جزوه

ترانسفورماتور

PowerEn.ir

POWEREN.IR

فهرست

مقدمه	۱	اتصال اسکات	۳۲
ترانسفورماتور	۲	اتصال لبلان	۳۳
ترانسفورماتور تک فاز	۳	استاندارد علامتگذاری سرهای سیم پیچ	۳۳
ساختمان هسته ترانس تک فاز	۳	اتصالات مختلف سه فازه و علامت شناسائی	۳۴
ترانسفورماتور تک فاز ایده‌ال	۷	ترانسفورماتور با تنظیم یکنواخت ولتاژ	۳۷
مدل ترانسفورماتور تک فاز واقعی	۹	منبع ولتاژ شش فازه	۳۸
تعیین پارامترهای مدار معادل ترانس تک فاز	۱۳	مطالعه مدار معادل ترانسفورماتور سه فازه	۳۸
آزمایش اتصال کوتاه	۱۴	کمیات اسمی ترانسفورماتور	۴۱
آزمایش بی باری	۱۵	ترانسفورماتور سه اداره و چند اداره	۴۳
اتصال ترانس تک فاز	۱۵	راندمان	۴۴
ترانسفورماتورهای تک فاز سه سیم پیچه	۱۷	تاثیر تغییرات ولتاژ و فرکانس منبع تغذیه	۴۶
ترانسفورماتورهای سه فازه	۲۰	آزمایشهای ترانسفورماتور	۴۷
اتصال ستاره	۲۵	آزمایش بی باری	۴۷
اتصال مثلث	۲۶	آزمایش اتصال کوتاه	۴۸
اتصال ستاره ستاره	۲۷	اتوترانسفورماتور	۴۹
اتصال مثلث-مثلث	۲۸	ترانسفورماتور اندازه‌گیری	۵۰
اتصال مثلث ستاره	۲۹	ترانسفورماتور برای فرکانس زیاد	۵۱
اتصال ستاره مثلث	۳۰	ترانسفورماتور آزمایش	۵۲
اتصال ستاره زیگزاگ	۳۰	مدار مغناطیسی	۵۴
اتصال مثلث زیگزاگ	۳۱	عایق باورنی	۵۸
اتصال مثلث باز	۳۱	عایق باکالیت	۵۸

بررسی عایق ورقه ها ۵۸

شکل مدارهای مغناطیسی ۵۹

نحوه چیدن و تماس ورقه ها ۶۰

ساختمان سیم پیچی ها ۶۶

تکنولوژی عایق بندی ۶۹

اجرای عمل سیم پیچی ۷۱

سیم پیچی بشکه ای ۷۲

سیم پیچی بوبینی ۷۲

سیم پیچی با هادیهای چهارگوش ۷۳

سیم پیچی تناوبی ۷۳

ساخت بوبین ها ۷۵

سوار کردن سیم پیچ ها ۷۶

محاسبه سیم پیچ ها ۷۷

محاسبه ابعاد ۷۷

محاسبه تلفات ۷۸

تلفات مزاحم در سیم پیچی ۷۸

تلفات حاصل از جریانهای گردشی ۷۹

تلفات مزاحم در قسمتهای فلزی سیم پیچ ها ۷۹

ضریب بهره (راندمان) ۸۰

عایق بندی ۸۱

مطالعه عایق ها ۸۲

آزمایشات دی الکتریک ۸۳

عایق بندی در محل انشعاب ها ۸۴

اتصالات ۸۴

خنک شدگی و گرم شدگی در ترانسفورماتور ۸۶

خلاصه ترانسفورماتور ۸۷

مقدمه:

امروزه اکثر سیستمهای قدرت به صورت Ac مورد بهره برداری قرار می گیرند. بطور کلی هر سیستم قدرت Ac از سه قسمت اصلی زیر تشکیل شده اند:

الف: سیستم های تولید (نیروگاهها)

ب: سیستم انتقال انرژی شامل خطوط انتقال انرژی.

ج: سیستم های توزیع انرژی الکتریکی شامل خطوط و تغذیه کننده های توزیع انرژی.

در نیروگاها ژنراتورهای سه فاز Ac وظیفه تامین و تولید انرژی الکتریکی را به عهده دارند و اصولاً ژنراتورها مبدلهای انرژی مکانیکی به الکتریکی هستند. در نیروگاهها انرژی مکانیکی توسط محرکهای اولیه از قبیل، توربین بخار، توربین گاز، توربین آبی و موتور دیزل می گردد. امروزه ژنراتورهای مدرن قادر به تولید ولتاژی بیش از ۳۳ کیلو ولت نمی باشند (ولتاژ خط - خط در سیستم سه فاز)، لذا اگر بخواهیم توان بسیار زیادی در حدود چندین صد یا چند بن هزار مگاوات را از نیروگاهها به مراکز بار منتقل سازیم، با مساله جریان بسیار زیاد و در نتیجه با تلفات و افت ولتاژ روبرو هستیم. برای جبران این مسأله از دستگاهی به نام ترانسفورماتور سه فاز Ac استفاده می کنیم و ولتاژ پایانه های ژنراتور را به ولتاژهای فشارقوی، فوق فشارقوی و مافوق فشارقوی مبدل می سازیم. آنگاه انرژی بسیار زیاد را تحت ولتاژ بسیار بالا توسط خطوط انتقال به مراکز بار می رسانیم. باید دانست که اینگونه ترانسفورماتورها به ترانسفورماتورهای افزاینده معروفند. در حوالی مراکز بار دوباره با استفاده از ترانسفورماتورهای سه فاز Ac از نوع کاهنده ولتاژ را کاهش می دهیم تا انرژی تحت ولتاژ مناسب در دسترس مصرف کنندگان توسط سیستم توزیع انرژی الکتریکی قرار گیرد. در مراکز بار سیستم های توزیع معمولاً مشترکین زیر را با برق Ac تغذیه می کنند.

۱- مشترکین مناطق تجاری مانند مغازه ها، بازارها، ادارات، شرکتها و...

POWEREN.IR
PowerEn.ir

۲- مشترکین مناطق مسکونی مانند خانه‌ها، شهرک‌ها و ...

۳- مشترکین مناطق صنعتی مانند کارخانجات، کارگاهها و ... (اصول ماشینهای الکتریکی با کاربردهائی از الکترونیک قدرت، دکتر محمد إل هاواری، ص ۱۱)

ترانسفورماتور:

یکی از دستگاههای با ارزش در سیستم‌های الکتریکی ترانسفورماتور است، زیرا ما را قادر می‌سازد که در نقاط مختلف سیستم به سطوح ولتاژ متفاوت و اقتصادی دست یابیم. تولید توان توسط ژنراتورهای سنکرون در نیروگاهها تحت ولتاژ نسبتاً کمی حاصل می‌شود (حداکثر ۳۲ کیلوولت). لذا برای انتقال انرژی بسیار زیاد از نیرگاهها به مراکز بار با جریان شدیدی روبرو هستیم و تلفات خطوط انتقال بسیار زیاد خواهد بود. از این رو ولتاژ ژنراتورهای سنکرون توسط ترانسفورماتورهای افزاینده به ولتاژهای فشارقوی، خوق فشارقوی و مافوق فشارقوی تبدیل می‌شوند تا تلفات خطوط کاهش یابد و ظرفیت انتقال انرژی توسط خطوط نیز بالا رود. در انتهای خطوط در حوالی مراکز بار نیز ترانسفورماتورهای کاهنده نیز نصب می‌شوند تا ولتاژ را به ولتاژ در سطوح سیستم‌های توزیع تبدیل کنند. (اصول ماشینهای الکتریکی با کاربردهائی از الکترونیک قدرت، دکتر محمد إل هاواری، ص ۱۱۳)

امروزه انرژی الکتریکی در مقیاس وسیعی به صورت سیستم‌های سه فازه و در ولتاژ-های ۱۳/۲۸۲ و ۲۱/۸۲ و در قدرتهای ۱۵۰MVA و ۲۵۰MVA و ۴۰۰MVA انجام می‌شود و انتقال آن عموماً در ولتاژهای بالای ۱۱۰ و ۱۳۲ و ۲۷۵ و ۴۰۰ و ۵۷۰ و ۷۵۰ کیلوولت صورت می‌گیرد برای این منظور ترانسفورماتورهای سه فازه افزاینده مورد استفاده قرار می‌گیرند و آنگاه در مراکز مصرف و پستها ولتاژ انتقال یافته برای توزیع تا حدود ۶۶۰۰ و ۴۶۰۰ و ۲۳۰۰ ولت کاهش می‌دهند سپس جهت داشتن ولتاژهای شهری آنرا تا حدود

POWEREN.IR
PowerEn.ir

ولتاژ معمول ۱۱۰، ۲۲۰، ۳۸۰ و ۴۴۰ ولت پائین می آورند. (ترانسفورماتور یک فاز و سه فاز، دکتر علی مطلبی، ص ۱)

در سیستم های الکتریکی و مخابرات ترانسفورماتورهایی برای مقاصد گوناگون وجود دارد، اما در این پروژه بحث ما پیشتر درباره ترانسفورماتورهای قدرت است که در سیستم های انتقال و توزیع انرژی الکتریکی مورد استفاده قرار می گیرند.

معمولاً ترانسفورماتورهای قدرت بر دو نوع اند.

۱. ترانسفورماتورهای تک فاز

۲. ترانسفورماتورهای سه فاز

ترانسفورماتورهای تک فاز

در ترانسفورماتورهای تک فاز از یک هسته آهنی استفاده می شود که به خوبی شار را درون خود نگاه می دارد. به دور این هسته دو سیم پیچ پیچیده شده است و شار متغییر با زمان دور هسته، این دو سیم پیچ را دور می زند و در آنها ولتاژ القاء می کند. ترانسفورماتورهای سه فاز نیز از یک هسته آهنی تشکیل شده است و عمل القا در شش سیم پیچ انجام می گیرد (دو سیم پیچ برای هر فاز). (اصول ماشینهای الکتریکی با کاربردهای الکترونیک قدرت، ص ۱۱۴)

ساختمان هسته ترانسفورماتور تک فاز

اساساً، یک ترانسفورماتور دارای دو یا بیشتر سیم پیچی است که به وسیله یک میدان مغناطیسی متقابل در پیوند می باشند. اگر یکی از این سیم پیچی ها، اولیه، به یک منبع ولتاژ متناوب بسته شود، یک شار متناوب به سیم پیچی دیگر، ثانویه، می پیوندد و یک ولتاژ در آن القا می شود که مقدارش به تعداد دورهای ثانویه بستگی خواهد داشت. با گزینش نسبت درستی برای تعداد دورهای اولیه و ثانویه، تقریباً هر نسبت ولتاژ دلخواه، یا هر نسبت تبدیل، را می توان بدست آورد.

POWEREN.IR
PowerEn.ir

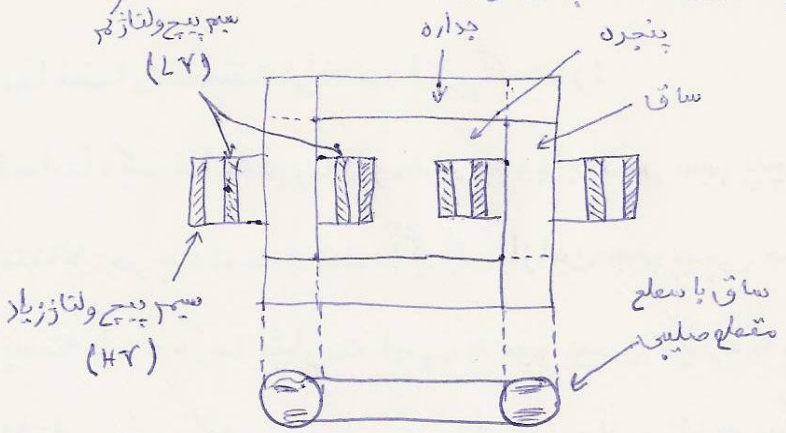
بدیهی است عمل ترانسفورماتور فقط وجود شار متقابل متناوبی را ایجاب می کند تا با دو سیم پیچ در پیوند یافد و این کاربرد ساده مفهوم اندوکتانس متقابل است. چنین عملی اگر یک هسته هوائی نیز کار رود بدست می آید، ولی با یک هسته آهنی یا سایر مواد فرومغناطیسی به مراتب موثرتر است، زیرا آنگاه بیشتر شار در یک مسیر معین که با هر دو سیم پیچ در پیوند بوده و دارای پرمابیلیته‌ای به مراتب بزرگتر از پرمابیلیته هوا است محصور می شود. اکثریت ترانسفورماتورها از این نوع هستند. بحثهای بعدی تقریباً به کلی به ترانسفورماتورهای هسته آهنی مربوط می گردد. بخاطر کاهش تلفات ناشی از جریانهای فوکو در هسته، مدار مغناطیسی معمولاً از انباشته‌ای از ورقه‌های نازک تشکیل می شود.

(تبدیل انرژی الکترومکانیکی، مهندس حسن گیوی، ص۳۵)

ساختمان هسته ترانسفورماتور بر دو نوع است که عبارتند از نوع هسته‌ای (پاستونی) و نوع پوششی (بازرهی)

نوع هسته‌ای:

در این نوع ترانسفورماتور طبق شکل ۱ هسته به شکل یک مستطیل است. عرض های مستطیل را ساق نامیده و سیم پیچ ها را دور آنها می پیچند. طولهای مستطیل جاره نام دارند و معمولاً سطح مقطع آن کمی بزرگتر از سطح مقطع ساقها انتخاب می گردد.



شکل ۱

به منظور محدود کردن تلفات فوکو، هسته از ورقه هائی به ضخامت ۰/۴ میلی متر یا کمتر تشکیل می گردد. معمولاً هر ورقه خود از چند قطعه تشکیل می گردد که در کنار یکدیگر قرار می گیرند.

PowerEn.ir

هنگام روی هم چیدن ورقه‌ها، این قطعات به نحوی قرار داده می‌شوند که محل تلاقی دو قطعه مربوط به یک ورقه، توسط قطعه‌ای که روی آنها قرار می‌گیرد پوشانده شود تا بدین وسیله از مقاومت مغناطیسی محل تلاقی کاسته گردد. از آنجا که شار هسته هنگام عبور از محل تلاقی دو ~~خط~~ قطعه، اجباراً از عایقی که سطح ورقه را می‌پوشاند عبور می‌کند، لذا این نقاط بصورت شکاف هوائی مجازی ظاهر گردیده و آمپر دوری علاوه بر آمپر دور آهن هسته لازم دارند.

ورقه‌های هسته به طرق مختلفی که بستگی به ابعاد هسته دارد، بهم فشرده و محکم نگاهداری می‌شوند. اگر پهنای همه ورقه‌ها یکسان باشد، سطح مقطع هسته را معمولاً مربع می‌سازند ولی با این ترتیب در هسته‌های بزرگ، آهن بیهوده می‌رود.

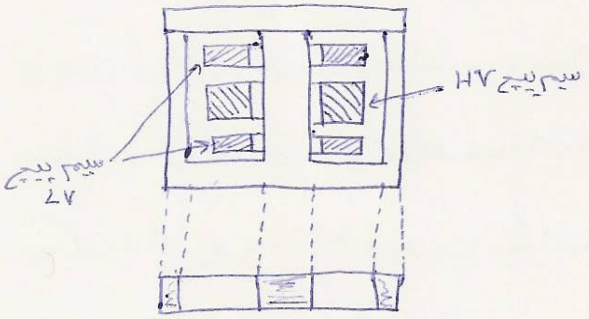
در هسته‌های بزرگ پهنای ورقه‌ها را در دو یا چند اندازه مختلف انتخاب می‌کنند بطوریکه سطح مقطع هسته به طرف یک دایره میل کند (سطح مقطع صلیبی)، و از فضای موجود در قطر داخلی سیم پیچ‌ها استفاده کامل به عمل آید. شکل 1 یک سطح مقطع صلیبی را نشان می‌دهد که ورقه‌های آن در دو پهنای مختلف ساخته شده‌اند. با تقسیم هر سیم پیچ به دو نیم و نصب هر نیمه روی یک ساق، طول متوسط حلقه‌های سیم پیچ و همراه با آن وزن مس به کار رفته کاهش می‌یابد. هم چنین با اینعمل ارتباط مغناطیسی بین دو نیمه سیم پیچ اولیه و ثانویه که روی یک ساق پر روی هم قرار گرفته‌اند افزایش یافته و پراکندگی را کاهش می‌دهد. از دو سیم پیچ اولیه و ثانویه، آنکه دارای ولتاژ کمتری است ابتدا روی هسته پیچیده می‌شود و سپس سیم پیچ ولتاژ بیشتر نصب می‌گردد. بدین وسیله برای سیم پیچ ولتاژ زیاد، ایزولاسیون کمتری جهت ایزوله شدن آن از هسته که دارای پتانسیل زمین است، بکار خواهد رفت.

