

ترانسفورماتورهای سه فاز

بخش اول

کلیات ترانسفورماتورهای سه فاز

فهرست مطالب

- مقدمه
- ساختمان ترانسفورماتور سه فاز (هسته ای و زرهی)
- بررسی اتصالات و آرایش های ترانسفورماتور سه فاز
- آرایش های خاص شامل (آرایش زیگزاگ، آرایش مثلث باز، آرایش اسکات)
- گروه های برداری در ترانسفورماتورهای سه فاز
- هارمونیک ها در ترانسفورماتورهای سه فاز

چرا از ترانسفورماتور در سیستم قدرت استفاده می شود؟

- سطح ولتاژ خروجی ژنراتورهای سنکرون در نیروگاه های برق حداکثر ۳۰ کیلو ولت می باشد (به دلیل مسائل مربوط به محدودیت های عایق بندی) و بنابراین، جریان خروجی ژنراتور بالا می باشد و اگر بخواهیم با این جریان توان را به مراکز مصرف انتقال دهیم، افت توان مسیر به شدت زیاد می شود. بنابراین، با استفاده از یک ترانسفورماتور افزایشده توان را با ولتاژ بالا و جریان کم منتقل می کنیم و در نزدیکی مراکز مصرف با استفاده از ترانسفورماتورهای کاهشده، سطح ولتاژ را به میزان مورد نیاز کاهش می دهیم.

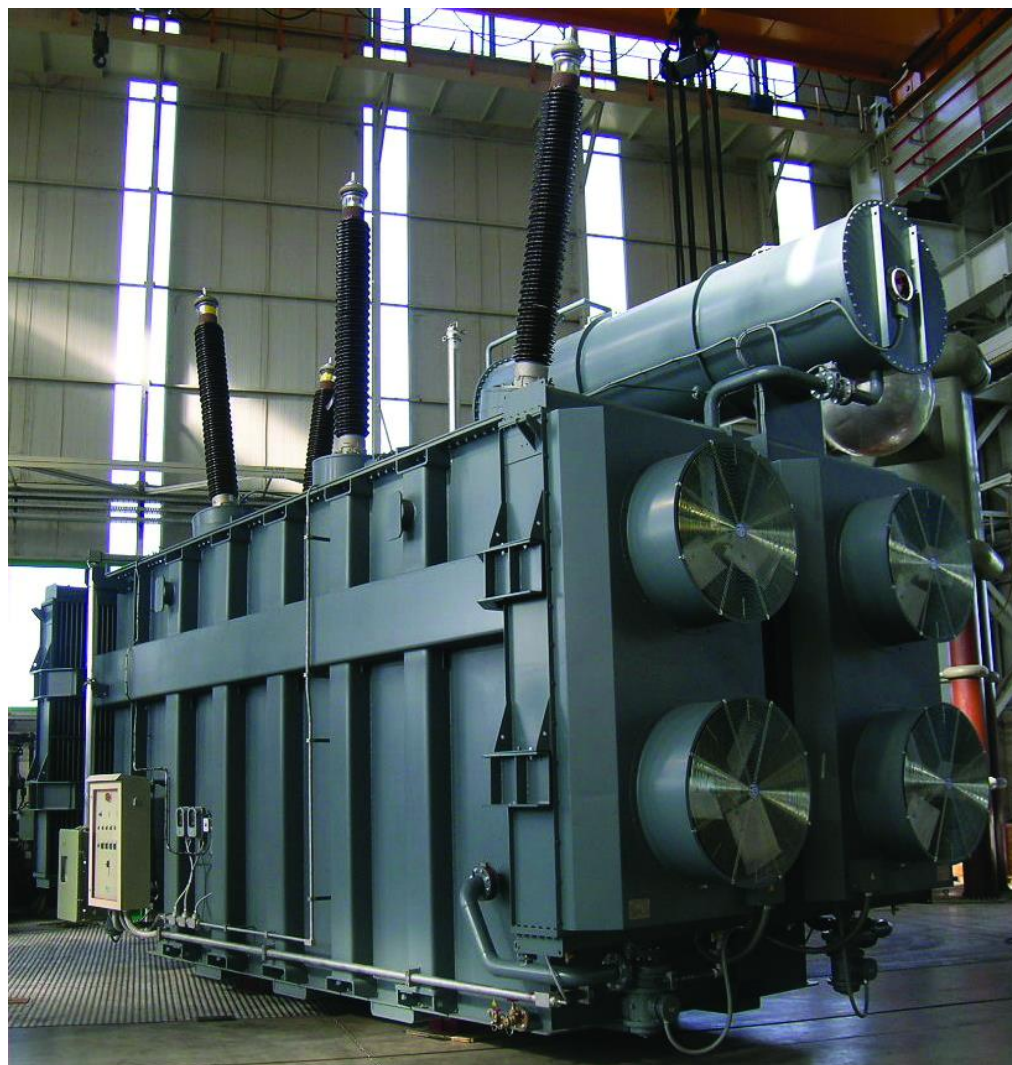
دسته بندی ترانسفورماتورهای سه فاز از نظر سطح ولتاژ

- ترانسفورماتورهای توزیع
دارای رنج ولتاژی از ۱۱ تا ۳۳ کیلوولت و ظرفیت نامی از ۲۵ تا ۲۵۰۰ کیلوولت آمپر
- ترانسفورماتورهای فوق توزیع
دارای رنج ولتاژی از ۶۳ کیلوولت و ظرفیت نامی از ۱۰ تا ۵۰ مگاواولت آمپر
- ترانسفورماتورهای انتقال
دارای رنج ولتاژی از ۲۳۰ و ۴۰۰ کیلوولت و ظرفیت نامی بالاتر از ۲۰۰ مگاواولت آمپر

