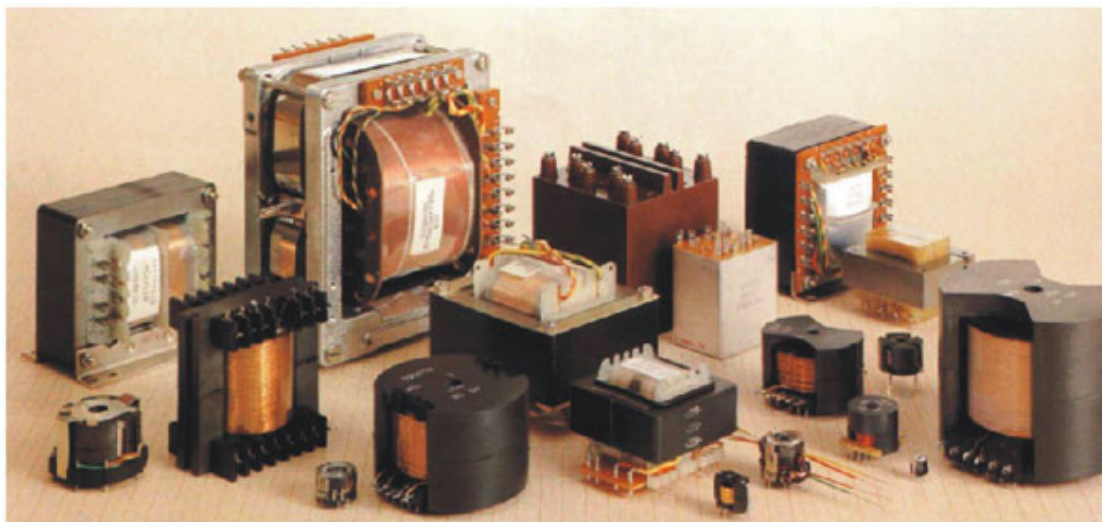


۶. فصل ششم: ترانسفورماتورها^۱

یکی از کاربردی ترین دستگاههای مرسوم در مدارهای الکتریکی ترانسفورماتورها یا به اختصار ترانس ها می باشند. ترانسفورماتور عبارتست از وسیله ای که از طریق یک میدان مغناطیسی متغیر انرژی الکتریکی را از یک سطح ولتاژ به انرژی الکتریکی در سطحی دیگر از ولتاژ تبدیل می کند. لذا ترانسها برای انتقال انرژی الکتریکی از یک مدار AC به مدار دیگر AC بدون تغییر فرکانس مدار بکار می روند. این امر در خصوص انتقال انرژی الکتریکی اهمیت زیادی دارد. زیرا در خطوط انتقال برای کاهش تلفات اهمی جریان الکتریسیته را با ولتاژهای زیاد ولی جریانهایی کم انتقال داده و سپس در محل مصرف مجدداً به حد دلخواه کاهش می دهند. با توجه به اینکه شدت جریان در مدار با توان ۲ تلفات اهمی را تحت تاثیر قرار می دهد لذا مثلاً با کاهش جریان به نصف (ولتاژ دو برابر) تلفات اهمی به ۴ برابر کاهش خواهد یافت. امروزه مولدهای برق به طور معمول جریان برق را با ولتاژی بین ۱۲ الی ۲۵ کیلو ولت تولید می کنند. این ولتاژ توسط ترانس های افزایشدهنده به ۱۱۰ الی ۱۰۰۰ کیلو ولت افزایش یافته و به نقاط دور دست منتقل می گردد. علاوه بر این بدلیل تنوع در مصرف کننده ها از نقطه نظر قدرت مصرفی و ولتاژ مورد نیاز امروزه اکثر مصرف کننده ها به منظور تطبیق ولتاژ ورودی به ولتاژ مورد نیاز مجهز به ترانس می باشند. امروزه به دلیل تنوع مصرف کننده ها انواع مختلفی از نظر مقدار ولتاژ خروجی، و قدرت انتقال وجود دارد (شکل ۱-۶).



شکل ۱-۶: انواع ترانسفورماتورهای مورد استفاده در تجهیزات الکتریکی

ترانسفورماتور اساساً متشکل از دو یا چند سیم پیچ است که بدور یک هسته فرومغناطیس مشترک پیچیده شده اند. تنها اتصال این سیم پیچها میدان مغناطیسی است که در داخل هسته وجود دارد. یکی از سیم پیچها به منبع ولتاژ متناوب (شبکه) وصل می گردد تا شارژی متناوب در هسته ایجاد نماید. دامنه این شار (Φ_m) به ولتاژ اعمال شده به سیم پیچ و

¹ Transformers

تعداد دور سیم پیچ بستگی دارد. سیم پیچی که به شبکه وصل می گردد بنام سیم پیچ اولیه یا ورودی^۱ و سیم پیچی که به بار (مصرف کننده) وصل می شود بنام سیم پیچ ثانویه یا خروجی^۲ نامیده می شود. ممکن است ترانس دارای سیم پیچ دیگری نیز باشد که در انصورت به آن سیم پیچ ثالث^۳ گفته می شود. از سیم پیچ های اضافی جهت حصول سطوح مختلف ولتاژ در خروجی استفاده می شود.

۶,۲. انواع ترانس

ترانس ها علاوه بر اینکه از نظر اندازه بسیار متنوع هستند از جهات مختلف دیگری نیز تقسیم بندی می شوند:

انواع ترانس از نظر تغییرات ولتاژ:

❖ ترانس های افزایشنده^۴ که ولتاژ خروجی بیشتر از ولتاژ ورودی می باشد. این ترانس ها در ابتدای خطوط انتقال قرار می گیرند

❖ ترانس های کاهشنده^۵ که ولتاژ خروجی کمتر از ولتاژ ورودی می باشد. در انتهای خطوط انتقال قرار می گیرند.

انواع ترانس از نظر نوع جریان:

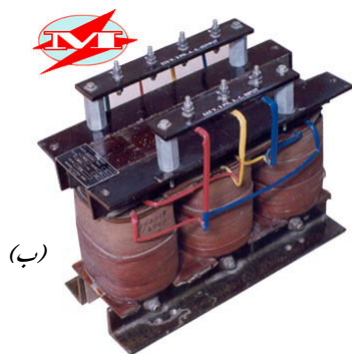
❖ ترانس های تک فاز

❖ ترانس های سه فاز (شکل ۲-۶)

انواع ترانس از نظر تجارتي:

❖ ترانسهای قدرت^۶ که در ابتدا و یا انتهای خطوط انتقال فشار قوی قرار می گیرند. ترانسهایی که در شبکه اصلی قرار می گیرند بیشتر از ۱۱۰ kv و ترانسهایی که در خطوط فرعی قرار می گیرند بین ۳۵ - ۲ kv می باشند.

❖ ترانس های توزیع^۷ که در اول خطوط مصرف قرار می گیرن و ولتاژ خروجی آنها با توجه به ولتاژ رایج هر کشوری ممکن است ۲۲۰، ۲۰۸ و ۱۱۰ ولت باشد.



شکل ۲-۶: (الف) ترانس تک فاز چند سیم پیچه. (ب) ترانس سه فاز

- ¹ Primary or Input Winding
- ² Secondary or Out Put Winding
- ³ Tertiary Winding
- ⁴ Step – up Transformer
- ⁵ Step – down Transformer
- ⁶ Power Transformer
- ⁷ Distribution Transformer

انواع ترانس از نظر ساختمان هسته:

❖ ترانس های هسته ای یا ستونی^۱

❖ ترانس های جداری یا زرهی^۲ (شکل ۳-۶)

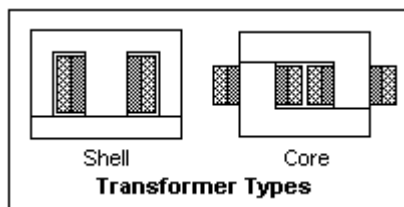
در نوع زرهی هر دو سیم پیچ روی ستون وسط پیچیده می شوند و دو ستون کناری مانند جدار یا زرهی دور ستون وسط را می گیرند. بنابر این پراکندگی شار کم بوده و لذا تلفات ناشی از نشت شار به اطراف کم می شود بطوریکه راندمان این نوع از انواع ستونی بیشتر می باشد. برای اینکه اندکسیون در تمام نقاط مدار مغناطیسی ثابت باشد ضخامت ستون وسط را دو برابر می گیرند. در نوع ستونی هسته دارای دو ستون بوده که هر کدام از سیم پیچها بر روی یکی از ستون ها پیچیده می شود. بطوریکه اگر یکی از سیم پیچ ها بسوزد می توان آن را به تنهایی عوض کرد. در صورتیکه در نوع زرهی اگر یکی بسوزد هر دو سیم پیچ باید تعویض گردد.

انواع ترانس زرهی:

❖ استوانه ای

❖ صفحه ای

در نوع استوانه ای سیم پیچ فشارقوی روی سیم پیچ فشار ضعیف پیچیده می شود. در نوع صفحه ای سیم پیچ فشار قوی و ضعیف به صورت لایه هایی بر روی هم قرار می گیرند. نوع استوانه ای چون ارتفاع کمتری دارد ارجح تر است.



