فصل دهم

ترانسفورماتور

۱۰-۱ . تعریف ترانسفورماتور

ترانسفورماتور یکی از تجهیزات با اهمیت سیستمهای قدرت بوده که بر خلاف ماشینهای الکتریکی که انرژی الکتریکی و مکانیکی را به هم تبدیل می کند در نوع انرژی تغییری نمی کند ، بلکه ولتاژ و جریان متناوبی را با همان فرکانس ولی از نظر مقدار تبدیل می نماید.

ترانسفورماتور در سیستم های قدرت (نیروگا ها-پستهای فشار قوی نظیر پستهای۲۳۰ و ۴۰۰ کیلوولت)بمنظور بالا بردن ولتاژ برای انتقال اقتصادی قدرت یعنی پائین آوردن جریان جهت کاهش افت ولتاژ و افت توان و کم کردن مقاطع سیمهای خطوط انتقال و همچنین در انتهای خطوط انتقال (پستهای توزیع) بمنظور پائین آوردن ولتاژ به مقادیر موردنیاز و قابل مصرف بکار می رود. در عین حال ترانسفورماتور قدرت با توجه به گروه برداری، می تواند زاویه سیستم را نیز تغییر دهد.

۱۰-۲ . قسمتهای اصلی و ملحقات ترانسفورماتور

قسمتهای اصلی ترانسفورماتور عبارتند از: بدنه،هسته،سیم پیچها،عایق بندی،بوشینگها و تیپ چنجر. ملحقات ترانسفورماتور عبارتند از: قلابهایی جهت بلند نمودن ترانسفورماتور، صفهات نگهدارنده ترانسفورماتور بر روی فونداسیون و چرخها و ترمزهای مربوطه ، دو ترمینال جهت اتصال سیستم زمین پست به بدنه ترانسفورماتور، یک مجموعه رادیاتور با شیرهای مربوطه، دریچه ای با ابعاد مناسب جهت بازرسی از هسته و سیم پیچ و بطور کلی داخل ترانسفورماتور ،دریچه ای در ترانسفورماتور بمنظور دسترسی به پیچ ها و اتصالات بوشینگها ، دریچه اطمینان ، دستگاه تنفس ، شیر نمونه برداری روغن ، رله بوخهلتز ، دماسنج نشان دهنده درجه حرارت روغن بالای ترانسفورماتور ، ترمومتر نشان دهنده درجه حرارت سیم پیچهای ترانسفورماتور ، منبع انبساط روغن

با بالشتک لاستیکی مربوطه(جهت جلوگیری از تماس هوا با روغن) ، شیر جهت پـر کـردن روغـن در تانک و شیر دیگری جهت پرکردن روغن در منبع انبساط روغن ، شیر جهـت تخلیـه روغـن از تانـک اصلی و شیر دیگری جهت تخلیه روغن از منبع انبسط روغن ، نـشان دهنـده سـطح روغـن در منبـع انبساط روغن با سطح حداکثر و حداقل روغن و سـطح روغـن در ۲۰ درجـه سـانتیگراد ، تـابلو اصـلی جهت ترمینالهای ترانسفورماتورهای جریان بوشینگی بـا جعبـه ترمینالهـای مربوطـه جهـت مـدارات حفاظتی ، رله حفاظتی جهت تپ چنجر ، رله نشان دهنده پارگی بالشتک پـلاک مشخـصات اصـلی ، لوله ها ، سینی ها و بست های نگهدارنده کابل ، جعبه فرمان تپ چنجر، جعبه ترمینـال CT ، فـن ، پمپ ، نشان دهنده سطح روغن تپ چنجر ، پلاک نـشان دهنـده شـیرآلات ، رنـگ ترانـسفورماتور و صفحه مشخصات تپ چنجر.

۱۰-۲-۱ . هسته

هسته و یا مدار مغناطیسی ترانسفورماتور که مسیر اصلی عبور فوران مغناطیسی می باشد بـه دو نوع هسته ای

و یا زرهی تقسیم بندی میگردد.

۱۰-۲-۲ . سیم پیچها

سیم پیچهای ترانسفورماتور به همراه عایق بندی آن مهمترین قـسمت ترانـسفورماتور اسـت. در طراحی و انتخاب نوع سیم پیچ توجه به مسائلی از جمله استقامت عایقی مناسب در مقابـل ولتاژهـا و اضافه ولتاژها ، چرخش مناسب روغن ، حداقل هزینه و تحمل در برابر نیروهای الکترومکـانیکی بایـد مورد توجه باشد.

۱۰-۲-۳ . تانک

سیم پیچهای ترانسفورماتور محفظه ای است که مجموعه هسته ، سیم پیچها و سایر متعلقات در داخل آن

قرار دارد. دو شکل موسوم تانک شامل نوع معمولی و نوع زنگی می گردد.

۱۰-۲-۴ . منبع انبساط روغن(کنسرواتور)

کنسرواتور وسیله ای است جهت مقابله با انبساط روغن در درجه حرارتهای مختلف به گونه ای که در هیچ شرایطی سطح روغن از حد مورد نظر کاهش نیابد. انواع مختلف کنسرواتور عبارتند از :

-کنسرواتور نوع باز

-کنسرواتور بسته تحت فشار هوا

-کنسرواتور بسته تحت فشار گاز نیتروژن

-کنسرواتور دیافراگمی و کنسرواتور بالشتکی

۱۰-۲-۵ . سیم پیچ سوم

سیم پیچی سوم عبارت از سیم پیچی اضافی با اتصال مثلث است که در ترانسفورماتورهای با اتصال ستاره – ستاره و یا اتو ترانسفورماتور ها به منظورهای زیر تعبیه می گردد:

-حذف هارمونیک سوم جریان بی باری

-امکان بارگیری نا متقارن و ایجاد تعادل در اتصال کوتاه های فاز به زمین

-کاهش امپدانس صفر سیم پیچهای ستاره

-اتصال به بارهای محلی و یا وسایل جبران فاز

۱۰-۳ . اطلاعات مورد نیاز جهت طراحی

براساس استاندارد IEC شماره ۱-۷۶ الی ۵-۷۶ اطلاعات مورد نیاز جهت انتخاب ترانسفورماتورهای قدرت

عمدتا شامل اطلاعات زیر می باشد.