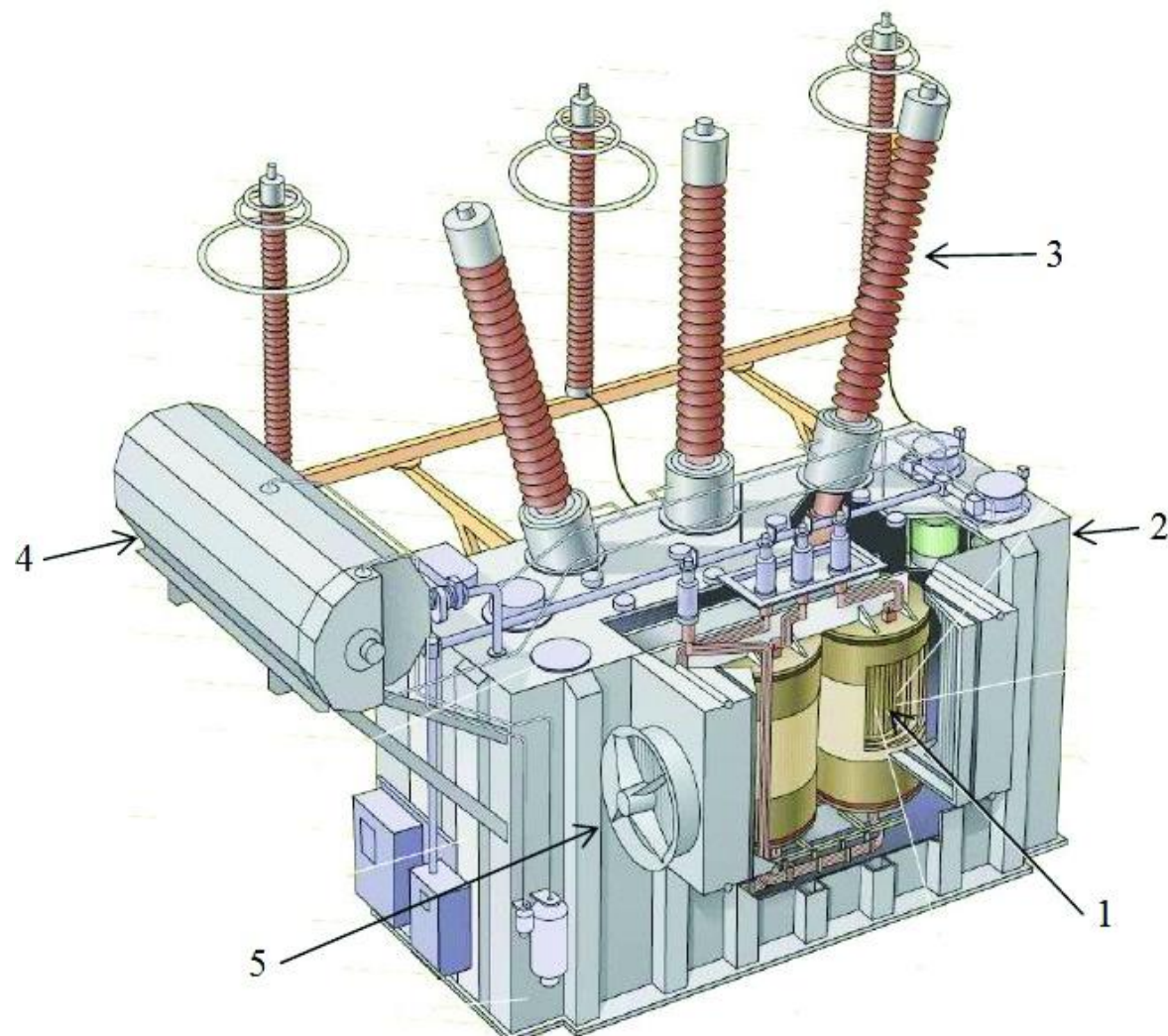
تصویری از یک ترانسفورماتور توزیع سه فاز



تصویری از یک ترانسفورماتور قدرت روغنی بزرگ با فن های خنک کننده خارجی



اجزاء اصلی یک ترانسفورماتور قدرت



هسته ترانسفورماتور قدرت

- هسته، مدار مغناطیسی ترانسفورماتور و مسیر اصلی عبور شار مغناطیسی است که از ورقه های نازک فولادی با درصدی از سیلیکون که در کنار هم بطور فشرده قرار گرفته اند، ساخته می شود.
- این مجموعه تشکیل دهنده یک مسیر مغناطیسی پیوسته با حداقل فواصل هوایی بوده که دارای ضریب نفوذ مغناطیسی بالایی است. تلفات هیستریزیس در هسته به کمک عملیات حرارتی ویژه ای به حداقل ممکن می رسد و جهت کنترل تلفات گردابی، هسته بصورت لایه لایه که از هم عایق شده اند، ساخته می شود.

سیم پیچی های ترانسفورماتور قدرت

- سیم پیچها به همراه عایق بندی آن مهمترین قسمت یک ترانسفورماتور هستند که از مجموعه ای از حلقه های هادی تشکیل شده است. حلقه های مختلف، نسبت به یکدیگر و هسته عایق می باشند. مجموعه حلقه ها بر روی ستونهای هسته قرار می گیرند. معمولاً در ترانسفورماتورهای سه فاز، سیم پیچی های مختلف هر فاز روی ستون مربوطه به نحوی قرار می گیرند که متحدالمرکز بوده و به لحاظ فنی حتی المقدور سیم پیچهای نزدیک به هسته دارای ولتاژ کمتری باشند. جنس هادی سیم پیچها به طور معمول مس و یا در پاره ای موارد آلومینیوم است.

- **سیم پیچی ها بایستی درمجموع دارای خصوصیات زیر باشند:**

- استحکام مکانیکی در مقابل نیروهای ناشی از اتصال کوتاه
- مقاومت حرارتی در مقابل حرارت حاصل از اتصال کوتاه و حالت کار عادی
- استحکام عایقی مناسب
- حداکثر هدایت الکتریکی

تانک ترانسفورماتور قدرت

- مخزن یا تانک ترانسفورماتور یک مخزن بیضوی و یا مکعبی است که سیم پیچ و هسته ترانسفورماتور را در بر می گیرد و نقش یک پوشش حفاظتی را برای آن ها بازی می کند. داخل تانک از روغن پر می شود؛ به گونه ای که هسته و سیم پیچ کاملاً در روغن فرو می روند. سطح خارجی تانک تلفات گرمایی داخل ترانسفورماتور را به بیرون منتقل می کند. تانک ترانسفورماتور باید بتواند نیازهای زیر را برآورده کند:
- حفاظتی برای هسته، سیم پیچی ها، روغن و سایر متعلقات داخلی باشد.
- دارای استقامت کافی باشد که در حین حمل و نقل و نیز در زمان اتصال کوتاه داخلی بتواند تنش های مکانیکی ایجاد شده را تحمل نماید.
- ارتعاشات و صدا در آن به حداقل برسد.
- ساختمان آن در برابر نشت روغن و یا نفوذ هوا آب بندی باشد.
- سطوح کافی برای دفع گرمای ناشی از تلفات ترانسفورماتور را تامین کند.
- محلی برای نصب بوشینگ ها، تپ چنجر، مخزن ذخیره روغن و سایر متعلقات باشد.
- از نظر ابعاد در حدی باشد که به راحتی قابل حمل و حمل و نقل از طریق جاده یا راه آهن باشد.
- حداقل میدان مغناطیسی در خارج از آن وجود داشته باشد.

