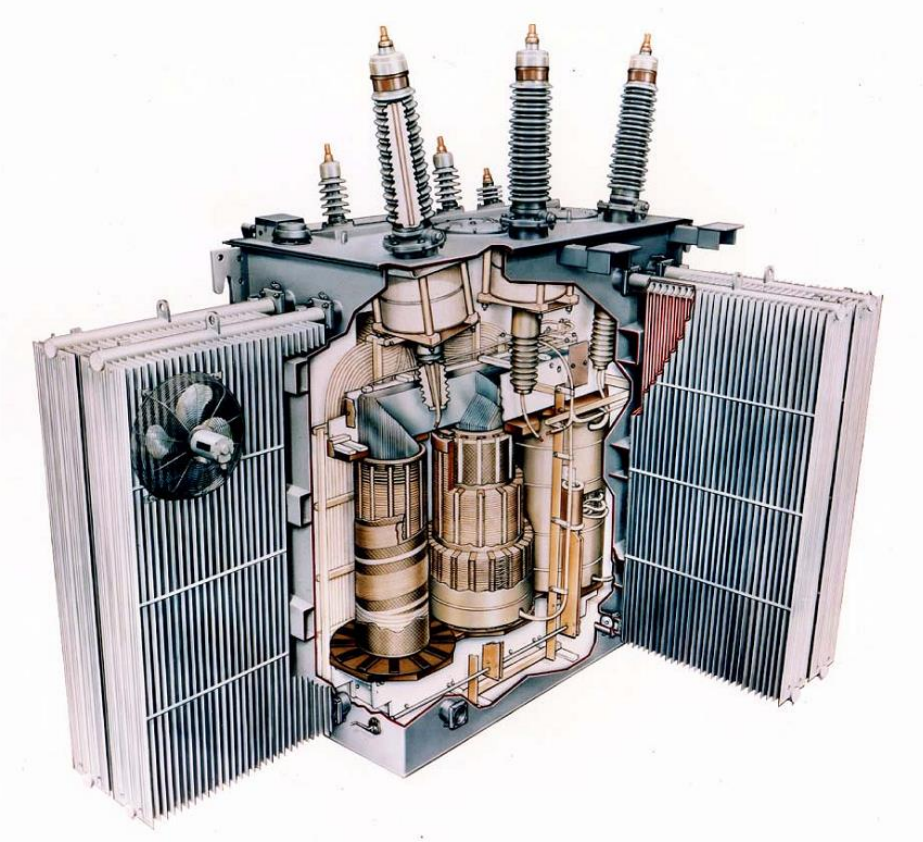
بسمه تعالی

دوره کاربردی ترانسفورماتورهای قدرت و نحوه تست آنها

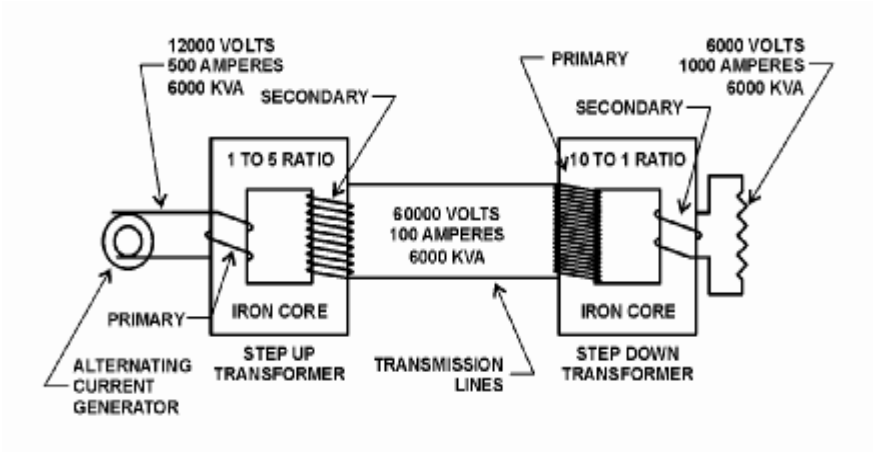


گردآوری و تنظیم : سامان قهقه زاده

مقدمه

افزایش ظرفیت انتقال توان بین نیروگاهها و مصرف کننده ها با افـزایش جریـان در خطـوط انتقال و توزیع شبکه های قدرت مواجه است . در عمل ساخت ژنراتورهای با ولتاژ خروجی بسیار بالا امکان پذیر نمی باشد و عموماً به دلیل مشکلات عایق بندی ایـن ولتـاژ بـه مقـدار حـداکثر تـا ۳۰ کیلوولت محدود می شود . با این ولتاژ خروجی جریان ژنراتورها بعضاً به مقادیری در حدود ۱۰ کیلو آمپر و یا بیشتر نیزخواهد رسید .

بدین ترتیب وجود ترانسفورماتورهای قدرت برای ایجاد ولتاژهای فشار قوی و فوق فشار قوی دارای اهمیت می شود . با اسـتفاده از ترانسـفورماتورهای افزاینـده ولتـاژ در خروجـی نیروگاهها و ترانسفورماتورهای کاهنده ولتاژ در سمت مراکز بار و مصرف کننده ها از اتلاف انـرژی الکتریکـی در خطوط انتقال تا میزان بسیار قابل توجهی جلوگیری می شود .



همچنین عایق بندی سیم پیچ های ترانسفورماتورها ارزانتر و ساده تر از عـایق بنـدی سـیم پیچ های ژنراتورها می باشد .

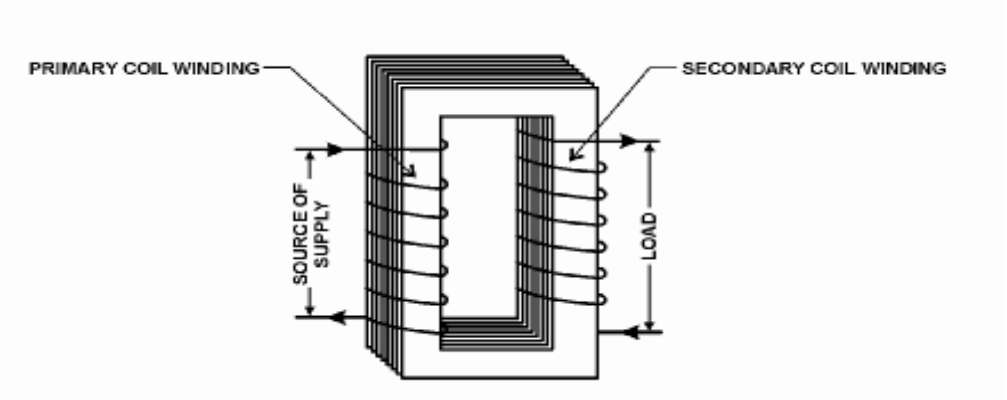
ترانسفورماتورهای قدرت دارای طیف گسترده ظرفیت های توانی در حدود چند مگاولت آمپر و بعضاً تا ۱۰۰۰ مگاولت آمپر می باشند . در حالیکه ترانسفرماتورهای توزیع دارای ظرفیت های توانی از حدود ۲۵ کیلوولت آمپر تا حدود ۲۰۰۰ کیلوولت آمپر می باشند .

حجم ترانسفورماتورهای توزیع به نحوی است که تا ظرفیت ۵۰۰ کیلوولت آمپر را می توان در ارتفاع نصب نمود و برای پستهای توزیع با ظرفیت های بالاتر از این مقدار باید سیستم نصب زمینی را طراحی نماییم .

ترانسفورماتورهای قدرت به دلیل سه فاز بودن شبکه های انتقال و فوق توزیع عمدتاً به صورت سه فاز طراحی و ساخته می شود البته در مواردی نیز به دلیل شرایط خاصی شبکه یا شرایط محیطی شبکه از اتصال سه ترانسفورماتور تکفاز جهت تبدیل ولتاژ استفاده شده است که موارد آن بسیار محدود است .

عملکرد مداری ترانسفور ماتور :

یک ترانسفور ماتور تجهیزی است دو قطبی (چهار سر) که ولتاژ سمت اولیه را با نسبت تبدیلی مشخص به ولتاژ سمت ثانویه خود منتقل می نماید . در شکل ذیل ساختمان ساده ای از عملکرد مداری یک ترانسفورماتور تکفاز نشان داده شده است .



چنانچه تعداد دور سیم پیچ های اولیه ترانسفور ماتور که به دور یک هسته فرومغناطیسی پیچیده شده است . n_1و تعداد دور سیم پیچ های ثانویه ترانسفورماتور که به دور همان هسته فرو مغناطیسی پیچیده شده است n_2 باشد آنگاه ولتاژهای اولیه و ثانویه با تقریب مناسبی دارای رابطه ذیل می باشند .

$$\frac{V_1}{n_1} = \frac{V_2}{n_2}$$

همچنین جریانهای دو سیم پیچ اولیه و ثانویه نیز دارای رابطه ی تقریبی ذیل می باشند .

$$n_1 i_1 = n_2 i_2$$

توان ورودی ترانسفورماتور نیز با توان خروجی آن تقریباً مساوی می باشدزیرا :

$$P_1 = V_1 i_1 = \left(\frac{n_1 V_2}{n_2}\right) * \left(\frac{n_2 i_2}{n_1}\right) = v_2 i_2 = P_2$$

پس انتظار می رود که ترانسفورماتور کل می توان ورودی خود از طرف ثانویه به مدار ثانویه تحویل دهد . اما در عمل به دلیل وجود بعضی محدودیتها و شرایط غیره ایده آل این موضوع تحقق نمی یابد و بازده ترانسفورماتور که به صورت حاصل تقسیم توان خروجی به توان ورودی تعریف می شود به میزان ۱۰۰ ٪ نخواهد بود . در شرایط کارکرد بارنامی ترانسفورماتورها در ترانسفورماتورهای توزیع مقدار بازده حدود ۹۶ ٪ و در ترانسفورماتورهای قدرت مقدار بازده در حدود ۹۸ ٪ به طور معمول می باشد .

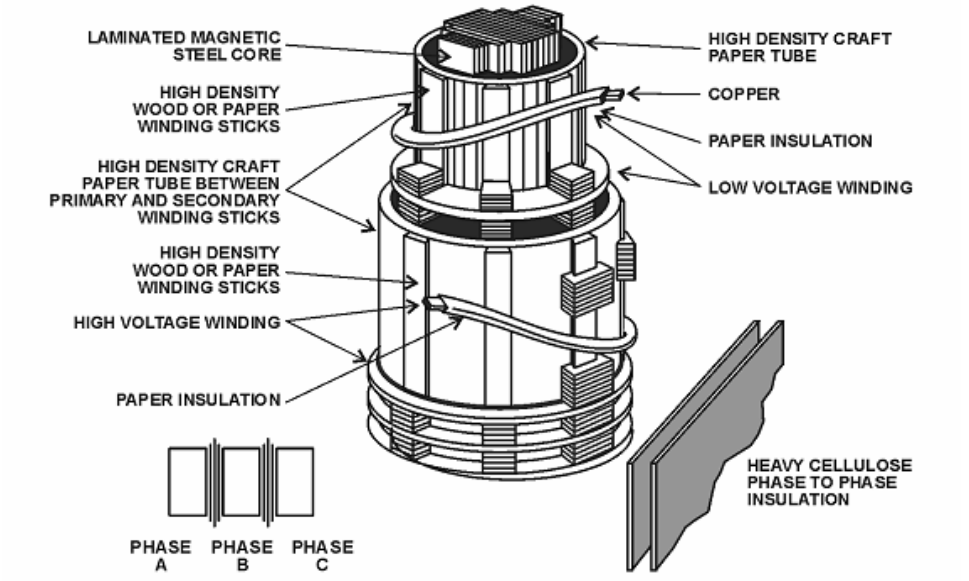
بخشی از انرژی ورودی ترانسفورماتورها به دلیل ایجاد جریان الکتریکی درون سیم پیچ های اولیه و ثانویه ترانسفورماتور بر اساس قانون اهم در الکتریسیته تلف می شود .

همچنین به دلیل ایجاد ولتاژ در سیم پیچ های الکتریکی و تولید شارمغناطیسی متناوب درون هسته سیم پیچ در هسته ترانسفورماتورها به دلیل وجود پدیده هیسترزیس مواد

فرو مغناطیس تلفات مغناطیسی خواهیم داشت . بعـلاوه در هسـته ترانسـفورماتورها نـوعی تلفـات اهمی موسوم به تلفات فوکوحاصل می گردد که هرچه سطح مقطع هسته بیشتر باشد مقدار آن نیز افزایش می یابد .