۱۰-۳-۱ . مشخصات و ویژگیهای شبکه و سیستمی که ترانسفورماتور در آن نصب می گردد

ترانسفورماتورهای قدرت بایستی در شرایط عادی قادر به تبدیل مناسب ولتاژ با راندمان بالا باشد و در شرایط

اتصال کوتاههای کوتاه مدت (حداکثر ۲ثانیه) باید استقامت لازم را داشته باشند. این ویژگیها عبارتند از :

-ولتاژ نامی سیستمی که به اولیه و ثانویه و ثالثیه ترانسفورماتور متصل می شود (مثلا ۴۰۰/۲۳۰/۲۰ کیلوولت)

-حداکثر ولتاژی که به اولیه ، ثانویه و ثالثیه متصل می شود.

-فرکانس نامی سیستم

-گروه برداری شبکه موجود

-امپدانس ولتاژ (در صورتیکه ترانسفورماتور بایستی با ترانسفورماتورهای موجود موازی شود)

-ولتاژهای تغذیه سیستم های ACوDCپست

-قدرت اتصال کوتاه شبکه در بخشهایHV،LV،TVپست

-جزئیات نحوه زمین کردن نوترال سیستم

۱۰-۳-۲ . مشخصات محیطی و شرایط اقلیمی محلی که ترانسفورماتور در آن شرایط مورد بهره برداری قرار می گیرد

در طرح و انتخاب ترانسفورماتورهای قدرت شرایط آب و هوایی و شرایط محلی از اهمیت زیادی برخوردار است.

بنابراین دقت در تعیین و انتخاب این شرایط بسیار حساس و با اهمیت می باشد. تعدادی از پارامترهای اقلیمی

و محیطی که در طرح و ساخت ترانسفورماتور مهم هستند ذیلا مورد اشاره قرار میگیرد:

-حداکثر درجه حرارت محیط

-حداکثر متوسط درجه حرارت سالیانه محیط

-حداکثر متوسط درجه حرارت روزانه محیط

-حداقل درجه حرارت محیط

-ارتفاع از سطح دریا

-حداکثر سرعت باد

-رطوبت نسبی

-ضخامت یخ

-میزان و نوع آلودگی

ـشتاب زلزله

۱۰-۴ . شاخص ها و پارامترهای مشخص کننده طراحی

۱۰-۴-۱ . انواع ترانسفورماتورهای قدرت

۱۰-۴-۱-۱ . انواع ترانسفورماتورها ازنقطه نظر نوع سیم پیچ

ترانسفورماتورها از نقطه نظر نوع سیم پیچ جدا ، اتو ترانسفورماتور (ترانسفورماتوری که حداقل دو سیم پیچ آن دارای بخش مشترک می باشد)وترانسفورماتور بوستر (ترانسفورماتوری که یک سیم پیچ

آن با مدار تغییر دهنده ولتاژ ، سری و سیم پیچ دوم آن بعنوان سیم پیچ تغذیه مورد استفاده قرار می گیرد) تقسیم می گردد.

۱۰-۴-۱-۲ . ترانسفورماتورهای تک فاز در مقایسه با ترانسفورماتورهای سه فاز

از آنجائیکه حمل و نقل ترانسفورماتورهای سه فاز با ظرفیت زیاد بعلت محدودیتهای حمل و نقل جاده ای مشکل و در پارهای از موارد امکان پذیر نمی باشد ، در پستها ئیکه نیاز به ترانسفورماتور ۴۰۰/۲۳۰/۲۰KV با ظرفیت بالا(۵۰۰ مگا ولت آمپر و بیشتر)میباشد ، بهتر است که ترانسفورماتور تک فاز انتخاب شود.

هنگامیکه یک ترانسفورماتور در پستی نصب می گردد که نواحی زیادی را تغذیه می نماید ، برای جلوگیری از قطعی لازم است ترانسفورماتور رزروی در نظر گرفته شود. در چنین شرایطی بهتر است سه دستگاه ترانسفورماتور

تک فاز با یک فاز رزرو منظور گردد.

در نصب ترانسفورماتور های تک فاز بجای سه فاز ، هزینه های مربوط به اتصالات ثالثیه و هزینه های مربوط به فونداسیون آن نیز بیشتر خاهد بود و نیز تلفات سه دستگاه ترانسفورماتور تک فاز معمولا بیشتر از یک دستگاه ترانسفورماتور سه فاز معادل می باشد. با توجه به توضیحات فوق در ظرفیتهای پائین ترجیح داده می شود که از ترانسفورماتورهای سه فاز استفاده گردد ولی در ظرفیتهای ۵۰۰ مگا ولت آمپر بالاتر بعلت مشکلات حمل و نقل جاده ای بهتر است از ترانسفورماتورهای تک فاز استفاده شود.

در ترانسفورماتورهای سه فاز خیلی بزرگ ، مقطع یوغ بزرگ شده و در نتیجه ارتفاع ترانسفورماتور افزایش می یابد. محدودیت ارتفاع ترانسفورماتور به علت محدودیتهای راه آهن و جاده ای است که ترانسفورماتور از طریق آن حمل شود.

۱۰-۴-۱-۳ . انواع ترانسفورماتور از نقطه نظر سیم پیچ و هسته

ترانسفورماتور های معمول ۲۳۰ و ۴۰۰ کیلوولت که نتایج بهره برداری از آنها در دیگر کشورها و هم چنین در

ایران موفقیت آمیز بوده است ترانسفورماتور های روغنی می باشند . در این نوع ترانسفورماتورها هسته و سیم پیچ در داخل روغن با پایه نفتانیک یا پارافینیک (روغن معدنی) قرار داده شده و روغن ضمن تامین عایق بندی بین سیم پیچ و بدنه وظیفه سیستم خنک کننده را نیز ایفاء می نماید ، به این ترتیب که حرارت بوجود آمده در سیم پیچ و هسته را به بدنه و رادیاتور ها منتقل می کند و در این حرارت توسط سطوح خارجی ترانسفورماتور ها و رادیاتورها ناشی از گردش فن ها و پمپ به بیرون هدایت می گردد.در مورد روغن ترانسفورماتور موارد زیر ضروری است.

