}{\sqrt{3}V_b.I_b} = V/V_b \cdot I/I_b = V_{p.u} \cdot I_{p.u}^*$$

ارتباط مقادیر مبنای اولیه و ثانویه:

V_{b_1} = ولتاژ نامی سیم پیچ اولیه

V_{b_2} = ولتاژ نامی سیم پیچ ثانویه

$$\frac{V_{b_1}}{V_{b_2}} = a \quad , \quad \frac{I_{b_1}}{I_{b_2}} = \frac{1}{a} \Leftarrow \begin{cases} I_{b_1} = I_{n_1} \\ I_{b_2} = I_{n_2} \end{cases}$$



- مدار معادل ترانسفورماتور در سیستم پریونیت:

$$V_1 = V_2' + Z_1 I_1 \xrightarrow{\div V_{b_1}} \frac{V_1}{V_{b_1}} = \frac{V_2'}{V_{b_1}} + \frac{Z_1 I_1}{V_{b_1}}$$

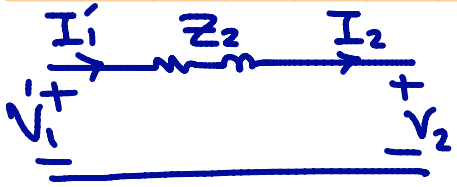
$V_2' = aV_2$

$V_{b_1} = aV_{b_2}$

$$V_{1p.u} = \frac{aV_2}{aV_{b_2}} + \frac{Z_1}{Z_{b_1}} \cdot \frac{I_1}{I_{b_1}} = V_{2p.u} + Z_{1p.u} \cdot I_{1p.u}$$

پریونیت کردن از دیدگاه اولیه

$$\boxed{V_{1p.u} = V_{2p.u} + Z_{1p.u} \cdot I_{1p.u}} \quad (1)$$



پریونیت کردن از دیدگاه ثانویه:

$$\Rightarrow V_1' = V_2 + Z_2 I_2$$

$$\xrightarrow{\div V_{b_2}} \frac{V_1'}{V_{b_2}} = \frac{V_2}{V_{b_2}} + \frac{Z_2 I_2}{V_{b_2}} \Rightarrow \frac{\frac{1}{a} V_1}{\frac{1}{a} V_{b_1}} = V_{2p.u} + \frac{Z_2}{Z_{b_2}} \cdot \frac{I_2}{I_{b_2}}$$

$$\Rightarrow \boxed{V_{1p.u} = V_{2p.u} + Z_{2p.u} I_{2p.u}} \quad (2)$$

$$(1), (2) \Rightarrow Z_{1p.u} I_{1p.u} = Z_{2p.u} I_{2p.u}, \quad I_{1p.u} = I_{2p.u} \Rightarrow \boxed{Z_{1p.u} = Z_{2p.u}}$$

تلفات مس ناحی پر یونیت شده:

$$P_{cu}^{F.L} = R_{1e} \cdot (I_{1\,F.L})^2$$

$I_{F.L} = I_n = I_b$ ⇐ بارکامل یا بار نامی Full load یعنی F.L

$$P_{cu\,(p.u)}^{F.L} = \frac{P_{cu}^{F.L}}{S_b} = \frac{R_{e_1} \cdot (I_{1\,F.L})^2}{V_{b_1} \cdot I_{b_1}} = \frac{R_{e_1} \cdot (I_{1\,F.L})^2}{z_{b_1} \cdot I_{b_1}^2} = R_{1\,p.u} \Rightarrow \boxed{P_{cu\,(p.u)}^{F.L} = R_{1\,p.u}}$$

نکته تستی خیلی مهم

$$P_{cu\,(p.u)}^{F.L} = R_{1\,p.u}$$

آزمایش های ترانس:(اندازه گیری پارامترهای ترانس)

هدف: تعیین پارامترهای مدار معادل $R_1, X_1, R_2, X_2, R_c, X_m$

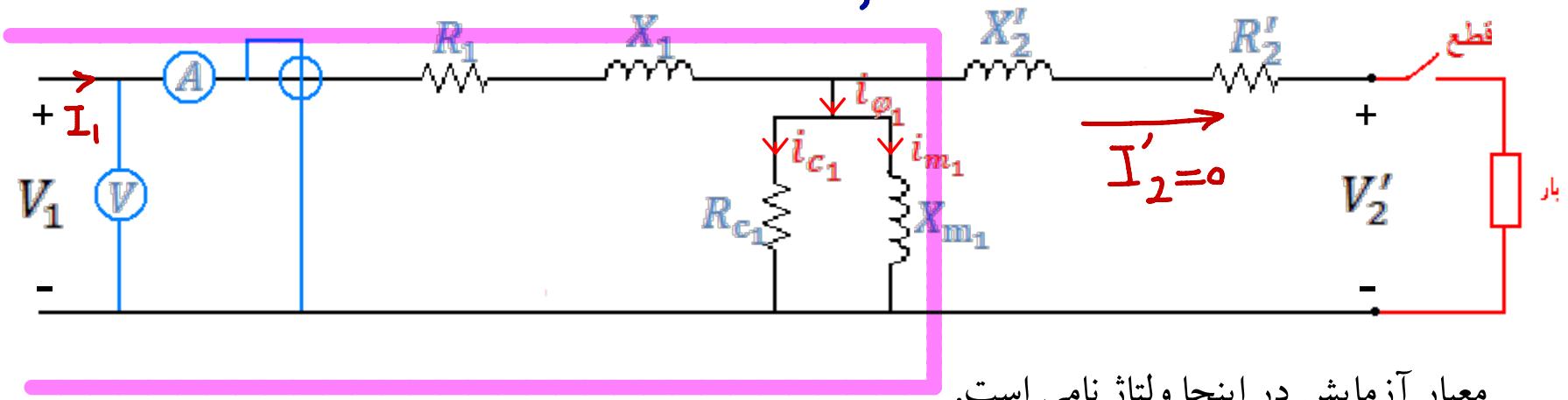
۱- آزمایش DC : برای اندازه گیری مقاومت الکتریکی سیم پیچ ها

۲- آزمایش اتصال کوتاه (short circuit test :sct) ⇐ R_1, R_2, X_1, X_2

۳- آزمایش بی باری (open circuit test :OCT) (no load test :NLT) ⇐ R_c, X_m

شرایط آزمایش:
۱- باز بودن ثانویه
۲- اعمال ولتاژ رفرانس نامی به سیم پیچ اولیه

آزمایش بی باری :



معیار آزمایش در اینجا ولتاژ نامی است.

$$I'_2 = I_2 = 0 \longrightarrow I_1 = I_{\varphi_1}$$

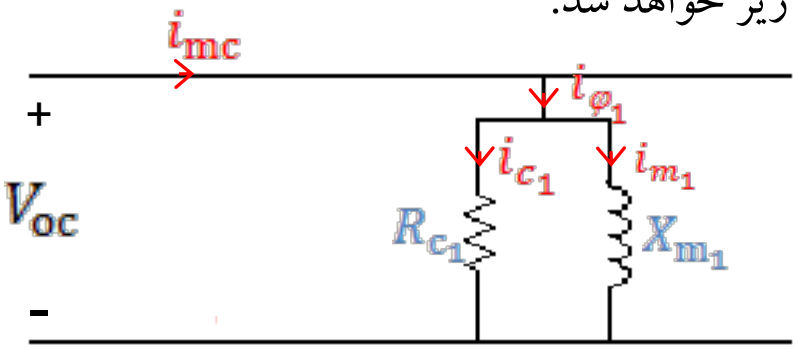
آزمایش در اولویه انجام نمی شود.

$$\text{OCT}: \begin{cases} V_{OC} = V_N \Rightarrow & \text{ولتاژ نامی} \\ I_{OC} = I_{\varphi_1} \Rightarrow & \text{جریان تحریک} \\ P_{OC} = P_e \text{ یا } P_{Fe} \Rightarrow & \text{تلفات هسته} \end{cases}$$

نکته: در این آزمایش از Z_1 هم صرفه نظر می کنیم و دلیل آن این است که:

$$|Z_1| = |(R_1 + jX_1)| \ll R_{C_1}, X_{m_1}$$

بنابراین مدار معادل ترانس در حالت بی باری به صورت زیر خواهد شد:



$$\begin{cases} V_{OC_{(p.u)}} = \dfrac{V_{1_{OC}}}{V_{1_b}} = \dfrac{V_{1_N}}{V_{1_N}} = 1 \\ I_{OC_{(p.u)}} = \dfrac{I_{1_{OC}}}{I_{1_b}} = \dfrac{I_{\varphi_1}}{I_{1_b}} = Y_{OC_{(p.u)}} \\ P_{OC_{(p.u)}} = P_{C_{(p.u)}} = \dfrac{P_{OC}}{I_b} = \dfrac{1}{R_{C_{(p.u)}}} = I_{C_{(p.u)}} \end{cases}$$

راه حل اول:

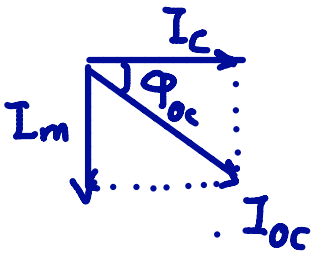
V_{oc}
I_{oc}
P_{oc} $\Longrightarrow$

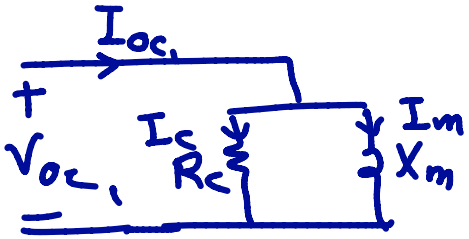
$$\begin{cases} P_{oc} = P_c = \dfrac{V_{1oc}^2}{R_{c_1}} \Longrightarrow \boxed{R_{c_1} = \dfrac{V_{1oc}^2}{P_{oc}}} \\ \boxed{Y_{1oc} = \dfrac{I_{1oc}}{V_{1oc}}} = \dfrac{1}{R_c} + \dfrac{1}{jX_m} \\ \dfrac{1}{X_{m_1}} = \sqrt{(Y_{1oc})^2 - (\dfrac{1}{R_{c_1}})^2} \Longrightarrow \boxed{X_{m_1} = \left(\sqrt{(Y_{1oc})^2 - (\dfrac{1}{R_{c1}})^2}\right)^{-1}} \end{cases}$$

$R_c = ?$
$X_m = ?$

راه حل دوم:

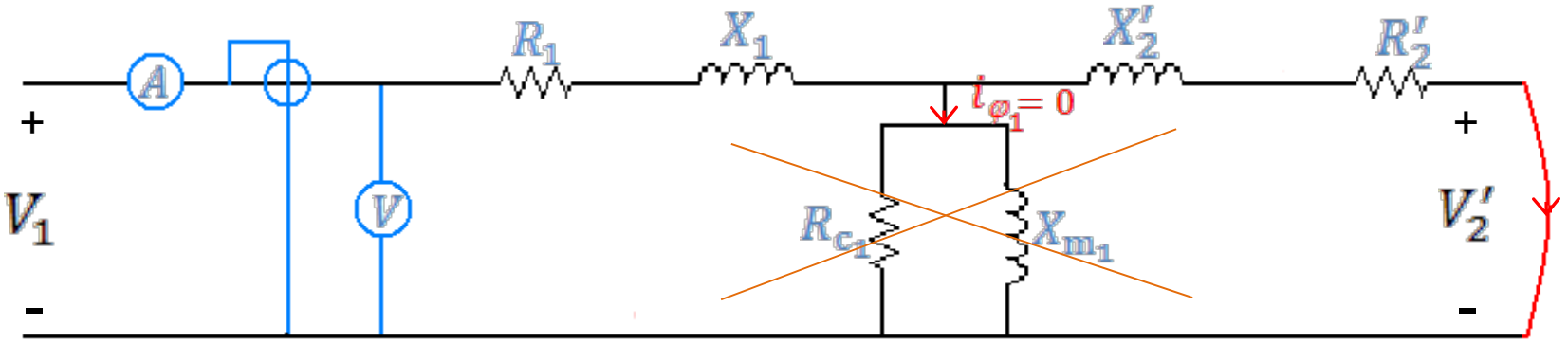
$$\cos\varphi_{oc} = \frac{P_{oc}}{V_{1oc}.I_{1oc}} \Longrightarrow \sin\varphi_{oc} = ?$$





$$\begin{cases} I_{c_1} = I_{1oc}.\cos\varphi_{oc} \longrightarrow R_{c1} = \dfrac{V_{1oc}}{I_{c_1}} \\ I_{m_1} = I_{1oc}.\sin\varphi_{oc} \longrightarrow X_{m1} = \dfrac{V_{1oc}}{I_{m_1}} \end{cases}$$

آزمایش اتصال کوتاه :