نتیجتاً در ترانسفورماتورهای قدرت دارای دو سری تلفات انرژی که یکی متناسب بـا مجـذور ولتاژ طرفین ترانسفورماتور و دیگری متناسب با مجذور جریان ترانسفور ماتوراست می باشیم چـون ترانسفورهاتورها معمولاً در رنج ولتاژ نامی خود تحت سرویس قرار می گیرند لذا تلفات هسته درون ترانسفور ماتور (تلفات آهنی) تقریباً ثابت فرض می شود اما یک ترانسفورماتور ممکن است از صفر تا ۱۰۰ ٪ بار نامی خود تحت سرویس قرار گیرد پس جریانهای مختلفی از آن (اولیه و ثانویه) عبور می نماید آنگاه تلفات سیم پیچ (تلفات مسی) کاملاً متغیر فرض می شود .

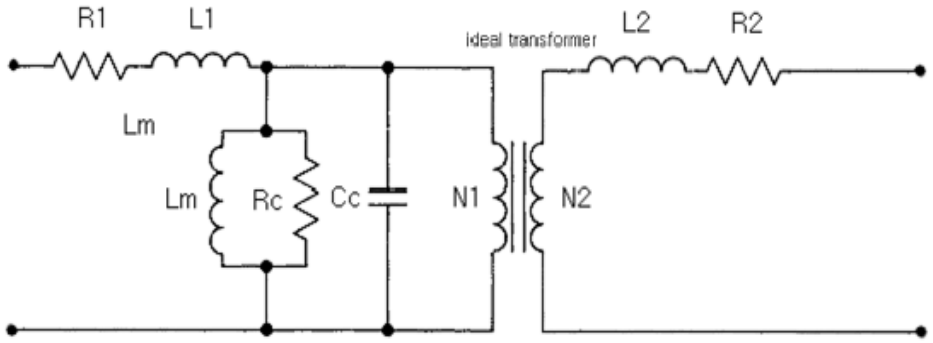
در ترانسفورماتورها به دلیل وجود فاصله بین سیم بندی ها و هسته ترانسـفور کـه بـه دلیـل مسائل عایقی ، طراحی فرم هسته و . . . می باشد بخشی از شارمغناطیسی تولید شده در سیم پـیچ اولیه از درون مدار هسته مغناطیسی عبور نمی نماید و همچنین به دلیل وجود مقاومت مغناطیسی در مسیر شار پیوندی بین دو سیم پیچ اولیه و ثانویه کل نیروی مغناطیسی ایجاد شده در سیم پیچ



اولیه وارد سیم پیچ ثانویه نمی گردد . لذا همانطور که قبل بیان شد نیروهای مغناطیس شوندگی در دو سیم پیچ تقریباً با هم مساویند .

$$n_1 i_1 \sim n_2 i_2$$
$$n_1 i_1 - n_2 i_2 = R\phi_M$$

با توجه به کل موارد بیان شده برای مطالعه کارکرد ترانسفورماتورهای الکتریکی قدرت یا توزیع از مدار معادل با تقریب بسیار مناسب نسبت به واقعیت به فرم شکل ذیل استفاده می نماییم :



در این شکل R_1 و R_2 نشان دهنده مقاومت اهمی سیم پیچ های اولیه و ثانویه ترانسفورماتور می باشند . از R_m به عنوان مقاومتی که تولید کننده توان اهمی متناسب با ولتاژ ترانس و نمایانگر تلفات هسته می باشد استفاده شده است .

L_1 و L_2 عناصری سلفی می باشند که نمایانگر شارهای مغناطیسی تولید شده درون هر سیم پیچ هستند که این شارها در مدار مغناطیسی هسته وارد نمی شود . L_m نیز نمایانگر شار مشترک یا پیوندی بین دو سیم پیچ است که با مقاومت مدار مغناطیسی شوندگی هسته نسبت معکوس دارد .

$$L_m = \frac{n_1^2}{R_m}$$

همچنین برای تکمیل مدار از یک ترانسفورماتور با بازده ۱۰۰ ٪ برای ایجاد نسبت تبدیل استفاده می نماییم . به راحتی می توان مشاهده نمود با توجه به مدار معادل پیشنهادی هرچه میزان جریان عبوری از ترانسفورماتور بیشتر باشد افت ولتاژ ایجاد شده و درصد اختلاف بین نسبت تبدیل ترانسفورماتور نیز بیشتر خواهد بود .

دسته بندی های مختلف ترانسفورماتورها

الف – انواع ترانسفورماتورها از نظر تعداد فاز

همانطور که قبلاً بیان شد ترانسفورماتورهای قدرت از نظر تعداد فاز عمدتاً دارای اتصالات سه فازه هستند .

اما در قدرتهای بسیار پایین ترانسفورماتورهای تکفاز به صورت متعدد به کار می روند این محدودیت توانی بیشتر از قدرتهای ۷۰ کیلوولت آمپر به پایین تر می باشد در موارد محدودی که از ترانسهای قدرت با توان بسیار بالا استفاده شده زمانی است که جایگیری یا حمل یک ترانسفورماتور سه فاز امکان پذیر نبوده است که نمونه بارز آن ترانسفورماتورهای تکفاز اصلی سد و نیروگاه شهید عباسپور می باشند .

ب – انواع ترانسفورماتورها از نظر نوع استفاده

در شبکه های قدرت ترانسفورماتورها به سه صورت ترانسفورماتورهای ولتاژ ، جریان و قدرت استفاده می شوند . ترانسفورماتورهای جریان و ولتاژ صرفاً کاربرد در اندازه گیری جریان ها و ولتاژهای شبکه قدرت را داشته و برای انتقال توان مورد استفاده ندارند به واسطه وجود این دو نوع

ترانسفورماتور نمونه برداری از پارامترهای فشار قوی و تبدیل آنها به کمیتهای در مقیاس کوچک جهت اندازه گیری مانتیورینگ و کنترل شبکه قدرت صورت می پذیرد .

گروه سوم ترانسفورماتورهای قدرت هستند که خود نیز به سه دسته تقسیم می شوند .

دسته اول ترانسفورماتورهای قدرت با توان کم هستند که برای انتقال و توزیع الکتریسیته درسطح ولتاژهای پایین استفاده می شوند این ترانسفورماتورها نوع افزاینده یا کاهنده ولتاژ و یا از نوع ترانسفورماتورهای سویچینگ هستند . دسته دوم ترانسفورماتورهای قدرت جهت موارد خاص هستند که در کوره های قوس الکتریکی ، یکسوکننده ها ، ئواحدهای جوشکاری بزرگ و . . . مورد استفاده قرار می گیرند .

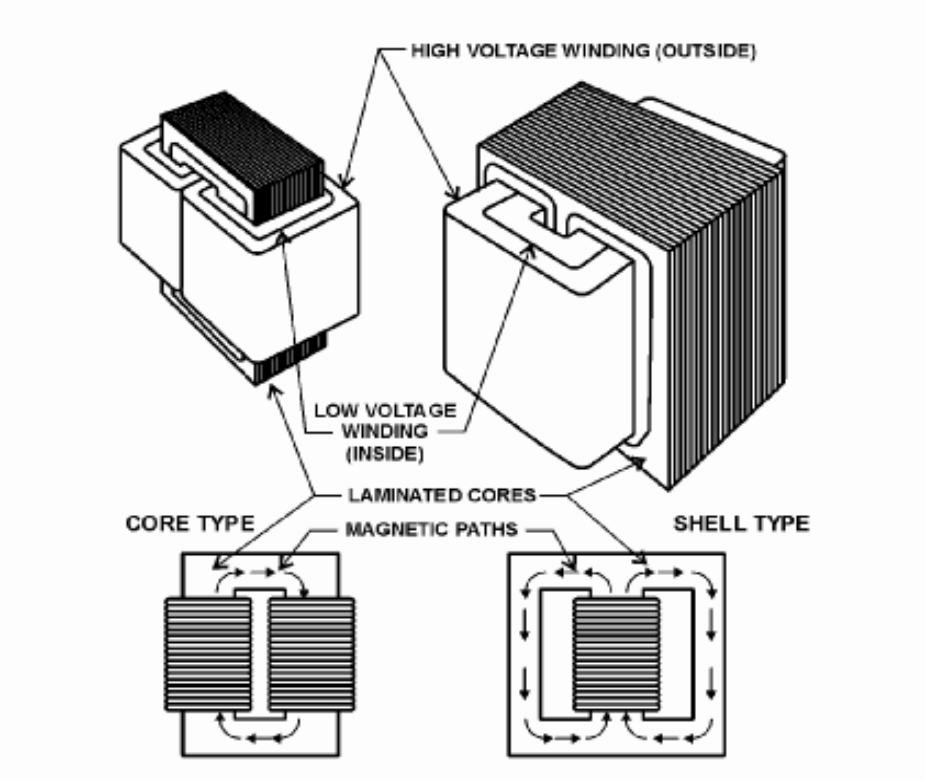
نوع سوم ترانسفورماتورهای قدرت در سیستم های انتقال هستند که به صورت افزاینده ، کاهنده و یا کوپلاژ به کار می روند ترانسفورماتورهای افزاینده عموماً در پستهای نیروگاهی مورد استفاده قرار می گیرند . ترانسفورماتورهای کاهنده برای پایین آوردن سطح ولتاژ جهت رده ولتاژی فوق توزیع و توزیع کاربرد دارند .

در اتصال دو شبکه فشار قوی به یکدیگر نیز از ترانسفورماتورهای قدرت کوپلاژی استفاده می شود .

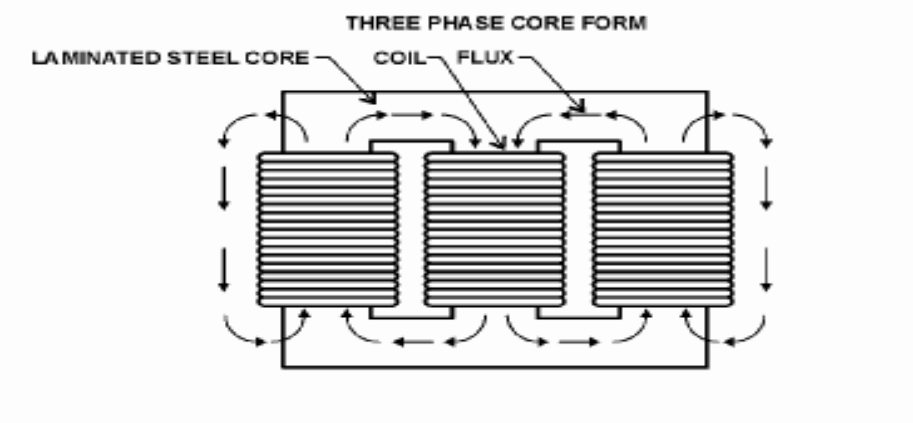
ج- انواع ترانسفورماتورها ازنظر هسته

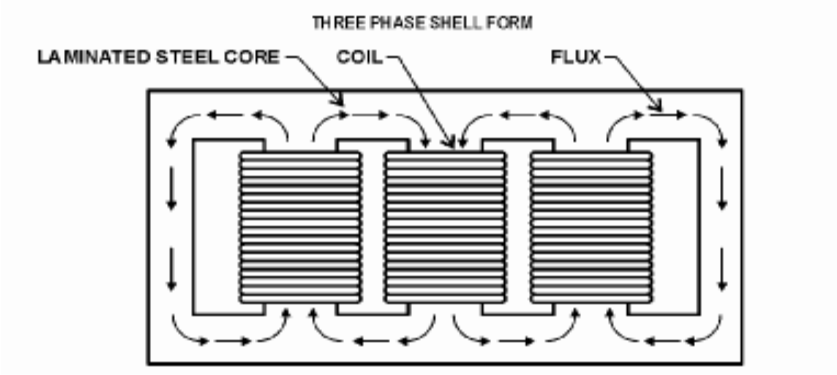
ترانسفورماتورها از نظر نوع هسته به دو نوع هسته ای (core type) و زرهی (shell type) تقسیم بندی می شوند . این تقسیم بندی عمدتاً برای ترانسهای تکفاز بیان می شود .

در نوع هسته ای ، سیم پیچ های اولیه و ثانویه روی دو بازوی مختلف یک هسته بـا دو بـازو پیچیده می شوند . در صورتی که در نوع زرهی سیم پیچ های اولیه و ثانویه روی یک بازوی میـانی یک هسته با سه باز و پیچیده می شوند .



البته این تقسیم بندی به نوعی نیز برای ترانسفورماتورهای سه فاز نیز مطرح می گردد .





اتصالات مختلف سیم پیچ های ترانسفورماتور سه فازه

سیم پیچ های اولیه و ثانویه ترانسفورماتورهای قدرت دارای سه نوع اتصال ستاره ، مثلث و زیگزاگ می باشند .

