۲

ترانسفورماتورهای سه فاز

هدف‌های رفتاری :

ـ ترانسفورمر سه فاز را تعریف کند.
ـ ترانسفورمر سه فاز را با یک فاز مقایسه کند.
ـ علت استفاده از ترانسفورمرهای سه فاز را شرح دهید.
ـ ساختمان ظاهری و داخلی ترانسفورمرهای سه فاز تا ۲۰KV را توضیح دهد.
ـ طرز کار ترانسفورمر سه فاز را توضیح دهد.
ـ اتصال ستاره در سیم‌پیچ‌های ترانسفورماتور را با رسم شکل تعریف کند.
ـ کاربرد اتصال ستاره را توضیح دهد.
ـ اتصال مثلث در سیم‌پیچ‌های ترانسفورماتور را با رسم شکل تعریف کند.
ـ کاربرد اتصال مثلث را توضیح دهد.
ـ اتصال زیگزاگ در سیم‌پیچ‌های ترانسفورماتور را با رسم شکل تعریف کند.
ـ کاربرد اتصال زیگزاگ را توضیح دهد.
ـ انواع اتصالات (λ-λ، Δ-λ، ζ-λ) را شرح دهد.
ـ کاربرد هر یک از اتصالات (λ-λ، Δ-λ، ζ-λ) را بیان کند.
ـ چگونگی تنظیم ولتاژ در ترانسفورمرهای سه فاز را شرح دهد.
ـ ترانسفورمرهای سه فاز با اتصال V را شرح دهد.
ـ حفاظت در ترانسفورمر را تعریف کند.
ـ انواع حفاظت در ترانسفورمر را نام ببرد.
ـ عدد گروه در ترانسفورمر را تعریف کند.
ـ انواع گروه‌های ترانسفورمر را نام ببرد.
ـ شرایط موازی کردن ترانسفورمرهای سه فاز را توضیح دهد.
ـ تقسیم بار بین دو ترانسفورمر موازی را تعریف کند.
ـ چگونگی تقسیم بار بین دو ترانسفورمر را شرح دهد.
ـ مثال مربوط به چگونگی تقسیم بار بین دو ترانسفورمر موازی را تشریح کند.
ـ تمرین مربوط به چگونگی تقسیم بار بین دو ترانسفورمر موازی را حل کند.
ـ تلفات در ترانسفورمرهای سه فاز را تعریف کند.
ـ راندمان و روابط مربوط در ترانسفورمرهای سه فاز را توضیح دهد.
ـ مثال مربوط به محاسبه راندمان در ترانسفورمرهای سه فاز را تشریح کند.
ـ تمرین مربوطه به محاسبه راندمان در ترانسفورمرهای سه فاز را حل کند.
ـ کاربردهایی از ترانسفورمرهای سه فاز را بیان کند.
ـ مشخصات ترانسفورمرهای سه فاز را از روی پلاک استخراج کند.
ـ تمرین‌های مربوط به ترانسفورمرهای سه فاز را حل کند.

۲

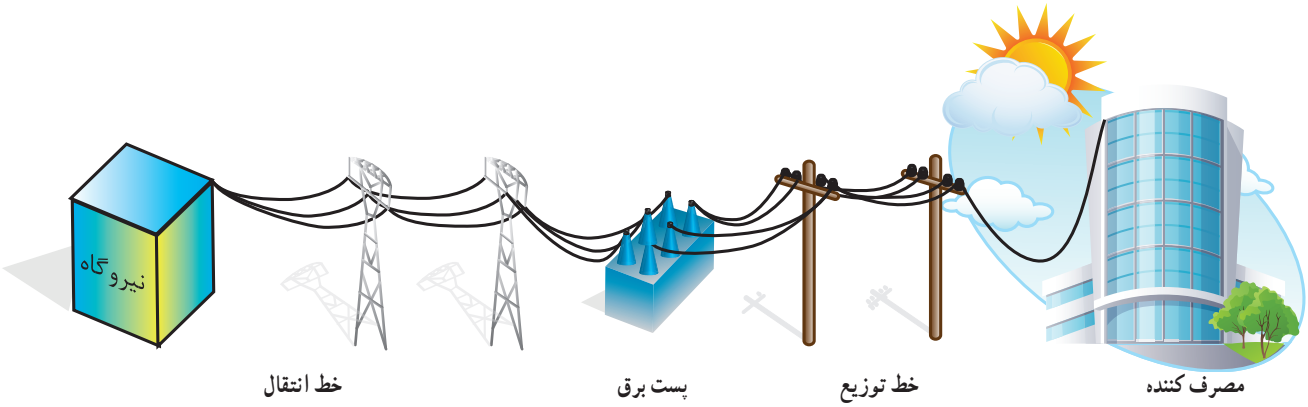
مقدمه

نیروگاه‌ها انرژی الکتریکی را از تبدیل سایر انرژی‌ها به‌دست می‌آورند. از طرفی به لحاظ زیست محیطی و دسترسی به انرژی، احداث آنها در داخل شهر امکان پذیر نیست. از سوی دیگر چون اغلب مصرف کننده‌ها در شهر و حومهٔ آنها متمرکز می‌باشند در نتیجه فاصله بین نیروگاه‌ها و مصرف کننده‌های برق غالباً طولانی است. بنابراین اگر بخواهیم برق تولید شده را با ولتاژ مورد نیاز مصرف‌کننده انتقال دهیم سهم زیادی از انرژی الکتریکی در خطوط انتقال به حرارت تبدیل می‌شود.

شکل ۱ــ نمایی از یک سد و نیروگاه آبی که در کنار آن قرار دارد[1].

شکل ۲ــ نمایی از یک نیروگاه گازی[2]

ترانسفورماتورها 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، برسانند این تغییر ولتاژ در محلی به‌نام پست برق صورت می‌گیرد. شکل(۳) طرح واره‌ای از مراحل تولید، انتقال و مصرف انرژی الکتریکی را نشان می‌دهد.



شکل ۳ــ طرح وارهٔ کلی از تولید، انتقال و توزیع برق

۱ــ استفاده از انرژی این آب برای تولید برق فقط در نقاط بلند کوهستانی و دره‌های اطراف آن امکان‌پذیر است.

۲ــ این نوع نیروگاه‌ها به‌دلیل ایجاد آلودگی ، در داخل شهرها ساخته نمی‌شوند.

نیروگاه‌ها برای تولید انرژی الکتریکی از ژنراتورهای سه‌فاز استفاده می‌کنند که ولتاژ خروجی آنها به‌صورت سه فاز می‌باشد و بسته به میزان قدرتشان دارای سطح ولتاژی از KV ۳ تا KV ۲۱ و در موارد خاص این ولتاژ تا KV ۳۰ نیز می‌رسد. سپس در شبکه‌های انتقال برق به کمک ترانسفورماتور و در چند مرحله، این ولتاژ به ولتاژ هایی نظیر KV ۶۳، KV ۱۳۲، KV ۲۳۰، KV ۴۰۰ و حتی در بعضی از کشورها تا KV ۷۵۰ یا KV ۱۰۰۰ نیز تبدیل می‌شوند. در محل مصرف، مجدداً 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 ۴ــ انواع پست برق

در شبکه برق ایران سطوح ولتاژی مختلفی تعریف شده است.

این سطوح ولتاژ عبارتند از :

ــ سطح ولتاژ سراسری

ــ سطح ولتاژ فوق توزیع

ــ سطح ولتاژ توزیع

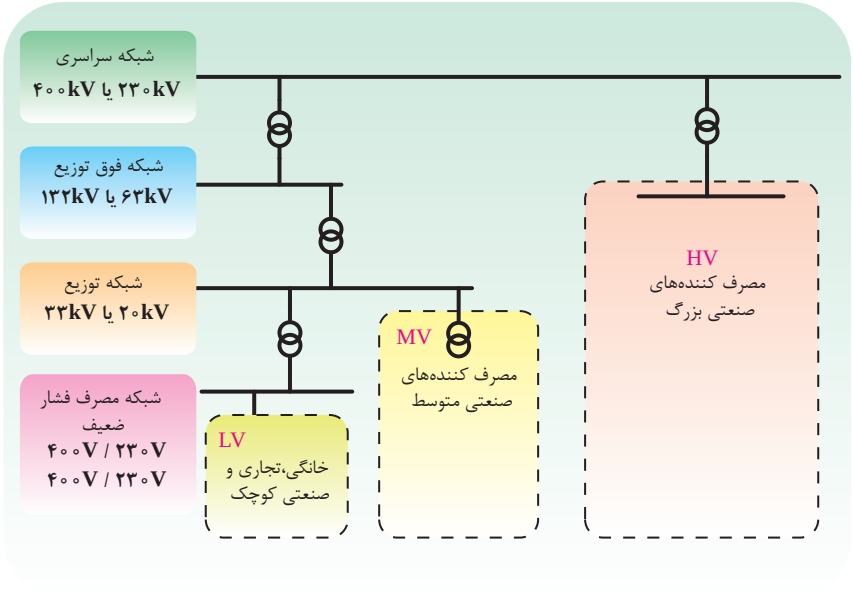
ــ سطح ولتاژ مصرف یا فشار ضعیف

برق تولیدی نیروگاه‌ها باید توسط ترانسفورماتور به شبکه سراسری متصل شود. این شبکه، برق را به تمام مناطق کشور می‌رساند 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 KV ۲۰) را به سطح ولتاژ LV (فشار ضعیف V ۴۰۰ یا V ۳۸۰) 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 تأمین مصارف صنایع کوچک، تجاری و خانگی استفاده می‌شوند. میزان ولتاژ مصرف در این شبکه به‌صورت سه فاز V ۴۰۰ و یا تک‌فاز V ۲۳۰ می‌باشد.

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



شکل ۵ــ چگونگی توزیع انرژی برق

خود را بیازمایید

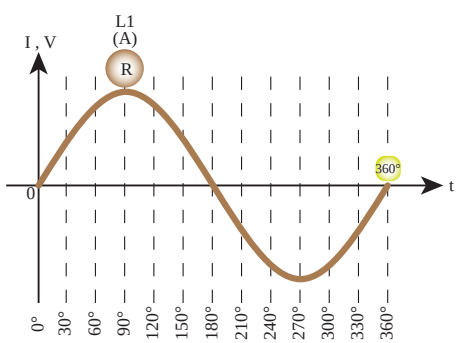
۱ــ وظیفه ترانسفورماتور در شبکه برق چیست؟

۲ــ ولتاژ خروجی مولدهای نیروگاهی معمولاً در چه سطحی است؟

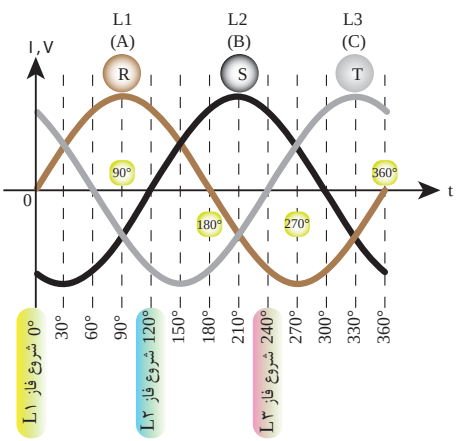
۱ــ۲ــ دلیل استفاده از ترانسفورماتور سه فاز

در سیستم سه فاز، سه ولتاژ در اختیار می‌باشد، که دامنهٔ آنها با هم یکسان ولی از نظر مکانی هر یک با دیگری ۱۲۰° اختلاف فاز دارند.

شکل (۶) مقایسه‌ای 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 می‌رسد ولی در شبکه‌های 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 به‌صورت سه‌فاز طراحی شود تا قابلیت اتصال به این شبکه را دارا باشد.



ب) سیستم تک‌فاز



الف) سیستم سه فاز

شکل ۶ــ نمایش ولتاژ وجریان سیستم‌های سه فاز و تک‌فاز

خود را بیازمایید

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

۲ــ۲ــ ساختمان ترانسفورماتور سه فاز از نقطه‌نظر مغناطیسی و الکتریکی

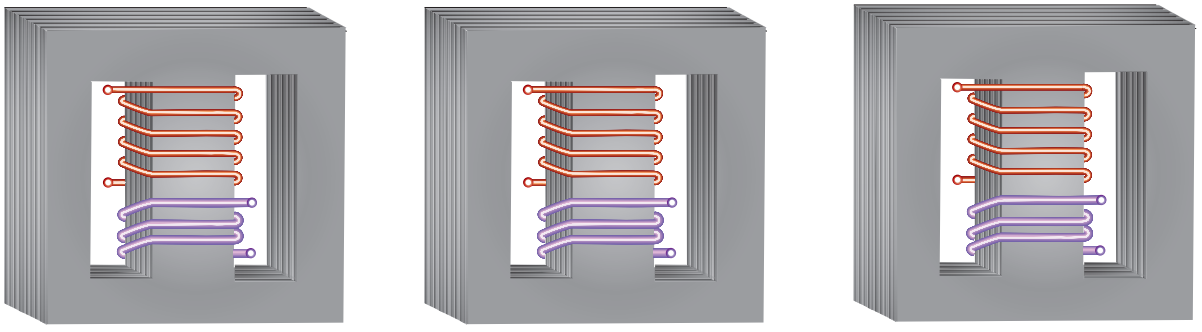
اجزای اصلی ترانسفورماتور سه فاز نیز همان هسته و سیم‌پیچ می‌باشند.

۱ــ۲ــ۲ــ 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.

۱ــ۲ــ۲ــ الف ــ هسته‌های مجزا : ساده‌ترین 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 تک‌فاز 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 به شبکه وصل می‌شوند. چون هسته مغناطیسی هر فاز مجزا است. بنابراین جریان‌های مغناطیس‌کننده هر فاز در هسته مربوط به خود، فورانی متناظر با همان جریان ایجاد می‌نماید. به عبارتی در هسته اول φ_A، در هسته دوم φ_B، و در هسته سوم، φ_C گردش می‌کند به همین دلیل این ترانسفورماتورها به ترانسفورماتور با هسته مجزا یا بانک معروف هستند.

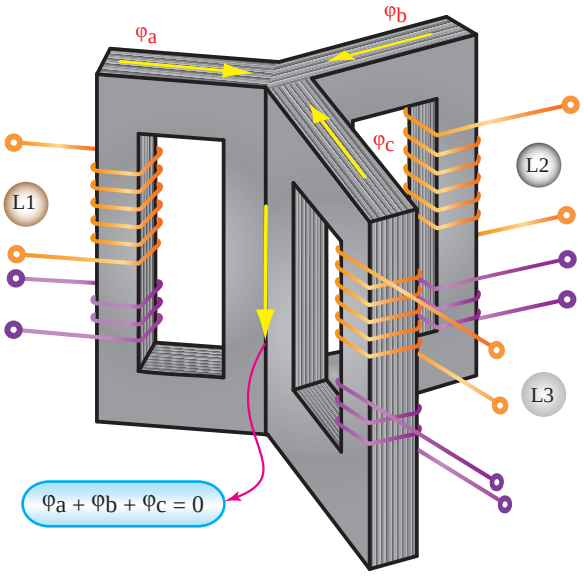


شکل ۷ــ ترانسفورماتور سه فاز با هسته های مجزا

در گذشته این نوع ترانسفورماتورها در شبکه‌های توزیع استفاده می‌شد. در این ترکیب معمولاً در کنار سه ترانسفورماتور، یک دستگاه ترانسفورماتور اضافی نیز به‌عنوان یدکی قرار می‌گیرد تا در زمان خرابی از آن استفاده شود.