نوع پوشش (زرهی):

در این نوع ترانسفورماتور طبق شکل 2 هسته دارای سه ساق می‌باشد و هر دو سیم پیچ

POWEREN.IR
PowerEn.ir

روی ساق وسط قرار می گیرند. مدار مغناطیسی دارای دو مسیر موازی می باشد و در نتیجه شار کل از ساق وسط عبور می کند به دو بخش تقسیم می گردد.



شکل ۲

کیفیت مغناطیسی صفحات فولادی مدرن بستگی به جهتی دارد که عمل نورد به روی آنها انجام می گیرد. این صفحات در یک امتداد مشخص دارای مقاومت مغناطیسی به مراتب کمتری می باشند. در هسته بعضی از ترانسفورماتورهای کوچک، از این نوع فولاد که به صورت نوارهای طویل تهیه شده است، استفاده می گردد. با پیچیدن این نوار به صورت مارپیچ، یک حلقه ایجاد می گردد و با قرار دادن دو حلقه در کنار یکدیگر، هسته ای به شکل ۲ ایجاد می گردد. برای نصب سیم پیچ ها به دور هسته، لازم است که پیچک ها حلقه به حلقه به دور ساق وسط پیچیده شوند. در بعضی ترانسفورماتورها و راکتورهای خیلی کوچک، ابتدا هسته به صورت مارپیچ پیچیده شده و سپس از وسط بریده می شوند. بعد از پیچیدن پیچک ها به دور ساقها، دوباره قطعات بریده شده به هم متصل می گردند. این فرم هسته را نوع C می نامند که بخاطر شکل ظاهری آنها بعد از بریده شدن است.

انتخاب ساختمان نوع هسته تا حد زیادی بستگی به تمایل و امکانات سازنده آن دارد. نوع هسته ای را می توان جهت تعمیر به سادگی از هم جدا کرد و نوع پوششی مقاومت بیشتری در مقابل نیروهای الکترواستاتیکی موجود بین پیچک های حامل جریان دارد، مقدار این نیروها هنگام اتصال کوتاه قابل توجه است. (ماشینهای الکتریکی و کاربرد آنها، دکتر کاوس قصبه ای، ص ۱۷۹)

PowerEn.ir

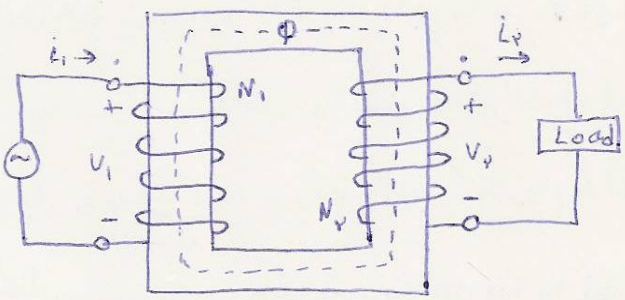
ترانسفورماتور تک فاز ایده ال :

قبل از بحث درباره ترانسفورماتورهای تک فاز واقعی، بهتر است قدری درباره ترانسفورماتورهای تک فاز ~~معمولی~~ ایده ال صحبت کنیم تا موضوع بهتر جا بیفتد. در ترانسفورماتورهای تک فاز معمولاً دو سیم پیچ بر روی هسته قرار دارد، اما ممکن است سه یا چند سیم پیچ نیز برای بدست آوردن ولتاژهای مختلف بر روی هسته پیچیده شوند. ما فعلاً بحث خود را با ترانسفورماتور تک فاز دو سیم پیچه آغاز می کنیم. شکل ۳ شمای یک ترانسفورماتور تک فاز را نشان می دهد که در آن یک سیم پیچ به نام سیم پیچ اولیه به منبع تغذیه متناوب (A_C) وصل می شود و سیم پیچ دیگر به نام سیم پیچ ثانویه بار (مصرف) را تغذیه می نماید. البته باید دانست که ترانسفورماتور یک وسیله برگشت پذیر است، یعنی می توان ثانویه را به منبع A_C وصل نمود و به اولیه بار را متصل کرد. حال طبق شکل ۳ فرض می کنیم که اولیه به منبع A_C وصل شود، در نتیجه شار A_C در هسته شکل می گیرد. این شار به عوامل زیر بستگی دارد:

۱- فرکانس منبع A_C ۲- ولتاژ منبع A_C ۳- تعداد دور سیم پیچ اولیه

شار حاصله در هسته، سیم پیچ ثانویه را دور زده و در آن ولتاژی القاء می کند که به تعداد دور سیم پیچ ثانویه بستگی دارد (قانون فاراده). اگر از مقاومت سیم پیچ اولیه صرفنظر گردد و ولتاژ V_1 به دوسر سیم پیچ اولیه ~~اتصال~~ اعمال شود، شار در هسته به نحوی شکل می گیرد که نیروی محرکه الکتریکی e_1 در سیم پیچ اولیه معادل ولتاژ اعمال شده پدید می آید. پس:

$$V_1 = e_1 = N_1 \frac{d\Phi}{dt}$$



شکل ۳

POWEREN.IR

PowerEn.ir

باید دانست که شار دور زننده اولیه و ثانویه یکسان است، لذا اگر از مقاومت سیم پیچ های اولیه و ثانویه نیز صرفنظر گردد، ولتاژ القاء شده در ثانویه با V_2 برابر است و داریم:

$V_2 = e_2 = N_2 \frac{d\Phi}{dt}$ ② واز روابط قبلی داریم ③ $\frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2}$

از آنجا ئیکه ترانسفورماتور را ایده ال گرفته ایم پس توان لحظه ای در هر دو سمت اولیه و ثانویه یکسان است (از تلفات صرفنظر شده است). پس ④ $V_1 i_1 = V_2 i_2$

واز روابط ③ و ④ داریم: $\frac{i_1}{i_2} = \frac{N_2}{N_1}$

می بینیم که در ترانسفورماتور ایده ال تک فاز نسبت جریانهای معادل معکوس نسبت ولتاژ هاست.

همچنین می توان گفت که نسبت ولتاژ مطلوب را می توان با تنظیم تعداد دور ها بدست آورد.

در اینجا یادآوری می کنیم که:

الف- اگر ولتاژ ثانویه (V_2) بیش از ولتاژ اولیه (V_1) باشد ترانسفورماتور را افزاینده می نامند.

ب- اگر ولتاژ ثانویه (V_2) کمتر از ولتاژ اولیه (V_1) باشد ترانسفورماتور را کاهنده گویند

گیریم شار متناوب (A_c) در هسته به قرار زیر باشد: ⑤ $\Phi(t) = \Phi_m \sin \omega t$

لذا طبق رابطه ① داریم: $e_1(t) = N_1 \Phi_m \omega \cos \omega t$ اما $\omega = 2\pi f$

f فرکانس منبع تغذیه A_c متصل به سیم پیچ اولیه است پس: $e_1(t) = 2\pi N_1 \Phi_m f \sin(\omega t + 90^\circ)$

لذا ولتاژ القاء شده در سیم پیچ اولیه به قرار زیر است. ⑥ $e_1(t) = \sqrt{2} E_1 \sin(\omega t + 90^\circ)$

E_1 مقدار موثر ولتاژ القاء شده در سیم پیچ اولیه است. بسولت داریم: $E_1 = \frac{2\pi}{\sqrt{2}} N_1 \Phi_m f$

یا $E_1 = 4{,}44 N_1 \Phi_m f$

نتیجه می گیریم که ولتاژ القاء شده به شار، تعداد دور سیم پیچ و فرکانس بستگی دارد. طبق روابط ⑤ و ⑥ می بینیم که E_1 به میزان ۹۰ درجه از شار جلو می افتد.

گیریم مانند شکل ۲ یک ترانسفورماتور کامل ایده ال (بدون تلفات) از طریق سیم پیچ ثانویه بار را تغذیه کند. پر واضح است که روابط ① و ③ در این مورد نیز صادق است.

نقطه گذاری توپر روی سیم پیچ ها پلاریته را نشان می دهد و آن بدان معنی است که اگر از

PowerEn.ir

نقطه‌ها شروع کنیم هر دو سیم پیچ در یک جهت به دور هسته پیچیده شده‌اند. لذا اگر ولتاژ دو سیم پیچ را مقایسه کنیم در می‌یابیم که ولتاژ بین پایانه‌های نقطه‌دار و بی نقطه در اولیه و ثانویه هم‌پلارتیه هستند. به عبارت دیگر V_1 و V_2 هم‌فاز می‌باشند. از روابط ③ و ⑤ می‌توان روابط سینوسی ماتا را اینچنین نوشت:

$$\frac{V_1}{I_1} = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 \frac{V_2}{I_2}$$

در شکل ۳ امپدانس بار به قرار زیر است:

$$\frac{V_2}{I_2} = Z_2 \quad ⑦$$

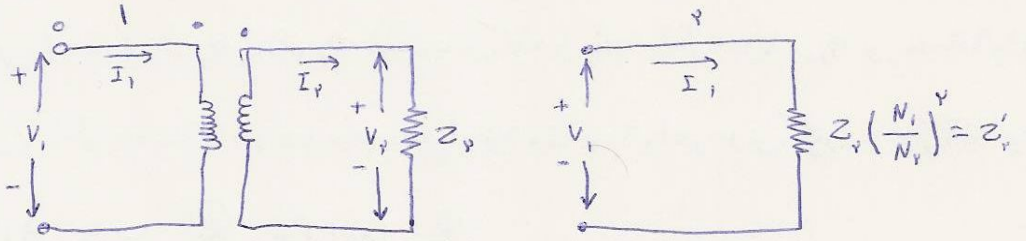
پس: ⑧

$$\frac{V_1}{I_1} = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 Z_2$$

نتیجه می‌گیریم که می‌توان بجای امپدانس Z_2 در ثانویه امپدانس دیگری بنام Z'_2 را در اولیه قرار داد و همان اثر امپدانس واقعی Z_2 در سیستم مخلوط گردد. Z'_2 به قرار زیر است: ⑨

$$Z'_2 = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 Z_2$$

نحوه این معادل سازی در شکل ۴ نشان داده شده است. باید دانست Z'_2 را امپدانس ارجاع شده به سمت اولیه یا پرده شده به سمت اولیه و یا امپدانس نسبت به سمت اولیه نیز می‌نامند.



شکل ۴ ۱- نحوه نمایش یک ترانسفورماتور تکفاز ایده‌ال که باری را تغذیه می‌کند

۲- ارجاع امپدانس بار به سمت اولیه

با توجه به رابطه ⑨ درمی‌یابیم که نسبت امپدانسها در دو سمت اولیه و ثانویه معادل مجذور نسبت تعداد دور هاست.

مدل ترانسفورماتور تک فاز واقعی:

مدل ریاضی ترانسفورماتور تک فاز ایده‌ال بسیار ساده است و طبق شکل ۴ این مدل فقط تبدیل ولتاژ، جریان و امپدانس را شامل می‌شود. در این بخش سعی می‌کنیم مدلهای واقعی‌تری برای ترانسفورماتورهای تک فاز ارائه شود و مدارهای معادل

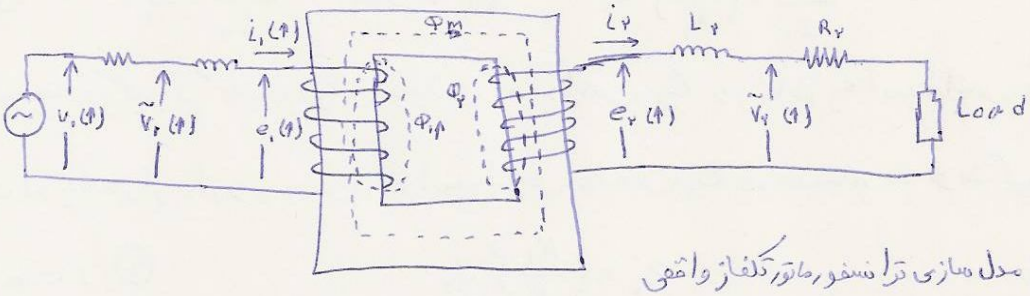
POWEREN.IR
PowerEn.ir

مربوطه تشریح گردد.

ترانسفورماتور تک‌فازی همچون شکل ۵ در نظر می‌گیریم. اولیه را به منبع ولتاژ $V_1(t)$ وصل کرده و جریان در سیم پیچ اولیه $i_1(t)$ می‌باشد. اگر مقاومت سیم پیچ اولیه R_1 در نظر گرفته شود، لذا ولتاژ خالص $V_1(t)$ در دو سر سیم پیچ اولیه ظاهر می‌شود، یعنی

$$V_1(t) = V_1(t) + R_1 i_1(t) \quad (10)$$

طبق قانون فاراده داریم: $V_1(t) = N_1 \frac{d\varphi_1}{dt}$ (11)



شکل ۵: مدل‌سازی ترانسفورماتور تکفاز واقعی

Φ_1 شاریست که سیم پیچ اولیه را در بر می‌گیرد. اگر هسته را ایده‌ال بگیریم مقاومت مغناطیسی (رلوکتانس) آن صفر بوده و تمامی Φ_1 در هسته باقی می‌ماند. اما در حالت غیر ایده‌ال (شرایط واقعی) بخشی از Φ_1 به نام Φ_2 نشت می‌کند و بقیه شار به نام Φ_m در هسته باقی می‌ماند و این همان شاریست که هر دو سیم پیچ اولیه و ثانویه را در بر می‌گیرد و در آنها ولتاژ القاء می‌کند

شکل ۵ پس (11) $\Phi_1 = \Phi_n + \Phi_m$

مدار مغناطیسی معادل ترانسفورماتور تکفاز واقعی در شکل ۶ نشان داده شده است. با توجه به روابط (10)، (9) و (11) داریم: (12) $V_1(t) = R_1 i_1(t) + N_1 \frac{d\varphi_n}{dt} + N_1 \frac{d\varphi_m}{dt}$

اندوکتانس نشتی سیم پیچ اولیه را اینچنین تعریف می‌کنیم: (13) $L_1 \frac{di_1}{dt} = N_1 \frac{d\varphi_n}{dt}$

ولتاژ القاشده در اولیه را اینچنین تعریف می‌کنیم: (14) $e_1 = N_1 \frac{d\varphi_m}{dt}$

لذا طبق قانون کیرشف رابطه ۱۲ اینچنین می‌شود: (15) $V_1(t) = R_1 i_1(t) + L_1 \frac{di_1}{dt} + e_1(t)$

حال به مدار مغناطیسی معادل در شکل ۶ توجه می‌کنیم. واضح است که شار Φ_m در اثر اختلاف MMF اولیه و MMF ثانویه پدیدار می‌شود. یعنی: $\Phi_m R_m = N_1 i_1 - N_2 i_2$

PowerEn.ir

مدار مغناطیسی معادل ترانسفورماتور تک فاز واقعی در شکل ۷ نشان داده شده است.