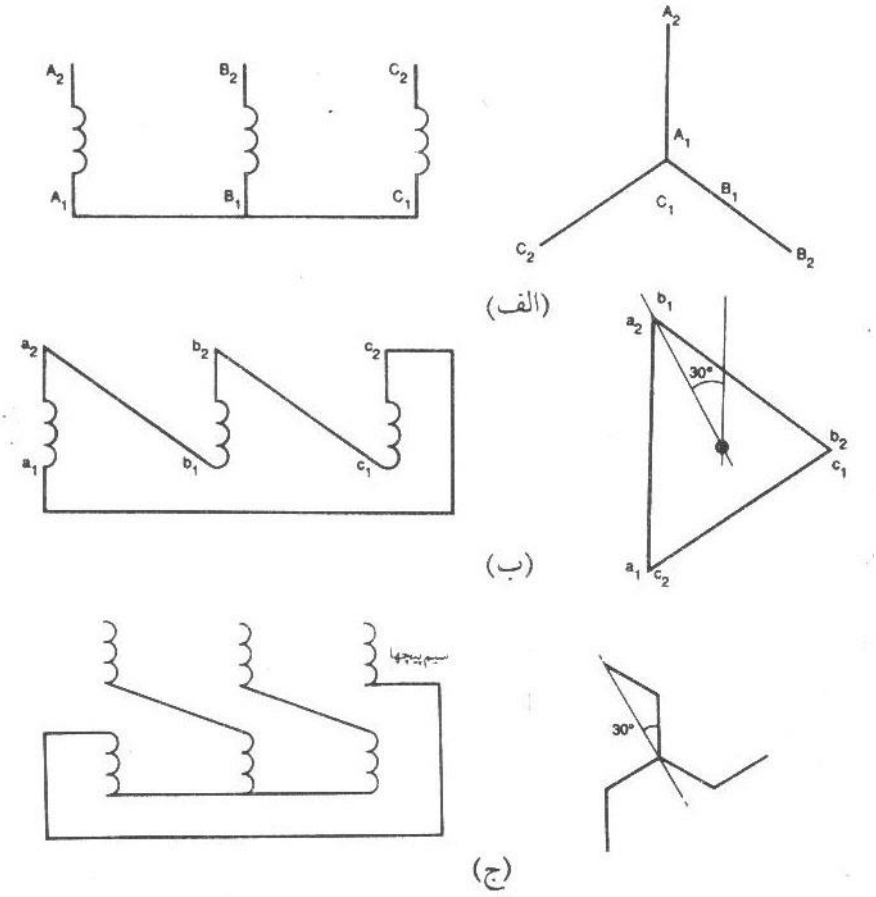
الف) اتصال ستاره : این نوع اتصال به گونه ای است که سر سیم پیچ های اولیه یا ثانویه به هم متصل هستند و تشکیل نقطه نول سیم پیچ سه فازه خواهیم داشت سه سر دیگر سیم پیچ ها به عنوان فازهای آزاد از ترانس خارج می شوند بدین ترتیب در اتصال ستاره دارای ۴ سر قابل دسترسی هستیم .

در بعضی موارد نقطه نول سیم پیچ به زمین پست متصل می گردد (ستاره زمین شده) و درسایر موارد نقطه نول آزاد بوده و اتصال زمین نمی شود . (ستاره زمین نشده) در این اتصال اندازه ولتاژ فاز به فاز $\sqrt{۳}$ برابر ولتاژ هر سیم پیچ می باشد .

ب : اتصال مثلث : در این نوع اتصال انتهای هر سیم پیچ به ابتدای سیم پیچ دیگر متصل می شود در واقع در این اتصال اندازه ولتاژ هر سیم پیچ با ولتاژهای فاز به فاز برابر است .

ج : اتصال زیگزاگ : در اتصال زیگزاگ سیم پیچ هر فاز به دو قسمت با تعداد دور مساوی تقسیم شده اند . هر قسمت از یک فاز با یک قسمت از فاز دیگر سری شده اند . سه سر آزاد

همتای فازها به هم متصل می شوند و سه سر آزاد از قسمتهای دیگر سیم پیچ به خروجی فاز سیم پیچ ها متصل شده و از ترانسفورماتور بیرون می آیند .



کاربرد اتصالات مختلف در ترانسفورماتورهای قدرت

الف : اتصال ستاره – – ستاره

در اتصال ستاره و ولتاژ روی هر سیم پیچ $\frac{۱}{\sqrt{۳}}$ ولتاژ خط (فاز به فاز) است پس این نوع اتصال در شبکه برای ولتاژهای بالا دارای کاربرد می باشد عمدتاً از این اتصال در ترانسفورماتورهای کوپلاژ دو شبکه فشار قوی استفاده می شود .

ب : اتصال ستاره – مثلث

با توجه به اینکه جریان در هر سیم پیچ مثلث $\sqrt{3}$ برابر جریان خط است پس اتصال مثلث در سمت شبکه با جریانهای بالاتر استفاده می شود . بنابراین برای اتصال بین یک شبکه فشار قوی با شبکه فشار ضعیف طرف فشار قوی اتصال ستاره و طرف فشار ضعیف اتصال مثلث دارد . لذا این اتصال در نقطه ای از شبکه که تأمین کننده انرژی شبکه فوق توزیع است کاربرد فراوانی دارد .

ج : اتصال مثلث – ستاره

وجود اتصال مثلث در سمت فشار ضعیف تر و جریان بیشتر و اتصال ستاره در سمت فشار قوی با جریان کمتر نشان دهنده استفاده از این نوع اتصال در ترانسهای نیروگاهی است .

د: اتصال ستاره – زیگزاگ

کاربرد اتصال زیگزاگ عمدتاً برای ایجاد تعادل فاز در شبکه قدرت می باشد به نحوی که چنانچه میزان بار نامتعادل شبکه که عمدتاً در مصارف خانگی زیاد می باشند چشمگیر باشد با این اتصال می توان بخشی از نامتعادلی را در شبکه فشار قوی کاهش داد .

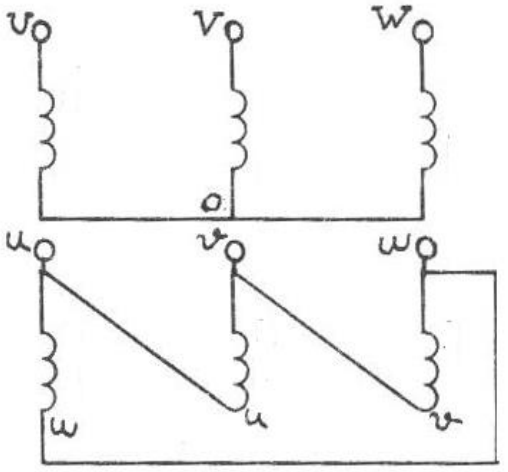
گروه برداری ترانسفور ماتورها :

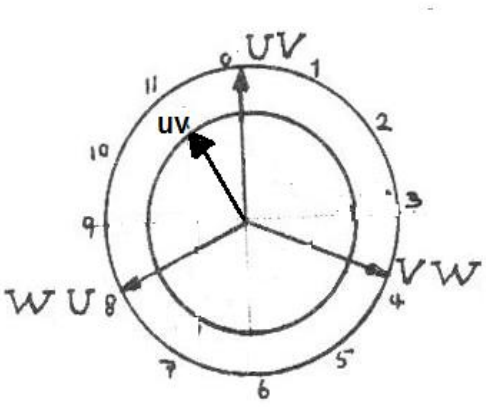
با توجه به آنکه در ترانسفورماتورهای سه فاز سیم بندی طرف اولیه ثانویه ممکن است متفاوت باشد ولتاژ فاز به فاز طرف اول ترانسفور ماتور با ولتاژ فاز به فاز در طرف ثانویه از نظر اندازه و فاز متفاوت می شود .

این اختلاف فاز در دو طرف ترانسفورماتور با توجه به زوایای مربوط مضربی از 30°می باشد لذا برای 360° در یک صفحه ۱۲ مرتبه مختلف را در نظر می گیریم .

چنانچه ولتاژ خطی (فازبه فاز) یک طرف را به عنوان مبنای زاویه ای در نظر گرفته و آن را در یک صفحه در ساعت ۱۲ قرار دهیم ولتاژ خطی طرف دوم در جهت منتهی به یکی دیگر از ساعت های صفحه مزبور قرار می گیرد عدد مربوطه را بعنوان گروه برداری ترانس مزبور تعریف می نماییم .

شکل تشکیل گروه برداری برای ترانس با سیم بندی ارایه شده را نشان می دهد .(Yd11)





ساختمان و تجهیزات اساسی ترانسفورماتورهای قدرت

ترانسفورماتورهای قدرت با جریان ها و ولتاژهای بسیار بالا سـرو کـار دارنـد و بایـد بـه نحـو مناسب کنترل شده و از آنها حفاظت بعمل آید . قیمت یک ترانسفورماتور قـدرت درصـد زیـادی از یک شبکه قدرت را به خود اختصاص می دهد و بعضاً به چند میلیون دلار نیز می رسد . همچنـین نگهداری و بهره برداری از یک ترانسفورماتور قدرت نیز باید به نحو مناسـب صـورت پـذیرد . بـدین منظور غیر ازتحلیل مداری یک ترانسفورماتورشناخت ساختمان و اجزای آن نیز دارای اهمیت است

به همین منظور تجهیزات اساسی ترانسفورماتور را مورد بررسی قرار می دهیم .

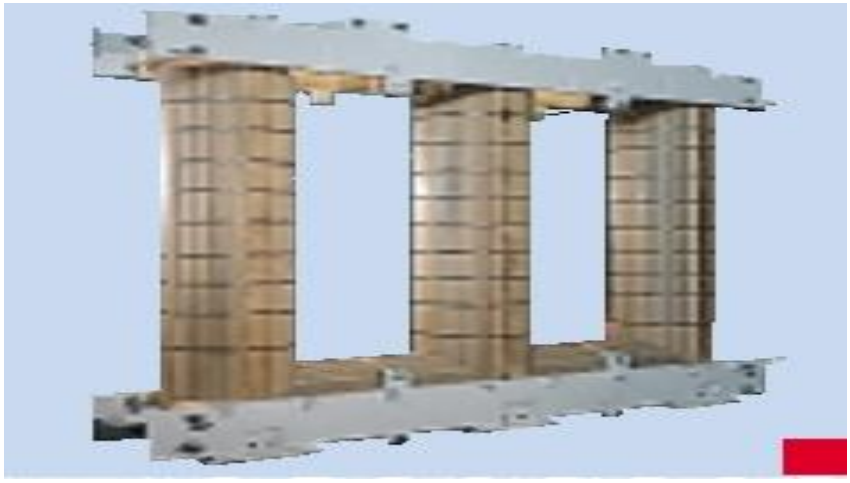
۱- هسته :

هسته ترانسفور ماتور وظیفه ایجاد ارتباط مغناطیسی بین سیم پیچ های اولیه و ثانویه را بـر عهده دارد . به منظور کاهش تلفات مذکور از ورقه های نازک فولاد نورد شده بـه ضـخامت ۰,۳ تـا ۰,۵ میلی متر استفاده می شود که این ورقه ها در کنار هم سطح مقطع هسته را مـی سـازند ایـن ورقه ها با ماده عایقی به نام کارلیت (carlite) که توان عبور شـار مغناطیسـی را داشـته ولـی از لحاظ الکتریکی عایق است پوشانده شده و در کنار هم قرار مـی گیرنـد و توسـط اتصـالات پـیچ و مهره ای به هم فشرده می شوند . خاصیت عایقها در دمای بـالا از بـین نمـی رود . همچنـین آلیـاژ فولادی ورقه ها دارای افزودنی سیلیسی است که طول عمر ورقه ها را از حیث خاصـیت مغنـاطیس شوندگی و تلفات هیسترزیس افزایش می دهد .

این مقدار سیلیسوم اگر بیش از حد باشد باعث شکننده شدن آلیاژ می گردد و سـوراخکاری و برش روی هسته را با مشکل مواجه مـی نمایـد . بـرای خنـک سـازی هسـته کانالهـایی مـا بـین گروههای ورقه ها تعبیه می گردد بدین ترتیب با گردش روغن سطح خنک سـازی هسـتند بیشـتر می شود و دمای درون هسته پایین تر می آید .

معمولاً در ترانسفورماتورهای با ظرفیت بالا 27 مگاولت آمپر با توجه به دمای محیط در محل نصب در طراحی ها نیاز به تعبیه کانال موازی با ورقه های هسته مورد بررس یو امکان سنجی قـرار می گیرد .

کانال های عمود بر ورقه های هسته به صورت شیارهای کم عمق و تنها در توان های بسـیار زیاد مد نظر قرار می گیرند . با تقریب ساده ای می توان بیان نمـود کـه تـوان ترانسـفورماتورها بـا مجذور سطح مقطع هسته مغناطیسی آنها متناسب است . بنابراین هر چه توان ترانسفورماتور بیشتر باشد سطح مقطع آن نیز بزرگتر خواهد بود .



برای استفاده بهتر از ورقه های آلیاژ فولادی برشهای مختلف با شکل های ساده تـر در کنـار هم قرار گرفته و به وسیله اتصالات پیچ و مهره ای به هم وصل می شوند که کـل پنجـره هسـته را ایجاد می نمایند .

