۲
ترانسفورماتورهای سه فاز

۱- مقدمه
۲- دلیل استفاده از ترانسفورماتور سه فاز
۳- ساختمان ترانسفورماتور سه فاز از نقطه نظر مغناطیسی و الکتریکی
۳-۱- هسته
۳-۲- سیم پیچ
۴- ساختمان ترانسفورماتور سه فاز از نقطه نظرعایق بندی وتهویه
۴-۱- ترانسفورماتورهای روغنی
۴-۲- ترانسفورماتورهای خشک
۵- تجهیزات جانبی ترانسفورماتور
۵-۱- رله بوخهلتس
۵-۲- ترمومتر(دماسنج ترانسفورماتور)
۵-۳- سیستم کنترل دما به کمک سنسور RTD
۵-۴- رطوبت گیر (محفظه سلیکاژل)
۵-۵- روغن نما
۵-۶- شیر فشار شکن یا شیر اطمینان
۵-۷- فشار و خلاء سنج
۵-۸- رله فشار ناگهانی
۵-۹- رله چند منظوره (DGPT۲)
۵-۱۰- کلید تنظیم ولتاژ
۵-۱۱- پیچ اتصال بدنه
۵-۱۲- جعبه ترمینال
۵-۱۳- بوشینگ
۶- انواع اتصالات مورد استفاده در ترانسفورماتورهای سه فاز
۶-۱- اتصال ستاره
۶-۲- اتصال مثلث
۶-۳- مقایسه اتصال مثلث و اتصال ستاره در سیم پیچ های ترانسفورماتور
۶-۴- اتصال زیگزاگ
۷- تقسیم بندی ترانسفورماتورهای سه فاز بر اساس نوع اتصال ورودی و خروج
۷-۱- اتصال ستاره – ستاره (Y-y)
۷-۲- اتصال مثلث- ستاره (D-y)
۷-۳- اتصال ستاره- زیگزاگ(Y-z)
۷-۴- اتصال مثلث – زیگزاگ (D-z)
۷-۵- اتصال مثلث باز (V-V)
۸- گروه ترانسفورماتور
۹- موازی کردن ترانسفورماتورها
۹-۱- شرایط موازی کردن
۹-۲- چگونگی موازی کردن دو ترانسفورماتور
۹-۳- محاسبه قدرت ظاهری ترانسفورماتور پس از اتصال موازی
۱۰- تلفات و راندمان
۱۱- پلاک خوانی ترانسفورماتور

۱ – مقدمه

نیروگاه‌ها انرژی الکتریکی را از تبدیل سایر انرژی‌ها بدســت می آورند. از طرفی به لحاظ زیست محیطی و دسترســی به انرژی ، احداث آنها در داخل شهر امکان پذیر نیســت. از سوی دیگر چون اغلب مصرف کننده‌ها در شــهرو حومــه ی آنها متمرکز می‌باشــند در نتیجه فاصله بیــن نیروگاهها و مصرف کننده‌هــای برق غالبا طولانی است . بنابراین اگر بخواهیم برق تولید شده را با ولتاژ مورد نیاز مصرف کننده انتقال دهیم ســهم زیادی از انرژی الکتریکی در خطوط انتقال هدر می‌رود.

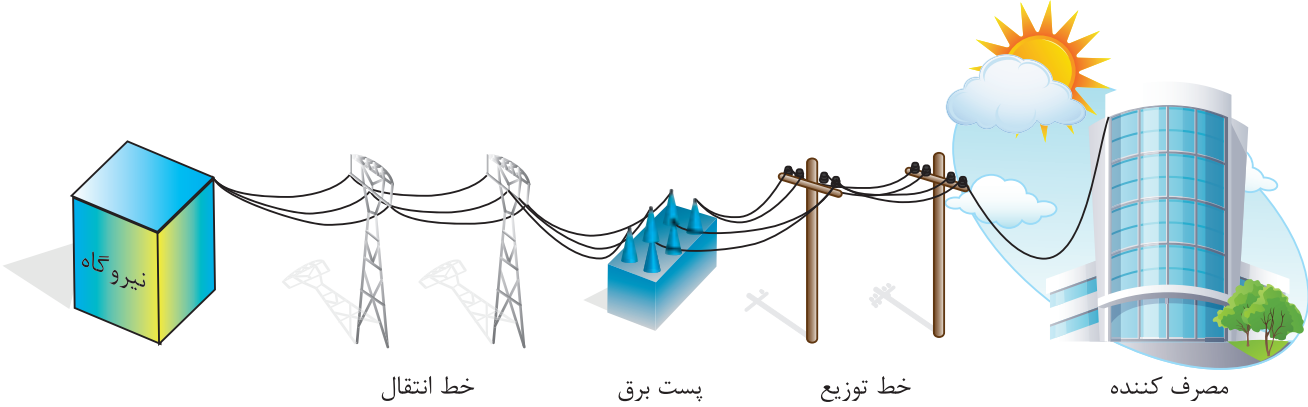
شکل ۱– نمایی از یک سد و نیروگاه آبی که در کنار آن قرار دارد.

***استفاده از انرژی این آب برای تولید برق فقط در نقاط بلند کوهستانی و دره های اطراف آن امکان پذیر است که قطعا فاصله چنین محلی از شهر نزدیک نیست.**

شکل ۲– نمایی از یک نیروگاه گازی

***این نوع نیروگاه‌ها بدلیل ایجاد آلودگی ، در داخل شهرها ساخته نمی‌شوند.**

ترانســفورماتور ها می‌توانند با افزایش سطح ولتاژ و کاهش جریان با کمترین تلفات ممکن انرژی الکتریکی را از محل تولید که گاهی هزاران کیلومتر دورتر می‌باشد تا نقاط مصرف ، برســانند این تغییر ولتاژ در محلی بنام پســت برق صورت می‌گیرد. شکل (۳) طرح واره ای از مراحل تولید ، انتقال و مصرف انرژی الکتریکی را نشان می‌دهد.



شکل ۳– طرح واره ی کلی از تولید ،انتقال و توزیع برق

۲

نیروگاه‌ها برای تولید توان الکتریکی از مولدهایی استفاده می‌کنند که ولتاژ خروجی آنها بصورت سه فاز می‌باشد و بسته به میزان قدرتشان دارای سطح ولتاژی از ۳ Kv تا ۲۱ Kv و در موارد خاص این ولتاژ تا ۳۰ Kv نیز می رسد. سپس در شبکه‌های انتقال برق به کمک ترانسفورماتور و در چند مرحله ، این ولتاژ به ولتاژ هایی نظیر ۶۳ Kv، ۱۳۲ Kv، ۲۳۰ Kv، ۴۰۰Kv در ایران و حتی در بعضی از کشورها تا ۷۵۰ Kv یا ۱۰۰۰ Kv نیز تبدیل می‌شوند . در محل مصرف ، مجددا مقدار ولتاژ در چند مرحله توسط ترانسفورماتور به میزان مناسب کاسته می‌شود و به این ترتیب شرایط استفاده از انرژی الکتریکی تولید شده برای مصرف کننده‌ها را فراهم می‌کند . شکل (۴) انواع پست‌های برق را نشان می‌دهد.

الف) پست فوق توزیع

ب) پست انتقال

ج) پست توزیع صنعتی

هـ) پست توزیع هوایی

د) پست توزیع زمینی

شکل ۴- انواع پست برق

در شبکه برق ایران سطوح ولتاژی مختلفی تعریف شده است.

این سطوح ولتاژ عبارتند از:

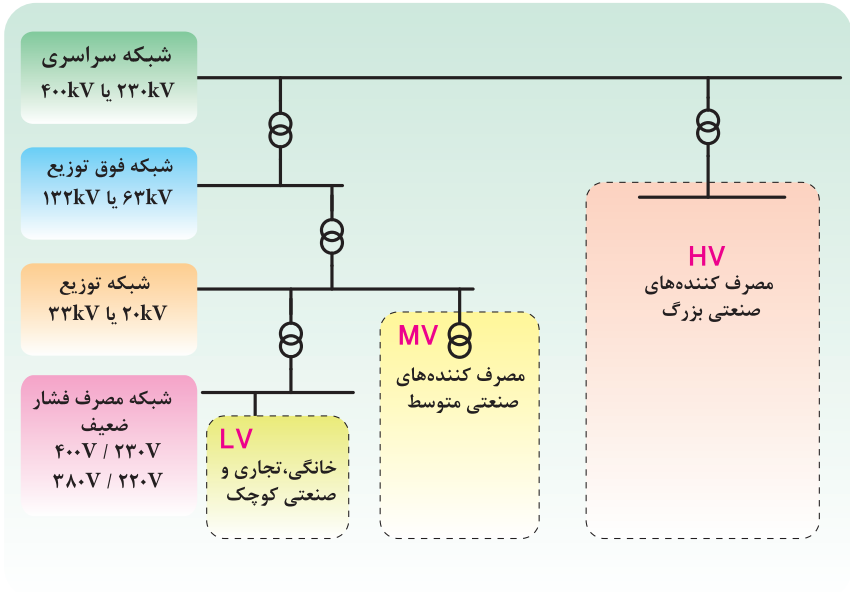
- سطح ولتاژ سراسری
- سطح ولتاژ فوق توزیع
- سطح ولتاژ توزیع
- سطح ولتاژ مصرف یا فشار ضعیف

برق تولیدی نیروگاه‌ها باید توسط ترانسفورماتور به شبکه سراسری متصل شود. این شبکه، برق را به تمام مناطق کشور می رساند سپس با توجه به نیاز هر مصرف کننده مطابق شکل (۵) از سطح ولتاژ خاصی انشعاب گرفته می‌شود.

به ترانسفورماتوری که سطح ولتاژ MV (فشار متوسط ۲۰ Kv) را به سطح ولتاژ LV (فشار ضعیف ۴۰۰ v یا ۳۸۰v) تبدیل می‌کند ، ترانسفورماتور توزیع گفته می‌شود. در این فصل سعی شده بیشتر به توضیح در مورد این نوع ترانسفورماتور پرداخته شود.

ترانسفورماتورهای توزیع از نوع کاهنده بوده و جهت تامین مصارف صنایع کوچک ،تجاری و خانگی استفاده میشوند . میزان ولتاژ مصرف در این شبکه بصورت سه فاز ۳۸۰v و یا تکفاز ۲۲۰v می‌باشد.

تنوع سطوح ولتاژ هم در تولید ، انتقال و مصرف وجود دارد. انتخاب هر یک از این ولتاژ ها بر اساس مطالعاتی صورت گرفته که به لحاظ اقتصادی کمترین هزینه را در پی داشته باشد.



شکل ۵- چگونگی توزیع انرژی برق

خود را بیازمایید

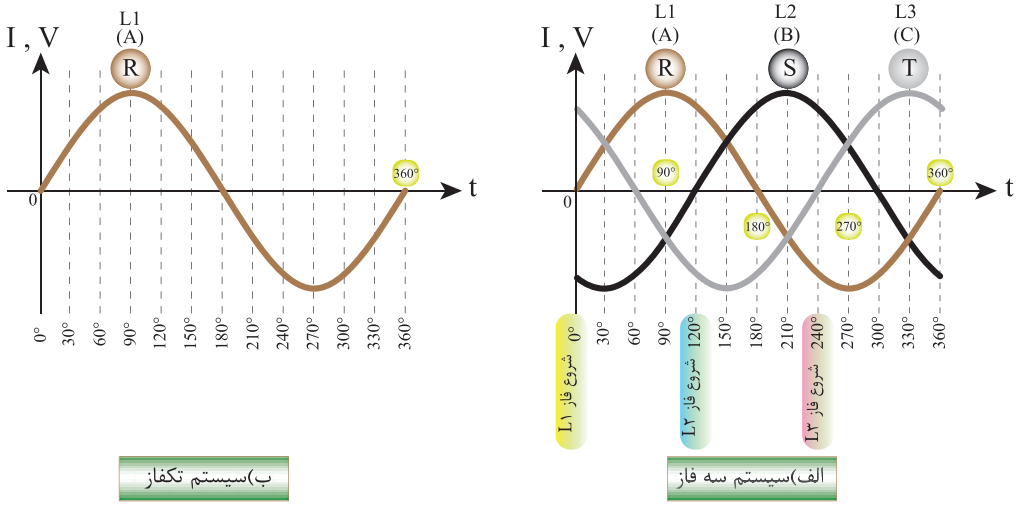
۱) وظیفه ترانسفورماتور در شبکه برق چیست؟

۲) ولتاژ خروجی مولدهای نیروگاهی معمولا در چه سطحی است؟

۲-دلیل استفاده از ترانسفورماتور سه فاز

در سیستم سه فاز، سه ولتاژ در اختیار می‌باشد، که دامنه ی آنها با هم یکسان ولی از نظر زمانی هر یک با دیگری 120° اختلاف فاز دارند.

شکل (۶) مقایسه ای کلی بین شکل موج ولتاژ سیستم تکفاز با سیستم سه فاز را نشان می‌دهد. همانطور که دیده می‌شود مقدار لحظه‌ای ولتاژ در سیستم تکفاز لحظاتی به صفر می رسد ولی در شبکه های سه فاز اینگونه نیست. لذا در زمان صفر شدن ولتاژ لحظه‌ای شبکه‌های تکفاز ، توان صفر می‌شود اما در شبکه‌های سه فاز هیچگاه توان لحظه‌ای به صفر نمی‌رسد. از این جهت، استفاده از سیستم سه فاز در شبکه‌های تولید ، انتقال و مصرف اقتصادی می‌باشد. بنابراین با توجه به سه فاز بودن شبکه برق لازم است ترانسفورماتور نیز قابلیت اتصال به این شبکه را دارا باشد.



شکل ۶- نمایش ولتاژ وجریان سیستمهای تک فاز و سه فاز

۲

خود را بیازمایید

۱) برتری سیستم سه فاز الکتریکی نسبت به تک فاز را توضیح دهید.

۳-ساختمان ترانسفورماتور سه فاز از نقطه نظر مغناطیسی و الکتریکی

اجزای اصلی ترانسفورماتور سه فاز نیز همان هسته و سیم پیچ می‌باشند.

۳-۱ - هسته

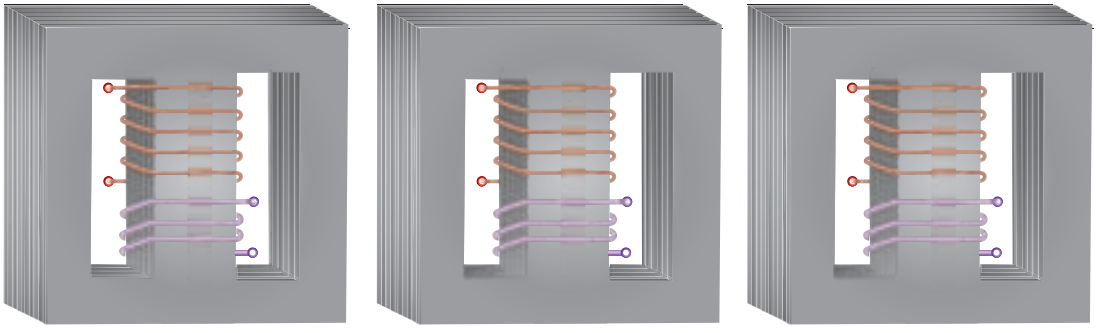
در ترانسفورماتورهای سه فاز نیز مانند ترانسفورماتور تکفاز جهت عبور شار مغناطیسی و انتقال انرژی الکتریکی از یک سمت به سمت دیگر باید از هسته آهنی استفاده شود.

ترانسفورماتورهای سه فاز را با توجه به نوع هسته به دو دسته مجزا و یکپارچه تقسیم می‌کنند.

۳-۱-۱- هسته های مجزا

ساده ترین راه ایجاد ترانسفورماتور سه فاز استفاده از سه ترانسفورماتور مشابه تکفاز است. این سیستم را بانک ترانسفورماتور سه فاز نیز می‌نامند . بنابراین هسته های هر فاز مجزا از یکدیگر می‌باشند و مدار مغناطیسی جدا از هم دارند.

مطابق شکل (۷) سه ترانسفورماتور کنار هم قرار می‌گیرند و ورودی و خروجی آنها با یکی از اتصالات سه فاز سربندی می‌شوند . بدین ترتیب سه بوبین اولیه به فازهای L_1 , L_2 , L_3 شبکه وصل می‌شوند. و چون هسته مغناطیسی هر فاز مجزا است. بنابراین جریانهای مغناطیس کننده هر فاز در هسته مربوط به خود ، فورانی متناظر با همان جریان ایجاد می نماید. به عبارتی در هسته اول φ_A، در هسته دوم φ_B ، و در هسته سوم، φ_C گردش می‌کند. به این دلیل این ترانسفورماتورها به ترانسفورماتور با هسته مجزا معروف هستند .