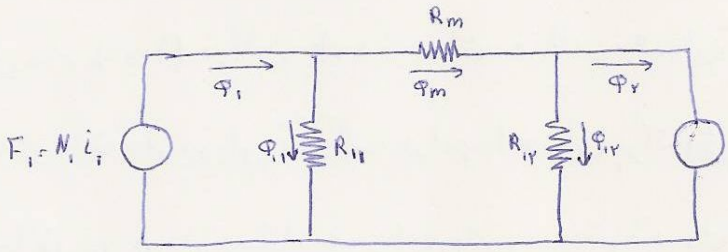
با توجه به روابط (۱۵)، (۱۱) و (۱۲) داریم: (۱۶) $$v_1(t) = R_1 i_1(t) + N_1 \frac{d\varphi_1}{dt} + N_1 \frac{d\varphi_m}{dt}$$

اندوکتانس نشتی سیم پیچ اولیه را اینچنین تعریف می کنیم: (۱۷) $$L_1 \frac{di_1}{dt} = N_1 \frac{d\varphi_n}{dt}$$

ولتاژ القا شده در اولیه را اینچنین تعریف می کنیم: (۱۸) $$e_1 = N_1 \frac{d\varphi_m}{dt}$$

لذا طبق قانون کیرشف رابطه (۱۶) اینچنین می شود: (۱۹) $$v_1(t) = R_1 i_1(t) + L_1 \frac{di_1}{dt} + e_1(t)$$

حال به مدار مغناطیسی معادل در شکل ۷ توجه می کنیم. واضح است که شار φ_m در اثر اختلاف mmf اولیه و mmf ثانویه پدید می شود یعنی: (۲۰) $$\varphi_m R_m = N_1 i_1 - N_2 i_2$$

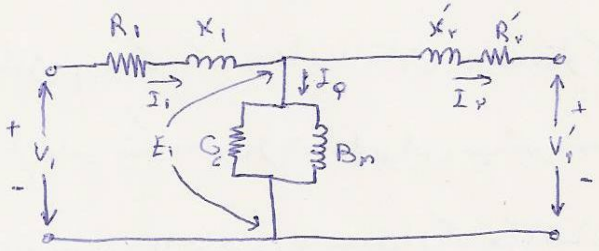


شکل ۷

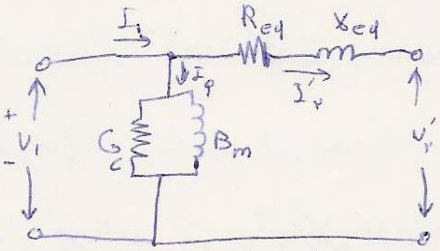
به طور کلی چهار مدل برای ترانسفورماتور تک فاز واقعی نسبت به سمت اولیه وجود دارد.

۱- مدل دقیق یا مدل T (شکل ۸) ۲- مدل های تقریبی L (شکل های ۹ و ۱۰)

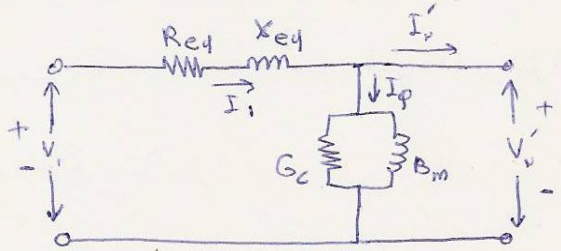
۳- مدل ساده (شکل ۱۱) و ۴- مدل بسیار ساده (شکل ۱۲)



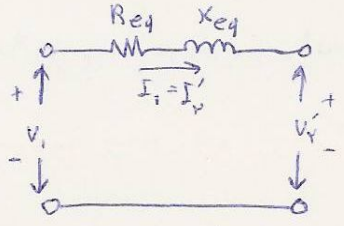
شکل ۸



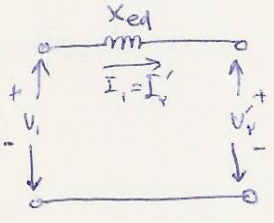
شکل ۹



شکل ۱۰



شکل ۱۱



شکل ۱۲

POWEREN.IR

(اصول ماشینهای الکتریکی با کاربردهائی از الکترونیک قدرت، دکتر محمد ارهاوری، ص ۱۱۶)

PowerEn.ir

مدارهای معادل تقریبی که معمولاً برای ترانسفورماتور قدرت فرکانس ثابت بکار می رود برای مقایسه در شکل های (۹، ۱۰، ۱۱، ۱۲) گردآوری شده اند. تمام کمیات در این مدارها به اولیه یا ثانویه ارجاع شده، و ترانسفورماتور ایده آل نشان داده نشده است.

اغلب می توان با انتقال شاخه شنت نمایده جریان تحریک از وسط مدار T به سرهای اولیه یا ثانویه محاسبات را بطور محسوسی کاهش داد مانند شکل های (۹ و ۱۰). آنگاه شاخه سری ترکیب مقاومتها و راکتانسهای پراکندگی رجوع شده به یک طرف خواهد بود. این امپدانس گاهی با امپدانس معادل و اجزایش به مقاومت معادل R_{eq} و راکتانس معادل X_{eq} نامیده می شوند و در شکل های (۹ و ۱۰) نشان داده شده اند. خطای به میان آمده بعبارتست از نادیده گرفتن افت ولتاژ ناشی از جریان تحریک در امپدانسهای پراکندگی اولیه و ثانویه، ولی این خطا در بیشتر مسائل در بردارنده ترانسفورماتورهای سیستم قدرت ناچیز است.

ساده سازی بیشتر از به کلی نادیده گرفتن جریان تحریک نتیجه می شود، مانند شکل ۱۱ که در آن ترانسفورماتور به صورت یک امپدانس سری معادل نمایش داده شده است. اگر ترانسفورماتور بزرگ باشد (چند صد kVA یا بیشتر)، مقاومت معادل R_{eq} در مقایسه با راکتانس معادل X_{eq} کوچک و غالباً قابل صرفنظر کردن است، و آنگاه شکل ۱۲ بدست می آید.

مدارهای شکل های (۱۱، ۱۲) برای بیشتر مسائل سیستم قدرت معمولی بقدر کافی دقیق می باشند. بالاخره در وضعیتهائی که در آنها ولتاژها و جریانها تقریباً به کلی بوسیله مدارهای بیرون از ترانسفورماتور تعیین می شوند یا هنگامیکه یک دقت به بالائی از دقت مورد نیاز نیست، ممکن است از تمام امپدانس ترانسفورماتور چشم پوشی و ترانسفورماتور را ایده آل در نظر گرفت. (تبدیل انرژی الکترومکانیکی مهندس حسن گیوی، ص ۵۱)

POWEREN.IR
PowerEn.ir

تعیین پارامترهای مدار معادل ترانسفورماتور تکفاز

در مدلهای ارائه شده در بخش ترانسفورماتور تکفاز واقعی به پارامترهای زیر برخورد نمودیم:

۱- مقاومت سیم پیچ اولیه یا R_1 ۲- مقاومت سیم پیچ ثانویه یا R_2 ۳- راکتانس نشتی سیم پیچ اولیه یا X_1 ۴- راکتانس نشتی سیم پیچ ثانویه یا X_2 ۵- کندوکتانس نماینگر تلفات هسته یا G_c ۶- سوسپتانس مربوط به مدل کردن مسیر جریان مغناطیسی شونده‌گی یا B_m در این بحث منطقی است که فرض کنیم نسبت دورها یا $\frac{N_1}{N_2}$ معلوم می‌باشد. در بسیاری از مواقع R_2' و R_2 با هم معادل و X_2' و X_2 با هم مساویند. باید متذکر شویم که: الف- R_2' مقاومت سیم پیچ ثانویه که به سمت اولیه برده شده است. ب- X_2' راکتانس نشتی سیم پیچ ثانویه که به طرف اولیه ارجاع شده است. علت این امر را می‌توان اینچنین جستجو کرد: $R_1=\frac{\rho L_1}{A_1}$ و $R_2=\frac{\rho L_2}{A_2}$ که: ۱- ρ مقاومت ویژه سیم پیچ‌های اولیه و ثانویه ۲- L_1 طول سیم پیچ اولیه ۳- A_1 سطح مقطع سیم پیچ اولیه ۴- L_2 طول سیم پیچ ثانویه ۵- A_2 سطح مقطع سیم پیچ ثانویه

از دو رابطه بالا داریم: $\frac{R_1}{R_2}=\frac{L_1 A_2}{L_2 A_1}$ گیریم طول سیم پیچ‌ها متناسب با تعداد دور آنها باشد. پس: $\frac{L_1}{L_2}=\frac{N_1}{N_2}$ سطح مقطع سیم پیچ‌ها متناسب با جریان سیم پیچ‌ها است. لذا:

$\frac{A_2}{A_1}=\frac{I_2}{I_1}=\frac{N_1}{N_2}$ از ترکیب دو رابطه بالا داریم: $R_1=R_2\left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2$ پس: $R_1=R_2'$

با توجه به دو رابطه داریم: $R_{eq}=2R_1=2R_2'$ ، $X_{eq}=2X_1=2X_2'$

با توجه به مطالب فوق الذکر باید فقط چهار پارامتر زیر را تعیین کنیم:

الف: R_{eq} ب: X_{eq} ج: B_m د: G_c

برای پیدا کردن چهار کمیت فوق از دو آزمایش که در زیر توضیح داده می‌شود استفاده می‌کنیم. ۱- آزمایش مدار باز (بی باری) ۲- آزمایش اتصال کوتاه (اصول ماشینهای الکتریکی با کاربردهائی از الکترونیک قدرت، دکتر محمد ال هاوری، ص ۱۴۲)

دو آزمایش بسیار ساده برای تعیین ثابت‌های مدارهای معادل شکل‌های (۹، ۱۰، ۱۱، ۱۲)

PowerEn.ir

و تلفات تا قدرت یک ترانسفورماتور بکار گرفته می شود. این آزمایشها عبارتند از

ولتاژ، جریان و قدرت ورودی به اولیه، یکبار با ثانویه اتصال کوتاه شده و بار دیگر با ثانویه

مدار باز.

آزمایش اتصال کوتاه:

با اتصال کوتاه ~~شدن~~ بودن ثانویه، یک ولتاژ اولیه به میزان فقط ۲ تا ۱۲ درصد مقدار نامی

لازم به امپال است تا جریان بار کامل بدست آید. برای راحتی، در این آزمایش معمولاً طرف

فشار قوی به عنوان اولیه در نظر گرفته می شود. اگر V_{sc}، I_{sc} و P_{sc} به ترتیب ولتاژ امپالی،

جریان اولیه و قدرت ورودی باشند، امپدانس اتصال کوتاه Z_{sc} و مولفه های مقاومت

($Z_{sc} = \frac{V_{sc}}{I_{sc}}$ (۲۱) $R_{sc} = \frac{P_{sc}}{I_{sc}^2}$ (۲۲) و $X_{cs} = \sqrt{Z_{sc}^2 - R_{sc}^2}$ (۲۳)) مدار معادل با سرهای ثانویه اتصال

کوتاه در شکل ۱۳ نشان داده شده اند. ولتاژ القائی در ثانویه بتوسط شار برایند هسته برابر است

ولتاژ در امپدانس پراکندگی ثانویه بوده، و در جریان نامی این ولتاژ فقط ۱ تا ۶ درصد ولتاژ

نامی می باشد. با کم بودن شار هسته، جریان تحریک و تلفات هسته بطور کلی قابل چشم

پوشی اند. سپس ادمیتانس تحریک را که بصورت خط چین در شکل ۱۳ نشان داده شده می توان

برداشت و آنگاه جریانهای اولیه و ثانویه هنگامیکه به یک طرف ارجاع شده اند بسیار نزدیکانه

برابر بوده، و ولتاژ امپالی با افت ولتاژ در ترکیب امپدانسهای پراکندگی اولیه و ثانویه Z_{eq}

برابر می باشند. مقاومت و راکتانس معادل ارجاعی به اولیه به ترتیب بسیار نزدیکانه با مقاومت

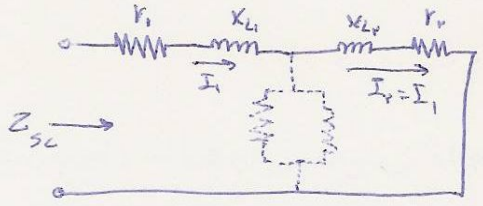
و راکتانس اتصال کوتاه معادلات (۲۲ و ۲۳) برابر خواهد بود. امپدانس معادل را البته می توان

به روش معمول از یک طرف به طرف دیگر ارجاع کرد. در واقع کمیابی که باید به مدار معادل ۲ شکل

بازگشت نمود، مقادیر تقریبی جداگانه مقاومتها و راکتانسهای پراکندگی اولیه و ثانویه را

می توان با فرض $r_1 = r_2 = \%0.5\, r_{eq}$ و $x_1 = x_2 = j0.5\, x_{eq}$ بدست آورد هرگاه تمام امپدانسها به یک سو

ارجاع شده باشند.



شکل ۱۳

POWEREN.IR
PowerEn.ir

آزمایش بی باری :

با باز شودن ثانویه و اعمال ولتاژ نامی بر اولیه ، یک جریان تحریک به میزان ۲ تا ۶ درصد جریان بار کامل بدست می آید . اگر ترانسفورماتور در غیر از ولتاژ نامی اش مورد استفاده قرار می گیرد ، آزمایش را باید در آن ولتاژ به انجام رساند . برای راحتی ، معمولاً در این آزمایش طرف فشار ضعیف به عنوان اولیه در نظر گرفته می شود . از افت ولتاژ در امپدانس پراکندگی اولیه ناشی از جریان کوچک تحریک بطور کلی چشم پوشی می شود ، و ولتاژ ~~القائی~~ اعمالی بر اولیه بسیار نزدیکانه با E_1 emf القائی بتوسط شار برایند هسته برابر می گردد . همچنین ، تلفات مس اولیه ناشی از جریان تحریک تماماً ناچیز است ، آنچنانکه قدرت ورودی P_1 بسیار نزدیکانه با تلفات هسته P_c برابر خواهد بود . (تبدیل انرژی الکترومکانیکی ، مهندس حسن گیوی ، ص ۵۵)

در اینحال جریان ، ولتاژ و توان را در مدار اولیه اندازه می گیریم و با I_{oc} ، V_{oc} و P_{oc} آنها را نشان می دهیم . اگر مدار معادل تقریبی شکل ۹ را مد نظر قرار دهیم و فرض کنیم که $I'_2 = 0$ باشد ، داریم :

(۲۴) $P_{oc} = V_{oc}^2 G_c$ (۲۵) $Y_{oc} = \frac{I_{oc}}{V_{oc}} = (G_c^2 + B_m^2)^{\frac{1}{2}}$ لذا با اندازه گیری جریان ، ولتاژ و توان توسط آمپرمتر ، ولتمتر و واتمتر به سهولت از دو رابطه اخیر B_m و G_c بدست می آیند . باید دانست که توان اندازه گیری شده توسط واتمتر (P_{oc}) تلفات هسته ترانسفورماتور را نیز نشان خواهد داد .

(اصول ماشینهای الکتریکی ، دکتر محمد إل هاواری ، ص ۱۴۵)

اتصال ترانسفورماتورهای تکفازه :

ترانسفورماتورهای تکفاز را می توان به طرق مختلف به یکدیگر متصل ساخت . گیریم دو ترانسفورماتور تک فاز A و B در دسترس باشد . در زیر انواع اتصالات مربوط این دو ترانسفورماتور را شرح داده و یادآور می شویم که هنگام اتصال دو ترانسفورماتور باید به پلاریته سیم پیچ های آن توجه خاص مبذول داشت .