روغن مورد استفاده در ترانسفورماتور ها عموما از نوع روغن معدن بوده که از تقطیر و پالایش نفت خام بدست

می آید. بسته به نفتی که مورد پالایش قرار می گیرد روغنها به دو دسته متمایز تقسیم می گردد :

-روغنهای حاصل از نفت خام پایه نفتانیک

-روغنهای حاصل از نفت خام پایه پارافنیک

ترانسفورماتورهای از نوع گازSF6 تا ولتاژ ۲۳۰ کیلوولت ساخته شده است ولی تا کنون نتایج بهره برداری دراز مدت آن بدست نیامده لذا گزینهٔ مطمئن و قابل اعتمادی در مقایسه با ترانسفورماتورهای نوع روغنی نمی باشد.

۱۰-۴-۱-۴ . تقسیم ترانسفورماتورها از نقطه نظر نوع استفاده از آنها

ترانسفورماتورها از نقطه نظر نوع استفاده از آنها به شرح زیر تقسیم بندی می شوند:

-ترانسفورماتورهای توزیع و ترانسفورماتورهای قدرت که در پستهای توزیع و پستهای کلیدی و نیروگاهها بکار

گرفته می شوند.

-ترانسفورماتورهای تنظیم کننده دامنه ولتاژ و اختلاف فاز .

-ترانسفورماتورهای یکسوساز

-ترانسفورماتور جهت سیستم های قطار

-ترانسفورماتورهای مخصوص جهت آزمونها ، حفاظت و کنترل

۱۰-۴-۱-۵ . انواع ترانسفورماتورها از نقطه نظر محل نصب

ترانسفورماتورها بستگی به اینکه در محوطه باز م یـا در محوطـه بـسته نـصب شـوند بـه ایـن دو صورت تقسیم بندی

می شوند.

۱۰-۴-۱-۶ . ترانسفورماتور از نظر آب بندی شدن با هوا

ترانسفورماتورهای قدرت از ارتباط سطح روغن منبع انبساط با هوا به شکل زیر عمل میکنند:

هوا از طریق دستگاه تنفس کننده و رطوبت گیـر (سـیلیکاژل) بـه بـا لـشتک لاسـتیکی درون منبـع انبساط می شود.

بعبارت دیگر روغن ترانسفورماتور کاملا آب بندی بوده و با هوای بیرون هیچگونه ارتباطی ندارد.

۱۰-۴-۲ . فرکانس کارترانسفورماتور

فرکانس کار ترانسفورماتورهای قدرت در ایران ۵۰ هرتز می باشد.

۱۰-۴-۳ . سیستم خنک کنندگی و ظرفیت ترانسفورماتور در هر حالت

تلفاتی که در اثر اعمال ولتاژ و بارگیری در هسته و سیم پیچهای ترانسفورماتورها ایجاد مـی شـود به گرما تبدیل شده و درجه حرارت را بالا می برد. با توجه به مشخصه گرمائی عایقهای بکار رفتـه در ترانسفورماتور ، باید بکمک سیستم خنک کنندگی مناسبی ، درجه حرارت داخل ترانسفورماتور را در حد مجازی که آسیبی به عایق ها نرساند، نگهداشت.

برای نشان دادن سیستم خنک کنندگی حروفی مطابق جدول شماره (۱) بکار برده می شود. این حروف نشان دهنده نوع ماده خنک کننده و نوع گردش آن می باشد.

انواع ماده و روش های خنک کنندگی

روش گردش		نوع ماده خنک کننده	
نوع گردش	حروف سمبولیک	نوع ماده	حروف سمبولیک
طبیعی	N	روغن معدنی	O
مصنوعی (بافن یا پمپ)	F	روغن مصنوعی	L
جهت داده شده	D	هوا	A
		گاز	G
		آب	W

جدول شماره ۱

دو نوع سیستم خنک کنندگی هوائی و آبی برای ترانسفورماتور های روغنی متداول هستند. انواع این سیستمهای

خنک کنندگی طبق استاندارد IEC عبارد از :

-سیستم خنک کنندگی طبیعی ONAN : Oil Natural _ Air Natural

-سیستم خنک کنندگی با گردش طبیعی روغن و ورزش اجباری هـوا – ONAF : Oil Natural Air Forced-سیستم خنک کنندگی با گردش اجباری روغـن و وزش اجبـاری هـوا : OFAF Oil Forced _ Air Forced -سیستم خنک کنندگی با گردش اجباری جهت داده شده روغـن و وزش اجباری هوا

ODAF:Oil Directed–Air Forced

-سیستم خنک کنندگی با گردش اجباری روغن و وزش طبیعـی هـوا – OFAN : Oil Forced Air Natural سیستم خنک کننـدگی بـا گـردش اجبـاری روغـن و آب OFWF : Oil Forced- Water Forced اگر ترانسفورماتوری در چند حالت مختلف از سیستم خنـک کنندگی کار کند ، همه حا لات را به ترتیب حالات کار سیستم از چپ به راسـت مـی نویـسند مـثلا ONAN/ONAF/OFAF. در هر حال ترانسفورماتور ظرفیت نـامی و نهـایی خـود را در قـویترین سیستم خنک کنندگی خواهد داشت. در قدرتهای پایین تا حد ۱۵ مگاولت آمپر سیستم های خنـک کنندگی طبیعی بعلت سادگی ، استحکام و قابلیت اطمینان بالا بهتـرین طـرح مـی باشـد ولـی در قدرتهای بالاتر (مثلا ۳۰ مگا ولت آمپر و بالاتر) اقتصادی نیستند.در یک طراحی استاندارد و متداول ، تغییر ظرفیت ۲۰ تا ۳۰ درصد بازاء هر مرحله افزایش سیستم خنک کنندگی منطقی است.