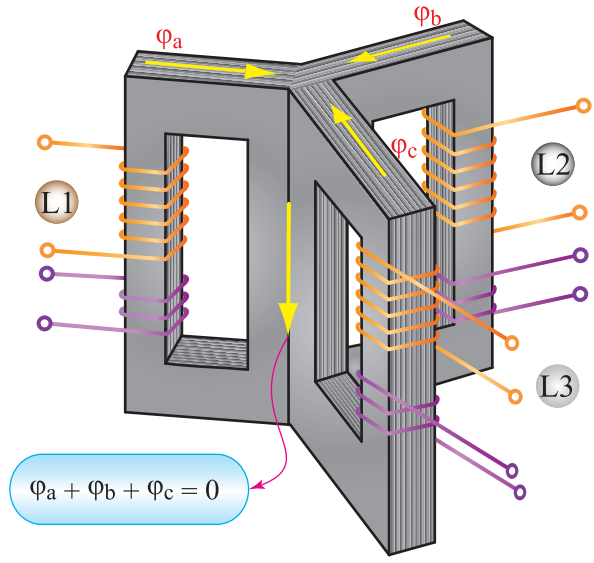
شکل ۷- ترانسفورماتور سه فاز با هسته های مجزا

در گذشته این نوع ترانسفورماتورها در شبکه‌های توزیع استفاده می شد. در این ترکیب معمولا در کنار سه ترانسفورماتور، یک دستگاه ترانسفورماتور اضافی نیز بعنوان یدکی قرار می‌گیرد تا در زمان خرابی از آن استفاده شود .

در حال حاضر بدلیل بالا رفتن تکنولوژی عایق بندی و دستیابی به عایق های خوب و به دلایلی که اشاره خواهد شد از این ترکیب بندرت استفاده می‌شود .

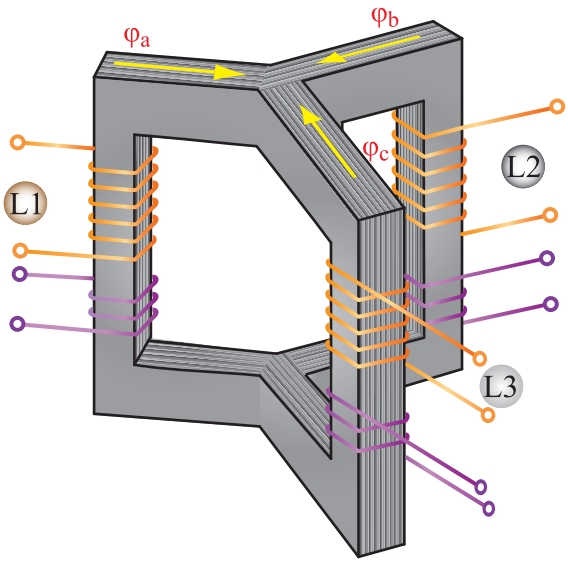
اگر هسته های آهنی سه ترانسفورماتور تکفاز مطابق شکل (۸) در کنار هم قرار داده شوند. شارهای مغناطیسی

جاری شـــده در هر بازو (مربوط به فاز مستقل) از بازوی مشترک نیز عبور می‌کنند .



شکل ۸- هسته ترانسفورماتور سه فاز با ستون مشترک بهم چسبیده

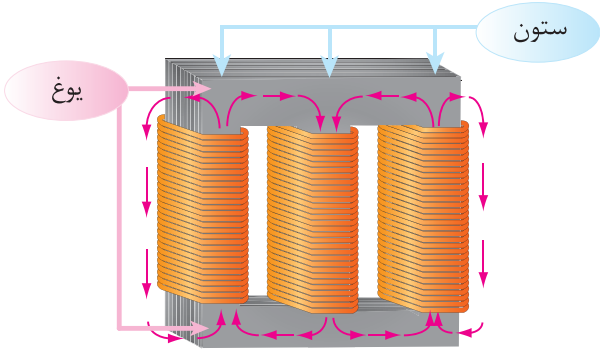
بنابراین شارهای φ_B، φ_A و φ_C مشترکاً از این بازو عبور می‌کنند. اما همانطور که مجموع جریانهای ســه فاز با دامنه مســاوی متعــادل برابــر صفر اســت[1] ، مجموع شارهای مغناطیسی که از بازوی وسط هسته می‌گذرند نیز صفــر می‌شــود ؛ بنابراین می‌توان از بازوی وســط هســته صرفنظــر و آن را حــذف نمود. بــه این ترتیب هسته ترانسفورماتور را می‌توان بصورت یکپارچه مطابق شکل (۹) ساخت.



شکل ۹- هسته ترانسفورماتور سه فاز یکپارچه ابتدایی

۳-۱-۲-هسته های یکپارچه

در عمل ترانسفورماتورهای سه فاز با هسته یکپارچه به صورت شکل(۱۰) ساخته می‌شوند:

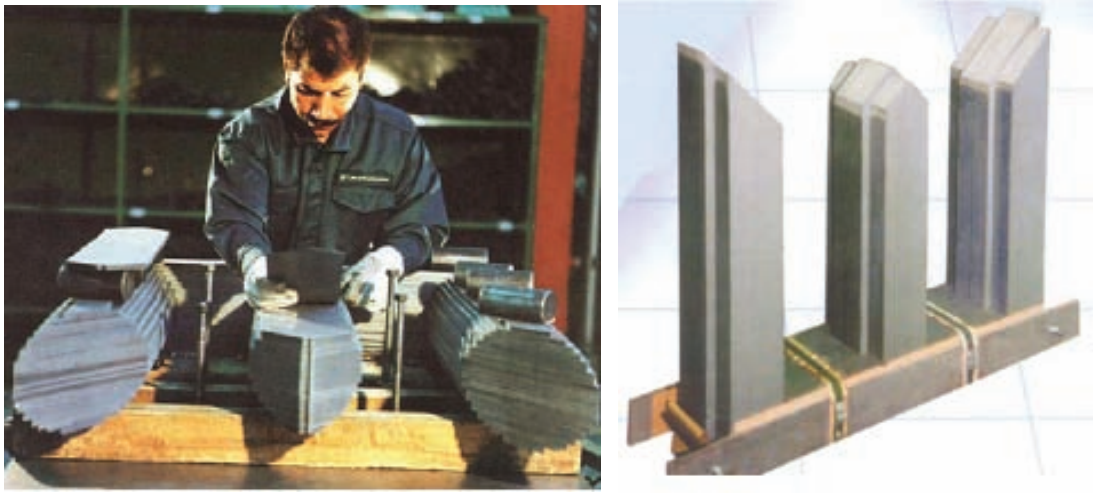


شکل ۱۰- هسته یکپارچه

در این ترکیب هســته از ســه ستون تشکیل شده و سیم پیچها در آن قرار می‌گیرند، سپس دو یوغ طرفین آن را مهــار می‌کننــد. بنابراین هر ســیم پیچ روی یک ستون قرار می‌گیرد. به این نوع هسته ، **هسته ستونی** می‌گویند.

۱) مجموع سه بردار مساوی با اختلاف سه فاز ۱۲۰ صفر می‌شود

۲



شکل ۱۱-هسته ستونی

در شکل(۱۱) یک نمونه هسته ستونی که یوغ بالای آن هنوز قرار داده نشده است مشاهده می‌شود.

مزایـا و معایب ترانسـفورماتورهای سـه فاز با مدار مغناطیسی پیوسته نسـبت به سه ترانسفورماتور تکفاز مشـابه که به صورت سه فاز سـربندی و در یک قدرت یکسان استفاده می‌شوند عبارتند از:

مزایا :

- در ترانسـفورماتور سـه فاز یکپارچـه از آهن کمتری استفاده شده است.
- وزن آن سبکتر و حجم آن کوچکتر است .
- قیمت تمام شده آن کمتر است .
- راندمان بیشتری دارد .
- در عمل به سـیم پیچ ، اتصـالات و عایقبندی کمتری نیاز دارد (با دانش فنی امروز)

معایب :

- هزینه نگهداری و تعمیر آن بیشتر است.
- با ایجاد اشـکال حتی در یکفاز ترانسفورماتور باید کل ترانسـفورماتور از مدار خارج و جهت تعمیر آن اقدام شود در صورتی که اگر از سه ترانسفورماتور تکفاز استفاده شده بود براحتی فقط ترانسفورماتور معیوب از مدار خارج می شـد و ترانسفورماتور ذخیره که قبلا به آن اشاره شد جای آن را می‌گرفت.

خود را بیازمایید

۱) چرا درترانسـفورماتور با هسته یکپارچه از بازوی مشترک می‌توان صرف نظر کرد؟

۲) ترانسـفورماتورهای سـه فاز با هسـته یکپارچه را نسـبت به ترانسفورماتور با هسـته مجزا مقایسه کنید.

۳-۱-۳-چیدمان هسته

هسـته ترانسـفورماتورهای سـه فـاز نیـز ماننـد ترانسفورماتورهای تکفاز از ورق های مغناطیس تشکیل شده است. شکل(۱۲) یک قرقره ورق مغناطیسی آماده برشکاری در خط تولید ورق هسته را نشان می‌دهد.

شکل ۱۲- قرقره ورق مغناطیسی در خط تولید ورق هسته

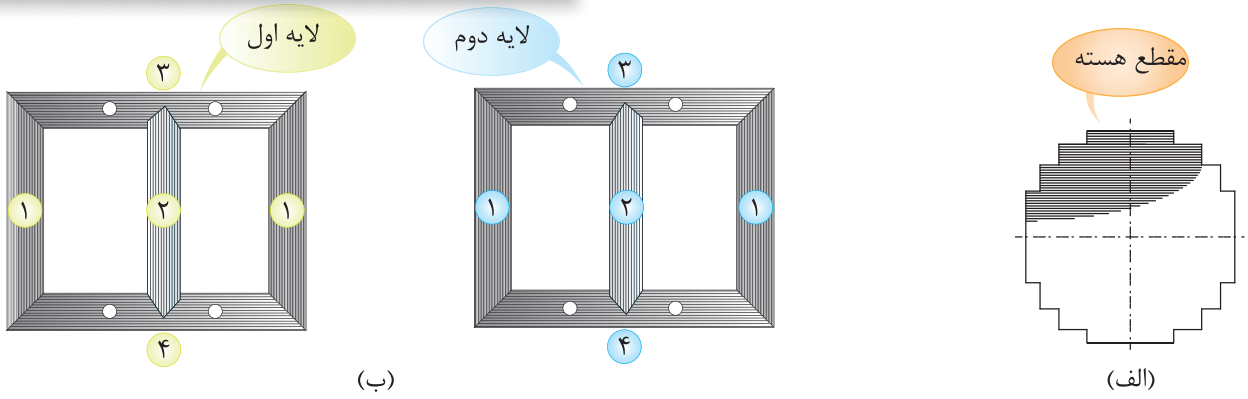
برای تولید هسته، قرقره های ورق فولاد مغناطیسی را با اندازه مناسب در جهت نورد شده برش زده و طوری آن را کنار هم قرار می‌دهند که شار مغناطیسی همیشه در راستای نورد شده از آن عبور کند زیرا در این صورت مقاومت مغناطیسی هسته کمتر خواهد شد. برای راحتی کار در هنـــگام جا زدن بوبینهـــا و پرکردن فضای داخل بوبین و کاهش حجم ترانســـفورماتور، پهنای ورقه ها را مانند شکل(۱۳ـ الف) متفاوت درست می‌کنند تا سطح مقطع هســـته بصـــورت پله ای به شـــکل دایره نزدیکتر شـــود . به این ترتیب حجمی از یک هسته کامل ایجاد می‌شود.

برای محکم شـــدن ورقـــه هـــا روی یکدیگر مطابق شـــکل(۱۳ـ ب) ســـه قطعه ورق ۲،۳،۴ را لایه به لایه برعکـــس می‌گذارند و در نهایت ایـــن ورقه ها را با عبور پرچهای عایق شـــده از داخل سوراخ‌های هسته محکم می‌کنند.

خود را بیازمایید

۱)چرا در ترانســـفورماتورهای ســـه فاز پهنای ورقه های یک بازو متفاوت است؟

۲)چرا در ترانســـفورماتورها ورقه های هســـته را در راستای نورد شده بریده و کنار هم قرار می‌دهند؟



شکل ۱۳-چگونگی قرارگیری هسته ها روی یکدیگر

۳-۲-سیم پیچ

در ترانســـفورماتورهای توزیع درصد امپدانس اتصال کوتاه باید حتی الامکان کوچک باشد. جدول(۱) مقادیر درصد امپدانس اتصال کوتاه را برای ترانسفورماتورهای توزیع نشـــان می‌دهد. در عمل بـــرای کاهش امپدانس اتصال کوتاه ســـیم پیچ های فشار قوی و ضعیف را روی یـــک بازو یا ســـتون می‌پیچند تا شـــار پراکندگی کمتر شـــود. از آنجا که ولتاژ فشار ضعیف نسبت به فشار قوی پتانســـیل کمتری تا زمین دارد از نظر عایقی بهتر است ابتدا ســـیم پیچ فشـــار ضعیف را روی هســـته بپیچند و

۲

سپس سیم پیچ فشار قوی را روی آن قرار دهند.

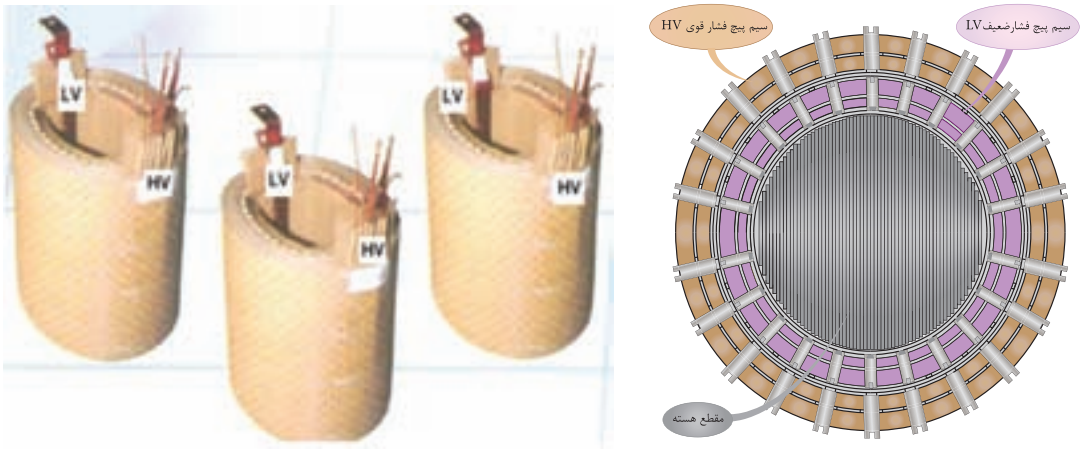
سیم های استفاده شده برای سیم پیچ دارای سطح مقطع گرد یا چهار گوش بوده و با عایق لاکی پوشیده می‌شوند. دور هر لایه از سیم پیچ کاغذ های آغشته به روغن مخصوص پیچیده می‌شود همچنین برای عایقکاری بین سیم پیچها از چوب طبیعی و مصنوعی نیز استفاده می‌گردد.

خود را بیازمایید

۱) اگر در یک ترانسفورماتور سه فاز سیم پیچ فشار ضعیف و سیم پیچ فشارقوی روی یک بازو پیچیده شود امپدانس اتصال کوتاه آن.....و ولتاژ اتصال کوتاه آن..... می یابد.(افزایش-کاهش)

امپدانس اتصال کوتاه (%)	تلفات مسی در بار نامی (W)	تلفات بی باری (W)	توان نامی (KVA)
۴	۱۱۰۰	۱۹۰	۵۰
۴	۱۷۵۰	۳۲۰	۱۰۰
۴	۲۳۵۰	۴۶۰	۱۶۰
۴	۳۲۵۰	۶۵۰	۲۵۰
۴	۴۶۰۰	۹۳۰	۴۰۰
۴	۶۵۰۰	۱۳۰۰	۶۳۰
۶	۶۷۵۰	۱۲۰۰	۶۳۰
۶	۱۰۵۰۰	۱۷۰۰	۱۰۰۰
۶	۱۷۰۰۰	۲۶۰۰	۱۶۰۰
۶	۲۶۵۰۰	۳۸۰۰	۲۵۰۰

جدول۱- مقادیر تلفات بی باری (آهنی) ، بارداری (مسی) و امپدانس اتصال کوتاه ترانسفورماتورهای توزیع



شکل ۱۴-ساختمان سیم پیچ ترانسفورماتورهای سه فاز

۴-ساختمان ترانسفورماتور سه فاز از نقطه نظرعایق بندی وتهویه

با توجه به اینکه چگونگی خنک سازی ترانسفورماتورها با هم متفاوت است به همین دلیل لازم است نحوه تهویه ترانسفورماتور با یک کد مشخص بر روی پلاک درج شود. انواع پر کاربرد روشهای خنکسازی عبارتند از:

۱- خنک سازی با گردش عادی هوا که به اختصار با AN (Air Natural) نمایش داده می شود.

۲- خنک سازی با گردش اجباری هوا(یعنی از طریق فن) که به اختصار با AF (Air Forced) نمایش داده می شود.

۳- خنک سازی با گردش عادی روغن که به اختصار با ON (Oil Natural) نمایش داده می شود.