کل پنجره هسته توسط یوغ نگهداشته می شود بعلاوه در درون تانک ترانس هسته به طـور کامل متصل به کف تانک ترانس شده و چون پتانسیل الکتریکی هسته ترانسفورماتور صفر است به

وسیله اتصالات سیستم زمین قسمت های مشخصی از هسته ترانسفور ماتور به بدنه ترانس متصل می گردند .

پنجره هسته ترانسفورماتورهای قدرت سه فاز به شکل سه بازویی یا پنج بازویی می باشد در حالت سه بازویی سیم پیچ های هر فاز (اولیه و ثانویه) بر روی هر بازو پیچیده می شوند ولی در حالت پنج بازویی سه بازوی و سطی برای سیم پیچ های فاز و بازوی کناری برای مسیر فوران مغناطیسی ایجاد می گردند .

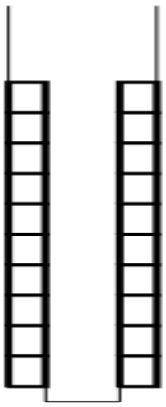
۲- سیم پیچ ترانسفور ماتورها :

سیم پیچ های اولیه و ثانویه اصلی ترین جزء ترانسفورماتورهای قدرت می باشند که فوران ایجاد شده توسط آنها از طریق هسته ترانسفورماتور با یکدیگر تزویج می گردد .

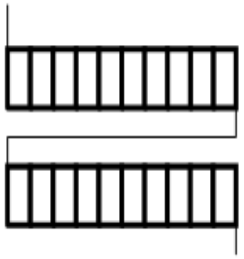
معمولاً سیم پیچ های فشار قوی و فشار ضعیف در ترانسفورماتورهای قدرت بر روی هسته به صورت متعدد مرکز پیچیده می شوند با توجه به صفربودن پتانسیل الکتریکی هسته برای کاهش میزان عایق کاری سیم پیچ فشار ضعیف در داخل و سیم پیچ فشار قوی بروی آن قرار می گیرد ما بین سیم پیچ ها نیز فاصله لازم جهت گردش روغن عایقی ترانس قراردارد .

با توجه به ولتاژ پایین و جریان بالا در سیم فشار ضعیف معمولاً سیم پیچ فشارضعیف به صورت استوانه ای پیچیده می شود در این نوع پیچش ابتدا مفتول مسی به وسیله کاغذ عایقی و چسب مخصوص عایق بندی می شود سپس هادی عایق بندی شده به فرم استوانه ای پیچانده می شود اگر به ازای دور سیم پیچ اولیه طول استوانه بیشتر از ارتفاع ساق های هسته شود آنگاه سیم پیچ اولیه دوم با شعاع بیشتری پیچانده می شود و دو سیم پیچ اولیه بعد از قرار گرفتن در جای خود و محکم شدن اتصالات نگهدارنده آنها که شامل یک قفس از جنس عایق

با جنس فیبر یا چوب مخصوص به همراه چفت و بستهای پیچ و مهره ای می باشند به هـم اتصـال الکتریکی می شوند .



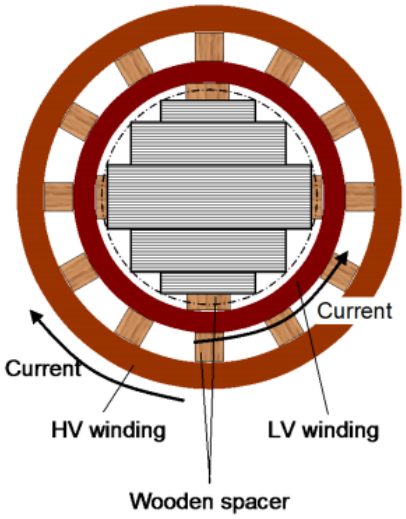
سیم پیچ های فشارقوی دارای تعداد دور بسیار بیشتر از فشارضعیف می باشـند ولـی سـطح مقطع این سیم پیچ ها کوچک است . سیم پیچ های فشار قـوی از لحـاظ موقعیـت فیزیکـی سـاق هسته و بعد از آن سیم پیچ فشار ضعیف را در خود احاطه می نمایند . این سیم پیچی ها بـرخلاف سیم پیچ فشار ضعیف به فـرم دیسـکی پیچیـده مـی شـوند یعنـی سـیم پـیچ فشـار قـوی شـامل مجموعه ای از دیسک ها است که از لحاظ الکتریکی با هم سری هستند و ما بین آنها فاصله حدود ۱,۵ سانتی متر قرار دارد . این فاصله توسط گوه های عایق پوشانده شده و دیسک ها بدین ترتیـب روی هم چیده می شوند .

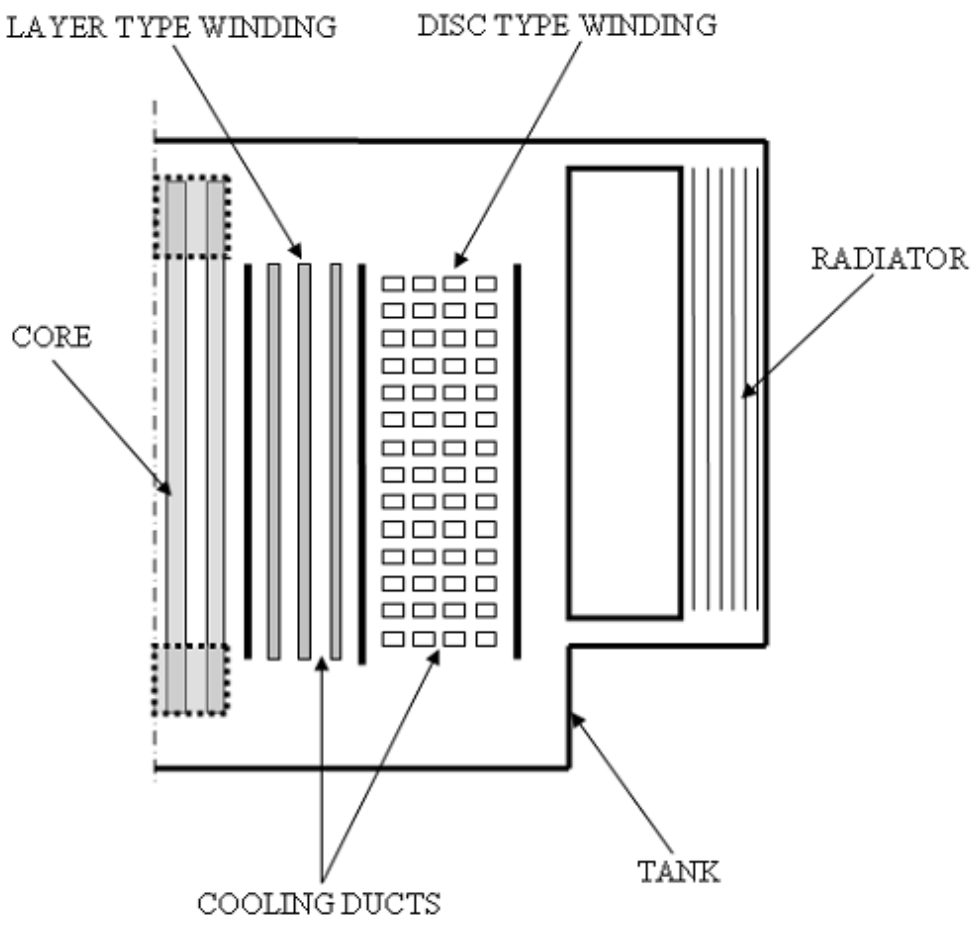


با توجه به کوچک بودن سطح مقطع و زیاد بودن دور سیم پیچ ها دور سیم پیچ هـا هـم در راستای شعاعی و هم در راستای ارتفاع تکمیل می شود و هر چه میزان ضـخامت شـعاعی و ارتفـاع دیسک بیشتر باشد تعداد دور آن بیشتر می باشد .

اگر بعد از تکمیل لایه اول فشار قوی باز هم به تعداد دور سیم پیچ های بیشتری نیـاز باشـد در این صورت شعاع بیشتر شده اما ضخامت شعاعی و ارتفاعی دیسک معمـولاً در تمـام لایـه هـای فشار قوی ثابت گرفته می شود .

همچنین ما بین لایه های فشار قوی نیز فاصله لازم برای قرارگرفتن روغن به میزان حـداقل یک سانتی متر در نظر گرفته می شود .





بعد از نصب کامل دو سیم پیچ فشار ضعیف و قوی و اتصالات نگهدارنده و سفت کننده آنها و قراردادن ورقه های بالایی هسته و تکمیل مدار مغناطیسی مجموعه تشکیل شده که به قسمت فعال ترانسفور ماتور (active part) معروف است جهت وجـود انـدکی رطوبـت درون کـوره قـرار داده می شود و چندین ساعت حرارت داده می شود تا رطوبت بسیارکم کاغذهای عایقی از آن جدا شود .

آنگاه مجموعه active part در تانـک تـرانس قـرار مـی گیـرد و بـام تـرانس روی آن قـرار می گیرد .

۳- تانک ترانسفورماتور

تانک ترانسفورماتور یک مخـزن حـاوی روغـن اسـت کـه مجموعـه اکتیوپـارت در آن جـای می گیرند . تانک ترانسفورماتور از ورقه های فولادی که در مقابل اکسیداسیون مقاوم هستند ساخته

شده است . تانک شامل دیواره ، کف ، قاب بالای دیواره و درپوش (بام) ترانس است . بدنه طوری طراحی شده است که از تجمع آب در سطح خارجی آن جلوگیری شود و حبابهای گاز و هوا درون آن نیز به بالاترین نقطه هدایت شوند ضخامت ورقه های فولادی ممکن است از ۵ سانتی متر هم تجاوز نماید .

بروی دیواره ترانسفورماتور و بام آن دریچه های فلانجی تعبیه شده است که بدون نیاز به بازکردن کامل ترانس امکان ورود افراد به درون تانک ترانس وجود داشته باشد برای سهولت در حمل و نقل ترانسفورماتور سیستم چرخی در زیر تانک ترانس طراحی شده است . تعداد این چرخها به ابعاد وزنی و حجمی ترانس و نوع سفارش بستگی دارد .

بر روی دیواره تانک ترانسفورماتور نیز رادیاتورهایی نصب شده اند که جهت ایجاد خنک سازی روغن تانک ترانس می باشند این رادیاتورها دارای سطح مقاطع بسیار زیادی برای انتقال حرارت از روغن هوای محیط اطراف ترانس می باشند .

بروی بدنه ترانسفورماتورهای شیرهای تزریق و تخلیه روغن جهت انجام فعالیتهای مربوطه قراردارند بغیر از شیرها ، شیرهای اخذ نمونه روغن از نقاط با ارتفاع بالا و پایین تانک روغن نیز نصب می باشد .

۴- تانک رزرو روغن

یک مخزن استوانه ای شکل که وظیفه آن ذخیره کردن روغن ترانس است بصورت افقی در ارتفاعی بالاتر تانک ترانسفورماتور توسط نگهدارنده های متصل به تانک (support) قرار گرفته است . این مخزن استوانه ای (reserve tank) از طریق یک لوله رابط که از یک طرف به بام ترانس و از طرف دیگر به نقطه پایینی رزرو تانک وصل شده متصل می باشد .

در مسیر این لوله رابط رله بوخلتر قرار دارد . در صورت کاهش سطح روغـن در درون تانـک که می تواند به دلایل مختلف از جمله نشتی روغن از منافذ مختلف ، خرابی شـیر آلات متصـل بـه ترانس و . . . باشد روغن از درون این مخزن به درون تانک منتقل می شود .

سطح روغن این مخزن به وسیله یک لوله شیشه ای عمودی که از بالا و پایین به نقاط بـالا و پایین رزرو تانک مرتبط است قابل مشاهده می باشد . همچنین در این مخـزن سنسـورهای سـطح روغن نیز تعبیه می شوند .

۵- بوشینگ های ترانسفورماتور

باتوجه به آنکه بدنه ترانسفورماتور دارای پتانسیل الکتریکی صفر است فازهای برقدار اولیـه و ثانویه از طریق بوشینگ های ترانسفورماتور وارد می شوند و از طریق گیره هـا (clamp) بـه سـر بوشینگ ها (گل میخ) که از طریق هادی عایق شده (lead) به داخل ترانس مرتبط هسـتند بـه ابتدای سیم پیچ ها مرتبط می گردند .

ساختمان بوشینگ ها به نحوی است هادی از میان جداری در تانک عبور می نماید و نسـبت به این جداره کاملاً عایق است .