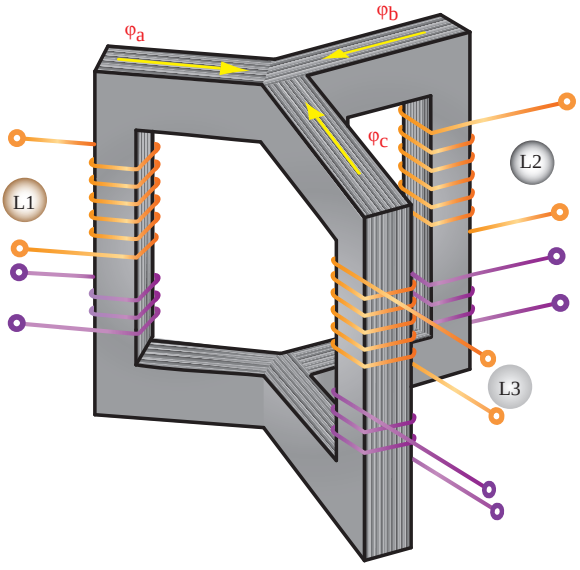
در حال حاضر به‌دلیل بالا رفتن تکنولوژی عایق‌بندی و دستیابی به عایق‌های خوب و به دلایلی که اشاره خواهد شد از این ترکیب به‌ندرت استفاده می‌شود.

اگر هسته‌های آهنی سه ترانسفورماتور تک‌فاز مطابق شکل (۸) در کنار هم قرار داده شوند. شارهای مغناطیسی جاری شده در هر بازو φ_A، φ_B و φ_C (مربوط به فاز مستقل) از بازوی مشترک نیز عبور می‌کنند.



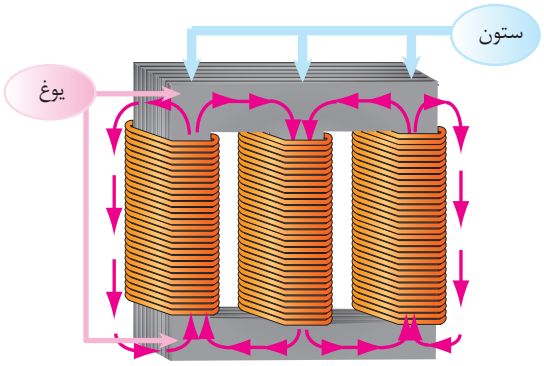
شکل ۸ــ هسته ترانسفورماتور سه فاز با ستون مشترک بهم چسبیده

اما همان‌طور که مجموع جریان‌های سه فاز با دامنه مساوی متعادل برابر صفر است[1]، مجموع شارهای مغناطیسی سه‌فاز که از بازوی وسط هسته می‌گذرند نیز صفر می‌شود؛ بنابراین می‌توان از بازوی وسط هسته صرف‌نظر و آن را حذف نمود. به این ترتیب هسته ترانسفورماتور را می‌توان به‌صورت یکپارچه مطابق شکل (۹) ساخت.



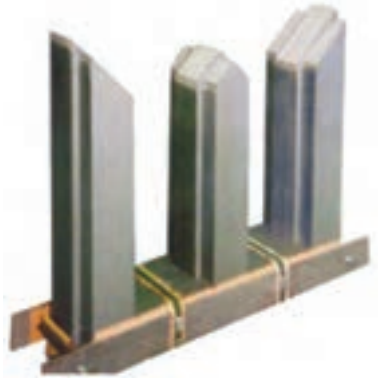
شکل ۹ــ هسته ترانسفورماتور سه فاز یکپارچه ابتدایی

۱ــ۲ــ۲ــ ب ــ هسته‌های یکپارچه : در عمل، ترانسفورماتورهای سه فاز با هسته یکپارچه به‌صورت شکل (۱۰) ساخته می‌شوند :



شکل ۱۰ــ هسته یکپارچه

در این ترکیب هسته از سه ستون تشکیل شده و سیم‌پیچ‌ها در آن قرار می‌گیرند، سپس دو یوغ طرفین آن را مهار می‌کنند. بنابراین هر سیم‌پیچ روی یک ستون قرار می‌گیرد. به این نوع هسته، **هسته ستونی** می‌گویند.



شکل ۱۱ــ هسته ستونی

۱ــ مجموع سه بردار مساوی با اختلاف سه‌فاز ۱۲۰ صفر می‌شود.

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

مزایا و معایب ترانسفورماتورهای سه فاز با مدار مغناطیسی پیوسته نسبت به سه ترانسفورماتور تک‌فاز مشابه که به‌صورت سه فاز سربندی و در یک قدرت یکسان استفاده می‌شوند عبارتند از :

مزایا :

- در ترانسفورماتور سه فاز یکپارچه 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 سیم‌پیچ، اتصالات و عایق‌بندی کمتری نیاز دارد (با دانش فنی امروز)

معایب :

- هزینه نگهداری و تعمیر آن بیشتر است.
- با ایجاد اشکال حتی در یکفاز ترانسفورماتور باید کل ترانسفورماتور از مدار خارج و جهت تعمیر آن اقدام شود. در صورتی‌که اگر از سه ترانسفورماتور تک‌فاز استفاده شده‌بود به‌راحتی فقط ترانسفورماتور معیوب از مدار خارج می‌شد و ترانسفورماتور ذخیره که قبلاً به آن اشاره شد جای آن را می‌گرفت.

خود را بیازمایید

۱ــ چرا در ترانسفورماتور با هسته یکپارچه از بازوی مشترک می‌توان صرف‌نظر کرد؟

۲ــ ترانسفورماتورهای سه فاز با هسته یکپارچه را نسبت به ترانسفورماتور با هسته مجزا مقایسه کنید.

۲ــ۲ــ۲ــ چیدمان هسته : هسته ترانسفورماتورهای سه فاز نیز مانند ترانسفورماتورهای تک‌فاز از ورق‌های مغناطیس تشکیل شده است. شکل(۱۲) یک قرقره ورق مغناطیسی آماده برشکاری در خط تولید ورق هسته را نشان می‌دهد.

شکل ۱۲ــ قرقره ورق مغناطیسی در خط تولید ورق هسته

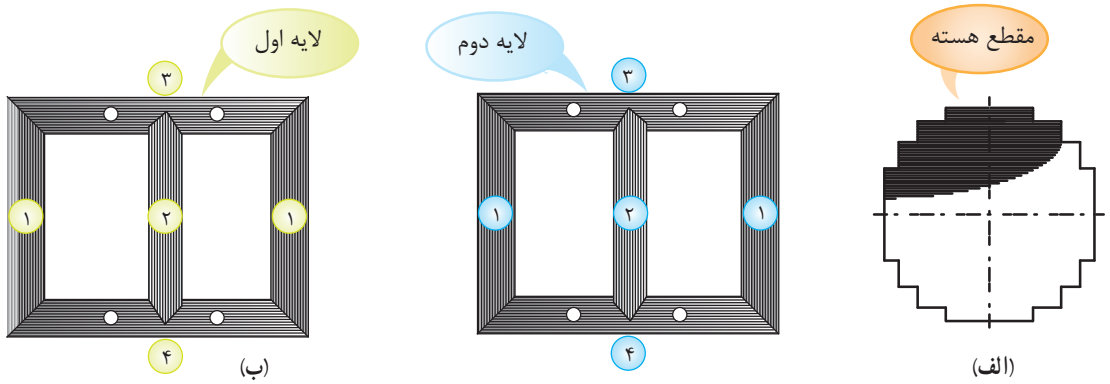
برای تولید هسته، قرقره های ورق فولاد مغناطیسی را با اندازه مناسب در جهت نورد شده برش زده و طوری آن را کنار هم قرار می‌دهند که شار مغناطیسی همیشه در راستای نورد شده از آن عبور کند زیرا در این صورت مقاومت مغناطیسی هسته کمتر خواهد شد. برای راحتی کار در هنگام جا زدن بوبین‌هاو پرکردن فضای داخل بوبین و کاهش حجم ترانسفورماتور، پهنای ورقه‌ها را مانند شکل (۱۳ــ الف) متفاوت درست می‌کنند تا سطح مقطع هسته به‌صورت پله‌ای به شکل دایره نزدیک‌تر شود. به این ترتیب حجمی از یک هسته کامل ایجاد می‌شود.

برای محکم شدن ورقه‌ها روی یکدیگر مطابق شکل(۱۳ــ ب) سه قطعه ورق ۲، ۳ و ۴ را در هر لایه برعکس می‌گذارند و در نهایت این ورقه‌ها را با عبور پرچ‌های عایق شده از داخل سوراخ‌های هسته محکم می‌کنند.

خود را بیازمایید

۱ــ چرا در ترانسفورماتورهای سه فاز پهنای ورقه‌های یک بازو متفاوت است؟

۲ــ چرا در ترانسفورماتورها ورقه‌های هسته را در راستای نورد شده بریده و کنار هم قرار می‌دهند؟



شکل ۱۳ــ چگونگی قرارگیری هسته ها روی یکدیگر

۳ــ۲ــ۲ــ سیم پیچ : در ترانسفورماتورهای توزیع درصد ولتاژ اتصال کوتاه باید حتی‌الامکان کوچک باشد. جدول (۱) مقادیر درصد ولتاژ اتصال کوتاه را برای ترانسفورماتورهای توزیع نشان می دهد. در عمل برای کاهش ولتاژ اتصال کوتاه سیم‌پیچ‌های فشار قوی و ضعیف را روی یک بازو یا ستون می‌پیچند تا شار پراکندگی کمتر شود. از آنجا که ولتاژ فشار ضعیف نسبت به فشار قوی پتانسیل کمتری تا زمین دارد از نظر عایقی بهتر است ابتدا سیم‌پیچ فشار ضعیف را روی هسته بپیچند و سپس سیم پیچ فشار قوی را روی آن قرار دهند.

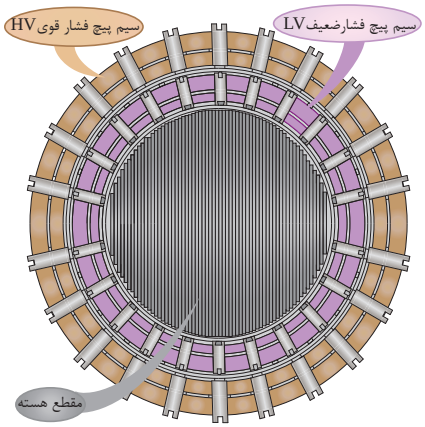
سیم‌های استفاده شده برای سیم‌پیچ دارای سطح مقطع گرد یا چهار گوش بوده و با عایق لاکی پوشیده می‌شوند. دور هر لایه از سیم‌پیچ کاغذهای آغشته به روغن مخصوص پیچیده می‌شود همچنین برای عایق کاری بین سیم‌پیچ‌ها از چوب طبیعی و مصنوعی نیز استفاده می‌گردد (شکل ۱۴).

خود را بیازمایید

ــ اگر در یک ترانسفورماتور سه فاز سیم‌پیچ فشار ضعیف و سیم‌پیچ فشارقوی روی یک بازو پیچیده شود ولتاژ اتصال کوتاه آن..... و ولتاژ اتصال کوتاه آن..... می‌یابد.(افزایش ــ کاهش)

جدول ۱ــ مقادیر تلفات بی باری (آهنی)، بارداری (مسی) و ولتاژ اتصال کوتاه ترانسفورماتورهای توزیع

ولتاژ اتصال کوتاه (٪)	تلفات مسی در بارنامی (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



شکل ۱۴ــ ساختمان سیم پیچ ترانسفورماتورهای سه فاز

۳ــ۲ــ ساختمان ترانسفورماتور سه فاز از نقطه نظر عایق بندی و تهویه

با توجه به اینکه چگونگی خنک‌سازی 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 :

۱ــ خنک سازی با گردش عادی هوا که به اختصار با AN (Air Natural) نمایش داده می‌شود.

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

۳ــ خنک‌سازی با گردش عادی روغن که به اختصار با ON (Oil Natural) نمایش داده می‌شود.

۴ــ خنک‌سازی با گردش اجباری روغن (یعنی از طریق پمپ روغن) که به اختصار با OF (Oil Forced) نمایش داده می‌شود.

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

ممکن است یک ترانسفورماتور دارای مشخصهٔ 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

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

ترانسفورماتورهای توزیع قدرت را می‌توان به دو دسته تقسیم نمود :

- ترانسفورماتورهای روغنی
- ترانسفورماتورهای خشک

۱ــ۳ــ۲ــ ترانسفورماتورهای روغنی : در ترانسفورماتورهای روغنی، وظیفهٔ روغن، عایق کردن سیم پیچ‌ها و بدنه از یکدیگر و خنک‌سازی آن می‌باشد و لذا هسته و سیم‌پیچ‌ها را مطابق شکل(۱۵) پس از ساخت به صورت غوطه‌ور در داخل یک مخزن روغن قرار می‌دهند.

شکل ۱۵ــ نحوهٔ قرار دادن هسته وسیم‌پیچ‌ها در داخل مخزن روغن

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

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

خود را بیازمایید

۱ــ وظیفه روغن در ترانسفورماتور روغنی چیست؟

۱ــ۳ــ۲ــ الف ــ ترانسفورماتورهای روغنی با منبع انبساط : در این ترانسفورماتورها ارتباط روغن با هوای بیرون از طریق منبع انبساط می‌باشد. زیرا روغن در اثر گرما افزایش حجم داده و در منبع انبساط جمع می‌شود. برای جلوگیری از نفوذ رطوبت به داخل و تخریب روغن از رطوبت‌گیر استفاده می‌شود(شکل ۱۶).

شکل ۱۶ــ ترانسفورماتور روغنی با منبع انبساط

۱ــ۳ــ۲ــ ب ــ ترانسفورماتورهای روغنی با مخزن بسته(هرمتیک) : در این ترانسفورماتورها روغن در مخزن بسته بوده و هیچ تماسی با محیط و هوای بیرون ندارد، لذا خاصیت عایقی روغن بیشتر حفظ می‌شود و در نتیجه نیازی به بازدید دوره‌ای روغن در این ترانسفورماتورها نیست (شکل ۱۷).

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

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[1] :* در این ترانسفورماتور بدنهٔ ترانسفورماتور پس از گرم شدن طوری منبسط می‌شود تا بتواند اضافه حجم روغن ایجاد شده را در خود جای دهد. این ترانسفورماتورها کاملاً پر از روغن هستند و برای همیشه آب‌بندی می‌شوند.