۱۰-۴-۳ . توان نامی سیم پیچهای ترانسفورماتور

ظرفیت نامی ترانسفورماتور ها بر اساس ظرفیت پـست و بـا توجـه بـه مطالعـات و برنامـه ریـزی سیستم و نیز پیش بینی بار تعیین می گردد. انتخاب توان اسمی ترانسفورماتور های نیروگاهها سـاده می باشد. این نوع ترانسفورماتور معمولا دارای دو سیم پیچ می باشند. توان نـامی ترانـسفورماتورهای

ژنراتوری خیلی نزدیک به توان نامی ژنراتورها انتخاب می شوند ، معمولا این نوع ترانسفورماتورها تعویض نمی شوند ، مگر اینکه مشکل اساسی در ساختمان آنها ایجاد شده باشد. در مورد این ترانسفورماتورها نکات زیر باید رعایت شود :

-حداکثر توان خروجی ژنراتور را در ارتفاع مشخص ، درجه حرارت معلوم منطقه و در ولتاژ نامی با تغییر مجاز در محدوده ۵ ± درصد تامین نماید.

-تعیین ۶ الی ۸ درصد بعنوان مصرف داخلی

توان نامی مورد نیاز ترانسفورماتورهای فشار قوی وابسته به فاکتورهای زیر می باشد :

-توان با توجه به بررسی تقاضای بار ناحیه

-رشد بار آینده

-تعداد ترانسفورماتورهائی که بایستی در محل پست نصب شود.

-انتخاب ترانسفورماتورهای دو سیم پیچ یا سه سیم پیچ

-نیاز یا عدم نیاز به ترانسفورماتورهای رزرو

-انتخاب توان نامی با توجه به توانهای نامی استاندارد

توان تعریف شده ، توان در شرایط کار پیوسته می باشد. در مورد اضافه بارهای کوتاه مدت یا مدت دار توصیه های استاندارد IEC شماره ۳۵۴ می تواند مدنظر قرار گیرد. ظرفیت های پیشنهادهای استاندارد برای ترانسفورماتور های شبکه۲۳۰ کیلوولت بر حسب مگا ولت آمپر عبارتند از :

۴۰ ، ۸۰ ، ۱۲۵ ، ۱۶۰

۱۰-۴-۴. ولتاژ نامی سیم پیچ

ولتاژ اعمالی به ترمینالهای ترانسفورماتورهای سه فاز و یا ولتاژ اعمالی به ترمینالهای ترانسفورماتور تک فاز را ولتاژ نامی سیم پیچ می نامند. ولتاژ نامی سیم پیچهای ترانسفورماتور بایستی طوری انتخاب شوند که مقدار حداکثر آن مساوی حداکثر ولتاژ شبکه ای باشد که ترانسفورماتور در آنجا نصب می گردد ، مقادیر نامی ولتاژ های استاندارد بر حسب کیلو ولت عبارت است از :

۴۰۰ ، ۲۳۰ ، ۱۳۲ ، ۶۳ ، ۳۳ ، ۲۰

۱۰-۵ . نحوه اتصالات سیم پیچها و گروه برداری

۱۰-۵-۱ . نحوه اتصالات سیم پیچها

سه نوع اتصال در سیم پیچهای سه فاز متداول است که عبارتند از اتصال ستاره ، مثلث و زیگزاگ. اتصالات زیگزاگ به تعداد دور بیشتری نسبت به اتصالات ستاره نیاز دارند و ساخت آنها نیز مشکل بوده و فقط در ترانسفورماتورهای زمین و سیم پیچهای با بار نامتقارن و قدرتهای بسیار پایین و کمتر از ۸۰۰ کیلو ولت آمپر کاربرد دارد.

در ترانسفورماتورهای قدرت دو اتصال ستاره و مثلث مطرح است. اتصال ستاره جهت سیم پیچهای فشار قوی با عایق بندی نوع ناهمگون و سیم پیچهایی که تپ چنجر بر روی آنها نصب خواهد شد و در مواردی که نیاز به نقطه صفر باشد کاربرد دارند. در این نوع اتصال $\frac{1}{\sqrt{3}}$ ، هر فاز معادل جریان خط و ولتاژ فازی برابر ولتاژ خط می باشد سیم پیچهای مثلث جهت جریانهای بالا مناسب می باشند زیرا که در این نوع اتصال جریان هر فاز $\frac{1}{\sqrt{3}}$ برابر جریان خط بوده و ولتاژ خط و فاز برابر است.

۱۰-۵-۲ . گروه برداری

گروه برداری معرف میزان اختلاف فاز بین ولتاژ سیم پیچهای اولیه ، ثانویه و سیم پیچ سوم (در صورت وجود) می‌باشد. از طرف دیگر چون شبکه بهم پیوسته می باشد ، گروه برداری تابع وضعیت برداری شبکه خواهد بود. در صورتی که ترانسفورماتور انتخابی بایستی بصورت موازی در شبکه کار کند ، رعایت هماهنگی بین گروه برداری شبکه های متصل به ترانسفورماتور الزامی است. طبق استانداردIEC ، برای نمایش رابطه یا گروه برداری حرف اول بصورت حروف بزرگ انگلیسی معروف نحوه اتصال سیم پیچ فشار قوی (D معروف مثلث ،Yمعروف ستاره وZ معرف زیگزاگ) و بدنبال آن وجود یا عدم وجود حرفN معروف در دسترس بودن یا نبودن نوترال فشار قوی و سپس حروف کوچک z.y.d معروف نوع اتصال سیم پیچ فشار ضعیف و وجود و عدم وجود حرفn بیانگر در دسترس بودن یا نبودن نوترال فشار ضعیف می باشد و پس از آن عدد فازی که معرف میزان پس فاز بودن ثانویه نسبت به اولیه (بصورت مضربی از ۳۰ درجه)است قید می گردد.

در ترانسفورماتورهای ۲۳۰ کیلوولت گروه برداری به شکل زیر است:

ترانسفورماتور۲۳۰/۶۳ به صورت YNOd1 و ترانسفورماتور ۲۳۰/۶۳/۲۰ و ۲۳۰/۱۳۲/۲۰ به شکلYNynod1

۱۰-۶ . تنظیم ولتاژ و مشخصات تپ چنجر

یکی از روشهای تنظیم ولتاژ شبکه تغییر نسبت تبدیل ترانسفورماتورها بصورت پله ای و با استفاده از تپ چنجر است. تپ چنجرها بر دو نوع قابل عمل در حالت بدون جریان و قابل عمل زیر بار تقسیم می شوند. در مواردی که تنظیم مداوم ولتاژ بدون قطع بار ضروری باشد ، از تپ چنجرهای

قابل عمل زیر بار استفاده می شود و در غیر اینصورت از تپ چنجرهای غیر قابل عمل زیر بار استفاده می گردد.

