همچنین در ترانسفورماتورهایی که ولتاژ سمت اولیه و ثانویه آن بسیار زیاد باشد، می‌توان از این اتصال استفاده کرد. با توجه به اینکه ولتاژ هرسیم پیچ $\sqrt{۳}$ برابر کمتر از ولتاژ خط است، بنابراین سبب کاهش مقدار عایق مورد استفاده شده در هر بوبین می‌شود.

در ولتاژهای کمتر از یک کیلوولت تاثیر قابل ملاحظه‌ای بین مقدار عایق مصرفی بازای ولتاژ خط و ولتاژ فاز وجود ندارد. اما در ولتاژهای بالاتر این اختلاف قابل ملاحظه است. بعنوان مثال اگر ولتاژ خط ۱۳۲ Kv در یک سمت قرار گیرد با استفاده از این اتصال ولتاژی که به هر سیم پیچ می رسد در حدود ۷۲ Kv خواهد شد که قطعا هزینه عایق بندی برای این ولتاژ بسیار کمتر از ولتاژ ۱۳۲Kv خواهد بود.

در صورتیکه ثانویه این نوع ترانسفورماتور از طریق یکفاز زیر بار برود باعث افزایش جریان یکی از سیم پیچها در ثانویه و شار مغناطیسی عبوری از همان بازوی هسته می‌شود. ولی چون مسیر برگشت شار همان فاز از دو بازوی دیگر هسته ترانسفورماتور نیز می‌باشد این عامل باعث افزایش چگالی شار در بازوهای دیگر هسته و بالا رفتن جریان بی باری و زیاد شدن تلفات در ترانسفورماتور می‌گردد. همچنین این مسئله سبب می‌شود که ولتاژ در یک فاز افزایش و در فازهای دیگر کاهش یابد. به همین دلیل زیر بار رفتن ترانسفورماتورهای با اتصال Yy (ستاره – ستاره) بصورت تکفاز یا نامتعادل نا مطلوب است و استاندارد میزان نا متعادلی را تا ۱۰ درصد توان نامی مجاز می‌داند. در شبکه‌های توزیع از این اتصال بندرت استفاده می‌شود.

خود را بیازمایید

۱) معمولا از ترانسفورماتور ستاره – ستاره در چه جایی استفاده می‌شود؟

۲) آیا می‌توان ترانسفورماتور ستاره- ستاره را از طریق یک فاز زیر بار برد؟ چرا؟

۳) ثانویه یک ترانسفورماتور با ولتاژ خط ۴۰۰ ولت دارای اتصال ستاره – ستاره می‌باشد و بار متعادلی را با جریان ۲۰آمپر تغذیه می‌کند. بدست آورید:

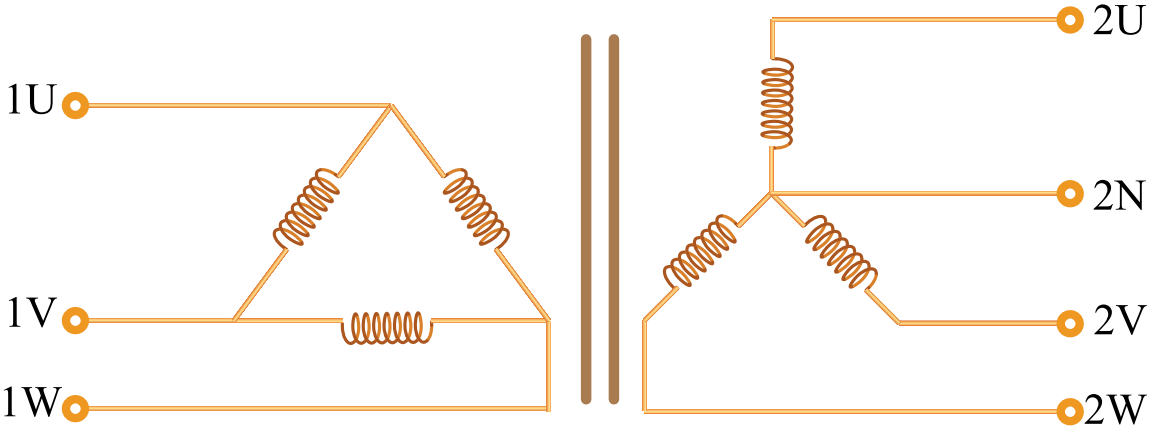
الف)جریان عبوری از هر بوبین ثانویه

ب) ولتاژ دو سر هر بوبین در ثانویه

۷-۲-اتصال مثلث- ستاره (D-y)

این روش اتصال در ترانسفورماتورهای کاهنده و در شبکه‌های توزیع بسیار کاربرد دارد. در کشور ما اغلب مصرف کننده‌های توزیع از طریق ترانسفورماتور با اتصال Dyn ۲۰/۰/۴ KV تغذیه می‌شوند.

مصرف کننده‌های تک فاز به سیم نول احتیاج دارند



شکل ۴۵- ترانسفورماتور با اتصال مثلث- ستاره

و در شبکه ی توزیع بسیار فراوان هستند. از خصوصیات مهم این اتصال دسترسی به مرکز اتصال ستاره یعنی نقطه خنثی در سمت مصرف کننده است. که امکان اتصال اینگونه مصرف کنندهها نیز به ان وجود دارد. از دیگر محاسن این نوع اتصال ، توزیع تقریبا یکنواخت قدرت در سمت اولیه می‌باشد. یعنی در صورتی که یکی از فازهای ثانویه به تنهایی زیر بار برود مشکلات مربوط به اتصال ستاره - ستاره را ندارد.

۷-۳-اتصال ستاره- زیگزاگ(Y-z)

این نوع اتصال در ترانسفورماتورهای توزیع کوچک با قدرتهای کم یا مصرف کنندهای سه فاز همواره نامتعادل کاربرد دارد.

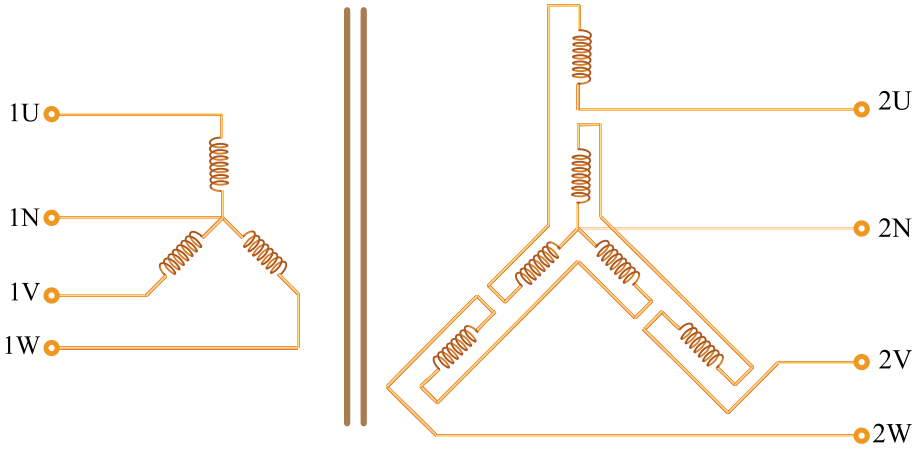
همانطور که در ارتباط با اتصال زیگزاگ گفته شد نیمی از سیم پیچهای آن بصورت ستاره به هم وصل می‌شوند و ادامه هر فاز (مثلا فاز ۱) با نیمه بوبین فاز ۲ بطور معکوس سری می‌شود این نوع اتصال سبب می‌شود که ولتاژ سیم پیچهای حالت زیگزاگ طبق رابطه (۱ـ۲) ۸۶٪ حالت ستاره می‌باشند.

$$V_{Coil-Zigzag} = \frac{\sqrt{3}}{2} V_{Coil-Star} \qquad (۲ـ۱)$$

با توجه به رابطه (۱ـ۲) مشاهده می‌شود، اگر ولتاژ فازی حالت اتصال زیگزاگ متناظر با اتصال ستاره همان ترانسفورماتور شود باید تعداد حلقه های هر فاز را به نسبت $\frac{2}{\sqrt{3}}$ افزایش داد و این در حالی است که جریان یکسانی در هر دو حالت از ترانسفورماتور کشیده شود. با توجه به افزایش تعداد دور (حدودا ۱۵٪[1]) هر بوبین وزن مس مصرفی این نوع اتصال ترانسفورماتور نسبت به اتصال Yy با همان شرایط افزایش می یابد. البته از مزایای این اتصال جاری شدن جریان یک فاز در بوبین های دو ستون ترانسفورماتور سمت ثانویه می‌باشد که سبب القا ولتاژ نیز در آن می‌شود. این عمل باعث متعادل شدن جریان در سمت فشار قوی خواهد شد. این همان خاصیتی است که از اتصال مثلث نیز سر می زند.

دسترسی به نقطه خنثی نیز از دیگر مزایای این ترانسفورماتور محسوب می‌شود یعنی غالبا این اتصال بصورت Yzn ارائه می‌گردد. این نیز از خواص اتصال ستاره می‌باشد.