شکل ۱۷ــ ترانسفورماتور روغنی بدون بالشتک گازی

۱ــ۳ــ۲ــ پ ــ ترانسفورماتور روغنی با بالشتک گازی[2] : در این ترانسفورماتور بدنه را کمی بزرگ‌تر از حجم روغن در نظر می‌گیرند و فضای خالی بالای روغن را با گاز نیتروژن پر

۱ــ Hermetically sealed without gas cushion

۲ــ Hermetically sealed with gas cushion

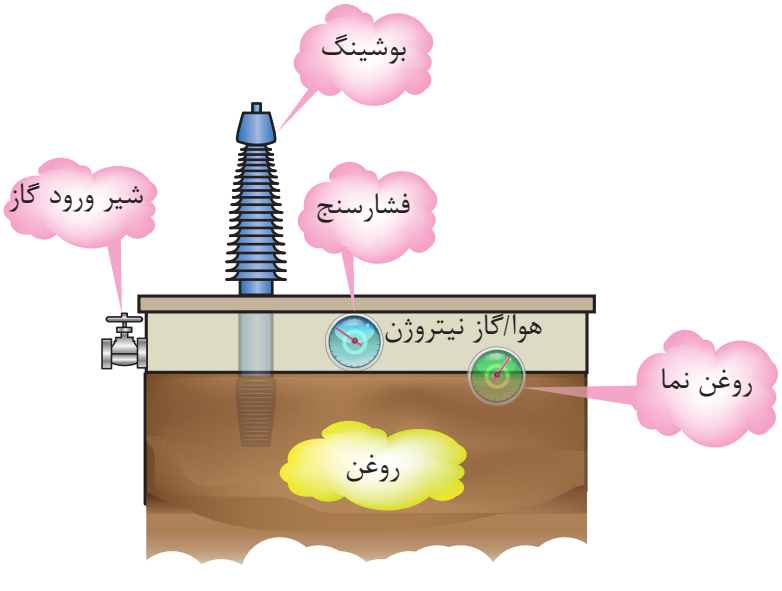
می‌کنند. لذا پس از انبساط روغن، حجم اضافه شده به سطح گاز فوقانی فشار آورده و روغن در آن فضا جا به جا می‌شود. در واقع انبساط و انقباض روغن سبب می‌شود تا گاز نیتروژن واقع در بالای سطح روغن تغییر فشار دهد (شکل ۱۸).

خود را بیازمایید

۱ــ علت استفاده از مخزن انبساط در بعضی ترانسفورماتورهاچیست؟

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

۳ــ انواع ترانسفورماتور روغنی با مخزن بسته را نام ببرید.



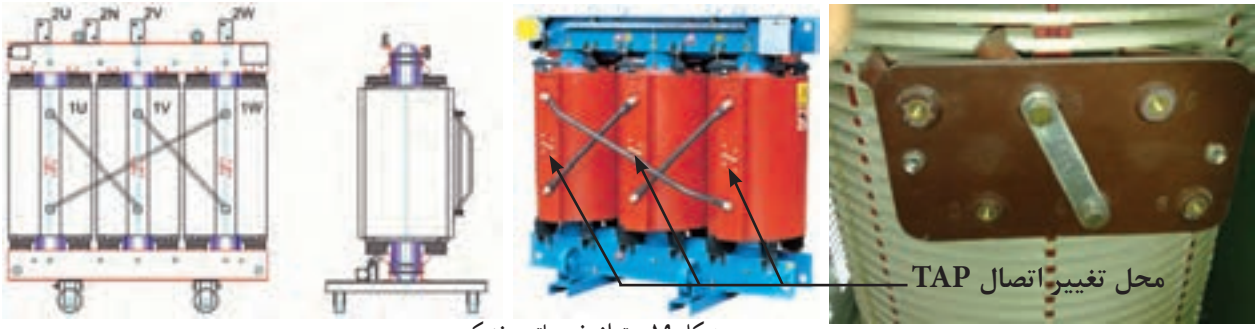
شکل ۱۸ــ ترانسفورماتور روغنی با بالشتک گازی

۴ــ۲ــ ترانسفورماتورهای خشک

در این ترانسفورماتورها به‌منظور عایق‌بندی سیم‌پیچ‌ها از بدنه از مواد عایقی خشک استفاده شده است. این ترانسفورماتورها فقط از طریق هوا خنک می‌شوند. و چون در ساختمان آنها از روغن استفاده نشده است، احتمال آتش‌سوزی آن بسیار کم است. به همین خاطر ترانسفورماتور خشک در پست‌های توزیع ایستگاه‌های مترو، برج‌های مسکونی، فرودگاه‌ها و... کاربرد دارد. استفاده از این ترانسفورماتور برای محیط‌های بیرون ساختمان و مکان‌هایی که سیستم تهویه ندارند مناسب نیست (شکل ۱۹).

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

۲



شکل ۱۹ــ ترانسفورماتور خشک

خود را بیازمایید

۱ــ ترانسفورماتور خشک چگونه خنک می‌شود؟

۲ــ از ترانسفورماتور خشک در چه مکان‌هایی استفاده می‌شود؟

۵ــ۲ــ تجهیزات جانبی ترانسفورماتور

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

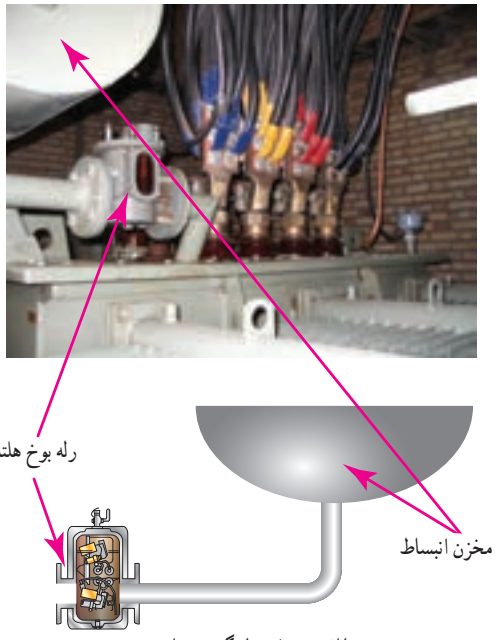
شکل (۲۰) ترانسفورماتور را در حال انفجار و آتش‌سوزی نشان می‌دهد. به کمک تجهیزات حفاظتی ترانسفورماتور می‌توان قبل از بروز خطا، نوع خطا را شناسایی و از پیامدهای زیان‌بار آن جلوگیری کرد.

شکل ۲۰ــ انفجار ترانسفورماتور قدرت

۱ــ۵ــ۲ــ رله بوخ هلتس: برای حفاظت ترانسفورماتورهای روغنی مجهز به منبع انبساط از رله بوخ‌هلتس استفاده می‌شود. در ساختمان ترانسفورماتور روغنی هر یک ازخطاهای زیر می‌تواند رخ دهد :

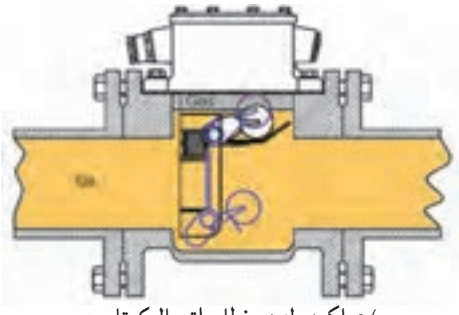
- تنش حرارتی در هستهٔ ترانسفورماتور که سبب ایجاد گاز می‌شود.
- افزایش حرارت سیم‌پیچ‌ها بر اثر اتصال کوتاه بین حلقه‌های سیم‌پیچ که سبب ایجاد گاز می‌شود.
- ایجاد شکست الکتریکی در مقره‌ها و عایق سیم‌پیچ‌ها که سبب ایجاد گاز می‌شود.
- اتصال بدنه یا اتصال زمین در داخل ترانسفورماتورکه سبب ایجاد گاز می‌شود.
- ایجاد جرقه در اثر شل بودن ترمینال‌های داخلی که سبب ایجاد گاز می‌شود.
- کاهش سطح روغن به‌دلیل نشت از مخزن

پس از وقوع هر یک از خطاهای فوق (به‌جز کاهش سطح روغن)، روغن داخل مخزن ترانسفورماتور علاوه بر ایجاد گاز، به‌شدت گرم و منبسط می‌شود، در نتیجه با سرعت به سمت منبع انبساط جریان می‌یابد. گاز ایجاد شده نیز برای رهایی از فشار به طرف مخزن انبساط می‌رود. به همین دلیل این رله بوخ‌هلتس را بین مخزن اصلی و منبع انبساط قرار می‌دهند (شکل ۲۱).

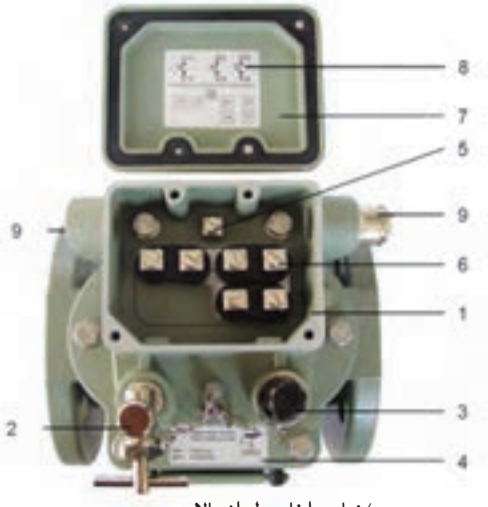


الف) محل قرارگیری رله

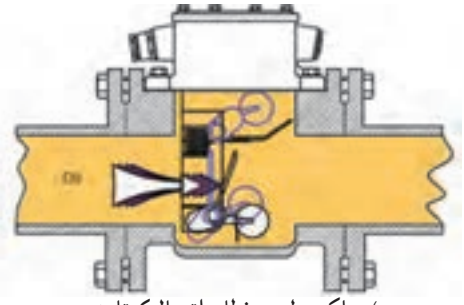
ث) نمای ظاهری رله



ب) عملکرد رله در خطای اتصال کوتاه جزیی



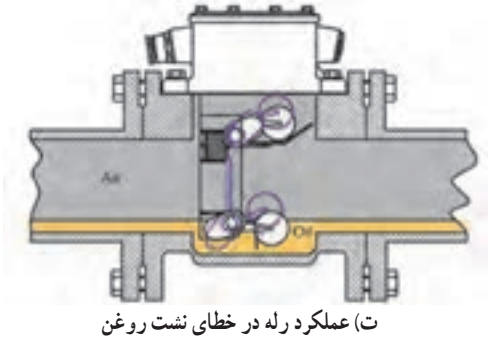
ج) نمای داخلی رله از بالا



پ) عملکرد رله در خطای اتصال کوتاه شدید

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

چ) نمای داخلی رله از پایین



ت) عملکرد رله در خطای نشت روغن

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

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

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

به جز نشت روغن همه خطاهای داخلی سبب ایجاد گاز در روغن می‌شوند. گاز ایجاد شده به‌دلیل سبک‌تر بودن نسبت به روغن به سمت منبع انبساط حرکت کرده و در مسیر خود حتماً 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 خواهد شد و فرمان قطع لحظه‌ای (آنی) ترانسفورماتور ارسال می‌گردد. مسلماً 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 برروی قسمت بالای رله دکمه‌ای فشاری قرار داده شده است که با فشردن آن کلیدهای رله عمل خواهند نمود. بر روی محفظه رله بوخ هلتس یک شیر جهت تخلیه و نمونه‌برداری از گازهای جمع شده در بالای آن تعبیه شده است که پس از عملکرد رله باید سریعاً نمونه‌برداری از گاز صورت پذیرد.

در رله‌های بوخ هلتس می‌توان از طریق رنگ گاز جمع شده پس از عملکرد رله به نوع اشکال پی برد

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

خود را بیازمایید

۱ــ چهار مورد از خطاهای ترانسفورماتور را بیان کنید.
۲ــ رله بـوخ هلتس دارای چند کلید عمل کننده بوده و وظیفه هر یک چیست؟
۳ــ در چه ترانسفورماتورهایی از رله بوخ‌هلتس استفاده می‌شود؟
۴ــ عملکرد رله بوخ هلتس در برابر کاهش روغن چگونه است؟
۵ــ دلیل قرارگرفتن شیر روی رله بوخ هلتس چیست؟

۲ــ۵ــ۲ــ ترمومتر (دماسنج ترانسفورماتور) :

برای اندازه‌گیری و نمایش دمای ترانسفورماتور از وسیله‌ای به‌نام ترمومتر استفاده می‌شود.

در ترانسفورماتورهای روغنی امکان نصب دو نوع ترمومتر وجود دارد :

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

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 تأثیر دارد.

خود را بیازمایید

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

۱ــ۲ــ۵ــ۲ــ ساختمان و روش اندازه‌گیری

ترمومتر روغن : بخش حسگر ترمومتر از بیمتالی تشکیل شده که توسط یک غلاف فلزی از بالای ترانسفورماتور در داخل مخزن روغن قرار می‌گیرد و بخش نشان‌دهنده آن نیز روی بدنه ترانسفورماتور نصب می‌شود.

در شکل (۲۲) ترمومتر ساده کنتاکت دار نشان داده شده است.

شکل ۲۲ــ ترمومتر ساده کنتاکت‌دار و محل نصب آن روی مخزن ترانسفورماتور

شکل ۲۳ــ چند نمونه ترمومتر با رابط جیوه‌ای

صفحه نمایش ترمومتر غالباً دارای دو عقربه به رنگ‌های متفاوت است که یکی (مثلاً قرمز) دمای فعلی ترانسفورماتور را نمایش می‌دهد و دیگری (مثلاً 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 می‌یابد فقط عقربه‌ای که دمای فعلی را نشان می‌دهد به عقب برمی‌گردد. بدین ترتیب عقربه زرد بالاترین دمای ایجاد شده در ترانسفورماتور را ثبت می‌نماید. 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 (شکل ۲۳).

خود را بیازمایید

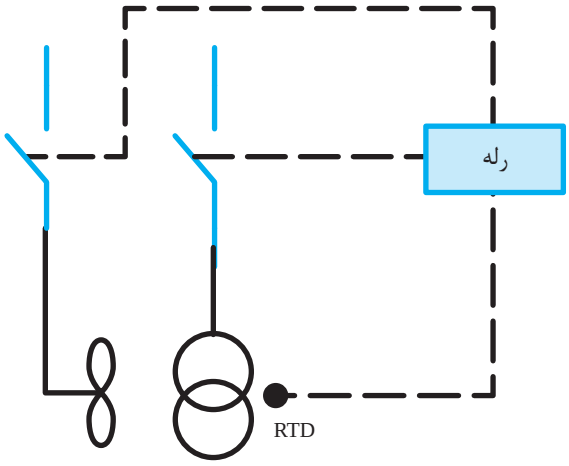
۱ــ دمای هشدار ودمای قطع در ترانسفورماتورهای روغنی به چه صورت تنظیم می‌شوند؟

۲ــ در اغلب ترمومترها صفحهٔ نمایش چند عقربه دارد وعملکرد هر یک چگونه است؟

۲ــ۲ــ۵ــ۲ــ ترمومتر سیم‌پیچ : در ساختمان ترمومتر سیم‌پیچ یک مقاومت سیمی (فیلار) پیش‌بینی 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 جاسازی شده) نمونه‌برداری و به مقاومت سیمی ترمومتر وصل می‌کنند. عبور جریان از مقاومت حرارت تولید می‌کند و حرارت ایجاد شده در آن متناسب با میزان جریان عبوری از سیم‌پیچ می‌باشد. بنابراین سیستم نمایشگر ترمومتر می‌تواند میزان گرمای تولید شده در مقاومت، یعنی همان دمای سیم‌پیچ ترانسفورماتور را اندازه‌گیری نموده و نشان دهد (شکل ۲۴).