شکل ۳-۶: ترانس هسته ای و ترانس زرهی

انواع ترانس از نظر نحوه خنک کردن

❖ ترانس های هوا خنک یا خشک

❖ ترانس های روغنی^۳

ترانس ها بدلیل داشتن تلفات اهمی در اثر جریان گردابی و تلفات مغناطیسی در اثر پدیده پس ماند گرم می شوند که بایستی به نحوی حرارت از ترانس خارج شود. در نوع خشک خنک کردن خود بخود یا به کمک پنکه ایجاد می شود. در ترانسهای فشار قوی و پر قدرت به دلیل حرارت زیاد آنها را در داخل روغن غوطه ور می کنند. در این حالت یک پمپ وظیفه چرخش روغن و خنک کردن آن را بعهده دارد. روغن مورد استفاده باید ضمن اینک غیر قابل اشتعال باشد عایق نیز باشند. روغن هایی مثل کلوفن و پیرانول می توانند در ولتاژهای بالا تر از ۶۰ کیلو ولت کار نمایند.

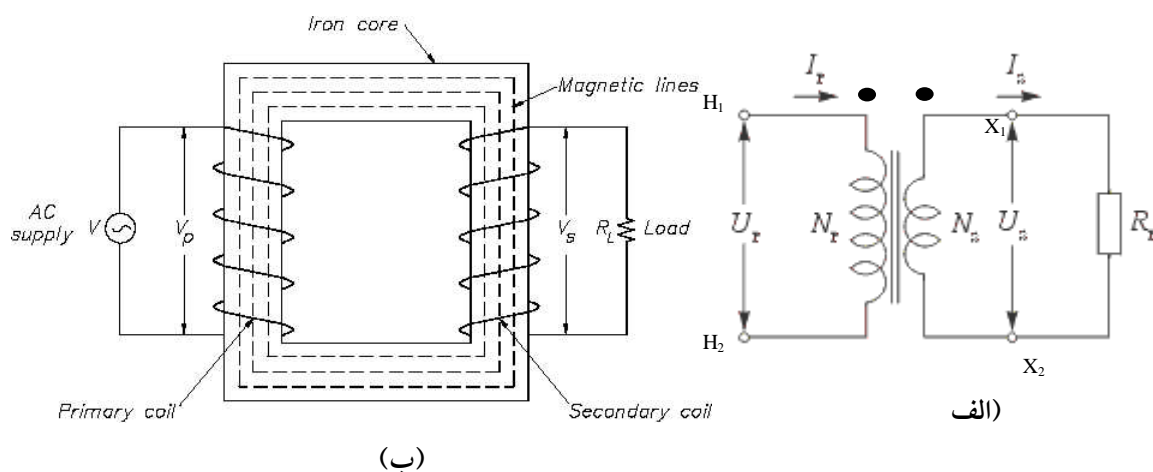
¹ Core Type Transformer

² Shell Type Transformer

³ Oil immersed

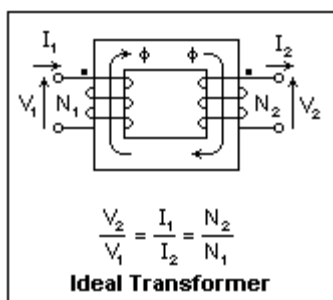
۶.۳. مدار سمبولیک ترانسفورماتورها:

شکل ۴-۶ نحوه نمایش سمبولیک ترانس را در مدار نشان می دهد. در مدار سمبولیک دو نقطه توپر نشان دهنده پلاریته سیم پیچهای اولیه و ثانویه می باشد. در لحظه ای که ترمینال نقطه دار در سیم پیچ اولیه نسبت به ترمینال بدون نقطه در همین سیم پیچ مثبت باشد، ترمینال نقطه دار در سیم پیچ ثانویه نیز نسبت به ترمینال بدون نقطه مثبت خواهد بود. ترمینالهایی که با حرف H نشان داده می شوند مربوط به طرف فشار قوی (ولتاژ بالا) و ترمینالهایی که با حرف X نشان داده می شوند مربوط به طرف فشار ضعیف می باشد.



شکل ۴-۶: نمایش ترانس. الف) مدار سمبولیک ترانس، ب) نحوه استقرار هسته و سیم پیچها
ترانسفورماتور ایده آل:

ترانس ایده آل عبارتست از دستگاهی که متشکل از دو سیم پیچ اولیه و ثانویه همراه با هسته می باشد که می توان فرض کرد هیچ گونه تلفاتی در آن بوجود نمی آید. امروزه ترانس های واقعی بسیار نزدیک به این فرض هستند به گونه ای که بعضی از آنها دارای راندمانی تا ۹۹٪ هم هستند. بنابراین فرض ایده آل بودن در مورد اکثر ترانس های امروزی فرض قابل قبولی خواهد بود.



شکل ۵-۶: اعمال ولتاژ در یک ترانس ایده آل

یک ترانس ایده آل خواهد بود اگر فرض شود که:

۱. تمامی شار محدود به هسته است و از درون دو سیم پیچ اولیه و ثانویه به طور کامل عبور می کند.
۲. مقاومت الکتریکی دو سیم پیچ قابل اغماض است
۳. اتلاف انرژی در هسته ناچیز است
۴. تراوندگی مغناطیسی انچنان زیاد است که تنها نیروی محرکه مغناطیسی کمی نیاز است تا شار مورد نظر تولید شود.

در یک چنین ترانسی با عبور جریان متناوب از سیم پیچ اولیه نیروی محرکه MMF باعث بوجود آمدن شارمتناوبی در هسته می گردد که حداکثر مقدار آن ϕ_m می باشد. شار متناوب با عبور از هسته به صورت شار متقابل عمل نموده و در سیم پیچ ثانویه ولتاژ القاء خواهد نمود. ولتاژ القاء شده برابر قانون فاراده متناسب است با شدت تغییرات شار نسبت به زمان:

$$e_{(t)} = -N_1 \frac{d}{dt}$$

$$\Rightarrow \phi_{(t)} = \phi_m \sin(\omega t)$$

$$\Rightarrow \omega = 2\pi f$$

$$\Rightarrow e_{(t)} = N_1 \phi_m \omega \cos(\omega t)$$

علامت منفی به دلیل مخالفت ولتاژ القائی با شار می باشد

می توان نوشت در لحظه $t=0$ مقدار شار برابر صفر و مقدار ولتاژ حداکثر خواهد بود لذا:

$$t = 0 \Rightarrow \phi = 0 \Rightarrow e = e_{Max} = N_1 \phi_m 2\pi f$$

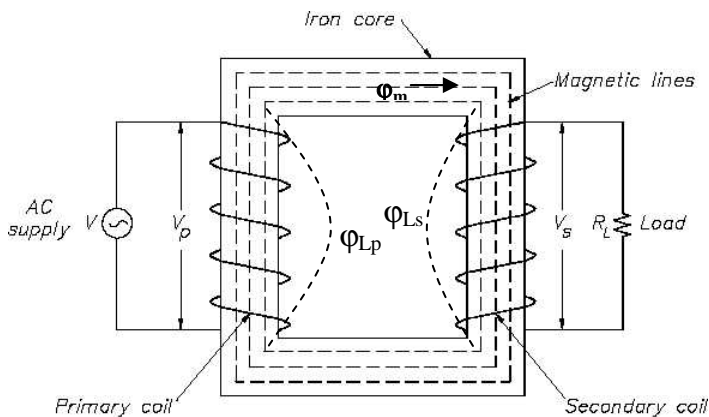
$$e_{Max} = E_1 \sqrt{2}$$

$$E_1 = \frac{\phi_m N_1 (2)\pi f}{\sqrt{2}}$$

$$E_1 = 4.44 f N_1 \phi_m$$

(۶-۱)

در رابطه (۶-۱) E_1 عبارتست از ولتاژ اعمال شده در سیم پیچ اولیه با تعداد دور N_1 که سبب ایجاد شار ϕ_m در هسته می گردد. در این رابطه فرض شده است که هیچگونه شار نشتی در هسته وجود نداشته باشد.



در یک ترانس واقعی در اثر اعمال ولتاژ V_p جریان I_p از اولیه عبور می کند که باعث ایجاد شار می گردد. شار بوجود آمده در اولیه ϕ_p به دو بخش تقسیم می گردد:

۱. شار متقابل ϕ_m

۲. شار نشتی در اولیه ϕ_{Lp}

لذا داریم:

$$\phi_p = \phi_m + \phi_{Lp}$$

همین وضعیت در طرف ثانویه نیز وجود دارد لذا می توان نوشت:

$$\phi_s = \phi_m + \phi_{Ls}$$

در این رابطه ϕ_{Ls} شار نشتی در طرف ثانویه است

اگر قانون القاء فاراده را برای طرف اول بنویسیم داریم:

$$V_{p(t)} = N_p \frac{d\phi_p}{dt}$$

$$V_{p(t)} = N_p \frac{d\phi_m}{dt} + N_p \frac{d\phi_{Lp}}{dt}$$

$$V_{p(t)} = e_{p(t)} + e_{Lp(t)}$$

$e_{p(t)}$ عبارتست از ولتاژ القائی در طرف اولیه در اثر شار متقابل Φ_m ولتاژ در طرف ثانویه نیز به صورت:

$$V_{s(t)} = N_s \frac{d\phi_s}{dt}$$

$$V_{s(t)} = N_s \frac{d\phi_m}{dt} + N_s \frac{d\phi_{Ls}}{dt}$$

$$V_{s(t)} = e_{s(t)} + e_{Ls(t)}$$

$e_{s(t)}$ عبارتست از ولتاژ القائی در طرف ثانویه در اثر شار متقابل Φ_m

با توجه به اینکه:

$$e_{p(t)} = N_p \frac{d\phi_m}{dt}$$

$$\frac{d\phi_m}{dt} = \frac{e_{p(t)}}{N_p} = \frac{e_{s(t)}}{N_s} = a$$

$$e_{s(t)} = N_s \frac{d\phi_m}{dt}$$

\Rightarrow

$$a = \frac{e_{p(t)}}{N_p} = \frac{e_{s(t)}}{N_s}$$

(۶-۲)