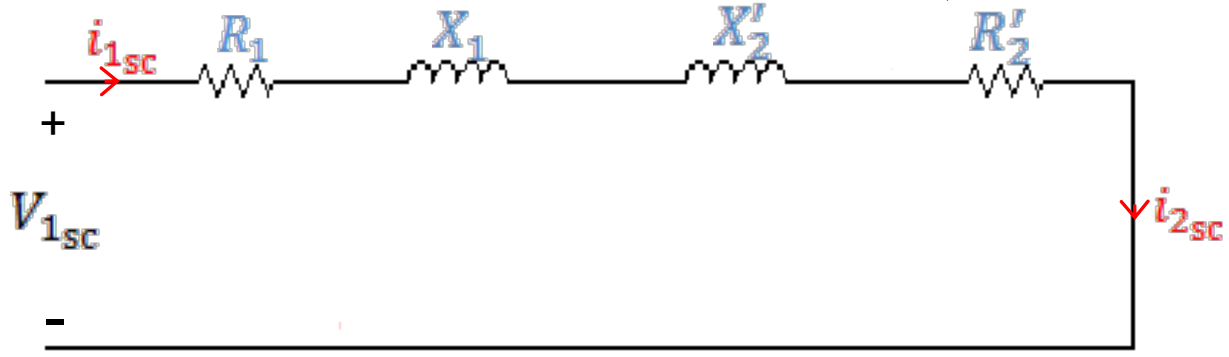
معیار آزمایش جریان نامی ترانس است.

$$\text{SCT}: \begin{cases} V_{1sc} = U_K \\ I_{1sc} = I_{1N} \Rightarrow \text{جریان نامی} \\ P_{sc} = P_{cu_N} \Rightarrow \text{تلفات مسی نامی} \end{cases}$$

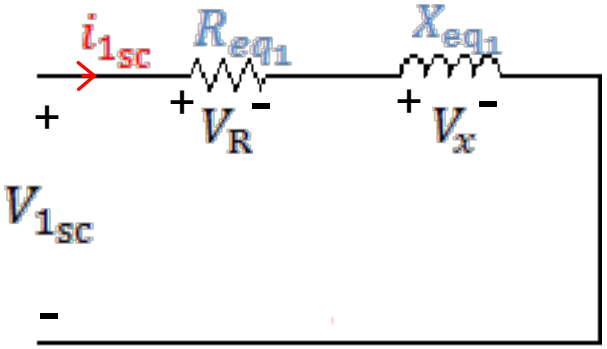
$(R'_2+jX'_2) \parallel (R_{c1} \parallel jX_m)$

$R'_2+jX'_2 \ll R_{c1} \parallel jX_m \Rightarrow \approx R'_2+jX'_2$

چون شاخه ثانویه ترانس با R_{c1} و X_{c1} موازی بوده و امپدانس بسیار کمتری نسبت به آن ها دارد، بنابراین از R_{c1} و X_{c1} صرف نظر می کنیم.



بنابراین مدار معادل ترانس در حالت اتصال کوتاه به صورت زیر خواهد شد:



$$\begin{cases} R_{eq_1} = R_1 + R'_2 \\ X_{eq} = X_1 + X'_2 \end{cases}$$

راه حل اول:

$$\begin{cases} R_{eq_1} = \dfrac{P_{sc}}{I_{1sc}^2} \\ |Z_{eq_1}| = \dfrac{V_{1sc}}{I_{1sc}} = \sqrt{R_{eq_1}^2 + X_{eq_1}^2} \\ X_{eq_1} = \sqrt{Z_{eq_1}^2 - R_{eq_1}^2} \end{cases}$$

$$\begin{cases} R_1 = R'_2 = \dfrac{R_{eq_1}}{2} \\ X_1 = X'_2 = \dfrac{X_{eq_1}}{2} \end{cases}$$

۴۲

راه حل دوم: راه حل اول کامل‌تر است.

$$|Z_{eq_1}| = \frac{V_{1sc}}{I_{1sc}}$$

$$\cos\varphi_{sc} = \frac{P_{sc}}{V_{1sc}.I_{1sc}} \Longrightarrow \sin\varphi_{sc} = ?$$

$$\begin{cases} R_{eq_1} = |Z_{eq_1}|.\cos\varphi_{sc} \\ X_{eq_1} = |Z_{eq_1}|.\sin\varphi_{sc} \end{cases}$$

راه حل سوم:

$$\cos\varphi_{sc} = \frac{P_{sc}}{V_{1sc}.I_{1sc}} \Longrightarrow \sin\varphi_{sc} = ?$$

$$\begin{cases} V_R = V_{1sc}.\cos\varphi_{sc} \longrightarrow R_{eq_1} = \dfrac{V_R}{I_{1sc}} \\ V_R = V_{1sc}.\sin\varphi_{sc} \longrightarrow X_{eq_1} = \dfrac{V_R}{I_{1sc}} \end{cases}$$

$$\therefore \begin{cases} R_1 = R'_2 = \dfrac{R_{eq_1}}{2} \\ X_1 = X'_2 = \dfrac{X_{eq_1}}{2} \end{cases}$$

مثال یک ترانسفورماتور تک‌فاز ۱۰ کیلوولت‌آمپری، $\frac{۲۲۰۰}{۲۲۰}$ ولتی و ۶۰ هرتزی مفروض است و بر روی آن دو آزمایش اتصال کوتاه و مدار باز انجام شده‌است. نتایج این دو آزمایش در جدول زیرآمده است.

آزمایش اتصال کوتاه. طرف LV اتصال کوتاه‌است	آزمایش بی‌باری. طرف HV باز است	
وات ۲۱۵	وات ۱۰۰	W (عدد واتمتر)
آمپر ۴/۵۵	آمپر ۲/۵	A (عددآمپرمتر)
ولت ۱۵۰	ولت ۲۲۰	V (عدد ولتمتر)

الف : پارامترهای مدار معادل تقریبی را نسبت به دو سمت LV و HV به دست آورید.

ب : جریان تحریک را بیابید.

ج : ضریب توان[۱] ترانسفورماتور را در دو آزمایش OCT , SCT حساب کنید.

روش اول:

$$P_{oc_2} = \frac{V_{oc_2}^2}{R_{c_2}} \Rightarrow R_{c_2} = \frac{V_{oc_2}^2}{P_{oc_2}} = \frac{(220)^2}{100} = 484\,\Omega$$

$$|Y_{oc_2}| = \frac{I_{oc_2}}{V_{oc_2}} = \frac{2.5}{220} = 0.01136 \Rightarrow \frac{1}{X_{m_2}} = \sqrt{|Y_{oc_2}|^2 - \frac{1}{R_c^2}} = 0.01117 \Rightarrow X_{m_2} = 895$$

$$\text{LV}\begin{cases} R_{c_2} = 484\,\Omega \\ X_{m_2} = 89.5 \end{cases} \Rightarrow \text{HV}\begin{cases} R_{c_1} = a^2 \cdot R_{c_2} = \left(\frac{2200}{220}\right)^2 484 = 48400\,\Omega \\ X_{m_1} = a^2 \cdot X_{m_2} = 100 \times 89.5 = 8950\,\Omega \end{cases}$$

روش دوم:

$$P_{oc_2} = V_{oc_2} \cdot I_{oc_2} \cdot \cos\varphi_{oc} \Rightarrow \cos\varphi_{oc} = \frac{P_{oc_2}}{V_{oc_2} \cdot I_{oc_2}} = \frac{100}{220 \times 2.5} = 0.182$$

$$\varphi_{oc_2} = \cos^{-1} 0.182 = 79.5^\circ \Rightarrow \sin\varphi_{oc_2} = 0.983$$

$$\Rightarrow \begin{cases} I_{c_2} = I_{oc_2} \cdot \cos\varphi_{oc} = 0.455 \\ I_{m_2} = I_{oc_2} \cdot \sin\varphi_{oc} = 2.4575 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} R_{c_2} = \frac{V_{oc_2}}{I_{c_2}} = \frac{220}{0.456} = 483.5\,\Omega \\ X_{m_2} = \frac{V_{oc_2}}{I_{m_2}} = \frac{220}{2.4575} = 89.5\,\Omega \end{cases}$$

آزمایش اتصال کوتاه:

$$R_{eq_1} = \frac{P_{sc_1}}{I_{sc_1}^2} = \frac{215}{4.55^2} = 10.38\ \Omega$$

$$|Z_{eq_1}| = \frac{V_{sc_1}}{I_{sc_1}} = \frac{150^V}{4.55} = 32.96 \Rightarrow X_{eq_1} = \sqrt{|Z_{eq_1}|^2 - R_{eq_1}^2} = 31.289\ \Omega$$

HV
$$\begin{cases} R_{eq_1} = R_1 + R_2' = 10.38\ \Omega \\ X_{eq_1} = X_1 + X_2' = 32.96\ \Omega \end{cases}$$

LV
$$\begin{cases} R_{eq_2} = \frac{1}{a^2} \cdot R_{eq_1} = 0.1038\ \Omega \\ X_{eq_2} = \frac{1}{a^2} \cdot X_{eq_1} = 0.3296\ \Omega \end{cases}$$

ب) جریان تحریک: $I_{oc_1} = I_\varphi$

$$I_{oc_2} = I_{\varphi_2} = 2.5\ A \Rightarrow I_\varphi = \frac{1}{a} I_{oc_2} = 0.25^A$$

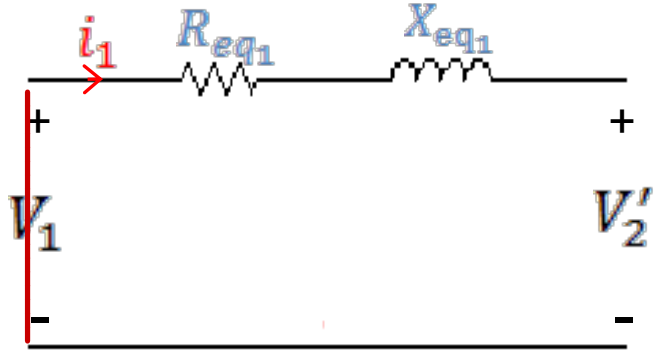
ج)

$$\cos\varphi_{oc} = \frac{P_{oc_2}}{V_{oc_2} \cdot I_{oc_2}} = 0.182$$

$$\cos\varphi_{sc} = \frac{P_{sc_1}}{V_{sc_1} \cdot I_{sc_1}} = \frac{215}{150 \times 4.55} = 0.315$$

ولتاژ امپدانسی :

اگر مدار تقریبی یک ترانس را در نظر بگیریم و از شاخه موازی صرف نظر کنیم:



ولتاژ امپدانسی

از دیدگاه اولیه ⟶ $U_{k_1} = |Z_{eq_1}| . |I_{1_N}| = V_{1_{sc}}$ ولتاژ اتصال کوتاه اولیه

از دیدگاه ثانویه ⟶ $U_{k_2} = |Z_{eq_2}| . |I_{2_N}| = V_{2_{sc}}$ " " ثانویه

نکته: افت ولتاژ روی امپدانس سری ترانس در جریان نامی را ولتاژ امپدانسی گویند.

(معمولا ولتاژ امپدانسی را با درصد بیان می کنند.)

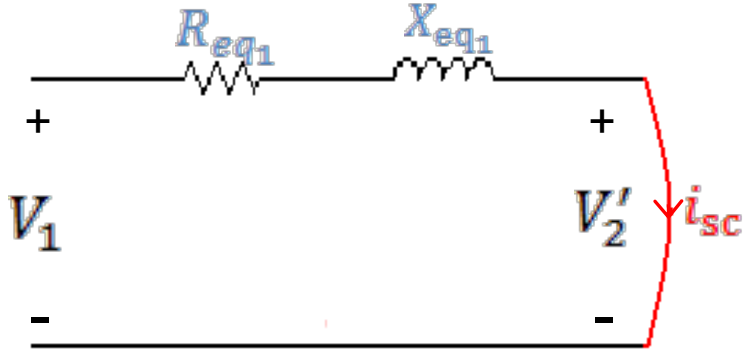
$\%U_k$: ولتاژ امپدانسی در دواقع نشان می دهد چند درصد از ولتاژ روی امپدانس سری در جریان نامی افت می کند:

$$\%U_k = \frac{U_{k1}}{V_{1N}} \times 100 = \frac{|Z_{eq_1}| \cdot |I_{1N}|}{V_{1N}} \times 100 = \frac{|Z_{eq_1}| \times |I_{1N}|}{Z_{b_1} \cdot I_{N_1}} \times 100 = Z_{p.u_1} \times 100$$

$$\%U_k = V_{sc_{(p.u)}} \times 100 = Z_{eq_{(p.u)}} \times 100$$

نکته: به لحاظ تلفات و افت ولتاژ در امپدانس سری ترانس هر چه $\%U_k$ مقدار کمتری داشته باشد، مناسب تر است اما به لحاظ حفاظت ترانس در برابر جریان ناخواسته اتصال کوتاه، بزرگ بودن $\%U_k$ بهتر است.