سایر اجزاء ترانسفورماتور قدرت

- بوشینگ ها

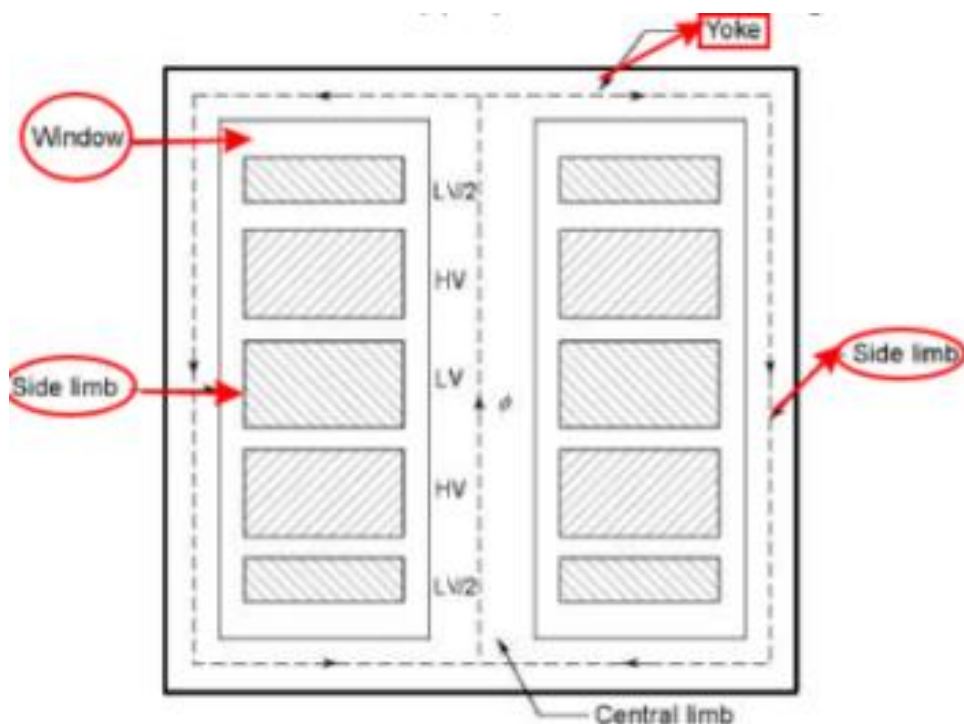
- بوشینگها به منظور عبور سیم پیچهای داخل ترانسفورماتور به خارج از تانک و جهت ارتباط با شبکه استفاده میشوند که از یک هادی در داخل یک استوانه عایقی تشکیل شده است.

- تپ چنجر

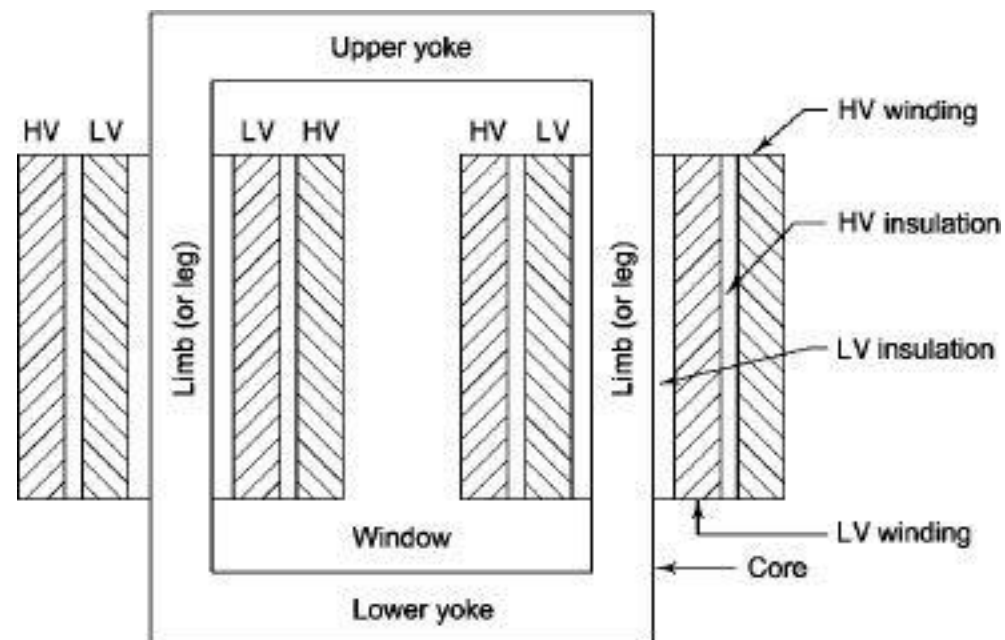
- از تپ چنجر به منظور کنترل دامنه ولتاژ سیم پیچها استفاده می شود که دارای دو نوع زیر بار و بدون بار می باشد.
- رله بوخهلتس، ترمومتر اندازه گیری درجه حرارت روغن، ترمومتر اندازه گیری درجه حرارت سیم پیچها، نمایشگر میزان روغن، پمپهای روغن، تابلوهای کنترل، شیرهای روغن، نقاط هواگیری، رادیاتورها، کنسرواتور، لوله های ارتباطی، سیستم تنفسی (رطوبت گیر)، چرخها، حلقه های بلند کردن و کشیدن و غیره.

ترانسفورماتورهای تکفاز هسته ای (Core-Type) و زرهی (Shell-Type)