۴- خنک سازی با گردش اجباری روغن(یعنی از طریق پمپ روغن) که به اختصار با OF (Oil Forced) نمایش داده می شود.

به عنوان مثال ترانسفورماتوری که با کدONAN نشان داده شده است. یعنی ترانسفورماتور روغنی که روغن در آن به صورت عادی گردش می کند و از تهویه طبیعی(بدون استفاده از فن) نیز بهره می‌گیرد.

ممکن است یک ترانسفورماتور دارای مشخصه ONAN/ONAF باشد. یعنی در صورتی که گرما از حد خاصی بالاتر رود سیستم تهویه اجباری از طریق فن وارد مدار می‌شود.

خود را بیازمایید

۱) در ترانسفورماتورها خنک سازی با گردش روغن به چند صورت انجام می‌شود ؟کد آنها را بنویسید.

۴-۱-ترانسفورماتورهای روغنی

ترانسفورماتورهای توزیع قدرت را می‌توان به دو دسته تقسیم نمود:

- ترانسفورماتورهای روغنی
- ترانسفورماتورهای خشک

در ترانسفورماتورهای روغنی، وظیفه ی روغن عایق کردن سیم پیچ ها و بدنه از یکدیگر و خنکسازی آن می‌باشد و لذا هسته و سیم پیچها را مطابق شکل(۱۵) پس از ساخت به صورت غوطه ور در داخل یک مخزن روغن قرار می‌دهند.

شکل ۱۵-نحوه قرار دادن هسته وسیم پیچها در داخل مخزن روغن

حال با توجه به اینکه روغن نسبت به محیط خارج از ترانسفورماتور آب بندی باشد یا خیر این ترانسفورماتورها خود به دو دسته تقسیم می‌شوند:

- ترانسفورماتورهای روغنی با مخزن انبساط
- ترانسفورماتورهای روغنی با مخزن بسته

خود را بیازمایید

۱) وظیفه روغن در ترانسفورماتور روغنی چیست؟

۲

۴-۱-۱-ترانسفورماتورهای روغنی با منبع انبساط

در این ترانسفورماتورها ارتباط روغن با هوای بیرون از طریق منبع انبســاط می‌باشد. زیرا روغن در اثر گرما افزایش حجم داده و در منبع انبســاط جمع می‌شــود . برای جلوگیری از نفوذ رطوبت به داخل و تخریب روغن از رطوبت گیر استفاده می‌شود.

شکل ۱۶-ترانسفورماتور روغنی با منبع انبساط

۴-۱-۲-ترانسفورماتورهای روغنی بامخزن بسته(هرمتیک)

در این ترانســفورماتورها روغن در مخزن بسته بوده و هیچ تماســی با محیط و هوای بیرون نــدارد، لذا خاصیت عایقی روغن بیشتر حفظ شود و در نتیجه نیازی به بازدید دوره ای روغن در این ترانسفورماتورها نیست.

از آنجا که در مکانهای شرجی و مرطوب جذب رطوبت توسط روغن زیاد است ،توصیه می‌شود از ترانسفورماتورهای روغنی با مخزن بسته استفاده گردد.

با گرم شدن روغن در داخل این نوع ترانسفورماتور، حجم آن زیاد شده و چون ترانسفورماتور مخزن انبساط ندارد به دو روش این اضافه حجم ایجاد شده کنترل می‌شود:

- ترانسفورماتور بدون بالشتک گازی[۱]

در این ترانسفورماتور بدنه ی ترانسفورماتور پس از گرم شدن طوری منبسط می‌شود تا بتواند اضافه حجم روغن ایجاد شده را در خود جای دهد. این ترانسفورماتورها کاملا پر از روغن هستند و برای همیشه آب بندی می‌شوند.

شکل ۱۷ – ترانسفورماتور روغنی بدون بالشتک گازی

۱) Hermetically sealed without gas cushion

● ترانسفورماتور با بالشتک گازی[1]

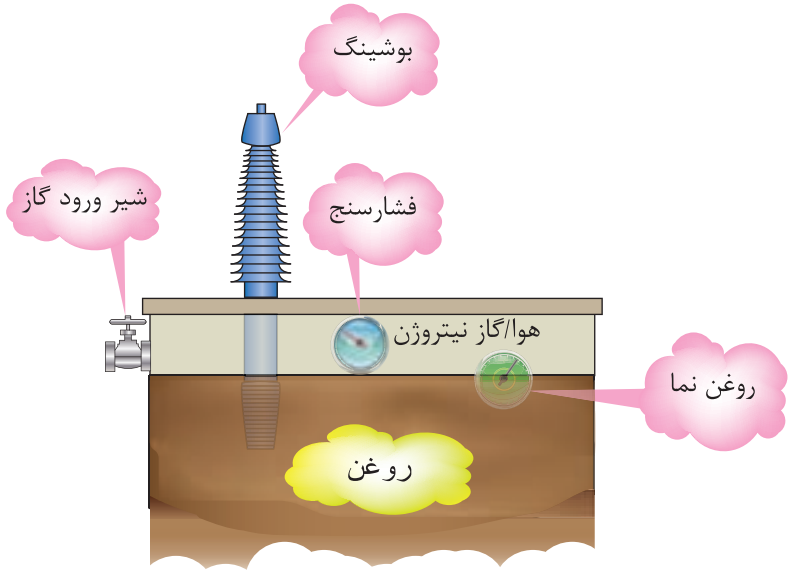
در این ترانسفورماتور بدنه را کمی بزرگتر از حجم روغن در نظر می‌گیرند و فضای خالی بالای روغن را با گاز نیتروژن پر می‌کنند. لذا پس از انبساط روغن، حجم اضافه شده به سطح گاز فوقانی فشار آورده و روغن در آن فضا جا به جا می‌شود. در واقع انبساط و انقباض روغن سبب می‌شود تا گاز نیتروژن واقع در بالای سطح روغن تغییر فشار دهد.

خود را بیازمایید

۱) علت استفاده از مخزن انبساط در بعضی ترانسفورماتورها چیست؟

۲) ترانسفورماتورهای روغنی با مخزن بسته برای چه مکانهایی توصیه می‌شود؟

۳) انواع ترانسفورماتورروغنی با مخزن بسته را نام ببرید.



شکل ۱۸- ترانسفورماتور روغنی با بالشتک گازی

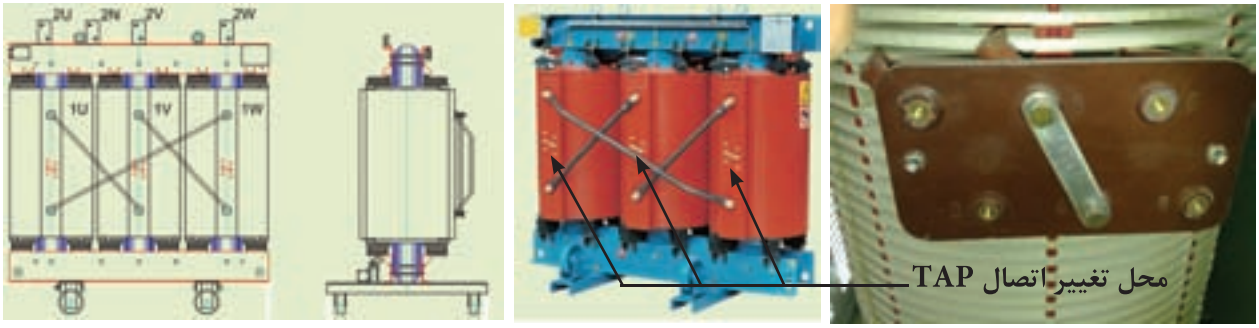
۴-۲-ترانسفورماتورهای خشک

در این ترانسفورماتورها به منظور عایق بندی سیم پیچها از بدنه از موادهای عایقی خشک استفاده شده است. این ترانسفورماتورها فقط از طریق هوا خنک می‌شوند. و چون در ساختمان آنها از روغن استفاده نشده است احتمال آتش سوزی آن بسیار کم است. به همین خاطر ترانسفورماتور خشک در پستهای توزیع ایستگاههای مترو ، برجهای مسکونی ، فرودگاه ها و... کاربرد دارد. استفاده از این ترانسفورماتور برای محیط های بیرون ساختمان و مکان‌هایی که سیستم تهویه ندارند مناسب نیست.

این ترانسفورماتورها در حال حاضر تا قدرت ۳۱۵۰KVA ساخته می‌شوند و برای قدرتهای بالاتر از این اقتصادی نیستند.

۱) Hermetically sealed with gas cushion

۲



شکل ۱۹-ترانسفورماتور خشک

خود را بیازمایید

۱) ترانسفورماتور خشک چگونه خنک می شود؟

۲) از ترانسفورماتور خشک در چه مکان هایی استفاده می شود؟

۵-تجهیزات جانبی ترانسفورماتور

تجهیزات جانبی به تجهیزاتی گفته می‌شود که مستقیما جزو ساختمان ترانسفورماتور به حساب نمی آیند ولی وجود آنها یا باعث حفاظت از ترانسفورماتور می‌شود یا قابلیت آن را افزایش می‌دهد.

شکل (۲۰) ترانسفورماتور را در حال انفجار و آتش سوزی نشان می‌دهد. به کمک تجهیزات حفاظتی ترانسفورماتور می‌توان قبل از بروز خطا ، نوع آن را شناسایی و از پیامدهای زیانبار آن جلوگیری کرد.

شکل ۲۰-انفجار ترانسفورماتور قدرت

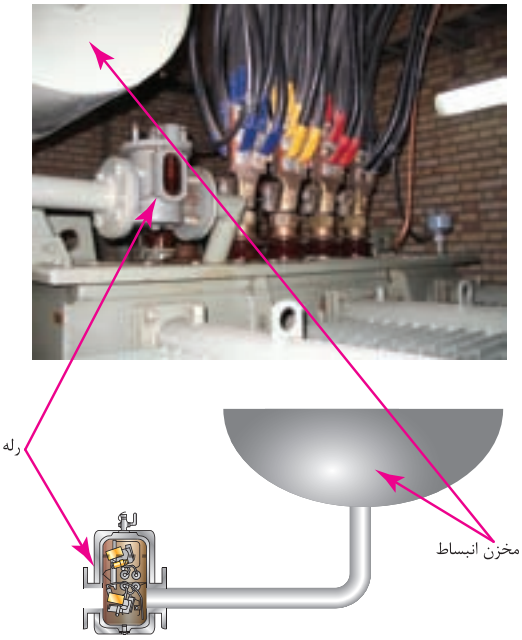
۵-۱-رله بوخهلتس

در ساختمان ترانسفورماتور روغنی هر یک ازخطاهای زیر می‌تواند رخ دهد:

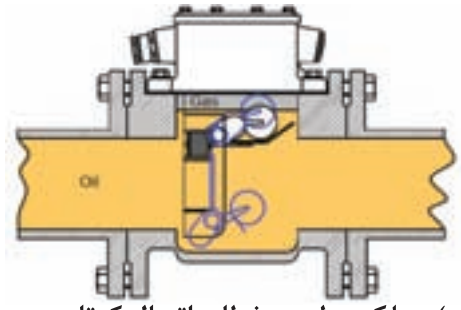
- تنش حرارتی در هسته ی ترانسفورماتور که سبب ایجاد گاز می شود.
- افزایش حرارت سیم پیچها بر اثر اتصال کوتاه بین حلقه های سیم پیچ که سبب ایجاد گاز می شود.
- ایجاد شکست الکتریکی در مقره ها و عایق سیم پیچها که سبب ایجاد گاز می شود.
- اتصال بدنه یا اتصال زمینی در داخل ترانسفورماتورکه سبب ایجاد گاز می شود.
- ایجاد جرقه در اثر شل بودن ترمینالهای داخلی که سبب ایجاد گاز می شود.
- کاهش سطح روغن بدلیل نشت از مخزن

پس از وقوع هر یک از خطاهای فوق (بجز کاهش سطح روغن) ، روغن داخل مخزن ترانسفورماتور علاوه بر ایجاد گاز، بشدت گرم و منبسط می‌شود ، در نتیجه با سرعت به سمت منبع انبساط جریان می یابد. گاز ایجاد شده نیز برای رهایی از فشار به طرف مخزن انبساط می‌رود. به همین دلیل این رله را بین مخزن اصلی و منبع انبساط قرار می‌دهند.

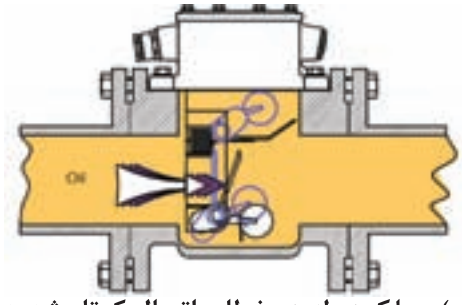
نکته قابل توجه اینکه رله بوخهلتس فقط در ترانسفورماتورهای روغنی دارای منبع انبساط کاربرد دارد.



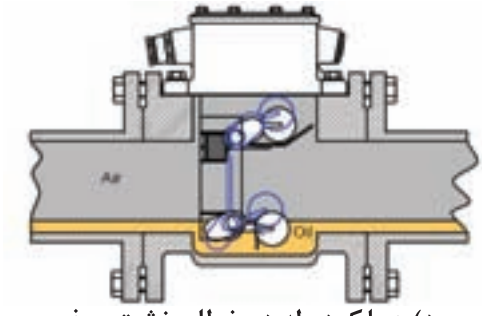
الف) محل قرارگیری رله



ب) عملکرد رله در خطای اتصال کوتاه جزیی

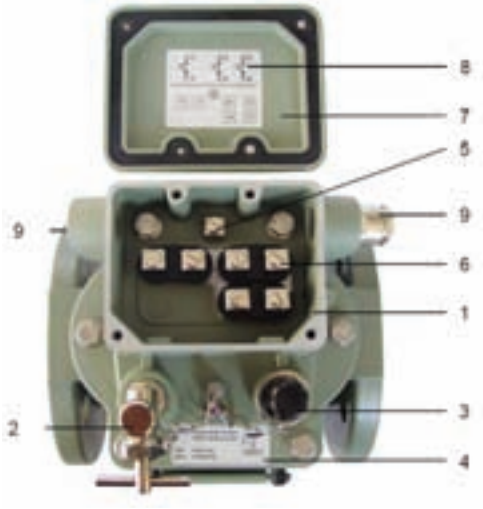


ج) عملکرد رله در خطای اتصال کوتاه شدید



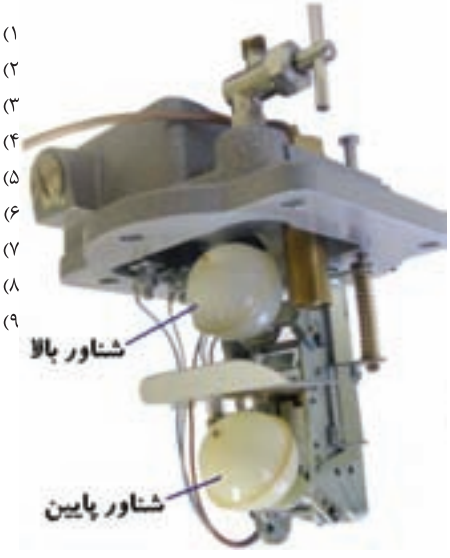
د) عملکرد رله در خطای نشت روغن

هـ) نمای ظاهری رله



و) نمای داخلی رله از بالا

۱) جعبه ترمینال
۲) شیر تست
۳) کلید تست
۴) پلاک
۵) ترمینال اتصال زمین
۶) ترمینال های آلارم و تریپ
۷) درب جعبه ترمینال
۸) پلاک کنتاکتهای رله
۹) محل کابل ورودی و خروجی



ز) نمای داخلی رله از پایین

شکل ۲۱ – نمای ظاهری، ساختمان داخلی و محل قرارگیری رله بوخهلتس

این رله شامل یک محفظه ی روغن از فولاد ریختگی و دو کلید عمل کننده برای آلارم و تریپ است. کلید بالایی ، فعال کننده سیستم هشدار و کلید پایینی فعال کننده مدار کنترل برای خارج کردن ترانسفورماتور از مدار است.

هریک از کلید ها دارای یک شناور با محفظه آلومینیومی است که به راحتی می‌تواند حول محور خودش بچرخد. کلید نیز در یک محفظه جیوه ای جا دارد که به دلیل مایع بودن جیوه در هنگام حرکت شناور جا به جا می‌شود و سبب قطع یا وصل کنتاکت می‌گردد.