اتصال سری - سری :

در این اتصال سیم پیچ های اولیه و ثانویه دو ترانسفورماتور A و B باهم سری می شوند

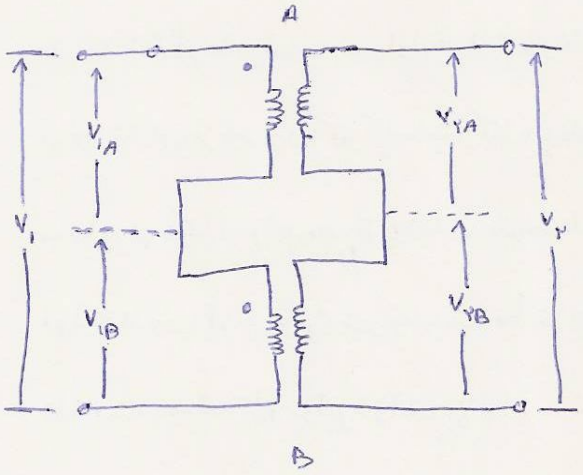
POWEREN.IR
PowerEn.ir

(شکل ۱۴) با توجه به شکل درمی یابیم که:

الف: جریان هردو سیم پیچ اولیه یکسان است. ب: جریان هردو سیم پیچ ثانویه با یکدیگر برابرند. ج:

$$V_1 = V_{1A} + V_{1B} \quad \rightarrow \quad V_2 = V_{2A} + V_{2B}$$

باید متذکر شد که جریان عبوری از هردو دست نباید از جریان اسمی هرکدام از سیم پیچ ها بیشتر گردد.



شکل ۱۴

اتصال سری - موازی یا موازی - سری:

باز در اینجا دو ترانسفورماتور تکفاز را در نظر می گیریم. شکل ۱۵ نشان دهنده اتصال سری - موازی و شکل ۱۶ نمایانگر اتصال موازی - سری آنهاست. باید گفت:

۱. در اتصال سری - موازی سیم پیچ های اولیه با هم سری شده ولی سیم پیچ های ثانویه با هم موازی می شوند.

۲. در اتصال موازی - سری سیم پیچ های اولیه با هم موازی گشته اما سیم پیچ های ثانویه با هم سری می شوند.

با توجه به شکل ۱۴ درمی یابیم که:

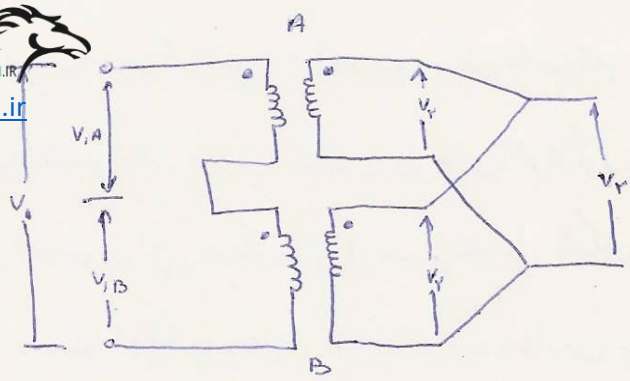
الف: هنگام سری کردن سیم پیچ ها اعم از اولیه یا ثانویه باید دقت های مخالف هم وصل می شوند.

ب: هنگام موازی کردن سیم پیچ ها اعم از اولیه یا ثانویه باید دقت های مشابه هم وصل می شوند.

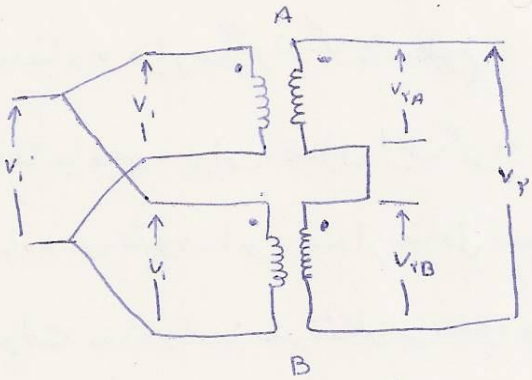
ج: سیم پیچ هائی که دارای ولتاژ اسمی مختلف هستند را می توان به یکدیگر بطور سری مربوط ساخت.

POWEREN.IR

PowerEn.ir



شکل ۱۵



شکل ۱۶

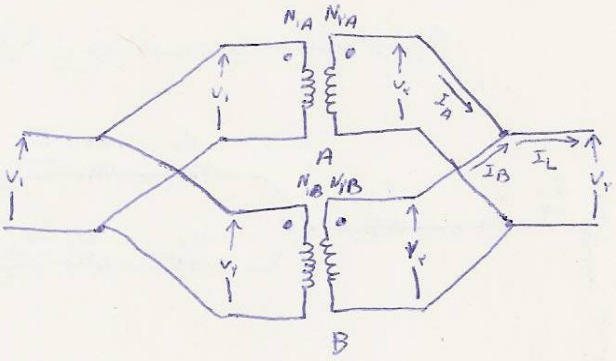
اتصال موازی:

شکل ۱۷ دو ترانسفورماتور تک فاز A و B را نشان می دهد که با هم بطور موازی بسته شده اند، با توجه به مدار معادل می توان چنین گفت:

الف: Z_A امپدانس ترانسفورماتور A نسبت به سمت ثانویه می باشد.

ب: Z_B امپدانس ترانسفورماتور B نسبت به سمت ثانویه است.

ج: Z_L امپدانس باری که است که هردو ترانسفورماتور مشترکاً تغذیه می کنند.



شکل ۱۷

ترانسفورماتورهای تک فاز سه سیم پیچه:

در این ترانسفورماتورها پرروی هسته سه سیم پیچ قرار دارند و شکل ۱۸ شمای این گونه ترانسفورماتورهای تکفاز را نشان می دهد. این سه سیم پیچ به نام های زیر معروفند:

۱- سیم پیچ اولیه که به منبع AC وصل می شود.

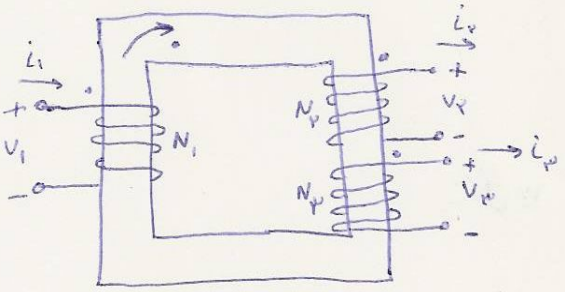
۲- سیم پیچ ثانویه که بار را تغذیه می کند (بار شماره ۱)

۳- سیم پیچ ثالثیه که نیز بار دیگری را تغذیه می نماید (بار شماره ۲)

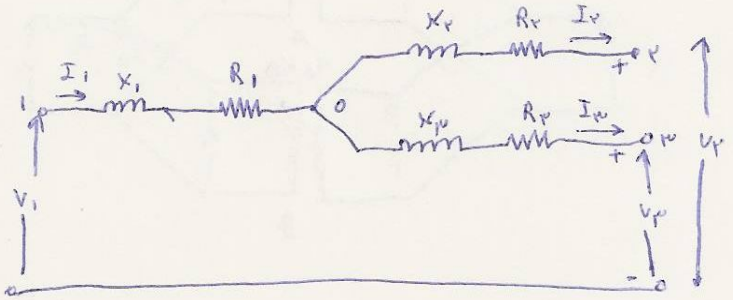
POWEREN.IR
PowerEn.ir

باید دانست که این ترانسفورماتورها موقعی مورد استفاده قرار می‌گیرند که به سطوح مختلف ولتاژ برای تغذیه بارهای گوناگون نیاز داشته باشیم. برای تحلیل این گونه ترانسفورماتورها تکفاز از مدار معادل شکل ۱۹ استفاده می‌شود. این مدار معادل نسبت به سمت اولیه بوده و از شاخه های موازی برای سهولت محاسبات صرفنظر می‌شود و این مدل از تقریب نسبتاً خوبی برخوردار است. در این گونه ترانسفورماتورها تعاریف زیر را در نظر می‌گیریم:

۱- R_1 مقاومت سیم پیچ اولیه ۲- R_2 مقاومت سیم پیچ ثانویه ارجاع شده نسبت به سمت اولیه ۳- R_3 مقاومت سیم پیچ ثالثیه برده شده به سمت اولیه ۴- X_1 راکتانس نشتی سیم پیچ اولیه ۵- X_2 راکتانس نشتی سیم پیچ ثانویه ارجاع شده به سمت اولیه ۶- X_3 راکتانس نشتی سیم پیچ ثالثیه برده شده به طرف اولیه ۷- Z_1 امپدانس سیم پیچ اولیه ۸- Z_2 امپدانس سیم پیچ ثانویه ارجاع شده به طرف اولیه ۹- Z_3 امپدانس سیم پیچ ثالثیه برده شده به سمت اولیه.



شکل ۱۸



شکل ۱۹

باید دانست که Z_1، Z_2 و Z_3 از روابط زیر بدست می‌آیند.

$$Z_1 = \frac{Z_{12} + Z_{13} - Z_{23}}{2} \quad (25)$$

$$Z_2 = \frac{Z_{12} + Z_{23} - Z_{13}}{2} \quad (26)$$

$$Z_3 = \frac{Z_{13} + Z_{23} - Z_{12}}{2} \quad (27)$$

باید متذکر شده که:

الف: Z_{12} امپدانسی است که از آزمایش اتصال کوتاه حاصل می‌شود. یعنی سیم پیچ ثانویه را اتصال کوتاه می‌نمائیم و به سیم پیچ اولیه ولتاژ اعمال می‌نمائیم تا از اولیه جریان اسمی

POWEREN.IR
PowerEn.ir

بگذرد (ثالثیه باز است) .

ب : I_{13} امپدانسی است که از آزمایش اتصال کوتاه بدست می آید . یعنی سیم پیچ ثالثیه را اتصال کوتاه می نمائیم و به سیم پیچ اولیه ولتاژ اعمال می نمائیم تا از اولیه جریان اسمی بگذرد (ثانویه باز است) .

ج : I_{23} امپدانسی است که از آزمایش اتصال کوتاه بدست می آید ، یعنی سیم پیچ ثالثیه را اتصال کوتاه می نمائیم و به سیم پیچ ثانویه ولتاژ اعمال می نمائیم تا از ثانویه جریان اسمی بگذرد . (اصول ماشینهای الکتریکی ، دکتر محمد ابراهیم هاوارس ، ص ۱۵۱)

POWEREN.IR
PowerEn.ir

ترانسفورماتورهای سه‌فازه

امروزه تولید انرژی الکتریکی در مقیاس وسیعی به صورت سیستم های سه فازه و در ولتاژهای ۱۳٫۲ kV و ۲۱ kV و در قدرتهای ۱۵۰ MVA و ۲۵۰ MVA و ۹۰۰ MVA انجام می شود و انتقال آن عموماً در ولتاژهای بالای ۱۱۰، ۱۳۲، ۲۷۵، ۴۰۰، ۵۷۰ و ۷۵۰ کیلو ولت صورت می گیرد و برای این منظور ترانسفورماتورهای سه فازه افزاینده مورد استفاده قرار می گیرند و آنگاه در مراکز مصرف و پستها ولتاژها انتقال یافته برای توزیع تا حدود ولتاژ ~~مصرف~~ ۶۶۰۰، ۴۶۰۰ و ۲۳۰۰ ولت کاهش می دهند سپس جهت داشتن ولتاژهای شهری آنرا تا حدود ولتاژ مصرف ۴۴۰، ۳۸۰، ۲۲۰ و ۱۱۰ ولت پائین می آورند.

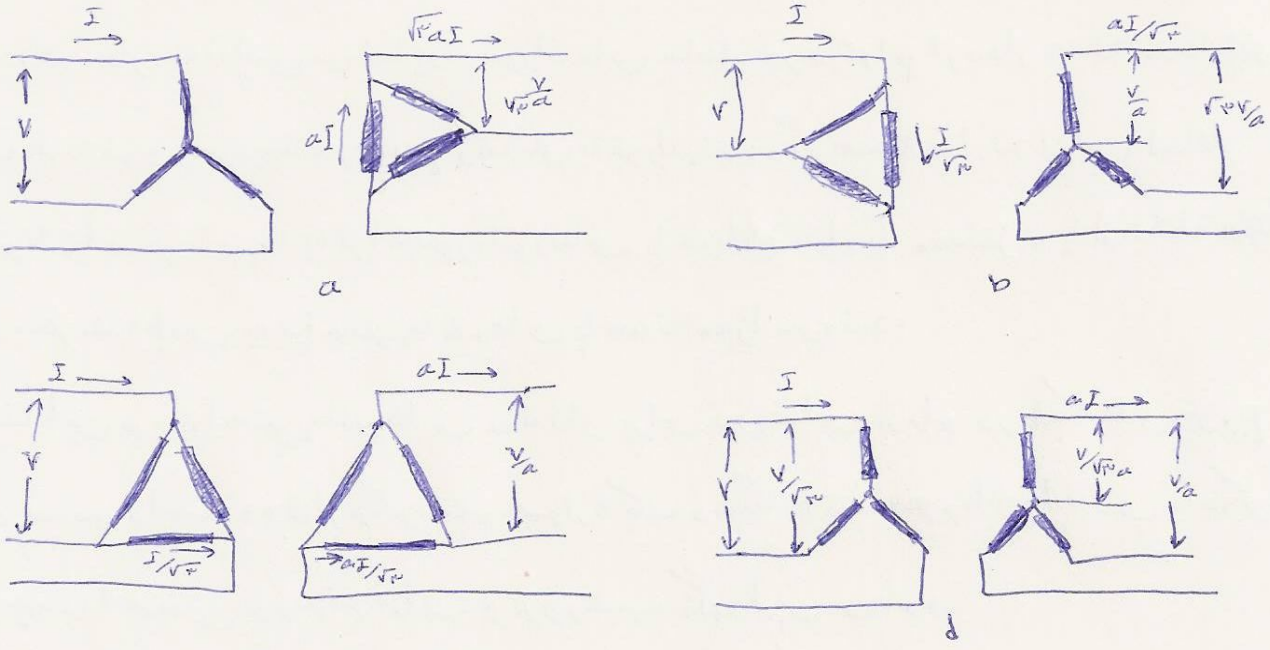
(ترانسفورماتور یک فاز و سه فازه جلد دوم، دکتر علی مطلبی، ص)

در یک سیستم سه فاز می توان به جای یک ترانسفورماتور سه فاز از سه ترانسفورماتور یک فاز استفاده کرد که اولیه و ثانویه آنها به دلخواه، اتصال مثلث یا ستاره بسته شده اند ولی ترانسفورماتورهائیکه مخصوص کار سه فاز ساخته می شوند، از لحاظ قیمت تمام شده خیلی ارزانتر از سه ترانسفورماتور یک فازی باشد. (ماشینهای الکتریکی و کاربرآنها، دکتر کاوس قصبه‌ای، ص ۱۸۴)

سه ترانسفورماتور یک فاز را می توان به هریک از چهار روش نشان داده شده در شکل ۲۰ به یکدیگر بست تا یک بانک سه فازه تشکیل گردد. در تمام چهار بخش این شکل، سیم پیچی های سمت چپ اولیه، و سمت راستیها ثانویه اند، و هر سیم پیچی اولیه و یک ترانسفورماتور لنگه سیم پیچی ثانویه ای است که با آن موازی کشیده شده است. همچنین آنچه که نشان داده شده عبارتند از ولتاژها و جریانهای ناشی از ولتاژهای اعمالی خط به خط متعادل اولیه ۲ و جریانهای خط ۱ برای هنگامی که نسبت دورهای اولیه به ثانویه $\frac{N_1}{N_2}$ برابر a بوده و ترانسفورماتورها ایده‌ال فرض شده‌اند. باید توجه داشت که، با زاء ثابت بودن ولتاژهای خط به خط و کل kVa، اندازه گذاری kVa هریک از ترانسفورماتورهای قطع نظر

PowerEn.ir

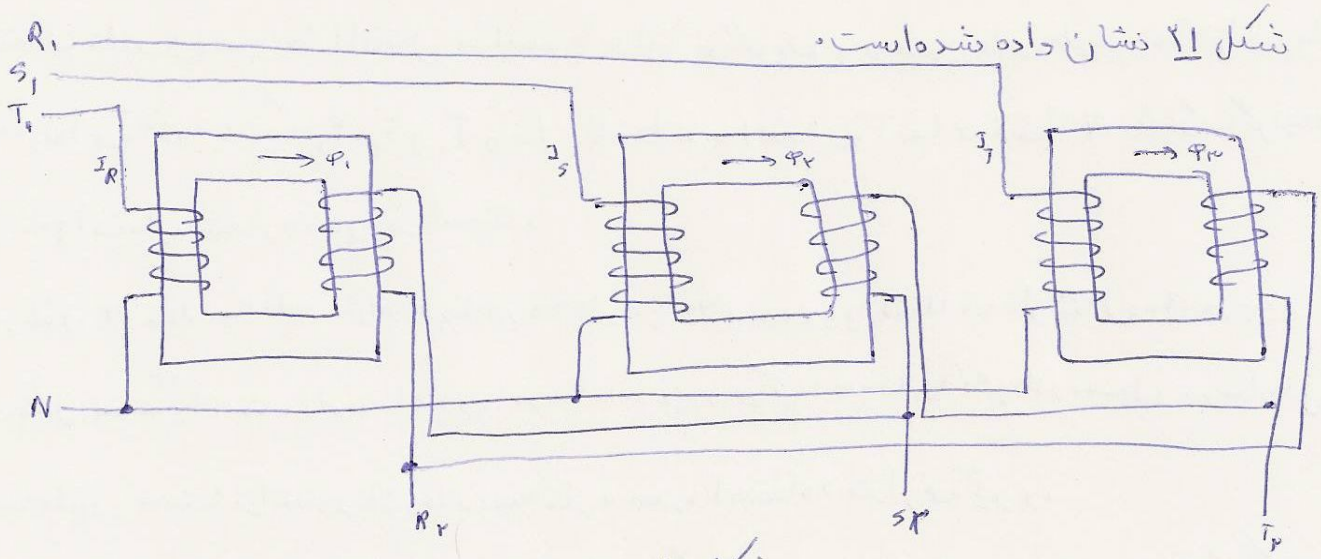
از اتصالات بکار رفته کیلوسوم کل اندازه گذاری KVA باتک است، ولی اندازه گذاری ها ولتاژ و جریان هر کدام از ترانسفورماتورها به تنهائی بستگی به نوع اتصالات دارد.