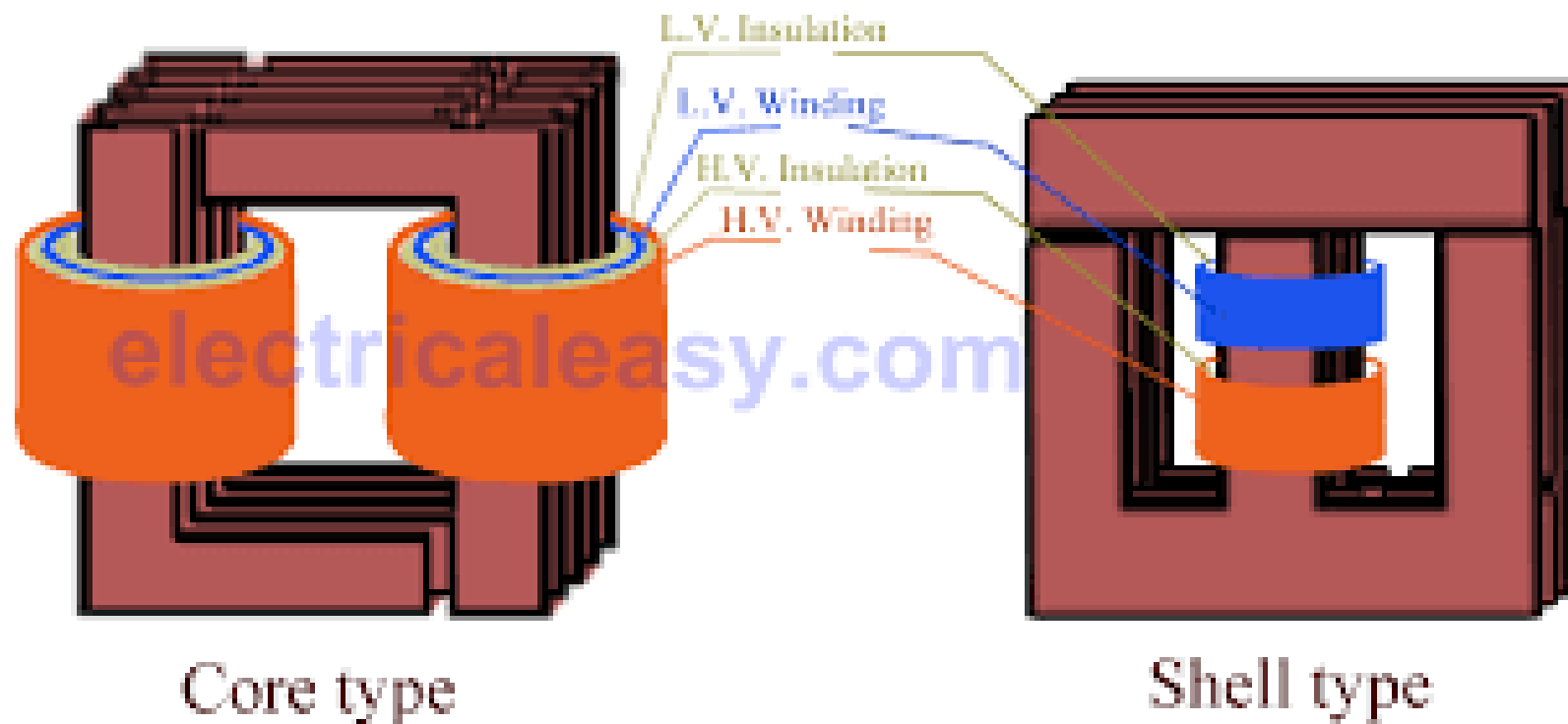
زرهی



هسته ای



ترانسفورماتورهای تکفاز هسته ای (Core-Type) و زرهی (Shell-Type)



انواع ترانسفورماتورهای سه فاز از نظر ساختمان

- ترانسفورماتورهای سه فاز سه پارچه (بانک ترانسفورماتور سه فاز متشکل از سه ترانس تکفاز)
- ترانسفورماتورهای سه فاز یکپارچه (هسته ای سه ستونه و هسته ای ۵ ستونه)
- ترانسفورماتورهای سه فاز یکپارچه (زرهی)

بانک ترانسفورماتور سه فاز (شامل ۳ ترانس تکفاز مستقل)

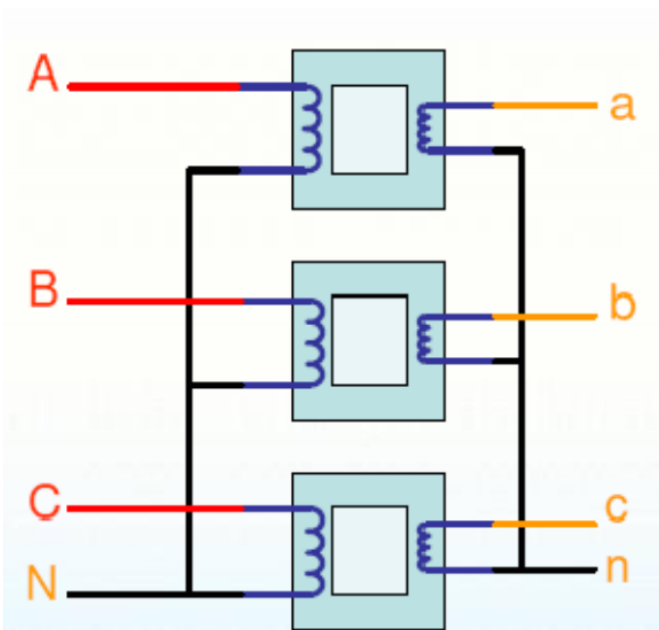
محاسن:

امکان تعویض هر کدام از فازها در صورت بروز خطا در آن فاز

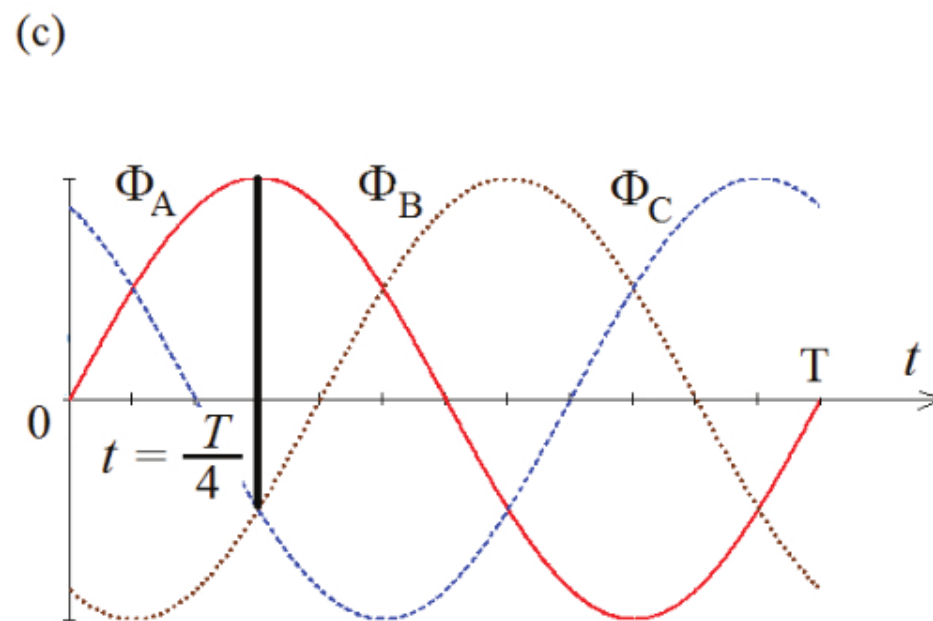
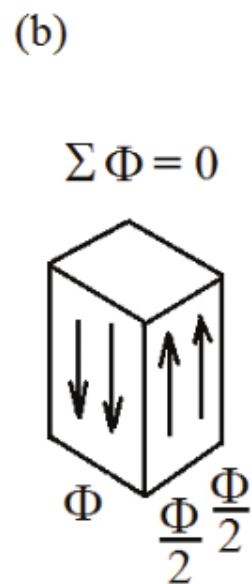
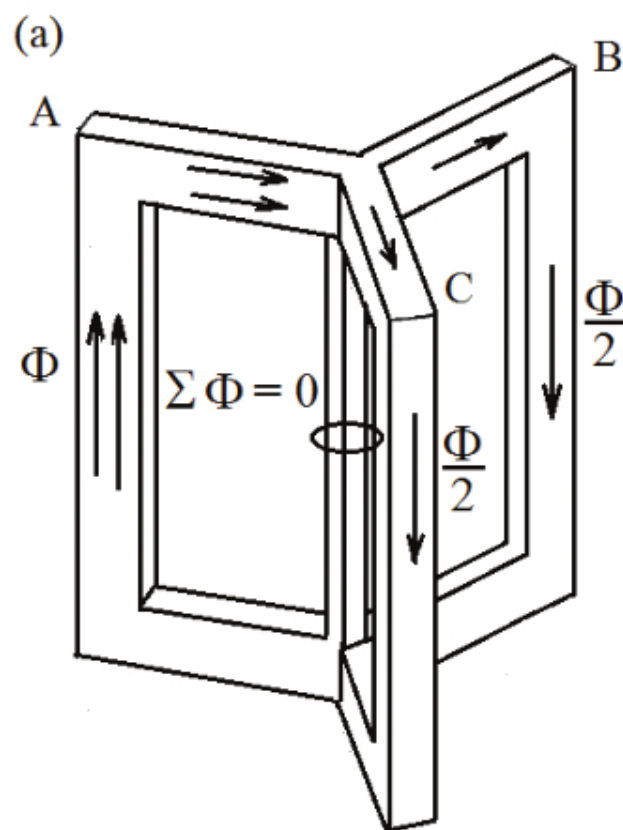
امکان تامین بخشی از توان مورد نیاز بار توسط دو ترانس دیگر (اتصال مثلث باز)