معادله (۶-۲) به این مفهوم است که نسبت ولتاژ القاء شده در اولیه به ولتاژ القاء شده در ثانویه در اثر شار متقابل برابر است با نسبت دور ها در دو سیم پیچ اولیه و ثانویه. از آنجائیکه در یک ترانس با طراحی مناسب $\Phi_m \gg \Phi_{Lp}$ و $\Phi_m \gg \Phi_{Ls}$ است و مقاومت اهمی سیم پیچها ناچیز در نظر گرفته می شود می توان فرض کرد که این نسبت بین ولتاژ های ورودی و خروجی بر حسب مقادیر RMS از ترانس هم وجود داشته باشد:

$$a = \frac{V_p}{V_s} = \frac{N_p}{N_s}$$

(۶-۳)

رابطه فوق معادله اساسی ترانسها می باشد و به نسبت دور در ترانس شناخته می شود.

چنانچه ترانس ایده ال فرض گردد و از تلفات اکتیو و راکتیو در هسته صرف نظر شود و لحظه ای را در نظر بگیریم که طرف ثانویه به باری متصل گردد جریانی در ثانویه برقرار خواهد شد که نیروی محرکه مغناطیسی $N_2 I_2$ را در طرف ثانویه ایجاد خواهد کرد. این نیروی محرکه مغناطیسی با یستی با جریانی که در اولیه برقرار می گردد خشتی گردد $(N_1 I_1)$. لذا داریم:

$$N_1 I_1 = N_2 I_2$$

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1} = \frac{1}{a}$$

و لذا رابطه (۶-۳) را به صورت کامل تر زیر می توان نوشت:

$$a = \frac{V_p}{V_s} = \frac{N_p}{N_s} = \frac{I_s}{I_p}$$

(۶-۴)

مثال:

برای ساخت ترانسی کاهنده 120/24v چنانچه تعداد دور سیم پیچ اولیه 400 باشد مطلوبست تعداد دور ثانویه، نسبت دورها و ماکزیمم شار متقابل با فرکانس 50 HZ.؟

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

$$N_2 = N_1 \frac{V_1}{V_2} = (400) \frac{24}{120} = 80 \text{turn}$$

$$a = \frac{N_1}{N_2} = \frac{400}{80} = 5$$

$$\phi_m = \frac{V_1}{4.44 \times f \times N_1} = \frac{120}{(4.44)(50)(400)} = 1.35 \times 10^{-3} \text{wb}$$

ترانسفورماتور واقعی:

اگر چه در ترانسهای خوب طراحی شده می توان به نتایجی نزدیک به ترانس ایده ال دست یافت ولی چون در ترانس ایده ال 4 فرض اساسی وجود داشت که در ترانس های واقعی ممکن است وجود نداشته باشد. لذا در ترانس معمولی برخی آثار جنبی پدیدار می شود که متفاوت از ترانس ایده ال خواهد بود. در ترانسهای واقعی به دلیل مقاومت اهمی سیم پیچ های اولیه و ثانویه مقداری تلفات به صورت حرارتی خواهیم داشت. علاوه بر این مقداری تلفات انرژی در اثر جریانهای گردابی در هسته و افت مغناطیسی نیز وجود دارد. و نهایتا اینکه در هسته مقداری شار نشتی در طرف اولیه و ثانویه وجود دارد که مثل راکتانس در مدار عمل می کنند و باعث ایجاد مقاومت ظاهری بیشتر در مدار می گردند. این موارد باعث می گردد که رفتار ترانس واقعی متفاوت از رفتار ترانس ایده ال باشد.

مقادیر اسمی ترانس:

- یک ترانس واقعی دارای پلاک مشخصات می باشد که بر روی آن 4 مشخصه اصلی به شرح زیر قید می گردد.
1. توان ظاهری در ثانویه: این توان بر حسب ولت آمپر یا کیلو ولت آمپر بیان می شود و مبین حداکثر توانی است که می توان از طرف ثانویه کشید. بیان توان ظاهری از این نظر ضروری است که ممکن است ترانس در شرایطی قرار گیرد که ضریب توان مصرف کننده کم باشد و لذا در عین حالیکه توان مصرفی پایین است جریان کشیده شده از ترانس بالاتر از حد توان ترانس باشد
 2. ولتاژ اسمی در اولیه: حداکثر ولتاژ اعمال شده در اولیه بر حسب ولت یا کیلو ولت است. اعمال ولتاژ بالاتر از این حد ممکن است به ترانس آسیب برساند.
 3. ولتاژ اسمی در ثانویه: ولتاژی که در دو سر ترمینالهای خروجی ترانس قرائت شده در حالیکه به ورودی ولتاژ اولیه اعمال شده و توان اسمی مصرفی در ثانویه برابر توان اسمی باشد.
 4. فرکانس: اندازه هسته ترانس مستقیما تحت تاثیر فرکانس مدار می باشد بطوریکه کاهش فرکانس ممکن است سبب اشباع شدن هسته گردیده و حداکثر شار متقابل مورد نیاز هسته فراهم نگردد.

برای مثال در ترانسی با مشخصات زیر:

6kvA, 60 HZ, 120/1200v.

هرگاه بر روی سیم پیچ اولیه ۱۲۰ ولت اعمال گردد انگه ولتاژ در ثانویه ۱۲۰۰ ولت خواهد بود و ترانس 6kvA توان تحویل مصرف کننده می دهد.

چنانچه راندمان ترانس بالا باشد فرض ایده ال بودن تاثیر زیادی در محاسبات نداشته و لذا توان ورودی و خروجی برابر فرض شده می توان مقادیر اسمی جریان (حداکثر) را در اولیه و ثانویه بدست آورد:

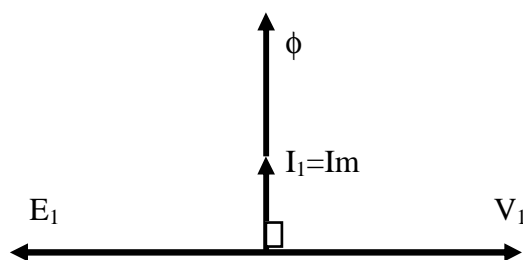
$$I_{1(rated)} = \frac{S_{1(rated)}}{V_{1(rated)}}$$

$$I_{2(rated)} = \frac{S_{2(rated)}}{V_{(rated)}}$$

جریانهای فوق در حالت بار داری کامل ترانس می باشد. در حالت بدون بار جریان در ثانویه صفر بوده ولی در طرف اولیه مقدار کمی جریان عبور می کند که جهت ایجاد شار در هسته می باشد. این جریان خیلی کم بوده و از حدود ۰.۵٪ جریان اسمی در اولیه تجاوز نمی کند.

روابط اساسی ترانسفورماتورها

برای آشنایی با رفتار یک ترانس واقعی و ارتباط بین جریانها در طرف اولیه و ثانویه از دیاگرام فاز استفاده می شود.

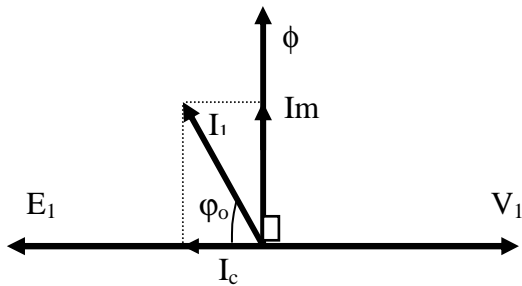


اگر ولتاژ E_1 به سیم پیچ اولیه اعمال شود و سیم پیچ ثانویه باز باشد (حالت بی باری) ترانس بمانند یک سلف عمل کرده و اگر فرض شود که سلف مورد نظر ایده ال باشد جریان کمی بنام جریان بی باری یا مغناطیس شوندگی (I_m) در اولیه برقرار خواهد شد ($I_1=I_m$).