بنابراین می‌توان نتیجه گرفت مزیت این اتصال ترکیب محاسن اتصال ستاره و مثلث است و عیب آن هزینه بیشتر بازای دریافت قدرت یکسان نسبت به ترانسفورماتور Yyn می‌باشد.



شکل ۴۶- ترانسفورماتور با اتصال ستاره- زیگزاگ

۱) $\frac{2}{\sqrt{3}} = 1/15$

۷-۴-اتصال مثلث - زیگزاگ (D-z)

این نوع ترانسفورماتور نیز کاربردی مشابه اتصال ستاره - زیگزاگ داشته و کلیه خصوصیات آن را دارا می‌باشد با این تفاوت که سمت اولیه آن با اتصال مثلث به هم وصل شده است.

اگر ولتاژ خروجی شرایطی متناظر با اتصال ستاره داشته باشد تعداد حلقه های هر بوبین سمت ثانویه به نسبت $\frac{۳}{۲}$ یعنی حدود ۵۰٪ باید افزایش یابد. به عبارتی استفاده از این ترانسفورماتور در مقایسه با ترانسفورماتور Dy (مثلث - ستاره) و حتی ستاره- زیگزاگ بسیار غیراقتصادی می‌باشد.

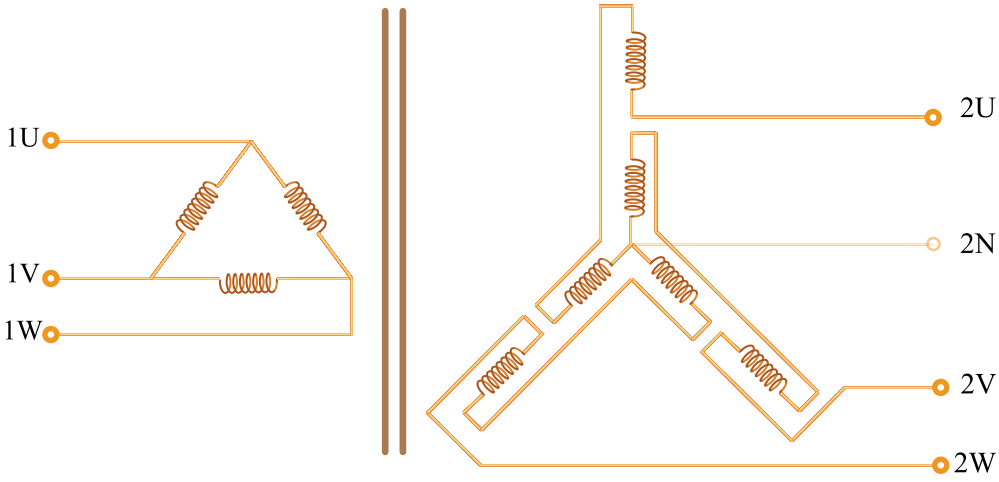
اما مزیت آن نسبت به دیگر اتصالات رفتار بسیار خوب این نوع ترانسفورماتور در مقابله با بارهای نامتعادل آنهم بدون محدودیت توان می‌باشد. به همین دلیل در شرایط بسیار خاص ممکن است توجیه اقتصادی داشته باشد. همچنین مشابه دیگر ترانسفورماتورهای توزیع مرکز اتصال و نقطه خنثی این ترانسفورماتور نیز به بیرون از ترانسفورماتور منتقل می‌شود. این ترانسفورماتور را با علامت Dzn نمایش می‌دهند.

خود را بیازمایید

۱) در کشور ما اغلب ترانسفورماتورهای توزیع دارای اتصال.....می‌باشند.

۲) مزایا و معایب اتصال زیگزاگ را نسبت به اتصال ستاره شرح دهید.

۳) مزیت مهم اتصال Dzn نسبت به بقیه اتصالات چیست؟



شکل ۴۷- ترانسفورماتور با اتصال مثلث- زیگزاگ

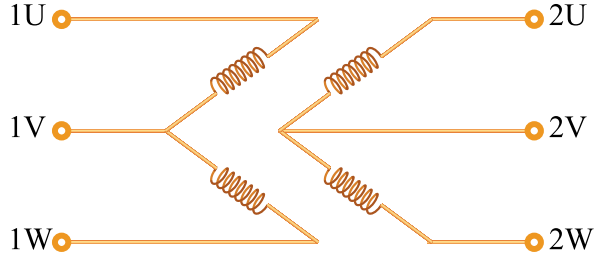
۷-۵- اتصال مثلث باز (V-V)

گاهی اوقات با اتصال دو ترانسفورماتور تکفاز مشابه نیز می‌توان قدرت الکتریکی سه فاز را از یک طرف به سمت دیگر منتقل نمود. یکی از این اتصالات را که فقط در سیستم سه فاز سه سیمه با بار کاملا متقارن کاربرد دارد، اتصال مثلث باز یا V-V می‌گویند. زیرا مانند اتصال مثلثی است که از یک طرف باز شده است و البته چون شبیه حرف **V** لاتین نیز هست به این نام شناخته می‌شود.

اگر در سیستم سه فاز از سه ترانسفورماتور تکفاز استفاده شود و یکی از این ترانسفورماتورها دچار اشکال شود، می‌توان بجای آنکه کل شبکه را بی برق نمود،

ترانسفورماتور معیوب را از مدار خارج کرده و اولیه وثانویه دو ترانسفورماتور دیگر را بصورت اتصال V به هم متصل نمود. البته از این اتصال فقط در شبکه سه فاز سه سیمه با بار متعادل می‌توان استفاده کرد.

مطابق شکل(۴۸) سیستم سه فاز سه سیمه سیم نول ندارد. در نتیجه اگر این ترانسفورماتور به یک بار نامتقارن متصل شود، بصورت نامتعادل زیر بار می‌رود. زیرا مسیر برگشت جریان از سیم نول وجود ندارد.



شکل ۴۸- ترانسفورماتور با اتصال V

مجموع توان دو ترانسفورماتور استفاده شده بصورت تکفاز همواره از حالتی که بعنوان ترانسفورماتور سه فاز با اتصال V استفاده می‌شود، بیشتر است. بنابراین این ترانسفورماتور از نظر صنعتی اقتصادی نمی‌باشد و در موارد بسیار خاص و محدود از آن استفاده می‌شود.

مثال توان خروجی دو ترانسفورماتور تکفاز با ولتاژ نامی ۴۰۰V و جریان نامی ۱۰A در صورتی که یکبار با اتصال V به عنوان ترانسفورماتور سه فاز مورد استفاده قرار گیرند و بار دیگر بصورت تکفاز استفاده شوند را با هم مقایسه کنید.

در صورت استفاده از ترانسفورماتور بصورت تکفاز

$$S = UI = ۴۰۰ \times ۱۰ = ۴۰۰۰VA$$

چون تعداد ترانسفورماتورها در صورت استفاده بصورت تکفاز ،دوتا می‌باشند پس مجموعا ۸۰۰۰VA توان خروجی خواهد داشت.

در صورت استفاده از ترانسفورماتور بصورت سه فازه با اتصال V داریم:

$$S = \sqrt{۳}UI = \sqrt{۳} \times ۴۰۰ \times ۱۰ = ۶۹۳۰VA$$

نتیجه اینکه با توجه به بزرگتر بودن توان در حالت تکفاز نسبت به سه فاز(۸۰۰۰>۶۹۳۰)،استفاده از دو ترانسفورماتور بطور مجزا در شبکه تکفاز اقتصادی تر از شبکه سه فاز است.

تحقیق کنید

چرا در ترانسفورماتورهای اندازه گیری ولتاژ " PT " از اتصال مثلث باز استفاده می‌شود؟

خود را بیازمایید

۱) از اتصال مثلث باز در چه شبکه وچه نوع باری می‌توان استفاده کرد؟

۲) یک ترانسفورماتور سه فاز با اتصال مثلث باز، باری را با جریان ۲۵ آمپر تحت ولتاژ نامی ۴۰۰ ولت تغذیه می‌کند. اگر همین ترانسفورماتور درشبکه تکفاز همان بار را تغذیه کند ، مطلوب است مقایسه توان های دریافتی بار در هر دو حالت.