جریان اتصال کوتاه ترانس :



$$I_{sc} = \frac{V_{1N}}{Z_{eq_1}} = \frac{V_{1N}}{\frac{U_{k_1}}{I_{1N}}} = \frac{I_{1N}}{\frac{U_{k_1}}{V_{1N}}}$$

$$\longrightarrow I_{sc} = \frac{I_{1N}}{\frac{\%U_{k_1}}{100}}$$

$$\longrightarrow \boxed{I_{sc} = \frac{I_{1N}}{\%U_{k_1}} \times 100}$$

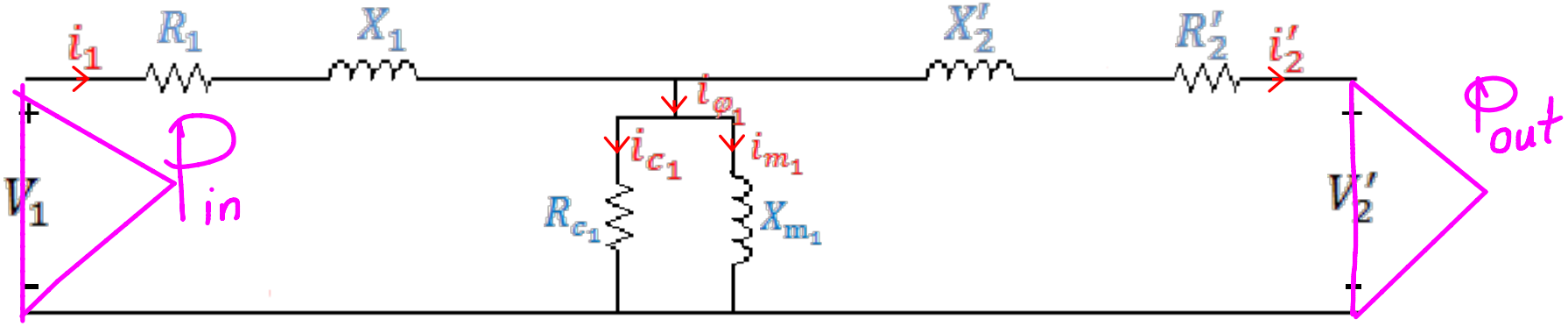
لذا ترانس های کوچک U_k%کوچک و ترانس های بزرگ U_k% بزرگی خواهند داشت.

نکته: برای افزایش **U_k%**، شارهای نشتی را بیشتر می کنند.

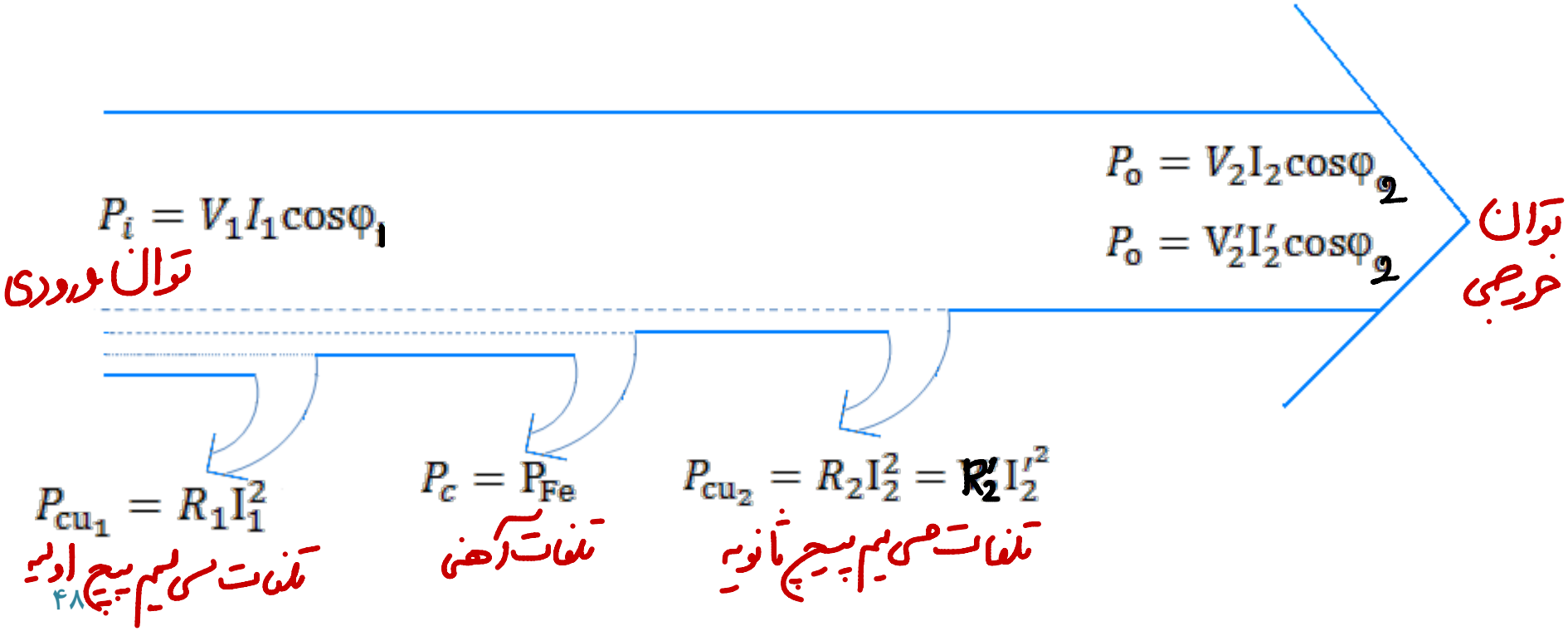
نکته: هرچه توان ترانس ها بالاتر رود، **U_k%** آن هم بیشتر می شود.

نکته: جریان اتصال کوتاه با **U_k%** رابطه عکس دارد.

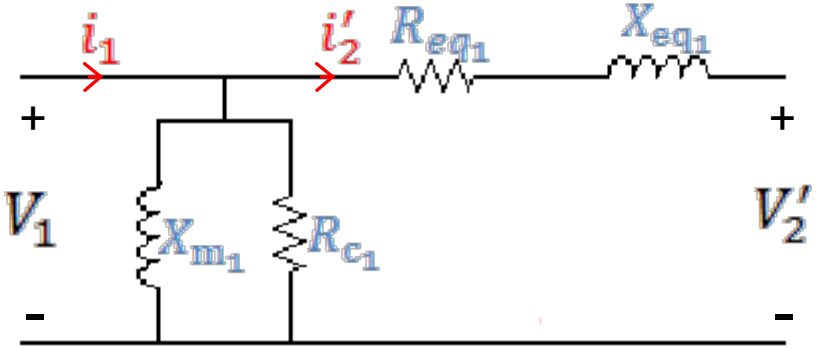
پخش توان و بهره (بازدهی) :



بلوک دیاگرام توان در یک ترانس:



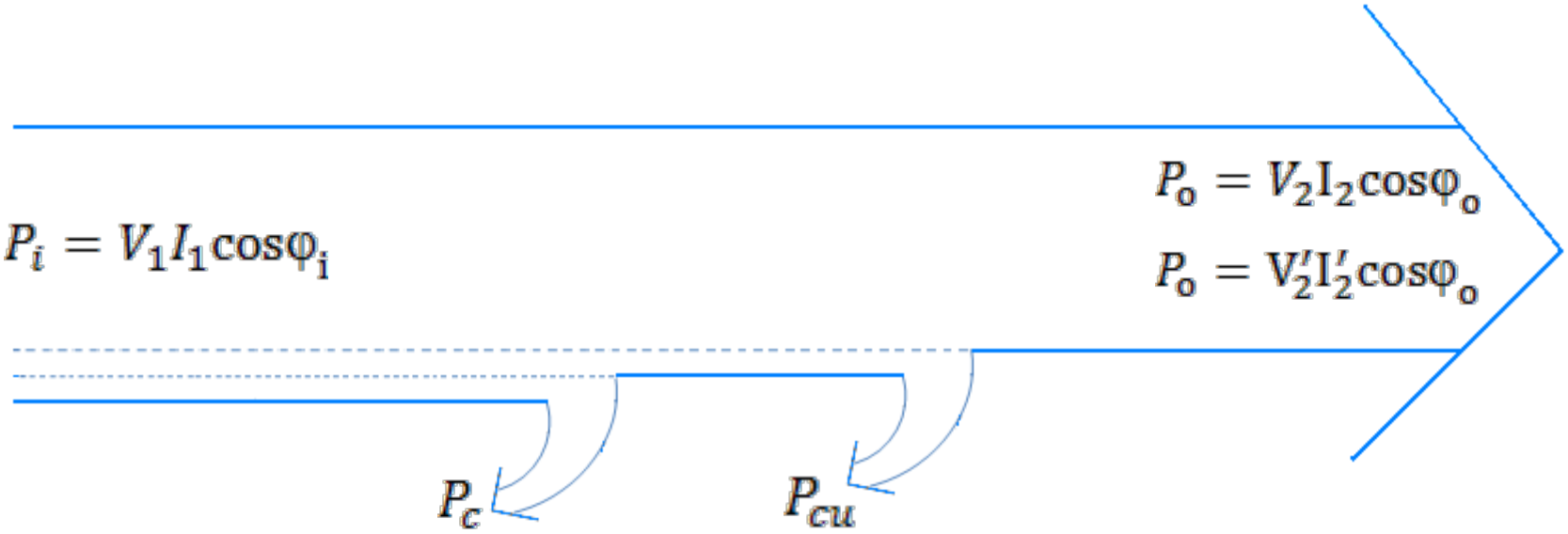
با صرف نظر کردن از مقاومت سیم پیچ و شار نشتی داریم:



$$P_{cu} = R_{eq_1} i_2'^2 = P_{cu_1} + P_{cu_2}$$

$$R_{eq_1} = R_1 + R_2'$$

بلوک دیاگرام توان در یک ترانس:



بازدهی توان :

$$\%\eta = \frac{P_o}{P_i} \times 100 = \frac{P_o}{P_o + P_{cu} + P_c} \times 100$$

$$\%\eta = \frac{V_2 I_2 \cos\varphi_o}{V_2 I_2 \cos\varphi_o + R_{eq_1} I_i^2 + \frac{V_i^2}{R_{c_1}}} \times 100$$

با استفاده از مدار معادل تقریبی

نکته: برای محاسبه توان تمام المان ها باید با پریم و یا تمام المان ها بدون پریم باشند.

اگر α نسبت توان کار ترانس به توان نامی باشد:

$$\alpha = \frac{S_L}{S_N} \Rightarrow S_L = \alpha S_N$$

و ولتاژ V_2 را ثابت فرض کنیم:

اگر توان درصدی از توان نامی باشد جریان هم درصدی از جریان نامی خواهد بود.

$$\left.\begin{aligned} |S_L| &= |V_{2_N}| . |I_2| \\ |S_N| &= |V_{2_N}| . |I_{2N}| \end{aligned}\right\} \longrightarrow \alpha = \frac{S_L}{S_N} = \frac{I_2}{I_{2N}} \longrightarrow I_2 = \alpha I_{2N}$$

$$\%\eta = \frac{V_{2N} I_2 \cos\varphi_o}{V_{2N} I_2 \cos\varphi_o + R_{eq_1} I_2'^2 + P_c} \times 100$$

$$\longrightarrow \%\eta = \frac{x(V_{2N} I_{2N})\cos\varphi_o}{x(V_{2N} I_{2N})\cos\varphi_o + x^2 R_{eq_1} I_{2N}'^2 + P_c} \times 100$$

$$\longrightarrow \boxed{\%\eta = \frac{x S_N \cos\varphi_o}{x S_N \cos\varphi_o + x^2 P_{cu_N} + P_c} \times 100}$$

اگر تولید ۰ درصدی از توان نامی باشه

برای پریونیت داریم:

$$\%\eta = \frac{x\cos\varphi}{x\cos\varphi + x^2 R_{eq_{(p.u)}} + \frac{1}{R_{c_{(p.u)}}}} \times 100$$

$$\%\eta = \frac{x\cos\varphi}{x\cos\varphi + x^2 P_{sc_{(p.u)}} + P_{oc_{(p.u)}}} \times 100$$

$$\eta = \frac{V_2 I_2 \cos\varphi}{V_2 I_2 \cos\varphi + Req_1 I_2'^2 + P_c} \times 100 \Rightarrow \boxed{\eta = f(I_2, \cos\varphi)}$$

بازدهی یک ترانسفورماتب است

چون دیدیم بازدهی ترانسفورماتب تابعی از I_2 و $\cos\varphi$ است

اگر بخواهیم حداکثر راندمان را بدست آوریم:

محاسبه مقدار $\cos\varphi$ و I_2 که بازدهی آن ترانسفورماتور را حداکثر گردد.

$$\left.\begin{array}{l} I_2 = cte \Rightarrow \dfrac{\partial \eta}{\partial \varphi} = 0 \\ \varphi = cte \Rightarrow \dfrac{\partial \eta}{\partial I_2} = 0 \end{array}\right\} =$$

$$I_2 = cte \Rightarrow \frac{\partial \eta}{\partial \varphi} = -V_2 I_2 \sin\varphi (V_1 I_2 \cos\varphi + P_{cu} + P_c) + V_2 I_2 \sin\varphi (V_2 I_2 \cos\varphi) = 0$$

$$-V_2 I_2 \sin\varphi (P_{cu} + P_c) = 0 \Rightarrow \sin\varphi = 0 \Rightarrow \boxed{\varphi = 0} \Rightarrow \cos\varphi = 1$$

$$\varphi = cte \Rightarrow \frac{\partial \eta}{\partial I_2} = 0 \Rightarrow \frac{\partial \eta}{\partial I_2} = V_2 \cos\varphi (V_2 I_2 \cos\varphi + Req_2 I_2^2 + P_c) -$$

$$(V_2 \cos\varphi + 2 Req_2 I_2)(V_2 I_2 \cos\varphi) = 0$$

$$\boxed{P_{cu} = P_c}$$

$$\Rightarrow V_2 \cos\varphi (Req_2 I_2^2 + P_c) - V_2 \cos\varphi (2 Req_2 I_2^2) = 0 \Rightarrow V_2 \cos\varphi [P_{cu} + P_c - 2P_{cu}] = 0$$

بازدهی ماکزیمم ترانس :

۱- دامنه جریان بار (I_2) ثابت و φ_o متغیر باشد:

$$\frac{d\eta}{d\varphi_o} = 0 \Rightarrow \boxed{\cos\varphi_o = 1}$$

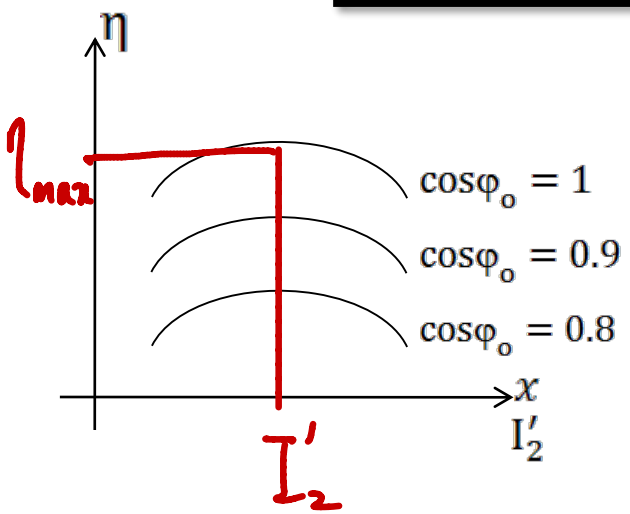
۲- φ_o ثابت و دامنه جریان متغیر باشد:

$$\frac{d\eta}{dI_2'} = 0 \text{ یا } \frac{d\eta}{dx} = 0 \Rightarrow \boxed{P_{cu} = P_c}$$

درصدی از توان نامی که در آن راندمان حداکثر است .

$$\rightarrow \boxed{x_{\eta_{max}} = \sqrt{\frac{P_c}{P_{cu_N}}} = \frac{P_{oc}}{P_{sc}}}$$

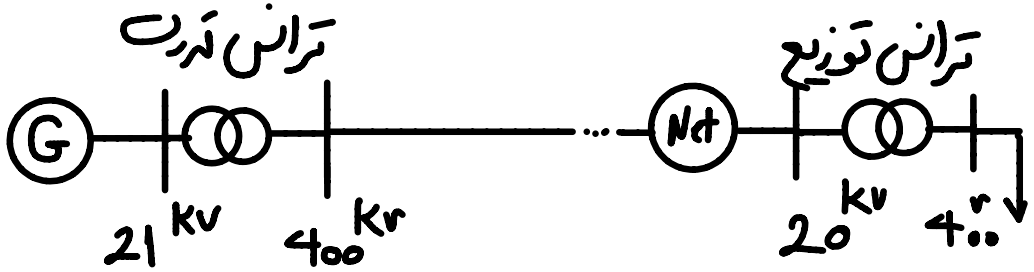
نکته: در هر اگر شرایط صادق باشد، بازده **max** را داریم:



اما اگر بهترین حالت را در نظر بگیریم: $\cos\varphi_o = 1$

$$\boxed{\%\eta_{max} = \frac{P_o}{P_o + 2P_c} \times 100}$$

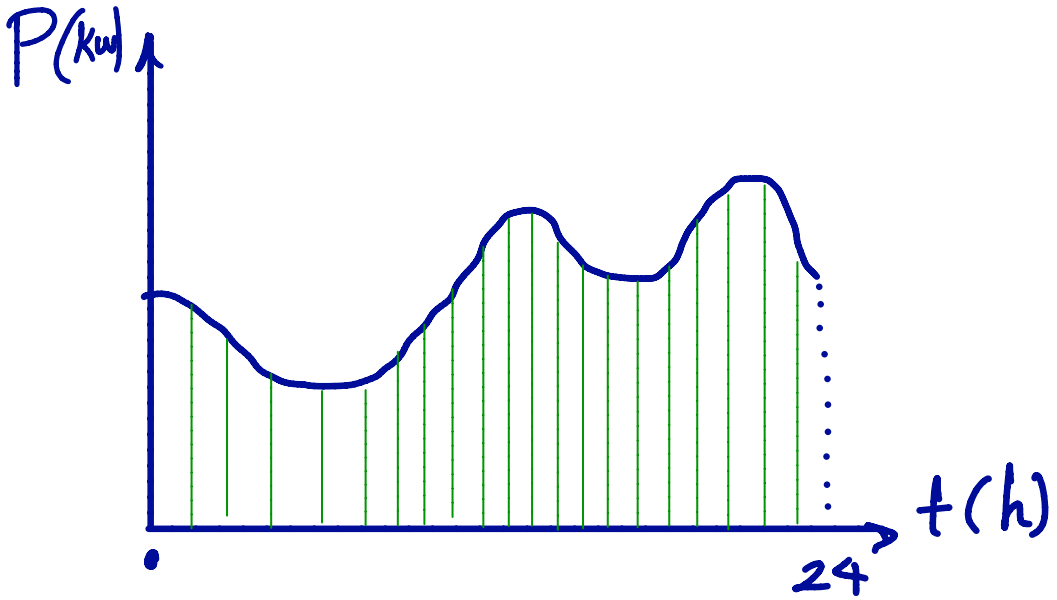
مقایسه بازدهی بهینه ترانس های قدرت و توزیع



ترانس های قدرت معمولاً در نیروگاه ها با پست ها انتقال نصب می شوند.

از لحاظ کاربردی انتظار داریم تا زمان ترانس قدرت در جریان اسمی ماکزیمم گردد بنابراین تلفات مس بسیار کم خواهد بود.

در ترانس های توزیع جریان خروجی همواره در حال تغییر است. لذا طوری ساخته می شوند که در ۵۰٪ جریان نامی راندمان ماکزیمم گردد. این ترانس ها چون همیشه در شبکه هستند بنابراین تلفات هسته حائز اهمیت خواهد بود.



انرژی $E = P.t$ kwh

بازده شبانه روزی :

$$\%\eta_{AD} = \frac{\text{انرژی خروجی ترانس در 24 ساعت}}{\text{انرژی ورودی ترانس در 24 ساعت}} \times 100$$

$$\%\eta_{AD} = \frac{\text{انرژی خروجی ترانس در 24 ساعت}}{\text{(انرژی تلفات ترانس + انرژی خروجی ترانس) در 24 ساعت}} \times 100$$

$$\%\eta_{AD} = \frac{\sum_{t=0}^{24} P_o.t = \sum_{t=0}^{24} V_2' I_2' \cos\varphi_o t = \sum_{t=0}^{24} x S_N \cos\varphi_o t}{\text{صورت} + \sum_{t=0}^{24} x^2 P_{cu} t + \sum_{t=0}^{24} P_c t} \times 100$$

مثال در ترانسفورماتور مثال (۲-۲) مطلوبست:

الف : بازده در شرایطی که بارترانسفورماتور ۷۵ درصد بار اسمی بوده و ضریب توان بار ۰/۶ باشد.

ب : در شرایط بازده ماکزیمم(بهره بیشینه) توان خروجی چقدر است و بازده ماکزیمم را بیابید. بازده ماکزیمم در چه درصدی از بار اسمی رخ می‌دهد.

$P_{oc} = 100\ ^{w}$, $P_{sc} = 215\ ^{w}$, $S = 10\ KVA$

الف)

$$P_o^{0.75} = S \cdot \cos\varphi \cdot 0.75 = 10 \times 0.6 \times 0.75 = 4500\ ^{w} = 4.5\ ^{kw}$$

$$P_{cu}^{0.75} = (0.75)^2 \cdot P_{sc} = (0.75)^2 \cdot 215 = 121\ ^{w} \quad , \quad P_c = 100\ ^{w}$$

$$\eta = \frac{P_o}{P_o + P_{cu} + P_c} \times 100 = \frac{4500}{4500 + 121 + 100} \times 100 = \%95.32$$

ب)

$$\left.\begin{matrix} \cos\varphi = 1 \\ P_c = P_{cu} \end{matrix}\right\} \Rightarrow P_o = S \cdot \cos\varphi \cdot x = 10 \times 1 \times 0.682 = 6820^{w}$$

در ۶۸.۲٪ جریان نامی، راندمان بیشینه می‌گردد.

$$x\,\eta_{max} = \sqrt{\frac{P_{oc}}{P_{sc}}} = \sqrt{\frac{100}{215}} = 0.682$$

$$\eta_{max} = \frac{P_o}{P_o + 2P_c} \times 100 = \frac{6820}{6820 + 200} \times 100 = \%97.15$$

مثال یک ترانسفورماتور تک فاز ۵۰ کیلو ولت آمپری، $\frac{۲۴۰۰}{۲۴۰}$ ولتی مفروض است. تلفات هسته در شرایط اسمی (P_c) برابر ۲۰۰ وات و تلفات مسی آن در شرایط اسمی (P_{cu}) برابر ۵۰۰ وات است. سیکل بار این ترانسفورماتور به قرار زیر است.

درصدبار	صفر	٪۵۰	٪۷۵	٪۱۰۰	٪۱۱۰
ضریب توان بار		۱	۰/۸ پس فاز	۰/۹ پس فاز	۱
ساعت تداوم بار	۶	۶	۶	۳	۳

$P = S \cdot \cos\varphi$

S ↓

50 kVA

انرژی خروجی در طول $24^h = 0.5 \times 50 \times 1 \times 6 + 0.75 \times 50 \times 0.8 \times 6 + 1 \times 50 \times 0.9 \times 3$

$+ 1.1 \times 50 \times 1 \times 3 = 630$ kwh

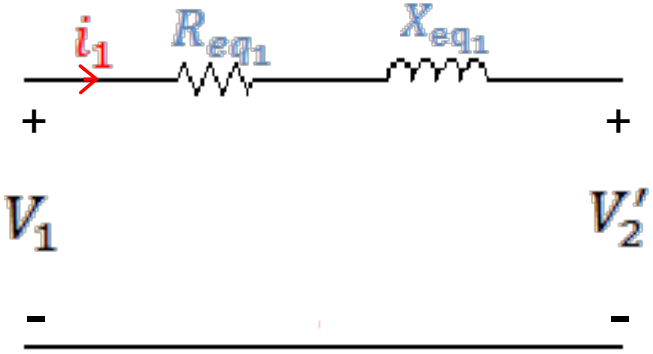
انرژی تلفات هسته در طول $24^h = 200 \times 24 = 4800$ wh $= 4.8$ kwh

انرژی تلفات مسی در طول $24^h = (0.5)^2 \times 500 \times 6 + (0.75)^2 \times 500 \times 6 + 1 \times 500 \times 3 +$

$(1.1)^2 \times 500 \times 3 = 5.76$ kwh

بازده شبانه‌روزی $= \frac{630}{630 + 4.8 + 5.76} \times 100 =$ **٪98.35**

رگولاسیون ولتاژ (تنظیم ولتاژ) :