شکل ۲۰

(تبدیل انرژی الکترومکانیکی، مهندس حسن گیوی، ص۵۱)

برای تشکیل یک ترانسفورماتور سه فازه می توان از سه ترانسفورماتور یک فازه مشابه هم استفاده نمائیم. تحقق یافتن چنین ترانسفورماتور سه فازه ای به وسیله شکل ۲۱ نشان داده شده است.



شکل ۲۱

که در شکل بالا ابتدا سه پیچ اولیه به سه فاز R_1، S_1، T_1 شبکه وصل شده و انتهای آنها در یک نقطه مانند N با هم مشترک شده اند و یا پنج سه جریان های I_R، I_S و I_T که از هر

POWEREN.IR
PowerEn.ir

بوبین عبور می کنند بعلت تشابه بوبین ها از نظر قدر مطلق با هم برابرند ولی با هم ۱۲۰ درجه اختلاف فاز دارند و این جریانها متناسب با خود ایجاد سه فوران Φ_1 و Φ_2 و Φ_3 در هر مدار مغناطیسی می نمایند. فوران های حاصل در هرکدام از مدار هسته مغناطیسی مربوط به خود را می پیمایند و هیچ ارتباطی با فورانهای دیگر هسته ندارند از این لحاظ اینگونه ترانسفورماتورها به ترانسفورماتورهای با فوران آزاد یا مستقل و یا از نقطه نظر مدار مغناطیسی به ترانسفورماتورهای با هسته مجزا معروفند.

سابقاً این نوع ترانسفورماتورهای سه فاز برای قدرتهای زیاد در شبکه های توزیع انرژی مورد استفاده قرار می گرفتند و همواره یک دستگاه ترانسفورماتور اضافی یا یدکی نیز جهت اطمینان در موقع خرابی و بروز عیب نگهداری می شود.

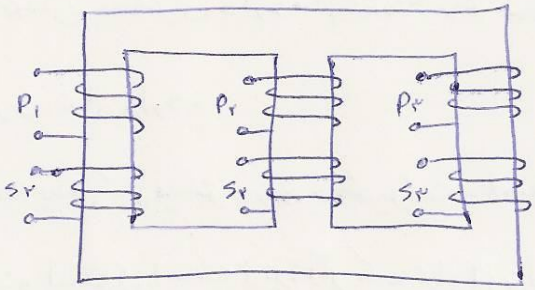
چنانچه در شکل قبل ملاحظه می شود. ابتدای هر بوبین ثانویه به انتهای بوبین ثانویه ترانسفورماتور یک فاز دیگر اتصال داده شده و بدینوسیله یک مدار بسته از سه بوبین ثانویه درست شده و در نتیجه نقطه اتصال ابتدای یک بوبین ثانویه و با انتهای بوبین ثانویه ترانسفورماتور دیگر تشکیل یک سرخروجی را می دهد مانند T_2 و S_2 و R_2 اینگونه اتصال دادن بوبین ها را اتصال مثلث یا دلتا می گویند و بوبین های طرف سه ترانسفورماتور که ابتدای آنها به شبکه R_1 و S_1 و T_1 وصل شده اند و انتهای آنها در نقطه N مشترک گردیده با نام اتصال ستاره مصروف است.

در شکل ۲۲ مدار مغناطیسی ترانسفورماتور سه فاز ه با سه ستون و با اختلاف فاز مکانی ۱۲۰ درجه و در شکل ~~ست~~ ۲۳ ~~است~~ مدار مغناطیسی در سه ستون و در یک صفحه را که بطور معمول در مدارهای مغناطیسی هسته ترانسفورماتورهای سه فاز ه مورد استفاده قرار می گیرد.

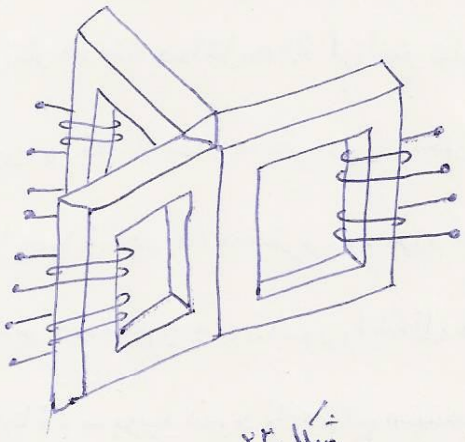
البته متذکر می شویم در شکل ~~ست~~ ۲۳ ~~است~~ رلوکتانس مدار مغناطیس هسته وسطی کوچکتر است از رلوکتانس مدار مغناطیس دو ستون طرفین. از اینجا یک تفاوتی قابل ملاحظه بین اندازه جریانهای بی باری سه بوبین بوجود می آید. که این تلفات را با افزایش دادن

PowerEn.ir

سطح مقطع بدنه یا جوشن و یا یوغ و رقه مغناطیسی نسبت به ستون ورقه تخفیف می دهند

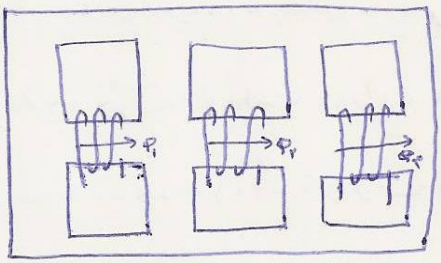


شکل ۲۳



شکل ۲۴

در بارهای متعادل که از سه فاز ثانویه ترانسفورماتور گرفته می شوند اثرنا مساوی بودن جریان بی باری در پوسته مربوط به ستون وسطی نسبت به جریان کلی هرفاز بسیار ضعیف و قابل صرف نظر و چشم پوشی کردن است. معذا در صورت متعادل نبودن ولتاژهای اعمال شده به ترانسفورماتور سه فازه باز هم اجباراً مجموع فورانهای اصلی $\Phi_1 + \Phi_2 + \Phi_3 = 0$ می باشد. زیرا این امر برای حکم قانون گره ها در مدارهای مغناطیسی است. بدین ترتیب ترانسفورماتورهای که فورانهای حاصل از هرفاز مستقل از فورانهای فازهای دیگر می باشند با نام ترانسفورماتورهای سه فازه با هسته پیوسته نام گذاری می نمایند. هسته های پیوسته در ترانسفورماتورهای سه فازه امکان دارد به صورت ستونی باشد مطابق شکل ۲۳ و زرهی مطابق شکل ۲۵



شکل ۲۵

مزایا و معایب ترانسفورماتورهای سه فازه با مدار مغناطیسی پیوسته با سه فازه ای که از سه ترانسفورماتور یکفازه مجزا درست شده:

مزایا: ترانسفورماتور سه فازه با مدار مغناطیسی پیوسته مواد کمتری برای هسته مغناطیسی نیاز دارد.

POWEREN.IR

POWEREN.IR
PowerEn.ir

- وزن آن سبکتر و حجمش کوچکتر می باشد

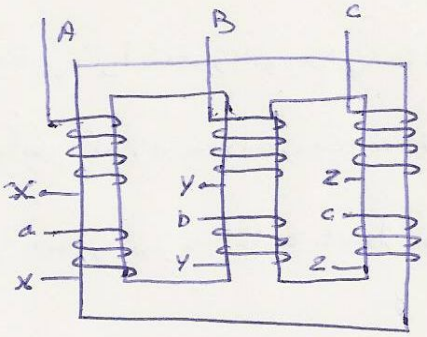
- از نظر هزینه حداقل ۱۵٪ ارزانتر تمام می شود - راندمان بیشتری دارد - از نقطه نظر عمل سیم پیچی و اتصالات و عایقبندی و مخزن به مواد کمتری نیاز دارد.

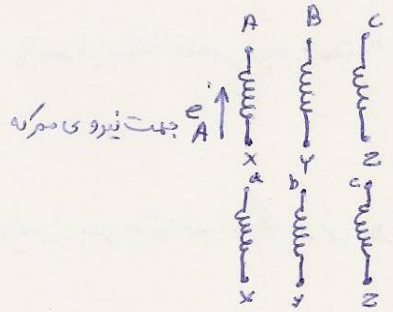
معایب: هزینه بیشتری در مورد لوازم یدکی - هزینه و کار بیشتر در مورد تعمیرات - اختلالات بیشتر در موقع به وجود آمدن اشکال در سیستم سه فازه انتقال است زیرا اگر یک فاز از ترانسفورماتور سه فازه معیوب شود باید تمام سیستم جهت تعمیر فرستاده شود. در صورتیکه برای سه ترانسفورماتور یکفازه مجزا فقط با داشتن یک ترانسفورماتور یدگی این مشکل به راحتی قابل حل خواهد بود و یا بنابه آنچه که بعداً بیان خواهیم کرد می توان آن را به صورت اتصال مثلث یا زدر آورد، و بدون آنکه کل سیستم از مدار خارج شود با قدرتی کاهش یافته به راحتی بکار خود ادامه خواهد داد.

قرارداد ابتدا و انتهای سیم پیچی های ترانسفورماتور سه فازه:

مطابق شکل ۲۶ ترانسفورماتور سه فازه را با سه سیم پیچی اولیه و سه سیم پیچی ثانویه نمایش می دهیم بطوریکه ابتدای سیم پیچی های طرف فشار قوی را با حروف A، B، C و گاهی با U، V، W و انتهای آنها را با Z، Y و X نشان می دهند.

و همینطور ابتدای سیم پیچی های طرف فشار ضعیف را با حروف a، b، c و یا u، v، w و انتهای آنها را با z، y، x مشخص می نمایند، در شکل مذبور جهت سیم پیچی اولیه و ثانویه یکی بوده و جهت نیروی محرکه القاء شده در آنها به علت فوران مشترک آنها نیز همسان و از تا پو بین به طرف سر پو بین می باشد. حال اگر تغییری در جهت پیچی و یا تغییر در ابتدا و انتهای پو بین پیش آوریم باید اثر آن تغییر را در نیروهای محرکه القاء شده نیز در نظر بگیریم.





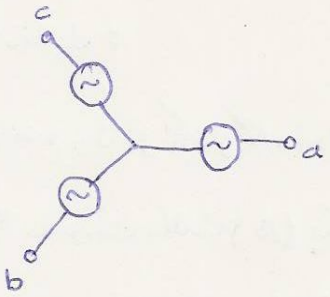
شکل ۲۶

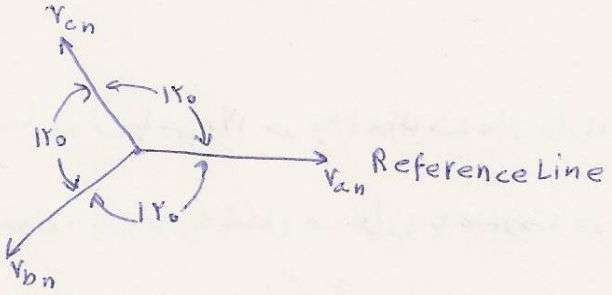
(ترانسفورماتور یک فازه و سه فازه، ص ۲۵)

PowerEn.ir

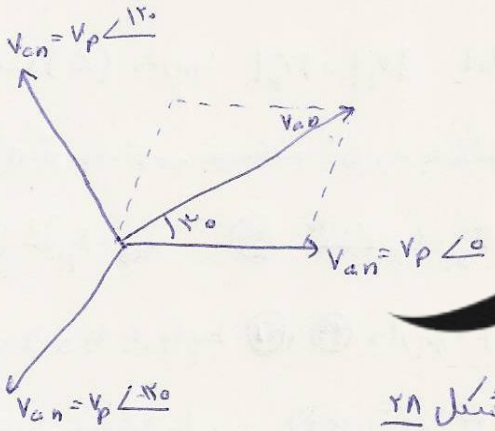
اتصال ستاره (Y):

در شکل ۲۷ به پایانه n نقطه خنثی (نقطه نول) گفته می شود. به سهولت دیده می شود که بین پایانه های a، b و c نسبت به نقطه خنثی (n)، سه ولتاژ مساوی وجود دارد که با هم ۱۲۰° درجه اختلاف فاز دارند. به این ولتاژها یعنی V_{an}، V_{bn} و V_{cn} ولتاژهای فاز گفته می شود. همچنین بین پایانه های (a و c)، (b و a) و (b و c) نیز سه ولتاژ وجود دارد که به آنها V_{ab}، V_{bc} و V_{ca} گفته می شود و به ولتاژهای خط - خط معروفند. شکل ۲۸ نمودار فازوری یک سیستم سه فاز با اتصال ستاره (Y) را نشان می دهد و همانطور که می دانیم ولتاژهای فاز همگی از نظر مقدار با هم برابرند و ما مقدار موثر این سه ولتاژ را با V_p نشان می دهیم.