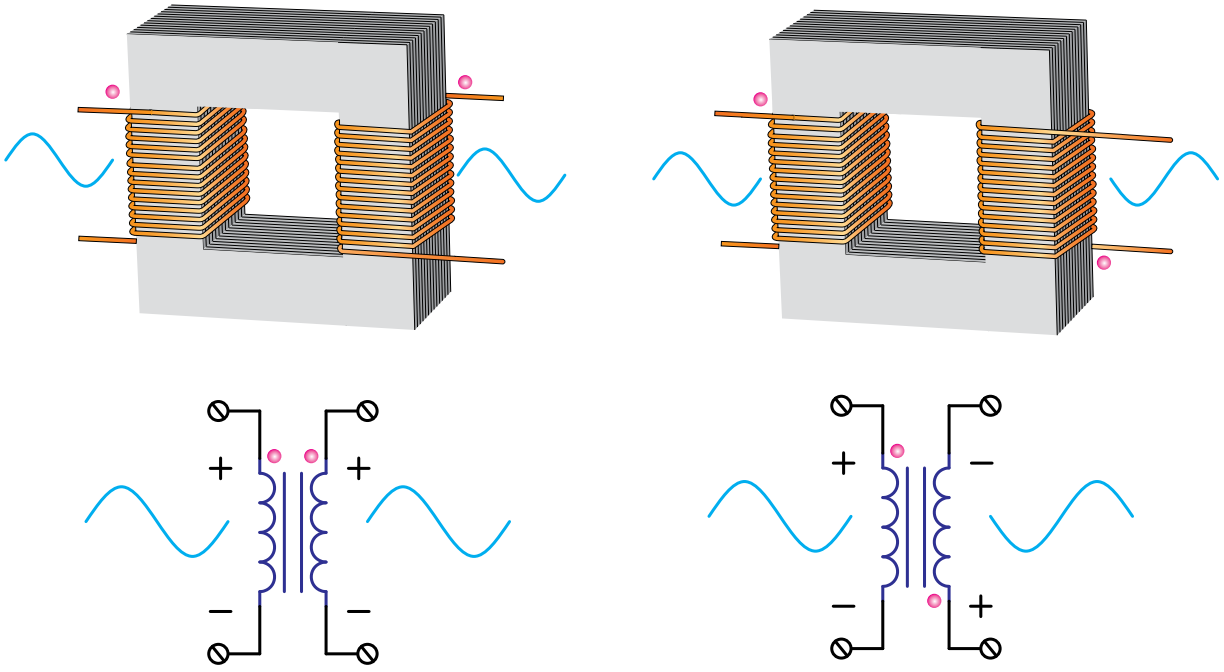
۲

۸-گروه ترانسفورماتور

ترانسفورماتورهای سه فاز با توجه به کاربرد و شرایط استفاده می‌توانند در سمت اولیه و ثانویه، اتصالات متفاوتی داشته باشند.

گروه برداری نشانه اختلاف فاز بین ولتاژ یکی از فازهای سمت اولیه با ولتاژ متناظر همان فاز در ثانویه می‌باشد.

یکی از نکات مهم در تحلیل ریاضی مسائل ترانسفورماتور مشخص کردن جهت پلاریته ولتاژ خروجی در ترانسفورماتورها است. همانطور که در شکل (۴۹) نشان داده شده است جهت پیچش سیم پیچ، تعیین کننده پلاریته ولتاژ خروجی می‌باشد به همین خاطر نقاط هم پلاریته را در نقشه ها و مدارهای الکتریکی با علامت نقطه نشان می‌دهند.



شکل ۴۹- نمایش جهت پلاریته در ترانسفورماتور تکفاز

با توجه به شکل(۴۹) ، در ترانسفورماتورهای تکفاز ، ولتاژ سیم پیچ ثانویه نسبت به نقطه مبنا در سمت اولیه می‌تواند 0° یا 180° باشد. دلیل این مسئله آن است که برای انتخاب نقطه مبنا دو گزینه (استفاده از سر یا ته هر بوبین) بیشتر وجود ندارد. ولی در ترانسفورماتورهای سه فاز این موضوع پیچیده تر است. زیرا در ترانسفورماتورهای سه فاز، در هر طرف، سه سیم پیچ وجود دارد و همچنین تنوع اتصال نیز بیشتر است به علاوه ولتاژهای ورودی نیز با یکدیگر 120° اختلاف فاز دارند. به همین دلیل اختلاف فاز بین دو ولتاژ متناظر هم در سمت اولیه وثانویه نیز متنوع بوده و به نوع اتصال سیم پیچ ترانسفورماتور در اولیه و ثانویه بستگی خواهد داشت. در واقع گروه ترانسفورماتور عددی است قراردادی که بازای هر 30° اختلاف فاز بین ولتاژ اولیه و ثانویه اطلاق می‌شود.

مثلا اگر گروه یک ترانسفورماتور ۵ باشد. یعنی ولتاژ فاز L_1 در سمت ثانویه $30^\circ \times 5$ به عبارتی 150° نسبت به فاز مشابه در سمت اولیه پس فاز یا عقبتر است.

بطور کلی فقط چهار گروه اصلی وجود دارندکه عبارتند از گروه ۰و۵ و۶ و۱۱

هر چند با تغییر سربندی سیم پیچها در دو سمت می‌توان به گروههای دیگری نیز دست یافت ولی از نقطه نظر صنعتی اهمیتی ندارد.

دو گروه فرعی مهم دیگر نیز عبارتند از ۱و۷ می‌باشد.

گروه برداری یک شاخص مهم برای تراسفورماتورهای سه فاز محسوب می‌شود که همیشه بعد از علامت اختصاری اتصالات ترانسفورماتور آورده می‌شود.

مثلا اگر می‌گویند ترانسفورماتور مفروض Dyn۱۱ می‌باشد. یعنی اتصال اولیه آن مثلث سیم پیچ ثانویه ترانسفورماتور ستاره و نقطه خنثی (مرکز اتصال ستاره) با سیم به بیرون ترانسفورماتور کشیده شده و ترانسفورماتور دارای گروه ۱۱ است.

۹- موازی کردن ترانسفورماتورها

در بعضی موارد ظرفیت توان در یک پست توزیع برق ممکن است از ۲۵۰۰KVA تجاوز کند بطور مثال ممکن است مصرف داخلی یک واحد صنعتی ۸۰۰۰KVA شود بدین ترتیب استفاده از یک ترانسفورماتور با این ظرفیت معقول نیست. زیرا هزینه ساخت ترانسفورماتور را بالا می برد و خارج از اندازه های رایج می‌باشد. در عمل استفاده از چهار ترانسفورماتور ۲۰۰۰KVA بصورت موازی ساده تر بوده و ضریب اطمینان شبکه را بالا می برد.

در ذیل به چند مورد از مزایای اصلی استفاده از ترانسفورماتورهای موازی در شبکه برق اشاره می‌شود:

- بالا بردن ضریب اطمینان مثلا زمانی که یک ترانسفورماتور با ایجاد خطا از مدار خارج شود برق کل شبکه قطع نمی‌گردد.
- امکان برنامه ریزی مناسب جهت انجام سرویس تعمیر و نگهداری تجهیزات برقی (مثلا ترانسفورماتور ،تابلوها،کلیدها،...) بدون آنکه بی برقی کامل در شبکه بوجود آید.

۹-۱-شرایط موازی کردن

برای موازی کردن ترانسفورماتورها دو شرط اصلی وجود دارد که در صورت عدم رعایت آن قطعا در شبکه برق اختلال ایجاد می‌شود. این شرایط عبارتند از :

الف) هیچگاه نباید در ترانسفورماتورهای موازی شده چه در سمت اولیه و چه در سمت ثانویه گردش اجباری جریان ایجاد بشود. برای رسیدن به این مهم دو نکته باید رعایت شود:

- ولتاژ دو سمت ترانسفورماتور با هم برابر باشند(که نتیجه می گیریم در ترانسفورماتورهای موازی شده با یکدیگر نسبت تبدیل باید برابر باشد)
- اختلاف فاز ولتاژ بین فازهای متناظر سمت ثانویه که به هم متصل می‌شوند وجود نداشته باشد یعنی گروه برداری ترانسفورماتورهای موازی نیز باید با هم برابر باشند.

ب) حتی المکان همه ترانسفورماتورها به یک نسبت زیر بار رفته و جریان به یک نسبت بین آنها تقسیم شود برای نیل به این هدف نیز دو نکته باید رعایت شود:

- نسبت توان ترانسفورماتورهای موازی شده از سه برابر تجاوز نکند(بهترین حالت برابری توان همه ترانسفورماتورهای موازی شده است)
- ولتاژ اتصال کوتاه ترانسفورماتورها باید با هم برابر باشند. البته ولتاژ اتصال کوتاه ترانسفورماتور با توان کمتر می‌تواند تا ۱۰٪ از ولتاژ اتصال کوتاه ترانسفورماتور با توان بیشتر بزرگتر باشد.

