سعید دانشگر

به نام خدا

کتابهای مرجع :

1- Electric Machinary , Fitzgerald

2- Electric Machinary Fundamental , S.J. Chapman

مبانی ماشین های الکتریکی چاپمن ترجمهٔ دکتر قیض

3- Alternating current Machines , M.G. Say

4- Applied Electric Machinary , J. Hindmarsh.

ماشین های الکتریکی و کاربرد آنها

5- Electric Machines , slemon

مراجع اضافی :

6- Principles of Electric Machines and Power Electronics (P.C. Sen) 1989

ماشین های الکتریکی . تحلیل و بهره برداری کنترل (عابدی) (برای بخش ترانس و موتور القایی)

7- ماشین های الکتریکی و کاربردهایی از الکترونیک قدرت (عابدی)

8- ترانسفورمر و ماشین آسنکرون (میرسلیم)

سرفصل های درس :

فصل اول : ترانسفورماتورها

www.teyf.com

۱- مقدمه ۲- اجزاء ۳- ترانس ایده آل

۴- علامت گذاری کلافها ۵- انتقال امپدانس ۶- ترانس غیرایده آل

۷- دیاگرام نیروی تدافعی ۸- ضریب کوپلاژ ۹- مدار معادل T

۱۰- مدار معادل Γ و مدارات تقریبی ۱۱- مدار معادل ترانس با فرکانس متغیر *

۱۲- مقادیر نامی ترانس ۱۳- آزمایشهای تعیین پارامتر ترانس

۱۴- تلفات و راندمان ۱۵- تنظیم ولتاژ ۱۶- جریان هجومی

۱۷- سیستم پریونیت ۱۸- اتوترانسفورماتورها ۱۹- موازی کردن

۲۰- ترانس های سه فاز ۲۱- امداد و حروف شناسایی ۲۲- اتصالات ویژه

۲۳- روشهای خنک کنندگی ۲۴- تپ چنجر *

فصل دوم : موتورهای القایی سه فاز (آسنکرون)

۱- مقدمه ۲- اجزاء ۳- میدان مغناطیسی گردان

۴- ولتاژ القاشده در استاتور ۵- عملکرد موتور در حالت سکون

۶- عملکرد موتور القایی سه فاز در حالت عادی ۷- لغزش

www.teyf.com

سعید دانشگر

بنام خدا

کتابهای مرجع :

1- Electric Machinary , Fitzgerald

2- Electric Machinary Fundamental , S.J. Chapman

مبانی ماشین های الکتریکی چاپمن ترجمهٔ دکتر قیض

3- Alternating current Machines , M.G. Say

4- Applied Electric Machinary , J. Hindmarsh.

ماشین های الکتریکی و کاربرد آنها

5- Electric Machines , slemon

مراجع اضافی :

6- Principles of Electric Machines and Power Electronics (P.C. Sen) 1989

ماشین های الکتریکی . تحلیل و بهره برداری کنترل (عابدی) (برای بخش ترانس و موتور القایی)

7- ماشین های الکتریکی و کاربردهایی از الکترونیک قدرت (عابدی)

8- ترانسفورمر و ماشین آسنکرون (میرسلیم)

سرفصل های درس :

فصل اول : ترانسفورماتورها

www.teyf.com

۸- موتور القایی سه فاز معکوس * ۹- مدار معادل ۱۰- مدار معادل ساده شده

۱۱- راه اندمان ۱۲- تعیین پارامترها ۱۳- منحنی مشخصه های موتور القایی

۱۴- مقاومت موتور و دسته بندی موتورها ۱۵- روشهای کنترل سرعت IM

۱۶- راه اندازی موتورهای القایی ۱۷- توقف موتورهای القایی ۱۸- ژنراتور القایی

۱۹- هارمونیک های زمانی و مکانی ۲۰- اشاره ای به موتورهای تکفاز

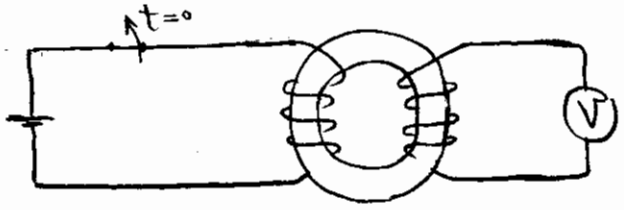
۲۱- اشاره ای به ماشین سنکرون ۲۲- موتورهای خطی *

نحوهٔ ارزیابی : میان ترم جزوه بسته ۶٫۵ نمره تمرینات و کوئیز ۲٫۵ نمره
پایان ترم جزوه بسته ۱۱ نمره

فصل اول : ترانسفورماتورها

۱- مقدمه

۱-۱ تاریخچه:



۱۸۳۱ فارادی (ساخت اولین ترانس)

۱۸۸۴ ادیسون (ساخت شبکه برق dc)

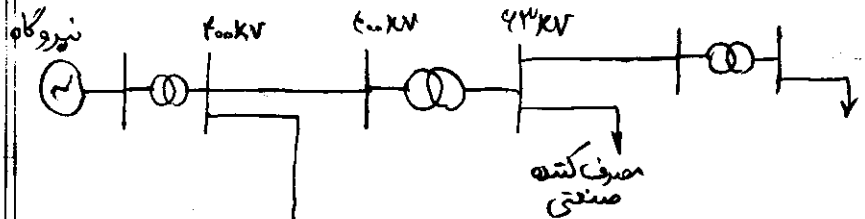
۱۸۸۵ جرج وستینگهاوس (ساخت ترانس سه فاز در حالت سیستم AC)

www.tevf.com

$\eta = 99\%$

امروزه طرحهایی برای ساخت ترانس هایی با سطح ولتاژ ۱۵۰۰-۲۰۰۰ KV و ۵۰۰۰ MVA (آمپر ولت مگا) ...

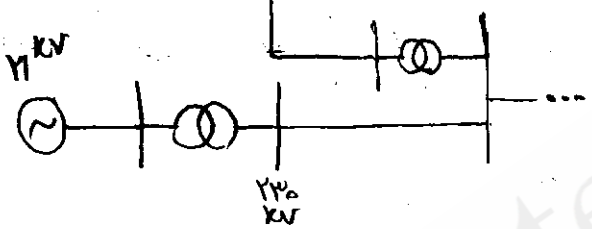
۱-۲ کاربردها:



۱- انتقال انرژی

$S = VI^*$

$S = dc$, $V\uparrow$ $I\downarrow$ $RI^2\downarrow$



۲- مصرف

۳- اتصال شبکه ها

۴- ایجاد ولتاژ با سطوح اقتصادی

۵- تطبیق امپدانس

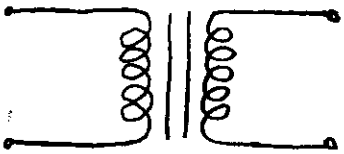
۶- ایزولاسیون

۷- حذف مؤلفه های dc

۸- اندازه گیری

۹- یکسوسازی (سه فاز شش فاز، دوازده فاز و ...)

۲- اجزاء ترانسفورماتورها:

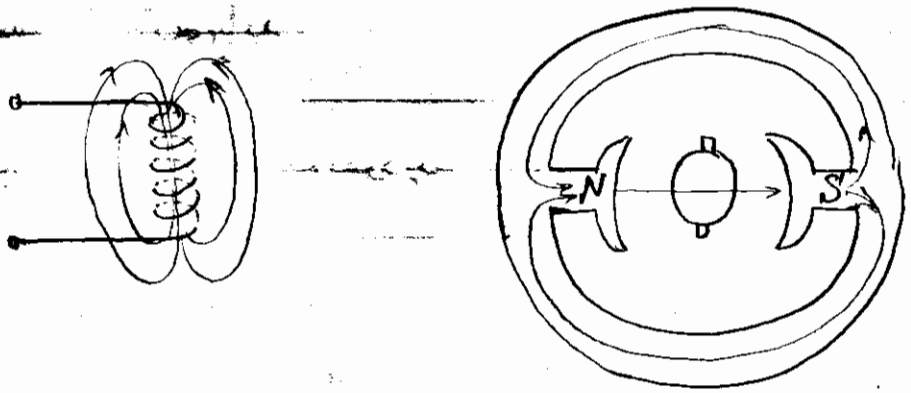


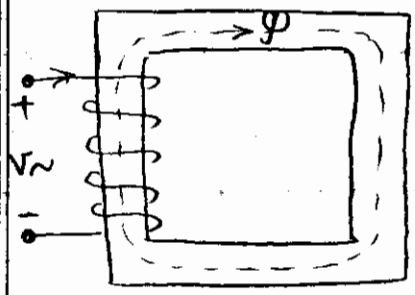
نمایش مداری:

- سیم پیچ های اولیه و ثانویه
- هسته
- تانک
- :

www.teyf.com

۲-۱ هسته:





هسته از جنس مواد فرومغناطیس است که در آن :

$\mathcal{R} \longrightarrow 0$ رلوکتانس یا مقاومت مغناطیسی

$\mu \longrightarrow \infty$ نفوذپذیری مغناطیسی

نقشی که هسته در ترانسفورماتور دارد همان نقشی است که هسته در ماشین dc دارد، یعنی بستن شار در یک مسیر مشخص.

چون ولتاژ V اعمالی به ترانس متناوب است در نتیجه یک شار متناوب ایجاد خواهد شد که باعث وجود جریان گردابی است. لذا هسته ترانس باید مورق ساخته شود تا تلفات هسته کاهش یابد.

هدف : کاهش تلفات هسته شامل
- تلفات فوکو · Eddy current
- تلفات هیستریزیس

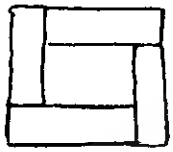
مورق کردن باعث می‌شود که طول مسیر جریان های گردابی کاهش یافته و در نتیجه مقاومت

مسیر کاهش می یابد.

به خاطر داریم که هرچه نفوذپذیری مغناطیسی هسته بالاتر باشد، تلفات هیسترزیس آن پائین می آید.

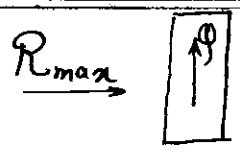
معمولاً ضخامت ورقه های هسته حدود ۰/۳۵ mm - ۰/۳۰ mm که عایق بین آنها دارای ضخامت ۰/۰۲ mm است. (ترانس های قدیم). در ترانس های جدید ضخامت ورقه ها حدود ۰/۲۳ mm است. امروزه در طرحهایی برای ساخت هسته هایی با ضخامت ورقه ۰/۱۷ mm کار می شود.

جنس هسته های امروزی از نوع فولاد سیلیسیم دار است.



هسته های اولیه به شکل مقابل بود.

چون جنس هسته ها از فولاد بود برای اینکه میدان مغناطیسی منحرف نشود از تسمه های هسته (فولاد سیلیسیوم دار) استفاده می کردند که به صورت گرم نورد می شدند. آنچه که حاصل می شد نورد گرم hot-rolled نام داشت. در این حالت ممان های مغناطیسی در جهتی قرار می گرفتند که رلوکتانس در یک مسیر بسیار زیاد و در مسیر دیگر کم بود که به این حالت دانه بندی گفته می شد. $B_{Max}=1,3T$



بعدها متوجه شدند که اگر عمل نورد در حالت سرد انجام شود نتیجهٔ بهتری گرفته می‌شود.
Cold - rolled

دراین حالت دانه‌بندی جهت دار بود. grain - oriented

$B_{max} = 1/6 - 1/8$ T

درنسل بعدی ورقه‌های Hi - B ساخته شدند. این ورقه‌ها از زیر اشعه لیزر
laser - radiated
می‌گذرند و این امر باعث می‌شود دانه‌بندی بسیار مرتب تر باشد.

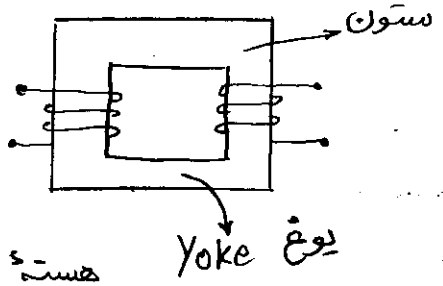
$B_{max} => 1/8$ T

۲-۲ شکل ظاهری هسته :

هسته‌های فرومغناطیسی از نظر شکل ظاهری به دو دسته تقسیم می‌شوند:

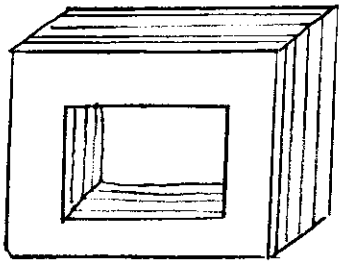
۱- Core Type هسته‌ای شکل ۲- shell Type زره‌ای شکل

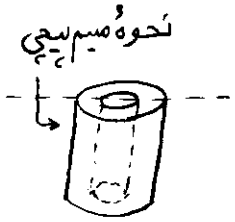
یک هستهٔ Core Type به شکل مقابل است:



هستهٔ تکفاز

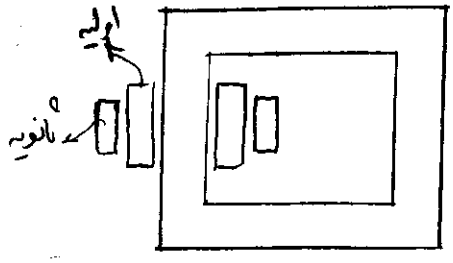
در عمل محل قرارگیری سیم پیچی‌ها به شکل مقابل نیست بلکه سیم پیچی واقعی به شکل زیر خواهد بود :



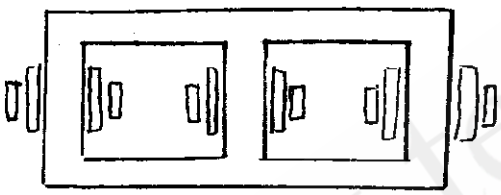


دید از روبرو

دید از روبرو :



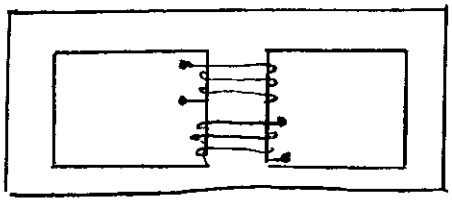
ترانس بالا یک ترانس تکفاز بود. در مورد یک ترانس سه فاز هسته به شکل زیر خواهد بود.



سه فاز ۳ ستونه

سه فاز ۵ ستونه

ترانس های بالا همگی از نوع Core Type بودند. اکنون به بررسی نوع Shell Type می پردازیم:



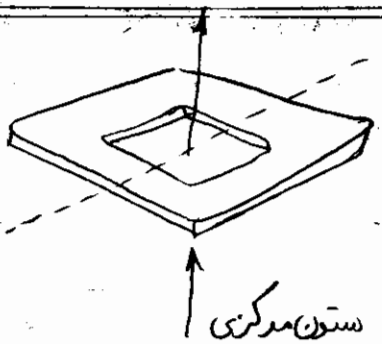
دید هواری

نخست هستهٔ تکفاز زرهی را می بینیم.

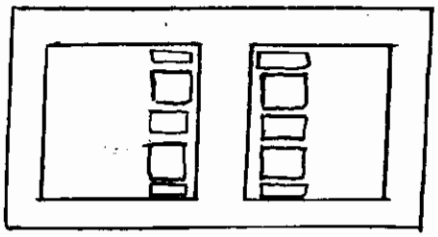
در این هسته سیم پیچی ها در ستون وسط قرار گرفته اند و دو ستون کناری سیم پیچی را مانند زرهی احاطه کرده اند

www.teyf.com

نحوهٔ سیم‌پیچی :

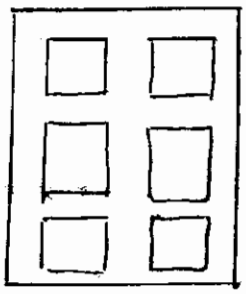


تراش تکفاز
نحوه زدن از روبرو :



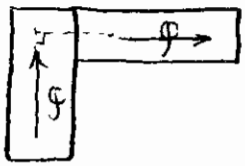
درسیستم سه فاز تراش به شکل مقابل

خواهد بود :



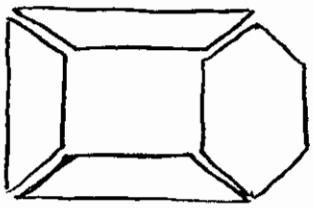
۲-۳ هسته‌چینی :

اینکه هسته‌ها به صورت یک تکه ساخته نمی‌شوند به خاطر سیم پیچی کردن آنها است لذا



هسته‌ها به صورت تکه تکه ساخته می‌شوند

در تکنولوژی ساخت هسته به شکل بالا چون جهت شارها برهم عمود است وتغییر



وضعیت برای شار مشکل است لذا هسته‌ها به

صورت مقابل ساخته می‌شوند :

www.teyf.com

با توجه به اینکه وجود فاصلهٔ هوایی در هسته باعث افت شدید mmf در آن می‌شود

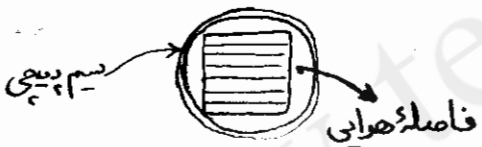
لذا باید فاصلهٔ هوایی بین تکه ها به حداقل خود برسد. به این دلیل از عمل جوشکاری

استفاده نمی‌شود و هم اکنون نیز هسته‌ها با دست در کنار یکدیگر چیده می‌شوند. امّا

چون باز هم فاصلهٔ هوایی کامل از بین نمی رود، لذا از تکنیک همپوشانی over-lap

استفاده می‌شود.

همپوشانی باعث اتصال کوتاه کردن فاصلهٔ هوایی می‌شود.



مقطع برشی از هسته
(دیاز بالا)

فاصلهٔ هوایی نشان داده شده در شکل بالا باعث نشت شار می‌شود، لذا برای رفع این

اشکال هسته را به شکلی نزدیک به شکل استوانه

هسته چینی پله‌ای

می‌سازند.

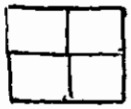
در ترانس های قدرت بزرگ تعداد پله ها ممکن است به ۱۷ الی ۱۸ پله برسد. برش هایی

که باعث ایجاد پله ها می‌شود توسط دستگاه انجام می‌شود.

ترانس های کوچک به شکل E I یا I E ساخته می‌شوند. اینکه قسمت E

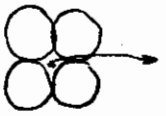
یا ۲ یک تکه ساخته می‌شود به دلیل از بین بردن فاصلهٔ هوایی است.

۲-۴ عایق کاری



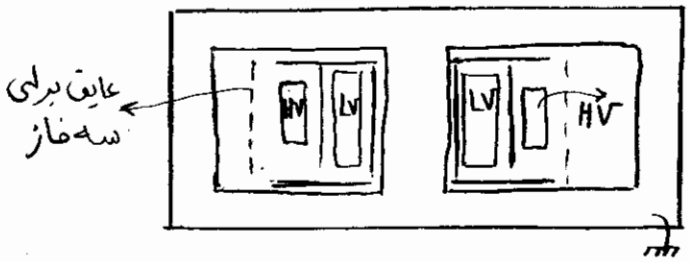
هادی‌های یک ترانس عموماً به شکل مستطیلی شکل هستند.

چون در حالت استوانه فاصلهٔ هوایی بین هادی‌ها بوده و راندمان کار پائین می‌آید.



آنچه که هادی‌ها را از نظر الکتریکی جدا می‌کند پوشش لاکی روی آنها است. همچنین برای بالا بردن استقامت الکتریکی از کاغذ کابل نیز بین هادی‌ها استفاده می‌شود.

همچنین برای جدا کردن هادی و هسته از یک استوانهٔ عایق ● استفاده می‌شود که بر روی هسته قرار می‌گیرد که به آن پرس بورد گفته می‌شود.



HV: High voltage

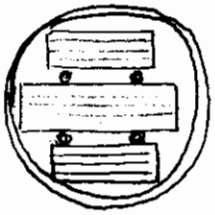
LV: low voltage

روغن ترانس: روغنی که در داخل ترانس ریخته می‌شود دو وظیفه دارد:

۱- عایق ۲- هدایت حرارتی

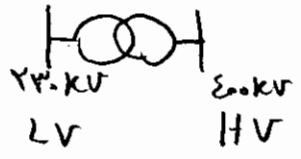
روغن باعث می شود که در خواص هوایی نفوذ کرده و استقامت الکتریکی را بالا ببرد.

در ترانس ٪ ۹۹ که دارای قدرت MVA ۱۰۰ است مقدار تلفات برابر ۱MW است که این انرژی به صورت گرمای زیادی ظاهر می شود. لذا از روغن استفاده می شود تا گرما را به بیرون هدایت کند. همچنین چون حرارت در داخل هسته نیز ایجاد می شود لذا امکان دسترسی روغن به داخل هسته نیز باید مهیا شود. لذا از طراحی زیر استفاده می شود:

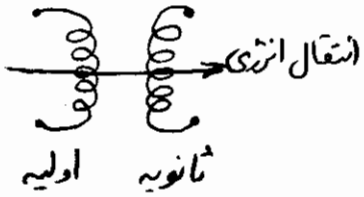


۲-۵ نام گذاری سیم پیچ ها

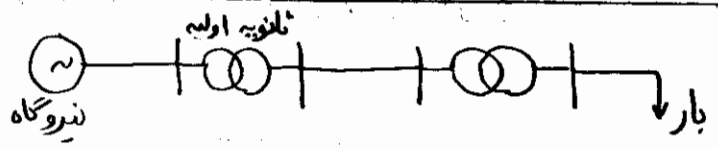
اولین روش نام گذاری به طریقی است که سیم پیچ با ولتاژ کمتر را LV (low voltage) و سیم پیچ با ولتاژ بیشتر را HV (High voltage) می گوئیم.



روش دیگر نام گذاری اولیه و ثانویه است که جهت انتقال انرژی را نشان می دهد.



www.teyf.com



ترانس افزاینده : ترانسی که ولتاژ را افزایش می دهد که در ابتدای خط انتقال بعد از نیروگاه قرار دارد.
step-up trans.

ترانس کاهنده : ترانسی است که ولتاژ را کاهش می دهد و در ست مصرف کننده قرار می گیرد.
step-down trans

۲-۶ انواع سیم پیچی ها :

وظایف سیم پیچی ها

۱- عبور جریان I از خود و تولید شار Φ (از دیدگاه اولیه)

۲- دربر گرفتن شار (از دیدگاه ثانویه)

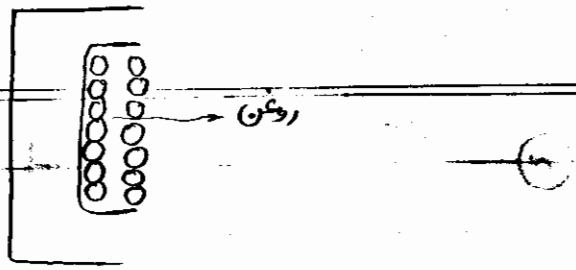
انواع ← زرهی ← سیم پیچی ساندویچی
انواع ← هسته ای

در نوع هسته ای چند قسم سیم پیچی وجود دارد که عبارتند از :

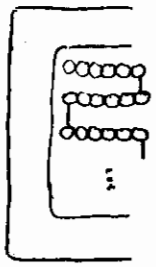
- استوانه ای / لایه ای ——— مارپیچی
- دیسکی ——— Cross-over

سیم پیچی استوانه ای / لایه ای به شکل زیر است:

www.tevfc.com



وسیم پیچی دیسکی :



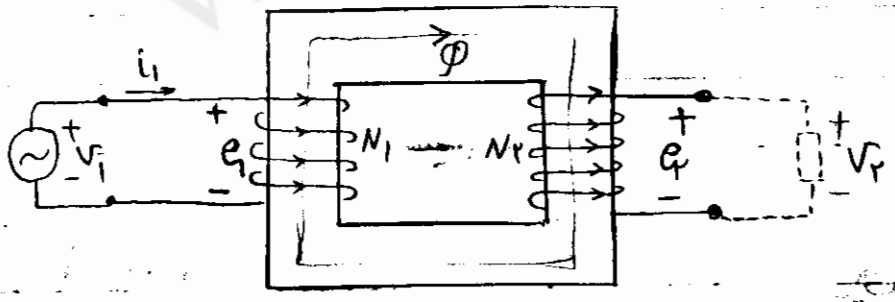
سیم پیچی دیسکی بیشتر در قسمت فشار قوی به کار می رود.