به جز نشت روغن همه خطاهای داخلی سبب ایجاد گاز در روغن می‌شوند. گاز ایجاد شده بدلیل سبکتر بودن نسبت به روغن به سمت منبع انبساط حرکت کرده و در مسیر خود حتما از رله بوخهلتس می‌گذرد. اگر میزان گاز جمع شده در روغن کم باشد کلید بالایی فعال شده و مدار فرمان آلارم را ارسال می‌کند. اما اگر شدت خطا خیلی زیاد باشد ، گاز ایجاد شده باعث تحریک و اتصال کلید پایین خواهدشد و فرمان قطع لحظه‌ای (آنی) ترانسفورماتور ارسال می‌گردد. مسلما نشتی روغن نیز ابتدا باعث تحریک شناور بالایی و در صورت ادامه تحریک شناور پایینی می‌شود که به ترتیب فرمان آلارم و قطع صادر خواهد شد. به منظور اطمینان از صحت عملکرد کلیدهای رله و آزمایش آن ،بر روی قسمت بالای رله دکمه‌ای فشاری قرار داده شده است که با فشردن آن کلیدهای رله عمل خواهند نمود. بر روی محفظه رله بوخهلتس یک شیر جهت تخلیه و نمونه برداری از گازهای جمع شده در بالای آن تعبیه شده است که پس از عملکرد رله باید سریعا نمونه برداری از گاز صورت پذیرد.

در رله های بوخهلتس می توان از طریق رنگ گاز جمع شده پس از عملکرد رله به نوع اشکال پی برد

این رله غالبا برای ترانسفورماتورهای روغنی با قدرت بالاتر از ۸۰۰KVA که دارای مخزن انبساط می‌باشند، باید نصب شود.

خود را بیازمایید

۱) چهار مورد از خطاهای ترانسفورماتور را بیان کنید.

۲) رله بوخهلتس دارای چند کلید عمل کننده بوده و وظیفه هر یک چیست؟

۳) در چه ترانسفورماتورهایی از رله بوخهلتس استفاده می‌شود؟

۴) عملکرد رله بوخهلتس در برابر کاهش روغن چگونه است؟

۵) دلیل قرارگرفتن شیر روی رله بوخهلتس چیست؟

۵-۲-ترمومتر(دماسنج ترانسفورماتور)

عمر عایق ترانسفورماتور به حرارت ایجاد شده در داخل ترانسفورماتور وابسته می‌باشد. عوامل مختلفی همچون دمای محیط، محل نصب و شرایط بارگیری در میزان گرم شدن ترانسفورماتور تاثیر دارد. بنابراین لازم است دمای ترانسفورماتور همواره مشخص و قابل ثبت باشد. بطوریکه بتوان در مواقع خاص از این اطلاعات جهت تعمیر و اقدامات پیشگیرانه استفاده نمود.

مقدار دمای قابل تحمل برای عایقبندی هر ترانسفورماتور باتوجه به کلاس حرارتی آن مشخص می‌شود. در شکل (۲۲) دماهای مربوط به هر کلاس حرارتی طبق استاندارد نشان داده شده است.

ترانسفورماتورهای روغنی همواره دارای کلاس عایقی A می‌باشند. یعنی با توجه به نمودار افزایش دما، بیش از $105^{\circ}C$ باعث از بین رفتن خاصیت عایقی روغن می‌شود.

برای اندازه گیری و نمایش دمای ترانسفورماتور از وسیله‌ای به نام ترمومتر استفاده می‌شود.

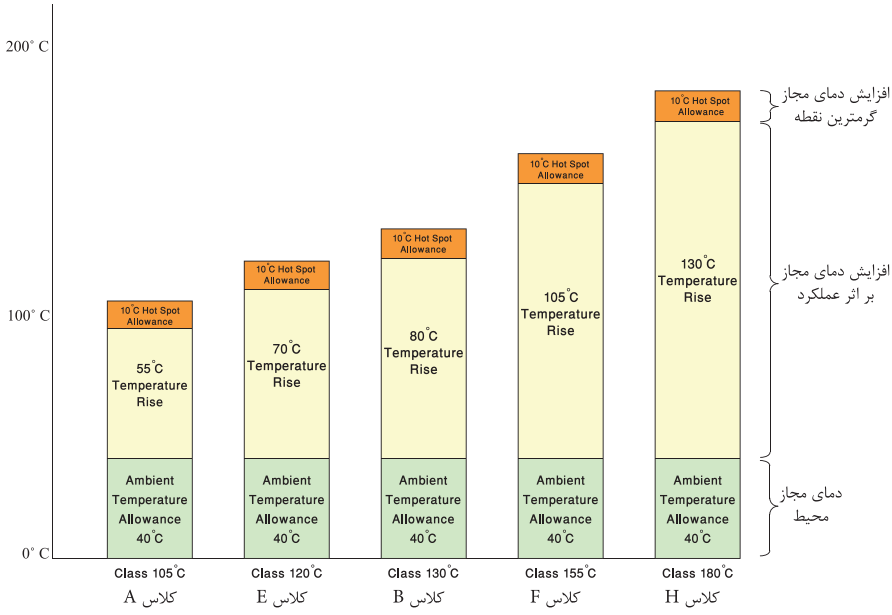
در ترانسفورماتورهای روغنی امکان نصب دو نوع ترمومتر وجود دارد:

- ترمومتر روغن (که معمولا در قدرتهای بالاتر از ۶۳۰KVA نصب می‌شود)
- ترمومتر سیم پیچ (که معمولا در قدرت‌های بالاتر از ۱۲۵۰KVA نصب می‌شود)

خود را بیازمایید

۱) کلاس حرارتی یک ترانسفورماتور نشان دهنده چیست؟

۲) برای اندازه گیری و نمایش دمای روغن ترانسفورماتور از ..... استفاده می‌شود.



شکل ۲۲- نمودار طبقه بندی کلاسهای حرارتی

۵-۲-۱-ساختمان و روش اندازه گیری ترمومتر روغن

بخش حسگر ترمومتر از بیمتالی تشکیل شده که توسط یک غلاف فلزی از بالای ترانسفورماتور در داخل مخزن روغن قرار می‌گیرد و چون ارتباط مستقیمی با روغن داخل ترانسفورماتور ندارد در هنگام تعمیر و یا تعویض آن نیز مشکلی وجود نخواهد داشت. بخش نشان دهنده آن نیز روی بدنه ترانسفورماتور نصب می‌شود.

در شکل (۲۳) ترمومتر ساده کنتاکت دار نشان داده شده است. لازم به ذکر است که چون ترمومتر روغن دمای بالاترین سطح روغن را نشان می‌دهد در نتیجه دمای آن حدود ۵ درجه از دمای سیم پیچ کمتر است.

شکل ۲۳-ترمومتر ساده کنتاکت دار و محل نصب آن روی مخزن ترانسفورماتور

از آنجا که در ترانسفورماتورهای با ارتفاع بلند دید کافی جهت بازدید دما وجود ندارد از ترمومتر با لوله انعطاف پذیر جیوه ای استفاده می‌شود. این لوله با طولهای متفاوت ارتباط مناسبی بین سنسور دما و نشانگر فراهم می‌کند. بدین ترتیب صفحه نمایشگر می‌تواند در ارتفاع و محل مناسبی نصب شود. اصول عملکرد این نوع ترمومتر هم مانند ترمومتر کنتاکت دار می‌باشد.

شکل ۲۴- چند نمونه ترمومتر با رابط جیوه ای

صفحه نمایش ترمومتر غالبا دارای دو عقربه به رنگهای متفاوت است که یکی (مثلا قرمز) دمای فعلی ترانسفورماتور را نمایش می‌دهد و دیگری (مثلا زرد) بیشترین دمای ایجاد شده در ترانسفورماتور را نشان می‌دهد . مکانیزم عملکرد این دو عقربه به این صورت است که در زمان حرکت عقربه به سمت زیادتر شدن دما هر دو عقربه با هم حرکت می‌کنند. وقتی دما کاهش می یابد فقط عقربه ای که دمای فعلی را نشان میدهد به عقب بر می‌گردد. بدین ترتیب عقربه زرد بالاترین دمای ایجاد شده در ترانسفورماتور را ثبت می نماید. اگر بار دیگر عقربه قرمز به سمت بالا حرکت کند تا قبل از رسیدن به عقربه زرد به تنهایی و اگر دما باز هم بالاتر بود هر دو عقربه باهم حرکت می‌کنند.

بعلاوه هر ترمومتر دارای دو کنتاکت (یا کلید) است که یکی برای هشدار و دیگری برای قطع بکار برده می‌شوند. جهت تنظیم عملکرد این دو کنتاکت معمولا شاخص دمای هشدار ترانسفورماتور را روی ۶۵° و دمای قطع را روی ۹۰° تنظیم می‌کنند. البته در

ترانسفورماتورهایی که بوسیله ی فن خنک می‌شوند دو کنتاکت دیگر نیز برای عمل قطع و وصل فن وجود دارد.

خود را بیازمایید

۱) از ترمومترهای با لوله قابل انعطاف در کجا استفاده می‌شود؟

۲) دمای هشدار ودمای قطع در ترانسفورماتورهای روغنی به چه صورت تنظیم می شوند.

۳) در اغلب ترمومترهاصفحه نمایش چند عقربه دارد وعملکرد هر یک چگونه است؟

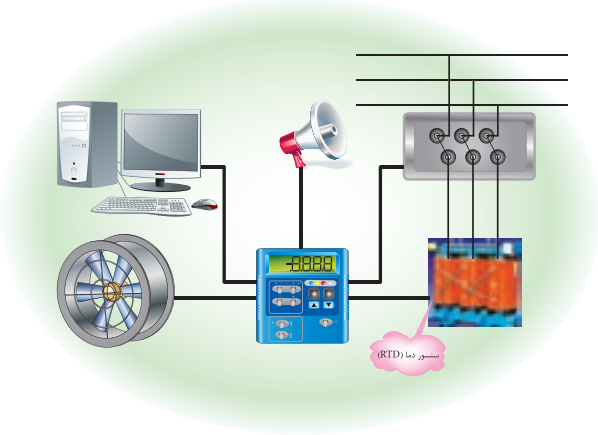
۵-۲-۲-ترمومتر سیم پیچ

در ساختمان ترمومتر سیم پیچ یک مقاومت سیمی (فیلار) پیش بینی شده است. جریان عبوری یکی از فازهای سمت فشار ضعیف را از طریق ترانسفورماتور جریان (CT) (که برای همین موضوع در بوشینگ ترانسفورماتور از قبل جا سازی شده) نمونه برداری و به مقاومت سیمی ترمومتر وصل شود. عبورجریان از مقاومت حرارت تولید می‌کند و حرارت ایجاد شده در آن متناسب با میزان جریان عبوری از سیم پیچ می‌باشد. بنابراین سیستم نمایشگر ترمومتر می‌تواند میزان گرمای تولید شده در مقاومت ، دمای سیم پیچ ترانسفورماتور را اندازه گیری نموده و نشان دهد.

شکل ۲۵-محل نصب ترمومتر سیم پیچ و روغن روی یک نمونه ترانسفورماتور

۵-۳-سیستم کنترل دما به کمک سنسور RTD[1]

در ترانسفورماتورهای نوع خشک ، حرارت ایجاد شده در سیم پیچ به هر دلیلی (افزایش بار و یا اتصال کوتاه) مستقیما باعث گرم شدن عایق اطراف سیم پیچ می‌شود. لذا برای کنترل دمای این نوع ترانسفورماتورها از سنسورهای RTD استفاده می‌شود. این سنسورها به کلید قطع و فن مربوط به ترانسفورماتور فرمان می‌دهند.



شکل ۲۶-طرح واره ی عملکرد سیستم کنترل دما توسط RTD

۱)آشکارساز مقاومت حساس به دما Resistance Temperature Detector

خود را بیازمایید

۱) در ترمومتر سیم پیچ ازکدام سمت ترانسفورماتور جریان را نمونه برداری می‌کنند؟

۲) ترمومتر سیم پیچ چگونه دمای سیم پیچ ترانسفور ماتور را اندازه می‌گیرد؟

۳) برای اندازه گیری دمای ترانسفورماتورهای خشک از .....استفاده می‌شود.

۵-۴- رطوبت گیر (محفظه سلیکاژل)

وجود رطوبت در روغن باعث کاهش مقاومت عایقی آن می‌شود و با پایین آمدن مقاومت عایق احتمال شکست عایق و اتصال کوتاه داخلی در ترانسفورماتور بالا می‌رود. به همین دلیل در ترانسفورماتورهای روغنی با مخزن انبساط باید از نفوذ رطوبت و گرد غبار به داخل ترانسفورماتور جلوگیری کرد.

شکل ۲۷-رنگ ماده رطوبت گیر قبل و بعد از جذب رطوبت

برای جلوگیری از نفوذ رطوبت بداخل ترانسفورماتور قسمت فوقانی مخزن انبساط از طریق یک لوله به محفظه شیشه ای حاوی مواد رطوبت گیر (سلیکاژل) متصل می‌شود. وجود این ماده سبب جذب رطوبت در هنگام ورود هوا به داخل می‌گردد و در نتیجه هوای خشک وارد مخزن می‌شود.(یعنی از ورود رطوبت به داخل ترانسفورماتور جلوگیری می‌کند). رنگ ماده رطوبت گیر در حالت عادی ، آبی پر رنگ است و با جذب رطوبت رنگ آن تغییر می‌کند بطوریکه ابتدا به بنفش وسپس به رنگ صورتی و سفید تغییر رنگ می‌دهد.

وقتی رنگ ماده رطوبت گیر تغییر کرد یعنی از رطوبت اشباع شده است و دیگر توان انجام وظیفه خود را ندارد لذا باید نسبت به تعویض فوری آن در چنین شرایطی اقدام نمود.

خود را بیازمایید

۱) محفظه شیشه ای رطوبت گیر درچه قسمتی از ترانسفورماتور قرار دارد؟

۲) رنگ ماده (سلیکاژل) رطوبت گیر در صورت اشباع شدن از رطوبت به رنگ.....در می‌آید.

۳) از رطوبت گیر در ترانسفورماتورهای..... استفاده می‌شود.

(روغنی با مخزن انبساط- روغنی با مخزن بسته- خشک)

۵-۵-روغن نما

یکی از وظایف مهم روغن جذب دمای سیم پیچ و انتقال آن به بدنه رادیاتوری ترانسفورماتور جهت پایین آوردن دمای سیم پیچ و خنک کنندگی آن است. بدین ترتیب در صورت نشتی مخزن انتقال دما بخوبی انجام نگرفته و دمای سیم پیچ ها بالا خواهند رفت. در نتیجه اگر برق ترانسفورماتور قطع نشود این وسیله حتما خواهد سوخت. لذا برای کنترل سطح روغن ترانسفورماتور از روغن نما استفاده می‌شود.

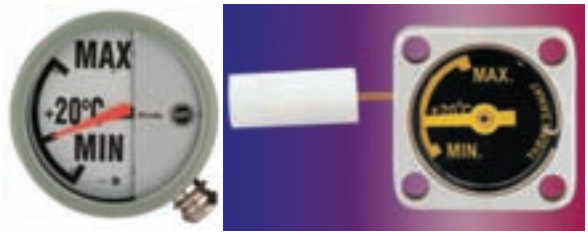
دو نوع روغن نما وجود دارد:

روغن نمای عقربه ای(در ترانسفورماتورهای با مخزن انبساط)

روغن نمای چشمی(در ترانسفورماتورهای با مخزن بسته)

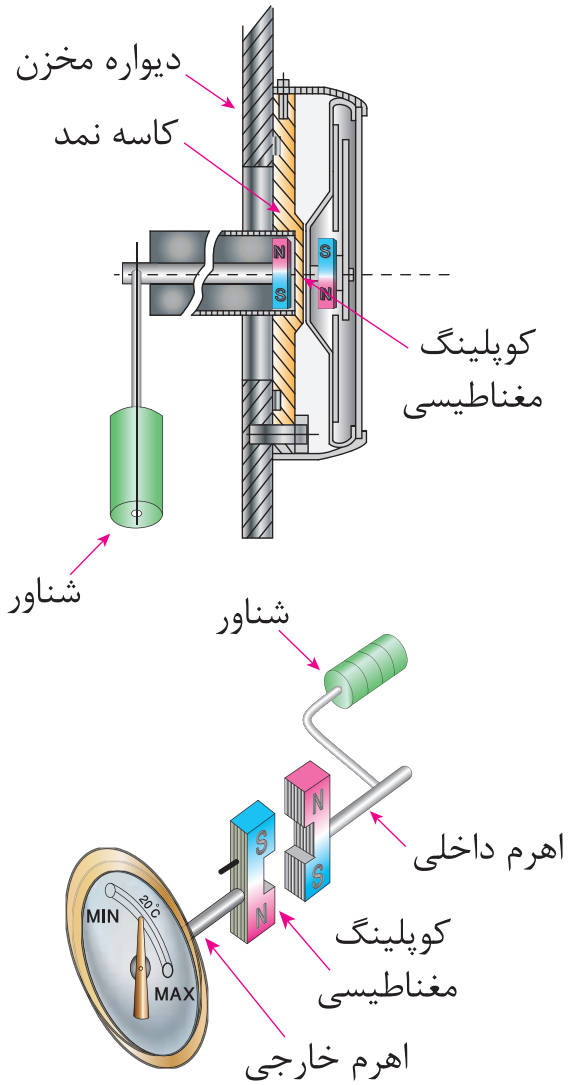
۵-۵-۱-روغن نمای عقربه ای

روغــن نمای عقربه ای بر روی منبع انبســاط نصب می‌شــود. برخی از این روغن نماهــا دارای دو کنتاکت بوده که یکی برای ارســال فرمــان آلارم و دیگری برای فرمان قطع به کار می‌رود.