تحقیق کنید

چرا هیچگاه برای موازی کردن چند ترانسفورماتور، ترانسفورماتور با قدرت کمتر نباید ولتاژ اتصال کوتاه کمتر نیز داشته باشد؟

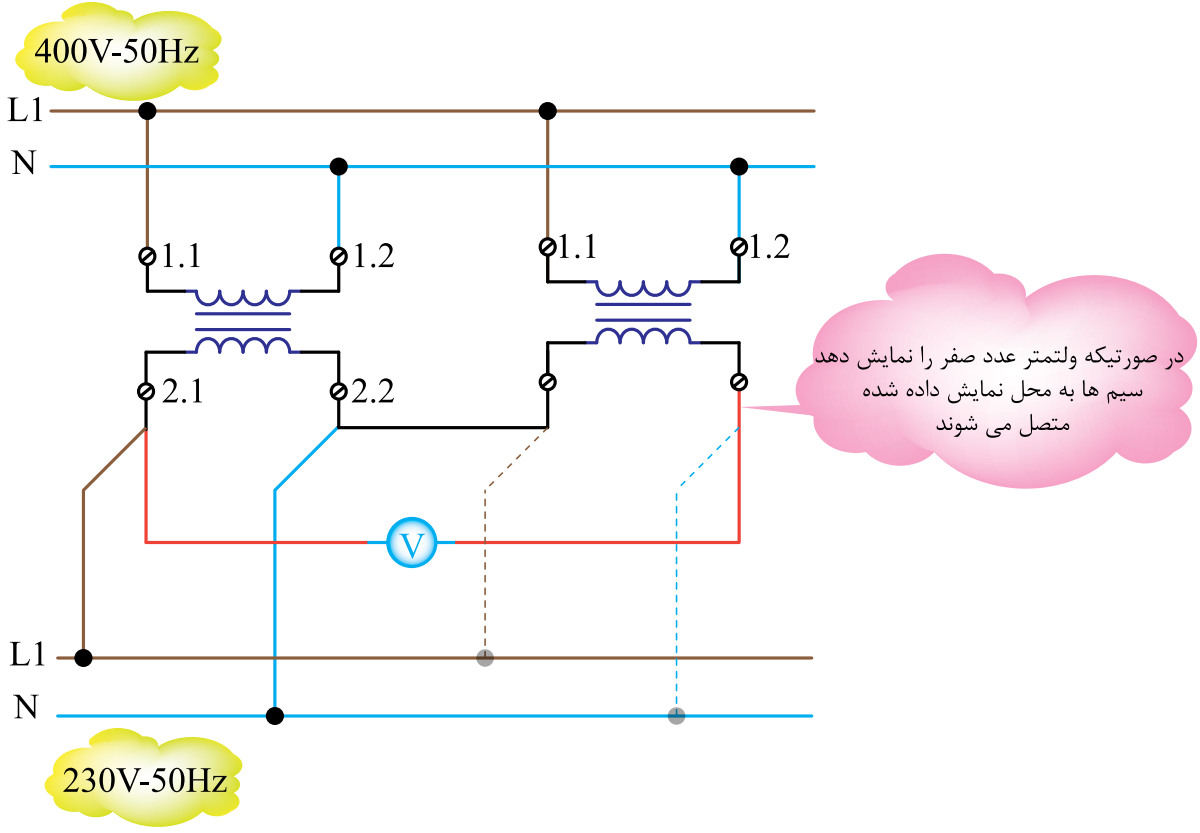
۹-۲-چگونگی موازی کردن دو ترانسفورماتور

همانگونه که ملاحظه شد برای موازی بستن ترانسفورماتورها داشتن مقادیری مانند ولتاژ سمت اولیه وثانویه گروه ترانسفورماتور، ولتاژ اتصال کوتاه و توان نامی آنها لازم است به همین دلیل همه این موارد در پلاک مشخصه ترانسفورماتور باید توسط سازنده درج شود.

۹-۲-۱- موازی کردن دو ترانسفورماتور تکفاز

برای موازی کردن دو ترانسفورماتور تکفاز مطابق شکل (۵۰) ابتدا سیم پیچ اولیه هر دو ترانسفورماتور را به شبکه بالادست متصل نموده سپس یکی از سیمهای سیم پیچ ثانویه هر دو ترانسفورماتور به شبکه پایین دست وصل می‌شود. آنگاه دو سر آزاد بر جای مانده دو سیم پیچ ثانویه از طریق ولتمتر به هم وصل می‌شوند.

در صورتی که ولتمتر ولتاژ صفر را نشان داد می‌توانند آن دو سر را نیز به هم وصل کنند. اما اگر ولتاژ نمایش داده شده حدودا دو برابر ولتاژ نامی ترانسفورماتور بود، باید جای دو اتصال جا به جا و سپس با هم موازی شوند.

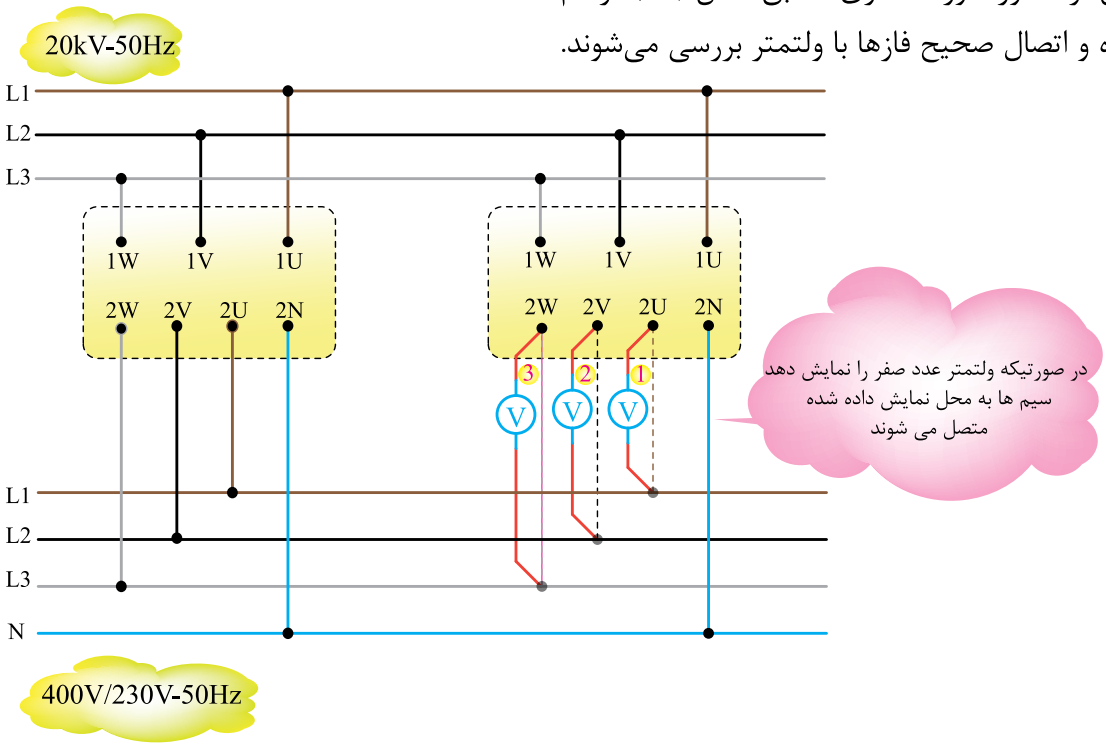


شکل ۵۰- موازی کردن ترانسفورماتورهای تکفاز

۹-۲-۲-موازی بستن دو ترانسفورماتور سه فاز

پس از بررسی و اطمینان از شرایط اولیه جهت موازی بستن ترانسفورماتورها مداری مطابق شکل (۵۱) فراهم نموده و اتصال صحیح فازها با ولتمتر بررسی می‌شوند.

در صورتیکه اتصال فازها درست باشد ولتمتر عدد صفر را نشـــان می‌دهد . فقط در چنین حالتی می‌توان همه اتصالات ثانویه را به شبکه پایین دست متصل نمود.



شکل ۵۱- موازی کردن ترانسفورماتورهای سه فاز

در ترانســـفورماتورهای ســـه فاز امکان موازی بستن ترانســـفورماتورها بدون توجه به گروه اتصال آنها وجود نـــدارد. در عمـــل و با توجـــه باینکه ســـربندی و اتصال ترانسفورماتورها در داخل ترانسفورماتور صورت می‌گیرد امکان تعویض گروه ترانســـفورماتور وجود ندارد. البته با توجه به تشابه برداری و تنها با تعویض اتصالات مطابق جـــدول (۲) با تغییر جای فازها ،گروه ۵ و ۱۱ را می‌توان به هم تبدیل کرد.

عدد مشخصه موجود	عدد مشخصه مورد نیاز	نحوه اتصال فازها به سیم پیچ ها					
		قسمت فشار قوی			قسمت فشار ضعیف		
		L۱	L۲	L۳	L۱	L۲	L۳
۵	۵	۱U	۱V	۱W	۲U	۲V	۲W
۱۱		۱U	۱W	۱V	۲W	۲V	۲U
۱۱	۱۱	۱U	۱V	۱W	۲U	۲V	۲W
۵		۱U	۱W	۱V	۲W	۲V	۲U

جدول۲- تبدیل گروههای ۵ و ۱۱ با تعویض محل اتصال از بیرون

۲

در عمـــل برای پیدا کردن فازهای مشـــابه امروزه از دستگاه توالی سنج استفاده می‌شود ، این دستگاه بدون نیاز به بســـتن مدار شـــکل(۵۱) می‌تواند نـــوع فازهای خروجی را قبل از اتصال به هم تشخیص دهد.

شکل ۵۲- نمای ظاهری دستگاه توالی سنج

خود را بیازمایید

۱) گروه اتصال را تعریف کنید.

۲) گروه اتصال Dyn۵ را تشریح کنید.

۳) گروه های اصلی اتصال ترانسفورماتور سه فاز را نام ببرید.

۴) مزایای اســـتفاده از یک ترانســـفورماتور بجای چند ترانسفورماتور موازی را بنویسید.