شکل ۲۴ــ محل نصب ترمومتر سیم‌پیچ و روغن روی یک نمونه ترانسفورماتور

۳ــ۵ــ۲ــ سیستم کنترل دما به کمک سنسور RTD[1] : در ترانسفورماتورهای نوع خشک، حرارت ایجاد شده در سیم‌پیچ به هر دلیلی (افزایش بار و یا اتصال کوتاه) مستقیماً باعث گرم شدن عایق اطراف سیم‌پیچ می‌شود. لذا برای کنترل دمای این نوع ترانسفورماتورها از سنسورهای RTD استفاده می‌شود. این سنسورها به کلید قطع کننده ترانسفورماتور و فن مربوط به آن فرمان می‌دهند (شکل ۲۵).



شکل ۲۵ــ طرح وارهٔ عملکرد سیستم کنترل دما توسط RTD

خود را بیازمایید

۱ــ در ترمومتر سیم‌پیچ از کدام سمت ترانسفورماتور جریان را نمونه برداری می‌کنند؟

۲ــ ترمومتر سیم‌پیچ چگونه دمای سیم‌پیچ ترانسفورماتور را اندازه می‌گیرد؟

۳ــ برای اندازه‌گیری دمای ترانسفورماتورهای خشک از.....استفاده می‌شود.

۴ــ۵ــ۲ــ رطوبت‌گیر (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 و غبار به داخل ترانسفورماتور جلوگیری کرد.

۱ــ آشکار ساز مقاومت حساس به دما Resistance Temperature Detector

شکل ۲۶ــ رنگ ماده رطوبت گیر قبل و بعد از جذب رطوبت

برای جلوگیری از نفوذ رطوبت به‌داخل ترانسفورماتور قسمت فوقانی مخزن انبساط از طریق یک لوله به محفظهٔ شیشه‌ای حاوی مواد رطوبت‌گیر (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 مادهٔ رطوبت گیر در حالت عادی، آبی پر رنگ است و با جذب رطوبت رنگ آن تغییر می‌کند به‌طوری که ابتدا به بنفش و سپس به رنگ صورتی و سفید تغییر رنگ می‌دهد.

وقتی رنگ مادهٔ رطوبت‌گیر 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 (شکل ۲۶).

خود را بیازمایید

۱ــ محفظه شیشه‌ای رطوبت‌گیر در چه قسمتی از ترانسفورماتور قرار دارد؟

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

۳ــ از رطوبت‌گیر در ترانسفورماتورهای..... استفاده می‌شود.

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

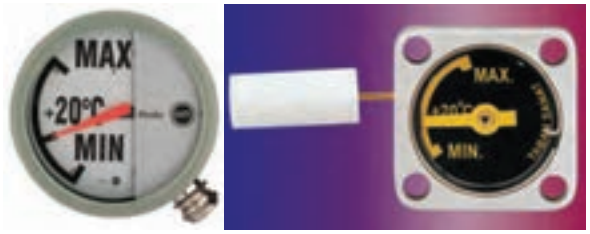
۵ــ۵ــ۲ــ روغن نما: برای کنترل سطح روغن ترانسفورماتور از روغن نما استفاده می‌شود.

دو نوع روغن نما وجود دارد :

روغن‌نمای‌عقربه‌ای(در ترانسفورماتورهای‌با‌مخزن‌انبساط)

روغن نمای چشمی (در ترانسفورماتورهای با مخزن بسته)

۵ــ۵ــ۲ــ الف ــ روغن‌نمای‌عقربه‌ای: روغن نمای عقربه‌ای بر روی منبع انبساط نصب می‌شود. برخی از این روغن نماها دارای دو کنتاکت بوده که یکی برای ارسال فرمان آلارم و دیگری برای فرمان قطع به کار می‌رود (شکل۲۷).



شکل ۲۷ــ انواع روغن نماهای عقربه ای

۵ــ۵ــ۲ــ ب ــ روغن‌نمای‌چشمی: در ترانسفورماتورهای روغنی با مخزن بسته برای حصول اطمینان از سطح روغن در بدنه سوراخی به عمق مورد اطمینان تعبیه می‌شود. برای نشان دادن سطح روغن لوله‌ای حاوی یک گوی روغن‌نما که از محیط بیرون ایزوله شده است، داخل این سوراخ جاسازی می‌شود. قرار داشتن این گوی در بالا، نشانه مناسب بودن سطح روغن است. بعضی از این روغن نماها دارای دو کنتاکت جهت فرمان آلارم و قطع می‌باشند (شکل ۲۸).

خود را بیازمایید

۱ــ انواع روغن نماها را در ترانسفورماتور نام ببرید.

۲ــ روغن‌نمای چشمی در ترانسفورماتورهای ..... کاربرد دارد.

۳ــ دلیل استفاده از کنتاکت‌های آلارم و قطع در روغن‌نما چیست؟

شکل ۲۸ــ روغن نمای چشمی

۶ــ۵ــ۲ــ شیر فشار شکن یا شیر اطمینان[1] : در هنگام افزایش بیش از حد فشار داخلی مخزن بر اثر ایجاد گازهای ناشی از اتصال کوتاه این شیر به‌طور خودکار عمل نموده و روغن با فشار از این شیر بیرون می‌ریزد 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 صادر شود (شکل ۲۹).

شکل ۲۹ــ شیر فشار شکن

۷ــ۵ــ۲ــ فشار و خلأ سنج[2] : این وسیله فقط در ترانسفورماتورهای روغنی با مخزن بسته مورد استفاده قرار می‌گیرد و وظیفهٔ آن نمایش فشار داخلی مخزن می‌باشد (شکل ۳۰).

شکل ۳۰ــ فشار سنج

خود را بیازمایید

۱ــ فشارسنج در چه ترانسفورماتورهایی استفاده می‌شود؟

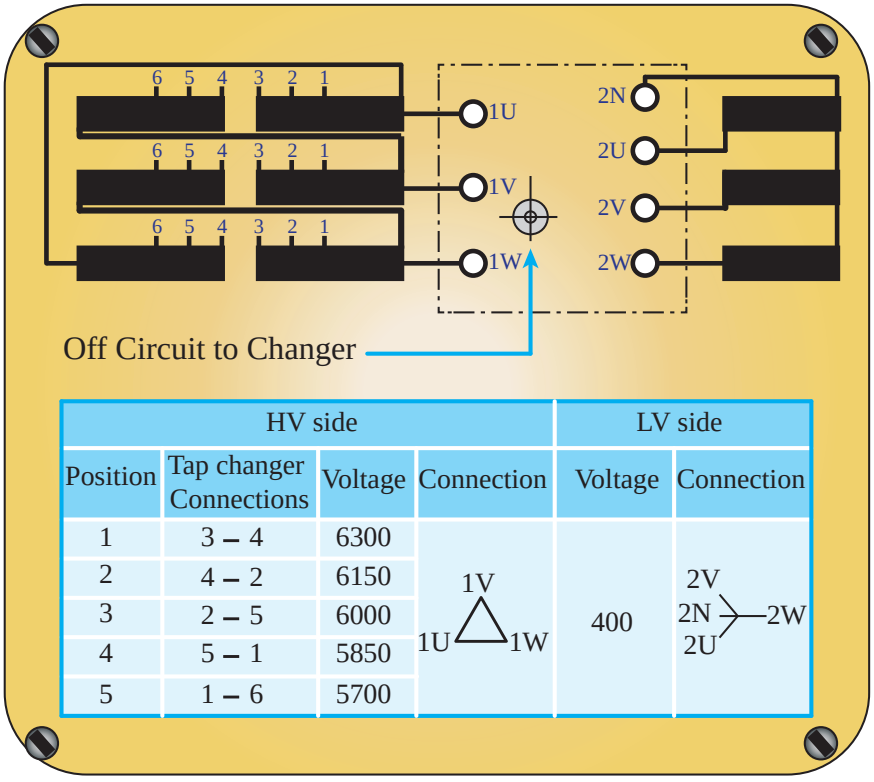
۲ــ عملکرد رله فشار ناگهانی در ترانسفورماتور با مخزن بسته چگونه است؟

۱ــ Pressur Relief Valve

۲ــ Pressure and Vacuum Gauge

۸ــ۵ــ۲ــ کلید تنظیم ولتاژ[۱] : برای اینکه بتوان ولتاژ شبکه در ثانویه ترانسفورماتور را درحد مطلوب نگه داشت از کلید تنظیم ولتاژ استفاده می‌شود. این کلید مانند یک سلکتور سوئیچ چند پله (معمولاً ۳ یا ۵ پله) عمل می‌کند. از آنجا که در ترانسفورماتورهای توزیع سمت اولیه جریان کمتری نسبت به ثانویه دارد این کلید در سمت فشار قوی نصب می‌شود. مقادیر ولتاژ مورد نظر در کنار هر وضعیت کلید حک شده است. در کلید تنظیم ولتاژ، سیستم قفل کننده‌ای روی آن پیش‌بینی شده است تا اتصال کلید در وضعیت خود محکم باشد. تغییر محل دادن کلید بسته به قدرت ترانسفورماتور و ابعاد واندازه کلید ممکن است دستی و یا موتوری باشد. میزان تنظیم ولتاژ در هر پله کلید غالباً از ۲/۵ درصد بیشتر نیست. بهره‌بردار بنابه شرایط ولتاژ خروجی می‌تواند پله مناسب را انتخاب کرده و ولتاژ خروجی را بر آن اساس تنظیم کند.

معمولاً برای دستیابی به هر ولتاژ در ترانسفورماتورها محل قرارگیری **tap** روی پلاک مشخص می‌شود. لازم به ذکر است، برای تغییر ولتاژ ترانسفورماتورهای خشک به‌جای کلید تنظیم ولتاژ از ترمینال‌های بیرون آمده از سیم‌پیچ مطابق شکل (۱۹) صفحهٔ ۷۶ استفاده می‌شود. معمولاً چگونگی اتصال ترمینال‌ها برای ولتاژهای مختلف روی پلاک ترانسفورما تورها مشخص می‌شوند (شکل ۳۱).



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 ۳۱ــ چگونگی اتصالات کلید تنظیم

انواع کلیدهای tap changer عبارتند از :

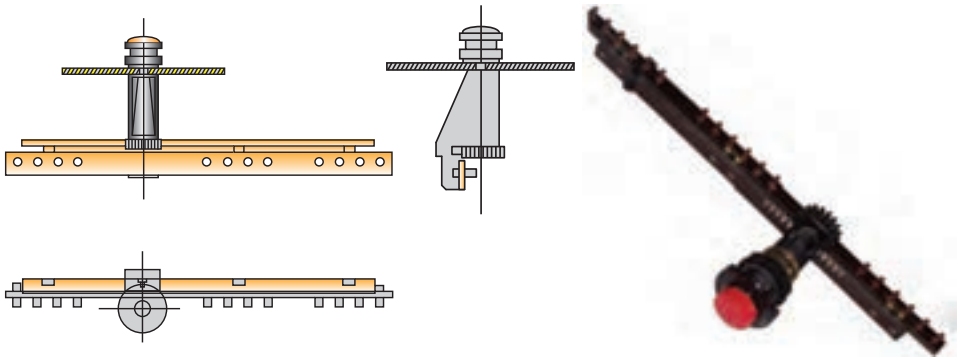
الف) کلید از نوع off Load

ب) کلید از نوع on Load

۱ــ Tap Changer

۲

۸ــ۵ــ۲ــ الف ــ کلید از نوع Off Load : در این کلیدها، هنگام برق‌دار بودن ترانسفورماتور امکان تنظیم ولتاژ وجود ندارد. در نتیجه بهره‌بردار باید قبل از تنظیم ولتاژ برق ترانسفورماتور را قطع کند (شکل ۳۲).



شکل ۳۲ــ کلید تنظیم ولتاژ off-load

۸ــ۵ــ۲ــ ب ــ کلید از نوع On Load : این کلیدها با تغییر خودکار وضعیت کلید، ولتاژ خروجی ترانسفورماتور را ثابت نگه می‌دارند. مسلماً این کلیدها بسیار گران‌تر از کلیدهای Off Load می‌باشند و در ترانسفورماتورهای توزیع به‌ندرت استفاده می‌شوند.

خود را بیازمایید

۱ــ وظیفه کلید تنظیم ولتاژ چیست؟

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

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

تحقیق کنید

چرا در ترانسفورماتورهای خشک از کلید تنظیم ولتاژ استفاده نمی‌شود؟

۹ــ۵ــ۲ــ پیچ اتصال بدنه : برای حفاظت اشخاص در برابر برق گرفتگی بدنهٔ فلزی کلیهٔ دستگاه‌هایی که با برق کار می‌کنند، به‌طور مناسب باید به زمین[1] متصل شوند. ترانسفورماتورها نیز از این امر مستثنی نیستند. بنابراین سازندگان غالباً روی بدنه ترانسفورماتور دو پیچ جهت اتصال بدنه ترانسفورماتور به سیم زمین پیش بینی می‌کنند تا ترانسفورماتور پس از نصب حتماً به سیم زمین پست متصل گردد (شکل ۳۳).

شکل ۳۳ــ محل اتصال سیم زمین

۱۰ــ۵ــ۲ــ جعبه ترمینال[2] : برق ورودی به ترانسفورماتورهای توزیع معمولاً از طریق سیم هوایی یا کابل متصل می‌شود. همچنین برق خروجی این نوع ترانسفورماتورها غالباً از طریق کابل وصل می‌گردند. سازندهٔ ترانسفورماتور می‌تواند برای انجام اتصالات، جعبه ترمینال در نظر بگیرد. مخصوصاً در ترانسفورماتورهایی که تعداد کابل‌ها زیاد است، استفاده از جعبه ترمینال یک مزیت به‌شمار می‌آید (شکل ۳۴).

۱ــ Earthing System

۲ــ Terminal Box

الف) ترانسفورماتور با جعبه ترمینال

ب) ترانسفورماتور بدون جعبه ترمینال

شکل ۳۴ــ اتصال کابل به ترانسفورماتور

۱۱ــ۵ــ۲ــ بوشینگ[1]: بوشینگ وسیله‌ای برای هدایت هادی‌های داخل ترانسفورماتور با بیرون مخزن ترانسفورماتور می‌باشد. این وسیله از یک استوانه ضخیم عایق ساخته شده که از درون آن هادی عبور می‌کند (شکل ۳۵). در سطح ولتاژهای توزیع، جنس بوشینگ‌ها از چینی (porcelain) و یا عایق رزینی می‌باشد.

الف) بوشینگ سوکتی

ب) بوشینگ چینی فشار ضعیف

ج) بوشینگ چینی فشار قوی

شکل ۳۵ــ انواع بوشینگ

خود را بیازمایید

ــ ساختمان بوشینگ را مختصر توضیح دهید.