بوشینگ ها معمولاً به دو صورت هستند . بوشینگ های چینی که شامل یک هادی بوده کـه از میان یک عایق کننده چینی توخالی عبور می کند . از این بوشینگ ها در ولتاژهای کمتـر از ۶۳ کیلو ولت استفاده می گردد . اما در ولتاژهای بالاتر از بوشینگ هایی استفاده مـی شـود کـه عـایق درون آنها کاغذ آغشته به روغن ، کاغذ آغشته با رزین یا کاغذ چسبیده شده با رزین مـی باشـد در این گونه موارد سطح روغن یا رزین (چنانچه مایع باشد) نیز در بازدیدهای دوره ای مورد بـازبینی قرار می گیرد .

در قسمت پایین پایین بوشینگ اتصال آن به بدنه ترانسفورماتور (عمدتاً بام ترانس) به صورت فلنچ است و هادی داخل بوشینگ از جنس سرب یا مفتول نرم مسی می باشد .

روغن ترانسفورماتور

وظیفه ترانسفورماتورها ایجاد سیستم عایقی ما بین لایه های مختلف یک سیم پیچی ، سیم پیچی های فشار قوی و فشار ضعیف نسبت به هم و بین هر یک از سیم پیچ ها و بدنه ترانسفورماتور می باشد لذا روغن ترانسفورماتور باید دارای خصوصیات مناسبی باشد تا بتواند دو وظیفه یاد شده را انجام دهد . اعم خصوصیات مناسب روغن ترانسفورماتور عبارتند از :

۱- مقدار ولتاژ شکست بالا

۲- قابلیت انتقال حرارت خوب

۳- ویسکوزیته (چسبندگی) کم

۴- نقطه جاری شدن (سیلان) پایین

۵- نقطه اشتعال بالا

۶- جلوگیری از خورندگی مواد عایقی و قسمتهای فلزی ترانسفورماتور

۷- پایداری شیمیایی و طول عمر زیاد

۸- ضریب تلفات عایقی پایین

داشتن این خواص باعث می شود روغن نیز از انجام وظایف محوله در شرایط کارکرد عادی ترانسفورماتور تأثیر سویی نداشته باشد .

روغن مناسب برای انجام چنین شرایطی دارای پایه پارافینک از مشتقات نفت خام است .

روغن پایه پارافتیک در نفت خام استخراج شده در ایران یافت نمی شود و تولید این روغن در کشور که عمدتاً دارای پایه نفتینیک است با هزینه بسیاری در فرآیند پالایش و تبدیل تولید می شود پس مقرون به صرفه است که این روغن جزء اقلام وارداتی در نظر گرفته شود .

عـواملی کـه باعـث خـراب شـدن روغـن ترانسـفورماتور مـی شـوند کـه نتیجـه آن از بـین استانداردهای مناسب مربوط است عمدتا شامل موارد ذیل می شود :

۱- وجود رطوبت در روغن

۲- اکسیداسیون

۳- در جلسه حرارت بالا

در ترانسفورماتور بوسیله رطوبت گیر و تجهیزات عایق بندی و نیتروژن سعی می شود کـه از فساد روغن جلوگیری می شود با توجه به آنکه فساد روغن و ایجاد رسوب در آن برای ترانسفورماتور خطرناک است . لذا باید در فواصل معین از روغن بازرسی های لازم بعمـل آیـد . ایـن بازرسـی هـا شامل بازرسی سطح روغن در ترانسفورماتور ،اندازه گیری ولتاژ شکست روغـن ، بررسـی وجـود یـا عدم وجود ناخالصی و رسوب در روغن و . . . می باشد .

همچنین در موارد پیشرفته تر از روغن تستهای دقیق تری نیز به عمل می آید . که می تواند شامل تست ضریب تلفات عایقی ، تست رطوبت ، حد اشـتعال روغـن و آنـالیز گازهـای محلـول در روغن و . . . نیز باشد که هر کدام از این تستها بستگی به شرایط خاص قابل پیشنهاد می باشند .

نمونه گیری از روغن ترانسـفورماتور توسـط شـیرهای نمونـه گیـری و بـه وسـیله بطریهـای مخصوص انجام می شود این نمونه گیـری بایـد در فضـای تعریـف شـده و طـی اسـتراتژی مـدون (استاندارد مشخص) صورت پذیرد هر کدام از شیرهای نمونه گیری روغن در یک نقطـه از ارتفـاع مشخصی از ترانس را در اختیار افراد بازرسی کننده قرار می دهند .

در صورتیکه روغن بعد از تستهای مشخص نامناسب تشخیص داده شود باید نسبت به تصفیه روغن و کاهش میزان آلودگی آن و یا در بدترین شرایط (تغییـرات شـیمیایی شـدید) نسـبت بـه تعویض آن اقدام صورت پذیرد .

برای تصفیه روغن ترانسفورماتور لازم است ترانسفورماتور از مدار خارج شده و کاملاً بی برق شود . تصفیه عمومی روغن صرفاً یک تصفیه فیزیکی کـه در آن آلـودگی هـای فیزیکـی ، دوده هـا (کربن آزاد) و رطوبت محلول در روغن از آن گرفته می شود .

جهت انجام این کار از پایین والو تـرانس اتصـالی را بـه وسـیله شـلنگ بـه ورودی دسـتگاه فیلتراسیون وصل می کنیم سپس خروجی دستگاه فیلتراسیون را به بالاترین والو متصـل بـه تانـک ترانسفورماتور وصل می کنیم بدین ترتیب مسیر سیرکولاسیون را ایجاد می نماییم .

با به کار انداختن دستگاه فیلتراسیون چرخش روغن در این مسیر شـروع مـی شـود . پمـپ دستگاه باعث گردش روغن در مسیر می شود در تانک کوچکی که در دستگاه فیلتراسـیون موجـود است روغن توسط هیتر گرم شده و بخار آب آن شروع به جداشدن از روغن می نمایـد و ایـن بخـار توسط یک پمپ خلاء از تانک به فضای بیرون داده می شود . همچنین در این مسیر سیر کولاسیون (گردشی) روغن از یک سری صافی کاغذی عبور کرده و کربن و سایر آلودگی های فیزیکـی از آن جدا می شوند .

در این پروسه بعد از گذشت زمان از محل نمونه گیری دسـتگاه فیلتراسـیون نمونـه روغـن گرفته شده تا اینکه بالاخره روغن به وضعیت مناسب خود خواهد رسید ایـن فرآینـد ممکـن اسـت چند شبانه روز به طور انجامد .

رطوبت گیر :

رطوبت گیر سیستمی است که هوای تنفس شده از بیرون توسط مخـزن ذخیـره روغـن را از گرد و غبار و رطوبت پاک می کند بعلت تغییرات بار و درجه حرارت محیط دمای درون ترانس مرتباً تغییر می کند به دلیل وجود پدیده انبساط حجمی بر حسب دما حجم تانک افـزایش و یـا کـاهش می یابد به همین دلیل سطح روغن در مخزن روغن کم می شود و حجم هوای بـالای ظـرف تانـک

رزرو تغیر می نماید لذا برای جلوگیری از تغییر فرم دهی و یا نفوذ هوا از نقاط دیگر به درون روغن یک مسیر لوله ای سر راه مجرای عبور هوا قرار داده شده است که شامل حجم مناسبی سنگ دانه های سیلیکاژل و ظرف روغن است .

سیلیکاژل در حالت خشک به رنگهای مختلف می باشد و در هنگام جذب رطوبت رنگ آن تغییر یافته و کم رنگ می شود .

در مسیر ورود هوا ظرف روغن وجود دارد که هوا با توجه به شکل ظرف به صورت حباب از روغن عبور می کند در کف ظرف روغن فیلتری از جنس اسفنج ونیل و دانه های اکسید آلومینوم قرار دارند که وظیفه آن افزایش چسبندگی روغن درون ظرف برای جذب بهتر ذرات گرد و غبار می باشد بدین ترتیب هوایی که به بالای مخزن تانک رزرو وارد می شود هوای تمیز و بدون رطوبت است .

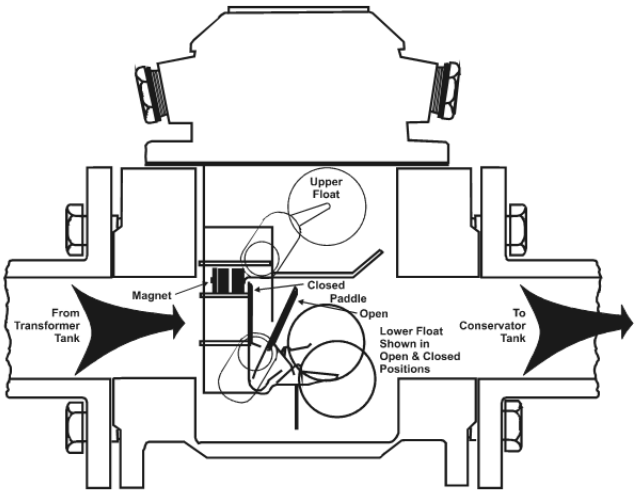
رله بوخلتهر :

رله بوخلتهز ، رله ای است که برای حفاظت در دستگاههای که توسط روغن خنک می شوند نصب می گردد. این رله در اثر تولید گاز یا هوا در داخل منبع روغن ، پایین رفتن روغن از سطح مجاز و یا جریان شدید و بیش از حد مجاز روغن به کار می افتد . حد عملکرد رله در دو مرحله آلارم و قطع صورت می گیرد مزیت رله بوخلتهز عملکرد سریع و مطمئن آن است .

نحوه عملکرد رله بوخلتهز بر اساس نوع خطاهای اتفاق افتاده می باشد در حالتی که خطای جزئی اتفاق افتاده باشد هوای گازهای متصاعد شده از روغن وارد لوله رابط بین تانک روغن و تانک رزرو می شود و با بالارفتن از لوله قبل از رسیدن به تانک رزرو در محفظه بالای رله بوخلتهز جمع می شود و سطح روغن در رله بوخلتهز کم کم پاین می آید آنگاه شناور اول رلـه بـه سـمت پـایین می آید و کنتاکهای مدارات فرمان مربوط به عملکرد شناور را تغییر وضعیت می دهد و باعث ارسال فرمان مربوط می شود .

اما اگر اتصالی شدید پدید آید گازهای متصاعد شده در اثر قوس الکتریکـی مـوج روغـن بـه داخل تانک رزرو می وشد قبل از آنکه شناور قبلی تحریک شود شـناور دوم کـه در مسـیر حرکـت روغن است تحریک شده و فرمان ارسالی از طریق تغییر وضعیت کنتاکتهای آن فرمان بی برق شدن ترانسفورماتور است .

در بالای محفظه رله بوخلتهز یک شیر نمونه گیری گاز است که از گاز جمع شده در محفظه بالای رله بوخلتهز می توان با یکسری از تستهای متداول تـا حـدی خطـای درون ترانسـفورماتور را تشخیص داد .



خطاهایی که در اثر بروز آنها شناور اول رله بوخلتهز تحریک می شوند و صرفاً آلارم رله را خواهیم داشت شامل نقایص عایقکاری ، خرابی عایق ما بین ورقه های هسته و پیچ اتصالات ورقه ها به یکدیگر ، کامل نبودن کنتاکت اتصالات الکتریکی و گرم شدن بیش از حد بخشی از سیم پیچی و عایقی آن و . . . می باشد .

اما اشکالاتی که باعث می شود شناور دوم عمل نماید باعث قطع شدن ترانسفورماتور گردد ،

شکستنی بوشینگ ، اتصال کوتاه فاز به فاز و اتصال داخلی سیم پیچی ها و اتصال سربندی ها به یکدیگر و . . . می باشد .

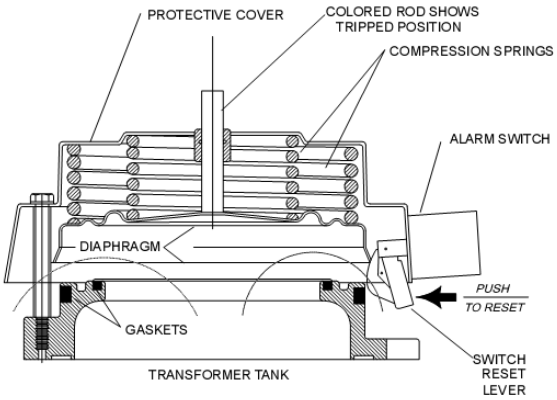
در هنگام برق دار کردن ترانسفورماتور باید از این که محفظه رله بوخهلتز به طور کامل دارای روغن بوده و خالی از هوا و گازهای دیگر است اطمینان حاصل کنیم در غیر این صورت از طریق شیر نمونه گیری رله عمل هواگیری صورت پذیرد تا در برقدار شدن ترانس فرمان قطع صادر نگردد و گازهای جمع شده نمایانگر دقیق اتفاقات پدید آمده درون ترانسفور ماتور باشند .