عبور جریان متناوب از داخل سیم پیچ اولیه باعث ایجاد شار

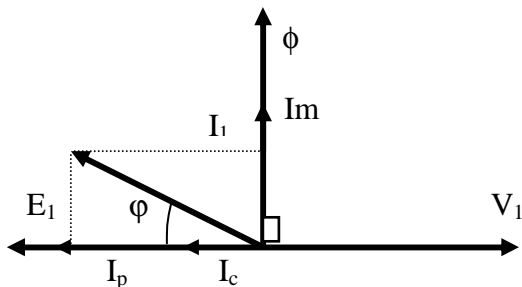
متناوب ϕ در هسته می گردد. که این شار به اندازه ۹۰ درجه از ولتاژ E_1 عقب می باشد. (پس فاز). شار متناوب حاصله باعث ایجاد ولتاژ خودالقائی V_1 در خود سیم پیچ اولیه می گردد. که ۹۰ درجه با شار اختلاف فاز داشته و نهایتاً ۱۸۰ درجه با ولتاژ ورودی E_1 اختلاف فاز خواهد داشت. چون سیم پیچ اولیه ایده ال فرض شده است V_1 و E_1 از نظر مقدار برابر و لی مختلف الجهد می باشند. چون زاویه بین جریان $I_1=I_m$ و ولتاژ ورودی ۹۰ درجه است لذا هیچگونه توان حقیقی وارد ترانس تا این لحظه نمی گردد. حال اگر این ترانس واقعی باشد و ما در مدار اولیه ترانس یک واتمتر وصل کنیم مشاهده خواهد شد که ترانس مقداری توان واقعی نیز مصرف می کند. در ترانس واقعی چون در هسته شار متناوب ایجاد می شود لذا مقداری انرژی به صورت جریان گردابی و تلفات هیستریزس ایجاد می شود. این تلفات که تلفات هسته نامیده می شود به صورت توان واقعی مصرف می گردد و در هسته تولید حرارت می کند. بنابراین چون در ترانس واقعی مقداری توان حقیقی مصرف می شود نتیجه گرفته می شود که باید جریانی هم فاز با E_1 از مدار عبور

نماید. بنابراین جریان واقعی در اولیه در حالت بی باری برابر I_m و جریان مصرفی در هسته I_c است. در این صورت زاویه بین E_1 و I_1 90° درجه نبوده و کمتر خواهد بود (ϕ_0).



در نتیجه کسینوس زاویه (ϕ_0) ضریب توان در حالت بی باری برای ترانس نامیده می شود. همانطور که مشخص است هر چه ضریب قدرت ترانس در حالت بی باری کمتر باشد به ترانس ایده ال نزدیکتر خواهد بود.

حال اگر طرف ثانویه مدار ترانس را مثلاً به یک بار مقاومتی اهمی وصل نمائیم در ثانویه با توجه به جریانی که کشیده می شود MMF بوجود می آید که با یستی توسط طرف اولیه جبران شود. در نتیجه جریان دیگری که هم فاز با I_c می باشد در اولیه ایجاد خواهد شد (I_p). لذا با این جریان مقداری توان اکتیو وارد ترانس شده و در طرف ثانویه به مصرف می رسد. در اینصورت جریان در اولیه مجموع جریان I_p و I_m و I_c خواهد بود.



زاویه ϕ از زاویه ϕ_0 کمتر بوده و ضریب توان به یک نزدیکتر خواهد شد. هر چه ضریب توان در حالت بار داری به یک نزدیکتر باشد مطلوب تر خواهد بود. اگر بار ثانویه اهمی خالص نباشد به همان نسبت ضریب توان ترانس در حالت بار داری تغییر خواهد کرد.

مثال:

ترانسی با مشخصات زیر موجود است. اگر مدار اولیه به ولتاژ اسمی متصل گردد و مدار ثانویه باز باشد در اینصورت واتمتر و آمپر متر در اولیه به ترتیب ۱۰ وات و ۰/۵ آمپر را نشان می دهند مطلوبست:

<p>مشخصات ترانس:</p> <p>120/600v</p> <p>f=60 HZ</p> <p>S_{rated}=2 kVA</p>
--

الف) ضریب توان در حالت بی باری

ب) جریان مغناطیس شونددگی

ج) جریان مربوط به تلفات اهمی هسته و سیم پیچها

د) اگر یک مقاومت به ثانویه متصل گردد و واتمتر عدد ۱/۵ کیلووات

را نشان دهد ضریب توان را در این حالت محاسبه نمائید

حل:

در حالت بی باری:

$$P_o = V_e I_e \cos(\phi_o)$$

$$\cos(\phi_o) = \frac{P_o}{V_1 I_1} = \frac{10 \text{ watt}}{(120 \text{ v})(0.5 \text{ A})} = 0.167$$

$$\phi_o = \cos^{-1}(0.167) = 80.39^\circ$$

$$I_m = I_1 \sin(\phi_o) = (0.5) \sin(80.39) = 0.493 \text{ A}$$

جریان مغناطیس شونددگی:

$$I_c = I_1 \cos(\phi_o) = (0.5)(0.167) = 0.0833A$$

$$I_p + I_c = \frac{P}{V_1} = \frac{1500\text{watt}}{120} = 12.5A$$

$$\phi = \tan^{-1}\left(\frac{I_m}{I_p + I_c}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{0.493}{12.5}\right) = 2.26^\circ$$

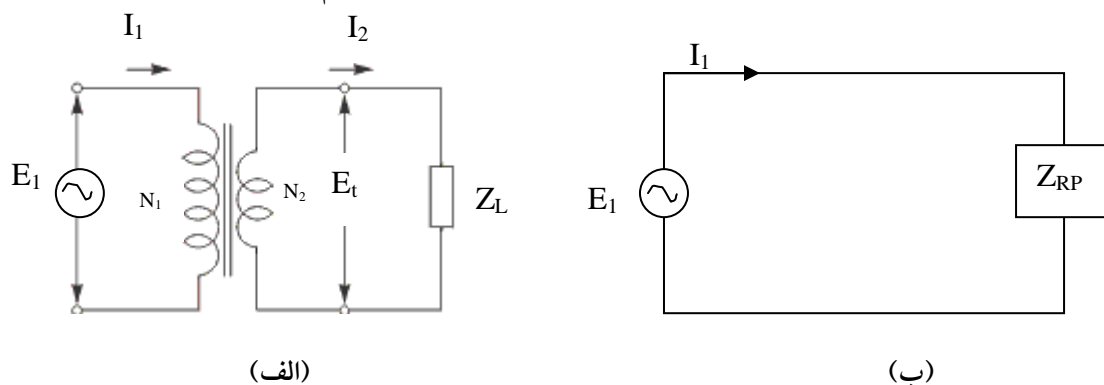
$$PF = \cos(\phi) = 0.999 \approx 1$$

جریان مربوط به تلفات هسته در حالت بی باری
قانون اهم برای مقاومت اهمی

ضریب توان در حالت باررداری

۶,۴. بازتاب امپدانس در اولیه و ثانویه^۱

در بررسی ترانس ها مدار اولیه و ثانویه به صورت الکتریکی به هم متصل نیستند و لی چون از همدیگر متاثر هستند بایستی به گونه ای این تاثیر متقابل را پیدا کرده و مقادیر و کمیتها را از یک طرف به طرف دیگر منتقل نمود تا قادر باشیم مقادیر جریانها و ولتاژها را در هر دو طرف در یک ترانس تحت بار محاسبه نماییم.



شکل ۶-۶: بازتاب امپدانس در ترانس. (الف) مدار واقعی. (ب) مدار معادل نسبت به طرف اولیه

با توجه به شکل ۶-۶ (الف) قانون اهم برای طرف ثانویه عبارتست از:

$$V_2 = Z_L I_2 \quad (1)$$

$$a = \frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2} \Rightarrow V_1 = V_2 \left(\frac{N_1}{N_2}\right) \quad (2)$$

$$V_1 = (Z_L I_2) \left(\frac{N_1}{N_2}\right) \quad (3)$$

$$a = \frac{I_2}{I_1} \Rightarrow I_2 = I_1 \cdot a \quad (4)$$

$$V_1 = Z_L (I_1 \cdot a) a$$

$$V_1 = (a^2 Z_L) I_1$$

$$Z_{RP} = a^2 Z_L \quad (5)$$

به جای V_2 از رابطه (1) جایگزین می کنیم

برای ترانس داریم:

با جایگزینی رابطه (4) در رابطه (3) داریم:

رابطه (5) عبارتست از بازتاب امپدانس طرف ثانویه در طرف اولیه.

¹ Reflecting Impedance

به همان ترتیبی که باز تاب امپدانس ثانویه در اولیه بدست آمد می توان باز تاب امپدانس اولیه در ثانویه را نیز به صورت زیر بدست آورد:

$$Z_{RS} = \frac{Z_1}{a^2} \quad (6-5)$$

مثال:

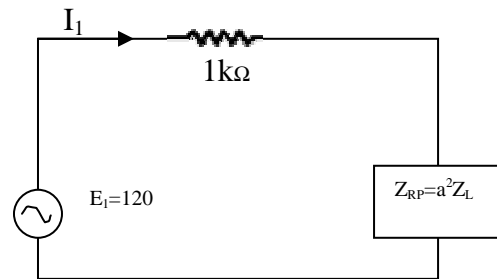
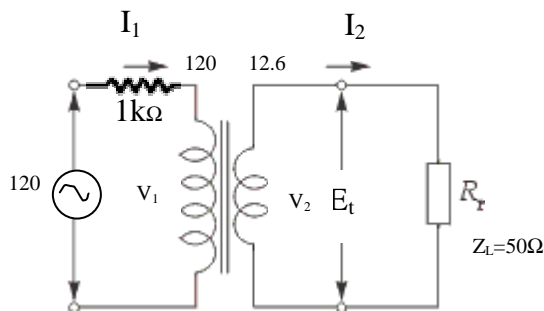
ترانسفورماتوری با مشخصات زیر موجود است و مطابق شکل زیر به مصرف کننده ای متصل شده است. مطلوبست مقادیر جریانهای اسمی و جریانهای واقعی؟

مشخصات ترانس:

$$V_1/V_2=120/12.6$$

$$f= 60 \text{ HZ}$$

$$S_{rated}=25 \text{ VA}$$



حل:

جریان های اسمی برابر:

$$I_{1rated} = \frac{25}{120} = 0.21A$$

$$I_{2rated} = \frac{25}{12.6} = 1.98A$$

$$a = \frac{V_1}{V_2} = \frac{120}{12.6} = 9.52$$

$$a^2 R_L = (9.52)^2 (50) = 4535\Omega$$

$$I_1 = \frac{120}{(1000 + 4535)} = 0.02A$$

$$V_1 = I_1 (a^2 R_L) = (0.02)(4535) = 98.3V$$

$$V_2 = \frac{V_1}{a} = \frac{98.3}{9.52} = 10.3$$

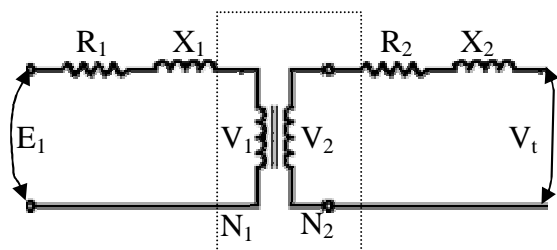
$$I_2 = \frac{V_2}{R_L} = \frac{10.3}{50} = 0.21A$$

با کاربرد قانون اهم در مدار معادل داریم:

با کاربرد قانون اهم در طرف ثانویه داریم:

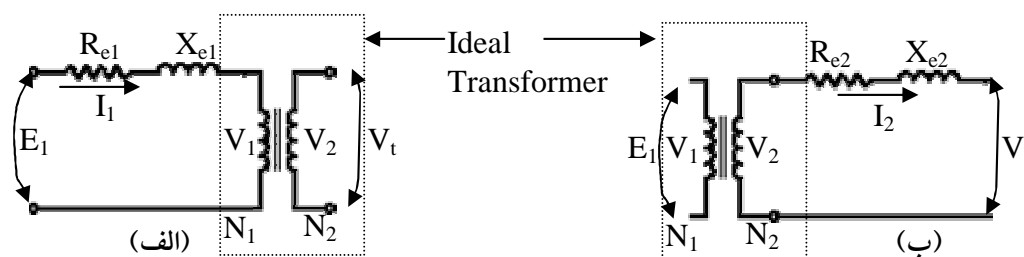
۶.۵. مدار معادل ترانسفورماتور واقعی^۱

در مثال قبل که محاسبات مربوط به ترانس ارائه گردید مقاومت اهمی سیم پیچها و شار نشستی در هسته در نظر گرفته نشد. برای محاسبه دقیق پارامترهای مرتبط با ترانسها در حالت بارداری لازم است تلفات ناشی از موارد فوق مد نظر قرار گیرد. برای منظور نمودن مقاومت هسته و شارهای نشستی مدار معادل ترانس را ارائه می نمایند که در آن موارد زیر به صورت مقاوت‌های مختلف گنجانیده می شود:



- ❖ مقاومت سیم پیچ اولیه R_1
- ❖ مقاومت سیم پیچ ثانویه R_2
- ❖ راکتانس نمایش دهنده شارنشستی در اولیه ($X_1=L_1\omega$)
- ❖ راکتانس نمایش دهنده شارنشستی در ثانویه ($X_2=L_2\omega$)

همانطور که ملاحظه می شود شارهای نشستی را به صورت مقاومت ظاهری از نوع اندوکتیو خاص می توان نشان داد. برای ساده تر شدن مدار می توان کمیتهای را به یک طرف مدار در اولیه یا ثانویه منتقل نمود (شکل ۶-۷).



شکل ۶-۷: مدار معادل یک ترانس واقعی. (الف) در طرف اولیه، (ب) در طرف ثانویه

باید توجه داشت که در هر دو مدار V_t و E_1 مشابه یکدیگرند ولی V_2 و V_1 در دو مدار با هم فرق دارند. همچنین در هر دو مدار قسمت نقطه چین مبین ترانس ایده آل می باشد. البته در اینجا هنوز تلفات هسته منظور نگردیده است که بعداً به آن اشاره خواهد شد. همچنین باید توجه داشت که هنگام بردن هر کمیت از یک طرف به طرف دیگر بایستی از نسبت دور "a" استفاده نمود. با توجه به نکات فوق می توان نوشت:

$$\begin{aligned} R_{e1} &= R_1 + a^2 R_2 \\ X_{e1} &= X_1 + a^2 X_2 \\ R_{e2} &= \frac{R_1}{a^2} + R_2 \\ R_{e2} &= \frac{R_1}{a^2} + R_2 \end{aligned} \quad (۶-۶)$$

و امپدانس معادل اولیه و ثانویه نیز برابر است با:

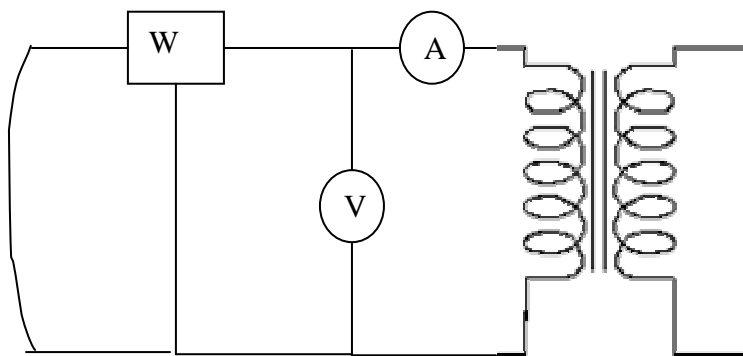
$$Z_{e1} = \sqrt{R_{e1}^2 + X_{e1}^2} \quad Z_{e2} = \sqrt{R_{e2}^2 + X_{e2}^2} \quad (۶-۷)$$

¹ Transformer Equivalent Circuit

مقادیر موجود در رابطه (۶-۷) را می توان با استفاده از آزمایش اتصال کوتاه انجام داد.

۱-۵-۶ آزمایش اتصال کوتاه^۱

در این آزمایش یکی از طرف های ترانس (معمولاً طرف فشار ضعیف) را اتصال کوتاه کرده و در طرف دیگر ولت متر ، آمپر متر و وات متر را مطابق شکل در مدار قرار می دهند. ولتاژ اعمال شده باید متغیر باشد. ولتاژ را انقدر به تدریج افزایش می دهیم تا جریانی معادل جریان اسمی در اولیه توسط آمپر متر نشان داده شود (این ولتاژ خیلی کم بوده حدود ۵٪ ولتاژ اسمی).



چون ولتاژ کم می باشد تلفات هسته قابل اغماض خواهد بود. زیرا تلفات هسته بستگی به شار دارد و شار نیز بستگی به ولتاژ اعمال شده به ترانس. از طرف دیگر چون جریان اسمی از ترانس می گذرد وات متر تلفات اهمی سیمهای مسی را در شرایط اسمی اندازه گیری می کند. با توجه به شکل ۶-۷ تلفات مس برابر:

$$P_{cu} = R_{e1} I_1^2 \quad (6-8)$$

$$P_{cu} = R_{e2} I_2^2$$

هنگام آزمایش مقادیر واتمتر، آمپر متر و ولت متر قرائت شده و لذا می توان با استفاده از رابطه ۶-۸ R_{e1} را محاسبه نمود. امپدانس معادل در طرف اولیه Z_{e1} نیز از تقسیم عدد ولت متر بر عدد آمپر متر محاسبه می گردد. با داشتن R_{e1} و Z_{e1} می توان با استفاده از رابطه ۶-۸ عامل X_{e1} را نیز بدست آورد.
مثال:

یک ترانس با مشخصات زیر موجود است:

$V_1/V_2 = 120/24$ $f = 60 \text{ HZ}$ $S_{rated} = 240 \text{ VA}$

با اتصال کوتاه ترانس در طرف فشار ضعیف واتمتر ۳/۲ وات و ولت متر در جریان اسمی ۲/۸ ولت را نشان دادند. پارامترهای مدار معادل ترانس را بدست آورید.

$$I_{1rated} = \frac{240}{120} = 2 \text{ A}$$

$$R_{e1} = \frac{P_{cu}}{I_1^2} = \frac{3.2}{(2)^2} = 0.8 \Omega$$

$$Z_{e1} = \frac{2.8}{2} = 1.4 \Omega$$

¹ Open Circuit Test

$$X_{e1} = \sqrt{Z_{e1}^2 - R_{e1}^2}$$

$$X_{e1} = \sqrt{1.96 - 0.64} = 1.1\Omega$$

$$R_{e2} = \frac{R_{e1}}{a^2} \Rightarrow a = 120/24 = 5$$

$$R_{e2} = \frac{0.8}{25} = 0.032\Omega$$

$$X_{e2} = \frac{X_{e1}}{a^2} = \frac{1.1}{25} = 0.044\Omega$$

۲-۵-۶ محدودیت‌های فیزیکی

می‌دانیم که مواد مختلف دارای حداکثر چگالی شار متفاوت هستند. این امر سبب می‌شود تا استفاده از مواد مختلف در هسته ترانس باعث تغییر اندازه آن گردد. به گونه‌ای که حداقل سطح مقطع مورد نیاز برای ترانس باید به حدی باشد که هسته اشباع نشود. سطح مقطع سیم، سیم پیچها بوسیله جریان اسمی تعیین می‌گردد. مثال زیر این امر را مشخص می‌کند.