شکل ۲۸-انواع روغن نماهای عقربه ای

روغن نما دارای شــناوری است که انتهای آن با یک اهرم و کوپلینگ مغناطیســی مناسب به نشانگر متصل است. در صورت حرکت شناور بدلیل تغییر سطح روغن، اهرم حرکت (شعاعی) کرده و نیرو را از طریق کوپلینگ مغناطیسی به عقربه روی صفحه منتقل می‌کند. صفحه روغن نما بین محدوده ی MAX و MIN مدرج شده اســت. در شــرایط عادی و دمــای ۲۰ درجه ی محیط عقربه باید حد میانی را نشــان دهد. مسلما در دماهای متفاوت محیط، محل ایســتادن عقربه متفاوت بوده که باید توسط بازدید کننده مورد توجه قرار گیرد.



شکل ۲۹-ساختمان داخلی روغن نمای عقربه ای

۵-۵-۲- روغن نمای چشمی

در ترانســفورماتورهای روغنی با مخزن بسته برای حصول اطمینان از سطح روغن در بدنه سوراخی به عمق مورد اطمینان تعبیه می‌شــود. برای نشان دادن سطح روغن لوله ای حــاوی یک گوی روغن نما که از محیط بیرون ایزوله شــده اســت، داخل این ســوراخ جاسازی می‌شود. قرار داشــتن این گوی در بالای نشانه مناسب بودن سطح روغن است. بعضی از این روغن نما ها دارای دو کنتاکت جهت فرمان آلارم وقطع می‌باشند.

شکل ۳۰-روغن نمای چشمی

خود را بیازمایید

۱) انواع روغن نماها را در ترانسفورماتور نام ببرید.

۲) صفحه مدرج روغن نمای عقربه‌ای چگونه عددگذاری شده ودر شرایط عادی عقربه چه عددی را نشان میدهد؟

۳) روغن نمای چشمی در ترانسفورماتورهای .....کاربرد دارد.

۴) دلیل استفاده از کنتاکتهای آلارم و قطع در روغن نما چیست؟

۵-۶-شیر فشار شکن یا شیر اطمینان[۱]

در هنگام افزایش بیش از حد فشار داخلی مخزن بر اثر ایجاد گازهای ناشی از اتصال کوتاه این شیر بطور خودکار عمل نموده و روغن با فشار از این شیر بیرون می ریزد تا از وقوع انفجار جلوگیری کند. به همین دلیل به این وسیله شیر اطمینان نیز می‌گویند. بعضی از این شیرها دارای یک کنتاکت قطع نیز می‌باشند تا در زمان عملکرد ، به ترانسفورماتور فرمان قطع نیز بدهد.

شکل ۳۱-شیر فشار شکن

۵-۷-فشار و خلاء سنج[۲]

این وسیله فقط در ترانسفورماتورهای روغنی با مخزن بسته مورد استفاده قرار می‌گیرد و وظیفه آن نمایش فشار داخلی مخزن می‌باشد. صفحه نمایش این وسیله معمولا از (۱۵- تا ۱۵+) PSI معادل (۱- تا ۱+) bar بر اساس دو واحد رایج فشار مدرج شده است.

۱) Pressure Relief Valve
۲) Pressure and Vacuum Gauge

شکل ۳۲-فشار سنج

۵-۸-رله فشار ناگهانی[۱]

پس از وقوع خطاهایی که ایجاد گاز می‌کنند ، روغن داخل ترانسفورماتور گرم شده و افزایش حجم می‌دهد. به همین دلیل در ترانسفورماتورهای روغنی با مخزن انبساط برای محافظت در برابر این پدیده از رله بوخهلتس استفاده می‌گردد ولی چون در ترانسفورماتورهای با مخزن بسته، منبع انبساط وجود ندارد در نتیجه گاز بالای روغن متراکم تر شده و فشار آن افزایش می یابد. بنابراین کار این رله آشکار کردن فشار ناگهانی گاز بالای روغن است. اگر این فشار بطور ناگهانی و آنی رخ دهد کنتاکت رله جهت قطع برق ترانسفورماتور عمل میکند. این رله فقط در ترانسفورماتورهای روغنی با مخزن بسته از نوع بالشتک گازی کاربرد دارد و وظیفه ای مشابه رله بوخهلتس (البته بجز محافظت در برابر نشتی روغن) در ترانسفورماتورهای با مخزن انبساط دارد.

شکل ۳۳-رله فشار ناگهانی

خود را بیازمایید

۱) فشارسنج در چه ترانسفورماتورهایی استفاده می‌شود؟

۲) عملکرد رله فشار ناگهانی در ترانسفورماتور با مخزن بسته چگونه است؟

۵-۹-رله چند منظوره[۲] (DGPT۲)

این رله در ترانسفورماتورهای روغنی با مخزن بسته کاربرد دارد و معمولا برای ترانسفورماتورهای با قدرت بالاتر از ۶۳۰KVA مورد استفاده قرار می‌گیرد. این وسیله حفاظتی شامل مجموعه ای از رله های فشار گاز، افزایش دما و کنترل سطح روغن می‌باشد . رله‌ی مربوط به افزایش دما دارای دو کنتاکت جهت ارسال فرمان آلارم و تریپ و بقیه رله ها فقط دارای یک کنتاکت جهت قطع مدار می‌باشند.

این رله به لحاظ کاربردی همتای رله بوخهلتس در ترانسفورماتورهای روغنی با مخزن انبساط است و به آن رله‌ی چند منظوره می‌گویند.

شکل ۳۴ - رله چند منظوره DGPT۲

۱) Sudden Pressure Relay

۲) Dial Gauge ,Pressure ,Temperature With ۲ Contact

۲

خود را بیازمایید

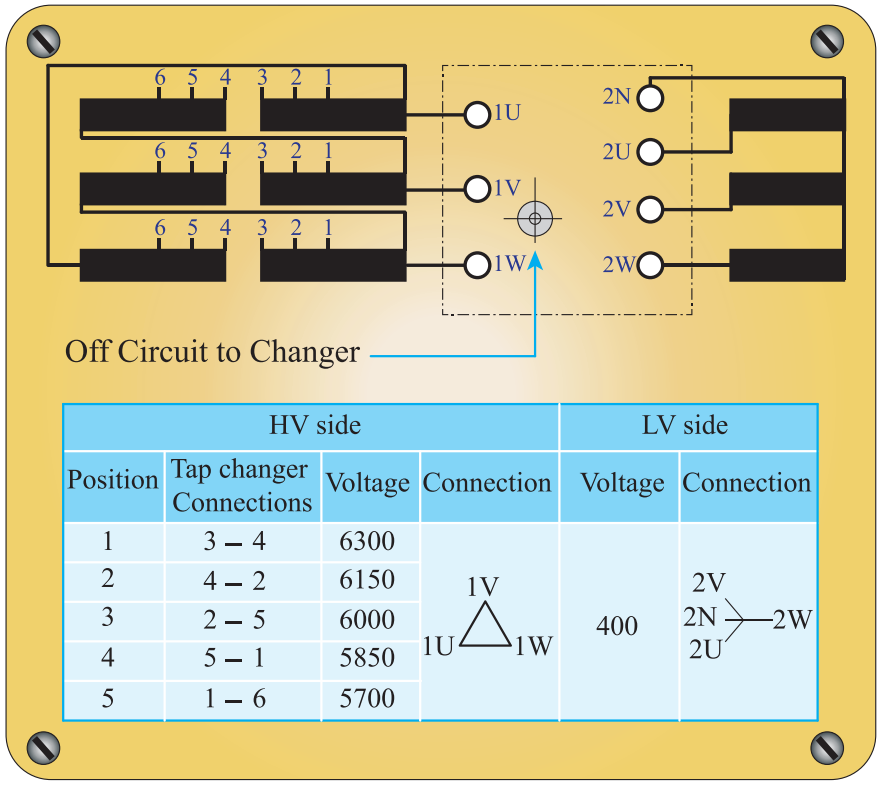
۱) رلـه چند منظـوره را با رله بوخهلتس مقایسـه کنید؟

۵-۱۰-کلید تنظیم ولتاژ[1]

برای اینکه بتوان ولتاژ شبکه در ثانویه ترانسفورماتور را در حـد مطلـوب نگه داشـت از کلید تنظیـم ولتاژ اسـتفاده می‌شـود. این کلید مانند یک سلکتورسوئیچ چنـد پلـه (معمولا ۵ پلـه) عمل می‌کنـد. از آنجا که درترانسفورماتورهای توزیع سمت اولیه جریان کمتری نسـبت به ثانویه دارد لذا سـطح مقطع هادی نسبت به طرف دیگر کمتر است. به همین دلیل این کلید تنظیم ولتاژ در سـمت فشـار قوی نصب می‌شود. مقادیر ولتاژ مورد نظر در کنار هر وضعیت کلید حک شـده اسـت.

در کلید تنظیم ولتاژ ، سیسـتم قفل کننده‌یی روی آن پیش بینی شده اسـت تا اتصال کلید در وضعیت خود محکم باشـد. تغییـر محل دادن کلید بسـته به قدرت ترانسـفورماتور و ابعاد واندازه کلید ممکن است دستی و یا موتوری باشـد. میزان تنظیم ولتاژ در هر پله کلید غالبا از ۲/۵ درصد بیشتر نیست. بهره بردار بنا به شرایط ولتـاژ خروجی می‌تواند پله مناسـب را انتخاب کرده و ولتاژ خروجی را بر آن اساس تنظیم کند.

معمولا برای دستیابی به هر ولتاژ در ترانسفورماتورها محل قرار گیری tap روی پلاک مشخص می‌شود. لازم به ذکر اسـت که برای تغییر ولتاژ ترانسـفورماتورهای خشـک بجای کلید تنظیم ولتـاژ از ترمینالهای بیرون آمده از سـیم پیچ مطابق شکل (۱۹) استفاده می‌شود. چگونگی اتصال ترمینال ها برای ولتاژهای مختلف روی پلاک این ترانسفورماتورها مشخص می‌شوند.



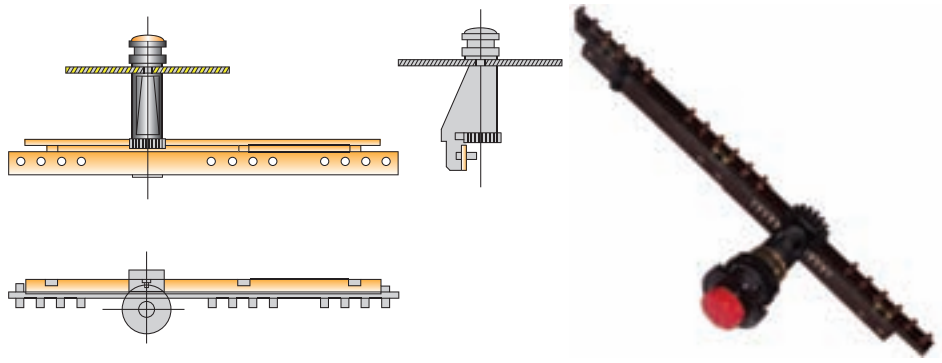
HV side				LV side	
Position	Tap changer Connections	Voltage	Connection	Voltage	Connection
1	3 – 4	6300	1V, 1U, 1W	400	2V, 2N, 2U, 2W
2	4 – 2	6150			
3	2 – 5	6000			
4	5 – 1	5850			
5	1 – 6	5700			

شکل ۳۵-چگونگی اتصالات کلید تنظیم

انواع کلید های tap changer عبارتند از :

۵-۱۰-۱-کلید از نوع Off Load

در این کلید ها ، هنگام برقدار بودن ترانسفورماتور امکان تنظیم ولتاژ وجود ندارد. در نتیجه بهره بردار باید قبل از تنظیم ولتاژ برق ترانسفورماتور را قطع کند.



شکل ۳۶- کلید تنظیم ولتاژ off-load

۵-۱۰-۲-کلید از نوع On Load

این کلیدها با تغییر خودکار وضعیت کلید ، ولتاژ خروجی ترانسفورماتور را ثابت نگه می دارند. مسلما این کلیدها بسیار گرانتر از کلیدهای Off Load می‌باشند و در ترانسفورماتورهای توزیع بندرت استفاده می‌شوند.

خود را بیازمایید

۱) وظیفه کلید تنظیم ولتاژ چیست؟

۲) کلید تنظیم ولتاژ در کدام قسمت از ترانسفورماتور قرار میگیرد؟ چرا؟

۳) انواع کلیدهای تنظیم ولتاژ را نام برده تفاوت آنها را بنویسید.

تحقیق کنید

چرا در ترانسفورماتورهای خشک از کلید تنظیم ولتاژ استفاده نمی‌شود؟

۵-۱۱-پیچ اتصال بدنه

برای حفاظت اشخاص در برابر برق گرفتگی بدنه فلزی کلیه دستگاههایی که با برق کار می‌کنند، بطور مناسب باید به زمین[۱] متصل شوند. ترانسفورماتورها نیز از این امر مستثنی نیستند. بنابراین سازندگان غالبا روی بدنه ترانسفورماتور دو پیچ جهت اتصال بدنه ترانسفورماتور به سیم زمین پیش بینی می‌کنند. تا ترانسفورماتور پس از نصب حتما به سیم زمین پست متصل گردد.

شکل ۳۷-محل اتصال سیم زمین

۵-۱۲-جعبه ترمینال[۲]

برق ورودی به ترانسفورماتورهای توزیع معمولا از طریق سیم هوایی یا کابل متصل می‌شود. همچنین برق خروجی این نوع ترانسفورماتورها غالبا از طریق کابل

۱) Earthing System
۲) Terminal Box

الف) ترانسفورماتور با جعبه ترمینال

ب) ترانسفورماتور بدون جعبه ترمینال

شکل ۳۸-اتصال کابل به ترانسفورماتور

وصل می گردند. سازنده ی ترانسفورماتور می‌تواند برای انجـام اتصالات، جعبه ترمینال در نظر بگیرد. مخصوصا در ترانسـفورماتورهایی کـه تعـداد کابلها زیاد اسـت، استفاده از جعبه ترمینال یک مزیت بشمار می‌آید.

۵-۱۳-بوشینگ[۱]

بوشـینگ وسـیله‌ای برای اتصال هادیهـای داخل ترانسفورماتور و ارتباط آن با بیرون مخزن ترانسفورماتور می‌باشد. این وسیله از یک استوانه ضخیم عایق ساخته شده که از درون آن هادی عبور می‌کند. این استوانه در محـل اتصال با بدنه مخزن ترانسـفورماتور های روغنی باید کاملا آب بندی شـود. لذا از واشـرها و حلقه های مسـتحکم در آن اسـتفاده می‌شـود. نوع بوشینگ بر اسـاس ولتاژ هادی، جریان عبوری از آن، شـرایط آب و هوایـی و میزان آلودگی محیط، انتخاب می‌شـود. در سـطح ولتاژهای توزیع معمولا از بوشینگ های چینی (porcelain) اسـتفاده می‌شـود. البته بوشـینگ با عایق رزینی نیز وجود دارد که به آن بوشـینگ سوکتی (plug in) می‌گویند. قیمت این بوشینگها خیلی گرانتر اسـت و در مناطقی که آلودگی محیطی آن زیاد باشد، کاربرد دارد. در صورت استفاده از این نوع بوشینگ ابعاد جعبه ترمینال بسیار کوچکتر می‌شود که از مزایای آن به شمار می‌آید. در شـکل(۳۹) انواع بوشینگهای فشار قوی KV ۲۴ و فشار ضعیف نشان داده شده است.

الف) بوشینگ سوکتی

ب) بوشینگ چینی فشار ضعیف

ج) بوشینگ چینی فشار قوی

شکل ۳۹-انواع بوشینگ

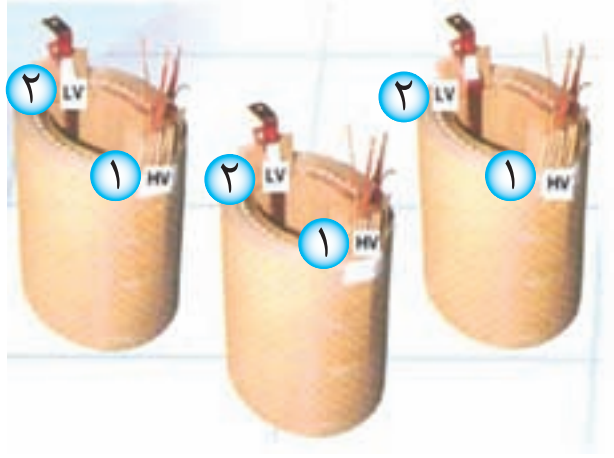
۱ Bushing

بوشـینگهای سمت فشار قوی ترانسفورماتور باید به جرقه گیر مجهز باشند. این جرقه گیرها ترانسفورماتور را در مقابـل ورود ولتاژهـای زیـاد حاصـل از برخورد صاعقه یا کلیدزنی محافظت می‌کنند . ولتاژ ایجاد شده از طریق شـاخک به بدنه ترانسفورماتور و از آنجا توسط سیم (Earth Wire) به سیستم زمین هدایت می‌شود. فاصله بین شـاخکهای جرقه گیر با توجه به اسـتاندارد قابل تنظیم است.