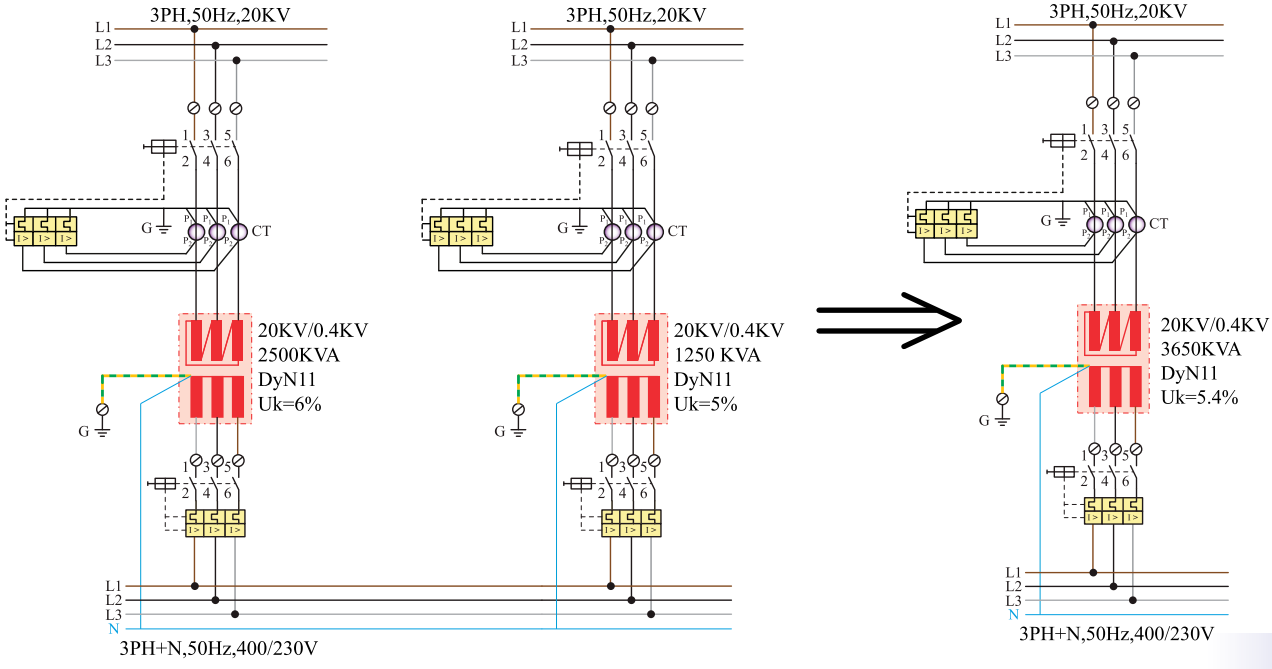
۵) شرایط اصلی و لازم برای موازی بستن ترانسفورماتورها را بطور کامل شرح دهید؟

۶) نحوه اتصال دو ترانسفورماتور تکفاز را بصورت موازی در شبکه توضیح دهید.

۷) کدام دو گروه از ترانسفورماتورها را می‌توان با تغییر اتصال به صورت موازی به شبکه اتصال داد؟ چگونه؟

۹-۳-محاسبه قدرت ظاهری ترانسفورماتور پس از اتصال موازی

وقتـــی چند ترانســـفورماتور با هم موازی می‌شـــوند مشابه یک ترانسفورماتور بزرگتر عمل می‌کنند.



شکل ۵۳- ترانسفورماتورهای موازی وترانسفورماتورمعادل آن

اگر چند ترانسفورماتور با قدرت ظاهری $S_{N_1}, S_{N_2}, S_{N_3}, \ldots$ که ولتاژ اتصال کوتاه آنها بترتیب $U_{K_1}, U_{K_2}, U_{K_3}, \ldots$ باشد، و با حفظ شرایط لازم با هم موازی شوند، چنانچه کل بار الکتریکی تحمیل شده از سوی مصرف کننده $\sum S$ باشد همواره رابطه (۲ـ۲) در ترانسفورماتورهای موازی صدق می‌کند.

$$\frac{S_i}{\sum S} = \frac{U_{k_{eq}}}{U_{ki}} \times \frac{S_{Ni}}{\sum S_N} \qquad (۲ـ۲)$$

$$S_i = \frac{U_{k_{eq}}}{U_{ki}} \times \frac{S_{Ni}}{\sum S_N} \times \sum S \qquad (۲ـ۳)$$

در رابطه (۲ـ۳)

S_i توان ظاهری یکی از ترانسفورماتورهای مفروض موازی شده ،مثلا $S_1, S_2, S_3, \ldots$ است.

$U_{k_{eq}}$ درصد ولتاژ اتصال کوتاه نسبی معادل کل ترانسفورماتورهاست که از رابطه (۲ـ۵) باید محاسبه شود.

S_{N_i} توان نامی ظاهری ترانسفورماتور مفروض مثلا $S_{N_1}, S_{N_2}, S_{N_3}, \ldots$ می‌باشد.

$\sum S_N$ مجموع توانهای نامی همه ترانسفورماتورهای موازی شده است.

از طرفی درترانسفورماتور موازی شده با یکدیگر سهم مشارکت هر ترانسفورماتور برای زیر بار رفتن ، نسبت قدرت نامی به ولتاژ اتصال کوتاه خودش تعریف می‌شود:

$$\text{سهم مشارکت هر ترانسفورماتور} = \frac{S_{Ni}}{U_{Ki}} \qquad (۲ـ۴)$$

بنابراین برای همه ترانسفورماتورهای موازی شده می‌توان نوشت:

مجموع سهم مشارکت هر ترانسفورماتور با سهم مشارکت مجموع ترانسفورماتورها برابر است.

عبارت ریاضی جمله فوق مطابق رابطه (۲ـ۵) می‌باشد.

$$\frac{\sum S_N}{U_{k_{eq}}} = \frac{S_{N_1}}{U_{k_1}} + \frac{S_{N_2}}{U_{k_2}} + \frac{S_{N_3}}{U_{k_3}} + \ldots \qquad (۲ـ۵)$$

چون در رابطه (۲ـ۵) توان نامی و درصد ولتاژ اتصال کوتاه نسبی همه ترانسفورماتورهای موازی شده معلوم است و با جمع توان نامی همه ترانسفورماتورها براحتی می‌توان $\sum S_N$ را نیز بدست آورد پس با انجام یک طرفین ساده می‌توان $U_{k_{eq}}$ را بدست آورد.

$$U_{k_{eq}} = \frac{\sum S_N}{\frac{S_{N_1}}{U_{k_1}} + \frac{S_{N_2}}{U_{k_2}} + \frac{S_{N_3}}{U_{k_3}} + \ldots} \qquad (۲ـ۶)$$

با توجه به رابطه (۲ـ۶) در صورتیکه درصد ولتاژ اتصال کوتاه نسبی همه ترانسفورماتورها با هم برابر باشند درصد ولتاژ اتصال کوتاه نسبی معادل کل آنها نیز برابر درصد ولتاژ اتصال کوتاه نسبی تک تک ترانسفورماتورها خواهد شد. پس در این حالت خاص می‌توان از رابطه(۲ـ۳) ، رابطه (۲ـ۷) را نتیجه گرفت.

$$\frac{S_i}{\sum S} = \frac{S_{Ni}}{\sum S_N} \qquad (۲ـ۷)$$

مثال سه دستگاه ترانسفورماتور با مشخصات ذیل موازی شده اند:

$S_{N_1} = ۴۰۰KVA$ $U_{k_1} = ۶\%$	$S_{N_1} = ۶۳۰KVA$ $U_{k_1} = ۵\%$	$S_{N_1} = ۸۰۰KVA$ $U_{k_1} = ۴\%$

اگر کل بار الکتریکی اعمال شده به این ترانسفورماتور $\sum S = ۱۰۰۰KVA$ باشد میزان قدرت اخذ شده توسط

هر ترانسفورماتور چقدر است؟

$$U_{k_{eq}} = \frac{\sum S_N}{\frac{S_{N۱}}{U_{k۱}} + \frac{S_{N۲}}{U_{k۲}} + \frac{S_{N۳}}{U_{k۳}}} =$$

$$= \frac{۱۸۳۰}{\frac{۴۰۰}{۰/۰۶} + \frac{۶۳۰}{۰/۰۵} + \frac{۸۰۰}{۰/۰۴}} \approx ۰/۰۴۶۶$$

$$S_۱ = \frac{U_{k_{eq}}}{U_{k۱}} \times \frac{S_{N۱}}{\sum S_N} \times \sum S =$$

$$= \frac{۰/۰۴۶۶}{۰/۰۶} \times \frac{۴۰۰}{۱۸۳۰} \times ۱۶۰۰ = ۲۷۱/۶KVA$$

$$S_۲ = \frac{U_{k_{eq}}}{U_{k۲}} \times \frac{S_{N۲}}{\sum S_N} \times \sum S =$$

$$= \frac{۰/۰۴۶۶}{۰/۰۵} \times \frac{۶۳۰}{۱۸۳۰} \times ۱۶۰۰ = ۵۱۳/۴KVA$$

$$S_۳ = \frac{U_{k_{eq}}}{U_{k۳}} \times \frac{S_{N۳}}{\sum S_N} \times \sum S =$$

$$= \frac{۰/۰۴۶۶}{۰/۰۴} \times \frac{۸۰۰}{۱۸۳۰} \times ۱۶۰۰ = ۸۱۵KVA$$

همانطور که از پاسخ مسئله پیداست بدلیل رعایت کردن شرط دوم موازی در ترانسفورماتورها ، بار به درستی بین ترانسفورماتورها تقسیم شده است.