رله فشار زیاد :

در اکثر نمونه های طراحی ترانسفورماتور در بام ترانس یک سیستم محافظ عملکرد سریع حرکت روغن تعبیه شده است . در مواقعی که اتصال درون ترانسفورماتورپیش می آید این اتصالی باعث ایجاد انفجار و تولید حجم عظیمی از گازها و حرکت سریع روغن می گردد علیرغم آنکه رله بوخلتهز به راحتی سیستم قطع را برقرار می کند اما این امکان وجود دارد که برای حجم روغن جابجا شده لوله مسیر تانک رزرو نتواند جوابگوی مناسبی باشد و امکان انفجار تانک ترانسفور ماتور وجود خواهد داشت . رله فشار زیاد که در بام ترانس نصب است به صورت فنری که با فشاری حدود ۰,۳۵ اتمسفر فشرده می شود و دیافراگم آن به سمت بالا رفته و روغن که فشار آن زیاد است با قدرت از آنجا خارج می شود تعبیه شده است بدین ترتیب کنتاکت مدار فرمانی که در این قسمت

جاسازی شده مسیر فرمان قطع را برقرار می کند . که باعث بی برق شدن ترانسفورماتور نیز خواهد شد در نمونه های قدیمی تر به جای استفاده از رله فشار زیـاد (Pressure relief) از یـک لولـه بلند که یک دیافراگم مسی در انتهای آن قرار دارد و با فشار زیاد پاره شده و باعـث خـروج روغـن می شود استفاده می گردد .

مزیت استفاده از رله فشار زیاد نسبت به لوله بلند این است که با خروج حجم عمده ای از روغـن و کاهش فشار آن ازخروج روغن ترانس و بلا استفاده شدن روغن با برگشتن فنر به حالت قبل و بسته شدن دیافراگم جلوگیری می شود .



. همچنین عملکرد مستقیم سیستم فشار زیاد مدار کنترلی مسـتقل دارد در صـورتی کـه در سیستم شامل لوله های بلند آلارم ها و تریپ های سایر تجهیزات مثل رله بوخلتهز و سـطح روغـن باعث ایجاد فرمان قطع می گردند .

فرآیند خنک سازی در ترانسفورماتورهای قدرت

با توجه به اهمیت خنک شدن ترانسفورماتورهای قدرت و انتقال حرارت ناشی از تلفات مسی و آهنی درون ترانسفورماتور به محیط اطـراف روشـهای مختلـف خنـک سـازی در طراحـی هـای ترانسفورماتورها وجود دارد بطور کلی انتقـال حـرارت در ترانسـفورماتورها طـی دو مرحلـه صـورت

می گیرد مرحله اول انتقال حرارت به روغن بوده و مرحله دوم انتقال حرارت از روغن به محیط تبادلی بیرون می باشد .

دمای روغن نباید از حد مجاز بیشترشود دمای روغن محدودیت فیزیکی ۱۲۰° دارد همچنین هرچه دمای روغن افزایش پیدا کند قدرت جذب رطوبت آن نیز بیشتر می شود . با توجه به این شرایط دو حد دمایی برای روغن برای ارسال آلارم و تریپ ترانسفور ماتور تعریف می نماییم . این اعداد با توجه به نوع روغن نوع ترانس و شرایط کارکرد محیطی و بهره برداری آن می تواند تغییرات جزئی داشته باشند .

بنابراین لازم است با توجه به ظرفیت ترانسفورماتور نوع خنک کنندگی مشخصی را برای ترانسفورماتور مد نظر قرار دهیم . با توجه به دو مرحله انتقال حرارت برای نمایش نوع خنک کنندگی از حروف اختصاری به فرم ذیل استفاده می شود :

۱- A (Air) : معروف هوا در اطراف رادیاتورهای ترانسفورماتور است .

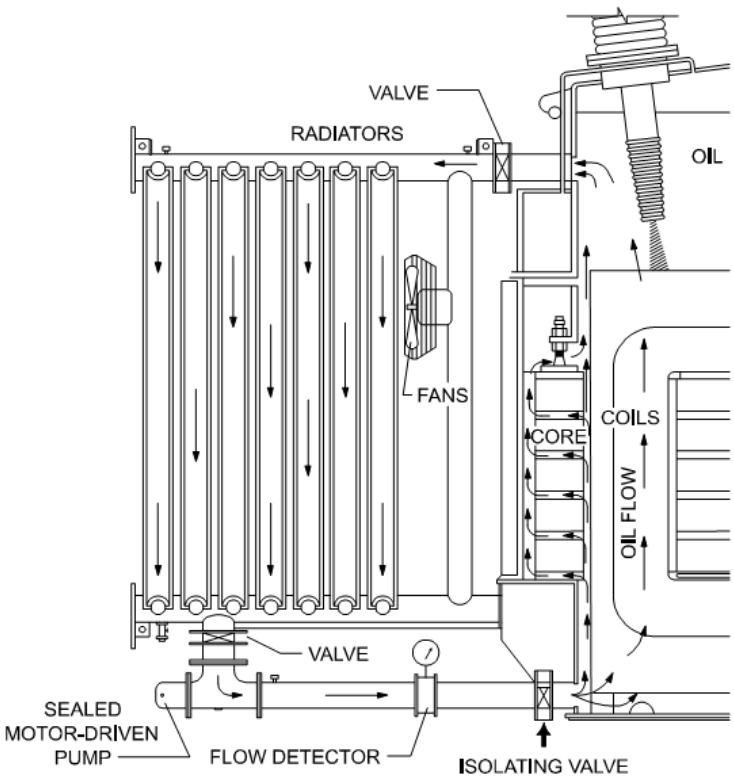
۲- O (Oil) : معرف روغن ترانسفورماتور است است که گرما را از سیم پیچ گرفته و به محیط دوم تحویل می دهد .

۳- W (Water) : معرف آب به عنوان خنک کننده روغنی است .

۴- N (Natural) نشان دهنده چرخش طبیعی سیال (روغن ، آب ، هوا) به صورت طبیعی به دلیل پدیده کنوکسیون (همرفت) است .

۵- F (Forced) : نشان دهنده چرخش تحت نیرو توسط پمپ با فشار غیر مستقیم است یعنی اینکه روغن تنها در داخل تانک ترانسفورماتور با فشار پمپ حرکت می نماید .

۶- D (Directed) : نشان دهنده چرخش تحت نیروتوسط پمپ با فشار مستقیم است پس روغن با فشار به داخل مجاری هسته و بین سیم پیچ ها حرکت می نماید .



با توجه به عبارات بیان شده سیستم های متـداول ذیـل جهـت روش هـای مختلـف خنـک کنندگی معرفی می گردند :

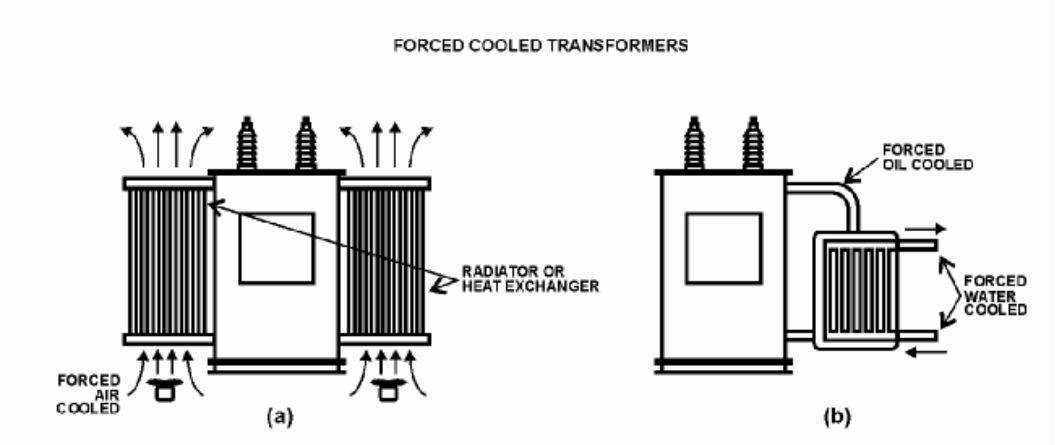
الف: سیستم (ONAN) (روغن طبیعی – هوا طبیعی) در این سیستم هوا بطور طبیعـی باسطح خارجی رادیاتورهای روغن در تماس است و رادیاتورها به طور طبیعی با هوا خنک می شوند همچنین گردش روغن در ترانسفورماتورنیز به طور طبیعی صورت می گیرد پس روغن گرم شـده و بالا می رود و روغن سرد از پایین جای آن را می گیرد روغن گرم از بالا وارد رادیاتور ها شـده و در آنجا خنک می شود سپس از پایین روغن سرد از رادیاتورها وارد تانک ترانسـفورماتور مـی شـود . از این نوع ترانس ها تا ظرفیت ۳۰ مگاولت آمپر ساخته شده است .

ب: سیستم (ONAF) (روغن طبیعی – هوا اجباری) در این سیستم گردش روغن به طور طبیعی صورت می پذیرد اما فن های نصب شده بر روی رادیاتورها سرعت تماس هوای خارج با بدنه رادیاتور را افزایش داده و باعث خنک شدن سریعتر روغن می گردند هنگامی که دمای روغن از حد معینی بالاتر برود فن ها به طور اتوماتیک وارد مدار می شوند و تا زمان پایین آمدن دمای روغن به حد مشخصی در مدار خواهند بود .

زمانی که دمای محیط در حد بالای خود باشد ترانسفورماتور بدون فن تا حدود $\frac{۲}{۳}$ ظرفیت اسمی خود می تواند سرویس بدهد در غیر این صورت باید فن ها شروع به کار نمایند این روش خنک سازی در ترانسفورهای قدرت بسیار مرسوم است .

ج : سیستم (OFAF) (روغن اجباری – هوا اجباری) در این سیستم گردش روغن از طریق یک پمپ سرعت داده می شود خنک سازی بوسیله هوا نیز ازطریق فن ها صورت می پذیرد . در ترانسفورماتورهای بالای ۶۰ مگاولت آمپر این سیستم خنک سازی مرسوم می باشد .

د: سیستم (OFWF) (روغن اجباری – آب اجباری) در این سیستم ابتدا روغن توسط پمپ از بالای ترانسفورماتور وارد رادیاتور می شود تا پس از عبور از آن از قسمت پایین رادیاتور وارد ترانسفورماتورگردد سپس رادیاتورها از طریق آب نیز خنک می گردد در این طرح وجود آب فراوان از شرایط مهم است که عمدتاً درسدها از ترانسفورماتور با این روش خنک سازی استفاده می کنند فشارروغن از فشار آب بیشتر است پس چنانچه منفذی بین محل مجاورت آب و روغن پدید آید روغن به داخل آب نفوذ می نماید و آب وارد روغن تانک نمی گردد پس مشکل برای عایقی روغن پدید نمی آید .



هـ : سیستم (ODWF) (روغن اجباری – آب اجباری)

در ترانسفورماتورهای با قدرت بالا که دارای سیم پیچ های فشار ضعیف تو در تو و توان های بالا هستند و عموماً در نیروگاهها از آنها استفاده می شود از این روش خنک سازی بهره مند هستیم .

ترمومتر :

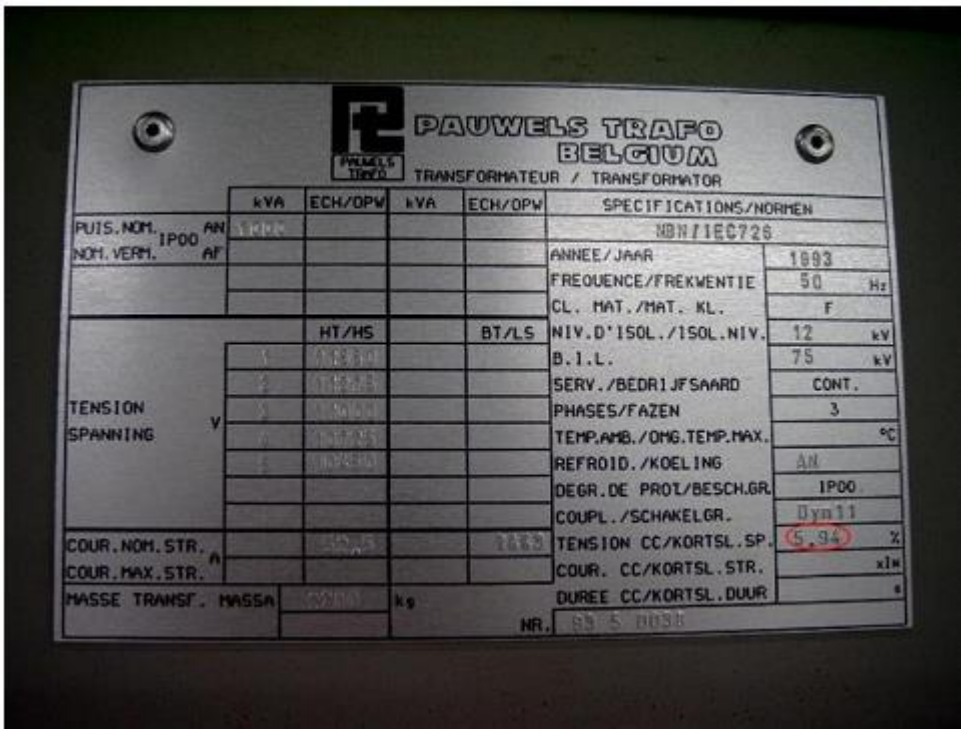
بـرای تشـخیص زمـان ورود فـن هـا و بکـار افتـادن پمـپ روغـن و همچنـین حفاظـت از ترانسفورماتور در هنگام افزایش شدید دمای روغن و سیم پیچ به دلیل اضافه بـار لازم اسـت دمـای روغن و سیم پیچ به صورت مستقیم اندازه گیری شوند .