معایب:

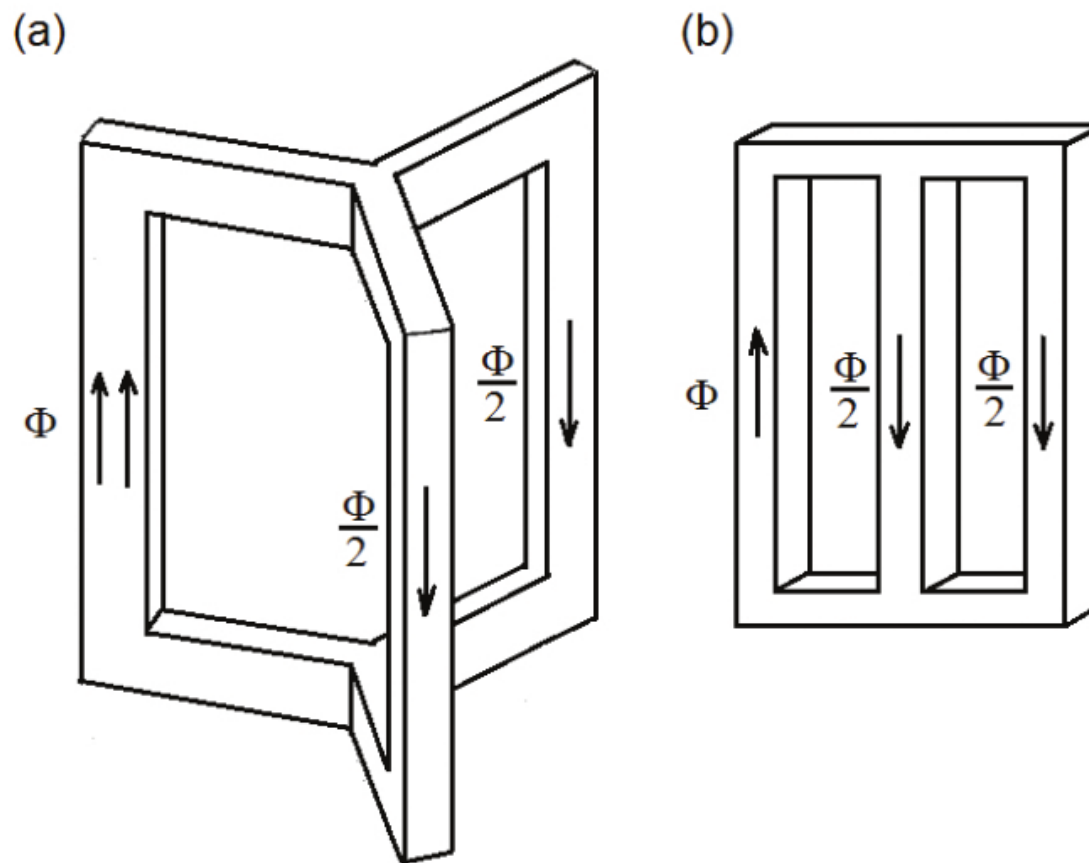
حجم، وزن و هزینه بالاتر و راندمان کمتر در مقایسه با ترانس ۳ فاز یکپارچه



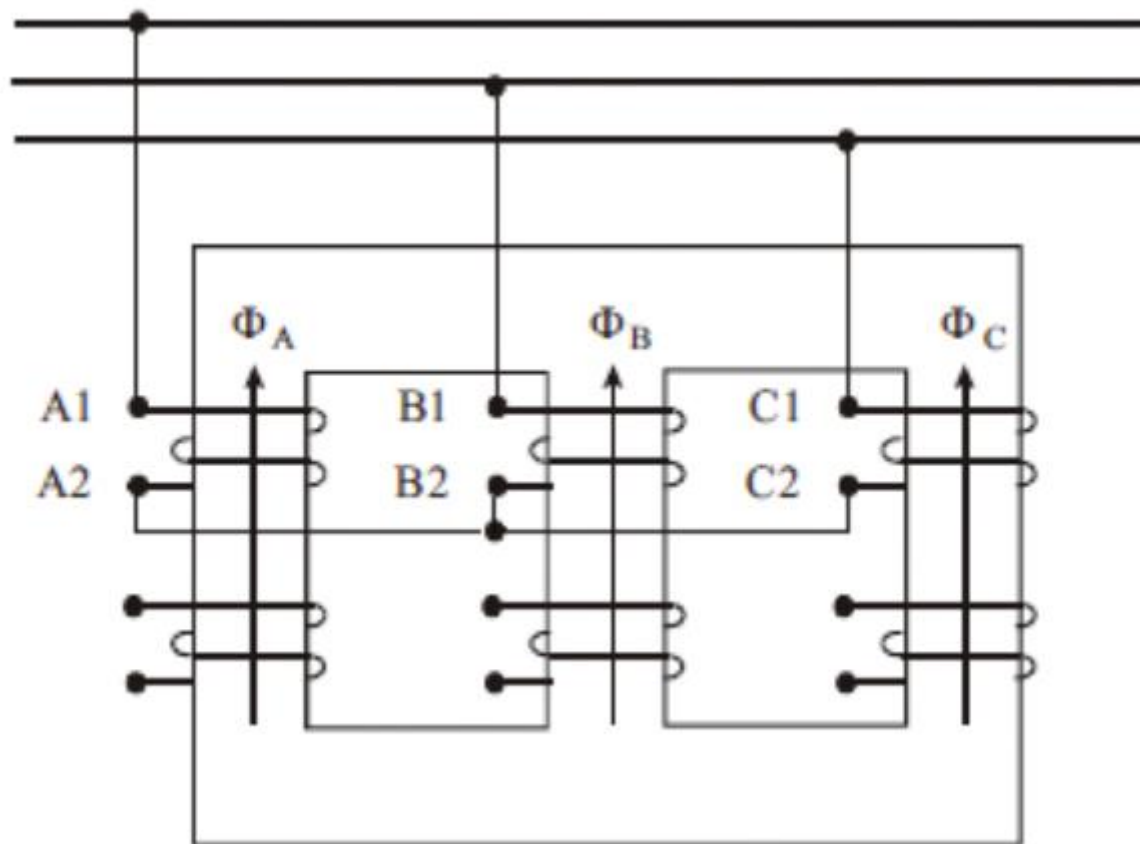
ترانسفورماتور سه فاز روی یک هسته مغناطیسی مشترک (یکپارچه)



ترانسفورماتور سه فاز روی یک هسته مغناطیسی مشترک (یکپارچه)



اتصالات سیم‌پیچی ها روی ستون های یک ترانسفورماتور سه فاز



ترانسفورماتورهای سه فاز هسته ای (Core-Type) سه ستونه

معایب

- مقاومت مغناطیسی مسیر شار فازهای مختلف یکسان نیست و به همین دلیل جریان مغناطیس کننده فاز b حدود ۳۰ تا ۴۰ درصد از جریان های مغناطیس کننده فازهای a و c کمتری باشند. البته این نامتعادلی در زمان بارگیری ترانس چندان مشهود نیست (جریان بی باری کمتر از ۱۰ درصد جریان اسمی)

- در شرایط نامتعادل که جمع شارهای سه فاز برابر صفر نمی باشد، شار برآیند مسیر خود را از طریق دیواره تانک ترانسفورماتور می بندد که به ایجاد تلفات اضافی و بنابراین افزایش حرارت و کاهش بازده ترانس منجر می شود.