۳- ترانسفورماتور تکفاز ایده آل

مفروضات : اولین چیزی که فرض می کنیم این است که ترانس بی اتلاف است. ①

یعنی : ۱- مقاومت سیم پیچی را صفر فرض می کنیم و ۲- هسته را بدون تلفات می گیریم. ② شار نشتی نداریم ③ $\mathcal{R} = \frac{l}{\mu A} \to 0 \equiv \mu \to \infty$

طرز کار :



$$V_1 \longrightarrow i_1 \xrightarrow[\text{شار در برگیرنده}]{} \varphi = \varphi_m \sin \omega t$$

$$e_1 = N_1 \frac{d\varphi}{dt} = \frac{d\lambda}{dt} = N_1 \varphi_m \omega \cos \omega t \quad ①$$

e_1 ↑ mmf

emf

$$e_2 = N_2 \frac{d\varphi}{dt} = N_2 \varphi_m \omega \cos \omega t \quad (II)$$

$$V_1 = e_1 \quad , \quad V_2 = e_2$$

$$(I) \div (II) \longrightarrow \frac{e_1}{e_2} = \frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2} = (a) \longrightarrow \text{نسبت تبدیل}$$

چون ترانس بی‌اتلاف است:

$$V_1 i_1 = V_2 i_2 \longrightarrow \frac{i_1}{i_2} = \frac{1}{a}$$

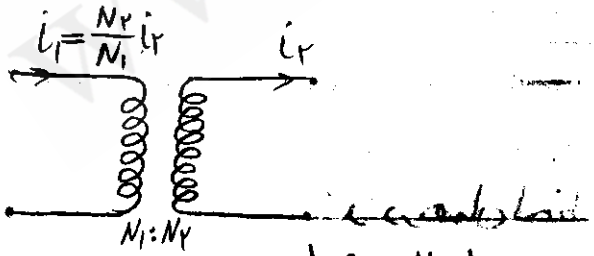
$$V = R.I \quad , \quad emf = R.I$$

$$, \; mmf = \mathcal{R}.\phi \longrightarrow$$

$$N_1 i_1 - N_2 i_2 = \left(\frac{l_{core}}{\mu_0 . \mu . A_{core}}\right).\varphi$$

$$, \; N_1 i_1 = N_2 i_2 \; (I) \longrightarrow \frac{i_1}{i_2} = \frac{1}{a}$$

رابطه (I) لزوما لحاظ فیزیکی بیان می‌کند که mmf ایجاد شده در اولیه توسط ثانویه خنثی می‌شود.



رابطه (I) بالا نشان می‌دهد که هرچقدر از ثانویه ترانس جریان بکشیم، جریان اولیه توسط آن تعیین می‌شود.

مقادیر موثر:

$$e_1 = N_1 \varphi_m \omega \cos \omega t$$

www.teyf.com

$E_{1max} = N_1 \Phi_m \omega$, — $E_{1rms} = 4{,}44 . N_1 . \Phi_m . f$

, $E_{2rms} = 4{,}44 N_2 \Phi_m f$

ولت بردور اولیه $= \frac{E_{1rms}}{N_1} = 4{,}44 . \Phi_m . f$

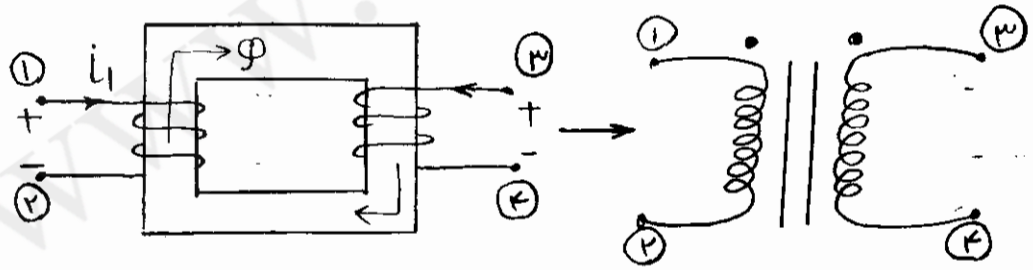
ولت بردور ثانویه $= \frac{E_{2rms}}{N_2} = 4{,}44 . \Phi_m . f$

نکات : ۱- درترانس ایده آل ولت بردور اولیه با ولت بردور ثانویه برابراست.

۲- $\frac{E_{1HV}}{E_{2LV}} = \frac{N_1}{N_2}$ ← $N_{HV} > N_{LV}$

۳- درترانس ایده آل : $V_1 = E_1$, $V_2 = E_2$

۴- علامت گذاری پلاریته (lableing) :



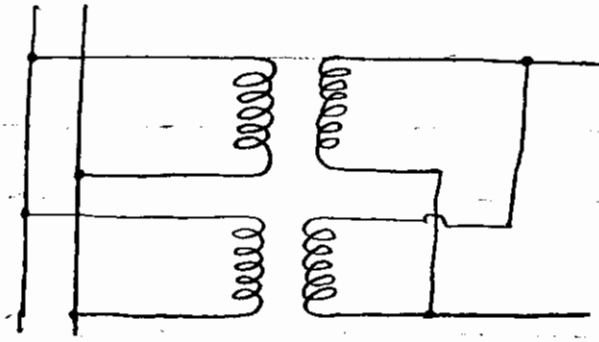
هرگاه سر ① نسبت به ② مثبت باشد درهمان لحظه سر ③ نسبت به ④ مثبت است.

(دیدگاه پتانسیلی). بیان "لحظه" به علت سینوسی بودن است.

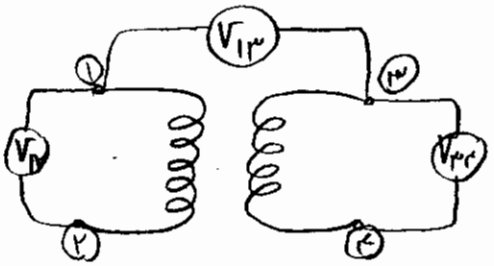
پلاریته ترانسها در هنگام موازی کردن آنها از اهمیت بالایی برخوردار است.

www.teyf.com

دوترانس موازی:



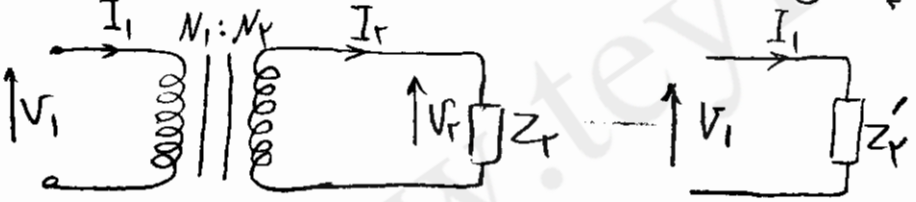
سوال: چگونه می توان با سه ولت متر پلاریته های یک ترانس را تشخیص داد؟



(مدار آزمایش)

①و③ سرهای نقطه دار هستند.

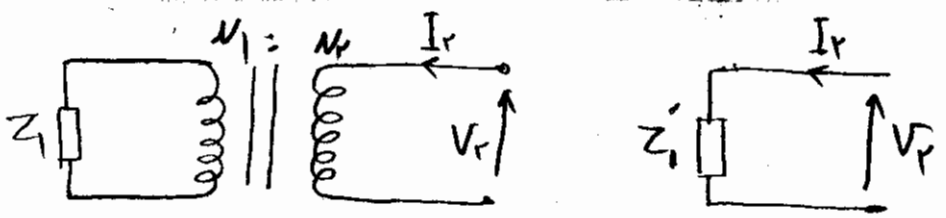
۵ - انتقال امپدانس:



$V_2 = Z_2 I_2$, $\frac{V_1}{I_1} = ?$

$\frac{V_1}{V_2} = a$, $\frac{I_1}{I_2} = \frac{1}{a}$

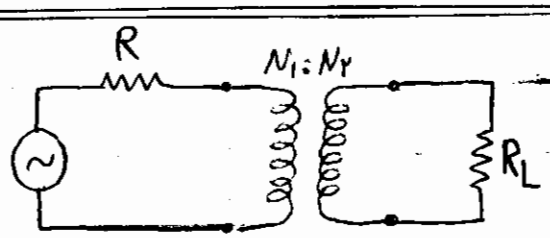
$\frac{V_1}{I_1} = \frac{aV_2}{I_2/a} = a^2 \frac{V_2}{I_2} = a^2 Z_2 \longrightarrow Z'_2 = a^2 Z_2$



, $Z'_1 = \frac{1}{a^2} Z_1$

www.tevf.com

تطبیق امپدانس از



دیگر کاربردهای ترانس

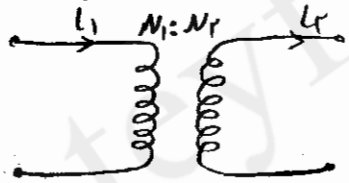
است که در طبقهٔ آخر تقویت کننده ها عموماً به کار می رود.

۶- ترانسفورماتور غیرایده آل

۶-۱ اثر محدود بودن ضریب نفوذ مغناطیسی

در حالت ایده آل:

$$mmf = N_1 i_1 - N_2 i_2 = 0$$



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

در حالت غیرایده آل:

$$\mu \not\to \infty \quad , \quad \mathcal{R} \not\to 0$$

$$mmf = \mathcal{R}.\Phi \neq 0 \quad , \quad mmf = N_1 i_1 - N_2 i_2 \neq 0$$

$$i_1 = \underbrace{\frac{mmf}{N_1}}_{i_m} + \underbrace{\frac{N_2}{N_1} i_2}_{i_2'} \qquad (1)$$

i_2' از اولیه کشیده شده است تا mmf ثانویه را جبران کند. چون هسته دارای مقاومت است، i_m کشیده می شود تا هسته را مغناطیسی کند.

۶-۲ در نظر گرفتن تلفات هسته

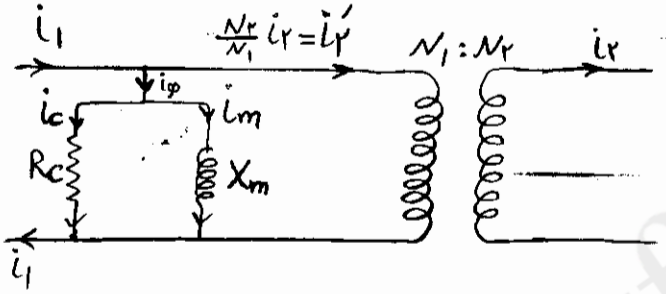
www.tgf.com

تلفات هسته ← فوکو ← $P_e \propto B_m^2 . f^2$

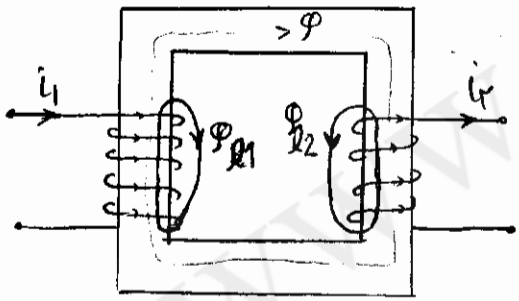
هیسترزیس ← $P_h \propto B_m^{1.6} . f$

$i_1 = i_m + i_2' + i_{core}$

i_{core} به این دلیل اضافه می‌شود که باید تلف بشود.



۳-۶ شار پراکندگی



φ : شار متقابل
Mutual Flux
شار در برگیرنده اولیه و ثانویه

φ_{l1} : شار نشتی اولیه

$\varphi_1 = \varphi + \varphi_{l1}$: شار کلی که از سیم پیچ اولیه عبور می‌کند

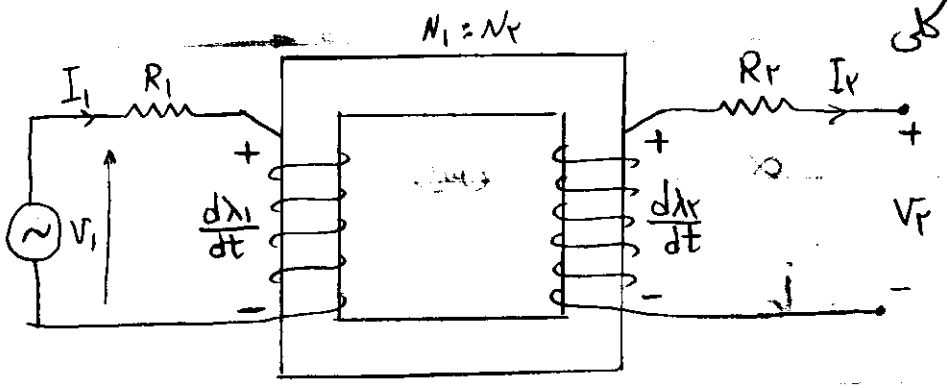
$\lambda_1 = N_1 \varphi_1$: شار در برگیرندهٔ اولیه

$\varphi_2 = \varphi - \varphi_{l2}$: شار ثانویه

$\lambda_2 = N_2 \varphi_2$: شار در برگیرندهٔ ثانویه

www.teyf.com

6-4 رابطهٔ کلی



R_1 مقاومت سیم پیچ اولیه و R_2 مقاومت سیم پیچ ثانویه است.

$$\begin{cases} V_1 = R_1 i_1 + \frac{d\lambda_1}{dt} \\ V_2 = -R_2 i_2 + \frac{d\lambda_2}{dt} \end{cases} \longrightarrow \begin{cases} V_1 = R_1 i_1 + N_1 \frac{d\Phi_1}{dt} \\ V_2 = -R_2 i_2 + N_2 \frac{d\Phi_2}{dt} \end{cases}$$

$$\Phi_1 = \Phi + \Phi_{l1} \quad , \quad \Phi_2 = \Phi - \Phi_{l2}$$

$$\longrightarrow \begin{cases} V_1 = R_1 i_1 + \underbrace{N_1 \frac{d\Phi}{dt}}_{e_1} + N_1 \frac{d\Phi_{l1}}{dt} \\ V_2 = -R_2 i_2 + \underbrace{N_2 \frac{d\Phi}{dt}}_{e_2} - N_2 \frac{d\Phi_{l2}}{dt} \end{cases}$$

درحالت ایده آل : $V_1 = N_1 \frac{d\Phi}{dt} = e_1$, $V_2 = N_2 \frac{d\Phi}{dt} = e_2$

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

نکته: در ترانس ایده آل یا غیر ایده آل همواره رابطه بالا برقرار است.

مقدار شار نشتی عموماً برابر ٪۲۵ شار متقابل است.

6-5 تکمیل مدار

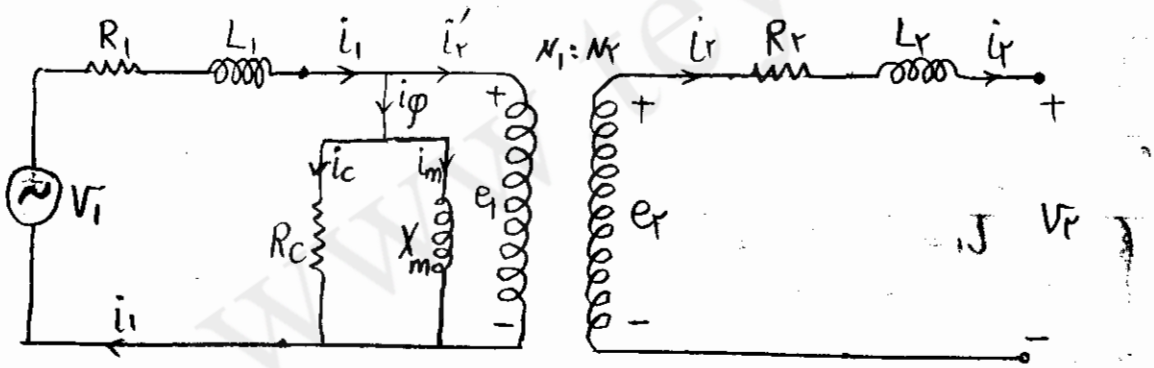
$$\begin{cases} V_1 = R_1 i_1 + e_1 + N_1 \dfrac{d\varphi_{l1}}{dt} \\ V_2 = -R_2 i_2 + e_2 - N_2 \dfrac{d\varphi_{l2}}{dt} \end{cases}$$

L_1 : اندوکتانس نشتی اولیه ، $N_1 \varphi_{l1} = L_1 i_1$

چون شار نشتی اولیه مسیر خود را از هوا می‌بندد در نتیجه رابطهٔ بالا خطی است.

L_2 : اندوکتانس نشتی ثانویه ، $N_2 \varphi_{l2} = L_2 i_2$

$$\rightarrow \begin{cases} V_1 = R_1 i_1 + e_1 + L_1 \dfrac{di_1}{dt} \\ V_2 = -R_2 i_2 + e_2 - L_2 \dfrac{di_2}{dt} \end{cases}$$



باید دقت داشت که در تولید e_1 و e_2 فقط شار متقابل نقش دارد.

۷- دیاگرام فازوری ترانس تکفاز

۷-۱ معادلات حالت دائم

$$\begin{cases} V_1 = R_1 i_1 + e_1 + L_1 \dfrac{di_1}{dt} \\ V_2 = e_2 - R_2 i_2 - L_2 \dfrac{di_2}{dt} \end{cases}$$

www.eyf.com

روابط بالا که در حوزهٔ زمان بودند بصورت زیر در حوزهٔ فرکانس نوشته می شوند :

$$\begin{cases} V_1 = E_1 + R_1 I_1 + L_1 (jw) I_1 \\ V_2 = E_2 - R_2 I_2 - L_2 (jw) I_2 \end{cases}$$

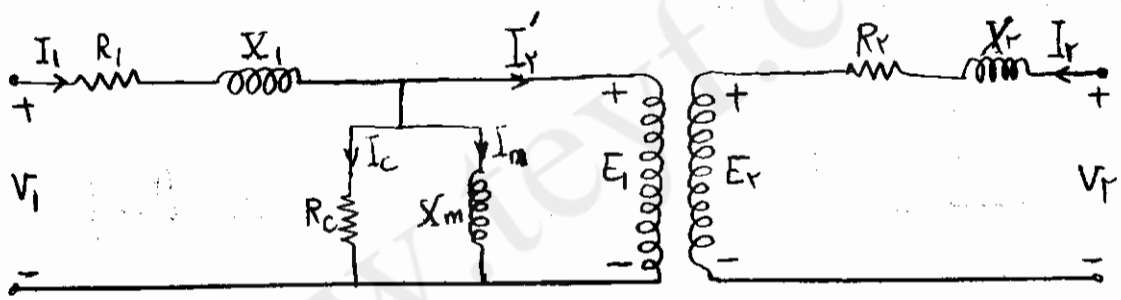
و یا :

$$\begin{cases} V_1 = E_1 + R_1 I_1 + j X_1 I_1 \\ V_2 = E_2 - R_2 I_2 - j X_2 I_2 \end{cases}$$

که در آن :

$X_1 = L_1 w$ ← راکتانس نشتی اولیه

$X_2 = L_2 w$ ← راکتانس نشتی ثانویه



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

$$\longrightarrow I_1 = I_m + I_c + I_2'$$

$$I_m = \frac{E_1}{jX_m} \quad , \quad I_c = \frac{E_1}{jR_c}$$

۲-۷ دیاگرام فازوی در حالت بی باری :

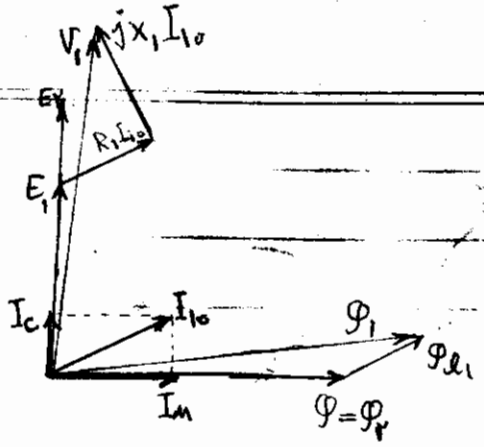
V_-

$$\longrightarrow I_2 = 0 \qquad \longrightarrow I_2' = 0$$

I_1 همان I_0 بی باری

$$I_{10} = I_c + I_M$$

$$V_1 = E_1 + \underbrace{R_1 I_{10} + j X_1 I_{10}}_{\text{مقدار کمی}}$$



E_2 معلوم *

E_1 *

Φ *

I_{1o} *

V_1 *

$$e_1 = N_1\frac{d\Phi}{dt} \longrightarrow E_1 = N_1(j\omega)\Phi \qquad \cdot\ \Phi = \frac{E_{1,2}}{j\omega N_{1,2}}$$

$$e_2 = N_2\frac{d\Phi}{dt} \qquad E_2 = N_2(j\omega)\Phi$$

$$I_{1o} = I_C + I_M \quad , \quad I_M = \frac{E_1}{jX_m} \quad , \quad I_C = \frac{E_1}{R_C}$$

$$V_1 = E_1 + R_1I_{1o} + jX_1I_{1o}$$

$$\Phi_1 = \Phi + \Phi_{l_1} \quad , \quad \Phi_2 = \Phi - \Phi_{l_2}$$

Φ_{l_2} ← در حالت بی باری ۰

چون جریانی از سیم پیچ ثانویه عبور نمی کند (در حالت بی باری)، در نتیجه $\Phi_{l_2}=0$ است.

سوال: جریان بی باری به چه چیزی بستگی دارد؟ و با تغییر چه چیزی کم یا زیاد می شود؟

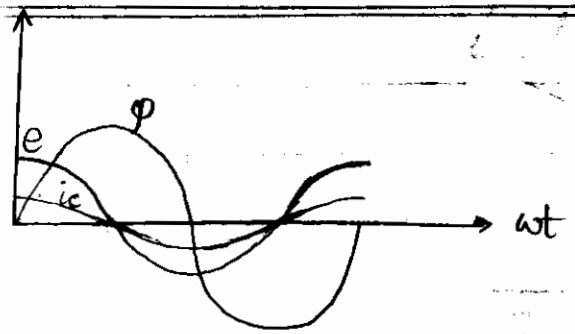
ضریب توان تراس در حالت بی باری بسیار کوچک خواهد بود چون Φ خیلی نزدیک به ۹۰ است.

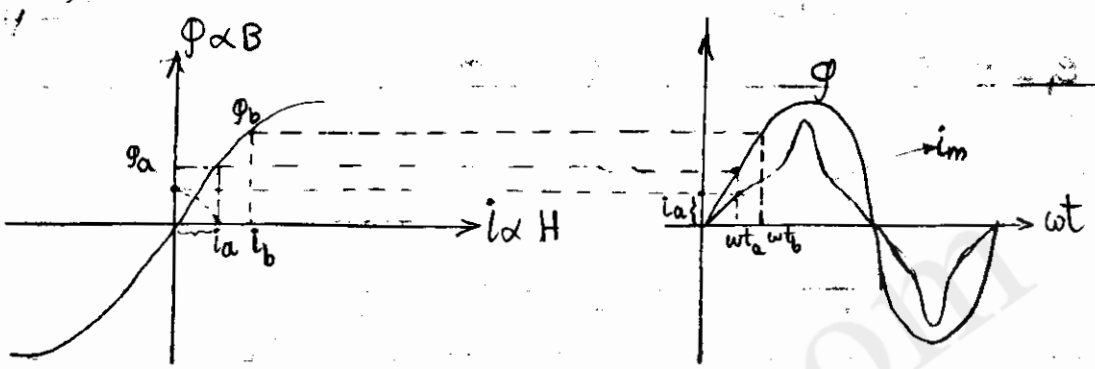
۳-۷ شکل موج جریان بی باری

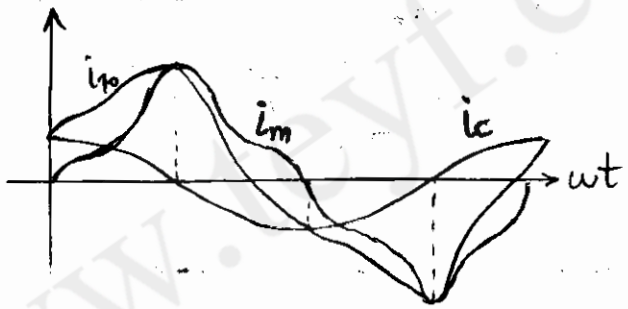
با فرض اینکه شار سینوسی است:

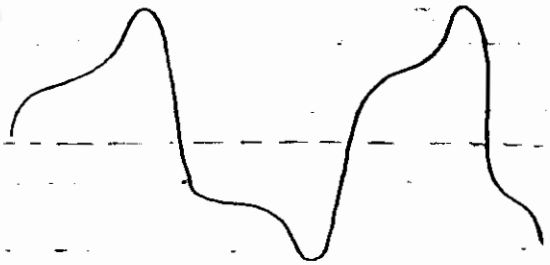
$$\Phi = \Phi_m \sin\omega t$$

$$e_1 = N_1\frac{d\Phi}{dt} = N_1\Phi_m\cos\omega t$$









* جریان بی باری یک جریان غیرسینوسی است که دلیل آن غیرسینوسی بودن جریان مغناطیس کننده است.