مثال:

ترانسی با نسبت ولتاژ 440/40V و تعداد دور سیم پیچ اولیه ۵۵۰ دور مفروض است هسته ترانی از جنسی است که حداکثر چگالی شار آن ۱/۲ تسلا می‌باشد. حداقل سطح مقطع این ترانس برای فرکانس ۵۰ و ۴۰۰ هرتز چقدر باید باشد؟

$$\varphi_m = \frac{E_1}{4.44 f N_1} = \frac{440}{(4.44)(50)(550)} = 3.6 \times 10^{-3} \text{ wb}$$

الف) برای فرکانس ۵۰ هرتز

$$A_{\min} = \frac{\varphi_m}{B_{\max}} = \frac{3.6 \times 10^{-3} \text{ wb}}{1.2T} = 3 \times 10^{-3}$$

ب) برای فرکانس ۴۰۰ هرتز:

$$\varphi_m = \frac{E_1}{4.44 f N_1} = \frac{440}{(4.44)(400)(550)} = 0.45 \times 10^{-3} \text{ wb}$$

$$A_{\min} = \frac{\varphi_m}{B_{\max}} = \frac{0.45 \times 10^{-3} \text{ wb}}{1.2T} = 0.375 \times 10^{-3}$$

مثال فوق نشان می‌دهد که اگر ترانسی برای فرکانس بالا ساخته شده باشد نمی‌توان آن را در یک فرکانس پائین تر بکار گرفت زیرا سبب اشباع شدن هسته می‌گردد. همچنین است اگر ولتاژ اعمال شده بیشتر از ولتاژ اسمی آن باشد باز هم هسته اشباع خواهد شد.

۳-۵-۶ راندمان ترانس

راندمان ترانس مثل هر مبدل دیگری از رابطه زیر بدست می‌آید

$$\% \eta = \frac{P_o}{P_i} \times 100 \quad (۹-۶)$$

در این رابطه مقادیر بر حسب توان اهمی خروجی به توان اهمی ورودی به ترانس است.

مقدار توان خروجی از ترانس بستگی به مجموع کل تلفات ترانس دارد یعنی:

$$P_i = P_o + \sum losses \quad (6-10)$$

همانطور که قبلاً عنوان شد دو نوع تلفات اهمی در ترانس اتفاق می افتد. تلفات مسی در سیم پیچها و تلفات هسته که شامل تلفات هیستریزس و جریانهای گردابی می باشد. تلفات مسی توسط آزمایش اتصال کوتاه بدست می آید ولی تلفات هسته مربوط به شار در هسته می باشد که توسط آزمایش مدار باز به شرح زیر محاسبه می گردد.

در این آزمایش ولتاژ اسمی را به معمولاً طرف فشار ضعیف اعمال کرده و طرف دیگر را باز می گذاریم. چون مدار در یک طرف باز است جریان فقط در حد جریان مغناطیس شوندهگی بوده و لذا اگر تلفاتی هست مربوط به شار در هسته می باشد که در حد شار حداکثر خواهد بود. بنابراین در این آزمایش توان اندازه گیری شده با تقریب خوبی نشان دهنده توان هسته خواهد بود.

راندمان ترانس علاوه بر تلفات اهمی در آن بستگی به میزان بار و نوع بار نیز دارد مثال زیر این نکته را نمایان می سازد:
مثال:

ترانسی با نسبت ولتاژ 220/600V، فرکانس ۶۰ هرتز و توان اسمی 10kVA موجود است. در آزمایش اتصال کوتاه و مدار باز اطلاعات زیر بدست آمد

آزمایش مدار باز (طرف فشار قوی باز)	آزمایش اتصال کوتاه (طرف فشار ضعیف بسته)
V=220v I=1A W=120w	V=35v I=rated W=200w

راندمان این ترانس را در شرایط زیر بدست آورید.

(ب) نصف بار اسمی و ضریب توان واحد

(د) نصف بار اسمی و ضریب توان ۰/۸

(الف) بار اسمی و ضریب توان واحد

(ج) بار اسمی و ضریب توان ۰/۸ پس فاز

(ه) ۱۲۵٪ بار اسمی و ضریب توان واحد

حل:

(الف)

$$\eta = \frac{10000 \times 1}{10000 \times 1 + 200 + 120} \times 100 = 96.9\%$$

(ب)

$$\eta = \frac{5000 \times 1}{5000 \times 1 + 200 \left(\frac{1}{2}\right)^2 + 120} \times 100 = 96.7\%$$

(ج)

$$\eta = \frac{10000 \times 0.8}{10000 \times 0.8 + 200 + 120} \times 100 = 96.15\%$$

(د)

$$\eta = \frac{5000 \times 0.8}{5000 \times 0.8 + 200 \left(\frac{1}{2}\right)^2 + 120} \times 100 = 95.9\%$$

(ه)

$$\eta = \frac{12500 \times 1}{12500 \times 1 + 200(1.25)^2 + 120} \times 100 = 96.66\%$$

با توجه به نتایج بدست آمده از مثال فوق می توان گفت:

- ۱- هر چه بار به بار اسمی نزدیکتر شود راندمان بهبود می یابد
- ۲- با کاهش ضریب توان راندمان کم می شود
- ۳- در شرایط اضافه باری ترانس راندمان کم می شود.
- ۴- اثر ضریب توان پس فاز یا پیش فاز بر روی راندمان ترانس یکسان است

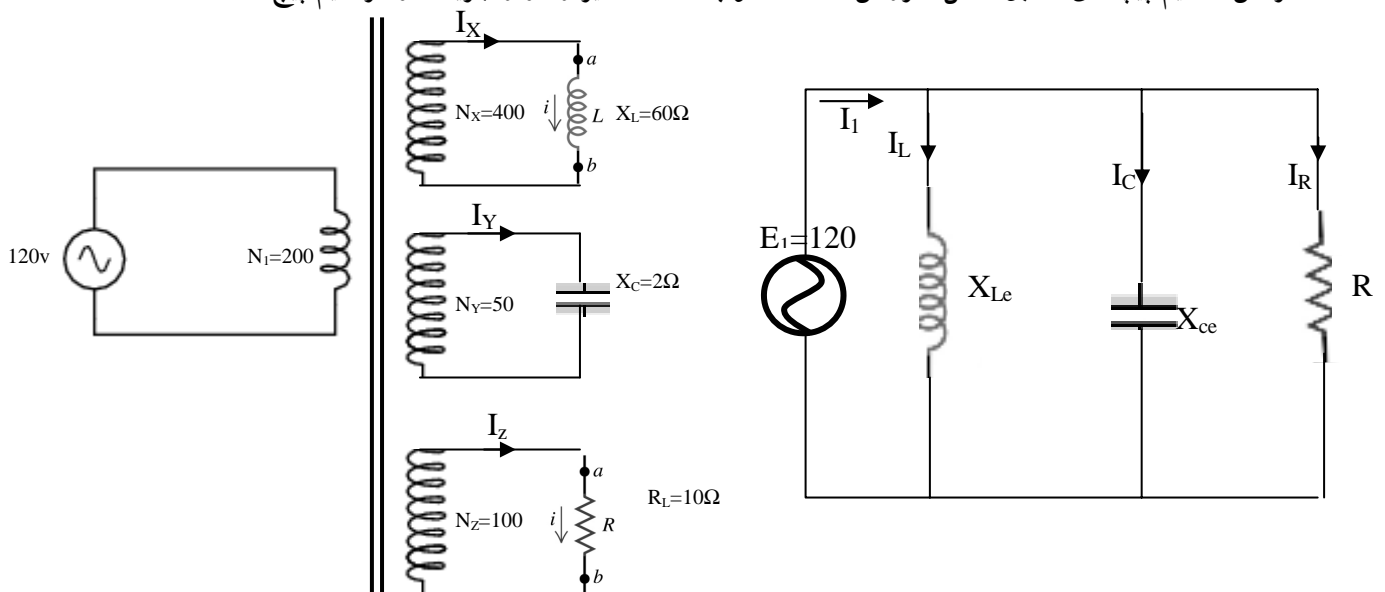
۴-۵-۶ انواع متفرقه ترانس تک فاز

الف) ترانس چند سیم پیچه^۱

در جاهایی استفاده می شود که در یک زمان به چند ولتاژ مختلف در مصرف کننده نیاز باشد. در این حالت به جای اینکه از چند ترانس مختلف استفاده شود از این نوع ترانس استفاده می گردد. برای تحلیل این نوع ترانس باید مقادیر مختلف مثل بارها را همگی به یک طرف (اولیه) برده و مقادیر معادل آنها را در نظر می گیریم. چون به طور هم زمان از بارهای مختلف به طور مستقل استفاده می کنیم مدار معادل در طرف اولیه باری باید به صورت موازی در نظر گرفته شود.