هسته ای ۳ ستونه

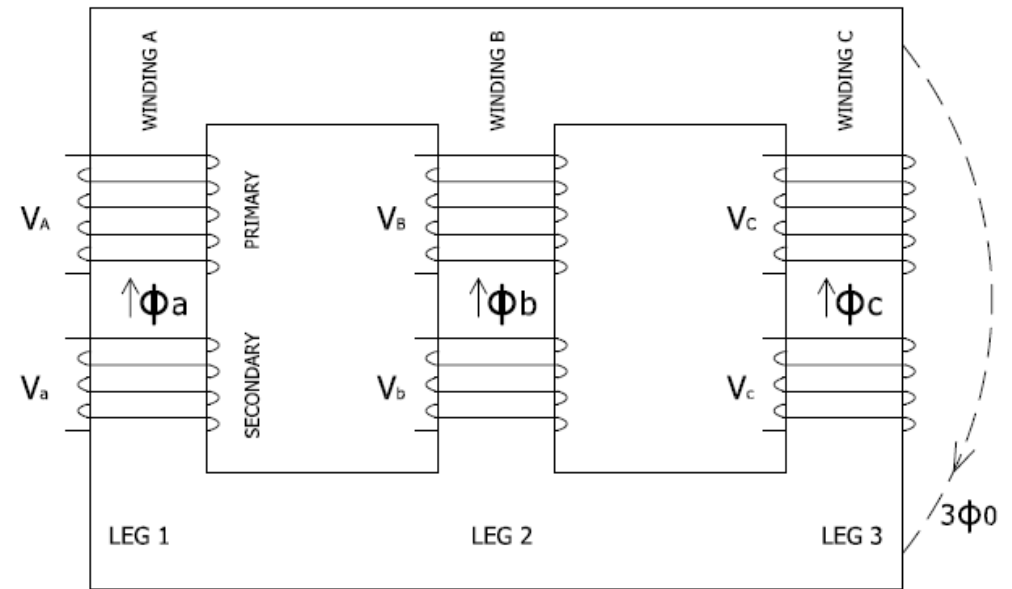


Fig. 1. Three-Leg Core Type Transformer

ترانسفورماتورهای سه فاز هسته ای (Core-Type) پنج ستونه

هسته ای ۵ ستونه

مشخصات

در این ساختار، ستون های اضافی طرفین دارای سطح مقطع کوچکتری نسبت به ستون های اصلی هستند. دو ستون اضافی باعث می شوند تا:

۱- عدم تعادل جریان های مغناطیسی فازها تا حدود زیادی مرتفع شود.

۲- در شرایط نامتعادل، شار برآیند مسیر خود را از طریق دو ستون مجاور می بندد.

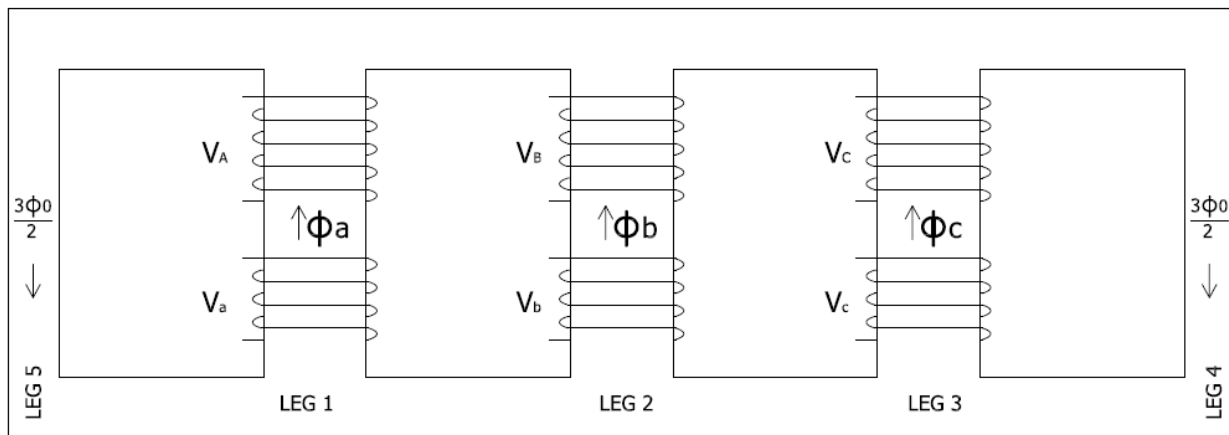
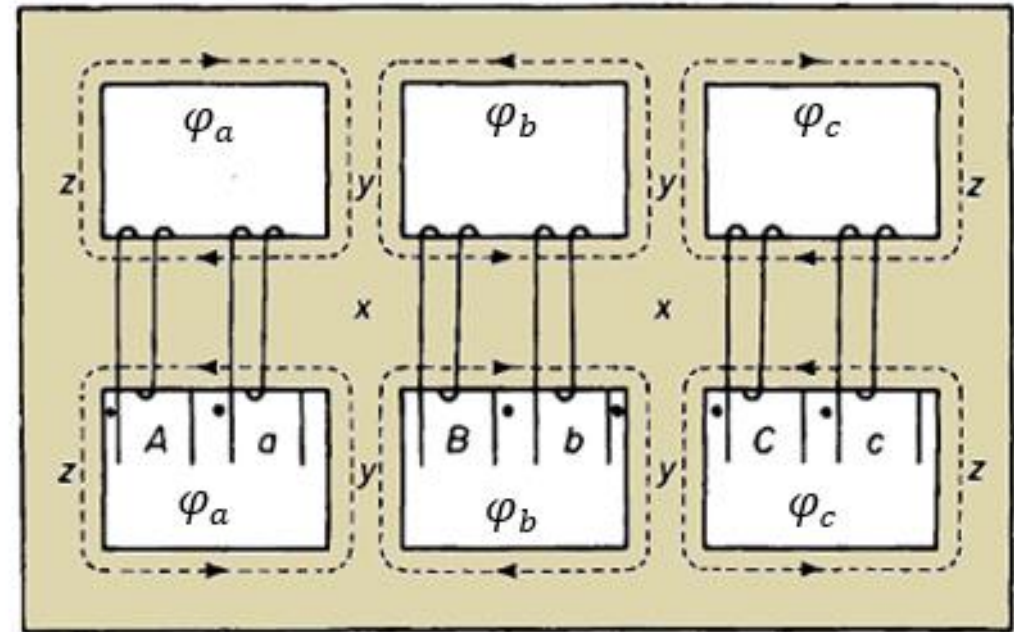


Fig. 3. Five-Leg Core Type Transformer

ترانسفورماتورهای سه فاز هسته ای (Core-Type) و زرهی (Shell-Type)

- در این ساختار نیز شارهای سه فاز از یکدیگر مستقل هستند و بنابراین، نامتعادلی جریان های بی باری سه فاز مرتفع می شود.
- در این ساختار، شار عبوری از ستون های وسطی ۲ برابر شار عبوری از یوغ ها و ستون های جانبی است، بنابراین، سطح مقطع ستون های وسطی باید ۲ برابر سطح مقطع ستون های جانبی و یوغ ها باشد.