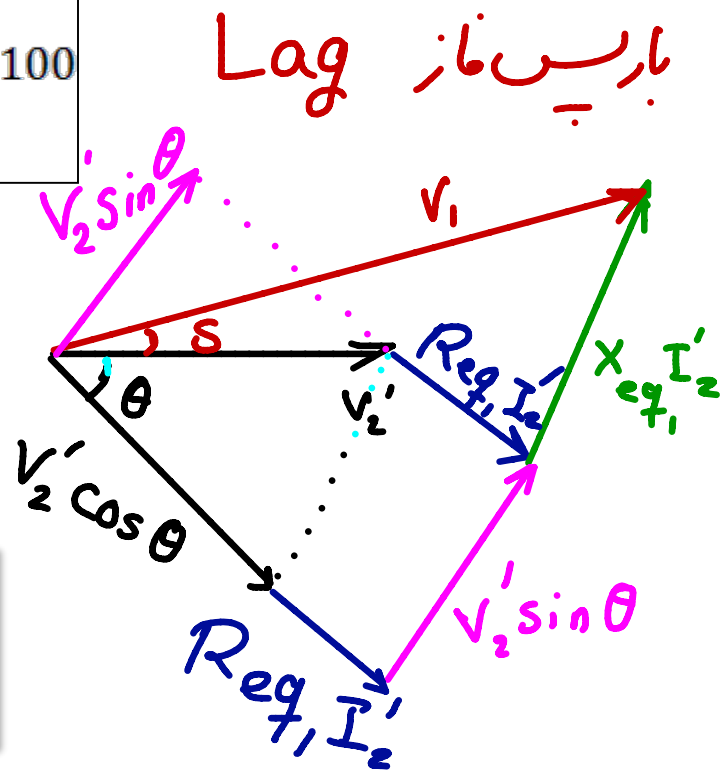


$$V_1 = V_2' + (R_{eq_1} + jXeq_1)I_2' = V_2' + Req_1 I_2' + j\,Xeq_1 I_2'$$

$$\text{تنظیم ولتاژ} = \frac{\text{ولتاژ خروجی در بی باری} - \text{ولتاژ خروجی در باراری}}{\text{خروجی در باراری}} \times 100$$

$$\%V.R = \frac{|V_{2(NL)}'| - |V_{2(FL)}'|}{|V_{2(FL)}'|} \times 100$$

$$V_{2(NL)}' = V_1 \longrightarrow \%V.R = \frac{|V_1| - |V_2'|}{|V_2'|} \times 100$$



$$|V_1| = \sqrt{(V_2' \cos\theta + Req_{f_2} I_2')^2 + (Xeq_{f_2} I_2' \pm V_2' \sin\theta)^2}$$

+ بار پس فاز Lag

− بار پیش فاز Lead

بارسلفی ($I_2 = |I_2'| \angle \pm \varphi$):

خازنی

سلفی

$$V_1 = V_2' + (R_{eq_i} + Xeq_1)(|I_2'|\cos\varphi \pm j|I_2'|\sin\varphi)$$

خازنی

سلفی

$$V_1 = V_2' + (R_{eq_1}|I_2'|\cos\varphi \mp x_{eq_1}|I_2'|\sin\varphi)$$

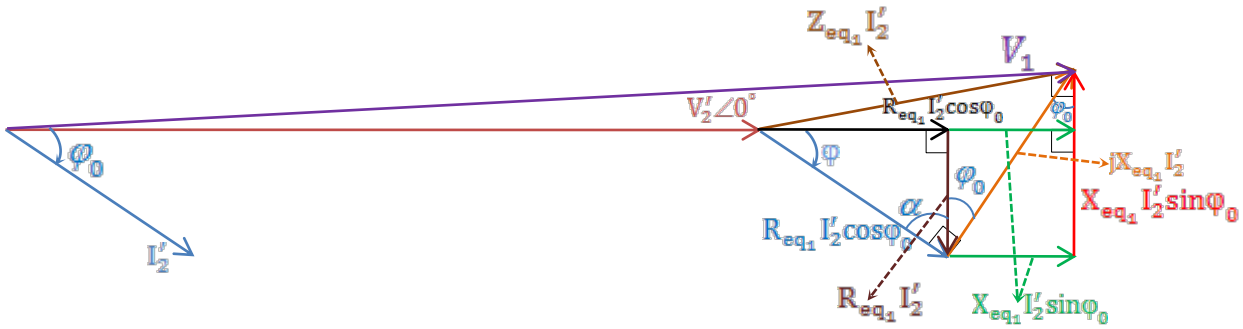
$$+ j(Xeq_1\cos\varphi \pm R_{eq_1}\sin\varphi)|I_2'|$$

خازنی

سلفی

$$\rightarrow \begin{cases} v_1 = Re(v_1) + jIm(v_1) \\ |v_1| = \sqrt{Re^2(v_1) + Im^2(v_1)} \simeq R_e(v_1) \end{cases}$$

دیاگرام فازوری آن به شکل زیر خواهد بود:



$$\Delta V = |V_1| - |V'_2| = \mathrm{Re}(v_1) - |V'_2|$$

$$\Delta V = x\left(R_{eq_1}\cos\varphi \mp x_{eq_1}\sin\varphi\right)|I'_{2_N}|$$

$$\Delta V = \left(R_{eq_1}\cos\varphi \mp x_{eq_1}\sin\varphi\right)|I'_2|$$

$$\%V.R = \frac{\Delta V}{|V_2'|} \times 100 = \frac{(R_{eq_1}\cos\varphi \mp x_{eq_1}\sin\varphi)|I_2'|}{|V_2'|} \times 100$$

$$\%V.R = \frac{\Delta V}{|V_2'|} \times 100 = \frac{x(R_{eq_1}\cos\varphi \mp x_{eq_1}\sin\varphi)|I_{2_N}'|}{|V_{2_N}'|} \times 100$$

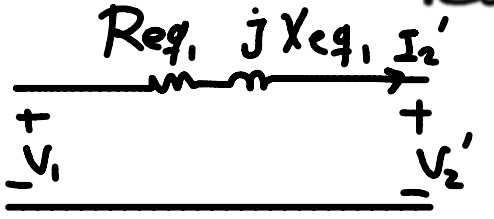
در حالت پریونیت هم به صورت زیر خواهد شد:

$$\%V.R = x\left(R_{eq_{(P.u)}}\cos\varphi \mp x_{eq_{(P.u)}}\sin\varphi\right) \times 100$$

مثال ترانسفورماتور مثال (۲-۲) را در نظر می‌گیریم. در شرایط زیرتنظیم ولتاژ را حساب کنید.

الف: بار ترانسفورماتور ۷۵ درصد بار اسمی بوده و ضریب توان ۰/۶ پس فاز است

ب : بار ترانسفورماتور مثل فرض "الف" بوده ولی ضریب توان ۰/۶ پیش فاز است.



$2200/220$, $f=60^{Hz}$, $X_{eq_1}=31.3\,\Omega$, $R_{eq_1}=10.4\,\Omega$

$I_{in}=4.55^{A}$

$$\%VR=\frac{|V_1|-|V_2'|}{|V_2'|}\times 100$$

$$V_2'=aV_2=10\times 220=2200^{V}$$

$$|I_1|=0.75\cdot I_1=0.75\times 4.55=3.41^{A}$$ الف)

$$|V_1|=\sqrt{(2200\times 0.6+10.4\times 3.41)^2+(31.3\times 3.41+2200\times 0.8)^2}=2306.94$$

$\cos\varphi=0.6 \Rightarrow \sin\varphi=0.8$

$$\%VR=\frac{2306.94-2200}{2200}\times 100=\%4.86$$

راه حل دوم: ۱-

$$V_1=V_2'+(R_{eq_1}+jX_{eq_1})I_2'=2200\angle 0^{\circ}+(10.4+j31.3)\cdot 3.41\angle -\cos 0.6$$

$$V_1=2306.94\angle 0.9$$

(ب

$$|V_1| = \sqrt{(2200 \times 0.6 + 10.4 \times 3.41)^2 + (31.3 \times 3.41 - 2200 \times 0.8)^2} = 2137.9$$

$$\%VR = \frac{2137.9 - 2200}{2200} \times 100 = -2.82\%$$

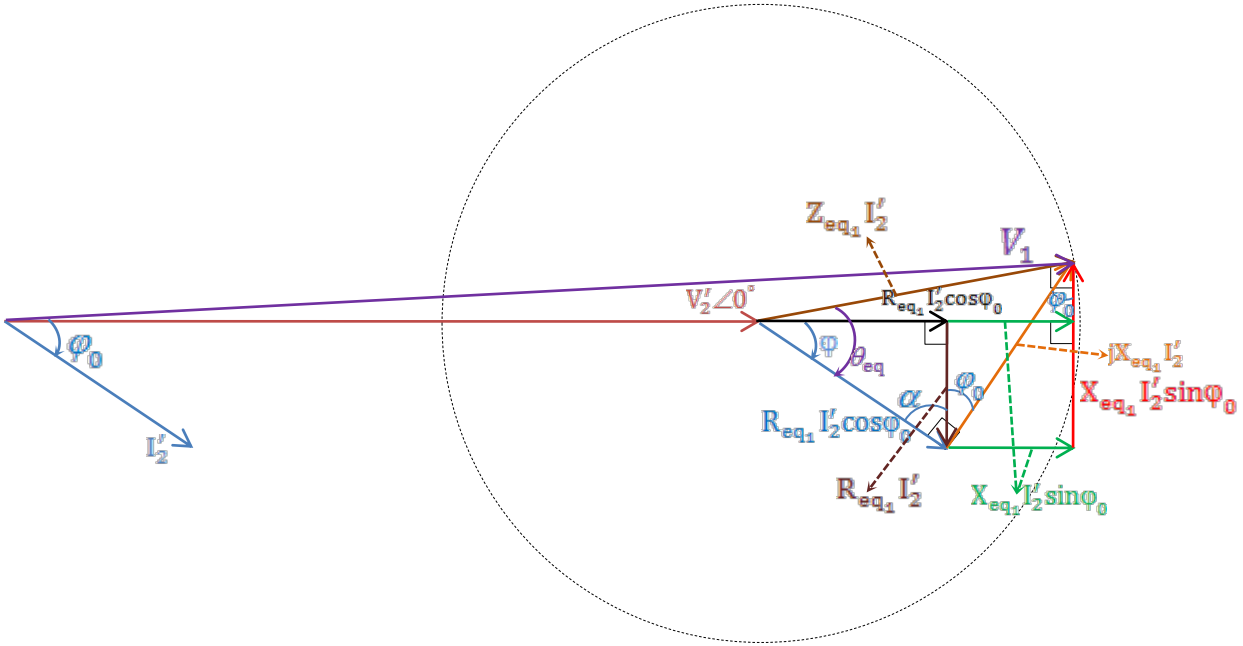
روش دوم:

$$V_1 = V_2' + (Req_1 + jXeq_1) I_2' = 2200 + (10.4 + j31.3) \cdot 3.41 \angle \underbrace{\cos 0.6}$$

$$V_1 = 2137.9 \angle 2.48$$

ماکزیمم توان ولتاژ:

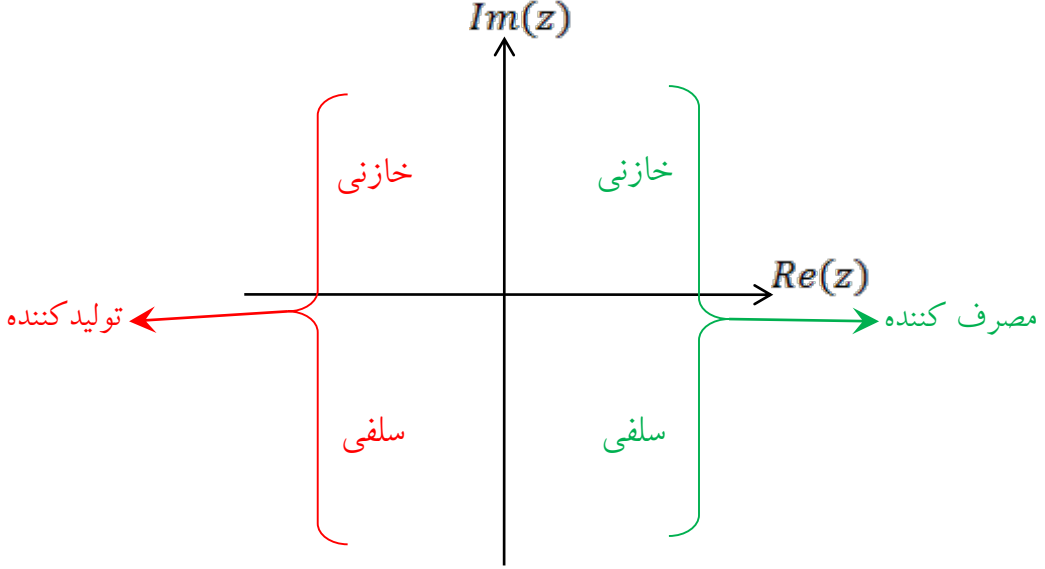
برای بررسی ماکزیمم رگولاسیون اندازه جریان را ثابت در نظر می گیریم و فقط زاویه φرا متغیر می دانیم در این صورت با تغییر φ مکان هندسی نقاطی که انتهای بردار V_1 در آنها واقع می شود یک دایره به مرکز V_2' انتهای و شعاع $Z_{eq_1} I_2'$ خواهد بود.