خود را بیازمایید

۱) ساختمان بوشینگ را مختصر توضیح دهید ؟

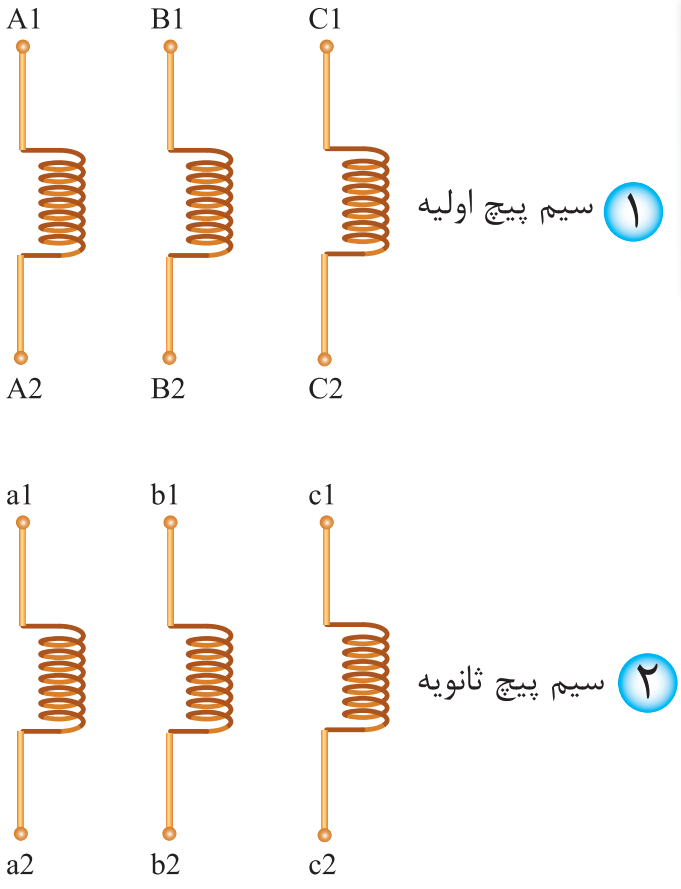
۲) وظیفه جرقه گیر در ترانسفورماتور چیست و در کجا نصب می‌شود ؟



۶-انواع اتصالات مورد استفاده در ترانسفورماتورهای سه فاز

ترانسـفورماتور سـه فاز از سه سـیم پیچ در سمت اولیه و سه سیم پیچ در سمت ثانویه تشکیل شده است که هر یک از این سـیم پیچها دارای سـه سر و سه ته می‌باشند.

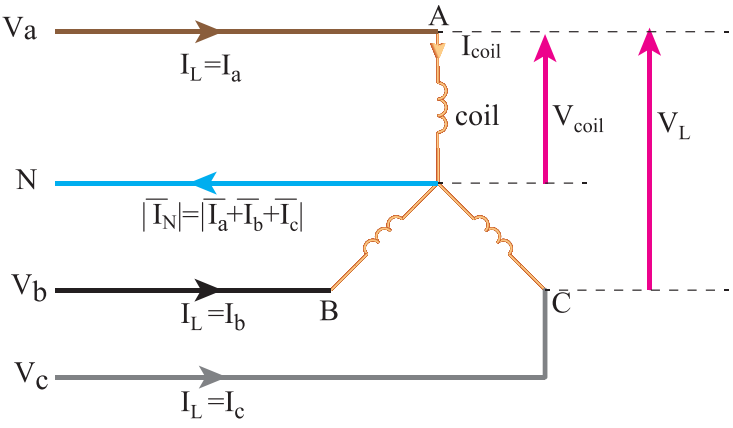
سیم پیچهای هر طرف ترانسفورماتور را می‌توان به صورت ستاره ،مثلث و یا زیگزاگ به هم متصل نمود.

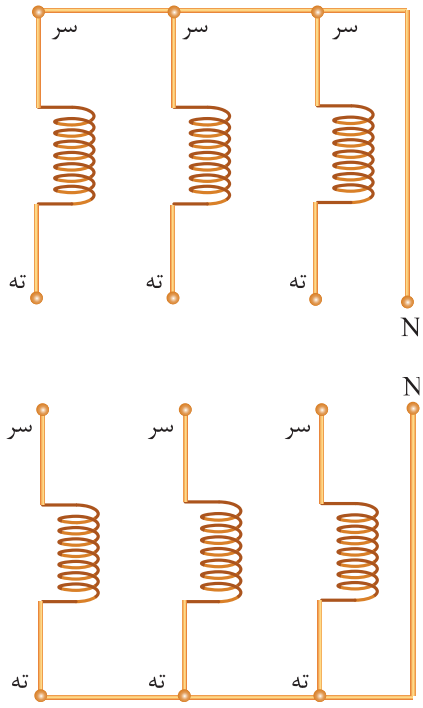


شکل ۴۰ – سیم پیچهای ترانسفورماتور سه فاز

۶-۱-اتصال ستاره

در اتصال سـتاره سـه سر یا سـه ته مجموعه سیم پیچهـا را به هم اتصـال داده و طرف دیگر را به صورت آزاد برای اتصال به شـبکه باقی می‌گذارند. بدین ترتیب این اتصال را اتصال ستاره می نامند و آن را به اختصار با حرف Y بزرگ درسمت اولیه و حرف y کوچک درسمت ثانویه نمایش می‌دهند.





شکل ۴۱ – اتصال ستاره

از خصوصیات مهم این اتصال می‌توان به موارد زیر اشاره کرد :

- جریان عبوری از هر بوبین با جریان همان خط برابر است .

$$I_L = I_{Coil}$$

- ولتاژ دو سر بوبین به اندازه ولتاژ فازی می‌باشد و از ولتاژ خط $\sqrt{3}$ برابر کوچکتر است.

$$V_{Coil} = \frac{V_L}{\sqrt{3}}$$

- ولتاژ سیم پیچ 30° از ولتاژ خط ، پس فاز یا عقبتر است.

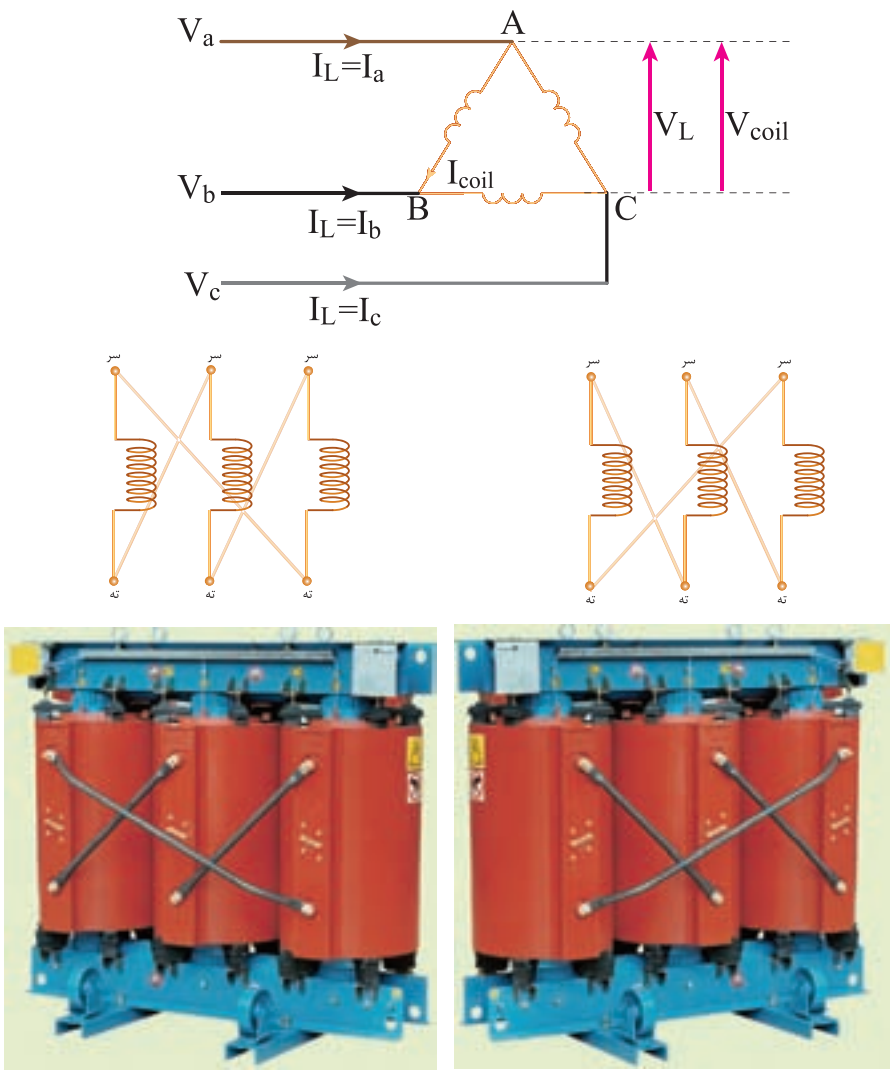
با استفاده از این اتصال می‌توان به نقطه خنثی(یا صفر) ترانسفورماتور یعنی مرکز اتصال ستاره و محل تعادل جریان سه فاز $\vec{I}_N = \vec{I}_a + \vec{I}_b + \vec{I}_c$ نیز دست یافت. اگر مرکز خنثی ترانسفورماتور از طریق سیم به بیرون آورده شده باشد و در دسترس قرار گیرد بعد از علامت اتصال ستاره (Y) یک حرف n نیز اضافه می‌شود . برای مثال (Yn) دلالت بر دسترسی به نقطه خنثی اتصال ستاره دارد.

۶-۲-اتصال مثلث

هرگاه سه سیم پیچ را مطابق شکل (۴۲) به صورت یک دنباله یعنی ابتدای یک سیم پیچ را به انتهای دیگری اتصال داده تا سه سیم پیچ تشکیل یک حلقه دهند ، اتصال مثلث ایجاد خواهد شد .

این اتصال نیز می‌تواند مطابق شکل (۴۲) به یکی از دو حالت نشان داده شده اجرا شود.

در هر دو اتصال مطابق شکل (۴۲) ، سیم پیچ‌ها



شکل ۴۲- اتصال مثلث

می‌توانند از یک سمت (سر و یا ته) به ترمینال خروجی متصل شوند. از خصوصیات مهم این اتصال عبارتند از:

- برابری ولتاژ دو سر هر بوبینی با ولتاژ خط $V_{Coil} = V_L$
- در صورت متعادل بودن بار سه فاز ، جریان عبوری از هر سیم پیچ به اندازه $\sqrt{3}$ برابر از جریان خط کوچکتر است. $I_{coil} = \frac{I_L}{\sqrt{3}}$
- جریان خط از جریان عبوری از هر سیم پیچ 30° پیش فاز است .

اتصال مثلث را با اختصار با حرف D بزرگ در سمت اولیه ترانسفورماتور وحرف d کوچک در سمت ثانویه نمایش می‌دهند .

۶-۳-مقایسه اتصال مثلث و اتصال ستاره در سیم پیچ های ترانسفورماتور

چون ولتاژ دو سر هر سیم پیچ در اتصال ستاره $V_{Coil} = \frac{V_L}{\sqrt{3}}$ و در اتصال مثلث $V_{Coil} = V_L$ است، در نتیجه برای ایجاد نیروی محرکه مغناطیسی (mmf) مساوی لازم است ، در اتصال مثلث تعداد دور سیم پیچ برای هر فاز $\sqrt{3}$ برابر بیشتر از اتصال ستاره شود و دیگر آنکه جریان عبوری از هر سیم پیچ و جریان خط در

اتصال ستاره با هم برابرند در صورتیکه در اتصال مثلث به شرط متعادل بودن بار سه فاز جریان خط $\sqrt{۳}$ برابر از جریان سیم پیچ بیشتر است. بنابراین اگر جریان خط در دو اتصال با هم برابر باشند، در اتصال مثلث می‌توان سطح مقطع سیم را کمتر در نظر گرفت.

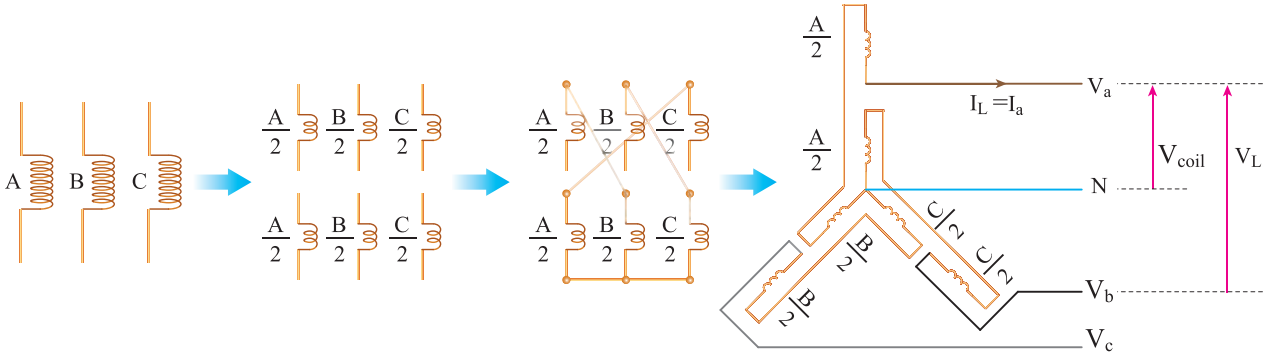
در نتیجه در ولتاژ های بالا ، اقتصادی تر آنست که از اتصال ستاره و در جریانهای زیاد از اتصال مثلث استفاده شود. زیرا در جریانهای زیاد مقطع هادی سیم پیچ نسبت به اتصال ستاره کمتر است و در ولتاژهای بالا تعداد دور سیم پیچ اتصال ستاره نسبت به اتصال مثلث کمتر است.

البته اگر دسترسی به مرکز خنثی در هر سمت ترانسفورماتور مد نظر باشد باید از اتصال ستاره در همان طرف استفاده کرد.

۶-۴-اتصال زیگزاگ

این اتصال مخصوص ترانسفورماتورها است و در دیگر تجهیزات برقی صورت نمی پذیرد ، همچنین از این اتصال فقط در ثانویه ترانسفورماتور استفاده می‌شود. برای انجام این اتصال مطابق شکل(۴۳) هر بوبین به دو قسمت مساوی تقسیم می‌شود . بنابراین شش بوبین خواهیم داشت. نیمی از بوبین ها (نیمه بالایی یا پایینی) را بصورت ستاره با یکدیگر اتصال می‌دهند. آنگاه ادامه هر بوبین متصل به اتصال ستاره ، با بوبین مربوط به فاز دیگر در جهت عکس سری می‌شود.

به همین خاطر این اتصال را ، بنام اتصال ستاره شکسته نیز می شناسند. چگونگی این اتصال در شکل (۴۳) ملاحظه می‌شود.



شکل ۴۳-اتصال زیگزاگ

جریان عبوری از بوبین اتصال زیگزاگ با حالت اتصال ستاره برابر می‌باشد، در حالی که ولتاژ فازی اتصال زیگزاگ از اتصال ستاره کمتر است.

از مزایای این اتصال جاری شدن جریان یک فاز در دو ستون هسته ترانسفورماتور می‌باشد. این موضوع سهم بسزایی در متعادل کردن جریان در سمت فشار قوی ترانسفورماتور دارد. به همین جهت در صنعت از این اتصال در سمت ثانویه ترانسفورماتور استفاده می‌شود .

همچنین در این اتصال امکان دسترسی به نقطه خنثی سیم پیچ وجود دارد. که از دیگر مزایای این اتصال به شمار می‌رود. اتصال زیگزاگ را باختصار با Z نمایش می‌دهند.

خود را بیازمایید

۱) اتصال ستاره سیم پیچهای ترانسفورماتور سه فاز را رسم وروابط ولتاژ وجریان آنها را بنویسید.

۲) برای ایجاد نیروی محرکه مغناطیسی مساوی ، تعداد دور و سطح مقطع سیم پیچ را در دو اتصال ستاره و مثلث مقایسه کنید.

۳) اتصال زیگزاگ در کدام سمت از ترانسفورماتور استفاده شده و چه مزیتی نسبت به اتصال ستاره دارد؟

تحقیق کنید

رابطه ی ولتاژ فاز با ولتاژ خط در این اتصال چگونه است؟

۷- تقسیم بندی ترانسفورماتورهای سه فاز بر اساس نوع اتصال ورودی و خروجی

هر ترانسفورماتور سه فاز حداقل دارای سه سیم پیچ در سمت اولیه و سه سیم پیچ در سمت ثانویه است. چنین ترانسفورماتورهایی را ترانسفورماتور سه فاز متقارن می نامند .

البته ترانسفورماتورهای سه فازی که از این قاعده مستثنی باشند نیز وجود دارند.