* با فرض سینوسی بودن شار و ولتاژ، جریان بی باری غیرسینوسی شد.

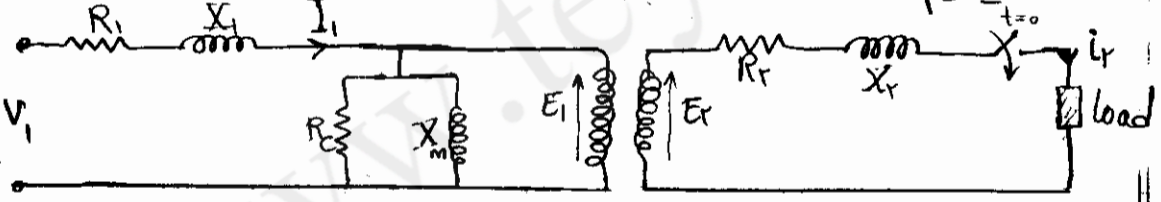
www.ieyf.com

* نیم موج مثبت جریان بی باری شبیه نیم موج منفی آن است. لذا چون تابعی فرد است اگر سری فوریه آن را بنویسیم فقط دارای هارمونیک های فرد خواهد بود.

* با فرض ثابت بودن منحنی φ، هرچه منحنی B-H خوابیده تر شود (یعنی سریع اشباع شود) منحنی جریان I_{1_0} از تیزی بیشتری برخوردار خواهد بود.

* درصورت اشباع ترانس دامنهٔ هارمونیک سوم می تواند ٪ ۴۰ دامنهٔ هارمونیک اصلی هسته بشود.

۴-۷ دیاگرام فازوری درحالت بارداری



$N_1 I_1 = N_2 I_2 = R\varphi$

درحالت بی باری $I_2 = 0$ ، $N_1 I_m \longrightarrow \varphi$

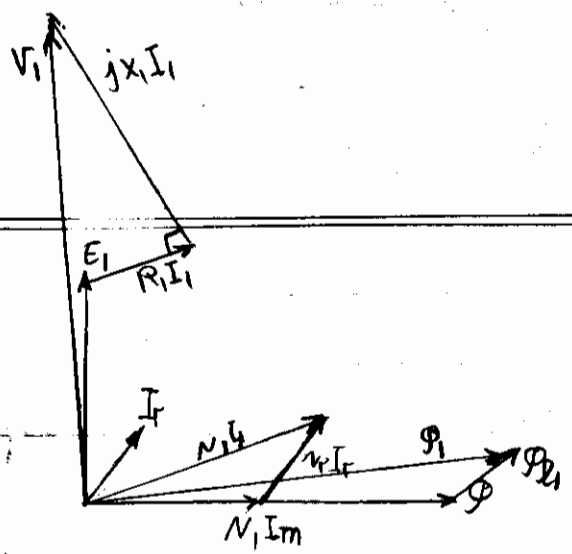
درحالت بارداری: $I_2 \neq 0$ ، $N_1 I_m - N_2 I_2 \longrightarrow \downarrow \varphi$

$\longrightarrow E_1 \downarrow$ ، $V_1 = cte$

$\longrightarrow I_1 \uparrow$

$$N_1 I_1 = N_1 I_m + N_2 I_2$$

www.tevf.com



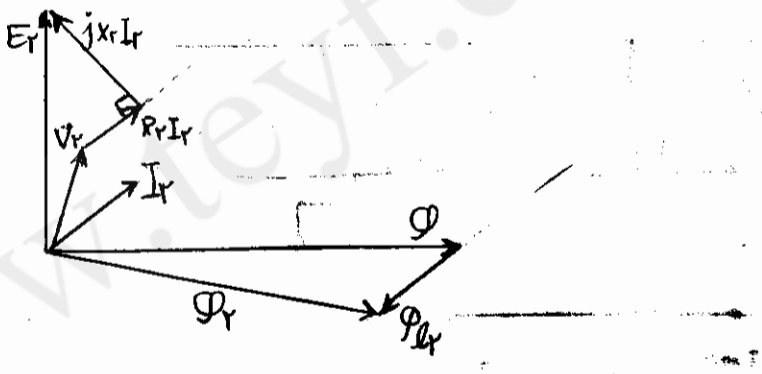
با فرض:
I_2, Φ, E_1
معلوم

$\Phi_{l_1} \parallel N_1 I_1$

$$V_1 = E_1 + R_1 I_1 + jX_1 I_1$$

$$V_2 = E_2 - R_2 I_2 - jX_2 I_2$$

$$\longrightarrow E_2 = V_2 + R_2 I_2 + jX_2 I_2$$



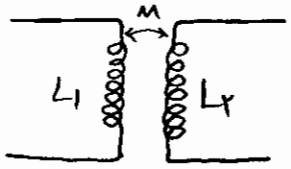
* درحالت پس فاز (یعنی I_2 عقب تر از V_2) : $E_2 > V_2$ $\quad V_1 > E_1$

و درحالت پیش فاز این مسئله برعکس خواهد بود.

* بار پس فاز اثر ضد مغناطیس کنندگی دارد ولی درحالت پیش فاز (ضریب توان بار پیش فاز باشد) شار بوجود آمده اثر مغناطیس کنندگی خواهد داشت.

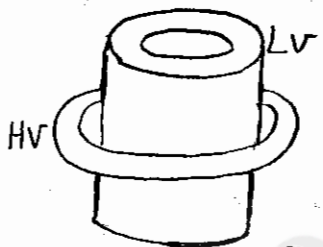
www.tfyf.com

۸- ضریب تزویج (ضریب کوپلاژ یا پیوند)



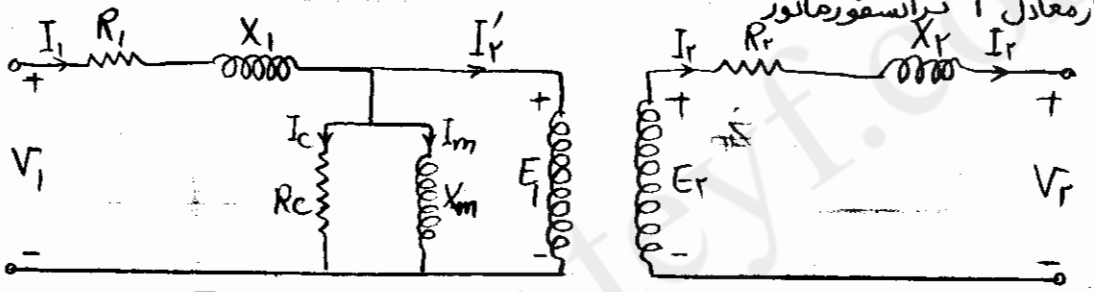
$$K = \frac{M}{\sqrt{L_1 L_2}}$$

$$K = \frac{\Phi}{\Phi + \Phi_l}$$

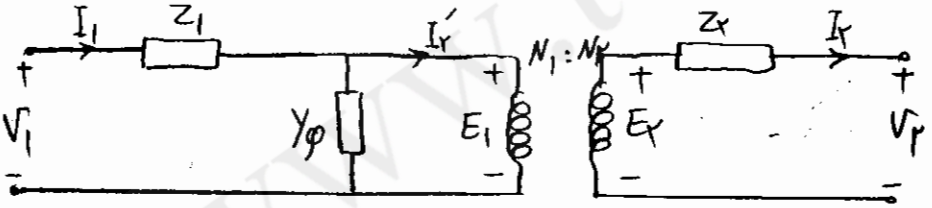


برای افزایش k سیم پیچها را هم محور درست می‌کنند.

۹- مدار معادل T ترانسفورماتور



مدار معادل T:



$$Z_1 \triangleq R_1 + jX_1 \quad , \quad Z_2 \triangleq R_2 + jX_2$$

$$, \quad Y_\varphi \triangleq \frac{1}{R_c} + j\frac{1}{X_m}$$

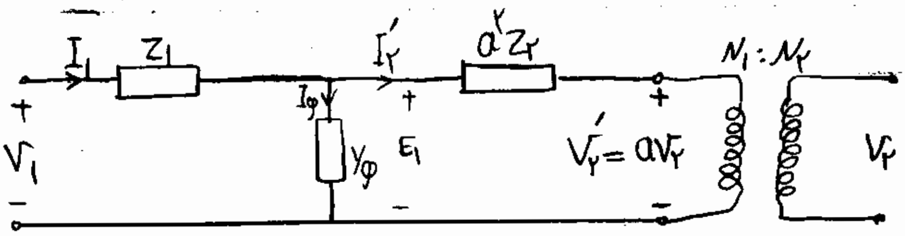
$$V_2 = E_2 - Z_2 I_2$$

$$\times \frac{N_1}{N_2} \longrightarrow \frac{N_1}{N_2} V_2 = \left(\frac{N_1}{N_2} E_2\right) - \frac{N_1}{N_2} Z_2 I_2 \quad (E_1)$$

$$\longrightarrow a V_2 = E_1 - a Z_2 I_2$$

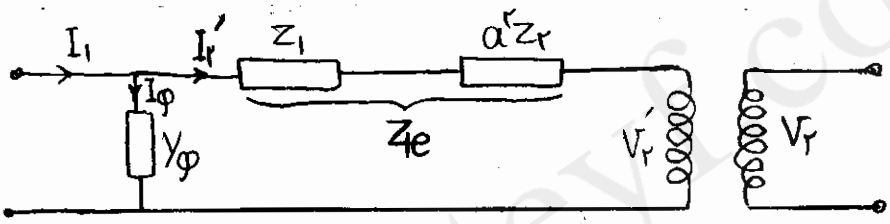
$$\longrightarrow I'_2 N_1 = I_2 N_2 \quad - \quad \longrightarrow I_2 = \frac{N_1}{N_2} I'_2$$

$\rightarrow aV_2 = E_1 - a^2 Z_2 I_2'$



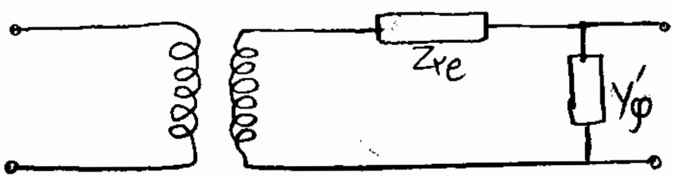
مدار بالا معادل T یک ترانسفورماتور است.

10 ـ مدار معادل L و مدارهای تقریبی.



با تبدیل مدار معادل T به مدار شکل بالا ما از یک تقریب استفاده می کنیم امّا ساده‌سازی زیادی در حل مسائل انجام می شود.

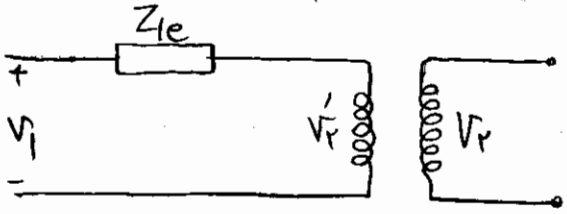
تمام مباحث مطرح شده می توانست در مورد مدار ثانویه انجام بگیرد:



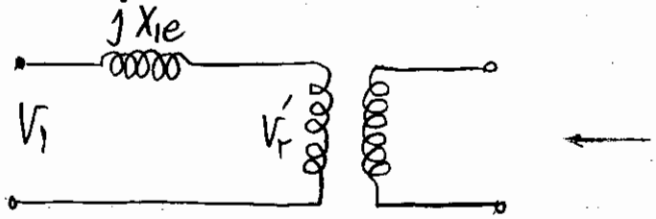
درصورتیکه قدرت ترانس از 100 KVA بیشتر باشد $S > 100\ KVA$ آن گاه:

$I_1 \gg I_M$ در این صورت:

www.teyf.com



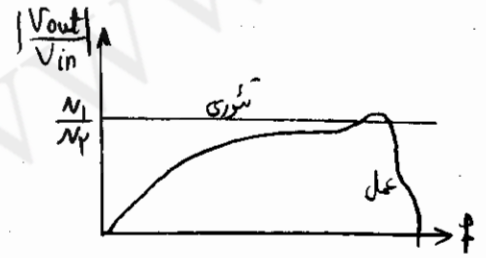
و اگر قدرت ترانس بیشتر از ۵۰۰ kVA باشد $S > 500\ kVA$ در این صورت:



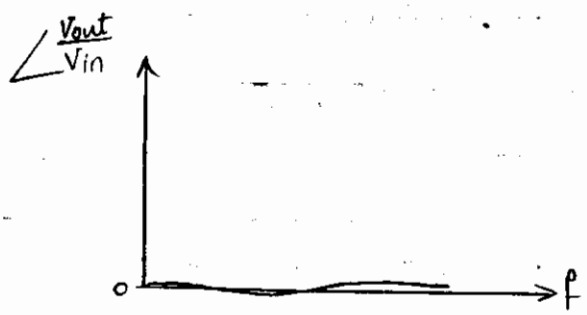
۱۱ ـ مدار معادل تقریبی ترانسفورماتور با فرکانس متغیر.

(مرجع : کتاب سلمون ترجمه دکتر لسانی)

هدف ما این است که ترانس در یک بازهٔ فرکانسی دارای $\frac{V_o}{V_i}$ ثابتی باشد:

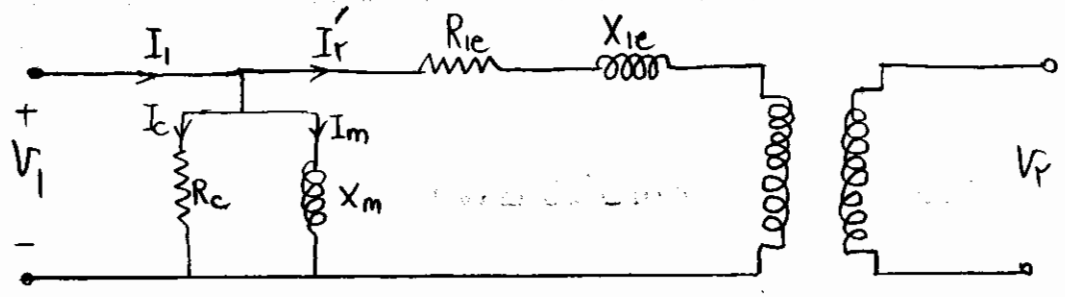


همچنین انتظار داریم که:



www.feyt.com

۱۲-مقادیر نامی ترانسفورماتور :



تلفات هسته : $I_c = \frac{V_1}{R_c} \longrightarrow P_{core} = \frac{V_1^2}{R_c} = R_c I_c^2$

تلفات مس : $P_{cu} = R_{1e} I_2'^2$

یکی از مقادیر نامی ولتاژ است که با توجه به مقدار P_{core} اگر ولتاژ بیشتر از مقدار نامی شود تلفات هسته افزایش پیدا می کند. دیگر مقدار نامی جریان خواهد بود که اگر از مقدار نامی خود تجاوز کند مقدار تلفات مس، P_{cu} افزایش می یابد.

مثال : توان نامی ترانسفورموتوری 315^{KVA} با نسبت تبدیل $\frac{20\ KV}{400\ V}$ می باشد. مقادیر نامی را محاسبه کنید.

$\longrightarrow$ ولتاژ اسمی اولیه $= 20\ kV$

ولتاژ اسمی ثانویه $= 400\ V$

توان ظاهری سه فاز $S = \sqrt{3}\, V I$

جریانهای اسمی اولیه و ثانویه :

$\longrightarrow I_1 = \frac{315\ KVA}{\sqrt{3} \times 20\ KV} = 9,1\ A$

$I_2 = \frac{315\ KVA}{\sqrt{3} \times 400\ V} = 455,2\ A$

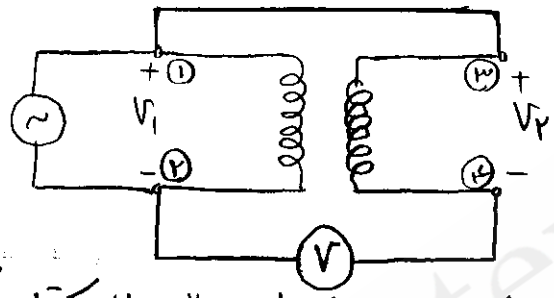
www.tevf.com

می توان فهمید که در HV سطح مقطع و به طور کل سیمهای آن دارای ظرافت بیشتری از سیم LV است.

۱۳- آزمایشات ترانسفورماتور:

هدف: تخمین پارامترهای مدار معادل است.

۱-۱۳ آزمایش تعیین پلاریته.



V_1 و V_2 توسط منبع ولتاژ ایجاد شده اند. سرهای ۱ و ۳ را اتصال کوتاه می کنیم. پس از انجام آزمایش اگر:

$V = V_1 - V_2$ آن گاه ① و ③ هم پلاریته هستند.

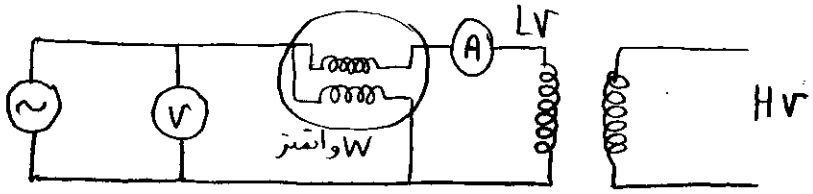
$V = V_1 + V_2$ آن گاه ① و ④ هم پلاریته هستند.

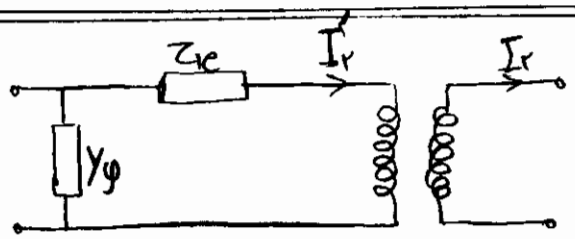
۲-۱۳ آزمایش مدار باز

هدف: تخمین، تخمین R_c ، X_m ، تلفات هسته.

شرایط آزمایش: تحت ولتاژ اسمی و فرکانس اسمی

فرکانس باید اسمی باشد چون خصوصیات مغناطیسی مدار را تغییر می دهد.





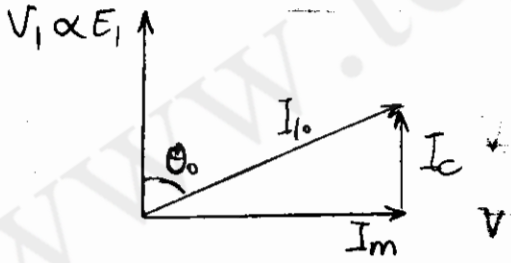
ثانویه یعنی HV مدار باز است. درنتیجه:

$I_2 = 0$

$\longrightarrow I_2' = 0$

P_{core} ✓ I_{1o} ✓ V_1 ✓

$P_{Core} = V_1 I_{1o} \cos\theta_o$ ← $\cos\theta_o$ بدست می‌آید



$I_c = I_{1o}\cos\theta_o$

$I_M = I_{1o}\sin\theta_o$

$$\begin{cases} R_c = \dfrac{E_1}{I_c} = \dfrac{V_1}{I_{1o}\cos\theta_o} \\ X_m = \dfrac{E_1}{I_m} = \dfrac{V_1}{I_{1o}\sin\theta_o} \end{cases}$$

$$P_{Core} = \underbrace{K_h \cdot f \cdot B_{max}^{1.4}}_{\text{تلفات هیسترزیس}} + \underbrace{K_e \cdot f^2 \cdot B_{max}^2}_{\text{تلفات فوکو}}$$

if $B_{max} = cte \longrightarrow P_{Core} = F(f) = af + bf^2$ (1)

www.tevf.com

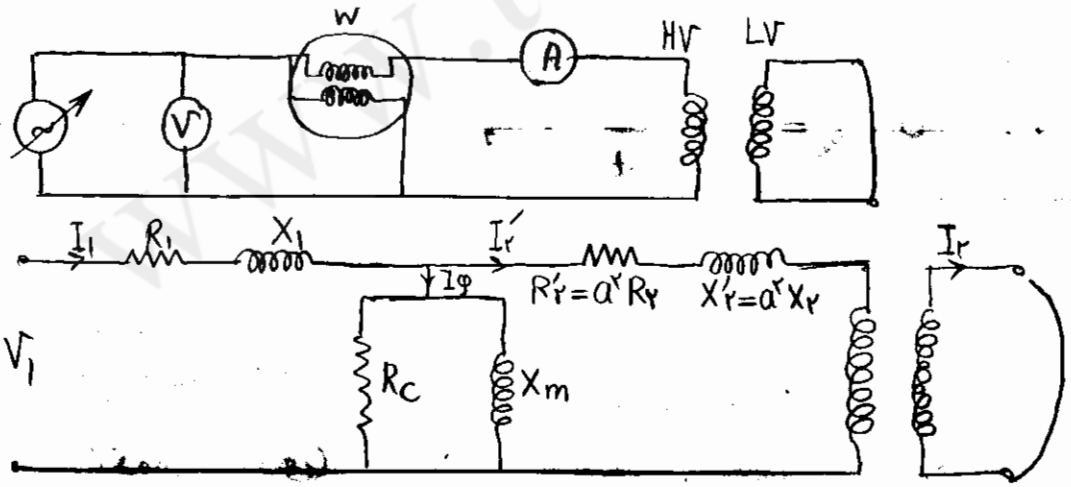
با توجه به رابطهٔ ① اگر تلفات هسته در دو فرکانس داده شود می‌توان تلفات هسته را در تمام فرکانس‌ها بدست آورد.

۳-۱۳ آزمایش اتصال کوتاه :

هدف : تخمین R_{1e} ، X_{1e} و تلفات مس.

شرایط آزمایش : جریان نامی و فرکانس نامی.

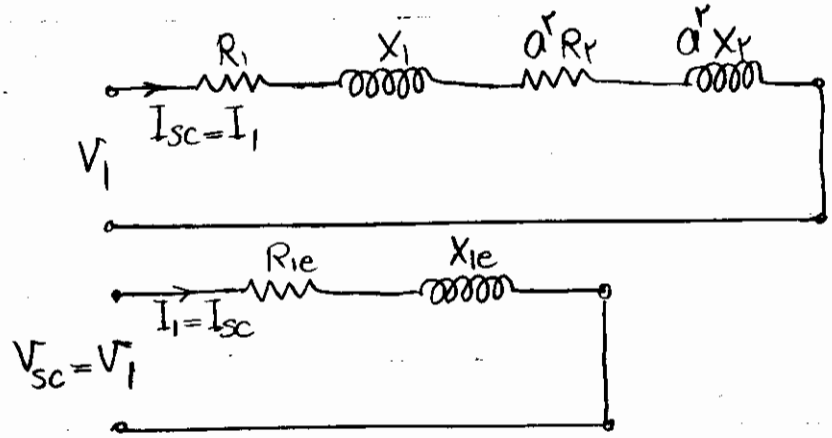
چون یکی از اهداف بدست آوردن تلفات مس است، لذا باید جریان اسمی باشد تا تلفات اسمی باشد. چون با افزایش فرکانس به علت اثر پوستی تلفات بالا می‌رود،



ولتاژ V_1 را تا حدی افزایش می‌دهیم که جریان عبوری I_1 برابر جریان اسمی ترانس باشد.

چون ثانویه اتصال کوتاه شده است با ولتاژ اندکی در اولیه، جریان اسمی از اولیه خواهد گذشت.