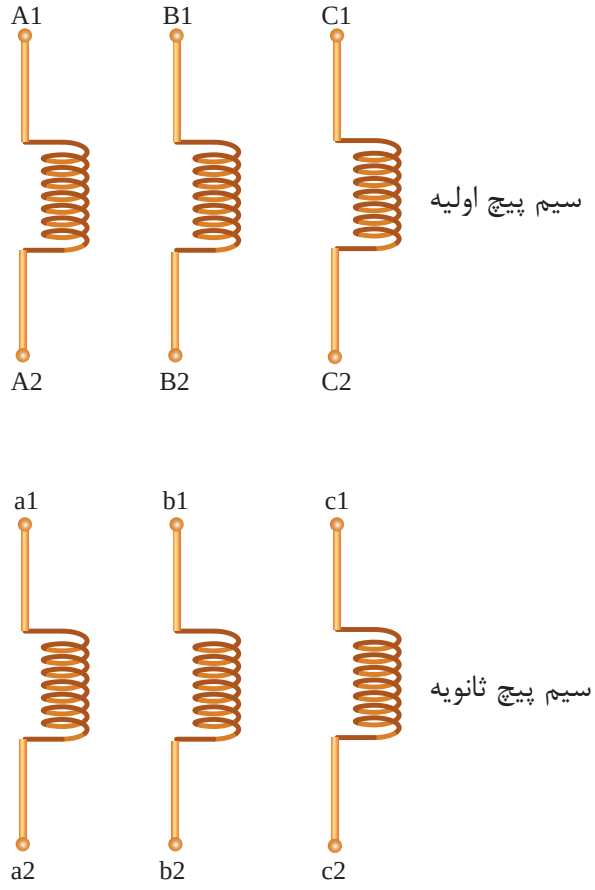
۱ــ Bushing

۲

۶ــ۲ــ انواع اتصالات مورد استفاده در ترانسفورماتورهای سه فاز

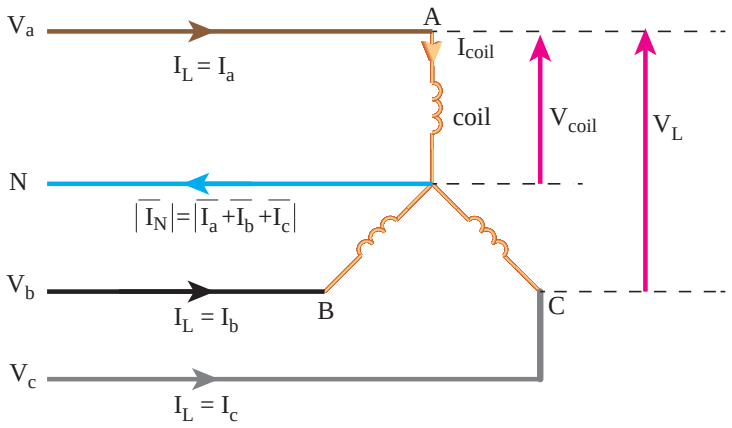
ترانسفورماتور سه فاز از سه سیم پیچ در سمت اولیه و سه سیم‌پیچ در سمت ثانویه تشکیل شده است که هر یک از این سیم‌پیچ‌ها دارای سه سر و سه ته می‌باشند (شکل ۳۶).

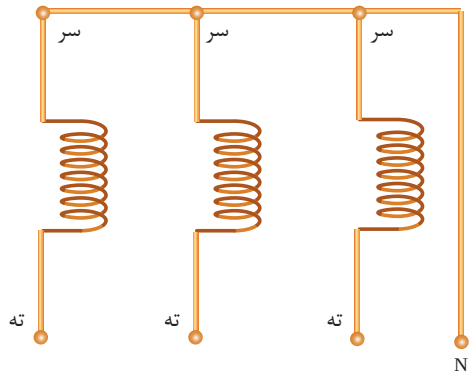
سیم‌پیچ‌های هر طرف ترانسفورماتور را می‌توان به صورت ستاره،مثلث و یا زیگزاگ به هم متصل نمود.

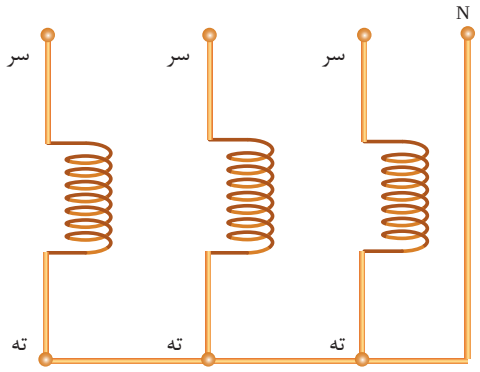


شکل ۳۶ــ سیم‌پیچ‌های ترانسفورماتور سه فاز

۱ــ۶ــ۲ــ اتصال ستاره : در اتصال ستارهٔ سه سر یا سه ته سیم‌پیچ‌های سه‌فاز را به هم اتصال داده و طرف دیگر را به صورت آزاد برای اتصال به شبکه باقی می‌گذارند. بدین ترتیب این اتصال را اتصال ستاره می‌نامند و آن را به اختصار با حرف Y بزرگ درسمت فشار قوی و حرف y کوچک درسمت فشار ضعیف نمایش می‌دهند (شکل ۳۷).







شکل ۳۷ــ 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 اندازهٔ ولتاژ فازی می‌باشد و از ولتاژ خط $\sqrt{3}$ برابر کوچک‌تر است.

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

با استفاده از این اتصال می‌توان به نقطهٔ خنثی (یا صفر) اتصال ستاره یعنی محل تعادل جریان سه فاز $\vec{I_N} = \vec{I_a} + \vec{I_b} + \vec{I_c}$ نیز دست یافت. اگر مرکز خنثی اتصال ستاره 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.

۲ــ۶ــ۲ــ اتصال مثلث : هرگاه سه سیم‌پیچ را مطابق شکل (۳۸) با یکدیگر سری کنند یعنی ابتدای یک سیم‌پیچ را به انتهای دیگری اتصال داده تا سه سیم‌پیچ تشکیل یک حلقه دهند، اتصال مثلث ایجاد خواهد شد.

این اتصال نیز می‌تواند مطابق شکل (۳۸) به یکی از دو حالت نشان داده شده اجرا شود.

در هر دو اتصال مطابق شکل (۳۸)، سیم‌پیچ‌ها می‌توانند از یک سمت (سر و یا ته) به ترمینال خروجی متصل شوند. از خصوصیات مهم این اتصال عبارتند از :

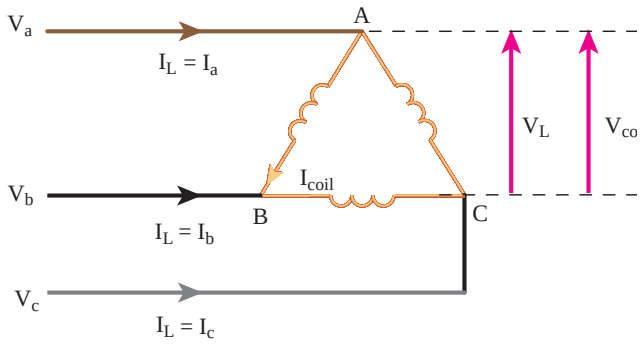
۱ــ برابری ولتاژ دو سر هر بوبین با ولتاژ خط $V_{Coil} = V_L$

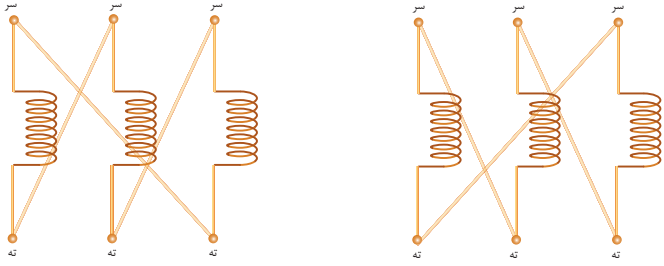
۲ــ در صورت متعادل بودن بار سه فاز، جریان عبوری از هر سیم‌پیچ به اندازه $\sqrt{3}$ برابر از جریان خط کوچک‌تر است.

$$I_{coil} = \frac{I_L}{\sqrt{3}}$$

۲

اتصال مثلث را با اختصار با حرف D بزرگ در سمت فشار قوی ترانسفورماتور وحرف d کوچک در سمت فشار ضعیف نمایش می‌دهند.





شکل ۳۸ــ اتصال مثلث

۳ــ۶ــ۲ــ مقایسهٔ اتصال مثلث و اتصال ستاره در سیم پیچ‌های ترانسفورماتور :

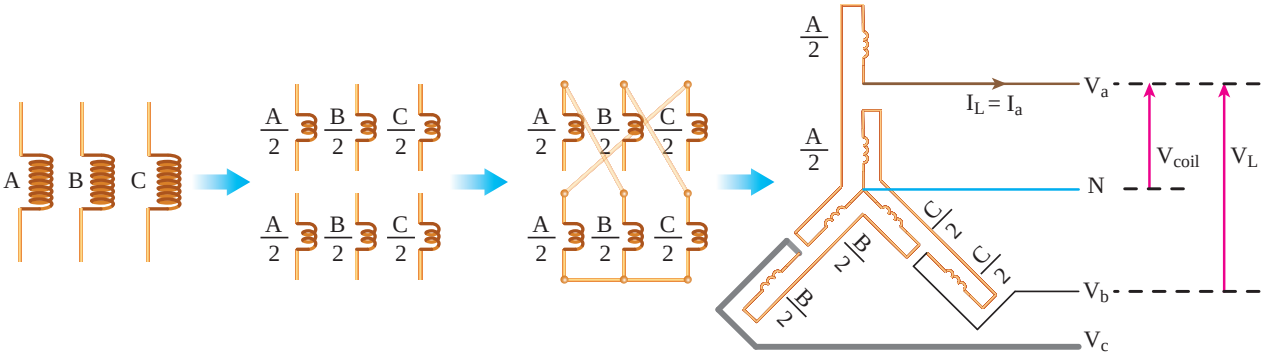
چون ولتاژ دو سر هر سیم پیچ در اتصال ستاره $V_{coil} = \frac{V_L}{\sqrt{3}}$ و در اتصال مثلث $V_{coil} = V_L$ است، در نتیجه در اتصال مثلث تعداد دور سیم‌پیچ برای هر فاز $\sqrt{3}$ برابر بیشتر از اتصال ستاره می‌شود و دیگر آنکه جریان عبوری از هر سیم‌پیچ و جریان خط در اتصال ستاره با هم برابرند در صورتی که در اتصال مثلث به شرط متعادل بودن بار سه فاز جریان خط $\sqrt{3}$ برابر از جریان سیم‌پیچ 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 ولتاژهای بالا، اقتصادی‌تر آن است که از اتصال ستاره و در جریان‌های زیاد از اتصال مثلث استفاده شود. زیرا در جریان‌های زیاد مقطع هادی سیم‌پیچ نسبت به اتصال ستاره کمتر است و در ولتاژهای بالا تعداد دور سیم‌پیچ 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.

۴ــ۶ــ۲ــ اتصال زیگزاگ : این اتصال مخصوص ترانسفورماتورها است و در دیگر تجهیزات برقی صورت نمی‌پذیرد، همچنین از این اتصال فقط در ثانویه ترانسفورماتور استفاده می‌شود. برای انجام این اتصال مطابق شکل (۳۹) هر بوبین به دو قسمت مساوی تقسیم می‌شود. بنابراین شش بوبین خواهیم داشت. نیمی از بوبین‌ها (نیمه بالایی یا پایینی) را به‌صورت ستاره با یکدیگر اتصال می‌دهند. آنگاه ادامهٔ هر بوبین متصل به اتصال ستاره، با بوبین مربوط به فاز دیگر در جهت عکس سری می‌شود.

به همین خاطر این اتصال را، به‌نام اتصال ستاره شکسته نیز می‌شناسند. چگونگی این اتصال در شکل (۳۹) ملاحظه می‌شود.



شکل ۳۹ــ 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 به‌سزایی 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 سیم‌پیچ وجود دارد که از دیگر مزایای این اتصال به شمار می‌رود. اتصال زیگزاگ را به‌اختصار با Z نمایش می‌دهند.

خود را بیازمایید

۱ــ اتصال ستاره سیم‌پیچ‌های ترانسفورماتور سه فاز را رسم وروابط ولتاژ وجریان آنها را بنویسید.

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

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

تحقیق کنید

رابطهٔ ولتاژ فاز با ولتاژ خط در اتصال زیگزاگ چگونه است؟

۷ــ۲ــ تقسیم‌بندی 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 می‌نامند.

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

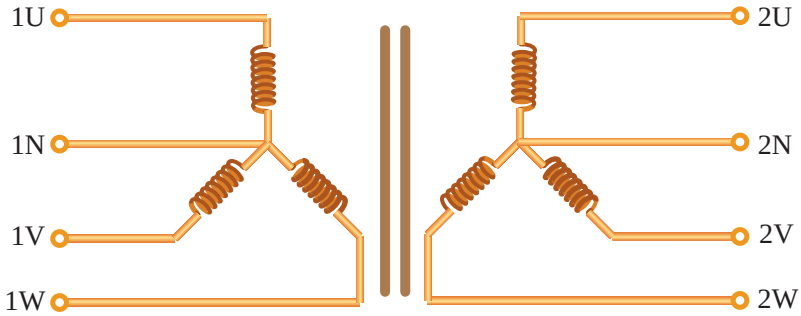
بر اساس سه نوع اتصال ذکر شده و مستقل از اینکه این اتصالات در سمت اولیه یا در سمت ثانویه ترانسفورماتور صورت گیرد انواع اتصالات متقارن عبارتند از :

۱ــ اتصال ستاره ــ ستاره $Y - y$

۲ــ اتصال مثلث ــ ستاره $D - y$

۳ــ اتصال ستاره ــ زیگزاگ $Y - z$

۱ــ۷ــ۲ــ اتصال ستاره ــ ستاره (Y_y) : این اتصال در ترانسفورماتورهایی که دسترسی به نقطه خنثی مد نظر باشد کاربرد دارد. چگونگی این اتصال در شکل (۴۰) مشاهده می‌شود.



شکل ۴۰ــ ترانسفورماتور با اتصال ستاره ــ 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 هرسیم‌پیچ $\sqrt{3}$ برابر کمتر از ولتاژ خط است، بنابراین سبب کاهش مقدار عایق مورد استفاده شده در هر بوبین می‌شود.

در ولتاژهای کمتر از یک کیلوولت تأثیر قابل ملاحظه‌ای بین مقدار عایق مصرفی به‌ازای ولتاژ خط و ولتاژ فاز وجود ندارد. اما در ولتاژهای بالاتر این اختلاف قابل ملاحظه است. به‌عنوان مثال اگر ولتاژ خط ۱۳۲ Kv در یک سمت قرار گیرد با استفاده از این اتصال ولتاژی که به هر سیم‌پیچ می‌رسد در حدود ۷۲ Kv خواهد شد که قطعاً هزینه عایق‌بندی برای این ولتاژ بسیار کمتر از ولتاژ ۱۳۲Kv خواهد بود.

در صورتی که ثانویه این نوع ترانسفورماتور از طریق یک‌فاز زیر بار برود هرسه فاز اولیه زیر بار می‌رود و باعث بالا رفتن جریان بی‌باری و زیاد شدن تلفات در ترانسفورماتور می‌گردد. همچنین ولتاژ در یک فاز در ثانویه افزایش و در فازهای دیگر کاهش یابد. به همین دلیل زیر بار رفتن ترانسفورماتورهای با اتصال Yy (ستاره ــ ستاره) به‌صورت تک‌فاز یا نامتعادل نامطلوب است و استاندارد میزان نامتعادلی را تا ۱۰ درصد توان نامی مجاز می‌داند. در شبکه‌های توزیع از این اتصال به‌ندرت استفاده می‌شود.