مثال:

ترانس ۴ سیم پیچه ای مطابق شکل مفروض است. مطلوب است مقادیر ولتاژ و جریان در هر سیم پیچ



$$a_x = T_{RX} = \frac{N_1}{N_x} = \frac{200}{400} = 0.5$$

$$a_y = T_{RY} = \frac{N_1}{N_y} = \frac{200}{50} = 4$$

$$a_z = T_{RZ} = \frac{N_1}{N_z} = \frac{200}{100} = 2$$

نسبت دور و ولتاژ در هر سیم پیچ:

¹ Multiple Winding Transformer

انتقال کمیت ها از اولیه به ثانویه:

$$R_{e1} = R_1 + a^2 R_2$$

$$X_{e1} = X_1 + a^2 X_2$$

$$R_e = (2)^2 (10) = 40 \Omega$$

$$X_{ce} = (4)^2 (2) = 32 \Omega$$

$$X_{Le} = (0.5)^2 (60) = 15 \Omega$$

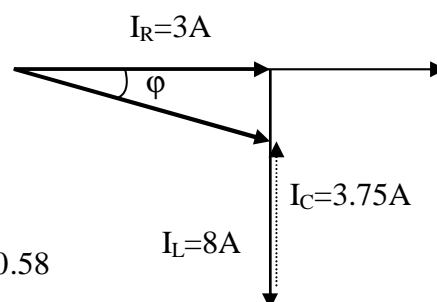
$$I_L = \frac{120}{15} = 8 A$$

$$I_C = \frac{120}{32} = 3.75 A$$

$$I_R = \frac{120}{40} = 3 A$$

$$I_1 = \sqrt{(3)^2 + (8 - 3.75)^2} = 5.2 A$$

$$\varphi = \cos^{-1}\left(\frac{3}{5.2}\right) = 54.8 \Rightarrow PF = \cos(\varphi) = 0.58$$



$$I_X = I_L (0.5) = 4 A$$

$$I_Y = I_C (4) = 15 A$$

$$I_Z = I_R (2) = 6 A$$

$$S = V \times I$$

$$S_X = (240)(4) = 960 \text{ vA}$$

$$S_Y = (30)(15) = 450 \text{ vA}$$

$$S_Z = (120)(6) = 360 \text{ vA}$$

$$S_1 = (120)(5.2) = 624 \text{ vA}$$

ب) اتو ترانس¹

در ترانس هایی که تا کنون بحث شد سیم پیچ های اولیه و ثانویه از طریق کوپلینگ مغناطیسی با هم مرتبط بودند. حال اگر این دو سیم پیچ را به صورت الکتریکی نیز به هم وصل کنیم در اینصورت توانایی ترانس را از نظر انتقال قدرت افزایش خواهیم داد. به اینچنین ترانسی اتو ترانس گفته می شود. در این نوع ترانس ثانویه وجود ندارد یعنی یک سیم پیچ رل هر دو سیم پیچ را بازی می کند. عیب عمده این نوع ترانس ایمنی کمتر آنها است. ولی با این وجود دارای مزایایی مثل راندمان بیشتر، اندازه کوچکتر و قیمت کمتر می باشند. این ترانس ها ممکن است کاهنده و یا افزایش دهنده باشند.

مثال: از یک ترانس 220/440v با توان اسمی 3kVA اتو ترانس با 440/660v بسازید و دیاگرام اتصالات، جریانها و توان اسمی اتو ترانس را مشخص کنید؟

¹ Auto-transformer

محاسبه جریانهای اسمی در ترانس اولیه

$$I_{1rated} = \frac{3000}{220} = 13.6A$$

$$I_{2rated} = \frac{3000}{440} = 6.82$$

$$I_2 = I_{1rated} = 13.6A$$

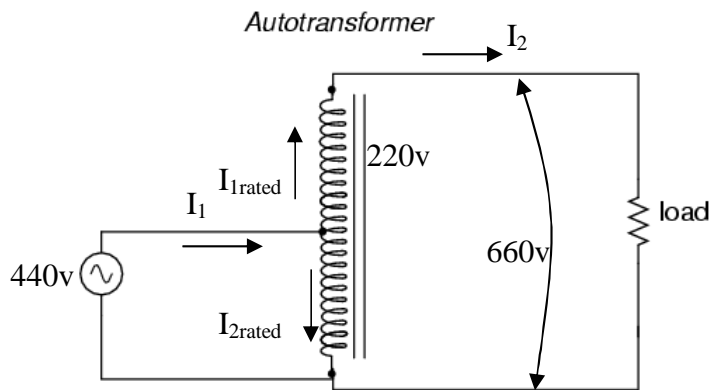
$$S_{out} = V_2 I_2 = 660 \times 13.64 = 9002 \text{ vA}$$

$$S_{out} = S_{in} = V_1 I_1 \Rightarrow I_1 = \frac{9002}{440} = 20.46A$$

$$I_1 - I_{1rated} - I_{2rated} \Rightarrow I_{2rated} = 20.46 - 13.64 = 6.82A$$

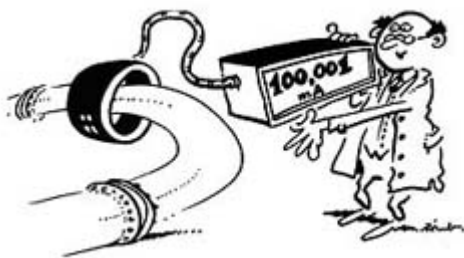
با توجه به شکل جریان در اتوترانس I_2 با جریان اسمی در طرف فشار ضعیف ترانس مینا برابر است:
اگر رانمان ترانس ۱۰۰٪ باشد:

از 9kVA اتوترانس 3kVA آن مربوط به کوپلینگ مغناطیسی و بقیه مربوط به اتصال الکتریکی دو سیم پیچ است.



ج) ترانس جریان^۱

این ترانس در واقع یک وسیله اندازه گیری می باشد. موقعی که بخواهیم جریانهای خیلی زیاد در حد چند هزار آمپر را اندازه گیری نمائیم از این نوع دستگاه استفاده می شود.

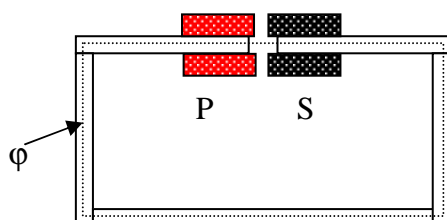


شکل ۶-۷ ترانس جریان

¹ Current transformer

د) ترانس جریان ثابت^۱

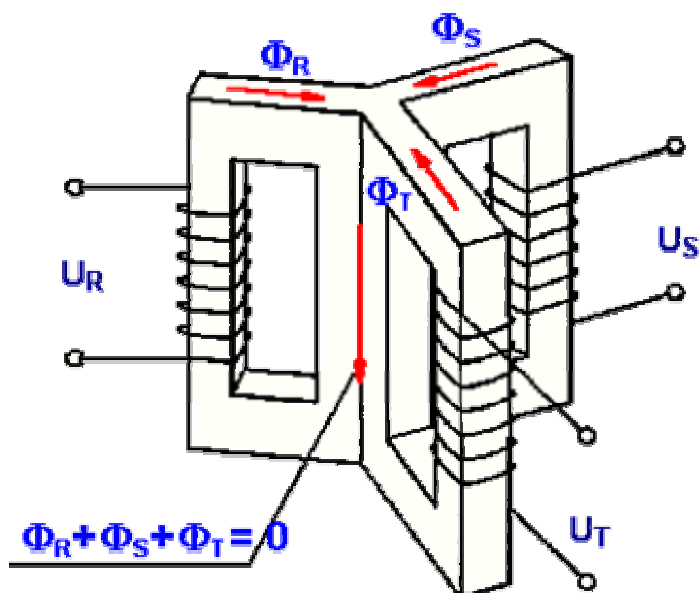
در جاهایی که مصرف کننده های زیادی به صورت سری بسته شده اند (مثل سیستم روشنایی معابر) ولتاژ اعمال شده نسبتاً بالا بوده (حدود ۶۵۰۰ ولت) لذا اگر تعدادی از لامپ ها بسوزد مقاومت کل مدار کم شده جریان میل به زیاد شدن می کند. در چنین مواقعی از این ترانس استفاده می شود. مطابق شکل با افزایش جریان میدان تقویت شده و دو سیم پیچ از هم دور می شوند. تا جریان به صورت متعادل در آید. دور و نزدیک شدن سیم پیچ ها به صورت خودکار انجام می گیرد.



شکل ۸-۶: ترانس جریان ثابت

۶-۶ ترانسفورماتور های سه فاز

در جریانهای سه فاز می توان برای هر فاز از یک ترانس تک فاز مجزا و یا یک ترانس سه فاز استفاده نمود. اگر از سه ترانس مجزا استفاده شود در صورت خرابی یکی از ترانس ها هنوز می توان از دو ترانس دیگر استفاده نمود. با این وجود ترانس های سه فاز چون دارای یک هسته هستند ارزاتر می باشند، ولی اگر خراب شوند کل ترانس باید تعویض یا تعمیر گردد. تجزیه و تحلیل ترانس سه فاز شبیه ترانس تک فاز است با این وجود می توان از انواع اتصالات در این ترانس ها بهره گرفت.



شکل ۹-۶: یک ترانس سه فاز متشکل از هسته و سه جفت سیم پیچ اولیه و ثانویه برای هر خط.