شکل ۲۷



شکل ۲۸

POWEREN.IR

برای بدست آوردن ولتاژهای خط - خط اینچنین عمل می کنیم (مثلاً برای V_{ab}):

$$V_{ab} = V_{an} + V_{nb} \quad (۲۸)$$

رابطه (۲۸) با توجه به شکل ۲۸ نوشته شده و می توان آنرا اینچنین نیز نوشت: $V_{ab} = V_{an} - V_{bn}$ (۲۹) در یک سیستم سه فاز متعادل یا سه فاز متقارن مقدار دامنه ولتاژهای فاز با هم برابرند. یعنی: $|V_{an}| = |V_{bn}| = |V_{cn}| = V_p$ (۳۰) باز یادآوری می کنیم V_p مقدار متوسط ولتاژهای فاز می باشد. پس: $V_{an} = V_p \angle 0°$ (۳۱)

PowerEn.ir

(۳۲) $V_{bn} = V_p \angle -۱۲۰$ (۳۳) $V_{cn} = V_p \angle -۲۴۰ = V_p \angle ۱۲۰$

با توجه به روابط (۲۹)، (۳۱)، (۳۲) داریم: (۳۴) $V_{ab} = V_p (۱ \angle -۱۲۰)$ یا $V_{ab} = \sqrt{۳} V_p \angle ۳۰$

به طریقی مشابه داریم: (۳۵) $V_{bc} = \sqrt{۳} V_p \angle -۹۰$ (۳۶) $V_{ca} = \sqrt{۳} V_p \angle ۱۵۰$ پس مقدار متوسط ولتاژهای خط - خط به قرار زیر است. (۳۷) $V_L = \sqrt{۳} V_p$

در سیستم های سه فاز با اتصال ستاره (Y) مقدار جریانهای خارج شده از سه پایانه a، b و c معادل جریانی است که از منبع بین a و n یا منبع بین b و n یا منبع بین c و n خارج می شود. پس در سیستم سه فاز با اتصال ستاره (Y) جریان فاز با جریان خط برابر است. یعنی: (۳۸) $I_L = I_p$ I_p مقدار موثر جریان فاز و I_L مقدار موثر جریان خط است.

اتصال مثلث:

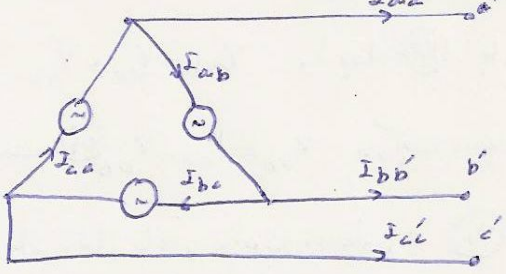
گیریم سه منبع ولتاژ تکفاز که مقدار موثر آنها یکسان ولی با هم ۱۲۰ درجه اختلاف فاز دارند، همچون شکل ۲۹ بصورت مثلث (Δ) پیکدیگر وصل شوند. با توجه به شکل می توان به سهولت دریافت که مقدار موثر ولتاژهای فاز با مقدار موثر ولتاژهای خط - خط با یکدیگر برابر اند، یعنی در اتصال مثلث (Δ) داریم: $|V_L| = |V_p|$ اما باید دانست که جریان فاز و جریان خط در اتصال مثلث با یکدیگر مساوی نیستند با توجه به شکل ۲۹ جریانهای فاز را اینچنین فرض می کنیم:

(۳۹) $I_{ap} = I_p \angle ۰$ (۴۰) $I_{bc} = I_p \angle -۱۲۰$ (۴۱) $I_{ca} = I_p \angle ۱۲۰$ با توجه به شکل ۲۹ داریم: $I_{aa'} = I_a - I_{ab}$

پس با توجه به روابط (۴۱) و (۳۹) داریم: $I_{aa'} = I_p (۱ \angle ۱۲۰ - ۱ \angle ۰)$ لذا: (۴۲) $I_{aa'} = \sqrt{۳} I_p \angle ۱۵۰$

به طریقی مشابه داریم: (۴۳) $I_{bb'} = \sqrt{۳} I_p \angle ۳۰$ (۴۴) $I_{cc'} = \sqrt{۳} I_p \angle -۹۰$ بطور کلی می توان گفت:

$I_L = \sqrt{۳} I_p$ I_p مقدار موثر جریان فاز و I_L مقدار موثر جریان خط می باشد.



شکل ۲۹

(اصول ماشینهای الکتریکی، دکتر محمد رضا هاوری، ص ۱۴۴)

روشهای اتصال سیم پیچی ترانسفورماتور سه فاز:

۱- ستاره - ستاره ۲- مثلث - مثلث ۳- مثلث - ستاره ۴- ستاره - مثلث

PowerEn.ir

۵- ستاره - زیگزاگ Z/۶ ۶- مثلث - زیگزاگ Z/۵ ۷- اتصال مثلث باز ۷/۷ ۸- اتصال ستاره T/T ۹- اتصال لبان ۱۰- اتصالات Z/۴ ، Z/۸ ، Z/۷

بطورکلی سیم پیچی های ترانسفورماتور سه فازه را می توان به دوازده صورت انجام داد که در میان آنها عملاً اتصالات Z/۷ ، Z/۸ و Z/۴ انجام نمی گیرد زیرا از نقطه نظر صنعتی مورد توجه نمی باشند در اتصال ستاره گاهی نیاز به نقطه صفر یا نوتر می باشد که در سربندیهای ترانسفورماتور در روی پلاک سرها در دست رس قرار داده می شود و این نقطه را با علامت (o) یا حرف N مشخص می کنند مثلاً اگر طرف فشارقوی بصورت ستاره باشد و سیم صفر نیز در آن ضرورت داشته باشد و ثانویه آن بصورت مثلث بسته شده باشد چنین نمایش داده می شود. Δ/o-۷

اصولاً در یک ترانسفورماتور سه فازه وقتی طرف اول دارای سه بوبین مشابه که بصورت مثلث ستاره بهم وصل شده باشند و ثانویه نیز همینطور دارای سه بوبین مشابه باشد که یا مثلث و یا ستاره وصل شده باشند آن ترانسفورماتور را با اتصالات متقارن می گویند که اتصالات مربوط به ردیفهای ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶ متقارن می باشند و در صورتیکه اتصالات ۷/۷ و T/T نامتقارن هستند.

اینک به شرح هرکدام از اتصالات نامبرده در فوق مبادرت می نمائیم.

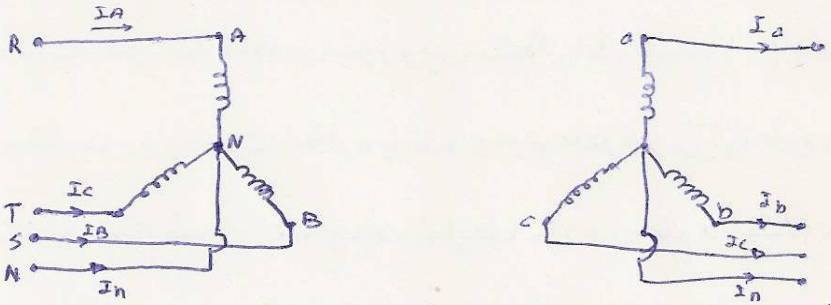
۱- اتصال ستاره - ستاره o:

این نوع اتصال بیشتر در ترانسفورماتورهای کوچک و ترانسفورماتورهای با ولتاژ بسیار بزرگ و کوپلاژ دوشبکه فشارقوی استفاده می شود. که از نقطه نظر اقتصادی حداقل مقدار عایق و تعداد دور حلقه در هر فاز را شامل است و در دو حالت با سیم صفر و بدون سیم صفر است.

الف- اتصال ۷/۷ با سیم صفر- این اتصال در شکل ۱ نشان داده شده است. سیم صفر ترانسفورماتور بسیم صفر اتصال داده شده است. اگر از امپدانس سیمهای اتصال و منبع و ترانسفورماتور صرفنظر شود. ولتاژهای فاز طرف اول ترانسفورماتور مساوی ولتاژهای فاز منبع بوده است.

PowerEn.ir

ب- اتصال Y/Y بدون سیم صفر: در صورتیکه اتصال بدون سیم صفر است مجموع جریانها در هر لحظه صفر خواهد بود $i_a+i_b+i_c=0$ گرچه بارها متعادل باشد یا نباشد. در وقتیکه بارها متعادل هستند و ولتاژهای فازی از نظر قدر مطلق با هم برابر و متعادل می مانند در صورتیکه بارهای مصرف که به ثانویه وصل می شوند نامتعادل باشند نقطه صفر تغییر محل داده و بر حسب تغییرات بار حالت شناور بخود می گیرد و ولتاژهای فازی ~~دوسر بارهای مصرف و ولتاژ بین خطوط~~ دیگر با هم برابر نخواهند بود.

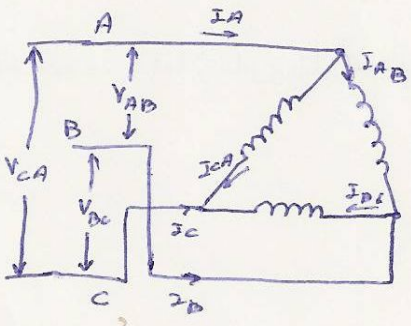


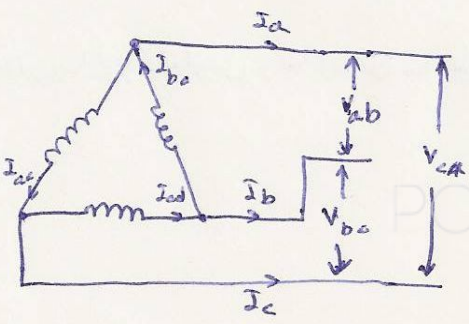
شکل ۳۴

این نوع اتصال در مواقعی که بارها متعادل هستند رضایت بخش است و در حالت بارها نامتعادل مشکلاتی همراه دارد عموماً برای جلوگیری از تغییر مکان نقطه صفر می توان نقطه صفر سیم پیچی طرف اول ترانسفورماتور را به نقطه صفر مولد وصل کرد و این عمل عدم تعادل ولتاژهای طرف دوم ترانسفورماتور را نیز از بین می برد. در این اتصال ولتاژها خطی همواره متعادل می مانند و بارهای نامتعادل در مقدار آنها اثری ندارد.

۲- اتصال مثلث- مثلث Δ/Δ یا دلتا - دلتا

اتصال Δ/Δ در ترانسفورماتورهائی که قدرت زیاد دارند و ولتاژ آنها در سطح پائین است و از نقطه نظر عایق بندی مشکلی ایجاد نمی کنند بکار می رود. از طرف این اتصال در مواردیکه نیاز بسیم صفر نیست مانند مواردیکه مصرف کننده ها همه سه فازه هستند (موتورهای جریان متناوب سه فازه) و هم چنین در مواقعیکه ولتاژ تغذیه کم و یا متوسط و جریان زیاد باشد مورد استفاده قرار می گیرند.





شکل ۳۵

PowerEn.ir

اتصال Δ/Δ از لحاظ اقتصادی برای ترانسفورماتورهای با قدرت زیاد ولی ولتاژ پائین

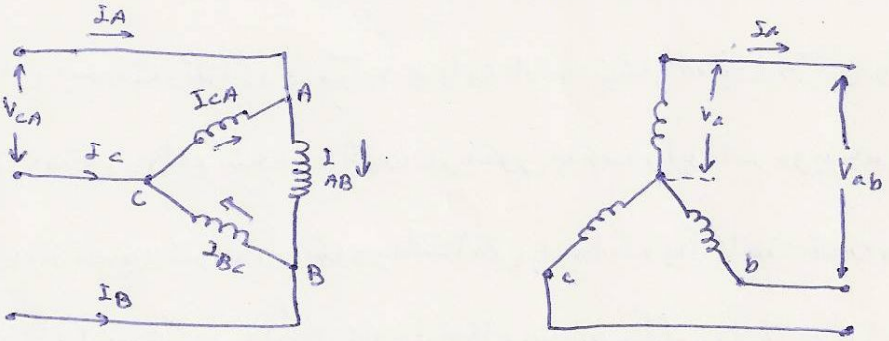
آنها مسئله عایق بندی سیم پیچی مشکلی بوجود نمی آورد بکار می رود. و در این نوع اتصال بین ولتاژهای طرف اول و طرف دوم تغییر مکان زاویه ای ایجاد نمی شود. و از مزایای دیگر اتصال Δ-Δ می توانیم موارد زیر را بر شماریم.

الف- ولتاژهای دو سر سیم پیچی های طرف دوم در این اتصال همواره سینوسی می ماند.

ب- پارهای نامتقارن مشکلی ایجاد نمی کند پ- اگر یکفاز ترانسفورماتور معیوب شود می توان از اتصال مثلث باز که بعداً در مورد آن صحبت خواهد شد استفاده کرد. ت- در این اتصال هارمونی سوم نیروی محرکه الکتریکی فازها حذف می شوند.

۳- اتصال مثلث- ستاره.

این اتصال معمولاً در ترانسفورماتورهای افزاینده ولتاژ در نیروگاهها و در ابتدای خطوط انتقال با ولتاژ قوی و در سیستمهای توزیع انرژی بصورت چهار سیمه که همزمان می تواند مصرف کننده های سه فازه مانند موتورهای الکتریکی سه فاز را تغذیه کند و همچنین جهت تامین مصارف روشنائی مورد استفاده واقع شود. و بطور کلی در مواردی که در طرف دوم احتیاج به سیم صفر باشد بکار برده می شود. در شکل ۱۰ این اتصال نشان داده شده و ولتاژهای فازی طرف دوم V_a، V_b و V_c با ولتاژهای طرف اول V_{AB} و V_{BC} و V_{CA} برحسب آنکه جهت پیچش آنها در روی مدار مغناطیسی هم جهت و یا مخالف باشد با هم همفاز و ۱۸۰ درجه اختلاف فاز دارند.



شکل ۳۲

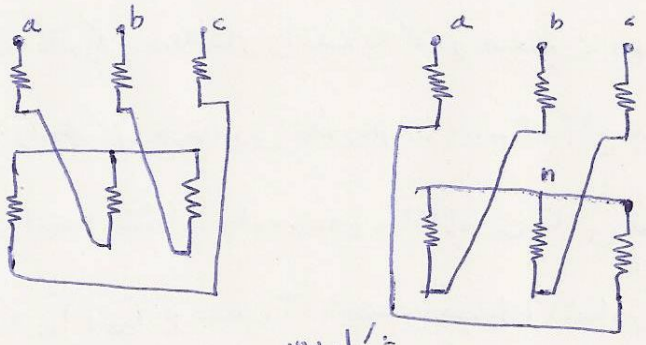
PowerEn.ir

۴- اتصال ستاره - مثلث ۵

کاربرد اصلی این اتصال در پست های فرعی انتهای خط انتقال انرژی است یا تبدیل فشار قوی زیاد به متوسط و کم یعنی جائیکه ولتاژ پائین آورده می شود تا به ترانسفورماتور و یا پست توزیع آماده شود. و اینجا نقطه اتصال ستاره با سیم نوتر زمین می شود. البته این نوع اتصال را برای مواقعیکه نیاز به سیم صفر نباشد و مصرف کننده ها همگی سه فازه باشند نیز بکار می رود.

۵- اتصال ستاره زیگزاگ:

این اتصال بیشتر در طرف فشار ضعیف ترانسفورماتور جهت شبکه های توزیع و پخش انرژی چهار سیمه که همواره با نامتعادلی بارها همراه است بکار می رود و یا بطور موضعی و با قدرت پائین. در این اتصال سه سیم پیچی طرف فشار ضعیف را بدو قسمت مساوی تقسیم می نمایند و آنگاه نه نصف بوبین مربوط به فاز اول ثانویه را با نصف بوبین زیرین فاز دوم در جهت معکوس سری می نمایند. مانند آنچه در شکل ۱۲ نشان داده شده است و این عمل برای دیگر فازها عینا انجام می شود. شکل ۱۲a



شکل ۳۲

وقتی اتصال بصورت زیگزاگ در می آید جریان طرف فشار ضعیف در آن واحد از دو بوبین می گذرد که یکی در یک ستون واقع شده و دیگری در ستون بعدی و این امر موجب می شود که جریان در طرف فشار قوی نیز بهمین نحو توزیع شود و نامتعادلی بارها شدیداً کاسته شود. و از دیگر مزایای حالت اتصال زیگزاگ آنست که در حالیکه مانند اتصال ستاره دارای نقطه صفر است مزایای اتصال مثلث از قبیل حذف شدن هارمونی سوم را شامل می باشد.