در صورت استفاده از تپ چنجر در ترانسفورماتور لازم است کـه اطلاعـات مربـوط بـه بخـش (۱) استانداردIEC شماره ۴-۷۶ آماده گردد ، در انتخاب تپ چنجر باید به موارد زیر دقت کرد :

۱۰-۶-۱ . موقعیت تپ چنجر

به طور کلی در انتخاب محل تپ چنجر عوامل جریان پایین قطـع و وصـل ، عـایق بنـدی کـم ، مشخصه امپدانس ترانسفورماتور و تغییرات چگالی فوران حائز اهمیت است. به هر حال از نقطـه نظـر فنی ترجیح داده می شود که محل تپ های تپ چنجر بصورت زیر انتخاب شود :

-در صورتیکه نـسبت تبـدیل ولتـاژ بـزرگ باشـد ، ارجـح اسـت کـه تـپ هـا در طـرف اولیـه(HV) ترانسفورماتور (در مقایسه با ثانویه) قرار داده شود.

-در ترانسفورماتورهای ستاره مثلث ترجیح داده می شود که محل تپ چنجر در سـمت نـوترال سـیم پیچ ستاره که در آن جریان و ولتاژ دارای مقادیر کمتری است قرار داده شود.

-تپ چنجر در طرفی قرار داده شود که در آن تغییرات ولتاژ زیاد اتفاق می افتد ، اهمیت این فـاکتور کمتر از فاکتور های مذکور در بندهای فوق می باشد.

۱۰-۶-۲ . هدف از کاربرد تپ چنجر در ترانسفورماتورها

تپ چنجر بطور کلی به دلائل زیر ترانسفورماتورها بکار گرفته می شوند:

-جبران افت ولتاژ در ترانسفورماتورها

-جبران تغییرات ولتاژ در طرف ولتاژ زیاد(HV)

-جبران تغییرات ولتاژ در طرف ولتاژ کم(LV)

تپ چنجرهای قابل قطع زیر بار برای ثابت نگهداشتن ولتاژ ثانویه در اثر تغییر ولتاژ اولیه در طرف اولیه ترانسفورماتور بکار می رود.

۱۰-۶-۳ . میزان کل تنظیم ولتاژ و درصد هر مرحله

تعیین درصد تنظیم ولتاژ در هر نقطه از شبکه مستلزم مطالعه منحنی تغییرات ولتاژ بر حسب زمان و محاسبات پیچیده پخش بار در شبکه است. در صورتیکه درصد تنظیم هر مرحله خیلی کوچک انتخاب شود باعث می شود که تعداد عملکرد تپ چنجر قابل عمل زیر بار که می تواند بصورت خودکار نیز فرمان گیرد ، زیاد شده و تپ چنجر دائما در حال کار باشد که موجب استهلاک سریع دستگاه می گردد. از طرف دیگر با انتخاب درصد تنظیم بالا برای هر مرحله ، نمی توان تنظیم مناسبی را در اثر تغییرات ولتاژ بدست آورد. معمولا تعداد مراحل تپ چنجرها توسط سازندگان پیشنهاد شده و تعداد مراحل متداول ۹-۱۳-۱۵-۱۹-۲۳-۲۷-۳۱ و ۳۵ می باشد.

در ترانسفورماتورهای۲۳۰/۱۳۲/۲۰KV ، ۲۳۰/۶۳KV ، ۲۳۰/۶۳/۲۰KV میزان تنظیم ولتاژ در ۹ مرحله و با تنظیم۱/۶۷ درصد برای هر پله توصیه می گردد.[۲۷-۲۵]. محل قرارگیری تپ چنجر روی سیم پیچ فشارقوی و در سمت نوترال آن است.

۱۰-۶-۴ . جریان نامی تیپ چنجر

طبق توصیه استانداردIEC جریان نامی تپ چنجر بایستی برابر ۱۲۰ درصد بیشترین جریان ترانسفورماتور باشد.

۱۰-۶-۵ . سطوح عایقی

بطورکلی تپ چنجرها باید سطوح عایقی متناسب با نقطه ای از سیم پیچی را که به آن اتصال می یابد داشته باشند. یعنی اینکه سطح عایقی تپ چنجر به محل قرار گرفتن آن بستگی دارد ، استاندارد IEC شماره ۲۱۴ به این مطلب اشاره نموده است.

۱۰-۷ . حد اکثر ولتاژ هر یک از سیم پیچها

استاندارد IEC شماره ۳-۷۶ مقادیر حداکثر ولتاژ سیستم برای ترانسفورماتورها را بصورت زیر بیان می کند (مقادیر بر حسب کیلوولت است).

-۱۲-۱۷/۵-۲۴-۳۶-۵۲

۳/۶-۷/۲

-۱۴۵-۱۷۰-۲۴۵-۳۰۰

۷۲/۵-۱۲۳

-۵۲۵-۷۶۵

۳۶۲-۴۲۰

با توجه به سطوح ولتاژ موجود در پست های ۲۳۰ کیلوولت مقادیر ولتاژ حداکثر سیم پیچهای ترانسفورماتور بصورت زیر خواهد بود :

حداکثر ولتاژ (کیلوولت)	ولتاژ نامی (کیلوولت)
۲۴	۲۰
۷۲/۵	۶۳
۱۴۵	۱۳۲
۲۴۵	۲۳۰
۴۲۰	۴۰۰

۱۰-۸ . تاثیر زمین نمودن نوترال در عایق بندی

نحوه عایق بندی سیم پیچهای ترانسفورماتور به چگونگی زمین کردن نقطه نوترال سیستم بستگی دارد. تحمل عایقی نوترال سیم پیچی که بصورت ستاره بسته شده باشد در مقابل ولتاژ با فرکانس شبکه چنانچه نوترال مستقیما زمین شده باشد مطابق استانداردIEC در حد۳۸ کیلوولت کافی است و در اینصورت می توان از عایق بندی کاهش داده شده تدریجی یا نا همگون استفاده نمود ، در حالیکه اگر نوترال ایزوله باشد عایق بندی کامل یا همگون ضرورت پیدا می کند.