بر اساس سه نوع اتصال ذکر شده و مستقل از اینکه این اتصالات در سمت اولیه یا در سمت ثانویه ترانسفورماتور صورت گیرد انواع اتصالات متقارن عبارتند از:

۱. اتصال ستاره- ستاره Y – y
۲. اتصال مثلث- مثلث D – d
۳. اتصال ستاره- مثلث Y – d
۴. اتصال مثلث- ستاره D – y
۵. اتصال ستاره- زیگزاک Y – z
۶. اتصال مثلث- زیگزاک D – z

در ضمن اتصالات متقارن می‌تواند بصورتهای زیر نیز انجام پذیرد:

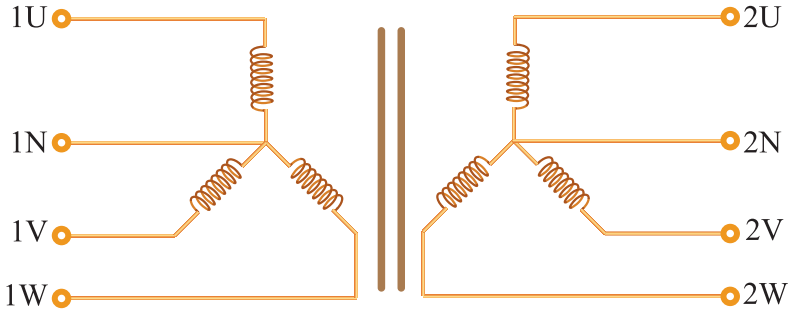
۷. اتصال زیگزاک – زیگزاک * Z – z
۸. اتصال زیگزاک – ستاره * Z – Y
۹. اتصال زیگزاک – مثلث * Z – D

از نقطه نظر صنعتی و به دلایل اقتصادی این سه نوع اتصال مورد توجه نبوده و انجام نمی‌گیرند.

موارد ۲،۳ نیز در شبکه‌های توزیع کاربرد نداشته لذا از توضیح آنها خودداری می‌شود.

۷-۱- اتصال ستاره – ستاره (Y-y)

این اتصال در ترانسفورماتورهای کوچک با قدرت کم و یا در جایی که در طرفین ترانسفورماتور دسترسی به نقطه خنثی مد نظر باشد کاربرد دارد . چگونگی این اتصال در شکل (۴۴) مشاهده می‌شود .



شکل ۴۴- ترانسفورماتور با اتصال ستاره-ستاره

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:

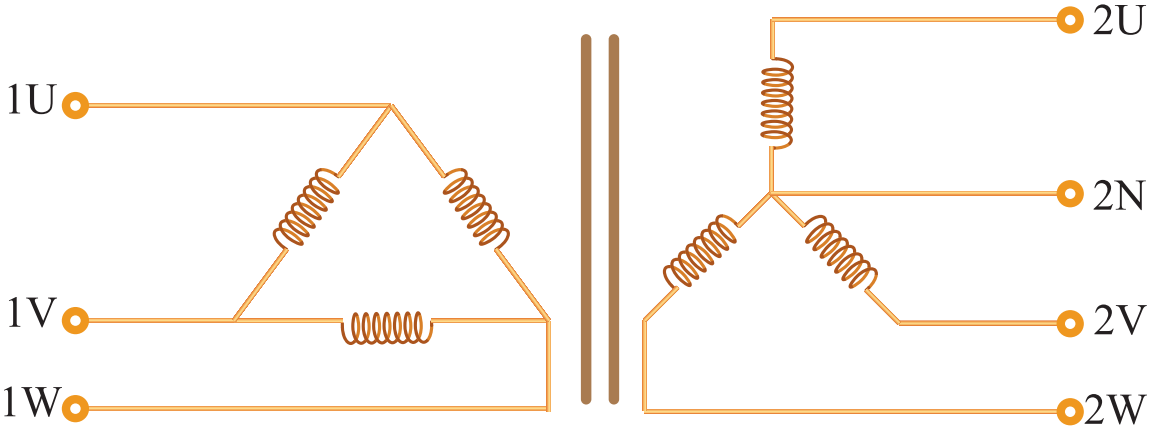
الف)جریان عبوری از هر بوبین ثانویه

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.

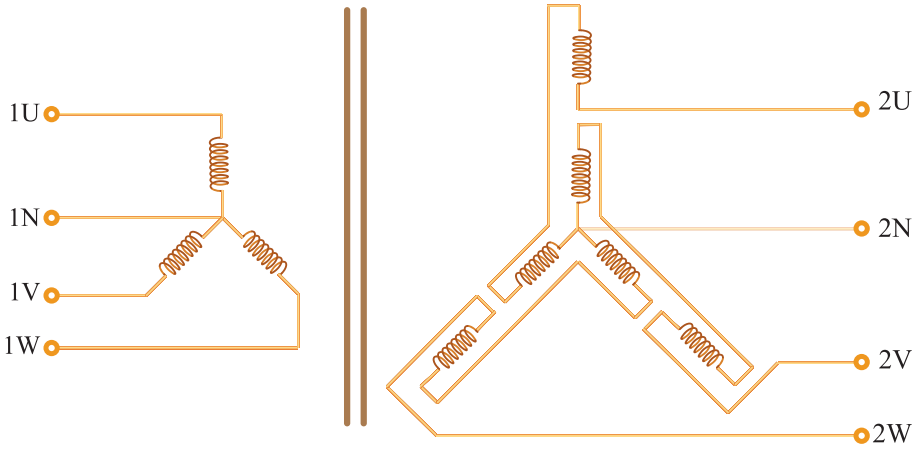
همانطور که در ارتباط با اتصال زیگزاگ گفته شد نیمی از سیم پیچهای آن بصورت ستاره به هم وصل می‌شوند و ادامه هر فاز (مثلا فاز ۱) با نیمه بوبین فاز ۲ بطور معکوس سری می‌شود این نوع اتصال سبب می‌شود که ولتاژ سیم پیچهای حالت زیگزاگ طبق رابطه (۱-۲) ۸۶٪ حالت ستاره می‌باشند.

$$V_{Coil-Zigzag} = \frac{\sqrt{3}}{2} V_{Coil-Star} \qquad (۲-۱)$$

با توجه به رابطه (۱-۲) 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

[1] $\frac{2}{\sqrt{3}} = 1/15$

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.

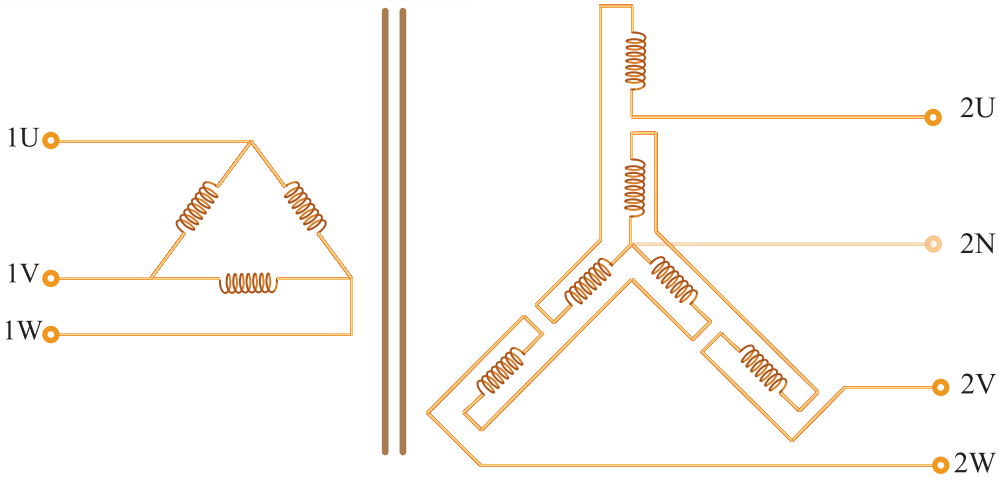
اما مزیت آن نسبت به دیگر اتصالات رفتار بسیار خوب این نوع ترانسفورماتور در مقابله با بارهای نامتعادل آنهم بدون محدودیت توان می‌باشد. به همین دلیل در شرایط بسیار خاص ممکن است توجیه اقتصادی داشته باشد. همچنین مشابه دیگر ترانسفورماتورهای توزیع مرکز اتصال و نقطه خنثی این ترانسفورماتور نیز به بیرون از ترانسفورماتور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

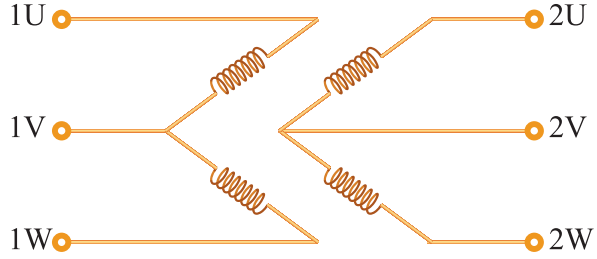
۷-۵- اتصال مثلث باز (V-V)

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.

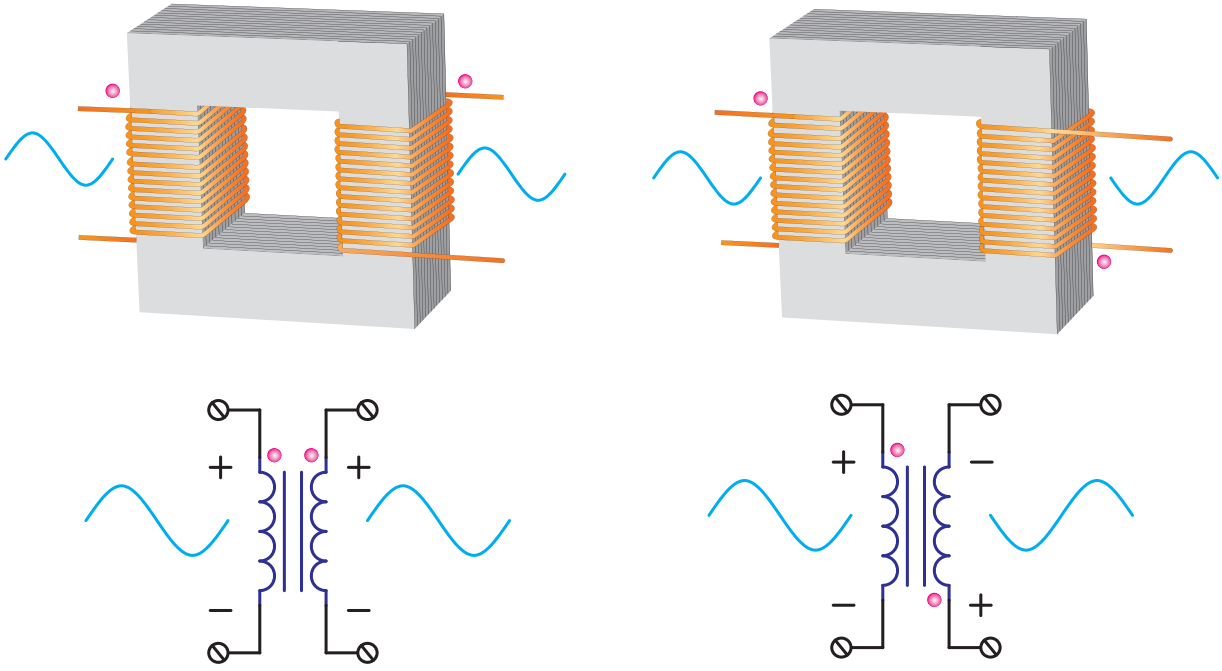
۲

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.

۲

تحقیق کنید

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

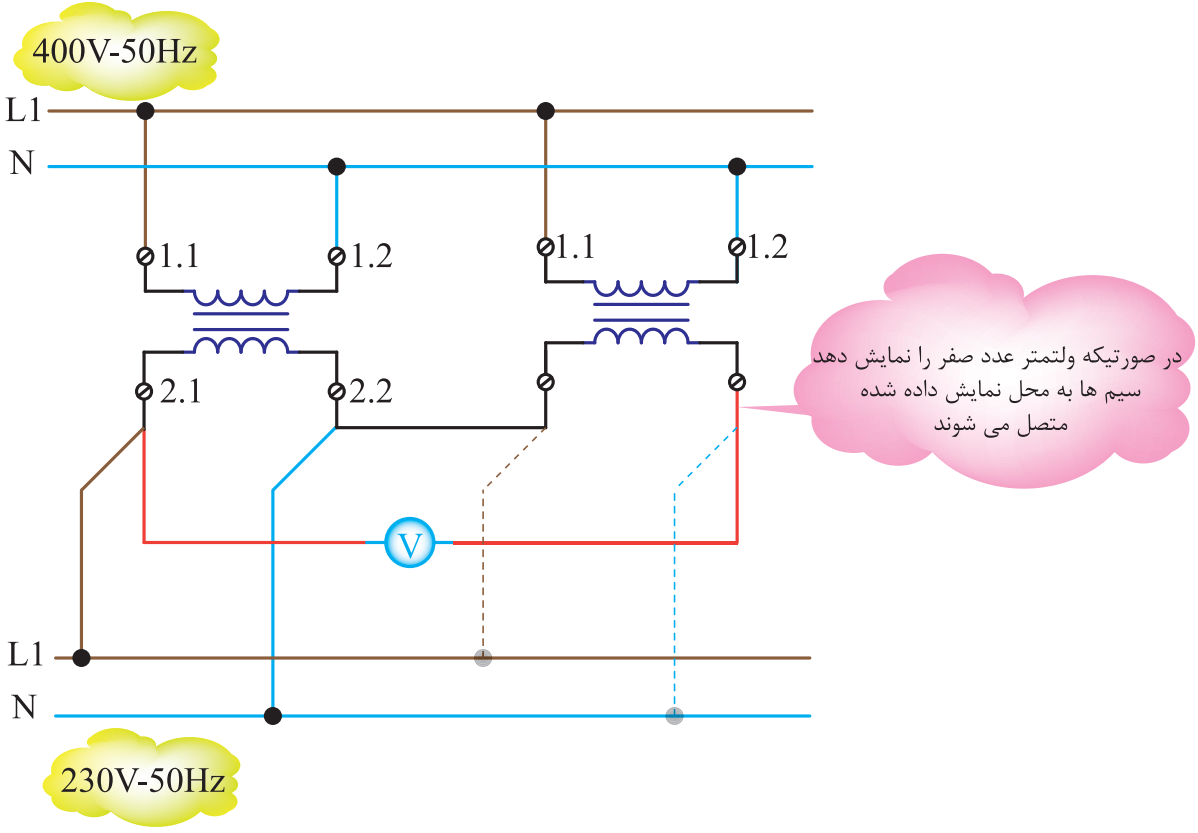
۹-۲-چگونگی موازی کردن دو ترانسفورماتور

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.

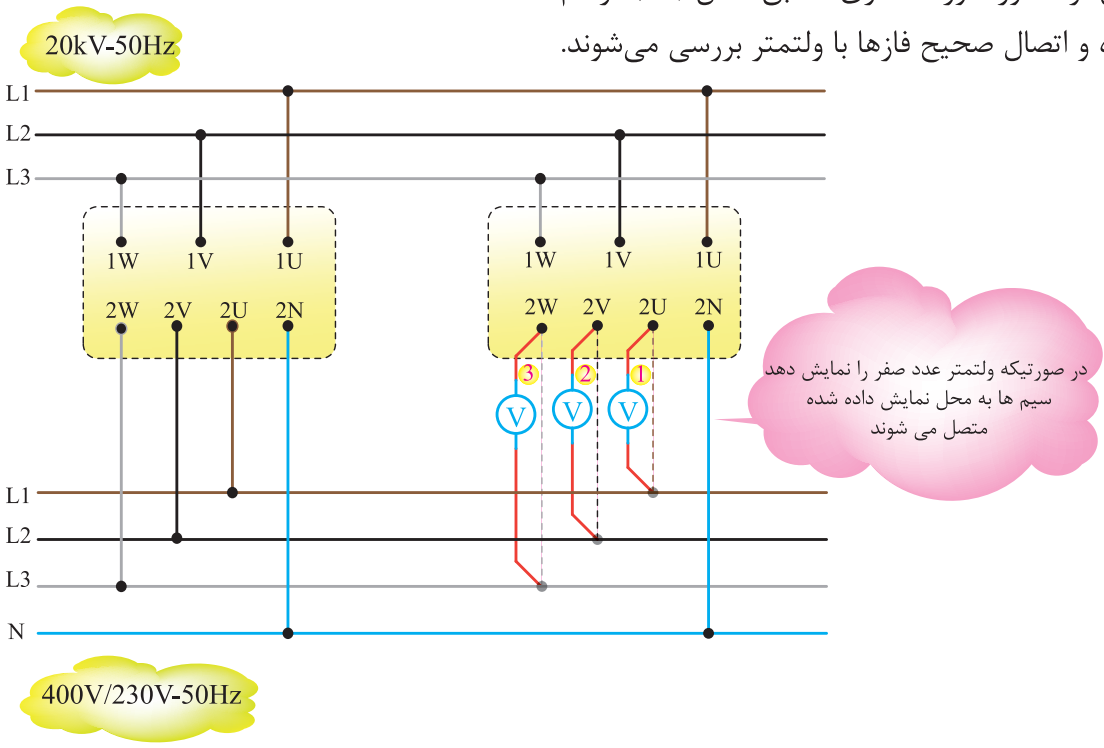


شکل ۵۰- موازی کردن ترانسفورماتورهای تکفاز

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.