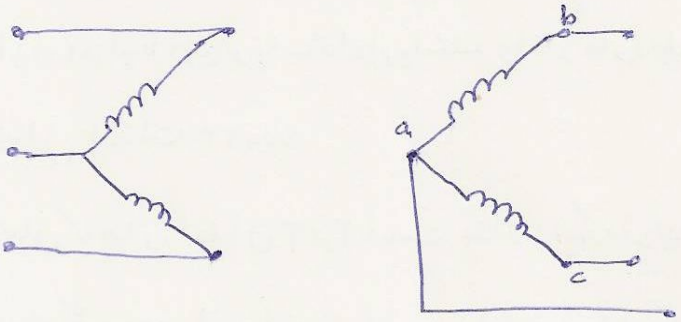
POWEREN.IR
PowerEn.ir

۶- اتصال مثلث زیگزاگ:

تفاوت این اتصال فقط در این است که اولیه بصورت مثلث و صل شده ثانویه همان خصوصیاتی را خواهد داشت که قبلاً ذکر گردیده و بیشتر در مواقعیکه ترانسفورماتور سه فازه برای تغذیه دستگاهای که به صورت اختصاصی هستند مورد استفاده قرار می گیرد. مثلاً تغذیه یکسو ساز های قدرت.

۷- اتصال مثلث باز:

مطابق شکل ۳۳ اگر سیم پیچی یکفاز مشابه را در اتصال مثلث- مثلث حذف کنیم اتصال مثلث باز حاصل می شود و همینطور اتصال دو ترانسفورماتور یکفازه مشابه مطابق شکل ۱۴ این خواسته تامین می نماید.



شکل ۳۳

موارد کاربرد این اتصال را مطابق زیر می توانیم نام ببریم.

۱- مواقعیکه بار سه فازه آنقدر نیست که یک ترانسفورماتور سه فازه با بار کامل در مدار قرار بگیرد مثلاً در ابتدای سالهای بهره برداری که مصرف و قدرت تقاضا شده از ترانسفورماتور کم است.

۲- وقتی که یکی از سیم پیچ های یک فاز اتصال Δ-Δ معیوب باشد که در اینحالت با ظرفیت کاسته شده می تواند با اتصال مثلث باز بکار خود ادامه دهد. تا ترانسفورماتور جدیدی جانشین آن شود.

۳- از نقطه نظر آینده نگری و پیش بینی افزایش مصرف در آینده که باید از اتصال Δ-Δ استفاده شود نکته مهمی که در این اتصال باید بدان توجه نمائیم این است که بار کلی حمل شده بوسیله اتصال ۷/۲ برابر $\frac{2}{\sqrt{3}}$ ظرفیت آن نیست بلکه به اندازه ۵۷/۷ یا ۵۸ درصد ظرفیت آن می باشد. زیرا در حالت Δ-Δ قدرت ظاهری ترانسفورماتور سه فازه $S=\sqrt{3}\,U_2 I_2$ و در حالت ۷/۷

POWEREN.IR
PowerEn.ir

اندازه آن $I_L/\sqrt{3}$ و $S=\sqrt{3}V_L I_L$ چنانچه نسبت $\frac{S'}{S}=\frac{1}{\sqrt{3}}=\%58$ می گردد و بعضی ظرفیت حالت

$\%58$ V/V حالت $\Delta-\Delta$ است نه به اندازه $\%66/4$

۴- کاربرد این اتصال در ترانسفورماتورهای وسایل اندازه گیری مثلاً در تابلوهای برق جهت تغذیه

ولتاژ واتمترها و ولتمترها.

از معایب این اتصال نکات زیر را می توان متذکر شد.

۱- در یک بار متعادل با ضریب قدرت واحد ضریب قدرت $V/2$ به اندازه $\%86/6$ ضریب قدرت

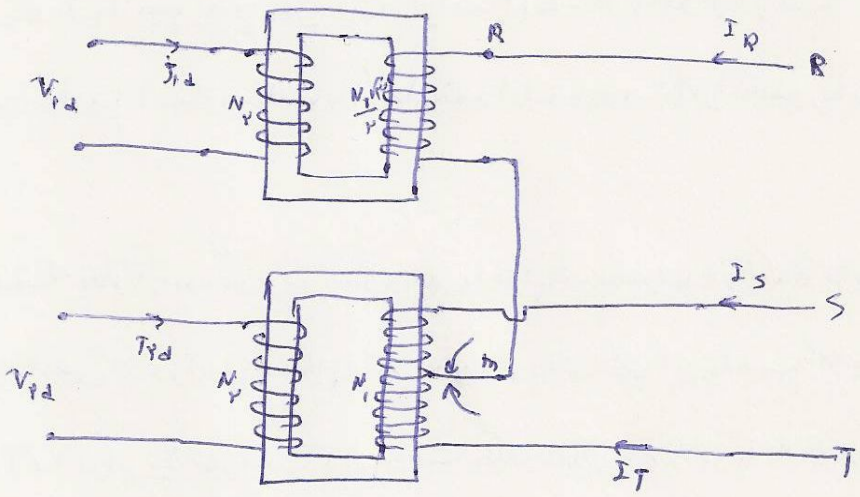
$\Delta-\Delta$ است و در بارهای دیگر کاملاً تغییر خواهد کرد.

۲- در ازاء افزایش بار گره متعادل باشند ولتاژهای طرف ثانویه آن رو به نامتعادل شدن می گذارند.

۸- اتصال اسکات sc o TT

این اتصال که همان اتصال T/T است بخاطر اینکه اولین بار بوسیله اسکات ارائه شده با این نام معروف گردیده. این اتصال از دو ترانسفورماتور یکفازه که دارای مدارهای مغناطیسی کاملاً یک اندازه و یکسان هستند و تعداد حلقه های سیم پیچی طرف دوم یا دو فازه آن با هم مساوی و هرکدام دارای N_2 حلقه می باشند و تعداد حلقه های طرف اول یا سه فازه آنها باین ترتیب است که اگر یکی N_1 حلقه داشته باشد دیگر $\frac{\sqrt{3}}{2}N_1$ حلقه را دارا می باشد. جهت استدلال نحوه تبدیل دوفازه به سه فازه و بالعکس دو ترانسفورماتور یکفازه A و B را با مشخصات ذکر شده در فوق انتخاب می نمائیم.

شکل ۳۴



شکل ۳۴

POWEREN.IR
PowerEn.ir

۹. اتصال لبلان (LEBLANC)

اصولاً سیستم اسکات بیشتر برای تبدیل دوفاز به سه فاز بکار برده می شود لذا در جهت کوچک شدن حجم و دستگاه و راحتی و آسانی کاربرد اتصال لبلان بر آن ترجیح داده می شود. زیرا اتصال لبلان را در روی یک محار مغناطیس سه ستونه پیوسته می توان به وجود آورد. برای بررسی این اتصال ابتدا ترانسفورماتور سه فازه ستاره- ستاره ای را در نظر گرفته و تغییراتی مطابق شکل از نظر تعداد حلقه های ثانویه بر روی آن انجام می دهیم. البته جهت پیچش حلقه های اولیه و ثانویه را در یک جهت در نظر می گیریم. (ترانسفورماتور یک فازه و سه فازه، دکتر علی مطلبی، ص ۳۱)

استاندارد علامتگذاری سرهای سیم پیچ:

این علامت گذاری توسط استاندارد B.S. 171 مشخص شده است که در زیر بطور خلاصه بازگو می شود.

در حالت سه فاز، سیم پیچ های ولتاژ زیاد با A، B، C مشخص می شوند. (A و B برای دوفاز، A برای حالت یکفاز) سیم پیچ ولتاژ کم با حروف کوچک a، b، c مشخص می شوند.

بعضی اوقات از سیم پیچ سومی به نام ثالثیه استفاده می گردد که با 3A، 3B، 3C مشخص می شوند. علاوه بر این، حروف دارای اندیس عددی نیز می باشند، مثلاً دو سر فاز A با A_1 و A_2 مشخص می شوند، ولی اگر از سیم پیچ انشعاباتی گرفته شده باشد، یا اگر سیم پیچ از چندین قسمت تشکیل شده، یک سر را با A_1 نشان داده و به ترتیب انشعابات را با حروف A_2 و A_3 و غیره نمایش می دهند، بنابراین دو سر اصلی سیم پیچ یکی با حروف A_1 و دیگری با حرفی که بزرگترین اندیس عددی را دارد مشخص می شوند. سیم پیچ های ثانویه بطوری شماره گذاری شده اند که اگر در سیم پیچ ولتاژ زیاد در یک لحظه A_1 نسبت به A_2 مثبت باشد، a، هم نسبت به c و همچنین $3A_1$ نسبت به $3A_2$ در آن لحظه مثبت باشند. سرهای A_1، a، $3A_1$ و سرهای هم پتانسیل می نامند.

POWEREN.IR
PowerEn.ir

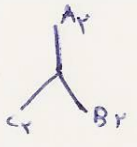
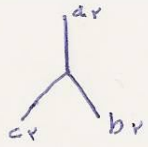
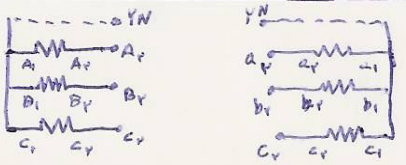
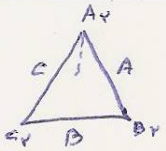
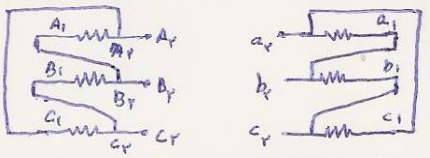
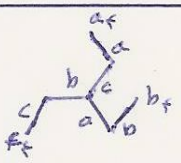
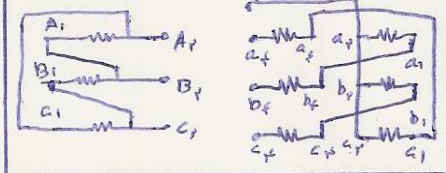
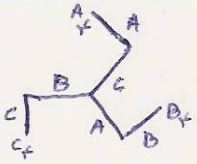
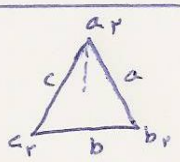
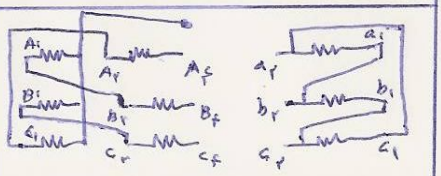
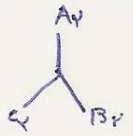
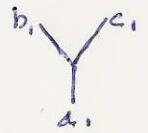
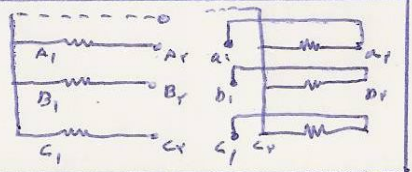
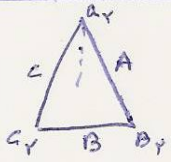
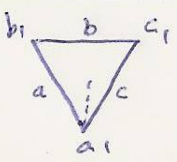
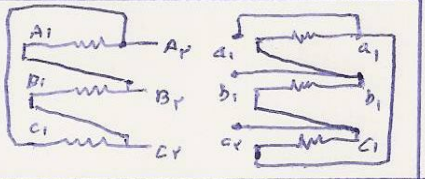
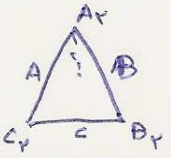
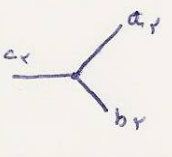
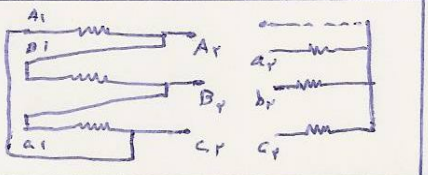
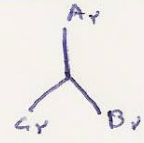
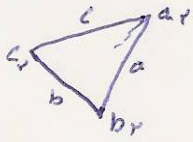
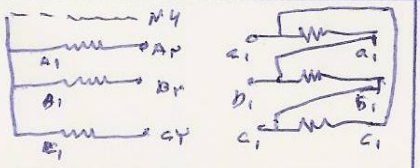
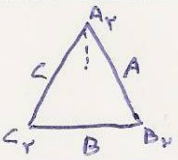
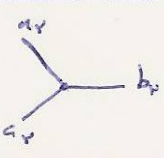
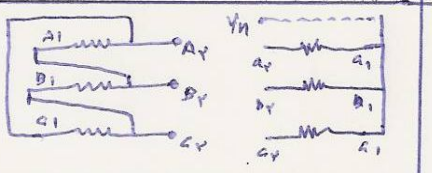
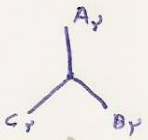
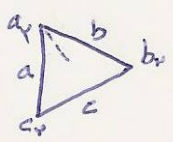
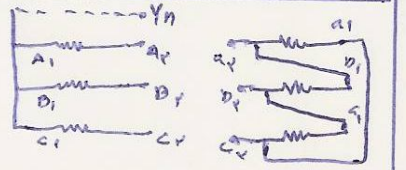
اتصالات مختلف سه‌فازه، علامت شناسائی

در یک سیستم سه‌فاز که هر فاز آن دارای حداقل دو سیم پیچ باشد، بدیهی است که امکانات متعددی برای اتصال سیم پیچ ها وجود دارد. تنوع این امکانات نه فقط بخاطر این است که سیم پیچ‌های اولیه و ثانویه را می‌توان به دو صورت ستاره و مثلث بست، بلکه هر فاز را می‌توان معکوس نیز متصل نمود. اتصالات مختلف را می‌توان به چندین گروه تقسیم نمود که تفاوت بین آنها در اختلاف فاز زمانی است که بین ولتاژهای دو ولتاژ مشابه اولیه و ثانویه یکی از فازها وجود دارد. نمونه‌هائی از اتصالات چهارگروه در شکل رسم شده که از استاندارد B.S.171 اخذ گردیده است.

شیفت‌هائی که در دیاگرام شکل رسم شده‌اند، شیفت ولتاژ فاز به نول می‌باشند و برای سادگی فقط یکی از دو سرهای فاز با حروف مشخص شده است، ضمناً از حرف y برای اتصال ستاره، حرف D برای اتصال مثلث و از حرف z برای اتصال زیگزاگ استفاده شده است. حروف بزرگ برای سیم پیچ ولتاژ زیاد و حروف کوچک برای سیم پیچ ولتاژ کم بکار رفته‌اند. بدین ترتیب مشاهده می‌گردد که علامت شناسائی یک ترانسفورماتور توسط دو مشخصه معلوم می‌گردد. یکی حرف شناسائی (حروف y، D، z) که نوع اتصال سیم پیچ‌ها را تعیین می‌کند و دومی عدد شناسائی (اعداد صفر الی ۱۱) که اختلاف فاز را به صورت مضربی از ۳۰° تعیین می‌کند. حرف شناسائی توسط اتصال سیم پیچ‌ها معلوم می‌گردد. عدد شناسائی از رسم دیاگرام فیزری ولتاژ فازهای اولیه و ثانویه، و تعیین تا خیر فازی که فیزر ولتاژ ثانویه نسبت به فیزر ولتاژ مشابه خود در اولیه دارد، معلوم می‌گردد. مثلاً در شکل مشاهده می‌گردد که برای اتصال نوع Dd0 و فیزر مشابه A_2B_2 و a_2b_2 هم فاز می‌باشند، همچنین در اتصال نوع Zd0 و فیزر مشابه A_2B_2 و a_2b_2 هم فاز می‌باشند. در اتصال نوع Dy11، ولتاژ ثانویه a_2b_2 به اندازه ۳۳۰° نسبت به ولتاژ A_2B_2 تا خیر فاز دارد و نتیجتاً عدد شناسائی برابر $\frac{330}{30} = 11$ می‌گردد. ولتاژ مشابه می‌تواند ولتاژ بین دو خط یا ولتاژ فاز به نول (در دیاگرامها با خطوط منقطع مشخص شده است) اختیار گردد.