نکته: زمانی مقدار V_1 بیشترین طول را دارد که:

$$\varphi_o = \theta_{eq}$$

نکته:



نکته: زمانی ماکزیمم ولتاژ را داریم که بار سلفی باشد و زاویه بار برابر زاویه امپدانس ترانس باشد : $|\varphi_o| = |\theta_{eq}|$

برای محاسبه تنظیم ولتاژ ماکزیمم داریم:

$$\%V.R_{max} = \frac{|Z_{eq_1}|.|I'_2|}{|V'_2|} \times 100$$

برای **P.u** :

$$\%V.R_{max} = x\, Z_{eq_{(P.u)}} \times 100$$

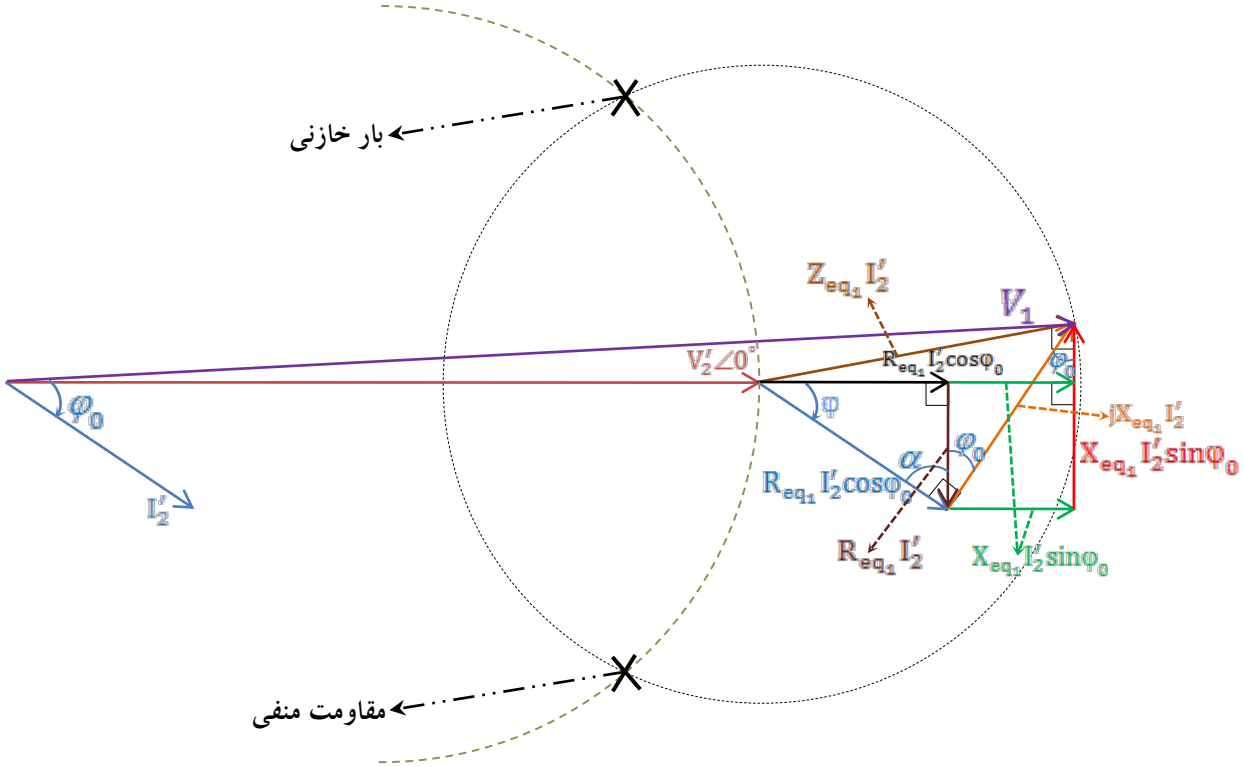
برای بیشترین ماکزیمم هم داریم:

$$x = 1 \longrightarrow \%V.R_{max_{(max)}} = Z_{eq_{(P.u)}} \times 100$$

تنظیم ولتاژ صفر:

مکان هندسی V_i یک دایره به شعاع V_2' که دایره مکان هندسی V_1 را قطع می کند:

در محل برخورد دو مکان هندسی $\boxed{V_1 = V_2'}$ است:



خازنی

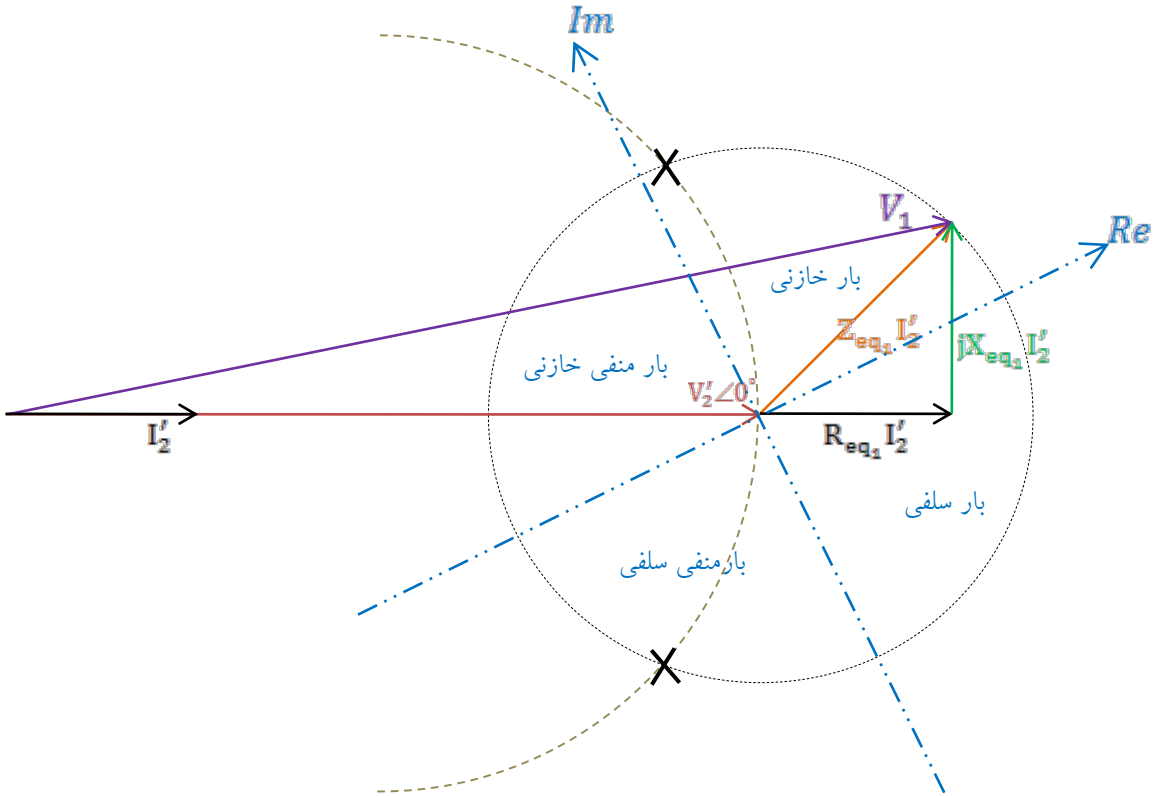
$$\Delta V = \left(R_{eq_1}\cos\varphi_o \mp x_{eq_1}\sin\varphi_o\right)I_2' = 0$$

سلفی

خازنی

$$\Delta V_{(P.u)} = x\left(R_{eq_{(P.u)}}\cos\varphi_o \mp x_{eq_{(P.u)}}\sin\varphi_o\right) = 0 \longrightarrow \tan\varphi_o = \frac{R_{eq}}{X_{eq}}$$

سلفی



خازنی

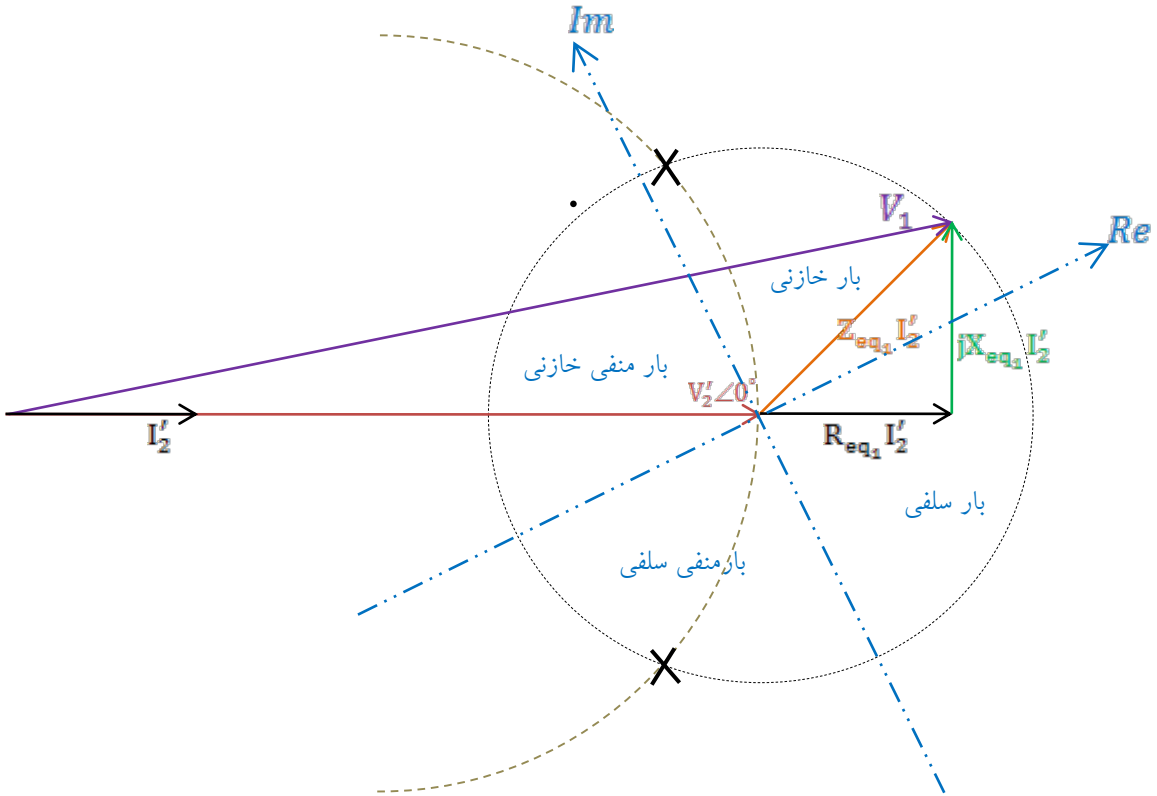
$$\Delta V = \left(R_{eq_1}\cos\varphi_o \mp x_{eq_1}\sin\varphi_o\right)I_2' = 0$$

سلفی

خازنی

$$\Delta V_{(P.u)} = x\left(R_{eq_{(P.u)}}\cos\varphi_o \mp x_{eq_{(P.u)}}\sin\varphi_o\right) = 0 \longrightarrow \tan\varphi_o = \frac{R_{eq}}{X_{eq}}$$