انواع ترانسفورماتورهای سه فاز از نظر خنک سازی و نوع عایق کاری

ترانسفورماتورهای خشک یا Cast resin transformer

در این نوع ترانس، سیم پیچ‌ها در ماده عایقی مایع غوطه ور نمی‌باشند، بلکه از مواد جامد جهت این امر استفاده می‌شود. از این نوع ترانس ها در بدترین شرایط محیطی استفاده می‌شود، لذا ایمن‌ترین و قابل اطمینان‌ترین نوع ترانس توزیع می‌باشد.

ایده ساخت ترانس فاقد روغن در اواسط دهه ۹۰ مطرح شد. بررسی، طراحی و ساخت این ترانس از سال ۱۹۹۶ در شرکت ABB شروع شد. در این ترانس به جای استفاده از هادیهای مسی با عایق کاغذ از کابل پلیمری خشک با هادی استوانه ای استفاده می‌شود. در یک ترانس خشک، استفاده از تکنولوژی کابل، امکانات تازه‌ای برای بهینه کردن طراحی میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی، نیروهای مکانیکی و تنش‌های حرارتی فراهم کرده است.

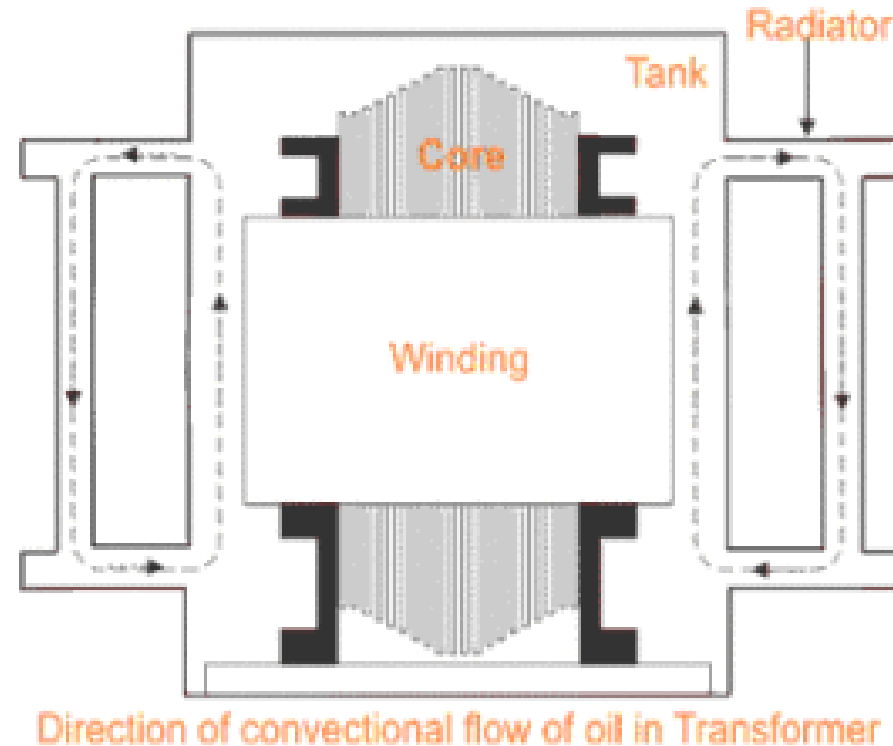
ترانسفورماتورهای خشک



انواع ترانسفورماتورهای سه فاز از نظر خنک سازی و نوع عایق کاری

ترانسفورماتورهای روغنی

- در این ترانس ها، روغن علاوه بر نقش عایقی، نقش خنک کنندگی هم دارد.



انواع ترانسفورماتورهای سه فاز از نظر خنک سازی و نوع عایق کاری

ترانسفورماتورهای روغنی

- ONAN: در این سیستم، هوا به طور طبیعی با سطح خارجی رادیاتورها در تماس است و رادیاتورها به طور طبیعی با هوا خنک می شوند. همچنین گردش روغن در ترانسفورماتور نیز به طور طبیعی صورت می گیرد؛ یعنی روغن گرم بالا می رود و روغن سرد، جای آن را می گیرد. این نوع سیستم خنک کنندگی مختص ترانسفورماتورهای با قدرت کم است؛ زیرا با افزایش قدرت ترانسفورماتور، حرارت سیم پیچ ها زیاد می شود و روغن باید با سرعت بیشتری در تماس با هوای بیرون قرار گیرد و عمل خنک کنندگی با سرعت بیشتری انجام شود. از این نوع سیستم برای ترانسفورماتورهای قدرت تا ۳۰ مگاوات آمپر استفاده می شود.