به همین دلیل از طریق سنسورهای حرارتی (ترمیستور) که درون تانک ترانسفورماتور دمای سیم پیچ و دمای روغن را اندازه گیری می کنند و به وسیله مدارات نشان دهنده دمای سیم پـیچ و دمای روغن ترانس سنجیده می شود این دماها بروی بدنـه ترانسـفور ماتورهـا و در تـابلوی کنتـرل ترانسفورماتور در اتاق فرمان پستها توسط نمایشگرهای آنالوگ یا دیجیتال قابل نمایش مـی باشـند مدارات فرمان در ترانسفورماتورهای قدرت از دو حد آلارم و تریپ دمایی که کنتاکت های مربوطـه

را تغییر وضعیت می دهند بهره مند بوده و چنانچه دمای روغن یا سیم پیچ به مقادیر تنظیم شـده حد آلارم یا حد تریپ برسند آنگاه نمایش آلارم را بروی پنجره آلارم خواهیم داشـت و چنانچـه بـه حد تریپ دمایی برسیم فرمان قطع ترانسفورماتور را از مدار خارج کرده و آنرا بی برق می نماید .

مشخصات کارکرد ترانسفورماتور و پلاک اطلاعات فنی آن

برای استفاده از هر تجهیزی نیازمند به دانستن دستور العمل فنی ، کاتالوگ مشخصات و سایر اطلاعاتی که سازنده آن در اختیار مصرف کننده قرار می دهد هستیم . در دستور العمل ارائه شده توسط سازنده هر ترانسفور ماتور کلیه مشخصات فنی ، نوع پروسه ساخت ، اطلاعات جزئی ساختمان ترانسفورماتور نحوه حمل ، مونتاژ ، راه اندازی ، برقدار کردن ، بازدیدهای فنی ، تعمیرات جزئی لازم بر روی ترانسفورماتور همچنین استانداردهای طراحی و سایر متعلقات مربوط به ترانسفورماتور تشریح شده اند .



همچنین بروی بدنه ترانسفورماتور نیز اطلاعات ضروری مربوط به مشخصات فنی ترانسفورماتور نگارش شده که بعضاً در هنگام بهره برداری دانستن آن اطلاعات به پرسنل بهره بردار و بازدید کننده کمک فراوانی می نماید عمده اطلاعات ارائه شده روی پلاک ترانسفورماتور (Name plate) به شرح ذیل می باشد .

۱- توان ظاهری نامی : این مشخصه بیانگر میزان KVA یا MVA ظرفیت نامی ترانسفورماتور بر حسب ولت آمپر است .چنانچه ترانسفورماتور دارای روشهای اجباری خنک سازی باشد آنگاه عدد توان ظاهری نامی با عملکرد فن ها تغییر می تماید در این صورت نمایش توان ظاهری نامی ترانس به صورت ۲ عددی می باشد .

مثلاً ترانسفورماتور (MVA) 20/27 نشان دهنده توان نامی MVA 20 در حالت عدم کارکرد فن ها و MVA 27 در حالت کارکرد فن ها می باشد .

۲- استاندارد : این مشخصه بیانگر استاندارد ساخت ترانسفورماتور و مبنای کارکرد و بهره برداری آن می باشد بسیاری از ترانسفورماتورهای فشار قوی بر اساس استاندارد IEC – 76 طراحی و ساخته می شود .

ممکن است روی پلاک استاندارد روغن استفاده شده و سایر موارد نیز نگارش شود .

۳- نوع (Type) ترانسفورماتور : منظور از نوع ترانس نام مدل ترانسفورماتور قید شده باشد .

۴- فرکانس کارکرد : فرکانس شبکه ای که ترانسفورماتور برای کار در آن شبکه طراحی شده بیان می نماید مثلاً $f = 50_{(Hz)}$

۵- نوع ترانسفورماتور بر اساس تقسیم بندی هسته ای یا زرهی

۶- تعداد فازهای ترانسفورماتور

۷- نوع ترانسفورماتور از نظر قابلیت بهره برداری مداوم یا فاصله دار

۸- نوع ترانسفورماتور از لحاظ تیپ پنجرهای نصب شده

۹- وزن قسمتهای مختلف : وزن ترانسفورماتور بدون روغن ، وزن ترانسفورماتور به همراه روغن

ابعاد ترانسفورماتور و سایر ضمائم و متعلقات در این قسمت تشریح می گردد .

۱۰- ولتاژ نامی ترانسفورماتور :

در این قسمت ولتاژ نامی اولیه و ثانویه و بعضاً ثالثیه ترانسفورماتور بیان می گردد همچنین اگر یک طرف دارای تپ چنجر باشد مقدار حداکثر تپ ها نیز در ولتاژ نامی قید می گردد .

بطور مثال :

400/230/33 (KV / KV/ KV)

400 / (230 ± 5 ٪) (KV/KV)

۱۱- جریان نامی : معمولاً در پلاک مشخصات ترانسفورماتور جریان نامی اولیه و ثانویه در کنار ولتاژهای اولیه و ثانویه نگارش می شود البته اگر ترانسفورماتور قادر به عملکرد در حالتهای مختلف سیستم خنک کنندگی باشد جریان نامی برای حالتهای مختلف ارائه می گردد .

۱۲- گروه برداری : در نمایش گروه برداری علاوه بر قید نمودن گروه برداری مدل سیم بندی نیز نوشته شده است به طور مثال :

Ynd1 Ynzn6

۱۳- سطح عایقی قابل تحمل (BIL) : این مشخصه نشان می دهد که بوشینگ ها هریک تا چه ولتاژی خاصیت عایقی خود را حفظ می نمایند در واقع عددی که به عنوان BIL معرفی می گردد بیانگر ولتاژ شکست عایق بوشینگ ها است .

۱۴- امپدانس اتصال کوتاه (X %) یا (Uk %)

امپدانس اتصال کوتاه به صورت درصدی بر مبنای توان ترانسفورماتور و ولتاژهای نامی آن محاسبه شده است که جهت محاسبات شبکه ، موازی سازی ترانسفورماتورها با هم و سایر موارد مطالعاتی دارای اهمیت می باشد و این مشخصه نیز بروی پلاک مشخصات نوشته می شود .

۱۵- جریان تحریک یا جریان بی باری مجاز :

این جریان نیز از مشخصه های مهم محاسبات در ترانسفورماتورها است که بـه دلیـل وجـود تلفات بی باری هسته ترانسفورماتور (فوکو و هیسترزیس) بوجود مـی دهـد کـه بـر اسـاس ایـن ، افزایش دما و دمای محیط حـداکثر ، دمـای کـارکرد و حـد آلارم و تریـپ مشـخص و در مـدارات تنظیم می گردد .

۱۷- دیاگرام شماتیک مداری

در این قسمت شماتیک نحوه اتصالات سیم پیچ ، نمایش مداری تپ چنجرها و سایر مـدارات قدرتی ترانسفوماتور به صورت کلی که قابل انتقال در دیاگرام تک خط پست است ارائه شده است .

۱۸- جانمایی متعلقات مداری دربام ترانس :

بر روی پلاک مشخصات ترانسفورماتور جایمانی بوشینگ های فشـار قـوی ، فشـار ضـعیف ، ورود و خروج ، کد گذاری های مربوط آنها و سایر متعلقات به صورت پلان ترسیم شده است .

تپ چنجر :

با افزایش بارگیری از ترانسفورماتور افت ولتاژ در سمت ثانویه ترانسفورماتورها بیشتر شده و ولتاژ سمت ثانویه آن از حد مطلوبست کاهش پیدا می کند .

برای اینکه بتوان برای یک ترانس که تحت بار است ولتاژ آن را بهبود بخشید و کنترل نمود از خروجی سیم پیچی به جای یک سرچند سر خارج می کنیم و بدین ترتیب سربندی ترانسفورماتور چند گانه شده و در واقع با بهره برداری از هر سر ترانسفور ماتور نسبت تبدیل ترانسفورماتور عوض می شود این روش برای کنترل ولتاژ خروجی ترانسفورماتور بسیار مناسب است .

آنگاه به وسیله تجهیزی به نام تپ چنجر در هر لحظه از یک سر انشعاب سیم پیچی به عنوان خروجی ترانسفورماتور استفاده می شود .

تپ چنچرها از نظر عملکرد به دو دسته تقسیم می شوند :

الف – تپ چنجر بی بار (offload)

ب – تپ چنجر زیر بار (on load)

در تپ چنجر بی بار تعویض تپ بین سربندی های مختلف فقط زمانی انجام می گیرد که ترانس بی برق باشد زیرا این نوع تپ چنجر هیچ امکاناتی جهت جلوگیری از ایجاد جرقه در هنگام تغییر نسبت تبدیل ترانس را ندارد .

بدین ترتیب مکانیزم این نوع تپ چنجر از یک کلید انتخابی بین تپ ها که ممکن است عملکرد دستی یا موتوری داشته باشد تشکیل می شود .

ازتپ چنجر زیر بار زمانی که ترانسفورماتور تحت بار و در حال سرویس دهی است می توان کمک گرفته و نسبت تبدیل ترانس را تغییر داد .

از آنجا که در هنگام تعویض تپ اگر خروجی ترانسفورماتور از یک تپ (سر) سیم پیچ جـدا شده و به تپ دیگر وصل شود در واقع قطع مسیر جریان و ایجاد جرقه پدید خواهد آمد کـه باعـث ایجاد آتش سوزی می شود و اگر بدون جدا شدن از سر اول به سر دوم متصل گردد آنگاه سیم پیچ ما بین دو سر اتصال کوتاه شده و این حالـت نیـز بـا مشـکل مواجـه خواهـد شـد از یـک مکـانیزم پیشنهادی مطابق با شکل استفاده می نماییم .

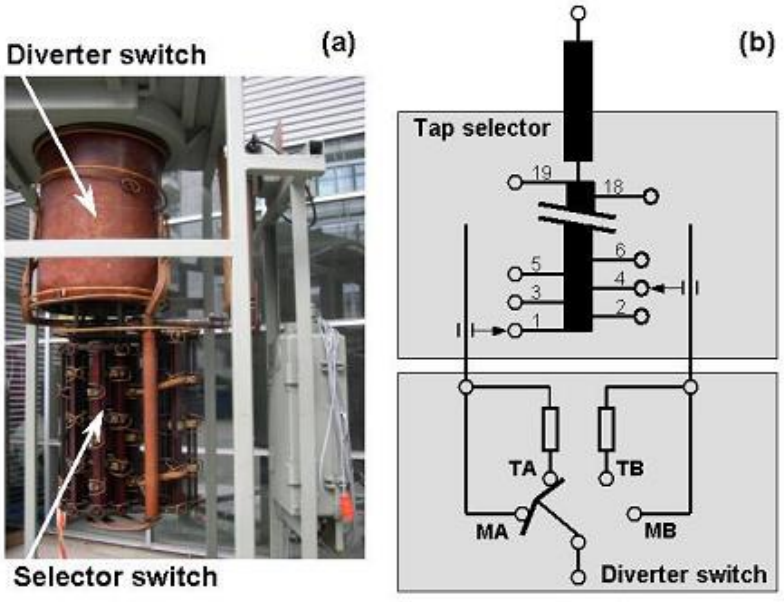
ساختمان تپ چنجر دارای بخش های اصلی ذیل می باشد

۱- کلیه سلکتور برای انتخاب سر سیم مورد نظر

۲- واحد کلیه دایورتر برا ی انتقال بار از یک سرسیم به سر سیم دیگر

۳- امپدانس محدود کننده جریان

۴- سیتسم فرمان موتوری یا دستی (و یا توأم)



حفاظت ترانسفورماتور

ترانسفورماتور یکی از تجهیزات گران قیمت در شبکه قدرت محسوب می شود بعلاوه هزینه های طراحی و ساخت ترانسفورماتور و متعلقات آن ، حمل و پیاده سازی ونصب این تجهیزنیز دارای هزینه های بالا می شود . از آنجا که وجود مخاطرت موجود در شبکه قدرت باعث صدمه زدن به ترانسفورماتور می گردد و همچنین ممکن است اتصالی درون ترانسفورماتور نیز حاصل گردد لذا باید از ترانسفورماتور محافظت به عمل آید . در این مبحث مهمترین سیستم های حفاظتی ترانسفورمانور می پردازیم :

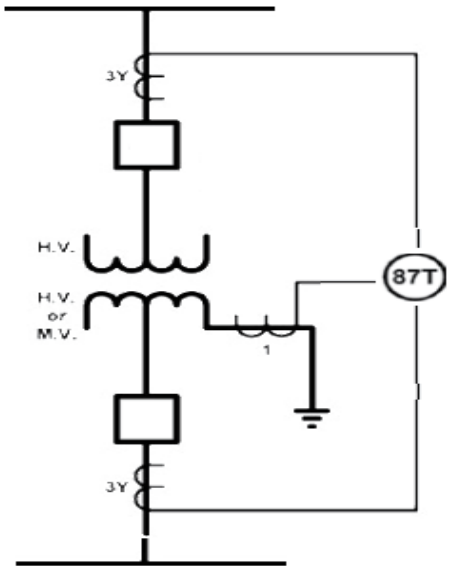
۱–حفاظت اضافه ولتاژ :

برای جلوگیری از ورود هرگونه اضافه ولتاژ به درون سیم پیچ ترانسفورماتوردر دو سمت اولیه و ثانویه برقگیرهایی را موازی با هر فاز تا زمین متصل می کنیم به طوریکه یک سر هر برقگیر به فاز و خروجی برقگیر با توجه به استقرار برقگیر در بام ترانسفورماتور به بدنه بام ترانسفورماتور متصل می شود . علاوه بر برقگیر در ورودی بوشینگ هر ترانسفورماتور یک شاخک برقگیر نیز با عملکرد مشابه نصب شده است .