پس : $I_\varphi \ll I_2'$ نتیجه:



$$Z_{1e} = \frac{V_{sc}}{I_{sc}} = \frac{V_{sc}}{I_{rat}}$$

از ولت متر می‌خوانیم

از آمپرمتری خوانیم

$$Z_{1e} = \sqrt{R_{1e}^2 + X_{1e}^2}$$

$$P_{cu} = R_{1e} \cdot (I_{rat})^2$$

R_{1e} معلوم می‌شود ← X_{1e} معلوم

$$\cos\theta_{sc} = \frac{P_{cu}}{V_{sc} \cdot I_{rat}} \quad , \quad \cos\theta_{sc} = \frac{R_{1e}}{Z_{1e}}$$

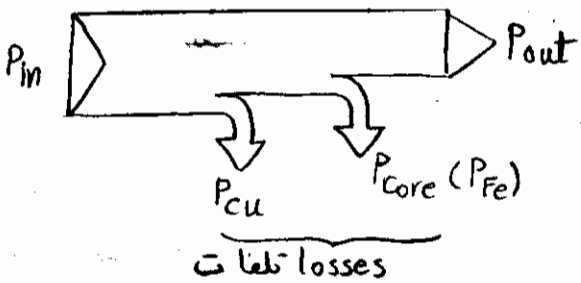
رابطهٔ تستی:

$$u_k\,\% = \frac{V_{sc}}{V_{rat}} = V_{sc}\,\% = \frac{V_{sc}/I_{rat}}{V_{rat}/I_{rat}} = \frac{Z_{1e}}{Z_{rat}} = Z_{1e}\,\%$$

امپدانس مبنا

۱۴- تلفات و راندمان (بازدهی)

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}}$$



www.teyf.com

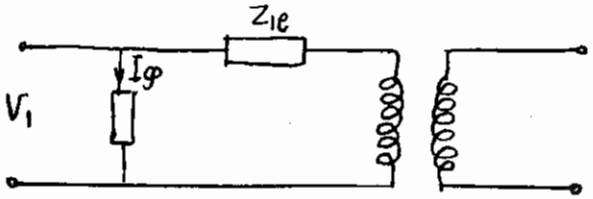
چون جنس هسته اغلب از آهن است تلفات هسته P_{core} را گاهی با P_{Fe} نشان می‌دهند.

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{out} + losses} \longrightarrow$$

۱-۱۴ تلفات :

تلفات هسته همانطورکه درجلسات قبل گفته شد شامل موارد زیر بود :

تلفات فوکو $K_e f^2 B_m^2$ ، تلفات هیسترزیس $K_h f B_m^{1.6}$



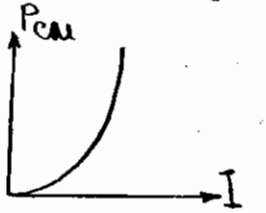
$$V_1 \simeq E_1 = 4.44\, N_1 \varphi f = 4.44\, N_1 BA f$$

چون ولتاژ وفرکانس ثابت هستند انتظارمی رود که چگالی شار $\varphi = BA$ نیز ثابت باشد.

درنتیجه تلفات هسته ثابت خواهد بود اگر ولتاژ وفرکانس ثابت باشندو به بار ارتباطی ندارد.

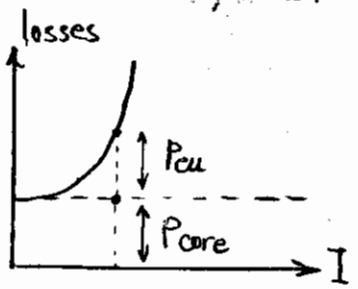
ولتاژ وفرکانس ثابت $\longrightarrow$ $P_{core} = cte$

$$P_{cu} = R_{1e} I_1^2 = R_{2e} I_2^2$$



کل تلفات :

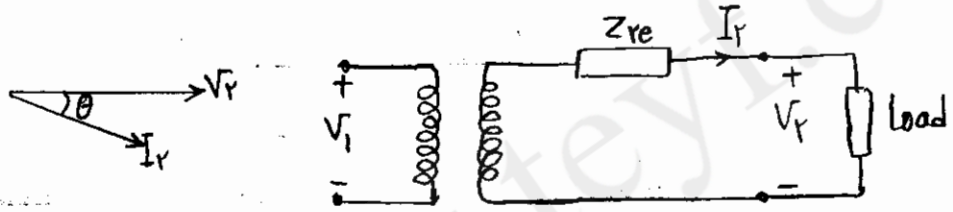
$$losses = P_{core} + P_{cu}$$



تلفات اضافی : تلفاتی است که مقدار بسیار کمی دارد و در اندازه گیریهای دقیق قابل تشخیص است. این تلفات به علت نفوذ شار در بدنهٔ ترانس بوجود می آید. این تلفات با اندازه گیری های الکتریکی مشخص نمی شود بلکه با اندازه گیری های حرارتی قابل تشخیص خواهد بود.

تلفات عایقی : تلفاتی است که به علت عبور جریان از عایقها بوجود می آید. این تلفات در سیستم های فرکانس بالا حائز اهمیت است. چون ارتباط به فرکانس دارد.

۲-۱۴ بازدهی بهینه :



$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{out} + losses} = \frac{V_2 I_2 \cos\theta}{V_2 I_2 \cos\theta + P_{core} + R_{re} I_2^2}$$

در دیدگاه کاربردی انتظار داریم که V_2 ثابت باشد لذا با فرض ثابت بودن V_2 مسئله را دنبال می کنیم :

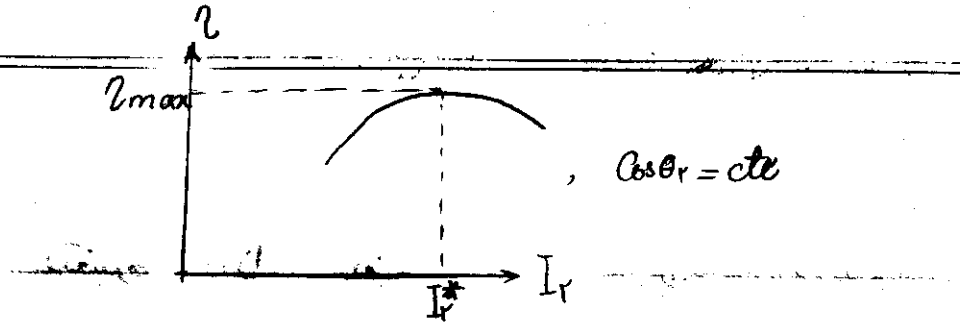
$$V_2 = cte$$

$$\longrightarrow \eta = f(I_2, \cos\theta)$$

فرض کنیم θ_2 ثابت باشد :

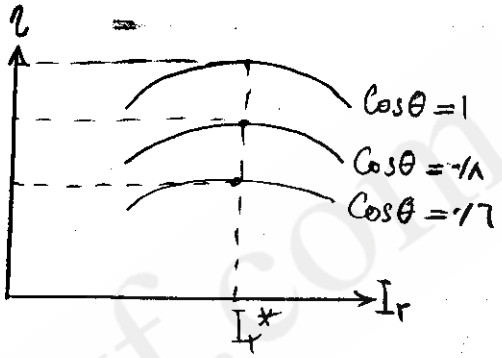
$$\frac{\partial \eta}{\partial I_2} = 0 \longrightarrow R_{re} I_2^2 = P_{cu} = P_{core}$$

$$\longrightarrow I_2^* = \sqrt{\frac{P_{core}}{R_{re}}}$$

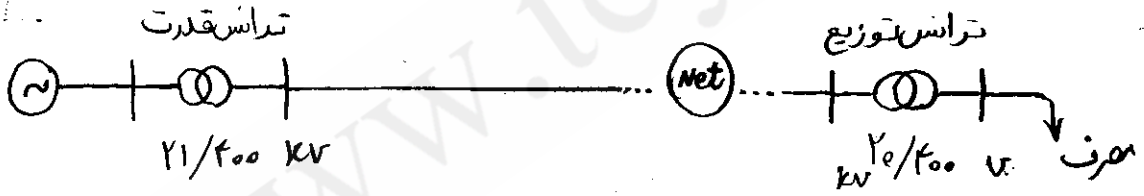


حال این بار جریان را ثابت فرض می‌کنیم :

$\frac{\partial \eta}{\partial \theta} = 0 \longrightarrow \cos\theta = 1$



۳-۱۴ مقایسهٔ بازده بهینه در ترانس‌های قدرت و توزیع



ترانس قدرت معمولاً در نیروگاه‌ها و یا در پست انتقال قرار دارد.

از دیدگاه کاربردی انتظار داریم راندمان ترانس قدرت در جریان اسمی ماکزیمم باشد. در نتیجه تلفات مس بسیار مهم خواهد بود.

در ترانس توزیع جریان خروجی همواره در تغییر است. لذا طوری ساخته می‌شوند که در ۵۰٪ جریان اسمی راندمان ماکزیمم باشد. این ترانس‌ها چون همیشه در مدار وصل

هستند درنتیجه تلفات هسته حائز اهمیت خواهد بود.

چون P_{out} در هر لحظه تغییر می‌کند لذا در تعریف راندمان از رابطه زیر استفاده می‌کنیم:

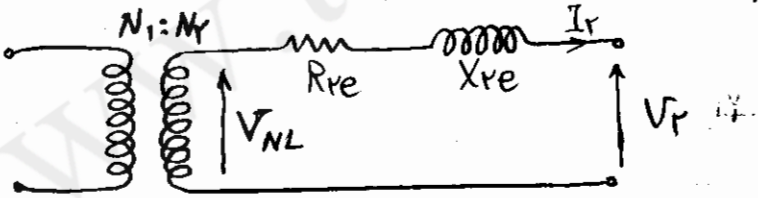
راندمان شبانه‌روزی $\eta = \frac{\text{انرژی خروجی در عرض ۲۴ ساعت}\ kWh}{\text{تلفات در عرض ۲۴ ساعت} + kWh \text{ خروجی در عرض ۲۴ ساعت}}$

$$= \frac{\int_{t_1}^{t_2} P_{out}\,dt}{\int_{t_1}^{t_2} P_{out}\,dt + P_{core}(t_2-t_1) + \int_{t_1}^{t_2} P_{cu}\,dt}$$

۱۵ـ تنظیم ولتاژ / انتظام ولتاژ Voltage Regulation

در یک منبع ولتاژ ساده (باتری) با گرفتن جریان از خروجی آن سطح ولتاژ افت پیدا می‌کند.

حال باید ببینیم این وضعیت در ترانس چگونه است:



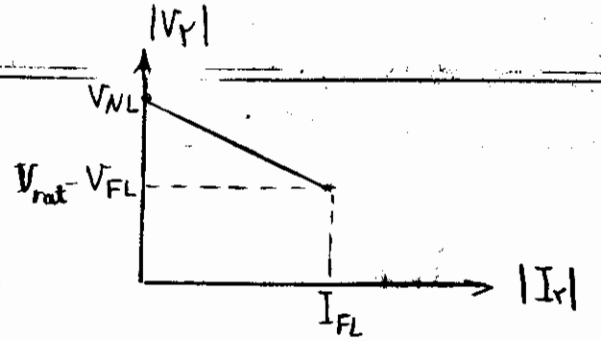
$$R_{2e} = R_2 + \left(\frac{N_2}{N_1}\right)^2 R_1 \quad , \quad X_{2e} = X_2 + \left(\frac{N_2}{N_1}\right)^2 X_1$$

موقعی که I_2 صفر است اگر در خروجی ولتمتر قرار دهیم ولتاژ E_2 را که با V_{NL} نشان می‌دهند، اندازه می‌گیریم.

$$I_2 = 0 \longrightarrow V_2 = V_{NL} \quad (\text{No-Load})$$

$$I_2 \neq 0 \longrightarrow V_2 \neq V_{NL}$$

$$, \quad V_2 = V_{FL} \quad (\text{Fool-Load})$$

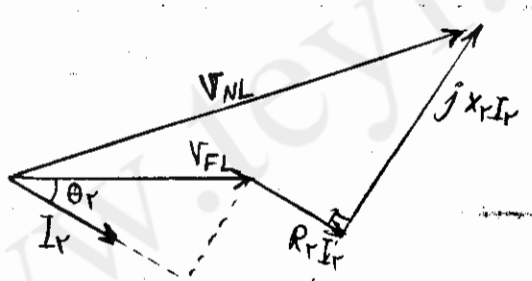


درنتیجه V_{NL} را بیشتری گیریم تا با کشیده شدن جریان وافت ولتاژ به ولتاژ V_{FL}

که مطلوب ما است برسیم : $$VR\% = \frac{|V_{2NL}| - |V_{2FL}|}{|V_{2FL}|} \times 100$$

$$V_{NL} = (R_{2e} + j X_{2e}) I_2 + V_{FL}$$

لذا به عنوان معلومات مسئله ، مبنای کار را V_{FL} درنظری گیریم و دیاگرام فازوری را رسم می‌کنیم:



رابطه تنی کارشناسی ارشد

$$\rightarrow |V_{NL}| = \sqrt{(V_{FL}\cos\theta_2 + R_{2e} I_2)^2 + (X_{2e} I_2 \pm V_{FL}\sin\theta_2)^2}$$

پس‌فاز + lag

− lead پیش‌فاز

۱۶- جریان هجومی (inrush current) :

هنگامی که ترانس در حالت دائم کار می‌کند مقدار جریان مغناطیس کننده برابر است با :

$$I_M = ۲ \text{ تا } ۵\% \ I_{rat.}$$

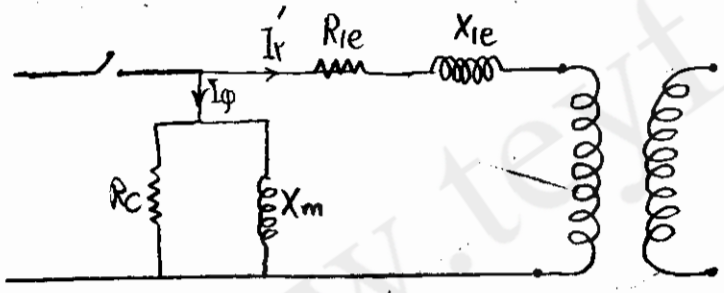
$$۰/۲ \text{ تا } ۱\% \ I_{rat.}$$

امّا بعضی وقت‌ها به محض وصل کردن کلید، مدار قطع می‌شود. این به دلیل جریان هجوی است که مقدار آن برابر است با : $I_{inrush} = ۱۰ \text{ تا } ۲۰ \times I_{rat}$

اینکه سیستم حفاظتی شبکه، مدار را قطع می‌کند به این دلیل است که جریان هجومی را با جریان اتصال کوتاه اشتباه می‌گیرد.

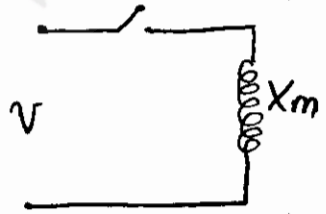
همچنین در هنگام بروز جریان هجومی نیروی شدید مکانیکی به سیم‌پیچ‌ها وارد می‌شود.

۱-۱۶ تحلیل



اگر از تمام مقاومت‌ها صرف‌نظر کنیم و همچنین فرض کنیم که : $I'_r \ll I_\varphi$

آن‌گاه :



$$v = \sqrt{۲}\, V \sin \omega t \quad , \quad e = N \frac{d\varphi}{dt} \quad , \quad e = v$$

$$\longrightarrow \quad \varphi = \frac{1}{N} \int_{t_0}^{t} v \, dt$$

$$\longrightarrow \quad \varphi(t) = -\frac{\sqrt{۲}\, V}{N\omega} \cos \omega t + \frac{\sqrt{۲}\, V}{N\omega} \cos \omega t_0$$

www.tevf.com

پس جریان هجومی به دو متغیر بستگی داشت : ۱- لحظهٔ وصل کلید ۲- اثر پسماند.

که هر دو متغیر فوق کاملاً تصادفی هستند.

۱۷- سیستم پریونیت (یکایی/مبنای واحد/ Per Unit)

۱-۱۷ مقدمه:

تعریف: $\text{مقدار پریونیتی هر کمیت} = \frac{\text{مقدار واقعی آن کمیت}}{\text{مقدار مبنای کمیت}}$

مثلاً در نظر می‌گیریم که مقدار مبنای مقاومت برابر $100\,\Omega$ باشد ($R_{base} = 100\,\Omega$). در این صورت مقدار پریونیتی یک مقاومت $120\,\Omega$ برابر ۱٫۲ است یعنی:

$$R_1 = 120\,\Omega = \frac{120}{100}^{pu} = 1{,}2\ pu$$

در ترانس ها معمولاً جریان مغناطیس کننده را بر مبنای جریان نامی آن ترانس پریونیت می‌کنند، که در این صورت در تمام ترانس‌ها به مقدار ۰٫۰۶ pu تا ۰٫۰۴ pu می رسیم.

$$\text{جریان تحریک ترانس} = \text{جریان نامی همان ترانس}$$

۰٫۰۶ pu تا ۰٫۰۲ pu

$$\text{مقدار پریونیتی هر کمیت} = \frac{\text{مقدار درصدی کمیت}}{100}$$

کمیت‌های مبنا در برق عموماً شامل:

جریان I_{base}، ولتاژ V_{base}، توان S_{base} و امپدانس Z_{base} هستند.

$$\longrightarrow \quad S_b = V_b I_b \quad , \quad V_b = Z_b I_b$$

بنابراین در آنالیز مدارها فقط لازم است دو کمیت مبنا داشته باشیم ،

ارتباط مقادیر مبنای اولیه و ثانویه :

$$\frac{V_{b1}}{V_{b2}} = a \quad , \quad \frac{I_{b1}}{I_{b2}} = \frac{1}{a}$$

با توجه به این موضوع امپدانس پریونیت شده را محاسبه می کنیم:

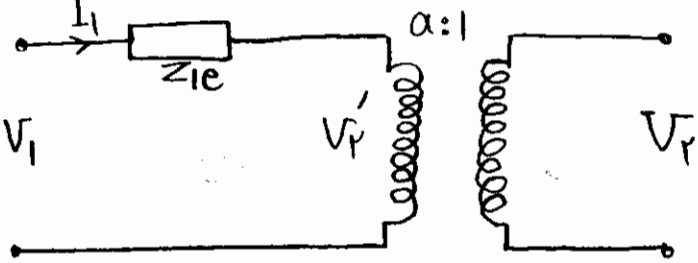
$Z_{b_1} = \frac{V_{b1}}{I_{b1}}$ = امپدانس مبنا در اولیه ، $Z_{b_2} = \frac{V_{b2}}{I_{b2}}$ = امپدانس مبنا در ثانویه

$$\longrightarrow \quad Z_{1e}\ pu = \frac{Z_{1e}\ \Omega}{Z_{b_1}\ \Omega} = \frac{Z_{1e}}{V_{b1}/I_{b1}}$$

$$Z_{2e}\ pu = \frac{Z_{2e}\ \Omega}{Z_{b2}\ \Omega} = \frac{Z_{2e}}{V_{b2}/I_{b2}} = \frac{Z_{1e}/a^2}{(V_{b1}/a)/aI_{b1}} = \frac{Z_{1e}}{Z_{b1}}$$

$$\longrightarrow \quad Z_{1e}\ pu = Z_{2e}\ pu$$

۲-۱۷ مدار معادل ترانسفورماتور در سیستم پریونیت:



تمام روابط فازوری نوشته شده است :

$$V_1 = Z_{1e} I_1 + V_2'$$

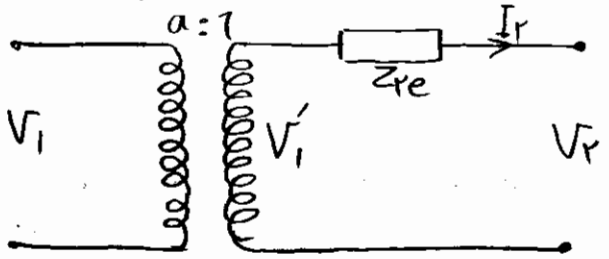
$$\div V_{b_1} \longrightarrow \quad \frac{V_1}{V_{b_1}} = \frac{Z_{1e} I_1}{V_{b_1}} + \frac{V_2'}{V_{b_1}}$$

www.tavi.com

$$\longrightarrow \quad V_1\ pu = \frac{I_1}{I_{b1}}\frac{Z_{1e}}{Z_{b1}} + \frac{aV_2}{aV_{b2}}$$

$$\longrightarrow \quad V_1\ pu = I_{1pu} \cdot Z_{1e}\ pu + V_2\ pu \quad (1)$$

پریونیت کردن از دیدگاه اولیه :



$$V_1' = Z_{2e} I_2 + V_2$$

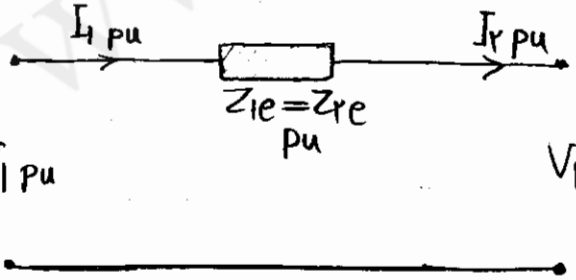
$$\div V_{b2} \longrightarrow \frac{V_1'}{V_{b2}} = \frac{Z_{2e} I_2}{V_{b2}} + \frac{V_2}{V_{b2}}$$

$$\longrightarrow \frac{V_1/a}{V_{b1}/a} = \frac{Z_{2e} I_2}{Z_{b2} I_{b2}} + V_2\ pu$$

پریونیت کردن از دیدگاه ثانویه : (2)

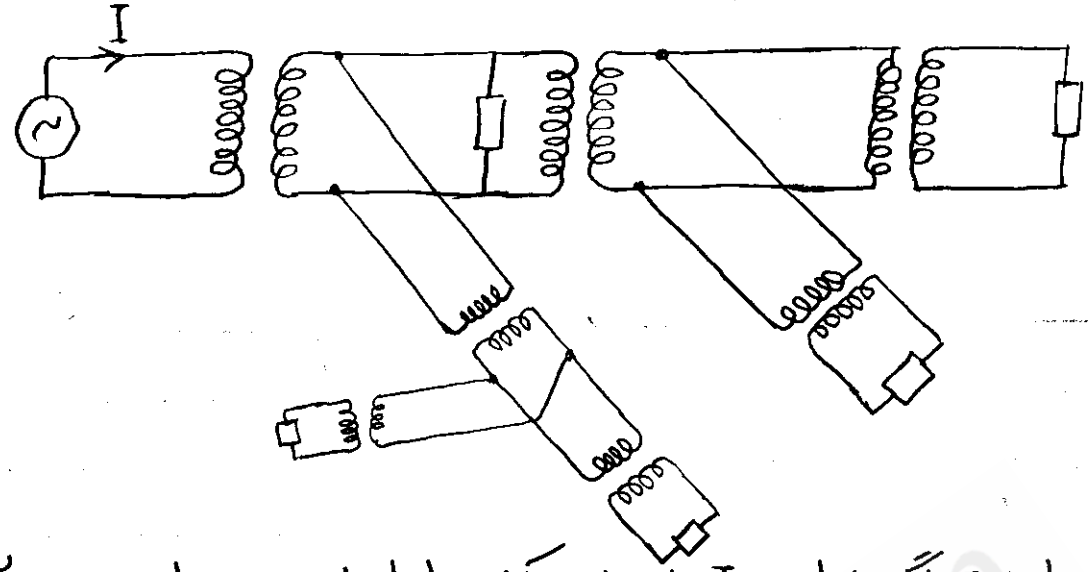
$$\longrightarrow \quad V_1\ pu = Z_{2e}\ pu \cdot I_{2e}\ pu + V_2\ pu$$

$$(1), (2), \quad Z_{1e}\ pu = Z_{2e}\ pu \longrightarrow I_1\ pu = I_2\ pu$$



می بینیم کمدار پریونیت شده ترانس بسیار ساده است. حال اهمیت این موضوع را بررسی می کنیم. شبکه ترانس زیر را در نظر می گیریم :

www.teyf.com



در مدار فوق اگر بخواهیم I را محاسبه کنیم روابط زیاد و پیچیده‌ای بوجود می‌آیند اما با پریونیت کردن مدار بسیار ساده شده و محاسبات راحت‌تر انجام می‌شود. این به این دلیل است که نسبت تبدیل حذف می‌شود. لذا از مزایای پریونیت کردن حذف نسبت تبدیل است در حالتیکه دقت حفظ می‌شود.