مثال سه دستگاه ترانسفورماتور با احتساب شرایط موازی با مشخصات ذیل موازی شده اند

$S_{N۱} = ۵KVA$ $U_{k۱} = ۴\%$	$S_{N۲} = ۲۵۰KVA$ $U_{k۲} = ۸\%$	$S_{N۳} = ۸۰۰KVA$ $U_{k۳} = ۵\%$

اگر کل بار الکتریکی اعمال شده به این ترانسفورماتور $\sum S = ۱۰۰۰KVA$ باشد میزان قدرت اخذ شده توسط هر ترانسفورماتور چقدر است؟

$$U_{k_{eq}} = \frac{\sum S_N}{\frac{S_{N۱}}{U_{k۱}} + \frac{S_{N۲}}{U_{k۲}} + \frac{S_{N۳}}{U_{k۳}}} =$$

$$= \frac{۱۱۰۰}{\frac{۵۰}{۰/۰۴} + \frac{۲۵۰}{۰/۰۸} + \frac{۸۰۰}{۰/۰۵}} \approx ۰/۰۵۴$$

$$S_۱ = \frac{U_{k_{eq}}}{U_{k۱}} \times \frac{S_{N۱}}{\sum S_N} \times \sum S =$$

$$= \frac{۰/۰۵۴}{۰/۰۴} \times \frac{۵۰}{۱۱۰۰} \times ۱۰۰۰ = ۶۱/۳KVA$$

$$S_۲ = \frac{U_{k_{eq}}}{U_{k۲}} \times \frac{S_{N۲}}{\sum S_N} \times \sum S =$$

$$= \frac{۰/۰۵۴}{۰/۰۸} \times \frac{۲۵۰}{۱۱۰۰} \times ۱۰۰۰ = ۱۵۳/۳KVA$$

$$S_۳ = \frac{U_{k_{eq}}}{U_{k۳}} \times \frac{S_{N۳}}{\sum S_N} \times \sum S =$$

$$= \frac{۰/۰۵۴}{۰/۰۵} \times \frac{۸۰۰}{۱۱۰۰} \times ۱۰۰۰ = ۷۸۵/۴KVA$$

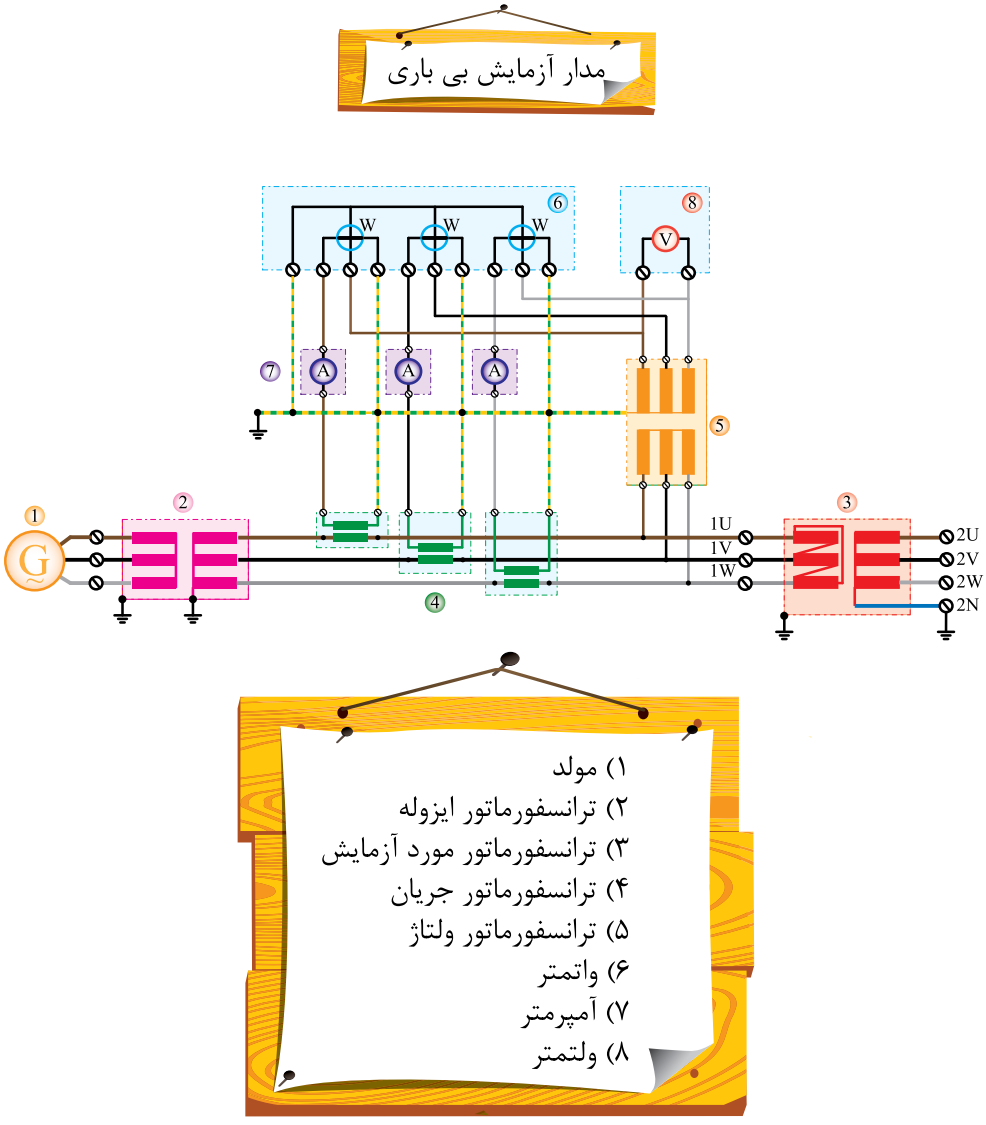
ملاحظه می‌شود ترانسفورماتور اول در وضعیت اضافه بار(over load) ،ترانسفورماتور دوم در وضعیت کاهش بار (under load) و ترانسفورماتور سوم در نزدیکی قدرت نامی ترانسفورماتور زیر بار رفته که مسلما شراکت بار بخوبی انجام نشده است.

خود را بیازمایید

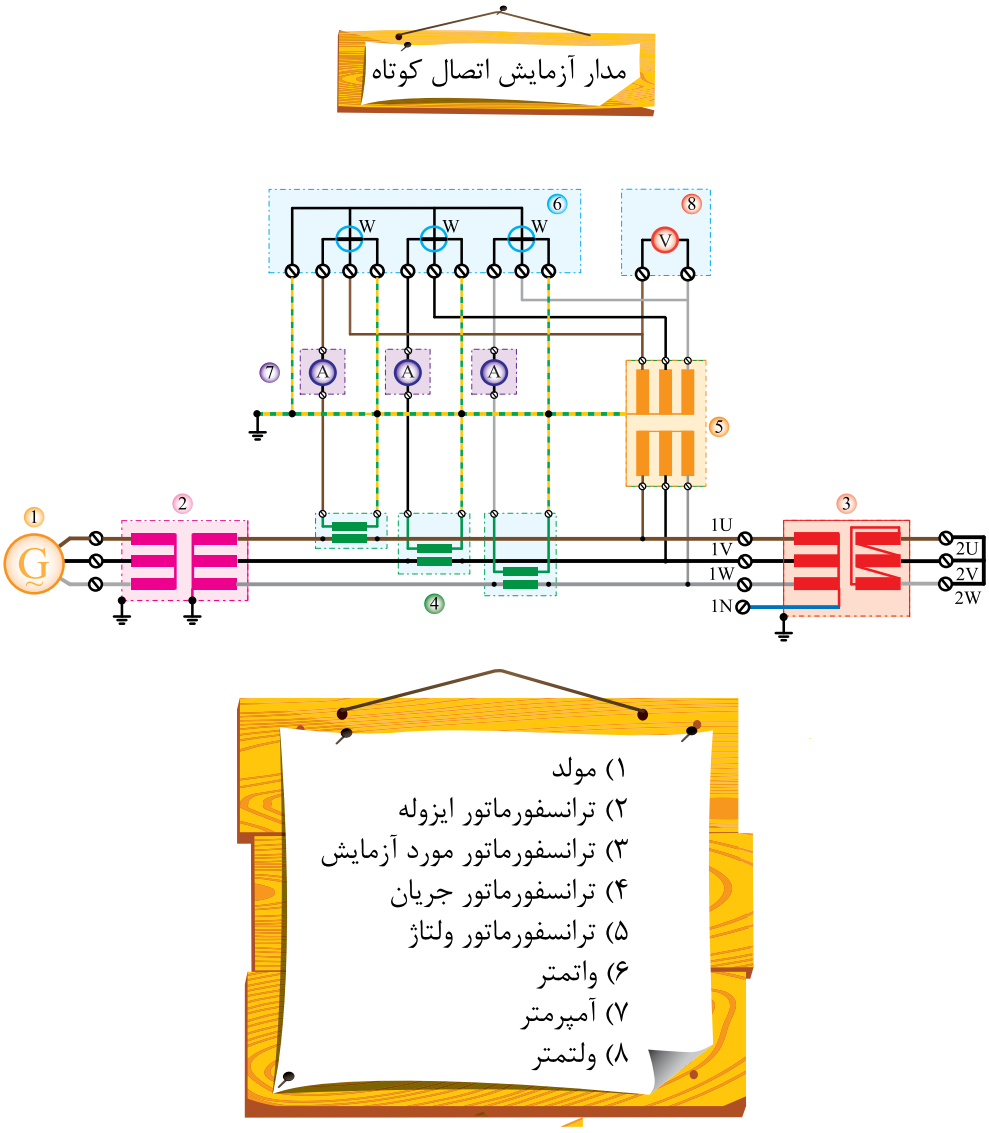
۱) دو ترانسفورماتورموازی با توانهای ۴۵ KVA و ۶۰ KVA به ترتیب دارای ولتاژ اتصال کوتاه ۶٪ و ۵/۵٪ می‌باشند و هر دو باری با توان ۸۰ KVA راتغذیه می‌کنند. سهم هر یک از دو ترانسفورماتور را در تقسیم بار محاسبه کنید.