خود را بیازمایید

۱ــ معمولاً از ترانسفورماتور ستاره ــ ستاره در چه جایی استفاده می‌شود؟

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

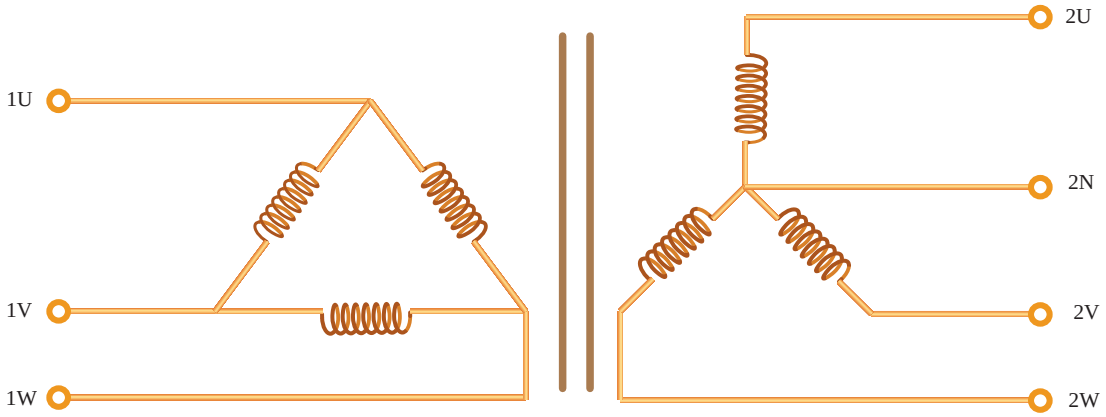
۳ــ ثانویه یک ترانسفورماتور با ولتاژ خط ۴۰۰ ولت دارای اتصال ستاره ــ ستاره می‌باشد و بار متعادلی را با جریان ۲۰آمپر تغذیه می‌کند. بدست آورید :

الف)جریان عبوری از هر بوبین ثانویه

ب) ولتاژ دو سر هر بوبین در ثانویه

۲ــ۷ــ۲ــ اتصال مثلث ــ ستاره (D_y) : این روش اتصال در ترانسفورماتورهای کاهنده و در شبکه‌های توزیع بسیار کاربرد دارد. در کشور ما اغلب مصرف‌کننده‌های توزیع از طریق ترانسفورماتور با اتصال Dyn ۲۰/۰/۴ KV تغذیه می‌شوند.

مصرف کننده‌های تک فاز به سیم نول احتیاج دارند و در شبکهٔ توزیع بسیار فراوان هستند. از خصوصیات مهم این اتصال دسترسی به مرکز اتصال ستاره یعنی نقطهٔ خنثی در سمت مصرف کننده است که امکان اتصال این گونه مصرف‌کننده‌ها نیز به آن وجود دارد. از دیگر محاسن این نوع اتصال این است که اگر یکی از فازهای ثانویه به تنهایی زیر بار برود مشکلات مربوط به اتصال ستاره ــ ستاره را ندارد (شکل ۴۱).



شکل ۴۱ــ ترانسفورماتور با اتصال مثلث ــ ستاره

۳ــ۷ــ۲ــ اتصال ستاره ــ زیگزاگ (Y_z) : این نوع اتصال در ترانسفورماتورهای توزیع با مصرف‌کننده‌های سه فاز نامتعادل کاربرد دارد.

در اتصال زیگزاگ ولتاژ سیم پیچ‌های هر فاز طبق رابطهٔ (۱ــ۲) ۸۶٪ حالت ستاره می‌باشند.

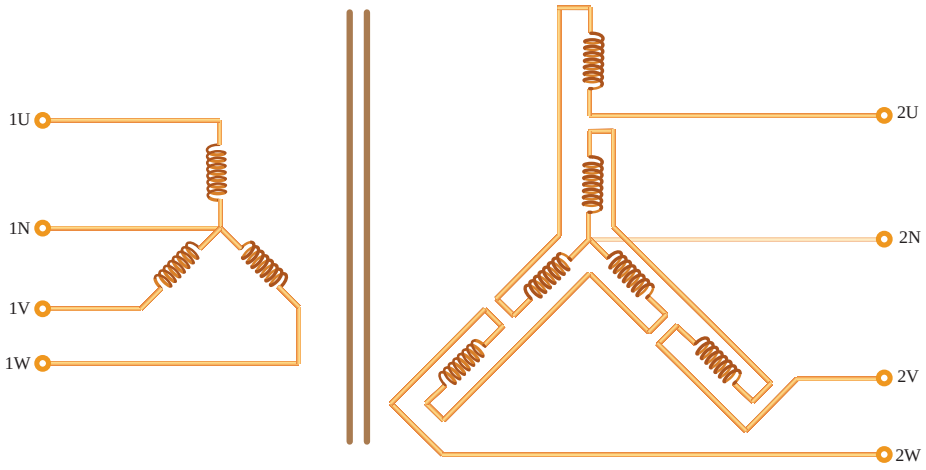
$$V_{Coil-Zigzag} = \frac{\sqrt{3}}{2} V_{Coil-Star} \qquad (۱ــ۲)$$

با توجه به رابطه (۱ــ۲) مشاهده می‌شود، اگر بخواهیم ولتاژ فازی اتصال زیگزاگ برابر با ولتاژ هر فاز اتصال ستاره شود، تعداد حلقه‌های هر فاز را باید به نسبت $\frac{2}{\sqrt{3}}$ برابرافزایش داد بنابراین با توجه به افزایش تعداد دور (حدوداً ۱۵درصدی[1]) هر بوبین وزن مس مصرفی اتصال Yz نسبت به اتصال Yy افزایش می‌یابد. البته از مزایای این اتصال جاری شدن جریان یک فاز در بوبین‌های 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.

دسترسی به نقطهٔ خنثی نیز از دیگر مزایای این ترانسفورماتور محسوب می‌شود یعنی غالباً این اتصال به‌صورت Yzn ارائه می‌گردد. این نیز از خواص اتصال ستاره می‌باشد (شکل ۴۲).

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

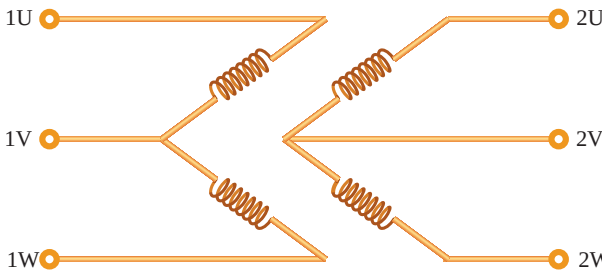
۱ــ $\frac{2}{\sqrt{3}} = 1/15$



شکل ۴۲ــ ترانسفورماتور با اتصال ستاره ــ زیگزاگ

۴ــ۷ــ۲ــ اتصال مثلث باز (V ــ V) : گاهی اوقات با اتصال دو ترانسفورماتور تک‌فاز مشابه نیز می‌توان انرژی 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 کاملاً متعادل کاربرد دارد، اتصال مثلث باز یا V ــ 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 (شکل ۴۳).

اگر در سیستم سه فاز از سه ترانسفورماتور تک‌فاز استفاده شود و یکی از این ترانسفورماتورها دچار اشکال شود، می‌توان به‌جای آنکه کل شبکه را بی برق نمود، ترانسفورماتور معیوب را از مدار خارج کرده و اولیه وثانویه دو ترانسفورماتور دیگر را به‌صورت اتصال V به هم متصل نمود. البته از این اتصال فقط در شبکه سه فاز سه سیمه با بار متعادل می‌توان استفاده کرد.



شکل ۴۳ــ ترانسفورماتور با اتصال V

در اتصال V توان تحویلی به بار کمتر از مجموع توان دو ترانسفورماتور تک‌فاز 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 به‌صورت تک‌فاز استفاده شوند را با هم مقایسه کنید.

در صورت استفاده از ترانسفورماتور به‌صورت تک‌فاز

$S = U_2 I_2 = ۴۰۰ \times ۱۰ = ۴۰۰۰ VA$

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

در صورت استفاده از ترانسفورماتور به‌صورت سه فاز با اتصال V داریم :

$S = \sqrt{۳} U_2 I_2 = \sqrt{۳} \times ۴۰۰ \times ۱۰ = ۶۹۳۰ VA$

تحقیق کنید

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

خود را بیازمایید

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

۲ــ 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.

۵ــ۷ــ۲ــ گروه ترانسفورماتور : گروه ترانسفورماتور عددی است قراردادی که به‌ازای هر ۳۰° اختلاف فاز بین ولتاژ اولیه و ثانویه اطلاق می‌شود.

مثلاً اگر گروه یک ترانسفورماتور ۵ باشد. یعنی ولتاژ فاز L_1 در سمت ثانویه ۵×۳۰° به عبارتی ۱۵۰° نسبت به فاز مشابه در سمت اولیه پس فاز یا عقب‌تر است.

به‌طور کلی فقط چهار گروه اصلی وجود دارند که عبارتند از گروه ۰ و ۵ و ۶ و ۱۱.

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

به‌طور مثال در ترانسفورماتور Dyn۱۱ اتصال اولیه آن مثلث سیم‌پیچ ثانویه ترانسفورماتور ستاره و نقطهٔ خنثی (مرکز اتصال ستاره) با سیم به بیرون ترانسفورماتور کشیده شده و ترانسفورماتور دارای گروه ۱۱ است. یعنی بین ولتاژهای همنام اولیه و ثانویه ۳۳۰° اختلاف فاز وجود دارد.

۸ــ۲ــ موازی کردن ترانسفورماتورها

در بعضی موارد ظرفیت توان در یک پست توزیع برق ممکن است از ۲۵۰۰KVA تجاوز کند به‌طور 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 می‌برد و خارج از اندازه‌های رایج می‌باشد. در عمل استفاده از چهار ترانسفورماتور ۲۰۰۰KVA به‌صورت موازی ساده‌تر بوده و ضریب اطمینان شبکه را بالا می‌برد.

مزایای اصلی استفاده از ترانسفورماتورهای موازی در شبکهٔ برق عبارت است از :

۱ــ بالا بردن ضریب اطمینان مثلاً زمانی که یک ترانسفورماتور با ایجاد خطا از مدار خارج شود برق کل شبکه قطع نمی‌گردد.

۲ــ امکان برنامه‌ریزی مناسب جهت انجام سرویس تعمیر و نگهداری تجهیزات برقی (مثلاً ترانسفورماتور، تابلوها، کلیدها، ...) بدون آنکه بی برقی کامل در شبکه به‌وجود آید.

۱ــ۸ــ۲ــ شرایط موازی کردن : شرایط موازی کردن ترانسفورماتورها عبارت اند از :

نکتهٔ ۱

الف) ولتاژ دو سمت ترانسفورماتور با هم برابر باشند (که نتیجه می‌گیریم در ترانسفورماتورهای موازی شده با یکدیگر نسبت تبدیل باید برابر باشد)

ب) 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.

نکتهٔ ۲

حتی‌الامکان همه ترانسفورماتورها به یک نسبت زیر بار رفته و جریان به یک نسبت بین آنها تقسیم شود برای دستیابی به این هدف نیز موارد ذیل باید رعایت شوند :

الف) نسبت توان ترانسفورماتورهای موازی شده از سه برابر تجاوز نکند (بهترین حالت برابری توان همه ترانسفورماتورهای موازی شده است)

ب) 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؟

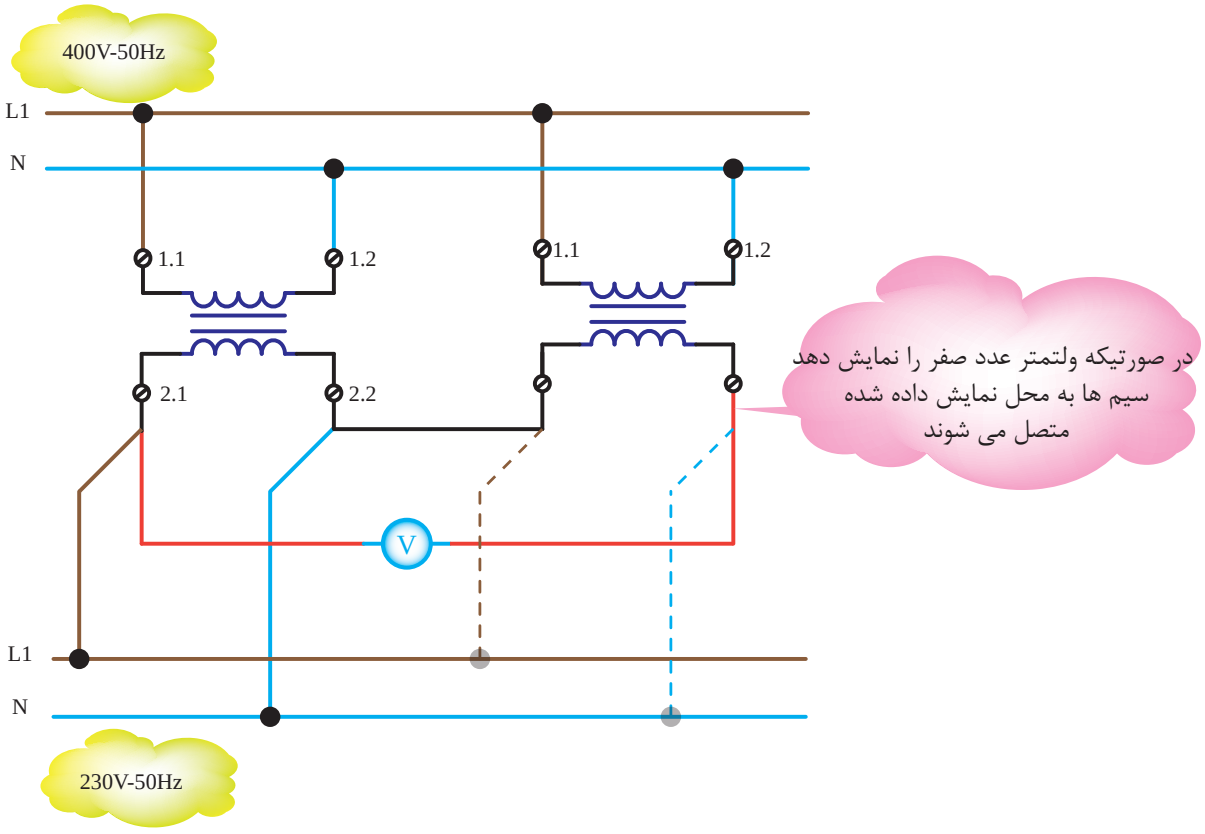
۲ــ۸ــ۲ــ چگونگی موازی کردن دو ترانسفورماتور :

همان‌گونه که ملاحظه شد برای موازی بستن ترانسفورماتورها داشتن مقادیری مانند ولتاژ سمت اولیه و ثانویه 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.

۳ــ۸ــ۲ــ موازی کردن دو ترانسفورماتور

تک‌فاز : برای موازی کردن دو ترانسفورماتور تک‌فاز مطابق شکل (۴۴) ابتدا سیم‌پیچ اولیه هر دو ترانسفورماتور را به شبکه بالادست متصل نموده سپس یکی از سیم‌های سیم‌پیچ ثانویه هر دو ترانسفورماتور به شبکه پایین دست متصل می‌شوند. آنگاه دو سر آزاد بر جای مانده دو سیم‌پیچ ثانویه از طریق ولت‌متر به هم وصل می‌شوند.