۱۰-۹ . تعیین سطوح عایقی داخلی و خارجی و نوترال

کلیه تجهیزات فشار قوی منجمله ترانسفورماتورها تحت تاثیر اضافه ولتاژهای بوجود آمده در سیستم یا برای سیستم (داخلی یا خارجی) قرار می گیرد. سیم پیچ ترانسفورماتورها در مقابل این اضافه ولتاژها و نیز القاء الکترومغناطیسی یا الکترواستاتیکی این امواج از سیم پیچی به سیم پیچ

دیگر ، حساسیت زیادی از خود نشان میدهند. بدین لحاظ انتخاب سطوح عایقی ترانسفورماتورها (داخلی: سیم پیچها و خارجی : بوشینگها) بعنوان بخشی از مطالعات هماهنگی عایقی مطرح می گردد.

انتخاب سطوح عایقی مناسب برای ترانسفورماتور نقش مهمی در هزینه ساخت ترانسفورماتور خواهد داشت. به هنگام آزمون ترانسفورماتور در شرایط استاندارد می بایستی دامنه موج استاندارد بازای هر ۱۰۰ متر افزایش ارتفاع نسبت به ۱۰۰۰ متر از سطح دریا به اندازه ۱ درصد افزوده گردد تا استقامت عایقی بوشینگ مورد نظر در ارتفاع محل پست تامین گردد. برای سیستم هائی که بالاترین ولتاژ آنها کمتر از ۳۰۰ کیلوولت است طبق توصیه IEC فقط کافی است سطوح استقامت عایقی برای اضافه ولتاژهای ناشی از صاعقه(LIWL)و اضافه ولتاژهای با فرکانس قدرت(PFWL) تعیین شوند.

استانداردIEC شماره ۳-۷۶ مقادیر SIWL،LIWL و PFWLبرای حداکثر ولتاژهای سیستم ۱۲۳ ، ۱۴۷ ، ۱۷۰ ، ۲۴۵ در سه آلترناتور و برای ولتاژهای سیستم ۳۰۰ ، ۳۶۲ ، ۴۲۰ ، ۵۲۵ ، ۷۶۵ در دو آلترناتیو پیشنهاد نموده است.

۱۰-۱۰ . میزان افزایش مجاز درجه حرارت روغن و سیم پیچ

۱۰-۱۰-۱ . انواع عایقهای ترانسفورماتور

انواع عایقهای ترانسفورماتور با توجه به حداکثر درجه حرارت مجاز مربوطه به آن در جدول شماره (۵) آمده است :

کلاس عایقی	حداکثر درجه حرارت مجاز ($^{\circ}c$)

Y	۹۰
A	۱۰۵
E	۱۲۰
B	۱۳۰
F	۱۵۵
H	۱۸۰
C	بالاتر از ۱۸۰

« جدول شماره ۵ » (حدکثر درجه حرارت مجاز عایقهای مختلف)

استاندارد IEC شماره ۲-۷۶ حدود مجاز افزایش درجه حرارت سیم پیچ و روغن در شرایط محیطی استاندارد (حداکثر درجه حرارت مطلق معادل ۴۰ درجه سانتیگراد و حداکثر درجه حرارت متوسط روزانه ۳۰ درجه سانتیگراد و ارتفاع کمتر از ۱۰۰۰ متر از سطح دریا) را طبق جدول شماره(۶) برای سیستم های خنک کنندگی هوایی توصیه کرده است.

محدوده تغییرامپدانس بدون تغییر محسوس قیمت

محدوده امپدانس (درصد)	حداکثر ولتاژ سیستم (KV)	محدوده ظرفیت (MVA)	نوع ترانسفورماتور
۴ تا ۵	-	کمتر از ۱	توزیع
۶ تا ۱۰	۳۶ تا ۱۰۰	۶ تا ۲۰	صنعتی
۱۰ تا ۱۴	۱۲۳ تا ۱۷۰	۲۰ تا ۵۰	واحدهای بزرگ نوع ONAN
۱۲ تا ۱۶	۲۴۵ تا ۴۲۰	۵۰ تا ۳۰۰	واحدهای بزرگ نوع OF , OFW etc.

(جدول شماره ۸)

۱۰-۱۱ . روش خنک کنندگی

به استثناء شرایط خنک کنندگی طبیعی (ONAN)، سیستم خنک کنندگی با گردش اجباری روغن ممکن است اقتصادی تر از دیگر انواع سیستم خنک کننده باشد. بهرحال انتخاب سیستم

خنک کننده بمیزان زیادی تابع شرایط محل پست می باشد. در این استاندارد ترجیحا سیستم خنک کنندگی بصورتONAN /ONAF1/ONAF2 در نظر گرفته شده است.

ولـی بـه هـر حـال اسـتفاده از سیـستمهای خنـک کننـدگیONAN/ONAF/OFAFو ODAFنیز در صورت لزوم ، قابل قبول خواهد بود.

۱۰-۱۳ . تپ چنجر

جهت اقتصادی نمودن قیمت ترانسفورماتور لازم است که نیاز یا عدم نیاز به تپ چنجر بررسـی گردد و سپس در صورت نیاز ، حداقل دامنه تغییرات مشخص گردد و تعیین آن در روی سیم پیچـی فشار قوی یا فشار ضعیف در مورد انتخاب نوع تپ چنجر (قابل عمل در زیر بار ، قابل عمل در حالـت بدون جریان) باید دقت لازم بعمل آید چون نوع تپ چنجر در قیمت ترانسفورماتور تاثیر دارد.

۱۰-۱۴ . تلفات بارداری و بی باری

تلفات بارداری و بی باری در قیمـت تمـام شـده ترانـسفورماتورها تـاثیر بـسزائی دارد بطوریکـه ترانسفورماتوری با تلفات بیشتر ارزانتر از ترانسفورماتور مشابه خود با تلفات کمتر می باشد.