۳-۱۷ تلفات مس نامی پریونیت شده :

$$P_{cu}^{FL} = R_{1e}\,(I_{1FL})^2$$

با فرض : $S_b = S_{rat}$ ، $I_b = I_{FL}$

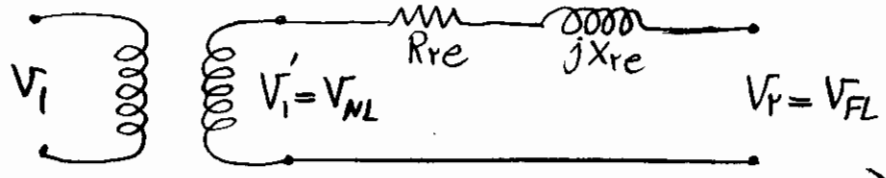
$$\div S_b \longrightarrow \frac{P_{cu}^{FL}}{S_b} = \frac{R_{1e}\,(I_{1FL})^2}{S_b} = \frac{R_{1e}\, I_{1FL}}{V_{b1}\cdot I_{b1}} = \frac{R_{1e}}{V_{b1}/I_{b1}} = \frac{R_{1e}}{Z_{b1}}$$

$$= R_{1e}\ pu$$

تلفات مس نامی پریونیت شده: $\frac{P_{cu}^{FL}}{S_b} = R_{1e}\ pu$

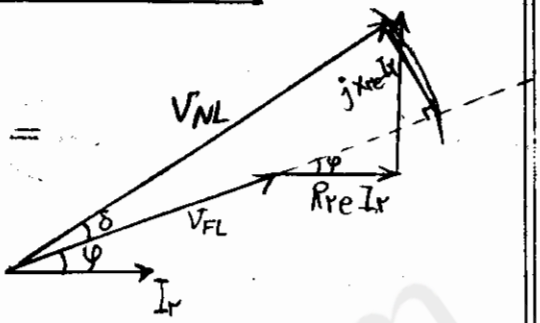
نکته‌ای برای کارشناسی ارشد:

۱۷-۴ تنظیم ولتاژ / انتظام ولتاژ پریونیتی



$$V_{NL} = V_{FL} + R_{re} I_2 + j X_{re} I_2$$

=



$$\longrightarrow \quad |V_{NL}| - |V_{FL}| \simeq R_2 I_2 \cos\varphi + X I \sin\varphi$$

$$\div |V_{FL}| \longrightarrow \quad VR_{pu} = \frac{R_2 I_{FL}}{V_{FL}} \cdot \frac{I}{I_{FL}} \cos\varphi + \frac{X I_{FL}}{V_{FL}} \cdot \frac{I}{I_{FL}} \sin\varphi$$

$$\longrightarrow \quad VR_{pu} = R_{pu} \cdot I_{pu} \cos\varphi + X_{pu} \cdot I_{pu} \sin\varphi$$

نکته کنکوری:

$\varphi > 0$ پسفاز ، $\varphi < 0$ پیشفاز

۱۷-۵ امپدانس اتصال کوتاه پریونیتی

$$V_{sc}\% = \frac{V_{sc}}{V_{rat}} = \frac{V_{sc}/I_{rat}}{V_{rat}/I_{rat}} = \frac{Z_{sc}}{Z_{base}} = Z_{sc}\%$$

$$\longrightarrow \quad V_{sc}^{pu} = Z_{sc}^{pu}$$

۱۷-۶ تغییر مبنا

تغییر مقادیر پریونیتی قدیمی به مقادیر پریونیتی جدید.

www.teyf.com

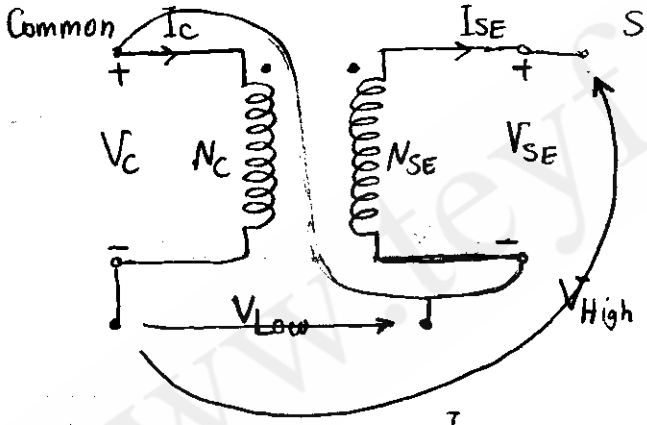
$$Z_{puo}^{old} = \frac{Z\Omega}{\frac{(V_{bo})^2}{S_{bo}}} \longrightarrow Z\Omega = Z_{puo} \cdot \frac{(V_{bo})^2}{S_{bo}}$$

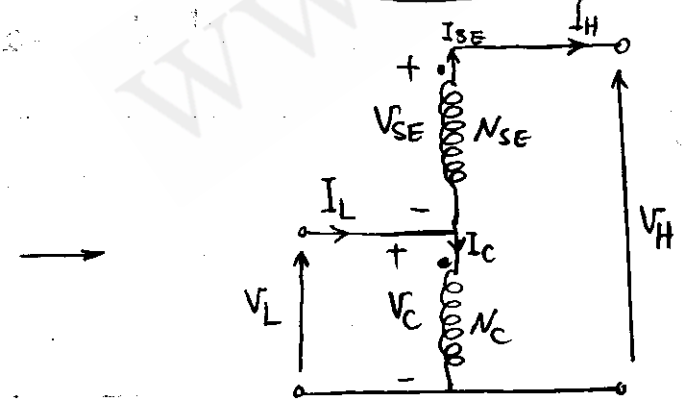
$$Z_{pun} = \frac{Z\Omega}{\frac{(V_{bn})^2}{S_{bn}}} \longrightarrow Z\Omega = Z_{pun} \cdot \frac{(V_{bn})^2}{S_{bn}}$$

$$\longrightarrow Z_{pun} = Z_{puo} \cdot \frac{S_{bn}}{S_{bo}} \cdot \left(\frac{V_{bo}}{V_{bn}}\right)^2$$

۱۸ـ اتوترانسفورماتور

۱-۱۸ تعریف : وسیله ای فیزیکی است که اصول کار آن همانند ترانسفورماتور است.





$\longrightarrow$

با دقت در شکل می بینیم که دستگاه از یک سیم پیچ سری و یک سیم پیچ مشترک تشکیل شده است.

Common — Series

$$\longrightarrow \frac{V_C}{V_{SE}} = \frac{N_C}{N_{SE}} \quad , \quad N_C I_C = N_{SE} I_{SE} \longleftarrow$$

$$\begin{cases} V_L = V_C \\ V_H = V_C + V_{SE} \end{cases} \quad , \quad \begin{cases} I_L = I_C + I_{SE} \\ I_H = I_{SE} \end{cases}$$

$$\longrightarrow \frac{V_L}{V_H} = \frac{V_C}{V_C + V_{SE}} = \frac{V_C/V_{SE}}{V_C/V_{SE} + 1} = \frac{\frac{N_C}{N_{SE}}}{1 + \frac{N_C}{N_{SE}}}$$

$$\longrightarrow \frac{V_L}{V_H} = \frac{N_C}{N_C + N_{SE}} = K$$

$$\longrightarrow \frac{I_L}{I_H} = \frac{I_C + I_{SE}}{I_{SE}} = \frac{N_{SE} I_C + \overbrace{N_{SE} I_{SE}}^{N_C I_C}}{\underbrace{N_{SE} I_{SE}}_{N_C I_C}} = \frac{N_{SE} + N_C}{N_C}$$

$$\longrightarrow \frac{I_L}{I_H} = \frac{N_{SE} + N_C}{N_C} = \frac{1}{K}$$

۲-۱۸ مزیت اتوترانسفورماتور

۱-۲-۱۸ توان ظاهری بالاتر

$$S_{in} = V_L I_L = S_{out} \quad , \quad S_{auto} = V_H \cdot I_H$$

برای یک ترانس تک فاز معمولی (دوسیم پیچه ۲ wired) رابطه زیر را داریم:

$$S_{TW} = V_C I_C = V_{SE} \cdot I_{SE}$$

$$\longrightarrow S_{TW} = V_C I_C = V_L (I_L - I_H) = V_L I_L - V_L I_H$$

$$= V_L I_L - V_L I_L \frac{N_C}{N_C + N_{SE}} = V_L I_L \left[1 - \frac{N_C}{N_C + N_{SE}}\right]$$

$$= V_L I_L \frac{N_{SE}}{N_{SE} + N_C}$$

www.teyf.com

$$\longrightarrow S_{2W} = S_{auto}\frac{N_{SE}}{N_{SE}+N_C} \longrightarrow \frac{S_{2W}}{S_{auto}} = 1-k$$

با توجه به اینکه $k<1$ است لذا همواره $S_{auto} > S_{2W}$.

در ترانس معمولی : $V_C I_C = V_{SE} I_{SE}$

در اتوترانس : $V_L I_L = V_L(I_{SE}+I_C) = V_L I_{SE} + V_C I_C$
$= V_C I_{SE} + V_C I_C$

دلیل اینکه در اتوترانس قدرت بیشتری انتقال می‌یابد این است که در اتوترانس اتصال الکتریکی نیز برقرار است.

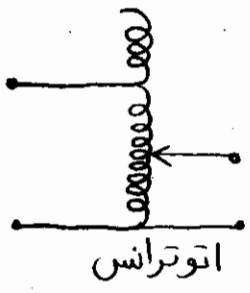
$$\longrightarrow V_L I_L = \underbrace{V_C I_{SE}}_{\text{قدرت منتقل شده از طریق الکتریکی}} + \underbrace{V_C I_C}_{\text{قدرت منتقل شده از طریق مغناطیسی}}$$

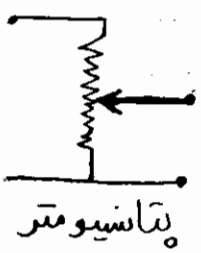
If $N_{SE} \longrightarrow 0 \longrightarrow K \longrightarrow 1$

, $\frac{S_{2W}}{1-k} = S_{auto}$

پس قدرت اتوترانس وقتی ماکزیمم است که N_{SE} به سمت صفر میل کند. البته N_{SE} را صفر نمی‌گیریم. چون در این صورت V_L و V_{High} برابر می‌شوند و مفهوم ترانس از بین می‌رود.

۲-۲-۱۸ مزیت افزایش ولتاژ متغیر.


اتوترانس


پتانسیومتر

www.tejf.com

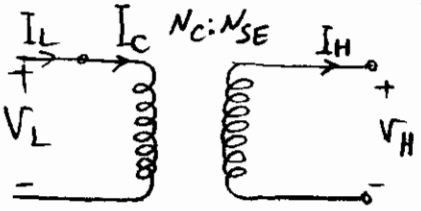
اینکه به جای اتوترانس از پتانسیومتر استفاده نمی‌کنیم این است که :

ـ پتانسیومتر دارای تلفات است .

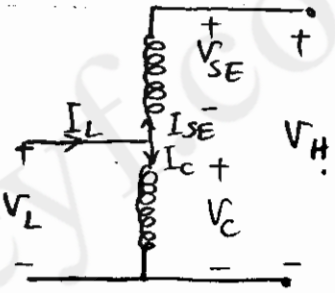
ـ در اتوترانس می‌توان ولتاژ بیشتر از تغذیه را ایجاد کرد امّا در پتانسیومتر خیر.

۳ـ۲ـ۱۸ مزیت کاهش هزینه (وزن و اندازه) .

هدف : انتقال توان $V_L I_L$ است. آلترناتیوها ۲W و auto



$I_C = I_L$



$I_C = I_L - I_{SE}$

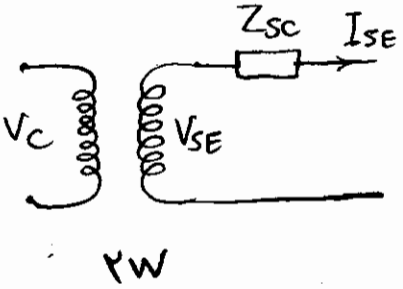
با توجه به روابط بالا چون I_C اتوترانس کمتر است می‌توان سطح مقطع هادی‌های مس اتوترانس را کوچک کرد. در نتیجه پنجرهٔ اتوترانس کوچک خواهد بود، پس وزن و هزینه اتوترانس کمتر بوده و هزینهٔ کمتری را خواهد داشت.

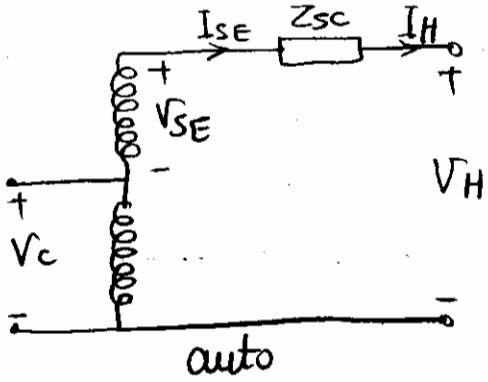
$$N_{SE} \longrightarrow 0 \ , \ K \longrightarrow 1 \ , \ \frac{I_L}{I_H} = \frac{1}{K} \longrightarrow 1 \ , \ I_C = I_L - I_H \longrightarrow 0$$

در نتیجه هرچه V_H به V_L نزدیک‌تر باشد استفاده از اتوترانس اقتصادی خواهد بود.

www.teyfcom

۴-۲-۱۸ تلفات وراندمان.





از لحاظ تلفات اهمی هر دو باهم برابرهستند چون از هردو مقاومت جریان سری می گذرد.

امّا از لحاظ پریونیتی متفاوت خواهند بود :

$$\frac{\text{تلفات مس پریونیتی اتوترانس}}{\text{تلفات مس پریونیتی دوسیم پیچه}} = \frac{\frac{\text{تلفات در بار کامل}}{S_{auto}}}{\frac{\text{تلفات در بار کامل}}{S_{۲W}}} = \frac{S_{۲W}}{S_{auto}} = 1-K$$

$$\eta_{۲W} = \frac{P_{in} - losses}{P_{in}} = 1 - losses(pu)$$

if $P_{base} = P_{in} = P_{rat}$

در مورد اتوترانس هم به همینگونه است.

۵-۲-۱۸ تنظیم ولتاژ بهتر.

۲W ⟶ auto

$$\frac{Z^{pu}_{auto}}{Z^{pu}_{۲W}} = \frac{\frac{V_H}{I_H}}{\frac{V_{SE}}{I_{SE}}} = \frac{V_{SE}}{V_H} = \frac{V_H - V_L}{V_H} = 1 < K$$

$$\longrightarrow \frac{Z^{Pu}_{auto}}{Z^{Pu}_{۲W}} = 1-K$$

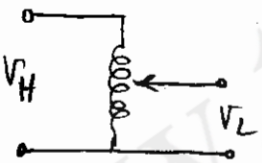
افت ولتاژ α تنظیم ولتاژ اتوترانس $Z^{pu}_{auto} \cdot I_H$

افت ولتاژ α تنظیم ولتاژ ترانس تکفاز ۲W $Z^{pu}_{2W} \cdot I_{SE}$

$$\rightarrow \frac{VR_{auto}}{VR_{2W}} = \frac{Z^{pu}_{auto} \cdot I_H}{Z^{pu}_{2W} \cdot I_{SE}} = 1-K$$

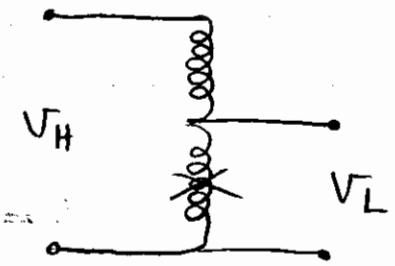
وضعیتی که سیم پیچیها در اتوترانس دارند باعث می شود که در موقع ساخت، راکتانس نشتی اتوترانس کمتر شود و راکتانس نشتی خود را در Z_{SC} نشان می دهد و به همین دلیل تنظیم ولتاژ بهتری خواهد داشت.

۳-۱۸ معایب اتوترانس



اولین عیب عبور اغتشاشات است که به علت وجود اتصال الکتریکی در اتوترانس است.

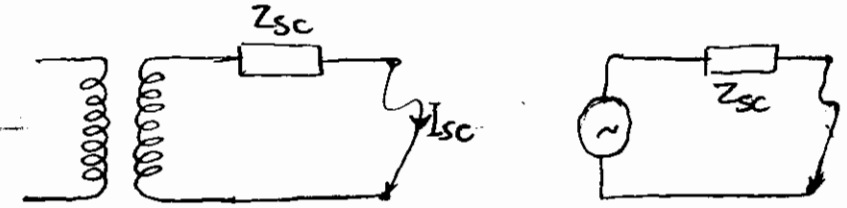
دومین عیب وقتی است که مدار اتوترانس قطع شود.



هنگامی که سیم پیچ مشترک قطع شود تمام V_H کاملاً در V_L ظاهر می شود و اگر نسبت تبدیل بزرگ باشد باعث صدمه دیدن قسمتهایی که در طرف V_L قرار دارند می شود.

www.teyf.com

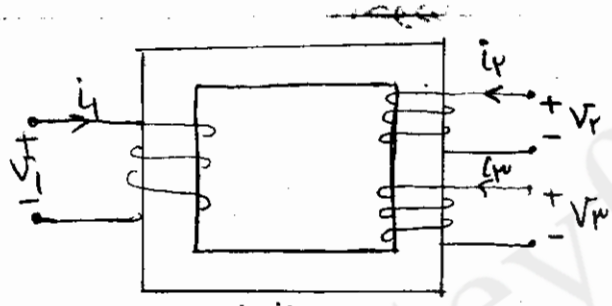
عیب سوم اتصال کوتاه است.



در این حالت جریان اتصال کوتاه بیشتری خواهد گذشت چون راکتانس کمتری دارد.

۴-۱۸ تراس‌های (تکفاز) سه سیم پیچه

کاربردها:

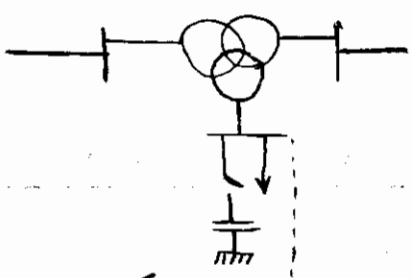


سیم پیچ ثالثیه

- 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 می‌شود.

- تغذیهٔ بار راکتیو:

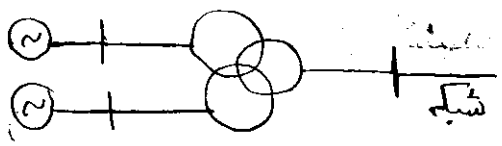


در نیروگاه توان اکتیو و راکتیو هر دو تولید می‌شوند و مصرف کننده نیاز به توان اکتیو دارد

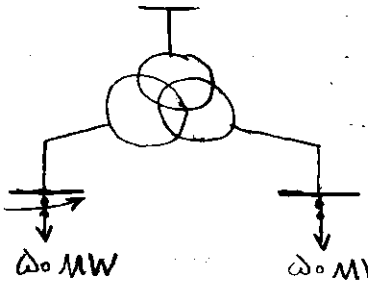
اما به اجبار باید توان راکتیو را نیز دریافت کند. هنگامی که توان راکتیو در شبکه کم می‌شود

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

— اتصال دو ژنراتور به شبکه :

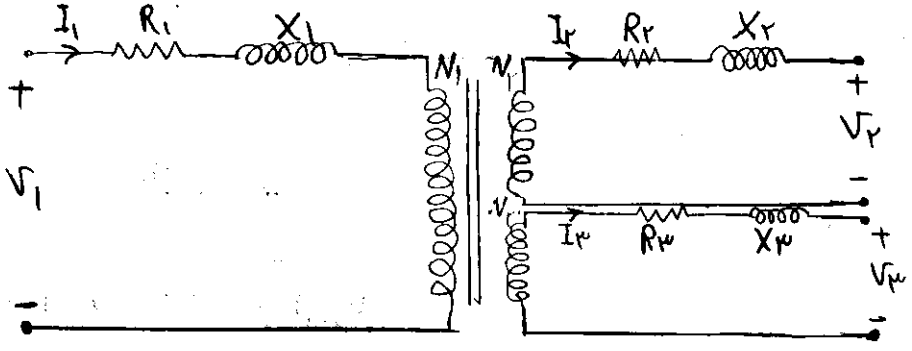


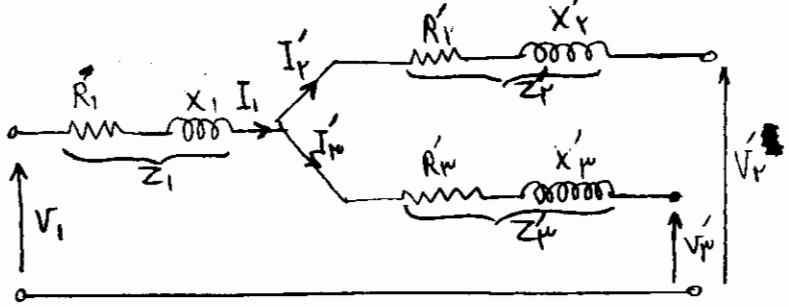
— افزایش قابلیت اطمینان :



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 پیچ تمام ۱۰۰MW از مدار خارج می‌شود.

مدار معادل :





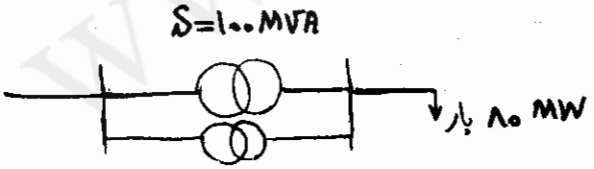
ازسمت اولیه بایدجریان I_1ای کشیده شودکه mmf تولیدشده از آن بتواند mmf ثانویه وثالثیه راخنثی کند. KCL مربوطبه گرهٔ بالابیانگرهمین امر است.

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

سوال: چگونه می‌توان باانجام سه آزمایش اتصال کوتاه مقدار Z_1 و Z'_2 و Z'_3 را تعیین کرد؟

۱۹ - موازی کردن ترانسفورماتورها

چرا موازی می‌کنیم؟



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

ـــ افزایش قابلیت اطمینان: اگر اشکالی دریکی از ترانسها بوجود آید با قطع کردن

www.teyf.com

آن فقط قسمتی ازشبکه راباید خاموش کنیم. امّا اگر یک ترانس بود باید کل شبکه راخاموش می کردیم.

ـــ تعمیرات ونگهداری : دستگاهها وتجهیزات گران قیمت طبق برنامه‌های خاصی تعمیر می‌شوند و هنگام تعمیر باید قطع شوند لذا از روش موازی کردن ترانس ها استفاده می‌کنیم تا هنگام قطع تمام شبکه قطع نشود.

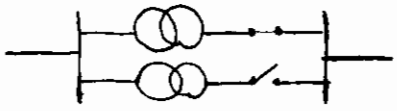
ـــ نصب : اگر ترانس‌های با قدرت بالا را انتخاب نکنیم و از ترانس‌های کم قدرت استفاده کرده و آنها را موازی کنیم حمل و نقل و نصب این گونه ترانس که حجم کمتری دارند راحت‌تر خواهد بود

ـــ راندمان (با تقسیم مناسب بار)

۱ - ۱۹ شرطهای موازی کردن

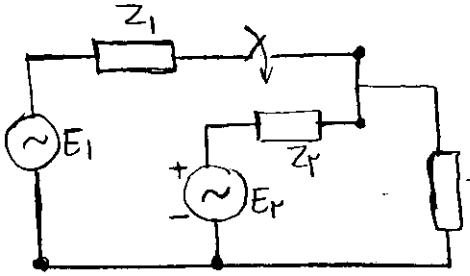
شرطهای ضروری :

ـــ $\frac{V_1}{V_2}$ یکسان.



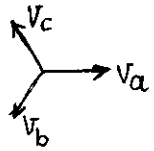
$\frac{V_1}{V_2}$ هر دو ترانس باید برابر باشد تا V_2 برای هر دو یکسان بوده و مشکلی از جهت وصل کردن ثانویه‌ها به هم بوجود نیاید.