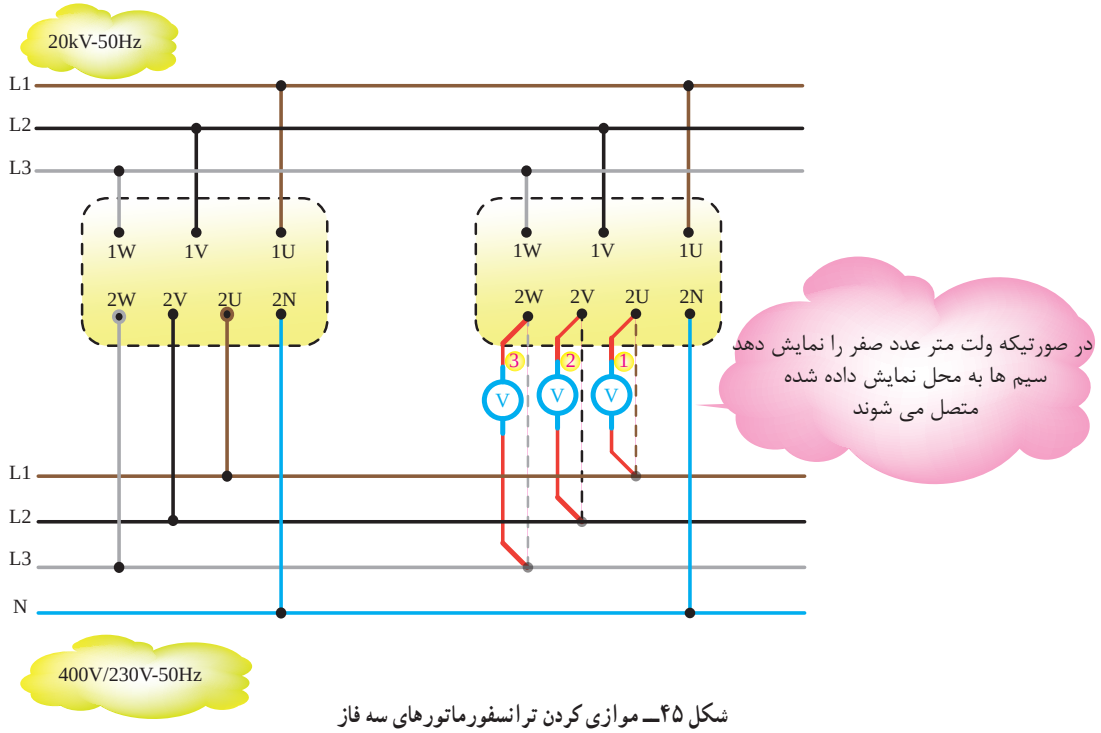
در صورتی که ولت‌متر ولتاژ صفر را نشان داد می‌توانند آن دو سر را نیز به هم وصل کنند. اما اگر ولتاژ نمایش داده شده حدوداً دو برابر ولتاژ نامی ترانسفورماتور بود، باید جای دو اتصال در ثانویه جابه‌جا و سپس با هم موازی شوند.



شکل ۴۴ــ موازی کردن ترانسفورماتورهای تک‌فاز

۴ــ۸ــ۲ــ موازی بستن دو ترانسفورماتور سه فاز :

پس از بررسی و اطمینان از شرایط اولیه جهت موازی بستن ترانسفورماتورها مداری مطابق شکل (۴۵) فراهم نموده و اتصال صحیح فازها با ولت‌متر بررسی می‌شوند. در صورتی‌که اتصال فازها درست باشد ولت‌متر عدد صفر را نشان می‌دهد. فقط در چنین حالتی می‌توان همه اتصالات ثانویه را به شبکه پایین دست متصل نمود.



شکل ۴۵ــ موازی کردن ترانسفورماتورهای سه فاز

در ترانسفورماتورهای سه فاز امکان موازی بستن ترانسفورماتورها بدون توجه به گروه اتصال آنها وجود ندارد. در عمل و با توجه به‌اینکه سربندی و اتصال ترانسفورماتورها در داخل ترانسفورماتور صورت می‌گیرد امکان تعویض گروه ترانسفورماتور وجود ندارد. البته با توجه به تشابه برداری و تنها با تعویض اتصالات مطابق جدول (۲) با تغییر جای فازها،گروه ۵ و۱۱ را می‌توان به هم تبدیل کرد.

جدول۲ــ تبدیل گروه‌های ۵ و ۱۱ با تعویض محل اتصال از بیرون

عدد مشخصه موجود	عدد مشخصه مورد نیاز	نحوهٔ اتصال فازها به سیم‌پیچ 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

۲

در عمل برای پیدا کردن فازهای مشابه امروزه از دستگاه توالی سنج استفاده می‌شود، این دستگاه بدون نیاز به بستن مدار شکل(۴۶) می‌تواند نوع فازهای خروجی را قبل از اتصال به هم تشخیص دهد.

شکل ۴۶ــ نمای ظاهری دستگاه توالی سنج

خود را بیازمایید

۱ــ گروه اتصال را تعریف کنید.

۲ــ گروه اتصال Dyn۵ را تشریح کنید.

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

۴ــ مزایای استفاده از یک ترانسفورماتور به‌جای چند ترانسفورماتور موازی را بنویسید.

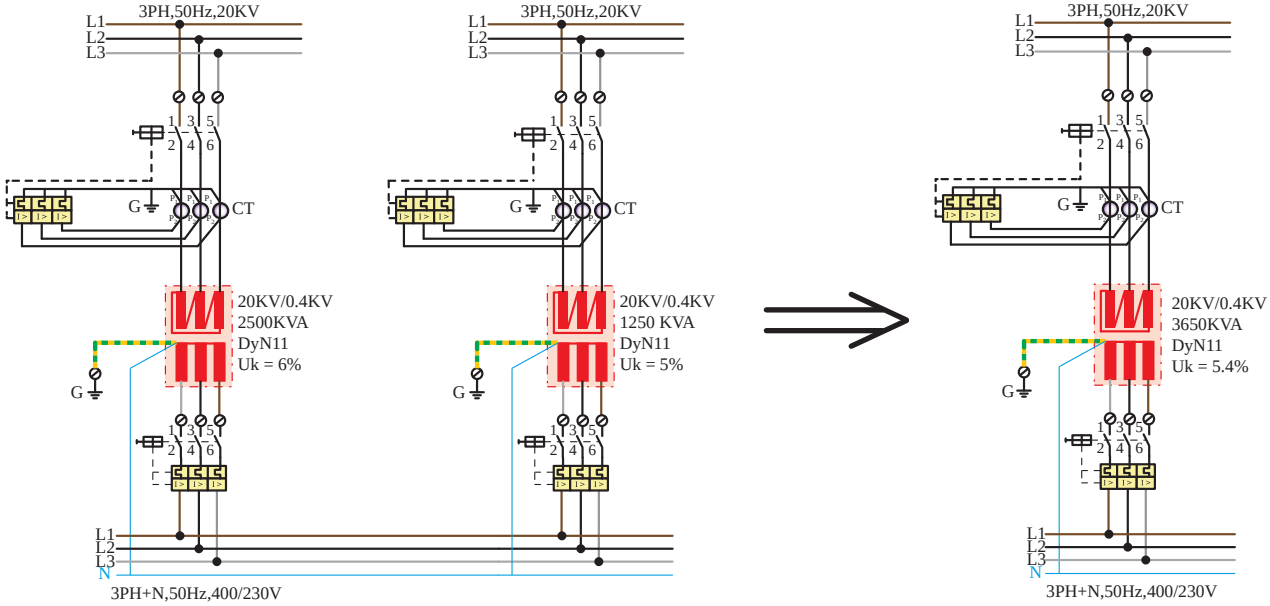
۵ــ شرایط اصلی و لازم برای موازی بستن ترانسفورماتورها را به‌طور کامل شرح دهید.

۶ــ نحوهٔ اتصال دو ترانسفورماتور تک‌فاز را به‌صورت موازی در شبکه توضیح دهید.

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

۹ــ۲ــ محاسبه قدرت ظاهری ترانسفورماتور پس از اتصال موازی

وقتی چند ترانسفورماتور با هم موازی می‌شوند مشابه یک ترانسفورماتور بزرگ‌تر عمل می‌کنند (شکل ۴۷).



شکل ۴۷ــ ترانسفورماتورهای موازی و ترانسفورماتورمعادل آن

اگر چند ترانسفورماتور با قدرت ظاهری $S_{n_1}, S_{n_2}, S_{n_3}, \ldots$ که ولتاژ اتصال کوتاه آنها به‌ترتیب $U_{K_1}, U_{K_2}, U_{K_3}, \ldots$ 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 (۳ـ۲)

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

$U_{k_{eq}}$ درصد ولتاژ اتصال کوتاه نسبی معادل کل ترانسفورماتورهاست که از رابطه (۵ـ۲) باید محاسبه شود.

S_{n_i} توان نامی ظاهری ترانسفورماتور مفروض مثلاً S_{n_1} $S_{n_2}, S_{n_3}, \ldots$ می‌باشد.

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

از طرفی در ترانسفورماتورهای 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 ترانسفورماتورهای معادل کل برابر است.

عبارت ریاضی جمله فوق مطابق رابطه (۵ـ۲) 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 (۵ـ۲) توان نامی و درصد ولتاژ اتصال کوتاه نسبی همه ترانسفورماتورهای موازی شده معلوم است و با جمع توان نامی همه ترانسفورماتورها به‌راحتی می‌توان ΣS_n را نیز به‌دست آورد پس با انجام یک طرفین ساده می‌توان $U_{k_{eq}}$ را به‌دست 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 (۶ـ۲) در صورتی که 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 (۲ـ۲)، رابطه (۷ـ۲) را نتیجه گرفت.

$$\frac{S_i}{\sum S} = \frac{S_{ni}}{\sum S_n} \qquad (۲ـ۷)$$

مثال سه دستگاه ترانسفورماتور با مشخصات ذیل موازی شده‌اند :

$S_{n_1} = ۴۰۰\text{KVA}$ $S_{n_2} = ۶۳۰\text{KVA}$ $S_{n_3} = ۸۰۰\text{KVA}$

$U_{k_1} = ۶٪$ $U_{k_2} = ۵٪$ $U_{k_3} = ۴٪$

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

$$U_{k_{eq}} = \frac{\sum S_n}{\frac{S_{n_1}}{U_{k_1}} + \frac{S_{n_2}}{U_{k_2}} + \frac{S_{n_3}}{U_{k_3}}} =$$

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

$$S_1 = \frac{U_{k_{eq}}}{U_{k_1}} \times \frac{S_{n_1}}{\sum S_n} \times \sum S =$$

$$= \frac{۰/۰۴۶۶}{۰/۰۶} \times \frac{۴۰۰}{۱۸۳۰} \times ۱۰۰۰ = ۱۶۹/۸\text{KVA}$$

$$S_2 = \frac{U_{k_{eq}}}{U_{k_2}} \times \frac{S_{n_2}}{\sum S_n} \times \sum S =$$

$$= \frac{۰/۰۴۶۶}{۰/۰۵} \times \frac{۶۳۰}{۱۸۳۰} \times ۱۰۰۰ = ۳۲۰/۹\text{KVA}$$

$$S_۳ = \frac{U_{k_{eq}}}{U_{k۳}} \times \frac{S_{n۳}}{\sum S_n} \times \sum S =$$

$$= \frac{۰/۰۴۶۶}{۰/۰۴} \times \frac{۸۰۰}{۱۸۳۰} \times ۱۰۰۰ = ۵۰۹/۳ KVA$$

همان‌طور که از پاسخ مسئله پیداست به‌دلیل 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.

$S_{n۱} = ۵۰ KVA \quad S_{n۲} = ۲۵۰ KVA \quad S_{n۳} = ۸۰۰ KVA$

$U_{k۱} = ۴٪ \quad U_{k۲} = ۸٪ \quad U_{k۳} = ۵٪$

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

$$U_{k_{eq}} = \frac{\sum S_n}{\frac{S_{n۱}}{U_{k۱}} + \frac{S_{n۲}}{U_{k۲}} + \frac{S_{n۳}}{U_{k۳}}} =$$

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

$$S_۱ = \frac{U_{k_{eq}}}{U_{k۱}} \times \frac{S_{n۱}}{\sum S_n} \times \sum S =$$

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

$$S_۲ = \frac{U_{k_{eq}}}{U_{k۲}} \times \frac{S_{n۲}}{\sum S_n} \times \sum S =$$

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

$$S_۳ = \frac{U_{k_{eq}}}{U_{k۳}} \times \frac{S_{n۳}}{\sum S_n} \times \sum S =$$

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

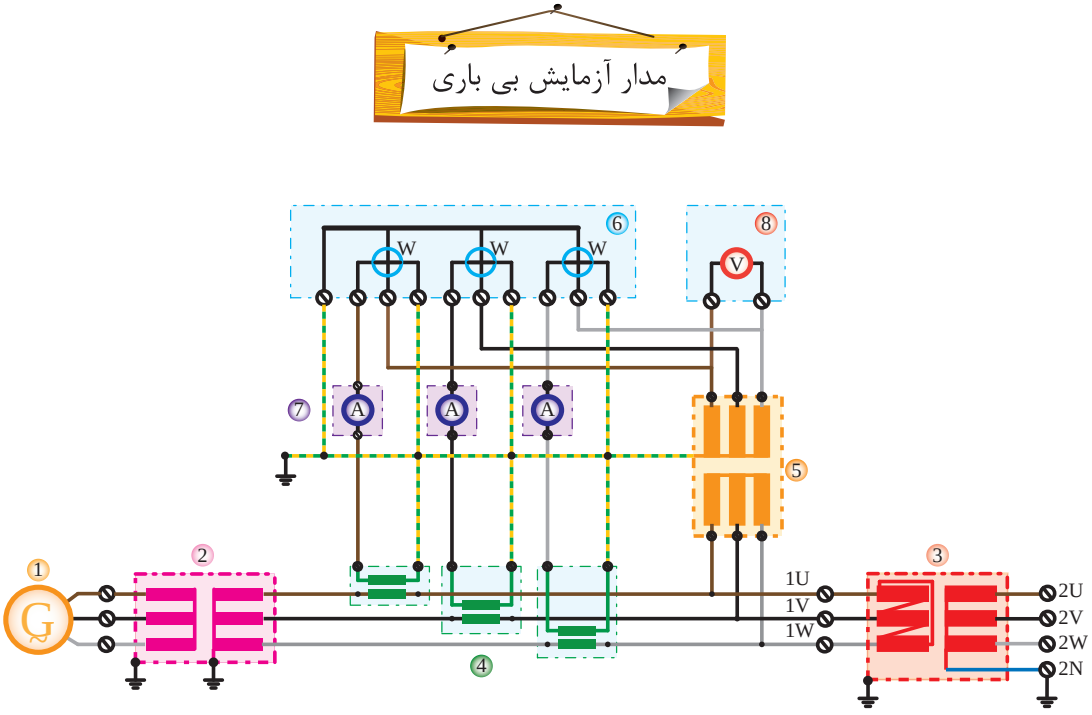
ملاحظه می‌شود ترانسفورماتور اوّل در وضعیت اضافه بار(over load)، ترانسفورماتور دوم در وضعیت کاهش بار (under load) و ترانسفورماتور سوم در نزدیکی قدرت نامی ترانسفورماتور زیر بار رفته‌اند که مسلماً شراکت بار به‌خوبی انجام نشده است.

خود را بیازمایید

ـ 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.