۱۰-۱۵ . میزان مجاز صدا

ارتعاشات هسته در محل اتصال ستون هسته به قسمتهای بالائی و پـائینی ، تغییـر طـول ورقـه های هسته ، سیم پیچهای هادی جریـان و نیـز فنهـا و پمـپ هـا از عوامـل مختلـف ایجـاد صـدا در ترانسفورماتورها می باشند. استانداردNEMA-TR1سال ۱۹۷۴ برای صدا حدود مجـازی را تعیـین

نموده است. مقدار صدا برای ترانسفور-ماتورهای با ظرفیت ۲۰۰MVA و ۵۰۰MVA برابر حداکثر ۸۰ دسی بل می باشد. اندازه گیری صدا بایستی بر طبق IEC شماره ۵۵۱ انجام گیرد.

۱۰-۱۶ . مقادیر اتصال کوتاه سیستم

جهت محاسبات اتصال کوتاه ، مقادیر جریانهای اتصال کوتاه سیستم در طول عمر ترانسفورماتور مورد نیاز می باشد. مقادیر اتصال کوتاه سه فاز متقارن جهت سطوح ولتاژ مختلف بایستی بعنوان اطلاعات اولیه در اختیار انتخاب کننده ترانسفورماتور باشد (بهتر است محاسبات اتصال کوتاه ترانسفورماتور بدون در نظر گرفتن امپدانس شبکه انجام شود).در صورت فقدان اطلاعات ، حداکثر سطوح اتصال کوتاه متقارن بشرح زیر پیشنهاد می گردد :

-اتصال کوتاه متقارن برای ولتاژ۴۲۰کیلوولت-۴۰۰۰۰ مگاولت آمپر

-اتصال کوتاه متقارن برای ولتاژ۲۴۵ کیلوولت-۲۰۰۰۰ مگا ولت آمپر

-اتصال کوتاه متقارن برای ولتاژ۱۴۵ کیلوولت-۱۰۰۰۰ مگا ولت آمپر

-اتصال کوتاه متقارن برای ولتاژ ۷۲/۵ کیلوولت –۳۰۰۰ مگا ولت آمپر

اتصال کوتاه متقارن برای ولتاژ ۳۶ کیلوولت –۱۰۰۰ مگا ولت آمپر

اتصال کوتاه متقارن برای ولتاژ ۲۴ کیلوولت –۵۰۰ مگا ولت آمپر

۱۰-۱۷ . مقاومت تانک ترانسفورماتور در مقابل خلاء و اضافه فشار

تانک ترانسفورماتور ، رادیاتورها ، لوله های ارتباطی روغن و کنسرواتور باید ضمن اینکه قادر به تحمل خلاء کامل باشند تحمل اضافه فشار داخلی معادل با اختلاف ارتفاع پائین ترین سطح و بالاترین سطح روغن ترانسفورماتور بعلاوه سطح روغن تانک را داشته باشند.

۱۰-۱۸ . نوع ترانسفورماتور از نظر ساختمانی

از نقطه نظر ترتیب قرار گرفتن سیم پیچها و هسته ، ترانسفورماتورها به دو نوع زرهی و هسته ای تقسیم بندی می شوند که با توجه به اشکالات مربوط به تعمیرات و توجه آن در داخل ، بهتر است که از نوع هسته ای استفاده شود.

۱۰-۱۹ . اضافه بار در ترانسفورماتور

اضافه بار در ترانسفورماتورها به اشکال مختلف می تواند وجود داشته باشد. از جمله اضافه بارهای اعمال شده از طرف مؤسسات استاندارد ، اضافه بارهای اتفاقی ، اضافه بارهای دائم و اضافه بارهای لحظه ای و کوتاه مدت. در هر صورت جهت اضافه بار ترانسفورماتورها که در واقع عاملی است که مستقیما در ارتباط با افزایش درجه حرارت سیم پیچها و روغن می باشد ، استاندارد IEC شماره ۳۵۴ معیار مناسبی بوده که در آن اضافه بارهای تا ۱/۵ برابر جریان نامی بسته به زمان اضافه بار نیز پیش بینی شده است. در مورد اضافه بارهای بیش از ۵۰ درصد بار نامی ، آسیب پذیری متعلقات ترانسفورماتور باید مورد توجه قرار گیرد.

۱۰-۲۰ . شرایط مربوط به موازی نمودن ترانسفورماتورها

چنانچه هدف این باشد که ترانسفورماتور با ترانسفورماتورهای موجود موازی شود باید این موضوع به سازنده اعلام شود و مشخصات ترانسفورماتورهای موجود بشرح زیر اعلام گردد :

الف- توان نامی

ب- نسبت تبدیل نامی

ج- نسبت تبدیل ولتاژ در تپ هائی غیر از تپ نامی

د- تلفات بارداری در تپ نامی و دردرجه حرارت مشخص

ه- امپدانس ولتاژ در جریان نامی و در تپ نامی

و- امپدانس اتصال کوتاه در تپ های حداکثر و حداقل در صورتیکه محدوده تغییر تپ ها از ± 5درصد بیشتر باشد.

ز- دیاگرام اتصال و دیاگرام برداری (بر اساس استانداردIEC شماره ۶۰۶)

ح- نحوهٔ قرارگیری بوشینگها

ط- نحوهٔ استقرار فیزیکی

ی- سایر ملحقات

ک- استاندارد ساخت ترانسفورماتور

برای اینکه امکان عملکرد موازی دو و یا چند ترانسفورماتور به نحو مطلوب وجـود داشــته باشـد لازم است شرایط زیر محقق گردد :

-نسبت تبدیلهای یکسان

-گروه برداری مشابه

-امپدانس اتصال کوتاه یکسان

-قدرت نامی نزدیک به هم

۱۰-۲۱ . استفاده از محفظه کابل در طرف فشار ضعیف

در ولتاژهای زیر ۳۶ کیلوولت و جریان کمتر از ۲۵۰۰ آمپر بسته به مـورد و نیـاز ، محفظـه کابـل در طرف فشار ضعیف ترانسفورماتورها باید مدنظر قرار گیرد.