۲–حفاظت دیفرانسیل :

با توجه به امکان ایجاد اتصال در درون تانک ترانسفورماتور و برقراری جریان اتصالی حفاظت دیفرانسیل جهت تشخیص این گونه اتصال ها در تمامی ترانسفورماتوری قدرت جز مهمترین حفاظتها به شمار می آید .

در شکل دیاگرام مداری حفاظت دیفرانسیل ارائه شده است .



جریان سمت اولیه و ثانویه توسط ترانسهای جریانی اصلی دو طرف ترانسفورماتور قدرت تبدیل شده اند

با استفاده از ترانسهای کمکی مقدار آنها را در ثانویه این ترانسها تقریبا" مساوی می نماییم . یدبن ترتیب از برآیند مداری این دو جریان ' جریان ناچیز وارد رلهء دیفرانسیل می گردد که شرایط عادی را نشان می دهد . چنانچه اتصالی در ترانسفورماتور ایجاد شود این دو جریان در ثانویه ترانسهای کمکی دیگر با هم برابر نیستند و جریان قابل قبولی ازرله دیفرانسیل میگذرد و باعث عملکرد رله و بازشدن بر یکر های طرفین ترانسفورماتور می شود .

۳–حفاظت بوخلهتز

٤–حفاظت رله فشار زیاد

٥–حفاظت دمای روغن

٦–حفاظت دمای سیم پیچ

۵- حفاظت سطح روغن

در خصوص نوع عملکرد حفاظت های فوق دربخشهای مربوطه توضیح داده شده است در تمامی این حفاظت هااز عملکرد رله , رله(LOCKOUT) نیز عمل کرده و تا زمانی (RESET) نشود ترانس فرمان برقدار شدن نمی گیرد .

٦-حفاظت اضافه جریان : از آنجاکه ممکن است با افزایش بار ترانسفورماتور در حالت اضافه بار قرار گیرد لذا برای حفاظت از ترانسفورماتور از رله های جریان در یک طرف ترانسفورماتور استفاده می کنیم .

در بعضی از طرح های قدیمی از فیوز های فشار قوی نیز برای حفاظت اضافه جریان ترانسفورماتور ها استفاده شده است .

تست های اعمال شده بروی ترانسفورماتور های قدرت :

علاوه به خود بدنه ترانسفورماتور , روغن ترانسفورماتور و تپ چنجر نیز هر کدام دارای تستهای مربوط به خود میباشند .

تست های انجام شده بروی ترانسفورماتور همچون و هر تولید دیگری را در دسته بندی های ذیل می توان درنظر گرفت :

۱-تست های انجام شده در کارخانه

۲-تست های روئین تولید

۳-تست های نوعی

٤-تست های راه اندازی ترانسفورماتور

۵-تستهای ترانس در حین بهره برداری

تست های انجام شده در کارخانجات از جمله تست هایی می باشند که به لحاظ کیفیت کلی بروی نمونه آماری از تولید انبوه انجام می شوند و کلیه شاخص های فنی تولید را می توان از نتایج این تستها بدست آورد . از جمله این تست ها تست های ضربه ای می باشد .

تستهای روتین از جمله تستهایی می باشند که بعد از تولید بروی تمام ترانسها انجام می شود و نتایج آنها دارای صحت نباشد مورد تائید تولید کننده نمی باشد .

از جمله این تستها تست عایقی و تست نسبت تبدیل ,گروه برداری و..... می باشند .

تستهای نوعی شامل بعضی از تست های مخرب و یا غیر مخرب خاص می باشد که در

آزمایشگاه های مرجع انجام می شود تولید مزبور بعد از انجام این تستها ممکن است معیوب گردد اما نتایج این تستها برای تولیدکننده و هم برای خریدار دارای اهمیت می باشد . یکی از این تست ها تست اتصال کوتاه واقعی است .

در هنگام راه اندازی و پس از نصب کامل ترانس یک سری تستها که با تستهای روتین وجه اشتراک بسیاری دارند بروی ترانس انجام می شود تا از طرف بهره بردار اطمینان حاصل شود که ترانس از هر لحاظ آماده بهره برداری بوده و کلیه موارد مدنظر را تأمین می کند و همچنین در حمل و نقل مشکلی برای ترانس ایجاد نشده با شد . تست های حین بهره برداری مجموعه ای از تست ها با تجهیزات اندازه گیری قابل حمل در محل است که در بازدیدها وخاموشی های دوره ای ویا زمانهای قطع ترانس بروی آنها انجام می شود که در صورت بروز مشکل در نتایج آن نسبت به حل مشکل حین کارکرد اقدام گردد . از جمله تست های خاموشی بروی ترانس تست جریان بدون بار ترانس و از تست های حین خاموشی خود کار(تریپ رله ها)تست نسبت تبدیل و تست عایقی ترانسفورماتورها می باشند . باید توجه داشت که هر کدام از تست ها دارای شرایط خاص استفاده می باشند ونتایج مختلف حاصل از این تست ها اطلاعات مفیدی را در اختیار ما قرار می دهند.در ذیل به صورت فهرست به تعدادی از این تست ها اشاره می شود،همچنین متذکرمی گردد که با پیشرفت دانش فنی تست های جدیدتری نیز در بخش های مختلف ترانسفورماتور مطرح می گردد.

پس تست های ترانسفورماتور به موارد ذیل محدود نمی گردد:

۱.تست نسبت تبدیل

۲.تست پلارتیه

۳.تست گروه برداری

٤.تست اتصال کوتاه

۵.تست مدار باز

٦.اندازه گیری مقاومت جریان مستقیم(Rdc)

۷.اندازه گیری مقاومت در حالت جریان متناوب

۸.اندازه گیری خازن ترانسفورماتور

۹.تست فرکانس بالا

۱۰.تست سطح صدا(دسیبل)

۱۱.تست ولتاژ القایی

۱۲.تست ولتاژ ضربه

۱۳.تست افزایش دما

۱٤.تست تخلیه جزئی

۱۵.تست ضریب توان

۱٦.تست راندمان و تنظیم

و...

همچنین برای روغن ترانسفورماتور نیز به صورت مجزا تست های خاصی در شرایط مختلف مانند: روغن تازه, روغن کارکرده, روغن در حالت بروز خطا و...انجام می دهیم .

بعضی از این تست ها به صورت ذیل می باشند:

۱.تست عایقی

۲.تست درجه اشتعال

۳.تست نقطه ریزش

٤.تست عدد اسیدی

٥.تست عدد صابونی

٦.تست آنالیزگازهای محلول

۷.تست ضریب تلفات

و...

تپ چنجر ترانس به عنوان یک تجهیز نسبتاً مستقل که دارای اجزای مکانیکی است نیز تحت تست قرار می گیرد بعضی از تستهای مربوط به تپ چنجر به عبارت ذیل می باشد :

۱- آزمایش دستگاه ترکیب شده

۲- آزمایش توالی

۳- آزمایش عایقی

٤- آزمایش خلا

٥- تست دمایی کنتاکتها

٦- تست مقاومتهای گذرا

در تست های عنوان شده بالا دو تست در ترانسفورماتور بسیار دارای اهمیت می باشد که در همه دسته بندی ها انجام می شوند :

۱-تست عایقی

۲-تست نسبت تبدیل

که در ذیل به تشریح این دو تست می پردازیم :

تست عایقی :

تمامی قسمت های برق دار ترانسفورماتور باید از قسمت های بی برق ایزوله باشند و عایق مابین این قسمت ها در ترانسفورماتور باید مرتباً تست شود .

تست عایقی ترانسفورماتور به روش های مختلف انجام می پذیرد . همچنین نقاط استراتژیک خاصی وجود دارد دارد که مورد سنجش عایقی قرار می گیرند مهمترین استراتژی های سنجش عایقی به صورت ذیل می باشند:

۱-تست عایقی سیم پیچ فشار قوی نسبت به سیم پیچ فشارضعیف

۲- تست عایقی سیم پیچ فشار قوی به بدنه

۳- تست عایقی سیم پیچ فشار ضعیف به بدنه

در صورت وجود سیم پیچ ثالثیه تست های عایقی آن نسبت به سیم پیچ های دیگر وهمچنین نسبت به بدنه نیز به استراتژی بالا افزوده می شود . همچنین اگر ترانسفورماتوربه صورت اتو ترانس طراحی شده باشد اصولاً تست عایقی بین دو سیم پیچ اتوترانس دیگر دارای اهمیت نیست .

یکی از تجهیزاتی که در اندازه گیری عایقی دارای اهمیت می باشد مگر (Megger) است .

توسط دستگاه مگر که در آن با اعمال ولتاژ به محدوده عایق مورد نظر سنجش مقاومت صورت معمولاً دو معیار کلی را اندازه می گیریم :

۱-مقاومت نهایی عایق از بعد حالت گذرا

۲-نسبت مقاومت عایق بعد از ٦٠ ثانیه به مقاومت عایق بعد از ١٥ ثانیه

در صورت کاهش اعداد فوق از حد مشخص شده برای عایق با توجه به دستور العمل تمهیدات بعدی صورت می پذیرد .

یکی دیگر از معیار های سنجش عایقی ضریب تلفات عایق است که توسط دستگاه سنجش آن که یک پل اندازه گیری می باشد مورد سنجش قرار می گیرد .به وسیله این پارامتر تلفات الکتریکی درون عایق به دلیل پیری یا آلودگی روغن سنجیده می شود .

تست نسبت تبدیل ترانسفورماتور :

ترانسفورماتور در سر بندی ها (تپ های) مختلف مورد تست نسبت تبدیل قرار می گیرد نسبت تبدیل ترانسفورماتور با ایجاد ولتاژ در سیم پیچ دور هر هسته و سنجش ولتاژ در سیم پیچ طرف دوم ترانسفورماتور دور همان هسته صورت می پذیرد . به دلیل وجود ولتاژ های بالا در نسبت تبدیل ترانس معمولاً دستگاه تست نسبت تبدیل جهت سنجش مستقیم ولتاژ در گستره ولتاژی۵تا ۲۰۰ امکان اندازه گیری را دارا می باشد .

این تست به ازای تک تک سیم پیچ های یک طرف در مقایسه با سیم پیچ های طرف دیگرآنهااز یک ترانسفورماتور سه فاز صورت می پذیرد .

طرح سولات مروری

۱-انواع سربندی های ترانسفورماتور سه فاز را با رسم شکل توضیح دهید .

۲- وظیفه رله بوخلهتز چیست؟ به طور کامل تشریح گردد .

۳- حفاظت های ترانسفورماتور قدرت را نام ببرید.

٤- دیاگرام مداری یک ترانسفورماتور با گروه برداری D y۱ را ترسیم نمایید .

۵-روش خنک سازیONAF به چه ترتیب عمل می کند ؟

٦- اجزای تپ چنجر on-load را نام برده و عملکرد کلی آن را تشریح نمایید .

۷- خصوصیات مهم روغن ترانس که در کیفیت آن دارای اهمیت هستند را نام ببرید .

۸- روش تست نسبت تبدیل ترانس را توضیح دهید .

۹- ۵ نمونه از تست های اعمال شده بروی ترانس های قدرت را نام ببرید .

۱۰ – در یک ترانسفورماتور که سیم پیچ فشار قوی آن قطع شده است برای اطمینان از قطع شدن سیم پیچی و تایید اتفاق حادث شده چه تستی پیشنهاد می نمایید ؟