۱۰ – تلفات و راندمان

در ترانسفورماتورهای سه فاز نیز مانند ترانسفورماتورهای تکفاز تلفات شامل تلفات آهنی P_{Fe} و تلفات مسی P_{Cu} می‌باشد که تلفات آهنی ترانسفورماتور را می‌توان با آزمایش بی باری و تلفات مسی را با آزمایش اتصال کوتاه بدست آورد. در شکل (۵۴) مدار مربوط به هر آزمایش ترانسفورماتور سه فاز نمایش داده شده است.



شکل ۵۴ ـ الف) مدار مربوط به آزمایش بی باری ترانسفورماتور



شکل ۵۴ ـ ب) مدار مربوط به آزمایش اتصال کوتاه ترانسفورماتور

در اینجـا نیز تلفات آهنی بدلیـل ثابت بودن ولتاژ ورودی جزو تلفات ثابت و تلفات مسـی بدلیل تغییر بار مصرف کننده جزو تلفات متغیر محسوب می‌شوند.

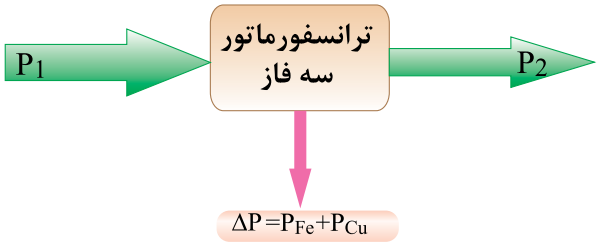
راندمان در تمام ماشینهای الکتریکی از رابطه (۲ـ۸) محاسـبه می‌شود با این تفاوت که در هر ماشین باید از روابط منحصر به آن استفاده نمود.

$$\eta = \frac{P_۲}{P_۱} \times ۱۰۰ \qquad (۲ـ۸)$$

در سیسـتم سه فاز توان الکتریکی حقیقی از رابطه (۲ـ۹) محاسبه می‌شود.

$$P = \sqrt{۳} U_L I_L \cos\varphi = S\cos\varphi \qquad (۲ـ۹)$$

از طرفی دیاگرام توازن توان در ترانسـفورماتورهای سه فاز مطابق شکل (۵۵)می‌باشد.



شکل ۵۵- دیاگرام توازن توان در ترانسفورماتور سه فاز

با توجه به دیاگرام توازن توان و رابطه (۲ـ۸) داریم:

$$P_1 = P_2 + P_{Fe} + P_{Cu} \qquad (۲ـ۱۰)$$

$$\eta = \frac{P_2}{P_2 + P_{Fe} + P_{Cu}} \qquad (۲ـ۱۱)$$

با استفاده از دو رابطه (۲ـ۹) و (۲ـ۱۱) می‌توان نتیجه گرفت:

$$\eta = \frac{S_i Cos\varphi}{S_i Cos\varphi + P_{Fe} + P_{Cu_i}} \qquad (۲ـ۱۲)$$

ضریب بار با رابطه (۲ـ۱۳) تعریف می‌شود.

$$A = \frac{I}{I_n} = \frac{S}{S_n} \qquad (۲ـ۱۳)$$

بنابراین می‌توان تلفات مسی در بارهای متفاوت را از رابطه(۲ـ۱۴) بدست آورد.

$$A = \frac{P_{Cu_i}}{P_{Cu_N}} = (\frac{S_i}{S_N}) \Rightarrow$$

$$P_{Cu_i} = P_{Cu_n} A^2 \qquad (۲ـ۱۴)$$

با جاگذاری رابطه (۲ـ۱۴) در رابطه (۲ـ۱۲) ، راندمان هر ترانسفورماتور را می‌توان با رابطه (۲ـ۱۵) بدست آورد.

$$\eta = \frac{AS_n Cos\varphi}{AS_n Cos\varphi + P_{Fe} + A^2 P_{Cu_n}} \qquad (۲ـ۱۵)$$

S توان ظاهری قرار داده شده روی ترانسفورماتور برحسب VA

P_{Fe} تلفات بی باری (آهنی) خروجی آزمایش بی باری بر حسب W

P_{Cu_N} تلفات بار داری (مسی) خروجی آزمایش اتصال کوتاه بر حسب W

P_{Cu_i} تلفات مسی متناظر با توان ظاهری بار روی ترانسفورماتور بر حسب W

S_n قدرت ظاهری نامی بر حسب VA

A ضریب بار

$Cos\varphi$ ضریب قدرت بار مصرفی

در ترانسفورماتورهای سه فاز نیز مانند ترانسفورماتورهای تکفاز در صورتی که ضریب بار $A = \sqrt{\frac{P_{Fe}}{P_{CU_n}}}$ باشد، راندمان به ماکزیمم مقدار خود خواهد رسید.

همانطور که مشاهده می‌شود ، چگونگی محاسبه تلفات و راندمان در ترانسفورماتورهای تکفاز و سه فاز شبیه یکدیگر است و تنها محاسبات ولتاژ و جریان در دو سیستم تکفاز و سه فاز با هم متفاوت است که البته محاسبه ی ولتاژ وجریان ترانسفورماتورهای سه فاز با اتصالات گوناگون احتیاج به تحلیل مدار معادل آنها داشته و از آنجا که جزو اهداف این درس نیست در اینجا بیان نمی‌شود .

مثال یک ترانسفورماتور سه فاز ۱۰۰ KVA ،۲۰KV/۴۰۰V، با گروه اتصال Dyn۱۱ در آزمایش بی باری ۱۷۰۰ W و در آزمایش اتصال کوتاه ۱۰۵۰۰ W توان از شبکه دریافت می کند مطلوبست محاسبه:

الف)راندمان ترانسفورماتور در صورتی که باری را با جریان و ولتاژ نامی وضریب قدرت ۰/۸ پس فاز تغذیه کند

جواب:وقتی جریان و ولتاژ بار نامی‌باشد بنابراین توان ظاهری آن نیز برابر توان نامی ترانسفورماتور یعنی ۱۰۰۰ KVA خواهد بود در اینصورت توان مصرفی و راندمان برابر است با:

$$\eta = \frac{AS_n Cos\varphi}{AS_n Cos\varphi + P_{Fe} + A^2 P_{Cu_n}}$$

$$= \frac{۱۰۰۰۰۰۰ \times ۰/۸}{۱۰۰۰۰۰۰ \times ۰/۸ + ۱۷۰۰ + ۱۰۵۰۰} = ۹۸/۵\%$$

ب)ماکزیمم راندمان این ترانسفورماتور در چه باری رخ می‌دهد و در ضریب قدرت ۰/۸ راندمان آن چقدر است؟