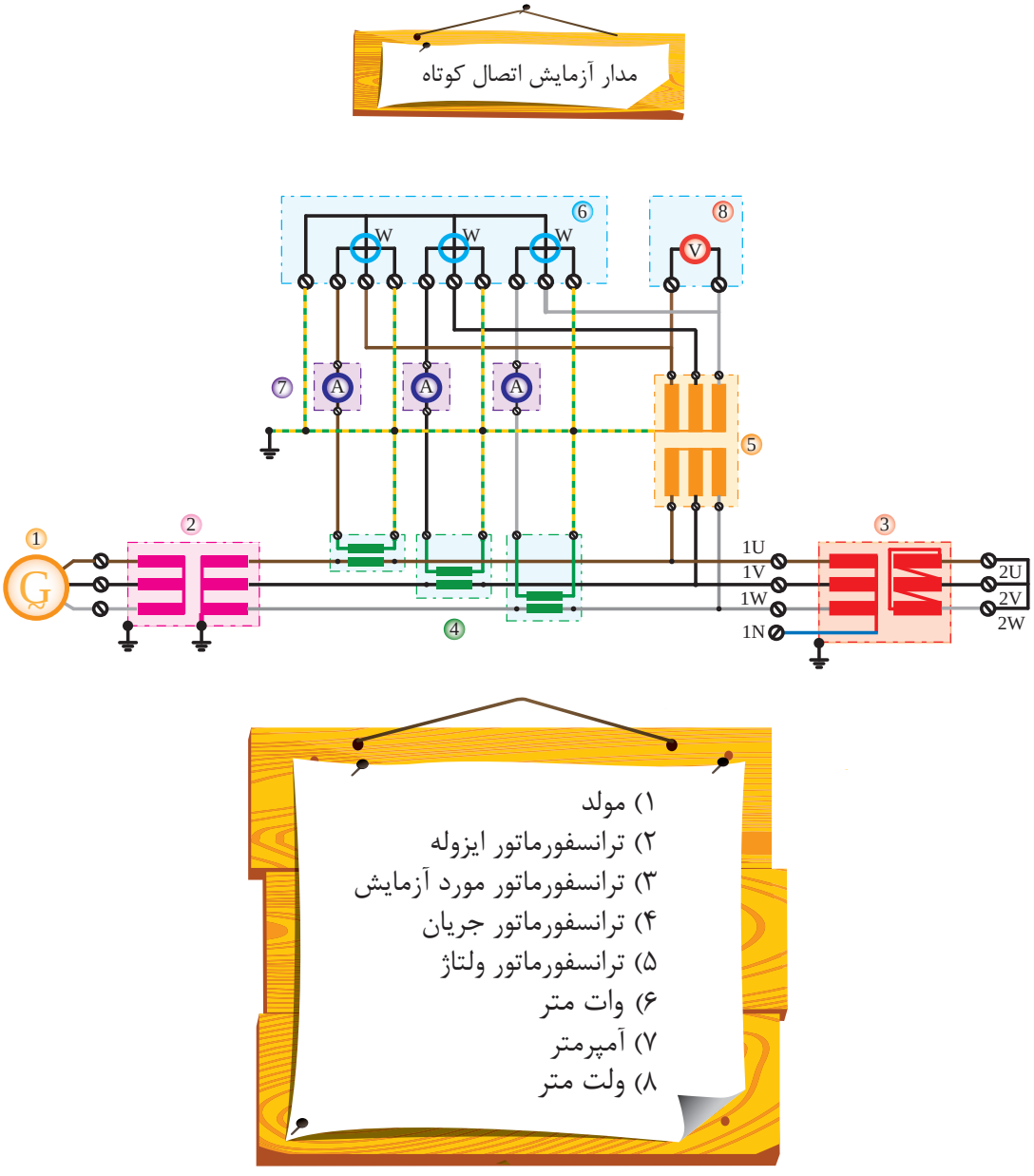
۱۰ـ۲ـ تلفات و راندمان

در ترانسفورماتورهای سه فاز نیز مانند ترانسفورماتورهای تک‌فاز تلفات شامل تلفات هسته P_{core} و تلفات مسی P_{Cu} می‌باشد که تلفات هستهٔ ترانسفورماتور را می‌توان با آزمایش بی‌باری و تلفات مسی را با آزمایش اتصال کوتاه بدست آورد. در شکل (۴۸) مدار مربوط به هر آزمایش ترانسفورماتور سه فاز نمایش داده شده است.



شکل ۴۸ــ الف) مدار مربوط به آزمایش بی باری ترانسفورماتور

۲



شکل ۴۸ــ ب) مدار مربوط به آزمایش اتصال کوتاه ترانسفورماتور

در اینجا نیز تلفات هسته به‌دلیل ثابت بودن ولتاژ ورودی جزو تلفات ثابت و تلفات مسی به‌دلیل تغییر بار مصرف کننده جزو تلفات متغیر محسوب می‌شوند.

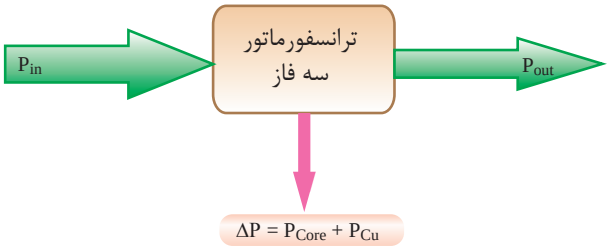
راندمان در تمام ماشین‌های الکتریکی از رابطه (۸ ــ ۲) محاسبه می‌شود با این تفاوت که در هر ماشین باید از روابط منحصر به آن استفاده نمود.

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times ۱۰۰ \qquad (۸ــ۲)$$

در سیستم سه فاز توان الکتریکی حقیقی از رابطه (۹ــ۲) محاسبه می‌شود.

$$P = \sqrt{3} U_L I_L \cos\varphi = S\cos\varphi \qquad (۲_۹)$$

از طرفی دیاگرام توازن توان در ترانسفورماتورهای سه فاز مطابق شکل (۴۹) می‌باشد.



شکل ۴۹ــ دیاگرام توازن توان در ترانسفورماتور سه فاز

با توجه به دیاگرام توازن توان و رابطه (۸ــ۲) داریم :

$$P_۱ = P_۲ + P_{core} + P_{Cu} \qquad (۲_۱۰)$$

$$\eta = \frac{P_۲}{P_۲ + P_{core} + P_{Cu}} \qquad (۲_۱۱)$$

با استفاده از دو رابطه (۹ــ۲) و (۱۱ــ۲) می‌توان نتیجه گرفت :

$$\eta = \frac{S_۲ \cos\varphi}{S_۲ \cos\varphi + P_{core} + P_{Cu_i}} \qquad (۲_۱۲)$$

ضریب بار با رابطه (۱۳ــ۲) تعریف می‌شود.

$$A = \frac{I}{I_n} = \frac{S}{S_n} \qquad (۲_۱۳)$$

بنابراین می‌توان تلفات مسی در بارهای متفاوت را از رابطه (۱۴ــ۲) بدست آورد.

$$A = \frac{P_{Cu_i}}{P_{Cu_n}} = (\frac{S_۲}{S_n}) \Rightarrow$$

$$P_{Cu} = P_{Cu_n} A^۲ \qquad (۲_۱۴)$$

با جاگذاری رابطه (۱۴ــ۲) در رابطه (۱۲ــ۲)، راندمان هر ترانسفورماتور را می‌توان با رابطه (۱۵ــ۲) بدست آورد.

$$\eta = \frac{AS_n \cos\varphi}{AS_n \cos\varphi + P_{Fe} + A^۲ P_{Cu_n}} \qquad (۲_۱۵)$$

S توان ظاهری قرار داده شده روی ترانسفورماتور برحسب VA

P_{Fe} تلفات بی‌باری (آهنی) خروجی آزمایش بی‌باری برحسب W

P_{Cu_n} تلفات بارداری (مسی) خروجی آزمایش اتصال کوتاه بر حسب W

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

S_n قدرت ظاهری نامی بر حسب VA

A ضریب بار

Cosφ ضریب قدرت بار مصرفی

در ترانسفورماتورهای سه فاز نیز مانند ترانسفورماتورهای تک‌فاز در صورتی که ضریب بار $A = \sqrt{\frac{P_{core}}{P_{Cu_n}}}$ 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.

مثال یک ترانسفورماتور سه فاز ۱۰۰۰ KVA با ولتاژ ۲۰KV/۴۰۰V و گروه اتصال Dyn۱۱ در آزمایش بی‌باری ۱۷۰۰ W و در آزمایش اتصال کوتاه ۱۰۵۰۰W توان از شبکه دریافت می‌کند مطلوبست محاسبه : با ولتاژ

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

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

$$\eta = \frac{AS_n \cos\varphi}{AS_n \cos\varphi + P_{Fe} + A^۲ P_{Cu_n}}$$

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

ب) ماکزیمم راندمان این ترانسفورماتور در چه باری رخ

می‌دهد و در ضریب قدرت ۰/۸ راندمان آن چقدر است؟

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

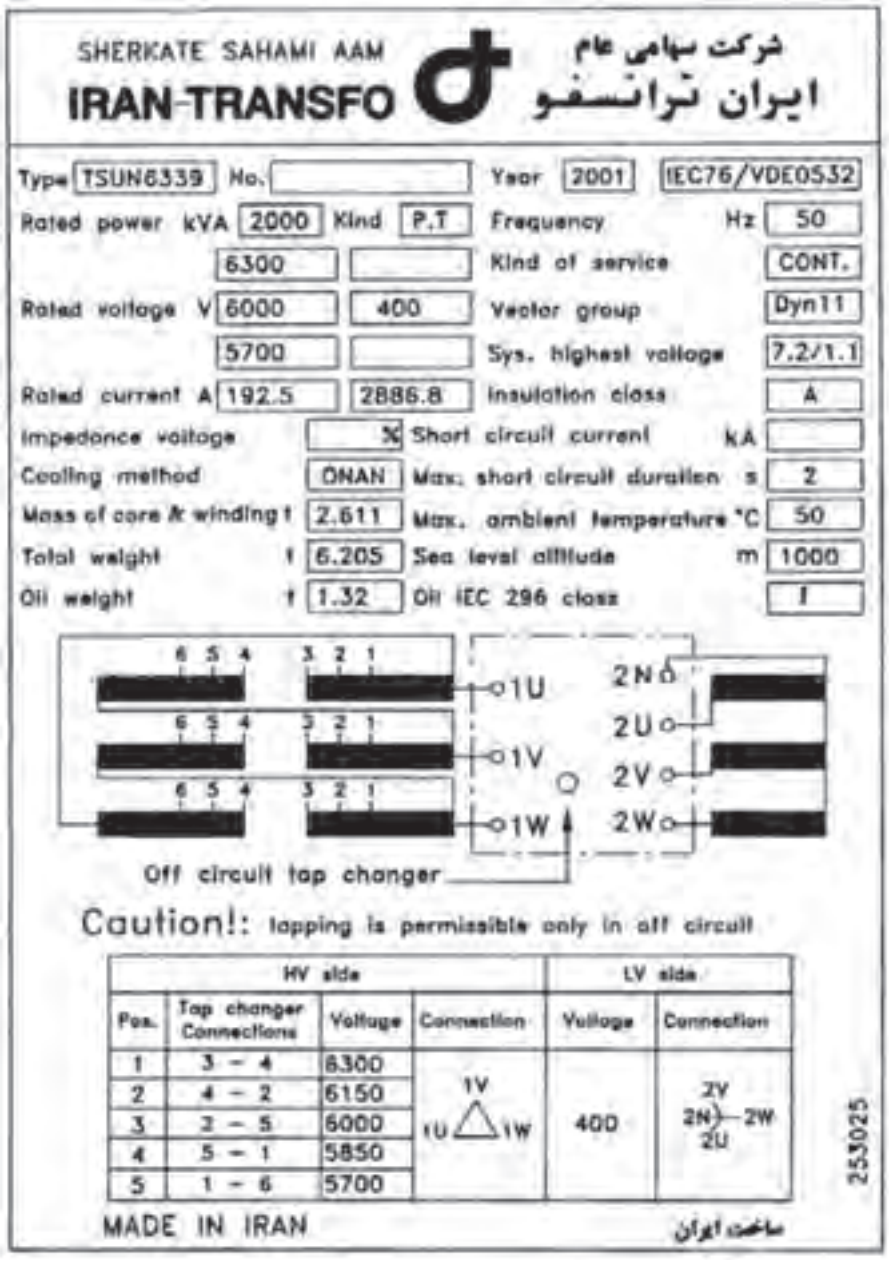
$$A=\frac{S}{S_n}\Rightarrow S=A\times S_n=۰/۴\times ۱۰۰۰=۴۰۰KVA$$

$$\eta=\frac{AS_n\cos\varphi}{AS_n\cos\varphi+P_{Fe}+A^۲P_{Cu_n}}$$

$$=\frac{۰/۴\times ۱۰۰۰۰۰۰\times ۰/۸}{۰/۴\times ۱۰۰۰۰۰۰\times ۰/۸+۱۷۰۰+(۰/۴^۲\times ۱۰۵۰۰)}\approx ۹۹$$

۱۱ــ۲ــ پلاک‌خوانی ترانسفورماتور

مشخصات هر ترانسفورماتور روی پلاک آن آورده می‌شود. در شکل (۵۰) پلاک یک ترانسفورماتور نشان داده شده است. پلاک هر ترانسفورماتور غالباً از جنس فولاد ضد زنگ یا سایر موارد غیر قابل‌خوردگی و مقاوم در برابر هوا ساخته شده و نوشته‌ها روی آن حکاکی می‌گردد.



شکل ۵۰ــ پلاک یک ترانسفورماتور توزیع

مشخصه	توضیحات
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 (۴۰۰/۶۳۰۰–۶۰۰۰–۵۷۰۰ 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 وسیم‌پیچ (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)

۱ــ وظیفهٔ ترانسفورماتور توزیع چیست؟

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

۳ــ در ترانسفورماتور توزیع قدرت سیم‌پیچ فشار ضعیف و فشار قوی را به چه نحوی روی هسته می‌پیچند؟

۴ــ روش‌های تهویه و خنک‌سازی ترانسفورماتور را نام ببرید.

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

۶ــ ساختمان ترانسفورماتور با بالشتک گازی را شرح دهید.

۷ــ مزایای ترانسفورماتور خشک نسبت به روغنی چیست؟

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

۹ــ رله بوخ‌هلتس در برابر چه خطاهایی عمل می‌کند؟

۱۰ــ چگونه دمای ترانسفورماتور نوع خشک کنترل می‌شود؟

۱۱ــ تأثیر رطوبت در ترانسفورماتور روغنی چیست؟

۱۲ــ شیر اطمینان در ترانسفورماتورها چه وظیفه‌ای دارد؟

۱۳ــ وظیفه بوشینگ را بنویسید.

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

۱۵ــ وظیفه رله بوخ‌هلتس را بنویسید.

۱۶ــ منظور از گروه اتصال ترانسفورماتور چیست؟

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

مسائل پایان فصل(۲)

۱ــ دو ترانسفورماتور تک‌فاز کاملاً 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؟

۲ــ 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.

۳ــ 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

۴ــ یک ترانسفورماتور سه فاز ۲۰Kv/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 ــ یک ترانسفورماتور ۶KV/۴۰۰V با توان نامی ۲۰KVA دارای تلفات آهنی و مسی نامی به ترتیب ۲۵۰W و۴۰۰W می‌باشد. بدست آورید :

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

ب) راندمان ماکزیمم