بر اساس آنچه در شکل ۹-۶ نشان داده شده است ملاحظه می شود که جمع شارها در پایه وسط صفر شده لذا نیازی به پایه وسط که به صورت مشترک است نخواهد بود.. ترانس های سه فاز از نظر نوع هسته ممکن است به صورت هسته

^۱ Constant Current Transformer

ای و یا جداری ساخته شوند. سیم پیچ های اولیه و ثانویه را می توان به طرق مختلف به هم متصل نمود. در هر حال نحوه اتصال سیم پیچ ها به هم توان ظاهری انتقال داده شده در ترانس تغییر نمی دهد بلکه نسبت ولتاژ های خط به خط و جریانهای خط و فاز است که می تواند تغییر کند. در ترانس های سه فاز هر سه سیم پیچ اولیه کاملاً شبیه هم هستند و سه سیم پیچ ثانویه مشابه هم. نسبت ولتاژ ها در ترانس های سه فاز عبارتست از نسبت ولتاژهای خط در اولیه به ثانویه بنابراین ممکن است با نسبت دور سیم پیچها a متفاوت باشد که به آن اشاره خواهد شد.

۱-۶-۶ روش های اتصال سیم پیچ ها در ترانس های سه فاز

با توجه به اینکه اتصال فازها به هم در جریان های سه فاز به دو صورت ستاره و مثلث صورت می گیرد، هر کدام از طرف اولیه و ثانویه می تواند به یکی از دو حالت ستاره و مثلث باشد. ترتیب هر کدام از اتصالات در اولیه و ثانویه ویژه گیهای مخصوص به خود را دارد که به آن اشاره خواهد شد. بنابراین ۴ حالت زیر برای اتصال در ترانس های سه فاز به صورت متداول انجام می گیرد:

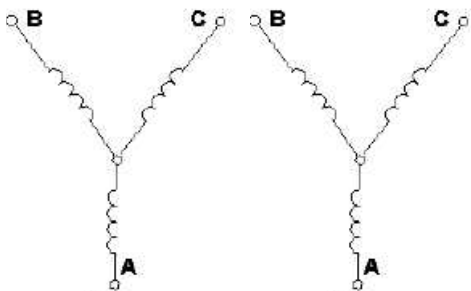
❖ ستاره-ستاره (اتصال در اولیه و ثانویه به صورت ستاره است)

❖ مثلث-مثلث (اتصال در اولیه و ثانویه به صورت مثلث است)

❖ ستاره-مثلث (اتصال در اولیه ستاره و در ثانویه به صورت مثلث است)

❖ مثلث-ستاره (اتصال در اولیه مثلث و در ثانویه به صورت ستاره است)

باید خاطر نشان نمود که ترانس های سه فاز عموماً به بار های سه فاز متصل می گردند لذا روابط ارائه شده برای جریانهای متعادل در ترانس های سه فاز نیز قابل کاربرد می باشند.
در اتصال ستاره-ستاره روابط زیر در طرف اولیه و ثانویه وجود دارد:

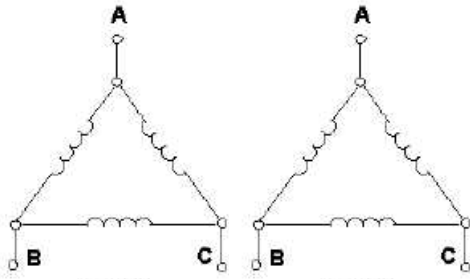


$$V_L = \sqrt{3}V_p$$

$$\frac{V_{L1}}{V_{L2}} = \frac{\sqrt{3}V_{p1}}{\sqrt{3}V_{p2}} = a$$

یعنی در اتصال ستاره-ستاره نسبت ولتاژها با نسبت دور سیم پیچها در اولیه و ثانویه یکسان است. با این وجود چون در اولیه و ثانویه جریان عبور کرده از سیم پیچ هر فاز برابر جریان خط است ولی ولتاژ اثر کرده بر هر سیم پیچ $(V_p = \frac{V_L}{\sqrt{3}})$ است بنابراین این نوع اتصال در ترانس هایی در جاهایی که ولت آمپر کم است و ولتاژ بالا (فشار قوی) استفاده می شود.

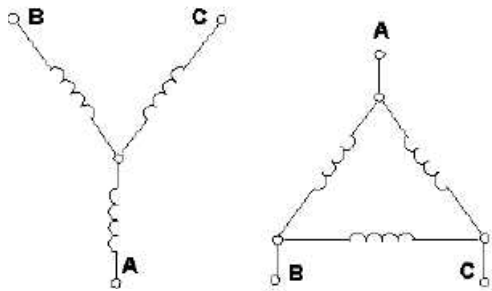
در اتصال مثلث-مثلث روابط زیر در طرف اولیه و ثانویه وجود دارد:



$$V_L = V_p$$

$$\frac{V_{L1}}{V_{L2}} = \frac{V_{p1}}{V_{p2}} = a$$

در این نوع اتصال نیز نسب ولتاژهای خط برابر نسبت دور سیم پیچ ها است. ولی در این حالت چون جریانی که از سیم پیچ ها می گذرد از جریان خط $\sqrt{3}$ برابر کمتر ولی ولتاژ اعمال شده بر سیم پیچ ها برابر ولتاژ خط است در جاهایی بکار می رود که ولت آمپر بالا و ولتاژ کم باشد استفاده می گردد.



در اتصال ستاره-مثلث روابط زیر در طرف اولیه و ثانویه وجود دارد:

در اولیه:

$$V_{L1} = \sqrt{3}V_{p1}$$

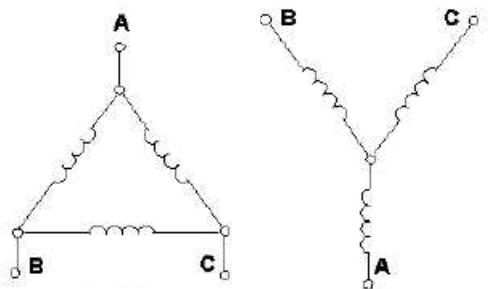
در ثانویه:

$$V_{L2} = V_{p2}$$

$$\frac{V_{L1}}{V_{L2}} = \frac{\sqrt{3}V_{p1}}{V_{p2}} = \sqrt{3}a$$

در اینحالت بهتر است برای ترانس های کاهنده استفاده شود چون با یک نسبت دور معین ولتاژ در ثانویه بیشتر کاهش می یابد.

در اتصال مثلث-ستاره روابط زیر در طرف اولیه و ثانویه وجود دارد:



در اولیه:

$$V_{L1} = V_{p1}$$

در ثانویه:

$$V_{L2} = \sqrt{3}V_{p2}$$

$$\frac{V_{L1}}{V_{L2}} = \frac{V_{p1}}{\sqrt{3}V_{p2}} = \frac{a}{\sqrt{3}}$$

در اینحالت بهتر است برای ترانس های افزایشده استفاده شود چون با یک نسبت دور معین ولتاژ در ثانویه بیشتر افزایش می یابد.

مثال:

ترانسی با مشخصات زیر مفروض است :

$$S=25\text{kVA}$$

$$V_{L1}/V_{L2}=1200/208\text{v}$$

مطلوبست کیلو ولت آمپر در هر فاز (سیم پیچ) و جریان و ولتاژ در آنها برای اتصالات مختلف چهار گانه:

توان ظاهری هر فاز:

$$s = \frac{25}{3} = 8.33\text{kVA}$$

اتصال ستاره-ستاره:

$$I_{L1} = I_{p1} = \frac{25000}{\sqrt{3}(1200)} = 12.03A$$

$$V_{p1} = \frac{1200}{\sqrt{3}} = 693v$$

$$V_{p2} = \frac{208}{\sqrt{3}} = 120v \quad \Rightarrow a = \frac{V_{p1}}{V_{p2}} = \frac{693}{120} = 5.77$$

$$I_{L2} = I_{p2} = \frac{25000}{\sqrt{3}(208)} = 69.4A$$

اتصال مثلث-مثلث:

$$V_{p1} = V_{L1} = 1200v$$

$$V_{p2} = V_{L2} = 208v$$

$$I_{p1} = \frac{I_{L1}}{\sqrt{3}} = \frac{12.03}{\sqrt{3}} = 6.95A$$

$$I_{p2} = \frac{I_{L2}}{\sqrt{3}} = \frac{69.4}{\sqrt{3}} = 40A$$

$$a = \frac{V_{p1}}{V_{p2}} = \frac{1200}{208} = 5.77$$

در اتصال ستاره-مثلث:

$$V_{p1} = \frac{1200}{\sqrt{3}} = 693v$$

$$V_{p2} = V_{L2} = 208v$$

$$I_{p1} = I_{L1} = \frac{25000}{\sqrt{3}(1200)} = 12.03A$$

$$I_{p2} = \frac{I_{L2}}{\sqrt{3}} = \frac{69.4}{\sqrt{3}} = 40A$$

$$a = \frac{V_{p1}}{V_{p2}} = \frac{693}{208} = 3.33$$

در اتصال مثلث-ستاره:

$$V_{p1} = V_{L1} = 1200v$$

$$V_{p2} = \frac{V_{L2}}{\sqrt{3}} = \frac{208}{\sqrt{3}} = 120v$$

$$I_{p1} = I_{L1} = \frac{25000}{\sqrt{3}(1200)} = 12.03A$$

$$I_{p2} = I_{L2} = \frac{25000}{\sqrt{3}(208)} = 69.4A$$

$$a = \frac{V_{p1}}{V_{p2}} = \frac{1200}{120} = 10$$

۲-۶-۶ اتصال مثلث چهار سیمه

در بعضی از کشورها در منازل دو خط از سه خط سه فاز و یک خط نول وارد منازل می گردد. بنابراین با توجه به شکل زیر دو ولتاژ مختلف در هر منزلی قابل دسترسی می باشد