$$A = \sqrt{\frac{P_{Fe}}{P_{CU_n}}} = \sqrt{\frac{۱۷۰۰}{۱۰۵۰۰}} = ۰/۴$$

$$A = \frac{S}{S_n} \Rightarrow S = A \times S_n = ۰/۴ \times ۱۰۰۰ =$$

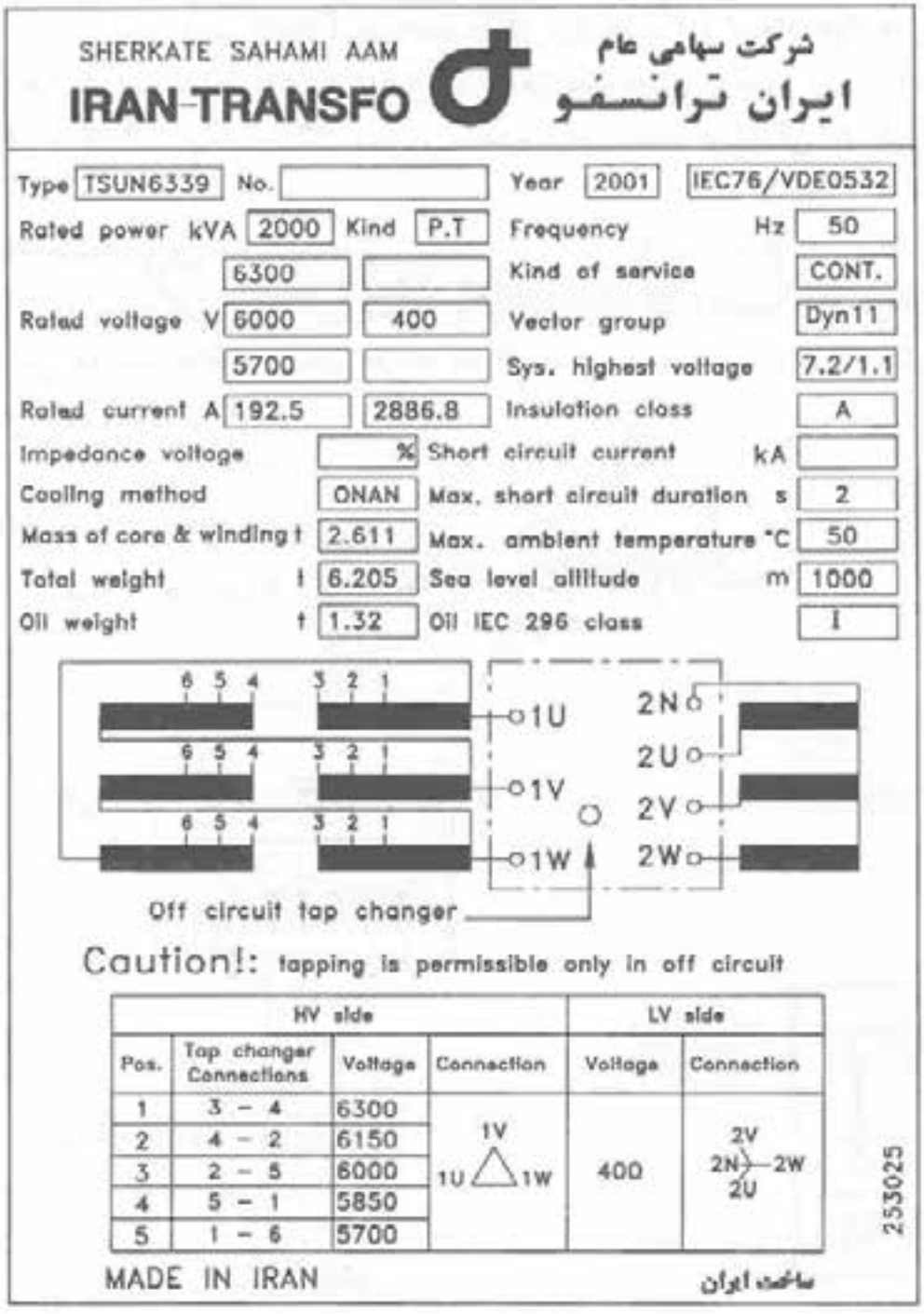
$$= ۴۰۰ KVA$$

$$\eta = \frac{AS_n Cos\varphi}{AS_n Cos\varphi + P_{Fe} + A^2 P_{Cu_n}} =$$

$$= \frac{۰/۴ \times ۱۰۰۰۰۰۰ \times ۰/۸}{۰/۴ \times ۱۰۰۰۰۰۰ \times ۰/۸ + ۱۷۰۰ + (۰/۴^2 \times ۱۰۵۰۰)} \approx ۹۹\%$$

۱۱- پلاک خوانی ترانسفورماتور

مشخصات هر ترانسفورماتور روی پلاک آن آورده می‌شود. در شکل (۵۶) پلاک یک ترانسفورماتور نشان داده شده است . پلاک هر ترانسفورماتور غالبا از جنس فولاد ضد زنگ یا سایر موارد غیر قابل خوردگی و مقاوم در برابر هوا ساخته شده و نوشته ها روی آن حکاکی می‌گردد.



شکل ۵۶- پلاک یک ترانسفورماتور توزیع

مشخصه	توضیح
Type no.	نوع ترانسفورماتور با توجه به کد کارخانه
Year	سال تولید ۲۰۰۱ به میلادی
IEC76 / VDE 0532	شماره استاندارد ساخت ترانسفورماتور
Rated power	قدرت نامی به ۲۰۰۰KVA
Kind (PT)	نوع ترانسفورماتور (ترانسفورماتور ولتاژ)
Rated voltage	ولتاژ نامی (۶۳۰۰/۴۰۰–۶۰۰۰–۵۷۰۰ به ولت)
Kind of service	نوع کار (دائم CONT. =)
Vector group	گروه برداری (Dyn۱۱)
Frequency	فرکانس (۵۰ هرتز)
Rated current	جریان نامی (۲۸۸۶ /۱۹۲ آمپر)
System highest voltage	بیشترین ولتاژ قابل تحمل (۱/۱ / ۷/۲ کیلو ولت)
Insulation class	کلاس عایقی A
Impedance voltage	درصد ولتاژ اتصال کوتاه
Cooling method	روش خنک سازی ترانسفورماتور ONAN
Short circuit current	جریان اتصال کوتاه به آمپر
MAX. Short circuit duration	بیشترین زمان تحمل جریان اتصال کوتاه (۲ ثانیه)
MAX. Ambient temperature	بیشترین دمای مجاز محیط (۵۰°C)
Mass of core & winding	وزن هسته وسیم پیچ (۲,۶۱۱ تن)
Total weight	وزن کل (۶,۲۰۵ تن)
Oil weight	وزن روغن (۱,۳۲ تن)
Sea level altitude	ارتفاع از سطح دریا (۱۰۰۰ متر)
Oil IEC ۲۹۶ class	کلاس روغن براساس استاندارد IEC ۲۹۶ (I)

پرسشهای پایان فصل(۲)

۱) وظیفه ترانسفورماتور توزیع چیست؟

۲) چرا انتقال و مصرف انرژی الکتریکی در شبکه سه فاز اقتصادی‌تر است؟

۳) در ترانسفورماتور توزیع قدرت سیم پیچ فشار ضعیف و فشار قوی را به چه نحوی روی هسته می‌پیچند؟

۴) روشهای تهویه و خنک‌سازی ترانسفورماتور را نام ببرید.

۵) مزایای ترانسفورماتورهای روغنی با مخزن بسته را نسبت به ترانسفورماتورهای روغنی با مخزن انبساط بیان کنید.

۶) ساختمان ترانسفورماتور با بالشتک گازی را شرح دهید.

۷)مزایای ترانسفورماتور خشک نسبت به روغنی چیست؟

۸)محل قرار گرفتن رله بوخهلتس در ترانسفورماتور کجاست؟چرا؟

۹)رله بوخهلتس در برابر چه خطاهایی عمل میکند؟

۱۰)چگونه دمای ترانسفورماتور نوع خشک کنترل می‌شود؟

۱۱)تاثیر رطوبت در ترانسفورماتور روغنی چیست؟

۱۲)شیر اطمینان در ترانسفورماتورها چه وظیفه ای دارند؟

۱۳)عوامل موثر در انتخاب بوشینگ ترانسفورماتوررا نام ببرید.

۱۴)کدامیک از انواع اتصالات سه فاز در ولتاژهای بالا اقتصادی تر است؟

۱۵)رله فشار ناگهانی را با رله بوخهلتس مقایسه کنید.

۱۶)منظور از گروه اتصال ترانسفورماتور چیست؟

۱۷)شرایط موازی کردن دو ترانسفورماتور با توانهای نابرابر را بیان کنید.

مسائل پایان فصل(۲)

۱)دو ترانسفورماتور تکفاز کاملا مشابه با ولتاژ نامی ۴۴۰ولت و جریان نامی ۲۵ آمپر با اتصال مثلث باز به یکدیگر اتصال دارند

الف) توان نامی این دو ترانسفورماتور در شبکه سه فاز چقدر است

ب) اگر ترانسفورماتورها در شبکه تکفاز به صورت مجزا استفاده شوند، مجموع توان نامی آنها چقدر است؟

۲) دو ترانسفورماتور سه فاز با توانهای ۳۰ KVA و ۴۵KVA با ولتاژ اتصال کوتاه برابر بار ۶۰ KVA را تغذیه می‌کنند. سهم بار هر یک را بدست آورید.

۳) سه ترانسفورماتور سه فاز با توانهای ۲۰ KVA و ۳۵KVA و ۵۰ KVA به ترتیب دارای ولتاژاتصال کوتاه۶ و ۵/۴ و ۵ درصد می‌باشد. اگر توان تحمیلی بار ۹۰ KVA باشد مطلوب است : سهم بار هر یک از ترانسفورماتورها

۴)یک ترانسفورماتور سه فاز ۲۰v/۴۰۰v با توان ظاهری ۸۰ KVA دارای تلفات ثابت ۸۵۰W و تلفات متغیر ۱۲۵۰ W می‌باشد. راندمان ترانسفورماتوردر بار نامی و با ضریب قدرت ۰,۷۵ پس فاز را بدست آورید.

۵)یک ترانسفورماتور ۶KV/۴۰۰V با توان نامی ۲۰KVA دارای تلفات آهنی و مسی نامی به ترتیب ۲۵۰W و ۴۰۰W می‌باشد. بدست آورید:

الف) راندمان ترانسفورماتور در ۰/۷۵ بار نامی اهمی خالص

ب) راندمان ماکزیمم.