سلفی



خازنی

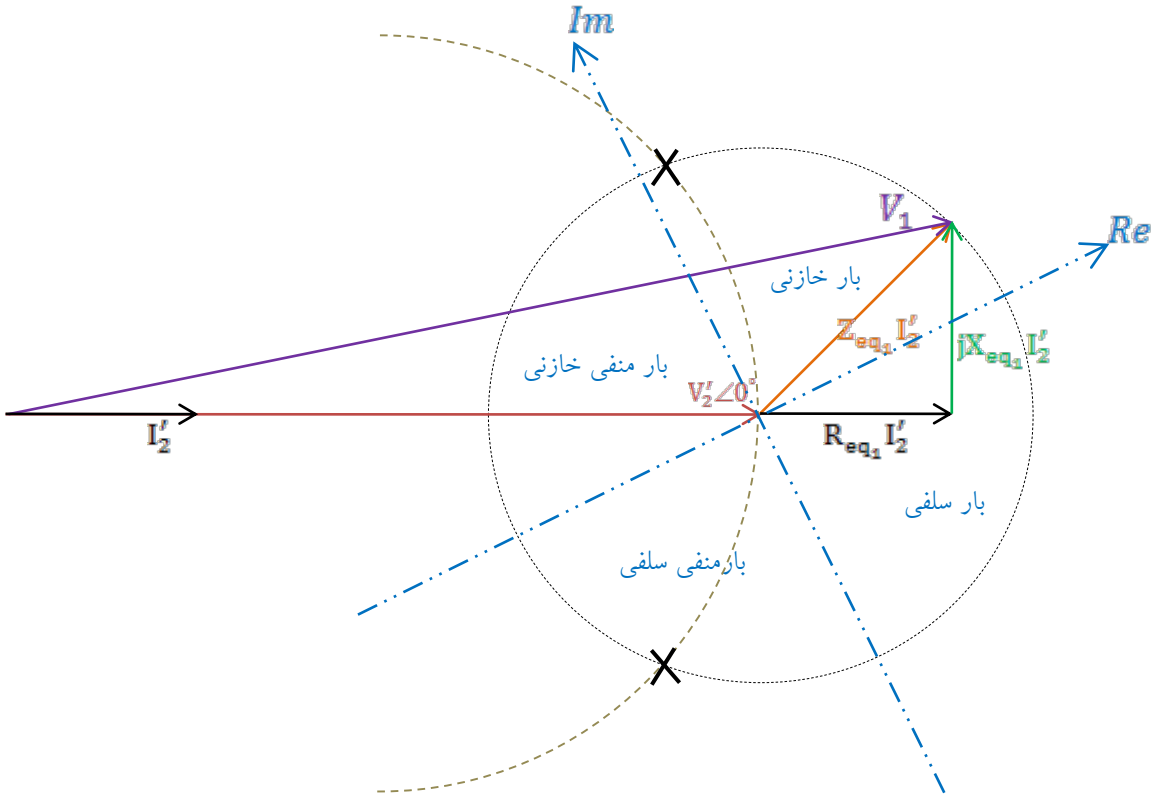
$$\Delta V = \left(R_{eq_1}\cos\varphi_o \mp x_{eq_1}\sin\varphi_o\right)I_2' = 0$$

سلفی

خازنی

$$\Delta V_{(P.u)} = x\left(R_{eq_{(P.u)}}\cos\varphi_o \mp x_{eq_{(P.u)}}\sin\varphi_o\right) = 0 \longrightarrow \tan\varphi_o = \frac{R_{eq}}{X_{eq}}$$

سلفی



خازنی

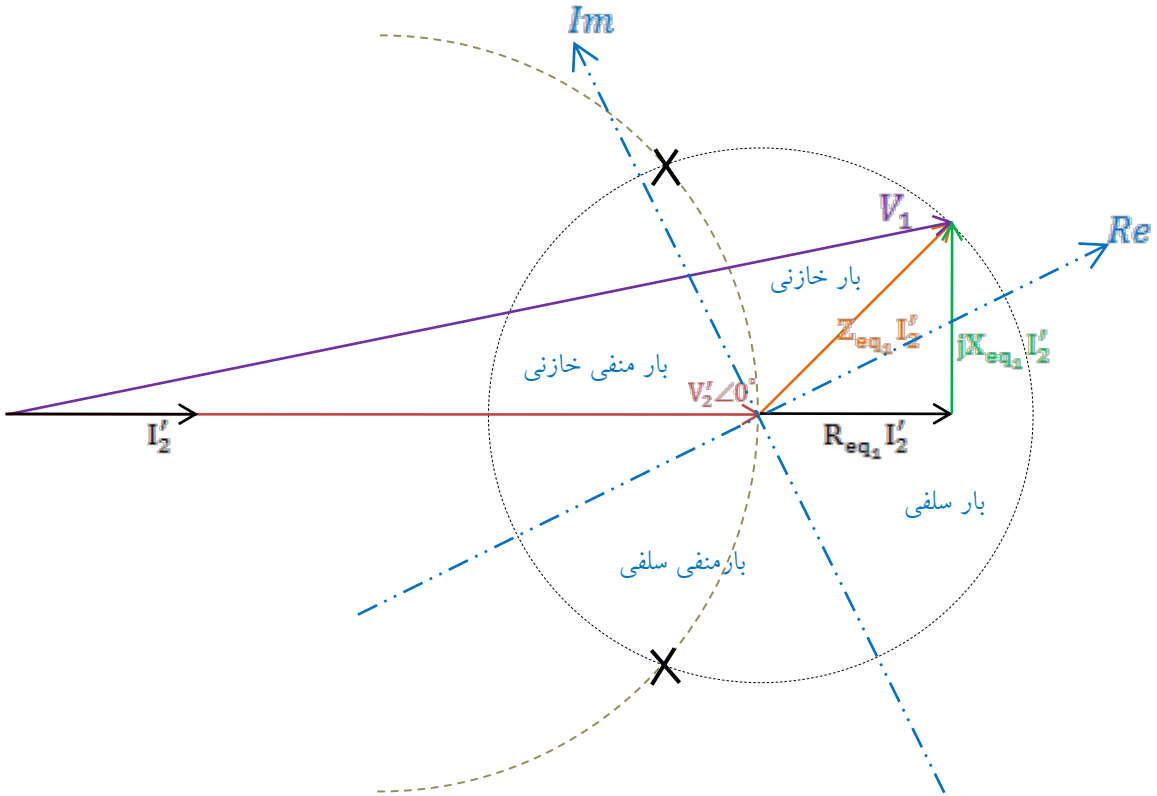
$$\Delta V = \left(R_{eq_1}\cos\varphi_o \mp x_{eq_1}\sin\varphi_o\right)I_2' = 0$$

سلفی

خازنی

$$\Delta V_{(P.u)} = x\left(R_{eq_{(P.u)}}\cos\varphi_o \mp x_{eq_{(P.u)}}\sin\varphi_o\right) = 0 \longrightarrow \tan\varphi_o = \frac{R_{eq}}{X_{eq}}$$

سلفی



خازنی

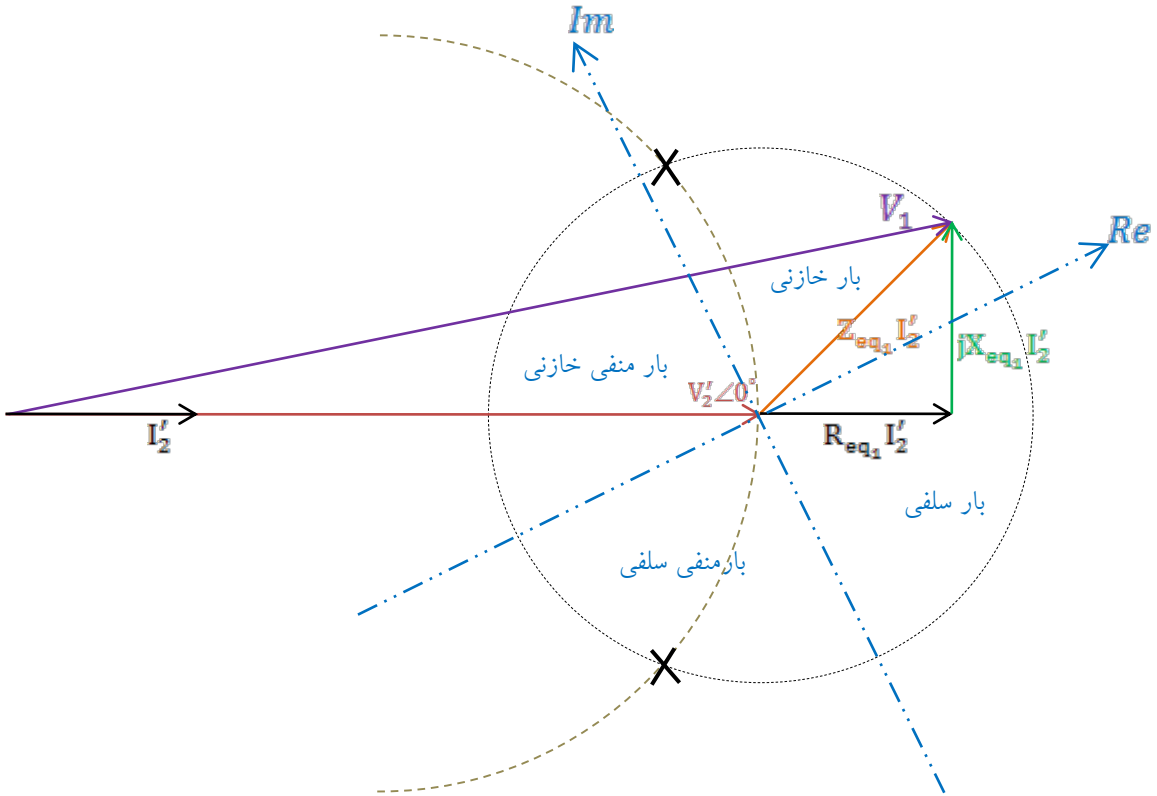
$$\Delta V = \left(R_{eq_1}\cos\varphi_o \mp x_{eq_1}\sin\varphi_o\right)I_2' = 0$$

سلفی

خازنی

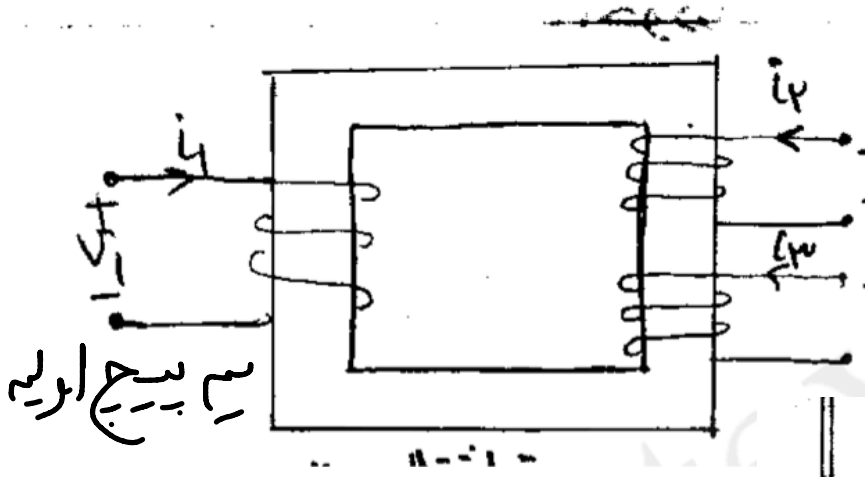
$$\Delta V_{(P.u)} = x\left(R_{eq_{(P.u)}}\cos\varphi_o \mp x_{eq_{(P.u)}}\sin\varphi_o\right) = 0 \longrightarrow \tan\varphi_o = \frac{R_{eq}}{X_{eq}}$$

سلفی

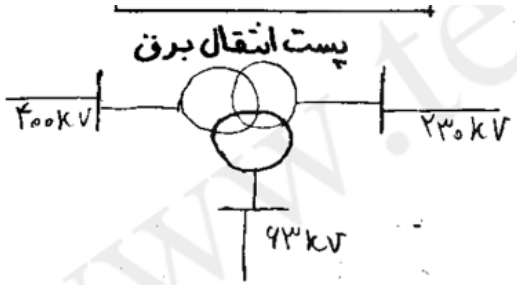


ترانس سه سیم پیچه

کاربردها:

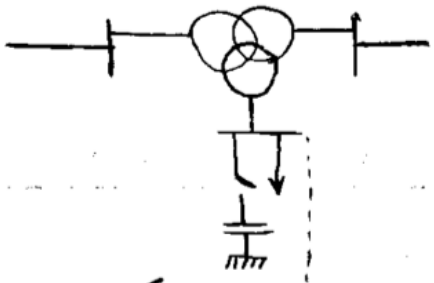


- اتصال سه قسمت شبکه :



- تغذیهٔ داخلی پستها : باتوجه به اینکه پستها خودشان مصرف انرژی دارند، لذا با استفاده از سیم پیچ ثالثیه و با سطح ولتاژ کم (حدود ۲۰kV) خود پست نیز تغذیه می شود.

- تغذیهٔ بار راکتیو :

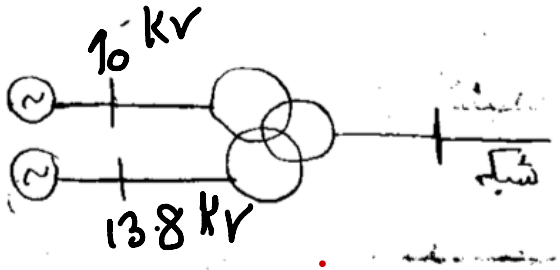


در نیروگاه توان اکتیو و راکتیو هر دو تولید می شوند و مصرف کننده نیاز به توان اکتیو دارد

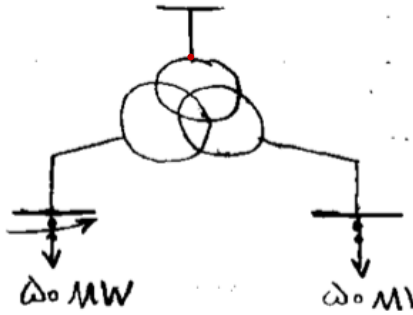
اما به احبار باید توان راکتیو را نیز دریافت کند. هنگامی که توان راکتیو در شبکه کم می‌شود

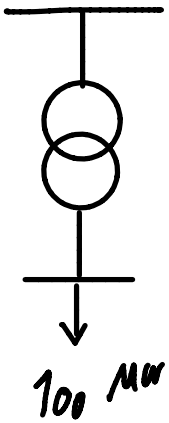
با استفاده از سیم پیچ ثالثیه و یک خازن می‌توان این توان را تولید کرد.