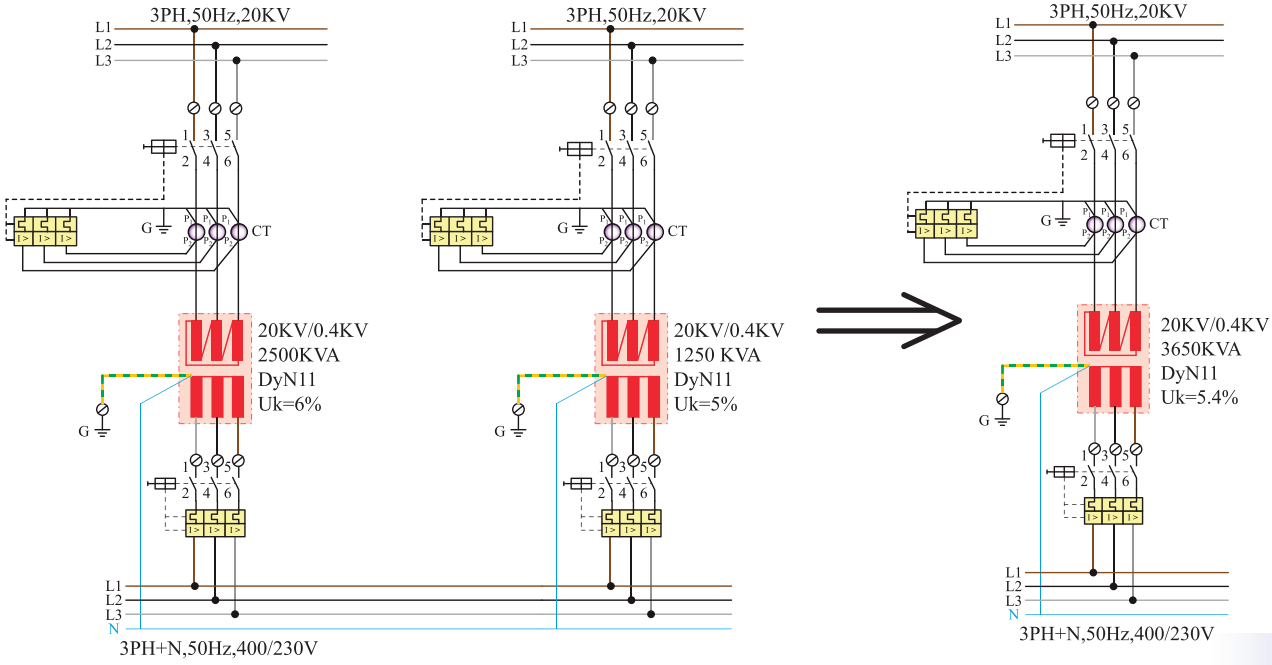
۵) شرایط اصلی و لازم برای موازی بستن ترانسفورماتورها را بطور کامل شرح دهید؟

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.

$$\frac{\sum S_N}{U_{k_{eq}}} = \frac{S_{N۱}}{U_{k۱}} + \frac{S_{N۲}}{U_{k۲}} + \frac{S_{N۳}}{U_{k۳}} + \ldots \qquad (۲ـ۵)$$

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.

$$U_{k_{eq}} = \frac{\sum S_N}{\frac{S_{N۱}}{U_{k۱}} + \frac{S_{N۲}}{U_{k۲}} + \frac{S_{N۳}}{U_{k۳}} + \ldots} \qquad (۲ـ۶)$$

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:

$S_{N۱} = ۴۰۰KVA$ $U_{k۱} = ۶\%$	$S_{N۱} = ۶۳۰KVA$ $U_{k۱} = ۵\%$	$S_{N۱} = ۸۰۰KVA$ $U_{k۱} = ۴\%$

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؟

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

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

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

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

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

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

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

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

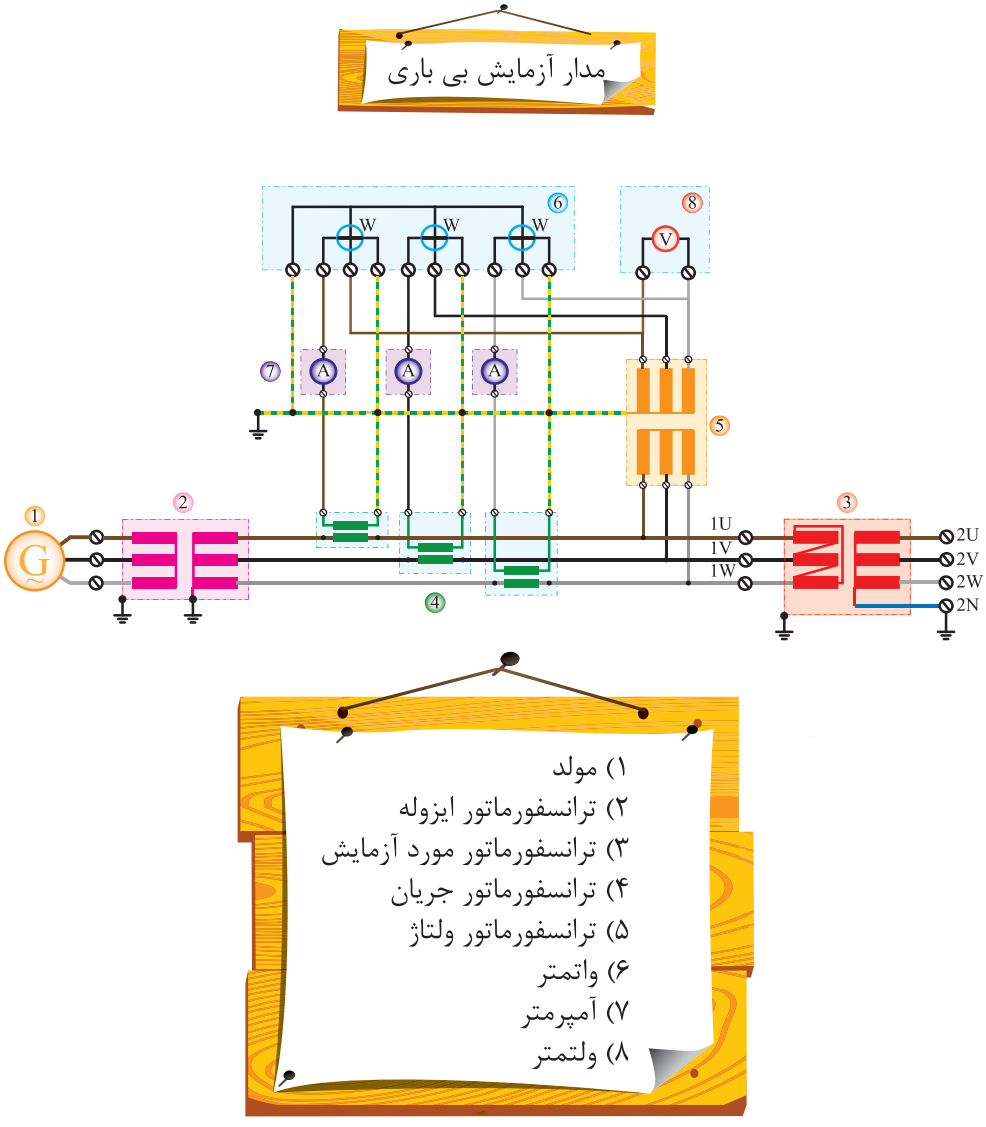
ملاحظه می‌شود ترانسفورماتور اول در وضعیت اضافه بار(over load) ،ترانسفورماتور دوم در وضعیت کاهش بار (under load) و ترانسفورماتور سوم در نزدیکی قدرت نامی ترانسفورماتور زیر بار رفته که مسلما شراکت بار بخوبی انجام نشده است.

خود را بیازمایید

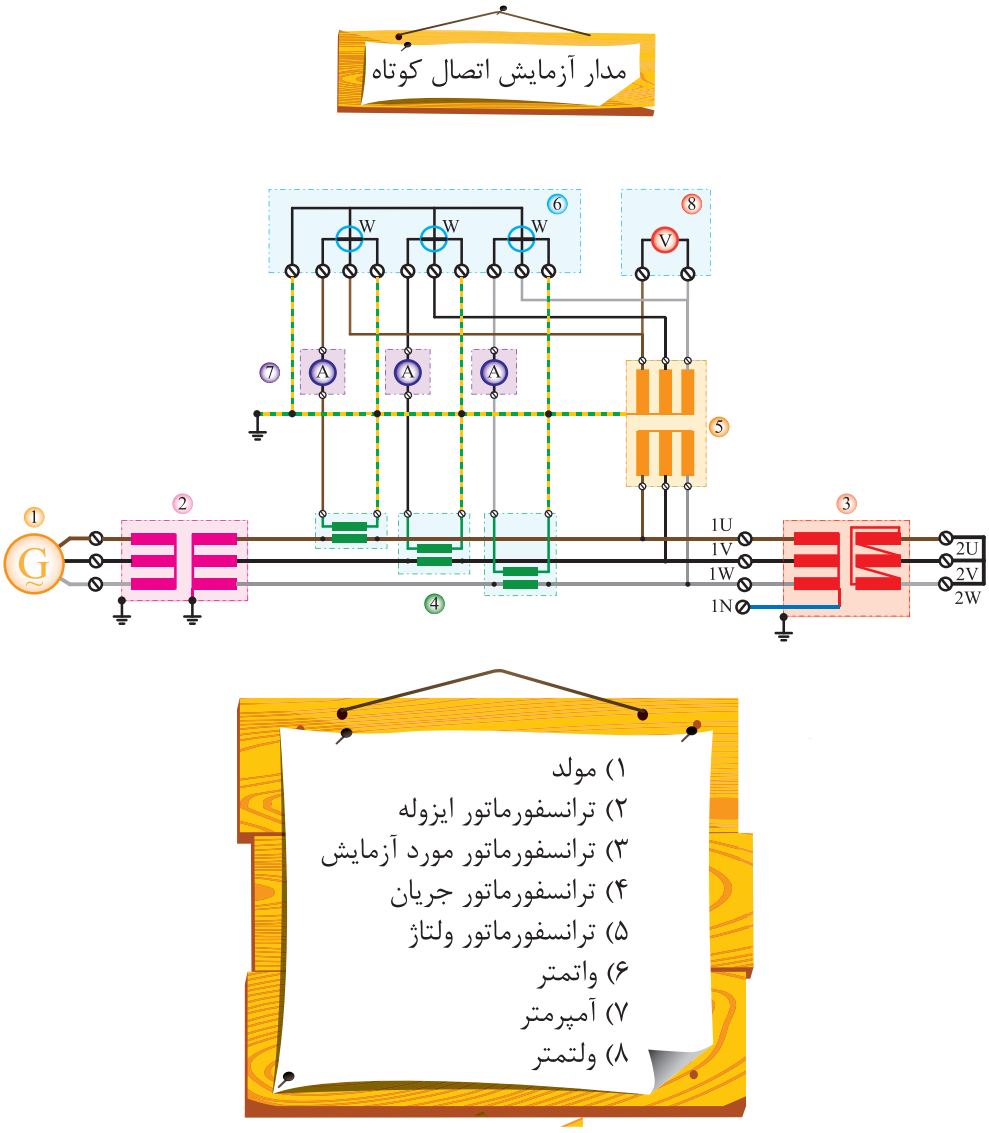
۱) دو ترانسفورماتورموازی با توانهای ۴۵ KVA و ۶۰ KVA به ترتیب دارای ولتاژ اتصال کوتاه ۶٪ و ۵/۵٪ می‌باشند و هر دو باری با توان ۸۰ KVA راتغذیه می‌کنند. سهم هر یک از دو ترانسفورماتور را در تقسیم بار محاسبه کنید.

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.

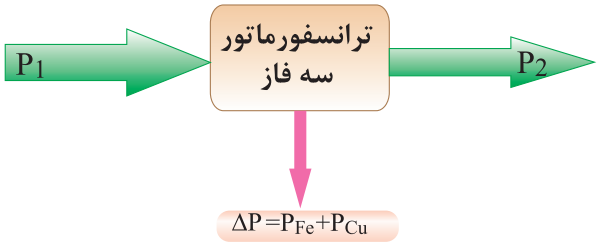
راندمان در تمام ماشینهای الکتریکی از رابطه (۸ـ۲) محاسـبه می‌شود با این تفاوت که در هر ماشین باید از روابط منحصر به آن استفاده نمود.

$$\eta = \frac{P_۲}{P_۱} \times ۱۰۰ \qquad (۸ـ۲)$$

در سیسـتم سه فاز توان الکتریکی حقیقی از رابطه (۹ـ۲) محاسبه می‌شود.

$$P = \sqrt{۳} U_L I_L \cos\varphi = S\cos\varphi \qquad (۹ـ۲)$$

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؟

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

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

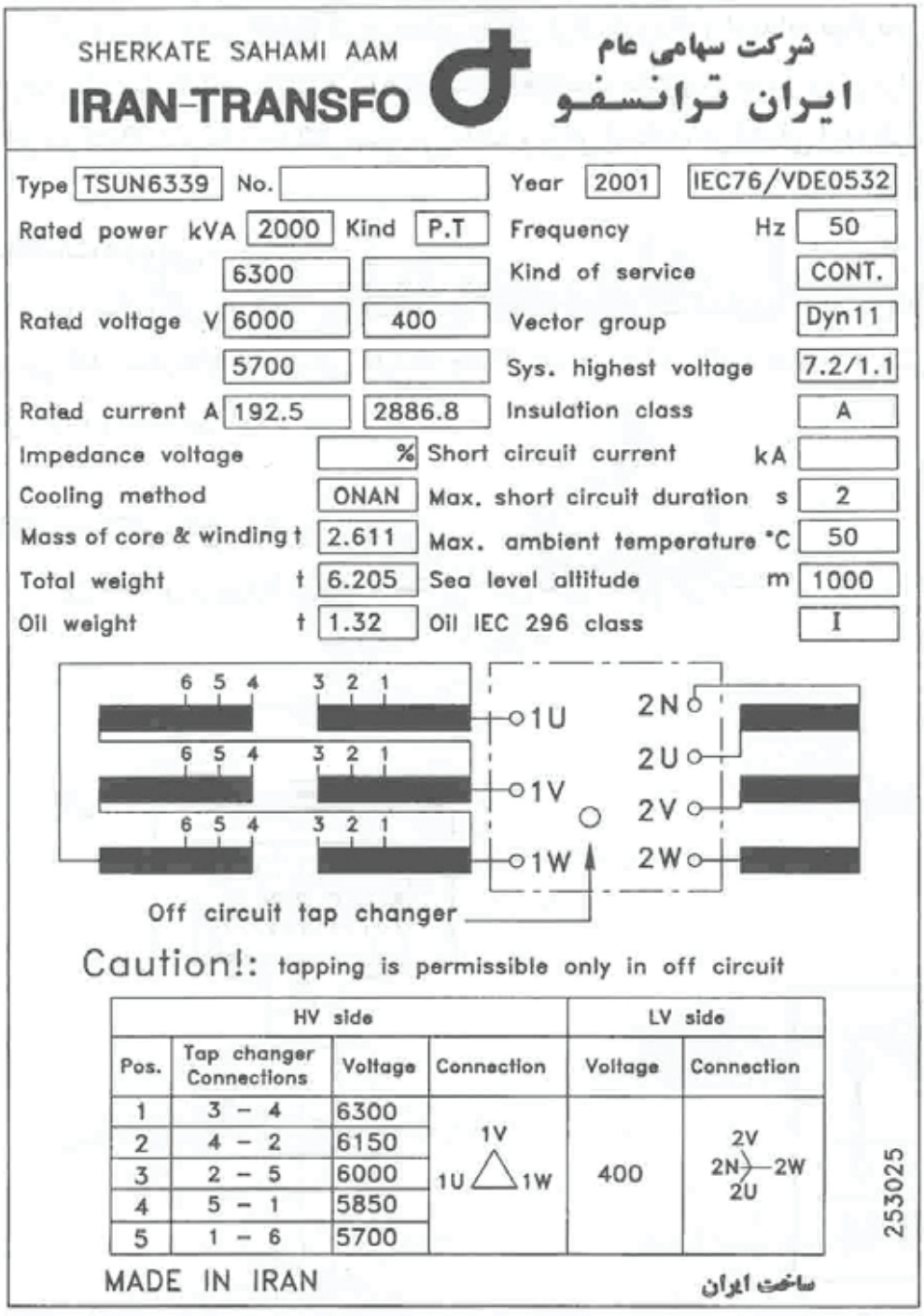
$$= ۴۰۰ KVA$$

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

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

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.