— پلاریتهٔ صحیح

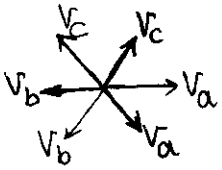


ازنظر dc اگر پلاریتهٔ دوباطری موازی برعکس باشد حالت سری بوجود می آید و جریانی تلف خواهدشد. درحالت ac باید آزمایش پلاریته را انجام بدهیم تا ببینیم در یک آلترناتور هنگامی که E_1 در ماکزیمم خود قرار دارد آیا E_2 هم همین وضعیت را دارد. (اختلاف فاز E_2 و E_1)

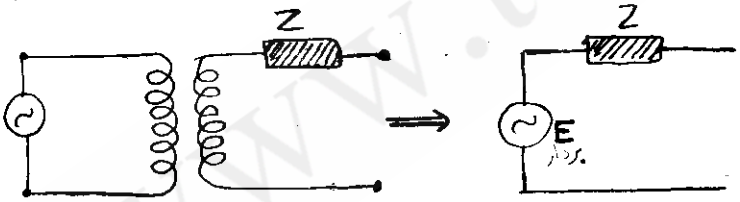
در ترانس های سه فاز
— باید ترتیب فازها رعایت شود.



— ترانس های همگروه موازی شوند.



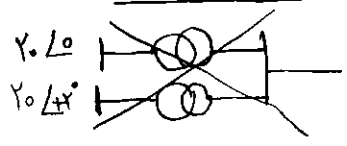
شرطهای ایده آل :



— یکسان بودن emf ها (دامنه و فاز)

در دو ترانس موازی اگر $\frac{V_1}{V_2}$ یکسان و پلاریته ها صحیح و ژنراتور تغذیهٔ اولیهٔ هردو یکی باشد آن گاه emf ها در هردو یکسان است.

جزو شرایط ضروری



— Z^{PU} یکسان داشته باشند. $Z = R + jX$

— برابری مقابل :

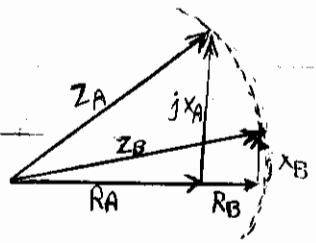
$$\frac{X_A}{R_A} = \frac{X_B}{R_B}$$

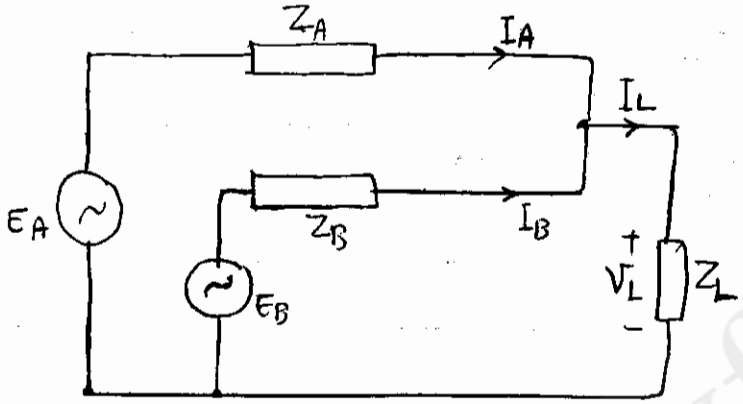
www.teyf.com

۲-۱۹ حالتی که در آن : $E_A = E_B$, $Z_A^{pu} = Z_B^{pu}$ ... $\frac{X_B}{R_B} \neq \frac{X_A}{R_A}$

$$Z_A = R_A + jX_A = |Z_A| \angle \tan^{-1}\frac{X_A}{R_A}$$

$$Z_B = R_B + jX_B = |Z_B| \angle \tan^{-1}\frac{X_B}{R_B}$$

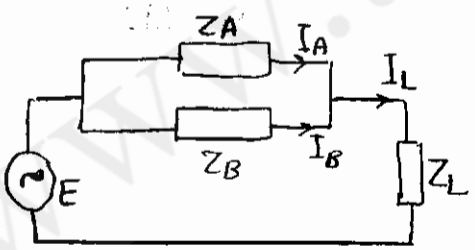




$$\begin{cases} \vec{V}_L = \vec{E}_A - \vec{Z}_A \cdot \vec{I}_A \\ V_L = \vec{E}_B - \vec{Z}_B \vec{I}_B \end{cases} \qquad \begin{cases} \vec{I}_L = \vec{I}_A + \vec{I}_B \\ \vec{V}_L = \vec{Z}_L \cdot \vec{I}_L \end{cases}$$

$\vec{E}_A, \vec{E}_B \to \vec{E}$

$\Longrightarrow$

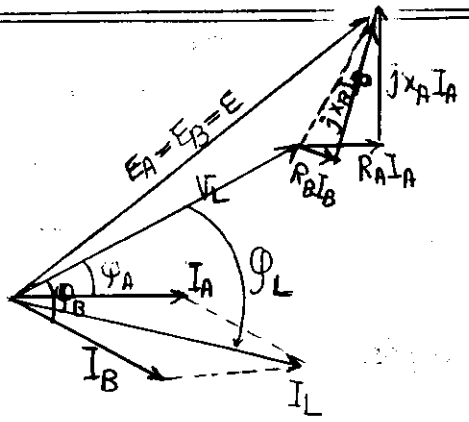


$$\vec{E}_A = \vec{E}_B = \vec{E} \longrightarrow \vec{Z}_A \vec{I}_A = \vec{Z}_B \vec{I}_B$$

if $|Z_A| = |Z_B|$, $\frac{X_A}{R_A} = \frac{X_B}{R_B}$ $\longrightarrow$ $\vec{Z}_A = \vec{Z}_B$ $\longrightarrow$ $\vec{I}_A = \vec{I}_B$

با توجه به اینکه در این حالت $\frac{X_B}{R_B} \neq \frac{X_A}{R_A}$ در نتیجه $\vec{I}_A \neq \vec{I}_B$.

www.ieyf.com



در دیاگرام بالا V_L مرجع انتخاب شده است. چون $I_B \neq I_A$ در نتیجه اختلاف فازهای φ_A و φ_B را نسبت به V_L خواهند داشت. برابری $\vec{Z}_A\vec{I}_A = \vec{Z}_B\vec{I}_B$ را می توان در قسمت خط چین مشاهده کرد.

حال فرض کنیم $I_A = I_A^{FL}$، یعنی ترانس A در وضعیت جریان نامی کار می کند. می خواهیم ببینیم در این حالت وضعیت ترانس B چگونه است. $I_B = ?$

$$\vec{Z}_A\vec{I}_A = \vec{Z}_B\vec{I}_B \quad , \quad |Z_A||I_A| = |Z_B||I_B|$$

$$\div E \longrightarrow \frac{|Z_A|}{\frac{|E|}{|I_A^{FL}|}} = \frac{|Z_B|}{\frac{|E|}{|I_B|}} \longrightarrow Z_A^{PU} = \frac{Z_B}{\frac{|E|}{|I_B|}}$$

$$\longrightarrow Z_B^{PU} = \frac{Z_B}{\frac{|E|}{|I_B|}} \quad , \quad Z_A^{PU} = Z_B^{PU}$$

از طرفی می دانیم که:

در نتیجه:

$$\longrightarrow I_B = I_B^{FL}$$

در مثلث جریانها داریم:

$$\vec{I}_A + \vec{I}_B = \vec{I}_L$$

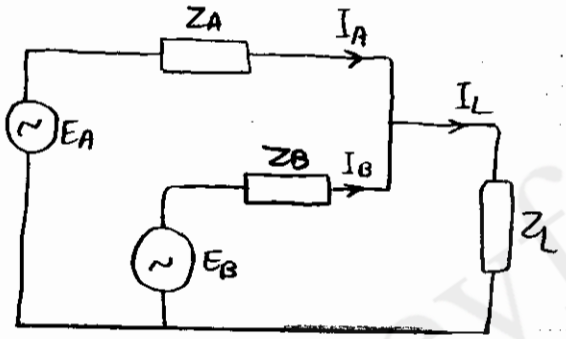
$$, \quad |I_A| + |I_B| > |I_L| \quad \text{.....}$$

www.tejf.com

V_L ⟶ $KVA_{load} < KVA_A + KVA_B$

نتیجه ۱- KVA ای که دو ترانس موازی می‌توانند به بار بدهند کوچکتر از جمع جبری KVA هریک از آنها است. ۲- در این شرایط تقسیم بار در هر دو ترانس یکسان است.

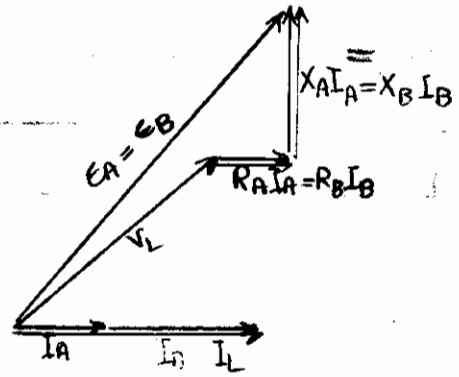
۱۹-۳ $Z_A^{pu} \neq Z_B^{pu}$ پس $\frac{X_A}{R_A} = \frac{X_B}{R_B}$, $E_A = E_B$



$$\begin{cases} V_L = E_A - Z_A I_A \\ V_L = E_B - Z_B I_B \end{cases} , E_A = E_B \longrightarrow Z_A I_A = Z_B I_B$$

$$\longrightarrow \begin{cases} |Z_A||I_A| = |Z_B||I_B| \\ tg^{-1}\frac{X_A}{R_A} + \angle I_A = tg^{-1}\frac{X_B}{R_B} + \angle I_B \end{cases}$$

با توجه به فرض ⟶ $\angle I_A = \angle I_B$

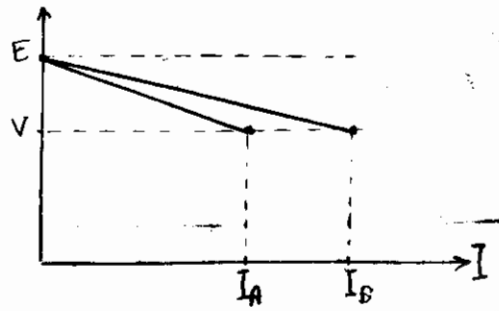


www.tey1.com

$$I_A = \frac{V_L - E_A}{Z_A} = \frac{|V_L - E|}{|Z_A|} \angle \theta$$

$$I_B = \frac{V_L - E_B}{Z_B} = \frac{|V_L - E|}{|Z_B|} \angle \theta$$

به عنوان مثال فرض کنیم $|Z_A| > |Z_B|$ در این صورت : $|I_A| < |I_B|$



اگر برفرض $I_A = 1^{pu}$ باشد در این صورت I_B بیشتر از 1^{pu} بوده و در نتیجه ترانس B اضافه بار دارد (overload) .

اگر $I_B = 1^{pu}$ باشد در این صورت I_A کمتر از 1^{pu} بوده و در نتیجه ترانس A در زیربل اسمی کار می‌کند. (underload)

نتیجه:

$$|I_A| + |I_B| = |I_L|$$

$\xrightarrow{\times V_L}$ $KVA_A + KVA_B = KVA_{load}$ — ۱-

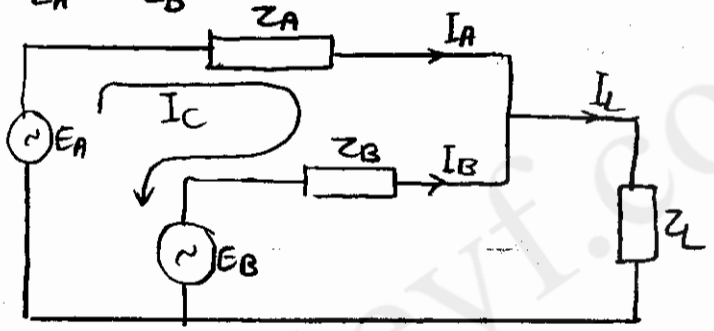
$|I_A| \neq |I_B|$ یا $KVA_A \neq KVA_B$ — ۲-

۴ - ۱۹ حالت کلی

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

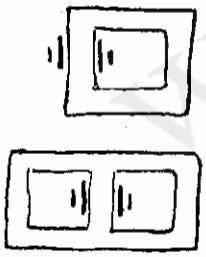
I_C = جریان چرخشی

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



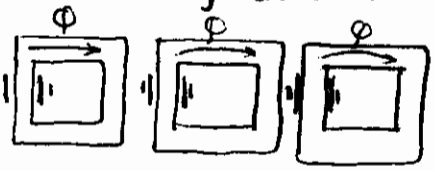
۲۰ـ ترانسفورماتورهای سه‌فاز

۲۰ـ۱ شکل هسته



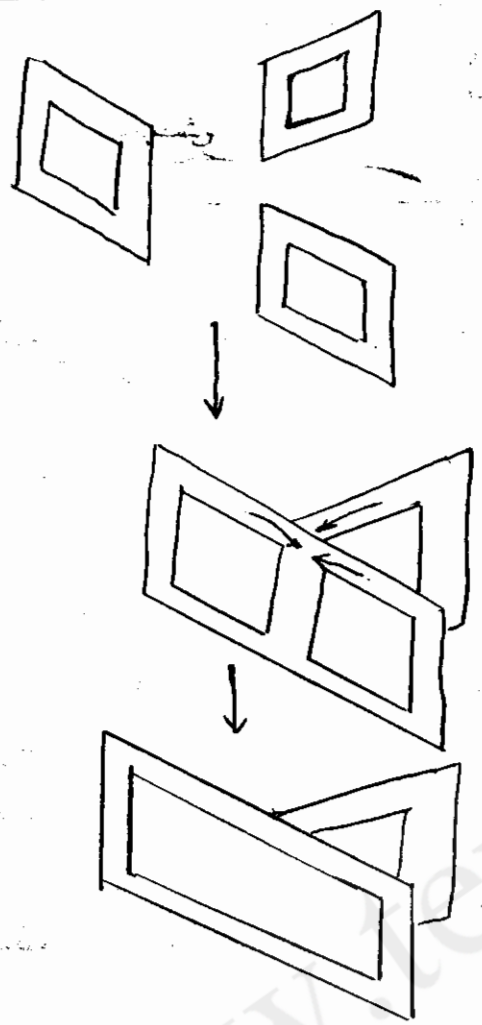
ترانس تکفاز
- هسته‌ای — Core type
- زره‌ای — Shell type

ترانس‌های سه‌فاز
- ۳φ transformer bank
  - مدارهای مغناطیسی مستقل
  - اتصال به Y یا Δ



- ۳φ transformer unit (ترانس سه‌فاز یکپارچه)
  - هسته‌ای
    - ۳ ستونه
    - ۵ ستونه
  - زره‌ای

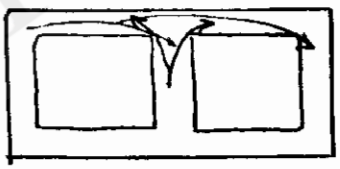
ترانس ۳ فاز هسته ای



$$\vec{V}_1 + \vec{V}_2 + \vec{V}_3 = 0$$

$$\vec{\Phi}_1 + \vec{\Phi}_2 + \vec{\Phi}_3 = 0$$

۳ ستونه.

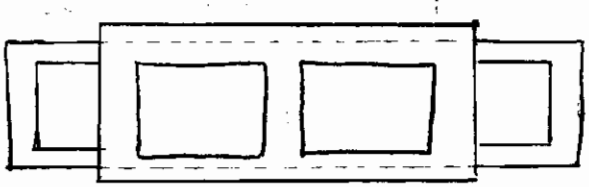


- مدار مغناطیسی مستقل نیست.
- جریان مغناطیس کننده نابرابر

سطح مقطع یوغ را کوچکتر و سطح مقطع ستونها را پهن تر می گیرند تا نابرابری بالا تا حدی حل شود.

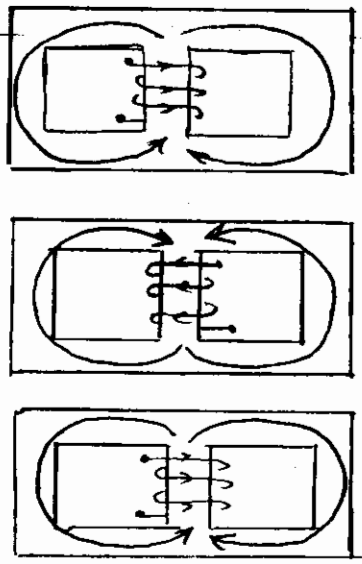
همچنین راه حل دیگر مدارهای مغناطیسی جانبی هستند:

۵ ستونه

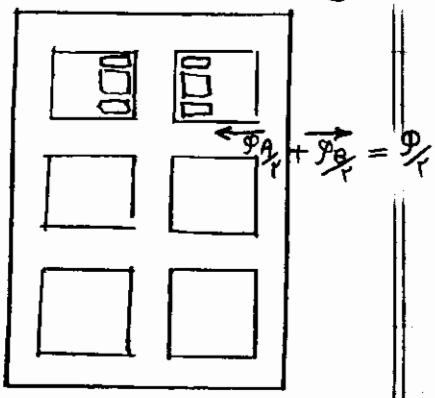


در این حالت مدار مغناطیسی تقریباً مستقل می شود.

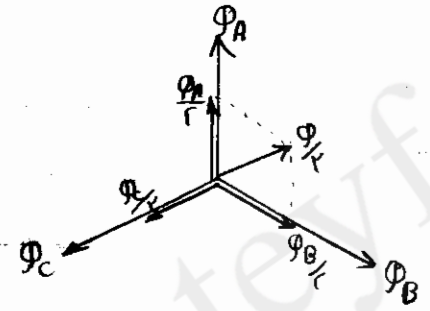
www.feyf.com



نوع زره ای



این نوع از قرارگرفتن سه ترانس تکفاز زرهی بر روی هم تشکیل می شود.



حال این سوال مطرح می شود که چرا از ترانس های سه فاز استفاده می کنیم :

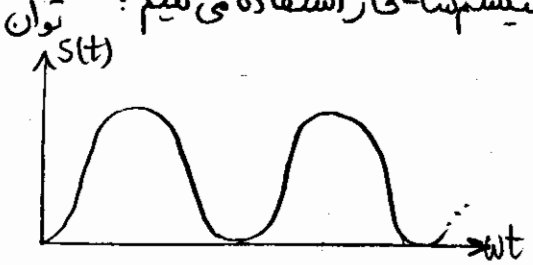
۲-۲۰ مزایای ترانسفورماتور سه فاز:

به ازای KVA های برابر : قیمت سه فاز < قیمت تکفاز

حجم و وزن سه فاز < حجم و وزن تکفاز

$\eta_{3\phi}$ از زمان > $\eta_{1\phi}$

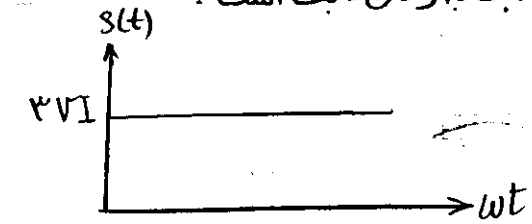
چرا در انتقال از سیستم سه فاز استفاده می کنیم ؟



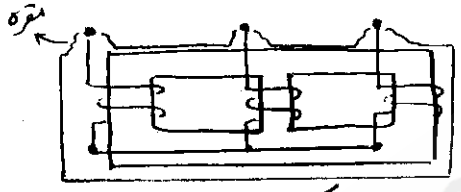
در سیستم تکفاز
$\vec{V}$, $\vec{I}$

www.tevf.com

ولی در سیستم سه فاز توان نسبت به زمان ثابت است :



آیا ترانس سه فاز یکپارچه بهتر است یا سه ترانس تکفاز به صورت اتصال سه فاز ؟



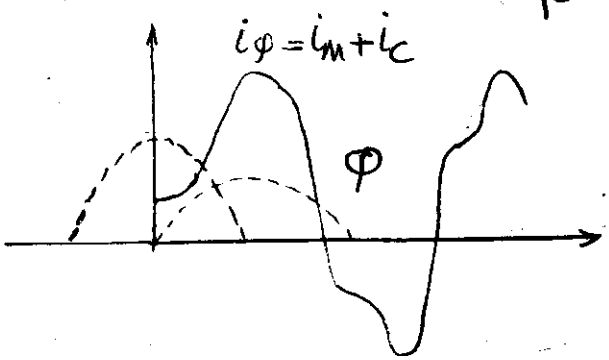
حجم و وزن کمتر .
هزینهٔ کمتر.
راندمان بیشتر

حمل ونقل ونصب راحت تر
روزرو

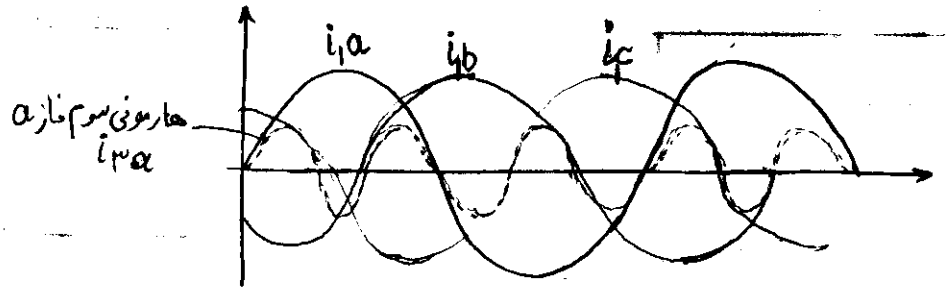
تعداد سرهای یکپارچه ۶ تا بوده و تعداد سرهای سه ترانس تکفاز ۱۲ عدد است. با توجه به اینکه برای هرخروجی نیاز به مقره است (به علت سطح ولتاژ بالا) لذا ازنظر هزینه ای بهتر است تعداد سرها کمتر باشد - (مقره ازجنس چینی بوده و به عنوان عایق عمل می کند)

در نوع یکپارچه اگر اشکالی در یکی از فازها بوجود آید کل ترانس باید از مدار خارج شود ولی در نوع سه ترانس تکفاز فقط $\frac{1}{3}$ مجموعه از مدار خارج می شود (مسئله روزرو)

۳ـ ۲۰ جریان تحریک وهارمونی سوم.

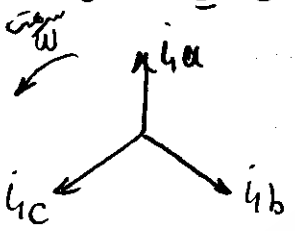


www.teyf.com



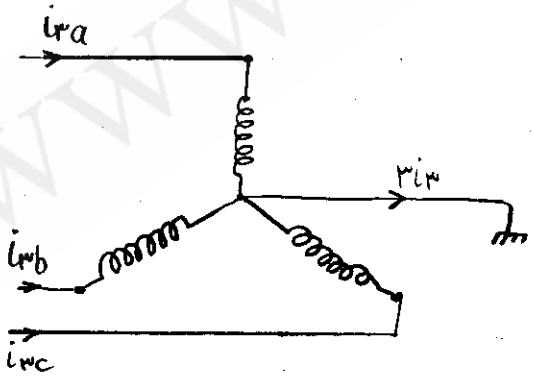
هارمونی سوم فاز a و هارمونی سوم فاز b و هارمونی سوم فاز c با هم هم فاز بوده و بر روی

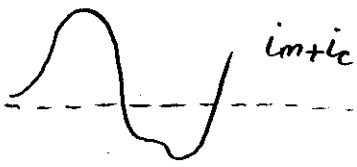
یکدیگر منطبق اند. هارمونی های اول این سه فاز اختلاف فاز ۱۲۰° با هم دارند.



هارمونی های سوم نسبت به هم ثابت هستند ولی با همگی با سرعت n_s می چرخند.