— اتصال دو ژنراتور به شبکه :



— افزایش قابلیت اطمینان :

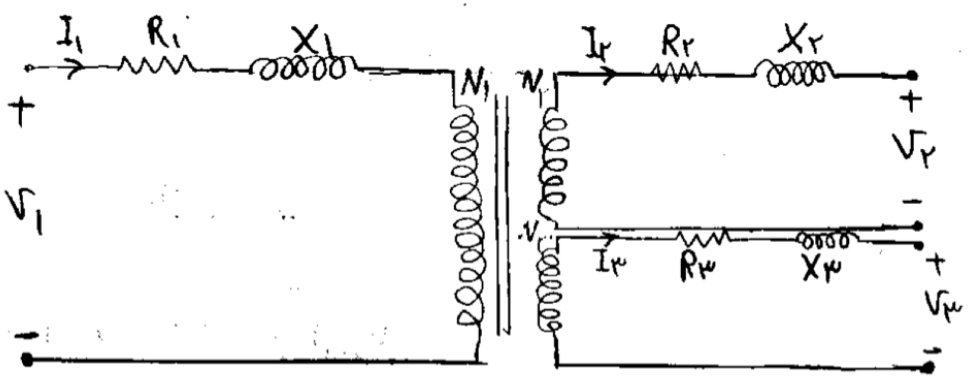




برای تغذیه یک بار ۱۰۰MW می‌توان آن را از دو سیم پیچ که هر کدام ۵۰MW دارد تغذیه کرد. در این صورت اگر احیاناً اتصال کوتاهی در یکی از سیم پیچ‌ها رخ داده و کلید مدار را قطع کند فقط ۵۰MW از مدار خارج می‌شود ولی در ترانس های دو سیم پیچه تمام ۱۰۰MW از مدار خارج می‌شود.

www.teyf.com

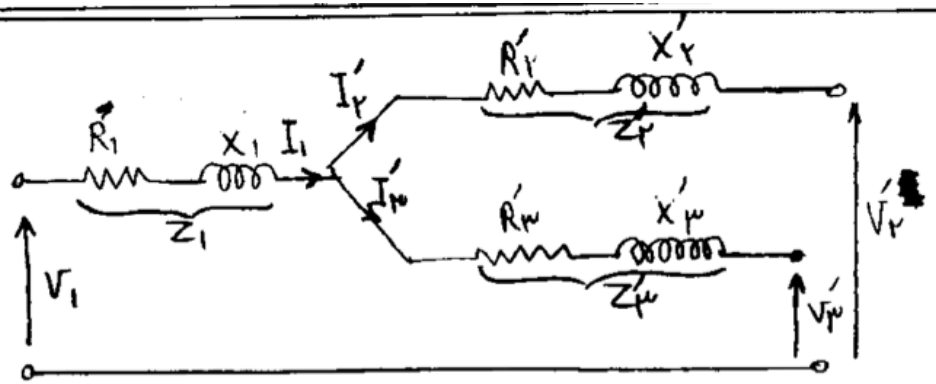
مدار معادل



سیم پیچ ثانویه

سیم پیچ اولیه

سیم پیچ ثالثیه



$$a_{12} = \frac{V_1}{V_2}$$

$$a_{13} = \frac{V_1}{V_3}$$

ازسمت اولیه بایدجریان I_1ای کشیده شودکه mmf تولیدشده از آن بتواند mmf ثانویه وثالثیه راخنثی کند. KCL مربوطبه گرهٔ بالابیانگرهمین امر است.

$$I_1 = I'_2 + I'_3$$

$$R'_2 = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 R_2 \quad , \quad R'_3 = \left(\frac{N_1}{N_3}\right)^2 R_3$$

$$X'_2 = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 \cdot X_2 \qquad X'_3 = \left(\frac{N_1}{N_3}\right)^2 X_3$$

انواع اتصالات ترانس های تکفاز:

۱- اتصال سری ـ سری: اولیه سری، ثانویه هم سری

۲- اتصال سری ـ موازی: اولیه سری و ثانویه موازی

۳- اتصال موازی ـ سری: اولیه موازی و ثانویه سری

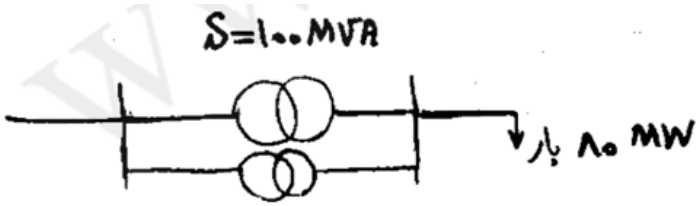
۴- اتصال موازی ـ موازی: اولیه و ثانویه موازی هستند.

} بندرت در سیستم مورد استفاده قرار می گیرند.

موازی کردن ترانس ها

دلایل موازی کردن ترانس ها :

چرا موازی می کنیم ؟



ـ افزایش بار : فرض کنیم باری به اندازه ۸۰ MW داریم که با ترانسی به قدرت ۱۰۰ MVA تغذیه می شود حال اگر بار افزایش یابد به ناچار برای تغذیهٔ آن باید ترانس دیگری با ترانس فوق موازی کنیم.

ـ افزایش قابلیت اطمینان

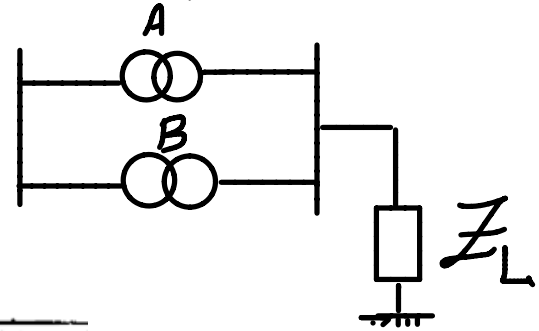
ـ تعمیرات و نگهداری

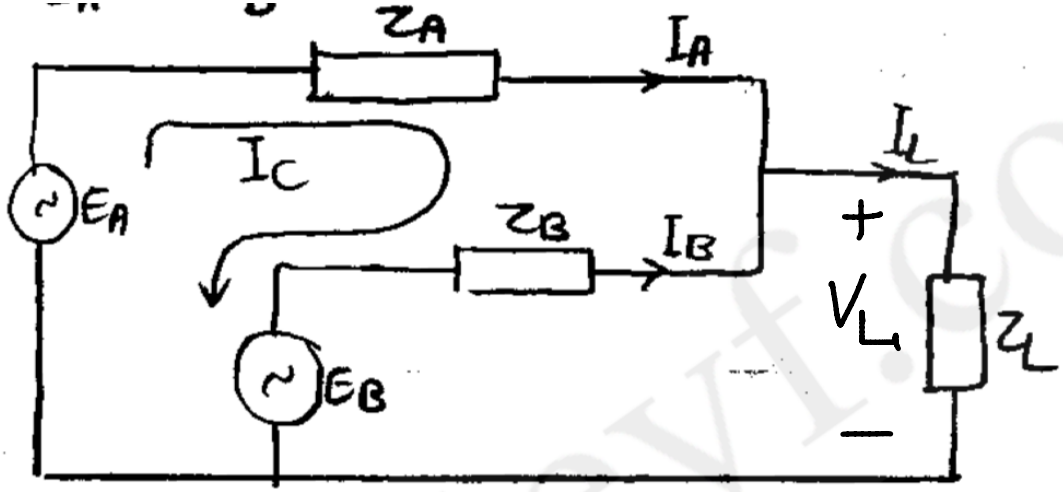
ـ حمل و نقل آسان تر

شرط‌های موازی کردن ترانس‌ها:

۱- اتصال با پلاریته صحیح

۲- مکان بودن V_1/V_2 ترانس‌ها





$$\begin{cases} E_A = Z_A I_A + V_L \\ E_B = Z_B I_B + V_L \end{cases} \qquad \begin{cases} I_L = I_A + I_B \\ V_L = Z_L I_L \end{cases}$$

I_C = جریان چرخشی

$$\rightarrow \begin{cases} I_A = \left(\dfrac{Z_B}{Z_A Z_B + Z_B Z_L + Z_A Z_L}\right) E_A + \dfrac{Z_L}{Z_A Z_B + Z_B Z_L + Z_A Z_L}(E_A - E_B) \\ I_B = \left(\dfrac{Z_A}{Z_A Z_B + Z_B Z_L + Z_A Z_L}\right) E_B - \dfrac{Z_L}{Z_A Z_B + Z_B Z_L + Z_A Z_L}(E_A - E_B) \\ I_L = \dfrac{\frac{1}{2}\left(\frac{E_A}{Z_A} + \frac{E_B}{Z_B}\right)}{\frac{1}{Z_L} + \frac{1}{Z_A} + \frac{1}{Z_B}} \end{cases}$$

مثال: دو ترانس تکفاز با تعداد دور مساوی داریم که دارای امپدانس $Z_B = 0.6 + j10\ \Omega$, $Z_A = 0.5 + j3\ \Omega$ نسبت به ثانویه‌ان‌اند. اگر این دو ترانس را با هم موازی کنیم چگونه بار $100\ kw$ با ضریب قدرت 0.8 پس‌فاز بین خود تقسیم می‌کنند

$S = V.I^* \Rightarrow$ چون دو ترانس‌ها با هم برابرند $\Rightarrow S \propto I^*$

با استفاده از روش تقسیم جریان $\Rightarrow I_A = \frac{Z_B}{Z_A+Z_B} I_L$, $I_B = \frac{Z_A}{Z_A+Z_B} I_L$

$$I_A^* = \left(\frac{Z_B}{Z_A+Z_B}\right)^* I_L^*$$
$$I_B^* = \left(\frac{Z_A}{Z_A+Z_B}\right) I_L^*$$
$\times V_L \Rightarrow$

$$S_A = \left(\frac{Z_B}{Z_A+Z_B}\right)^* S_L$$
$$S_B = \left(\frac{Z_A}{Z_A+Z_B}\right)^* S_L$$

$$|S_L| = \frac{P}{\cos\varphi} = 125\ KVA$$
$$S_L = 125\ KVA \angle \cos^{-1} 0.8$$

$$S_A = \left(\frac{0.6+j10}{1.1+j13}\right)^* 125\ KVA \angle 36.87^\circ = 96 \angle 35.5^\circ\ KVA$$

$$S_B = \left(\frac{0.5+j3}{1.1+j13}\right)^* \cdot 125 \angle 36.87^\circ = 29.1 \angle 41.5\ KVA$$

$$P_A = |S_A| \cos\varphi_A = 96 \times \cos 35.5 = 78.74\ kw$$

$$P_B = |S_B| \cos\varphi_B = 29.1 \times \cos 41.5 = 21.826\ kw$$

مثال ۲: دو ترانس A و B با مشخصات $100/500^{V}$ و توان های نامی 100^{KVA} و 250^{KVA} موجودند. این دو ترانس به صورت موازی از طریق منبع 100^{V} بار 500^{V} را تغذیه می کنند. امپدانس ترانس A در سیستم پریونیت $Z_A^{P.u} = (1+j5)$ و امپدانس ترانس B $Z_B^{P.u} = (2+j2)$ است. مطلوبست تعیین بار واقع روی هر ترانس وقتی که بار کل $S_{Load}=300^{KVA}$ تحت ضریب قدرت 0.8 پس فاز تغذیه می شود.

از آنجایی که امپدانس پریونیت دو ترانس های A و B برای توان های نامی یا مبنای یک ل انجام نشده، باید ابتدا امپدانس پریونیت را برای یک توان مشخص به دست آورده و سپس ادامه دهیم.

امپدانس پریونیت ترانس B در توان مبنای ترانس A

$$Z_{B(P.u)}^{(A)} = (0.02+j0.02)\cdot\left(\frac{100}{250}\right) = 0.008+j0.008$$

$$S_A = \left(\frac{0.008+j0.008}{0.018+j0.058}\right)^{*} 300\angle 36.87 = 55.95\angle 64.5 \quad KVA$$

$$S_B = \left(\frac{0.01+j0.05}{0.018+j0.058}\right)^{*} 300\angle 36.87 = 251.7\angle 31 \quad KVA$$