انواع ترانسفورماتورهای سه فاز از نظر خنک سازی و نوع عایق کاری

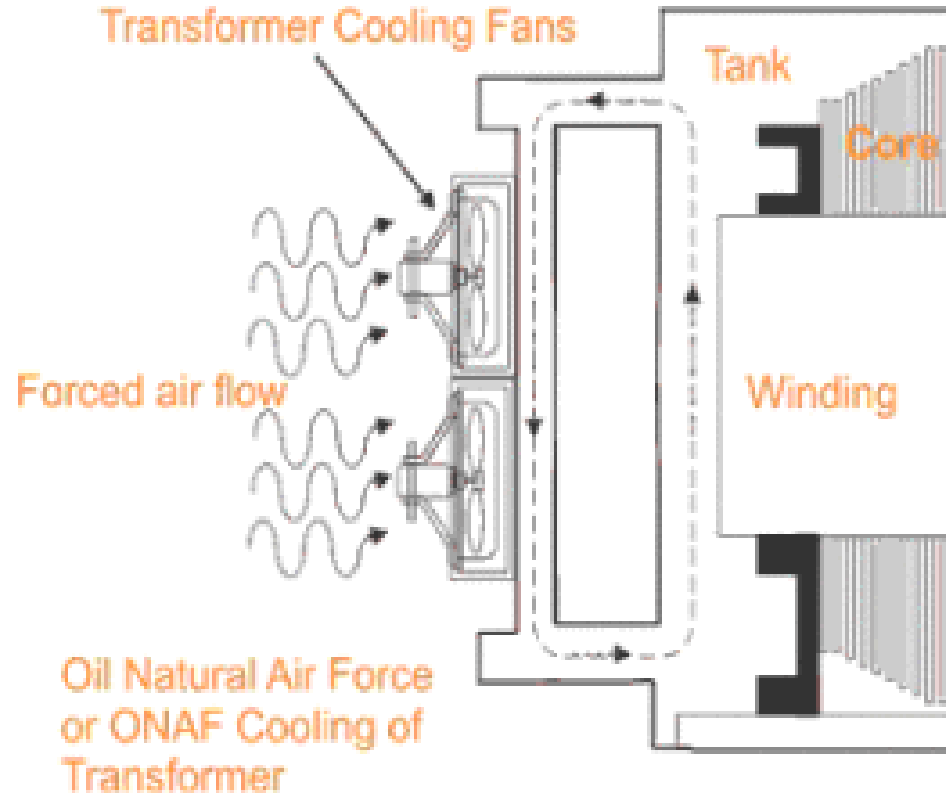
ترانسفورماتورهای روغنی

- **ONAF:** در این سیستم، گردش روغن در داخل ترانس به طور طبیعی صورت می گیرد؛ ولی فن های نصب شده روی بدنه رادیاتورها، سرعت تماس هوای خارج با بدنه رادیاتور را افزایش می دهد. لذا روغن سریعتر خنک می شود و طبعاً می توان توان ترانس را بالا برد. دمیدن هوا توسط فن ها می تواند به طور مداوم یا با فاصله تناوبی انجام شود؛ بدین صورت که عملکرد فن می تواند تابعی از درجه حرارت روغن داخل ترانس باشد و هنگامی که دمای روغن از حد معینی افزایش یافت، فن ها به طور خودکار وارد مدار می شوند. البته هنگامی که درجه حرارت محیط خیلی بالا باشد، ترانس می تواند بدون سیستم فن و با خنک شدن طبیعی، تقریباً تا دو سوم توان نامی خود کار کند و در صورتی که بخواهیم با توان نامی کار کند، باید فن ها شروع به کار کنند. این نوع سیستم خنک کنندگی به طور وسیعی در ترانس های قدرت با توان بین ۳۰ تا ۶۰ مگا ولت آمپر مورد استفاده قرار می گیرد.

انواع ترانسفورماتورهای سه فاز از نظر خنک سازی و نوع عایق کاری

ترانسفورماتورهای روغنی

ONAF •



انواع ترانسفورماتورهای سه فاز از نظر خنک سازی و نوع عایق کاری

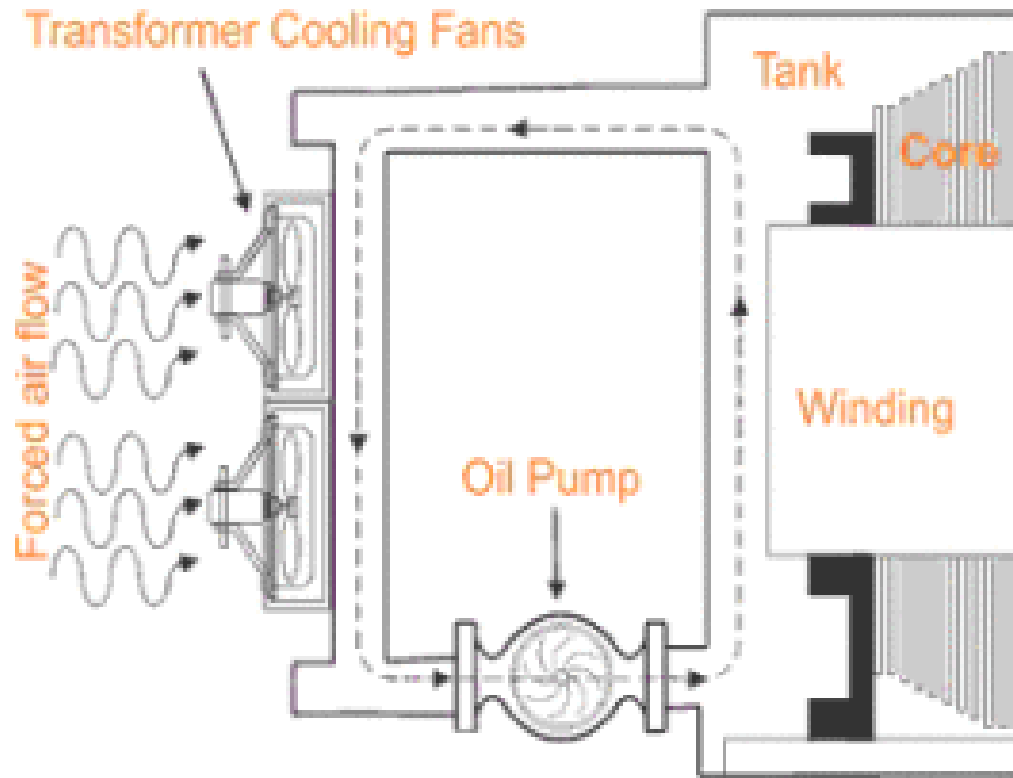
ترانسفورماتورهای روغنی

- **OFAF:** در این سیستم، گردش روغن در داخل ترانس به کمک پمپ، سرعت داده می شود تا انتقال حرارت با سرعت بیشتری انجام گیرد. فن های هوا نیز بدنه رادیاتورها را در تماس بیشتری با هوا قرار می دهند تا روغن را سریعتر خنک کنند. در این سیستم با توجه به سرعت بسیار بالای خنک کنندگی سیم پیچی ها، می توان قدرت نامی ترانسفورماتور را به مقدار قابل توجهی افزایش داد. لازم به ذکر است که عموماً از این نوع سیستم خنک کنندگی در ترانس های با توان بیش از ۶۰ مگاوات آمپر استفاده می شود.

انواع ترانسفورماتورهای سه فاز از نظر خنک سازی و نوع عایق کاری

ترانسفورماتورهای روغنی

OFAF •



Oil Forced Air Forced or OFAF Cooling of Transformer

انواع ترانسفورماتورهای سه فاز از نظر خنک سازی و نوع عایق کاری

ترانسفورماتورهای روغنی

- **OFWF:** در این سیستم ، ابتدا روغن توسط پمپ از بالای ترانس وارد رادیاتور می شود تا پس از عبور از آن، از پایین رادیاتور وارد ترانس گردد. در رادیاتور، آب خنک کنندگی هم در توسط پمپ در خلاف مسیر روغن در رادیاتور عبور می کند که باعث کاهش دمای روغن می شود. از این نوع سیستم در ترانس های با توان بیش از ۶۰ مگاوات آمپر مورد استفاده قرار می گیرد.

انواع ترانسفورماتورهای سه فاز از نظر خنک سازی و نوع عایق کاری

ترانسفورماتورهای روغنی

• ODWF (سیستم روغن اجباری در سیم پیچی و هسته – آب اجباری):

در ترانسفورماتورهای با قدرت های بسیار بالا، به منظور کاهش هرچه بیشتر دمای سیم پیچ ها و هسته باید روغن را توسط پمپ، با فشار و جهت مناسب از قسمت تحتانی تانک ترانسفورماتور به داخل سیم پیچ ها و هسته هدایت نمود. همچنین مشابه روش قبل، با استفاده از رادیاتور و چرخش روغن در داخل آن و به واسطه تماس غیر مستقیم با آب خنک کنندگی، دمای روغن به مقدار مورد نظر کاهش می یابد.