۱ـ۳ـ۲۰ اتصال اولیه λ_m :



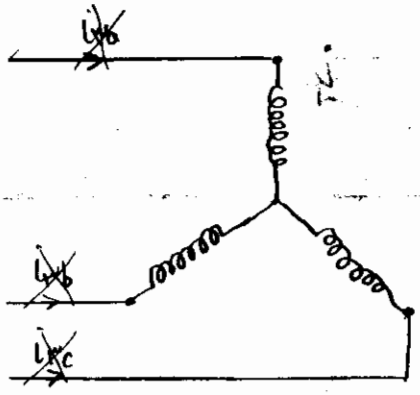


به ازای جریان تحریک مقابل

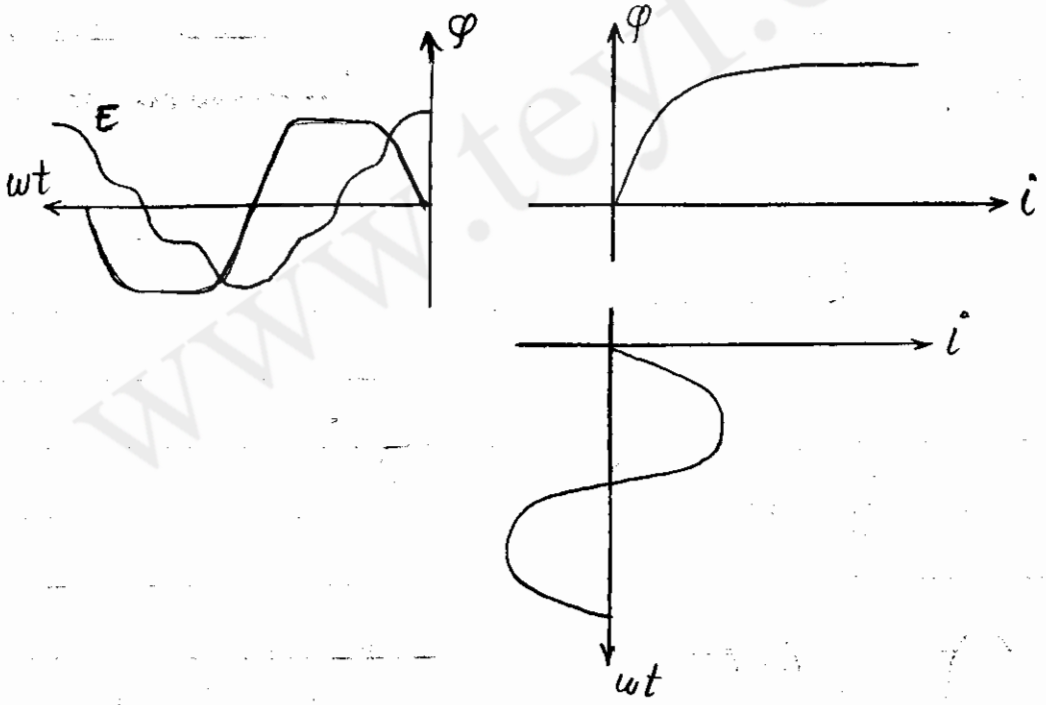
شار و ولتاژ در اولیه سینوسی هستند.

www.teyf.com

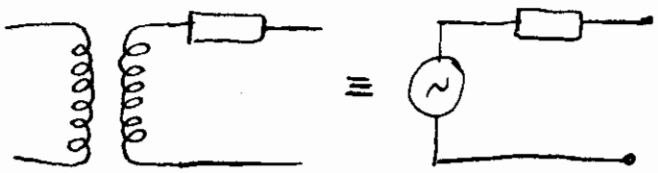
۲-۳-۲۰ اتصال اولیه Δ



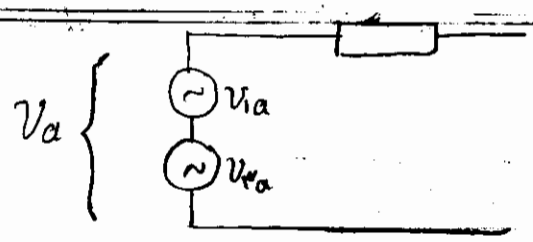
چون هرسه جریان i_{3a} ، i_{3b} ، i_{3c} باهم همفاز بوده وهمگی به یک نقطه واردمی شوند لذا مسیری برای عبور جریان وجود نخواهد داشت و این سه جریان به این طریق نمی توانند عبور کنند. پس مسیر جریان فقط برای هارمونی اول جریان برقرار است.



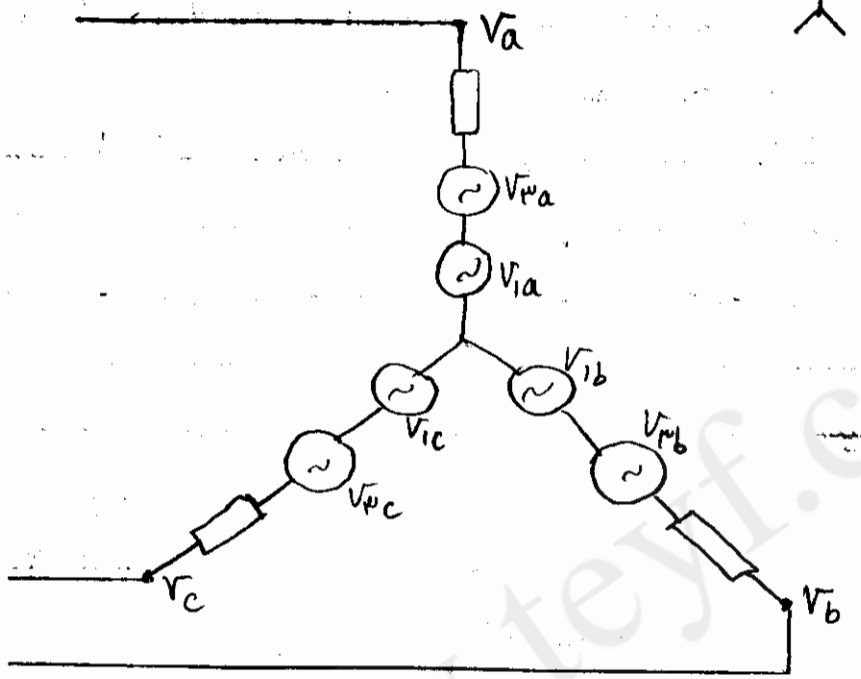
درنتیجه می توان دید که شار و ولتاژ دارای هارمونی اول وسوم هستند.



www.tevt.com



اتصال ثانویه Y

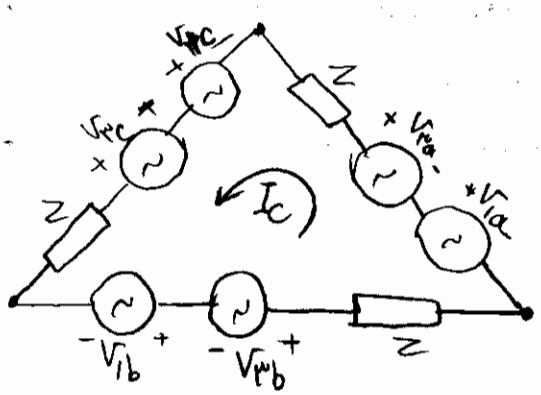


اگر مصرف کننده ای بین V_a و نول (تغذیه از فاز) قرار گرفته باشد هارمونیک سوم را خواهد دید و این امر مسئله ساز است. در مورد ولتاژ خط:

$$V_a - V_b = V_{1a} - V_{1b} + \overbrace{V_{3a} - V_{3b}}^{0}$$

بنابراین مصرف کننده ای اگر از ولتاژ خط تغذیه شود هارمونی سوم را نخواهد دید.

اتصال ثانویه Δ



www.teyf.com

نخست جریان I_c را محاسبه می‌کنیم:

$$I_c = \frac{V_a + V_b + V_c}{3Z} = \frac{V_{1a} + V_{1b} + V_{1c}}{3Z} + \frac{V_{3a} + V_{3b} + V_{3c}}{3Z} = \frac{V_3}{Z}$$

$V_{1a} + V_{1b} + V_{1c}$ برابر صفر است. چون تقارن 120°ای دارند.

چون منبع ولتاژ هارمونی سوم است، فرکانس زاویه‌ای جریان I_c نیز 3ω خواهد بود.

می بینیم با اینکه در اولیه هارمونی سوم نداریم امّا در اتصال مثلث در ثانویه یک جریان تولید می شود که دارای هارمونی سوم است. لذا شار و ولتاژ به شکل سینوسی خواهند بود.

۴ - ۲۰ اتصالات مختلف سه‌فاز

۱ - ۴ - ۲۰ اتصال ستاره - ستاره Y Y Δ (ثانویه اولیه ثالثیه)

مزایای اتصال Y : در اتصال Y : $V_p = \frac{V_L}{\sqrt{3}}$ (خط / فاز) درحالیکه در اتصال Δ : $V_p = V_L$

لذا در حالت Y : ۱- سطح ولتاژ پائین بوده و در نتیجه سطح عایق بندی کمتر بوده و هزینه نیز کمتر خواهد شد. ۲- شار نیز در (این) حالت کاهش می‌یابد و می توان برای یک شار خاص سطح هسته (A_{core}) را نیز کم کرد و این نیز باعث کاهش هزینه ها می‌شود.

در حالت Y : $I_p = I_L$ و در نتیجه قطرهادی‌ها بزرگتر است. این امر باعث می‌شود:

www.tevf.com

۳- استقامت مکانیکی تراس (درحالت اتصال کوتاه) افزایش یابد.

۴- ولی وزن مس بیشتر و درنتیجه هزینه نیز بیشتر می‌شود.

همچنین در اتصال ۸ : دسترسی به نول داریم. درنتیجه مصرف کننده هم می‌تواند از

۵- فاز تغذیه شود و ۶- هم از خط.

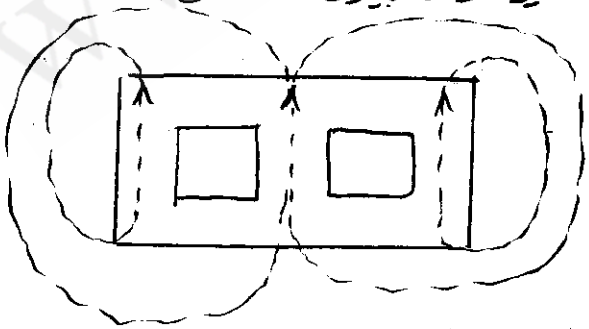
عیب اتصال ۸ همانطورکه مطرح شد، نبود جریان هارمونیک سوم است.

اگر مدار مغناطیسی غیرمستقل باشد (در اتصال ۸۸) هارمونی سوم شار و ولتاژ را داریم.

در مورد شار نیز هارمونی های سوم نیز هم فازند. لذا در هر سه ستون در یک لحظه هر سه

شار در حال افزایش یا کاهش و... هستند و این مشکل بوجود می‌آورد. در این حالت انتهای

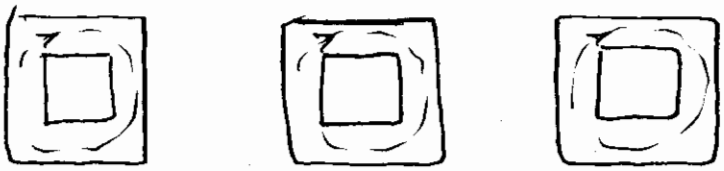
که می افتد این است که شار مسیر خود را در بیرون هسته می بندد.



اگر مدار مغناطیسی مستقل باشد (۸۸) باز هم هر سه شار به یک نحو عمل می‌کنند امّا

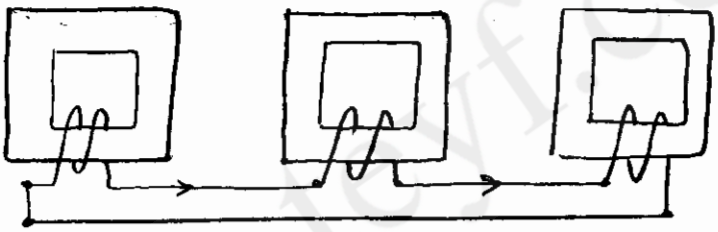
چون مدارها مستقل هستند شارها در داخل هسته بسته می‌شود.

www.tejt.com



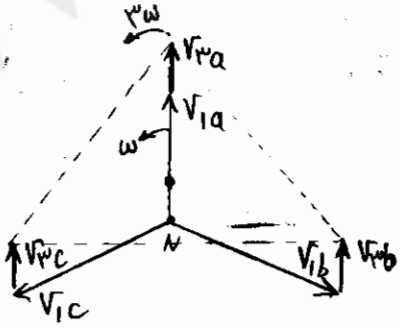
با مقایسهٔ این دو حالت چون در غیر مستقل شار در بیرون از هسته بسته می‌شود لذا اولکتانس آن بیشتر از حالت مستقل است. زیاد بودن مقاومت مغناطیسی باعث می‌شود که دامنهٔ هارمونی سوم کاهش یابد. اما همچنان هارمونی سوم مشکل زا است.

راه حل: مدار زیر نقص نبود هارمونی سوم را جبران می‌کند.



در این مدار اتصال مثلث نیز برقرار شده است (۵۸۸)

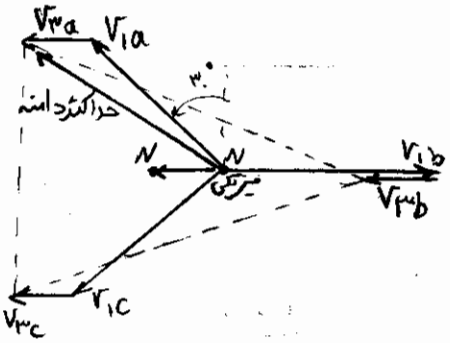
نول شناور



در دیاگرام بالا در یک لحظه هارمونی سوم a و هارمونی اول آن بر روی هم قرار گرفته‌اند. در این حالت بقیه هارمونی‌ها (b و c) در شکل نمایش داده شده‌اند. در این لحظه نقطهٔ خنثی (N) کمی بالاتر منتقل می‌شود و لذا از نظر فیزیکی نقطهٔ خنثی (N) دارای ولتاژ خواهد بود.
((در این لحظهٔ خاص))

www.tcyf.com

حال اگر هارمونی اول ۳۰° پس رخد هارمونی سوم ۹۰° می چرخد:



* لذا در صورت وجود هارمونیک سوم ولتاژ نقطه نول پتانسیل خواهد گرفت به اندازه دامنه هارمونیک سوم با تغییرات ۳ω. لذا نول فیزیکی دارای ولتاژ بوده و ایمنی نیست.

* در ولتاژ خط هارمونی سوم دیده نمی شود.

* حداکثر دامنه فاز (نسبت به نول فیزیکی) برابر مجموع دامنه هارمونی اول و هارمونی سوم است.

به این پدیده که نول دارای ولتاژ می شود نول شناور می گوئیم.

۲-۴-۲۰ اتصال $\Delta\lambda$ ثانویه اولیه:

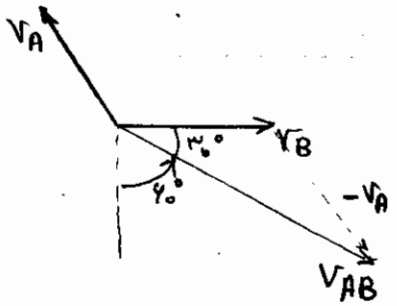
* در این وضعیت هارمونی سوم جریان تولید می شود.

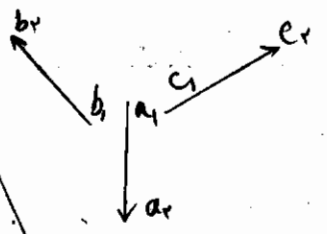
$$\text{نسبت تبدیل} = a_{\Delta\lambda} = \frac{V_{L\Delta}}{V_{L\lambda}} = \frac{V_{P\Delta}}{V_{P\lambda}\cdot\sqrt{3}} = \frac{a}{\sqrt{3}}$$

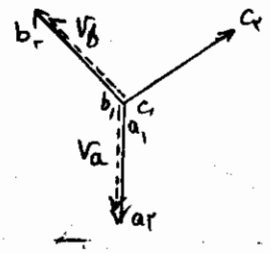
$$\longrightarrow \quad \text{نسبت تبدیل} = \frac{a}{\sqrt{3}}$$

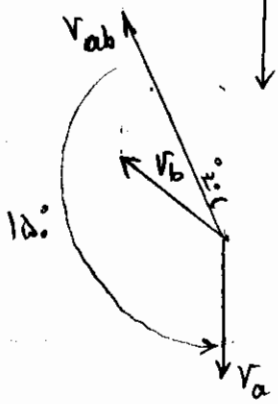
$$\text{نسبت دورها} = a = \frac{N_{P\Delta}}{N_{P\lambda}} = \frac{V_{P\Delta}}{V_{P\lambda}}$$

$$V_{AB} = V_B - V_A$$









می‌توان دید که عدد شناسایی تا خیر فاز V_{AB} ، V_{ab} است.

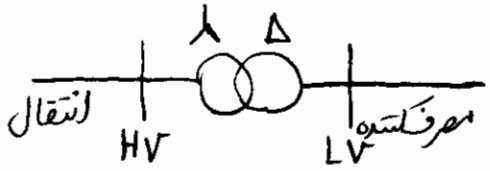
که برابر با $\frac{۱۵۰ + ۶۰}{۳۰} = ۷$

* عوض کردن سرها در اتصالات الکتریکی باعث می‌شود که عدد شناسایی تغییر کند. (تمرین : حالتهای دیگر اتصال سرها را بررسی کرده و عدد شناسایی هر یک را بدست آورید).

۴-۲۰ اتصال Δ ثانویه Y اولیه

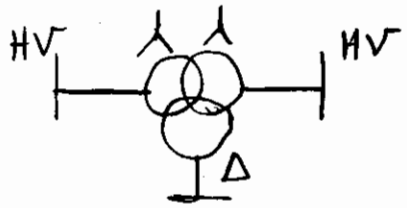
* در این حالت نیز هارمونیک سوم جریان تولید می‌شود.

$$\text{نسبت تبدیل} = a_{\lambda\Delta} = \frac{V_{L\lambda}}{V_{L\Delta}} = \frac{\sqrt{۳}V_{P\lambda}}{V_{P\Delta}} = \sqrt{۳}\,a$$



* کاربرد

کاربرد اتصال $\Delta\Delta$ در پستهایی است که ثانویه و اولیه هردو HV است و البته در این اتصال باید Δ نیز باشد.



۴-۴-۲۰ اتصال $\Delta\Delta$

اگر کل مثلث را یک گره فرض کنیم با توجه به اینکه همهٔ جریانها به این گره وارد می شوند لذا اولیه نمی تواند هارمونیک سوم را از خود عبور دهد.

$$V_1 + V_2 + V_3 = 0$$

با توجه به رابطهٔ بالا می توان فهمید که آیا سرهای نقطه دار را درست بسته ایم یا نه. با اتصال یک ولت متر به شکل مقابل اگر ولت متر ولتاژ صفر را نشان دهد می توان فهمید که اتصال مثلث درست است.

مزایای این اتصال: یکی هارمونیک سوم جریان است که در بالا صحبت کردیم.

* اتصال open delta یا VV: در این نوع اتصال به جای سه سیم پیچ از دو سیم پیچ در

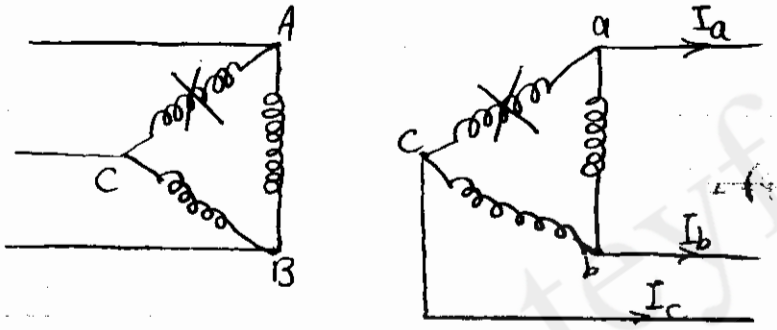
مثلث استفاده کرده ایم و یکی از اضلاع مثلث حذف شده است.

معایب: * $V_p = V_L$ ولتاژ فاز و خط برابرند لذا هزینهٔ عایق بندی افزایش می یابد.

همچنین شار نیز افزایش می یابد و مقدار آهن به کار رفته در هسته نیز زیاد خواهد شد.

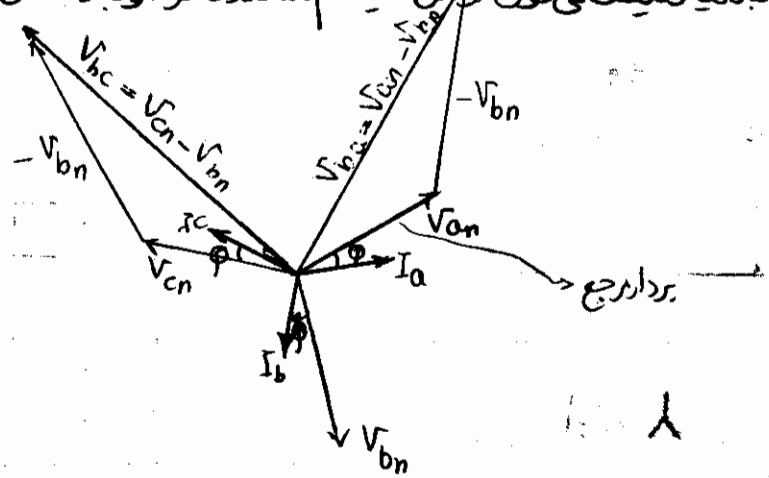
* در اینجا نیز فقط یک نوع ولتاژ داریم. (امکان استفاده از دو نوع ولتاژ فاز و خط وجود ندارد)

۵-۴-۲۰ اتصال V-V



فرض کنیم در سیستم ۵-۵ بالا به علت اشکال یکی از ترانس ها از مدار خارج شود (خروج اجباری یکی از ترانس ها) لذا از نظر فیزیکی باید سیستم سه فاز مستقل باشد.

* در این حالت سیستم همان سه فاز است ولی عملاً با دو سیم پیچ انجام می شود. لذا در مکان هایی که قدرت بالا نیاز نیست می توان از این سیستم استفاده کرد و بعدها آن را به سه سیم پیچ توسعه داد.



$$S = V_a I_a^* + V_b I_b^* + V_c I_c^*$$

$$0 = I_a + I_b + I_c \longrightarrow I_b^* = -I_a^* - I_c^*$$

$$S = V_a I_a^* - V_b I_a^* - V_b I_c^* + V_c I_c^*$$

$$S = (V_a - V_b) I_a^* + (V_c - V_b) I_c^*$$

$$S = \left[|V_a| \angle 0 - |V_b| \angle -120\right]\left[|I_a| \angle -\varphi\right]^* + \left[|V_c| \angle -240 - |V_b| \angle -120\right] \times \left[|I_c| \angle -(240+\varphi)\right]^*$$

$$S = |V_{ba}||I_a| \angle \varphi + 30 + |V_{bc}||I_c| \angle \varphi - 30$$

$$P_{VV} = V_p I_p \cos(30 + \varphi) + V_p I_p \cos(\varphi - 30)$$

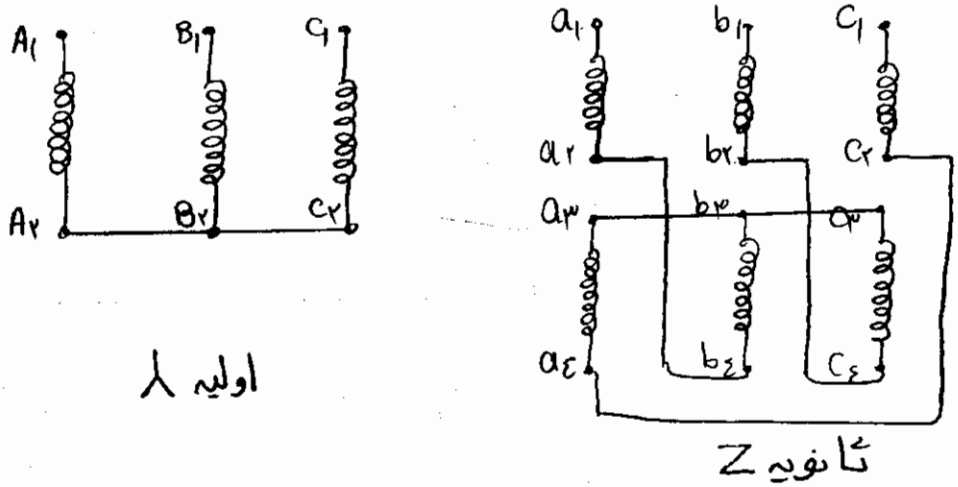
$$P_{VV} = \sqrt{3}\, V_p I_p \cos\varphi$$

$$P_{\Delta\Delta} = 3 V_p I_p \cos\varphi$$

$$\frac{P_{VV}}{P_{\Delta\Delta}} = \frac{1}{\sqrt{3}} = 58\%$$

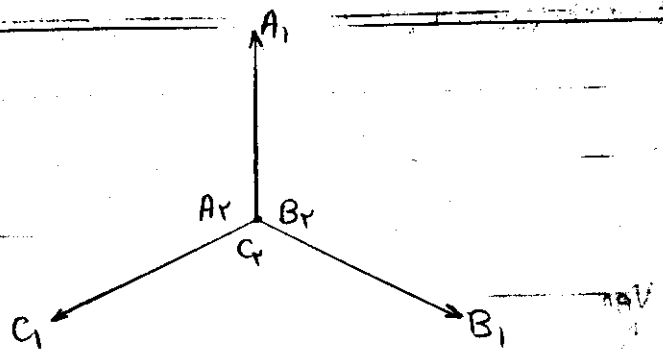
لذا توانی که با اتصال VV انتقال می‌دهیم حدود ۵۸٪ مقداری است که توسط اتصال ΔΔ منتقل می‌شود.