۱۰-۲۲ . فاصله خزشی بوشینگها

جهت محاسبه فاصله خزشی بوشـینگها بـه جـدول شـماره ۲۱۰ ایـن اسـتاندارد تحـت عنـوان (انتخاب مقره ها) رجوع شود.

۱۰-۲۳ . انتخاب ترانسفورماتور پست ۲۳۰/۶۳ کیلوولت کرج

قدرت اولیه پست : 220 MVA

قدرت نهایی پست : 260 MVA

با توجه به ایتکه ترانسفورماتورهای استاندارد فوق توزیع بشرح زیر می باشد :

180 MVA , 160 MVA , 125 MVA, 80 MVA

لذا داریم : $2\times160+1$

پس دو ترانس 160 MVAو یک ترانس 160MVA رزرو برای این پست مناسب خواهد بود.

ارتفاع پست از دریا : ۲۰۰۰M

با توجه به اینکه قدرت ترانسها هر کدام ۱۶۰MVA و حداکثر دمای محیط ^{C_0}۴۵ است سیستم خنک کنندگی ترانس از نوع ONAN / ONAF1 / ONAF2 انتخاب می شود.

درجه حرارت حداکثر محیط : ۴۵ °c

حداقل درجهٔ حرارت محیط : -۲۵ °c

ماکزیمم درجهٔ حرارت متوسط روزانه : ۲۸ °c

۱-با توجه به اطلاعات هوای محیط و مشخصات استاندارد هوا

مشخصات استاندارد : ۱- حداکثر درجهٔ حرارت محیط : ۴۰ °c

۲- حداقل درجهٔ حرارت محیط : $^{\circ}c$ -۲۵

۳- ماکزیمم درجهٔ حرارت متوسط روزانه : $^{\circ}c$ ۳۰

۱- با توجه به ارتفاع محل پست از سطح دریا داریم :

حداکثر درجه حرارت سیم پیچ ترانس بدون اعمال هوای محیط $65-65\times\frac{2\times3}{100}=61.1\approx61^{\circ}_{C}$

حداکثر درجه حرارت روغن سیم پیچ ترانس بدون اعمال هوای محیط $60-60\times\frac{2\times3}{100}=56.4\approx56^{\circ}_{C}$

با اعمال درجهٔ حرارت محیط : ۴۵-۵=۵۰ $^{\circ}_{C}$

پس داریم :

حداکثر درجهٔ حرارت مجاز سیم پیچ ترانس مورد نظر $۶۱-۵=۵۹^{\circ}_{C}$

حداکثر درجهٔ حرارت مجاز روغن ترانس مورد نظر $۵۶-۵=۵۱^{\circ}_{C}$

۱۰-۲۳-۱ . ترانس قدرت

۱۰-۲۳-۱-۱ . تعیین قدرت اتصال کوتاه ترانس :

برای تعیین اتصال کوتاه ، باید اول امپدانس درصد مشخص شود.

برای انتخاب امپدانس درصد داریم :

طبق استاندارد IEC ، برای ترانسهای ۱۶۰ مگاولت آمپر ، و با توجه بـه تعـداد تـرانس مـوازی پست – و سطح اتصال کوتاه و محدودیتهای تجهیزات شبکه در صورت بروز اتصال کوتـاه ، امپـدانس در صد ترانس 15%در نظر گرفته می‌شود.

$$S_{SC} = \frac{S_n \times 100}{Z} = \frac{160 \times 100}{15} = 1066.67 mvA$$

۱۰-۲۳-۱-۲ .تعیین جریان نامی ترانس :

الف : در ردیف 230 kv :

$$\mathrm{I}_{n_1} = \frac{S_n}{\sqrt{3}U_{n_1}} = \frac{160 \times 10^5}{\sqrt{3} \times 230 \times 10^3} = 0.402 kv = 402^{A}$$

ب : در ردیف 63^{KV} :

$$I_{n_2} = \frac{S_n}{\sqrt{3}U_{n_2}} = \frac{160 \times 10^5}{\sqrt{3} \times 63 \times 10^3} = 1466.3A$$

۱۰-۲۳-۱-۳ . تعیین جریان اتصال کوتاه

الف : در ردیف 230^{kv} :

$$I_{SC_1} = \frac{S_{SC}}{\sqrt{3}U_{n_1}} = \frac{1055.67^{MVA}}{\sqrt{3} \times 230^{KV}} \mathrm{KV} = 2.677$$

ب : در ردیف 63^{KV} :

$$I_{SC_2} = \frac{S_{SC}}{\sqrt{3}U_{n_2}} = \frac{1066.67^{MVA}}{\sqrt{3} \times 67^{KV}} = 9.7753 \quad \mathrm{KV}$$

۱۰-۲۳-۱-۴ . انتخاب تپ چنجر :

برای این ترانس باید یک تپ پنچر از نوع ON Load انتخـاب شـود. طبـق توصـیه اسـتاندارد وزارت نیرو برای ترانسهای ۲۳۰/۶۳ کیلوولت میزان تنظیم ولتاژ بوسیله تپ چنجر ۱۵٪ ± می باشـد و تعداد پله های تپ چنجر ۱۹ پله می باشد که پلهٔ دهم ولتاژ نامی سیستم است.

$$\text{ولتاژ يك پله} = \frac{\text{ولتاژ نامي ترانس} \times 15}{\text{تعداد پله X ۱۰۰}} = \frac{63 \times 15}{100 \times 19} = 0.497 \approx 0.5 \ ^{KM}$$

۱۰-۲۳-۱-۵ . مقدار جریان نامی تپ چنجر :

$$I_{tap} = I_n \times 1.15 \times 1.2 = 402 \times 1.15 \times 1.2 = 554.76A$$

با توجه به اینکه جریان در قسمت H.V کمتر از L.V است لذا برای جلوگیری از ایجاد حرارت زیـاد در هنگام

تغییر تپ ، لذا تپ چنجر را در قسمت H.V نصب می کنند.

۱۰-۲۳-۱-۶ . تعیین گروه برداری :

برای ترانسفورماتورهای ۲۳۰/۶۳ کیلوولت گروه برداری بصورت YND11می باشد.