۶-۴-۲۰ اتصال YZ . کاربرد در سیستم‌های توزیع

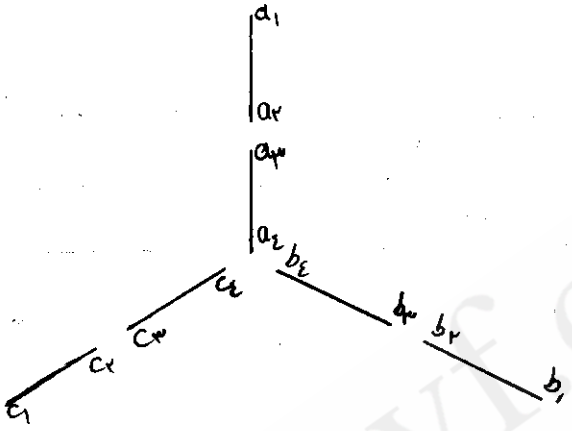


اولیه Y

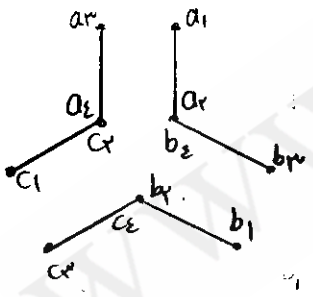
ثانویه Z



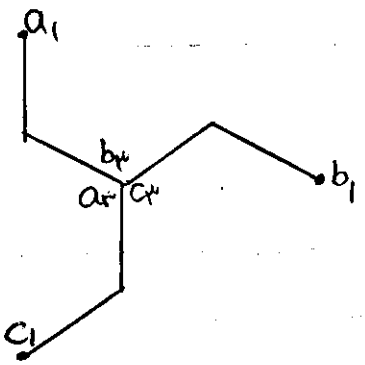
همچنین سیم پیچ هایی که در یک ستون قرار دارند از نظر تغییرشار وضعیت یکسانی دارند. درنتیجه



حال اتصالهای الکتریکی را برقرار می کنیم:

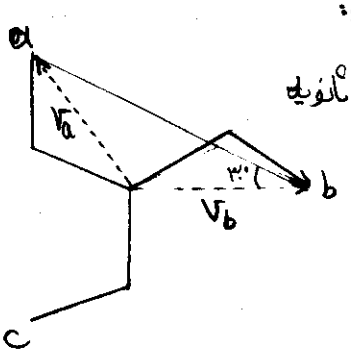


قبل از اتصال سبز رنگ

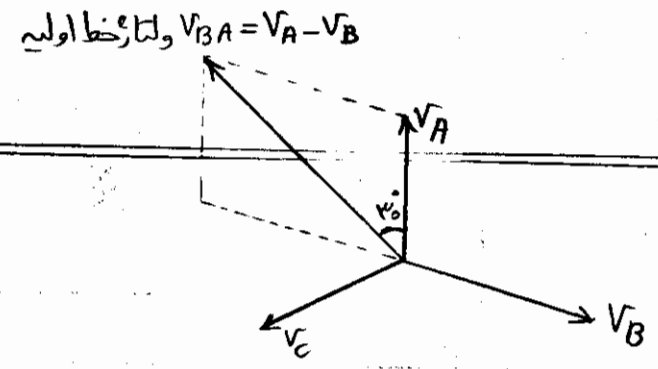


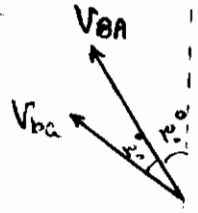
بعد از اتصال سبز رنگ

حال گروه برداری را برای چنین اتصالی پیدا می کنیم:



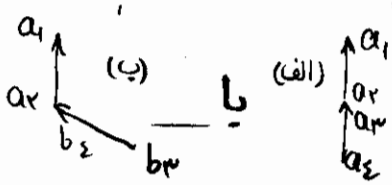
$V_{ba} = V_a - V_b$ ولتاژ خط ثانویه





گروه برداری $= \frac{۳۳۰^\circ}{۳۰^\circ} = ۱۱$

مقایسه این اتصال با حالت قبلی :



در الف اگر N دور در هر بخش باشد ولتاژ کل برابر ولتاژ هر بخش $\times ۲$ است. در حالت ب همان N دور در هر بخش وجود دارد و ولتاژ کل برابر ولتاژ هر بخش $\times \sqrt{۳}$ است. لذا برای رفع این موضوع تعداد دورهای ب را افزایش می‌دهیم (حدود ۱۵٪).

$$\text{تعداد دورهای هر بخش} = \frac{\overbrace{۲}^{۱/۱۵}}{\sqrt{۳}} \times N$$

افزایش تعداد دورها باعث افزایش مصرف مس و در نتیجه هزینه است. افزایش دور باعث افزایش ابعاد هسته (چون جا برای پیچیدن دورهای خواهیم) شده و مصرف آهن هم بالا می‌رود. اهمیت این نوع اتصال در بارهای نامتعادل است. همان طور که گفتیم این اتصال در سیستم‌های توزیع به کار برده می‌شود. چند شهر جریان‌های مساوی از نیروگاه می‌کشند اما چند محله

www.tavf.com

یا خانه جریان های مسلوی نمی کشند و مسئله بار نامتعادل در سیستم توزیع برق محله ای به وجود می آید. لذا از این نوع اتصال استفاده می کنند تا مسئله بار نامتعادل حل شود.

۲۱ - اعداد و حروف شناسایی ترانس سه فاز

عدد شناسایی	حروف شناسایی				
	حروف کوچک			حروف بزرگ	
گروه برداری	نوع اتصال ثانویه	n درصورتی دسترسی به نول	نوع اتصال ثانویه	N درصورت دسترسی به نول	نوع اتصال اولیه

مثال : Yzn5

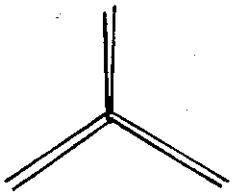
نمایش فوق یک سیستم سه فاز با اولیهٔ ستاره و ثانویه z همراه با نول و گروه برداری ۵ را نشان می دهد و اولیه به N نول دسترسی نداریم.

مثال : YNyn0 سیستم سه فاز با اولیهٔ ستاره و نول آن و ثانویهٔ ستاره و نول آن را نشان می دهد که اولیه با ثانویه اختلاف فاز ندارد

حال اهمیت گروه بردار در موازی کردن ترانس ها مشخص می شود.

آیا می توان دو ترانس YNyn0 , YNyn4 را با هم موازی کرد؟

چرا اگر جای دو فاز را در ترانس های گروه ۳ با هم جابجا کنیم آن ترانس قابل موازی شدن با گروه ۴ است.



چون دامنه ها با هم برابر است و اختلاف فازی هم نداریم

این دو ترانس را می توان موازی کرد. ($۴ \times ۳۰ = ۱۲۰^\circ$)

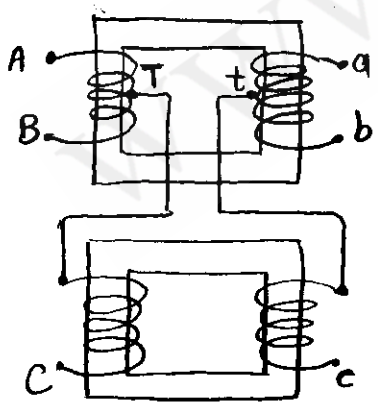
استاندارد ۴ گروه را مشخص می کند که ترانس های هر گروه را می توان با هم موازی کرد.

	عدد شناسایی		
گروه ۱ :	۰	۴	۸
گروه ۲ :	۶	۱۰	۲
گروه ۳ :	۱	۵	
گروه ۴ :	۷	۱۱	

۲۲- اتصالات ویژه :

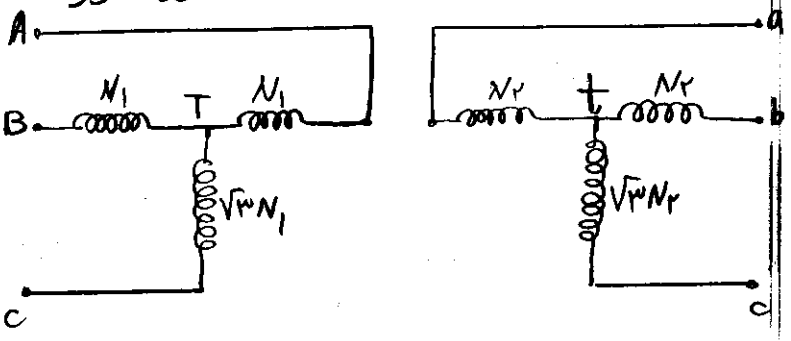
۲۲-۱ اتصال T-T

انتقال سه فاز با استفاده از دو ترانسفورماتور.



ترانس اصلی

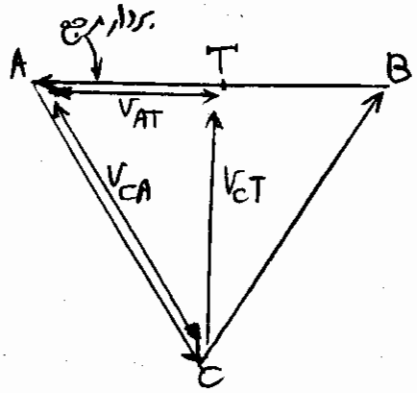
ترانس انشعاب (تیزر Teaser)



این نوع اتصال منسوخ شده و open delta جای آن را گرفته است. دلیل این است که باید نقطه وسط سیم پیچ های ترانس اصلی در دسترس باشند. همچنین در این

حالت تعداد دورها یکی نیست ولی نسبت آن‌ها برابر است.

$\frac{\sqrt{۳}N_1}{\sqrt{۳}N_2}$ ترانس انشعاب ، $\frac{۲N_1}{۲N_2}$ ترانس اصلی



$V = V_L$ ولتاژ نامی ترانس اصلی

$$V_{CT} = V_{CA} + V_{AT}$$

$$V_{CT} = V\angle ۱۲۰ + \frac{V}{۲}\angle ۰ = \frac{\sqrt{۳}}{۲}V\angle ۹۰ \longrightarrow V_{CT} = \frac{\sqrt{۳}}{۲}V\angle ۹۰^\circ$$

ولتاژ نامی ترانس اصلی همان ولتاژ خط V_L است، و ولتاژ نامی ترانس انشعاب $\frac{\sqrt{۳}}{۲}V$ است

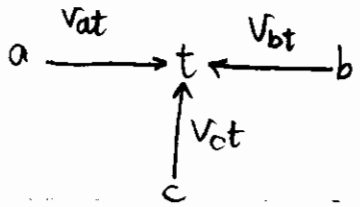
www.tejf.com

ملذا : ولت بر دور ترانس اصلی $\frac{V}{۲N_1}$

ولت بر دور ترانس انشعاب $\frac{V}{۲N_1} = \frac{\frac{\sqrt{۳}}{۲}V}{\sqrt{۳}N_1} = \frac{V}{۲N_1}$

و دلیل اینکه تعداد دورهای انشعاب را $\sqrt{۳}N_1$ قرار داده‌ایم این است که ولت بر دور دو ترانس برابر شود.

$$\begin{cases} V_{at} = \frac{N_۲}{N_1}V_{AT} = \frac{N_۲}{N_1}\cdot\frac{V}{۲}\angle ۰ \\ V_{bt} = \frac{N_۲}{N_1}\cdot\frac{V}{۲}\angle ۱۸۰ \\ V_{ct} = \frac{N_۲}{N_1}\cdot\frac{\sqrt{۳}}{۲}V_\varphi\angle ۹۰^\circ \end{cases}$$



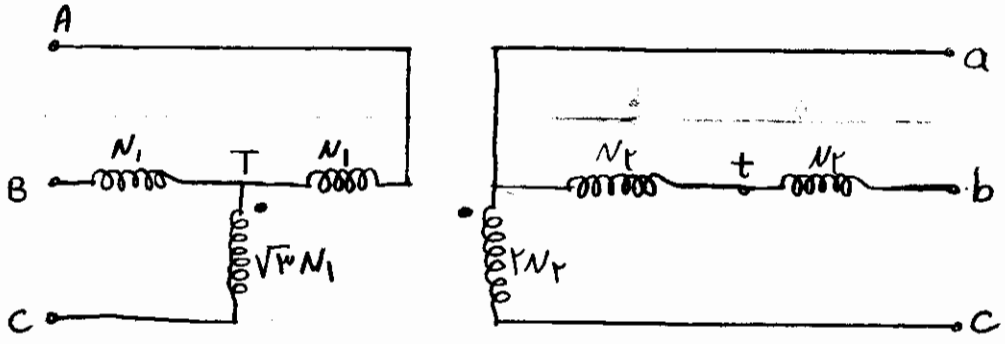
$$S_{main} = V_{AT} \cdot I_{AT}^{*} + V_{BT} \cdot I_{BT}^{*}$$

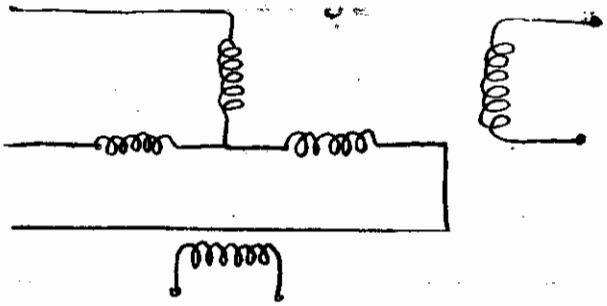
$$S_{Teaser} = V_{CT} \cdot I_{CT}^{*}$$

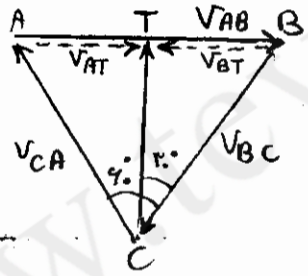
$$S = S_{main} + S_{Teaser} = \sqrt{P} VI$$

www.teyf.com

۲-۲۲ اتصال Scott :







در اولیه :

$$V_{AT} = \frac{V}{۲}\angle ۰ \quad , \quad V_{BT} = \frac{V}{۲}\angle ۱۸۰^\circ \quad , \quad V_{CT} = \frac{\sqrt{۳}}{۲} V \angle ۹۰^\circ$$

در این اتصال نیز مانند T-T دو ترانس داریم و تفاوت آن این است که این سیستم (اتصال) سه فاز را به سیستم دو فاز تبدیل می کند.

در ثانویه :

$$V_{at} = \frac{N_۲}{N_۱} V_{AT} = \frac{N_۲}{N_۱} \cdot \frac{V}{۲}\angle ۰ \longrightarrow V_{ta} = \frac{N_۲}{N_۱} \cdot \frac{V}{۲}\angle ۱۸۰^\circ$$

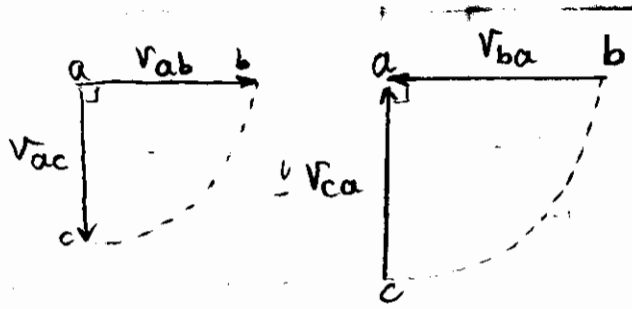
$$V_{bt} = \frac{N_۲}{N_۱} V_{BT} = \frac{N_۲}{N_۱} \cdot \frac{V}{۲}\angle ۱۸۰^\circ$$

$$V_{ca} = \frac{۲}{\sqrt{۳}} \cdot \frac{N_۲}{N_۱} \; V_{CT} = \frac{۲}{\sqrt{۳}} \cdot \frac{N_۲}{N_۱} \times \frac{\sqrt{۳}}{۲} V \angle ۹۰^\circ = \frac{N_۲}{N_۱} V \angle ۹۰^\circ$$

www.tcyf.com

$$V_{ba} = V_{bt} + V_{ta} = \frac{N_2}{N_1}\cdot\frac{V}{2}\angle 180^\circ + \frac{N_2}{N_1}\frac{V}{2}\angle 180^\circ = \frac{N_2}{N_1} V \angle 180^\circ$$

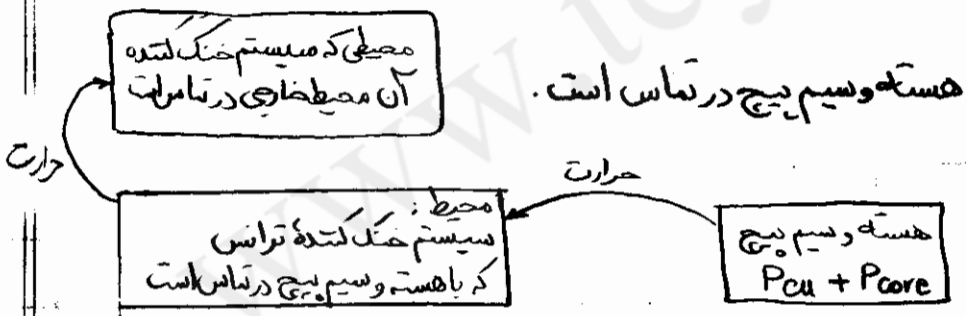
$$V_{ca} = \frac{N_2}{N_1} V \angle 90^\circ$$



مشاهده می کنیم که یک سیستم دوفاز با فازهای V_{ba} ، V_{ca} داریم.

۲۳- انواع روشهای خنک کنندگی :

تلفات هسته و سیم پیچ یعنی $P_{cu} + P_{core}$ به صورت حرارت در ترانس ظاهر می شود. لذا باید حرارت به محیط خارج انتقال یابد که در نتیجه نیاز به یک سیستم خنک کننده داریم. چنین سیستم خنک کننده ای با هسته و سیم پیچ در تماس است.

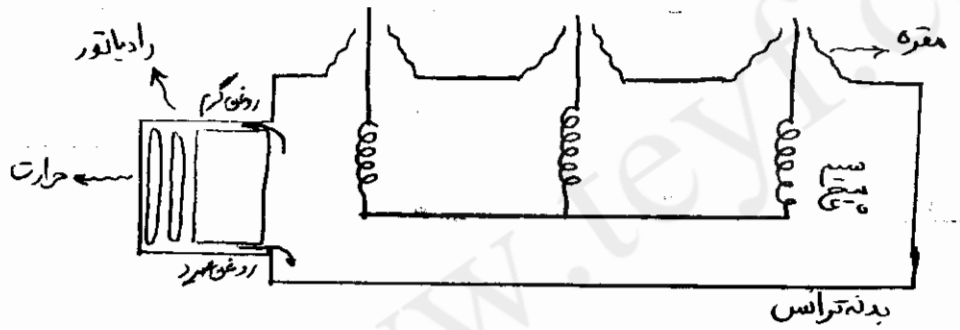


یکی از محیط های خنک کننده روغن است که بحث آن قبلاً مطرح شده است. نوع دیگر چنین محیط های خنک کننده، هوا است و هسته و سیم پیچ با هوا در تماس هستند که به آنها ترانس های خشک نیز می گوییم. در ترانس های با ولتاژ بالا به جای هوا از گاز SF_6 استفاده می شود که خاصیت آفاجذب سریع الکترون است. به چنین ترانس هایی، ترانس های گازی گفته می شود.

محیط خارجی که گرما نهایتاً به آن منتقل می‌شود هوا یا آب است.

علامت شناسایی سیستم خنک کن:

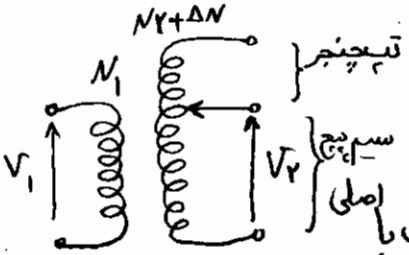
حرف اول	حرف دوم	حرف سوم	حرف چهارم
O روغن	N طبیعی	A هوا	N طبیعی
G گاز	F اجباری	W آب	F اجباری
W آب	D اجباری با عبور روغن جهت داده شده		
A هوا			
نوع محیط خنک کننده که با سیم پیچ و هسته در تماس است.	نوع سیرکولاسیون	نوع محیطی که سیستم خنک کننده با آن در تماس است.	نوع سیرکولاسیون



در سیرکولاسیون طبیعی (N) روغن به صورت طبیعی وارد رادیاتور می‌شود. در اجباری (F) از پمپ برای حرکت روغن استفاده می‌شود. حالت D کانالهایی بین سیم پیچ‌ها بوجود می‌آید که مسیری برای عبور روغن خواهند بود و در نتیجه عبور روغن جهت داده شده است. در سیرکولاسیون طبیعی (حرف چهارم) هوا به صورت طبیعی رادیاتور را خنک می‌کند اما در اجباری هوا با فن به رادیاتور دمیده می‌شود. ترانس ONAN/ONAF نخست به صورت طبیعی با هوا خنک می‌شود اما بعد از

مدتی که دما بالا رود سیستم به طور اتوماتیک فن‌ها را بکار می‌اندازد.

۲۴- Tap changer

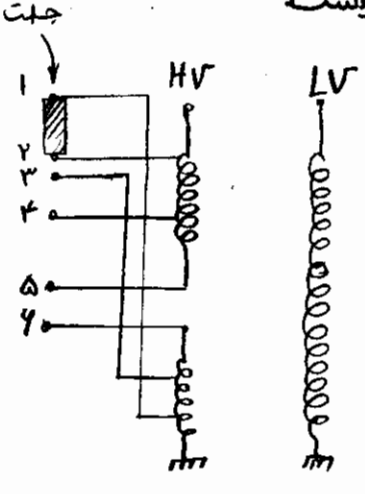


وسیله‌ای است جهت تغییر نسبت دورها که در نتیجه ولتاژ تغییر می‌کند. اتوترانس نیز مشابه چنین سیستمی است با این تفاوت که در چنین سیستمی ایزولاسیون الکتریکی وجود دارد.

انواع تپ‌چنجر: ۱- off-load Tap changer یا no-load Tap changer

۲- on-load Tap changer یا (OLTC)

off-load Tap changer موقعی می‌تواند تغییر ولتاژ انجام دهد که ترانس در شرایط بی باری قرار دارد و لذا در سیستم‌هایی که تغییرات بار آنها تقریباً ثابت است. تغییرات بار در این سیستم‌ها با تغییرات فصل خواهد بود. در on-load Tap cha. در حالت بارداری نیز می‌توان تغییر ولتاژ انجام داد. برای تغییرات جزئی ولتاژ Tap changer را در سمت فشار قوی قرار می‌دهیم. در این سمت جریان عبوری نیز کمتر است



۲۴-۱ off-load Tap changer

در حالت عادی تمام سرها دارای ولتاژ هستند. وقتی کلید ۲-۱ بسته است تعداد دورها در HV کمترین است و وقتی کلید ۶-۵ بسته است تمام دورها در HV وجود دارند و بیشترین تعداد دور را داریم. به این ترتیب ولتاژ تغییر می کند. در on-load Tap cha.. هنگام تعویض کلیدها جرقه تولید خواهد شد. لذا تپ چنجر را در تانک مجزایی پر از روغن قرار می دهند تا جرقه که باعث تجزیه روغن می شود تأثیری در روغن داخل ترانس معمولی نگذارد.

www.teyf.com