PowerEn.ir

شکل ۳۵

علامت شناسائی	دیاگرام فیزری		نحوه اتصال سیم پیچ ها	اختلاف فاز	شماره گروه
	ولتاژ زیاد	ولتاژ کم			
Yy0				۰°	۱
Dd0					
Dz0					
Zd0					
Yy6				۱۸۰°	۲
Dd6					
Dy1				-۳۰°	۳
Yd1					
Dy11				+۳۰	۴
Yd11					

PowerEn.ir

رگلاژ یا تنظیم ولتاژ در زیر بار بوسیله اتو ترانسفورماتور نیز انجام می گیرد که از نقطه نظر دارای واطمینان عمل درکار بسیار مورد توجه می باشند سیم پیچی اتو ترانسفورماتورهائی که در مدارهای تنظیم ولتاژهای بالا بکار می روند درمقابل اضافه ولتاژ به هجا بهای محافظ داخلی و خارجی مجهز می نمایند

برای این منظور از کلید ها یا تاپ چنجر یا تعویض کننده های انشعاب مصرف شد.

تعویض کننده های انشعاب را در دو دسته تقسیم بندی می کنند.

۱- دستگاههائی که در آنها از رآکتانس استفاده می شود. ۲- دستگاهائی که در آنها از مقاومت استفاده می گردد.

دستگاههای تعویض انشعاب در زیر بار خصوصاً وقتیکه به سیستمهای ولتاژ زیاد مربوط می شوند باید طوری طراحی گردند که بتوانند با ولتاژهای ناگهانی که به صورت موج ضربه ای ظاهر می شوند مقابله نمایند. سابقاً دستگاههای تعویض انشعاب ولتاژ زیاد را با قرار دادن مقاومتهای غیرخطی در دو سر هر یک از انشعابات یا روی کنتاکتهای یک سری از انشعابات مجهز می کردند مشخصه مهم این مقاومتها این بود که در اثر افزایش ولتاژ مقاومت آنها سریعاً کاهش می یافت.

در سیستم های جدید دستگاههای تعویض انشعاب (تاپ چنجر) این صفات نامطلوب بعلت پیشرفت در طرح و تعیین مناسب محل های اتصالات مختلف و برطرف شده اند. امروزه طراحی ارکان اصلی ترانسفورماتور درحد فوق العاده عالی تحقق پیدا کرده است و بسیاری از شرایط تغییر ناگهانی ولتاژ که درگذشته قابل پیش بینی نبود از میان برداشته شده است.

مشخصات تعویض کننده های انشعاب (تاپ چنجرها):

سازندگان تاپ چنجر در زیر بار دستگاههای با مشخصات معلوم و معین را می سازند.

از طرف سازنده ترانسفورماتور باید تاپ چنجری را انتخاب نماید که مناسب و مطابق آن بوده تا بر آن سوار نماید. بطور کلی مشخصاتی که یک تاپ چنجر زیر بار را معین می کند به

POWEREN.IR
PowerEn.ir

ترتیب زیر می باشد.

- نوع دستگاه. یکفازه - سه فازه - با صفر یا نوتر یا با تمام نقاط مورد لزوم.

- جریان نامی که از آن می گذرد.

- تعداد پله ها (تاپ ها) و نوع کار سلکتور فرعی

- ولتاژ عایق بندی نسبت به زمین

- ولتاژ هر پله (تاپ)

- ولتاژ عایق بندی میان اجزاء فازهای مختلف

- ولتاژ عایق بندی میان کنتاکتهای مجاور هم سلکتور و سلکتور فرعی

- ولتاژ عایق بندی بین کنتاکتهای انتهائی سلکتور و سلکتور فرعی

- ولتاژ عایق بندی بین کنتاکتهای کموتاتور درحالیکه باز است.

جریان اضافی مورد قبول در اتصال کوتاه

- تعویض کننده انشعاب باید اضافه بار ترانسفورماتوری را که بر آن سوار است تحمل نماید و در ضمن عمل کردن چریانهای تا ۱/۱ و استثناءً ۱/۳ برابر جریان نامی را بتواند عبور دهند.

تاپ چنجر باید همواره بوسائل حفاظتی بخاطر امکان بوجود آمدن چریانهای زیاد مجهز باشد.

ترانسفورماتورهای با تنظیم یکنواخت ولتاژ:

تنظیم یکنواخت ولتاژ ترانسفورماتورها از تنظیم پله‌ای ولتاژ آنها دشوارتر است و به این جهت این نوع ترانسفورماتورها با قدرت کم و برای استفاده در موارد خاصی ساخته می شود. تنظیم یکنواخت ولتاژ به روشهای مختلف انجام می گیرد.

- به وسیله تغییر مکان بدنه یا یوغ نسبت به یکی از سیم پیچ ها یا هر دوی آنها

- به وسیله راکتوری که هسته آنرا می توان حرکت داد.

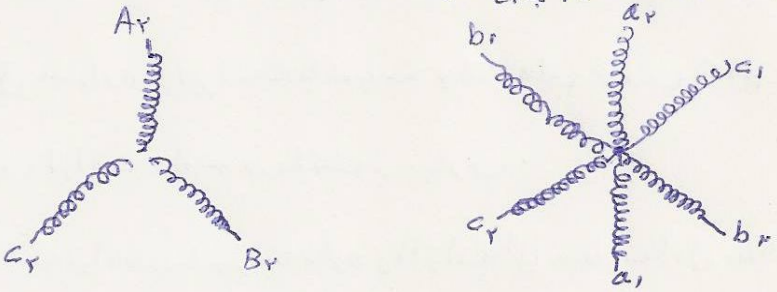
- به وسیله تغییر مکان یک سیم پیچی نسبت به سیم پیچی دیگره ترانسفورماتورهای گردان.

- به وسیله اتوترانسفورماتور

PowerEn.ir

منبع ولتاژ شش فازه :

برای دستگاههای یکسو کننده اغلب اتصالاتی که دارای شش فاز یا بیشتر باشند مورد احتیاج است و در این مورد لازم است که سیم پیچ ثانویه به چندین بخش تقسیم گردد. شکل یک روش مستقیم جهت ایجاد یک سیستم شش فازه رسم شده است و این در صورتی ممکن است که تمام سرهای فازها در دسترس باشند. می توان نقطه نول نیز ایجاد کرد اگر که سه سیم پیچ ثانویه دارای انشعاب در وسط سیم پیچ ها باشند.

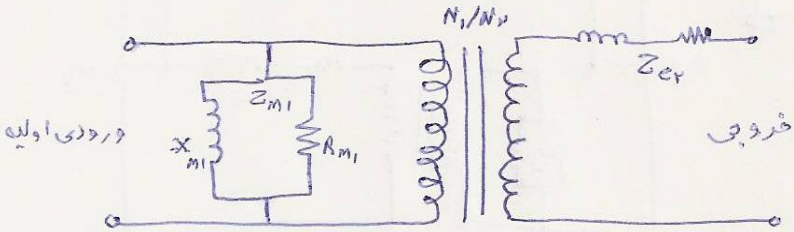


شکل ۳۵

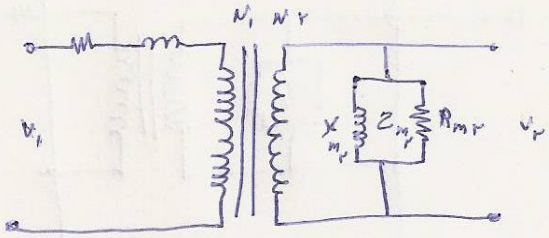
(ماشینهای الکتریکی و کاربرد آنها، دکتر کاوس خمبه‌ای، ص ۱۹۲)

مطالعه مدار معادل ترانسفورماتور سه فازه :

برای مطالعه کار ترانسفورماتور سه فازه ابتدا باید مدار معادل آنرا بدست آورد. بدین منظور برای هر فاز ترانسفورماتور می توان یک مدار معادل مشخص نموده. با صرفنظر کردن اثر هارمونیکها، هر فاز ترانسفورماتور سه فازه را می توان به یکی از دو صورت شکلهای ۳۶ و ۳۷ نمایش داد.



شکل ۳۶



شکل ۳۷

در شکل ۳۶ Z_{m_1} امپدانس مدار مغناطیسی هر فاز است که برای اندازه گرفتن آن طرف ثانویه باز و طرف اولیه را تحت ولتاژ قرار می دهند و مطابق آنچه در مورد ترانسفورماتور یکفاز گفته شد می توان آنرا با انجام آزمایش بی باری بدست آورد. و Z_{e_2} امپدانس معادل یکفاز ترانسفورماتور برده شده به طرف دوم است که با انجام اتصال کوتاه کردن طرف اول و اعمال ولتاژ

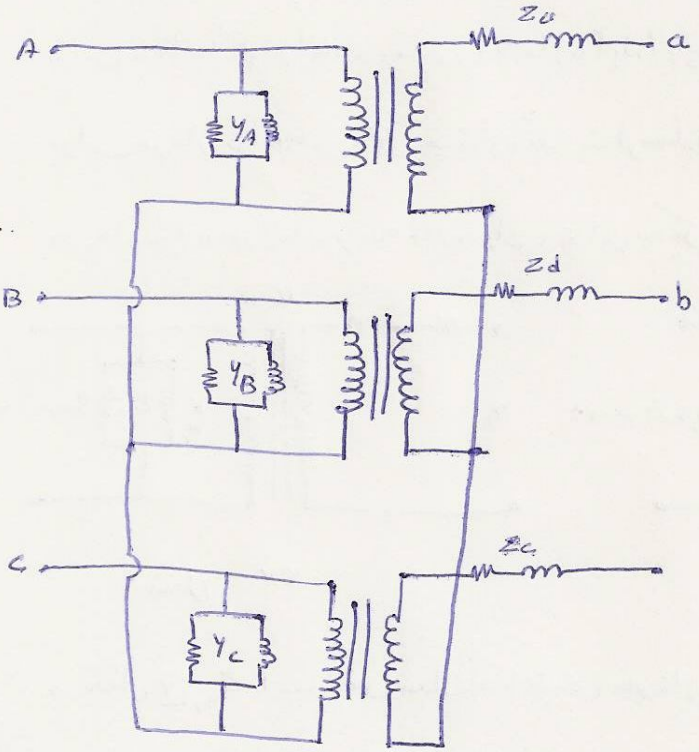
PowerEn.ir

اتصال کوتاه آزمایش بطرف ثانویه تعیین می شود.

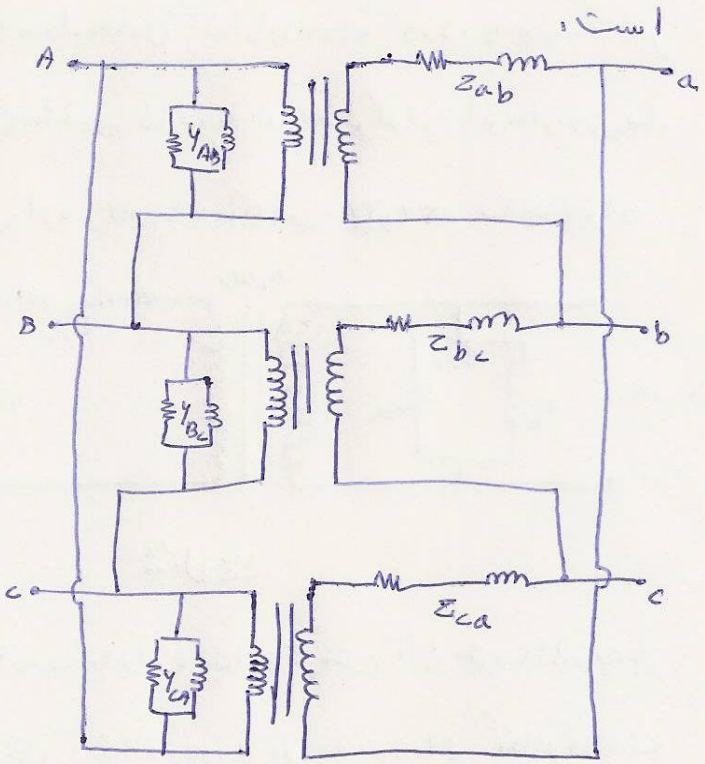
در شکل ۲۷ Z_{m_2} امپدانس مدار مغناطیسی سرفاز برده شده به طرف ثانویه و Z_{e_1} امپدانس معادل یکفاز برده شده به طرف اول می باشند که برای پیدا کردن Z_{m_2} آزمایش به باری از طرف دوم انجام می شود بدین نحو که ثانویه تحت ولتاژ قرارگرفته و اولیه باز می ماند و همینطور برای یافتن Z_{e_1} آزمایش اتصال کوتاه از طرف اول انجام می شود بدین معنی که ولتاژ اتصال کوتاه آزمایش به طرف اول اعمال می شود در حالیکه سرهای ثانویه اتصال کوتاه شده اند.

نسبت تبدیل ممانعه برابر است با نسبت ولتاژهای فازی به هم یعنی $\frac{V_{ph_1}}{V_{ph_2}} = \frac{N_1}{N_2}$ البته با صرفنظر کردن از افت ولت در مقابل بار.

مدار معادل یک ترانسفورماتور سه فازه را از اتصال مدار معادل سه ترانسفورماتور یک فازه مشابه می توان بدست آورد. مثلاً در شکل ۳۸ مدار معادل یک ترانسفورماتور سه فازه با اتصال Y/Y و در شکل ۳۹ مدار معادل یک ترانسفورماتور سه فازه با اتصال Δ/Δ نشان داده شده است:



شکل ۳۸



شکل ۳۹

PowerEn.ir

که در اولی امپدانس مغناطیسی هر فاز نسبت به طرف اول بصورت ادمیتانس آن بیان شده یعنی $Y_A=\frac{1}{Z_{mA}}$ و $Y_B=\frac{1}{Z_{mB}}$ و $Y_C=\frac{1}{Z_{mC}}$ و امپدانس معادل هر فاز نیز به ترتیب با $Z_a=Z_{eYa}$ و $Z_b=Z_{eYb}$ و $Z_c=Z_{eYc}$ مشخص شده است.

و در حالت اتصال مثلث. مثلث Δ/Δ امپدانسهای مغناطیسی هر فاز نسبت به طرف اولیه به صورت ادمیتانس های Y_{AB} و Y_{Bc} و Y_{cA} و امپدانسهای معادل هر فاز آن نسبت به طرف دوم به صورت Z_{ab} و Z_{bc} و Z_{ca} بیان گردیده.

در دو شکل قبلی A و B و C سه سر ورودی و لتاژهای سه فازه به ترانسفورماتور و a و b و c سه سر خروجی از ترانسفورماتور می باشند.

در مطالعه شبکه‌های الکتریکی اجباراً بایستی امپدانس ترانسفورماتورهائی که در شبکه وجود دارند با امپدانس های شبکه ترکیب نمود. در اتصال ستاره ترانسفورماتورهای سه فاز چون امپدانس ترانسفورماتور به صورت سری در خط قرار می گیرد. می توان امپدانس کل هر فاز خط را از مجموع امپدانس هر فاز ترانسفورماتور و امپدانس هر فاز خط انتقال بدست آورد ولی اگر اتصال ترانسفورماتور سه فازه به صورت مثلث Δ باشد. در این موقع بایستی امپدانس معادل هر فاز مثلث را تبدیل به امپدانسهای معادل به صورت ستاره Y نمود تا بدین وسیله بتوان امپدانس هر فاز ترانسفورماتور را مانند حالت اتصال ستاره ستاره با امپدانس هر فاز خط انتقال جمع نمود.

بدین ترتیب با بیان امپدانسهای اتصال Δ به صورت ادمیتانسهای Y_{AB} و Y_{Bc} و Y_{cA} معادل آنها را در حالیکه به صورت اتصال ستاره در آینده مانند Y_A و Y_B و Y_C به ترتیب زیر محاسبه می نمائیم:

$$Y_A=\frac{Y_{AB}\cdot Y_{Bc}+Y_{Bc}\cdot Y_{cA}+Y_{cA}\cdot Y_{AB}}{Y_{Bc}}$$

$$Y_B=\frac{Y_{AB}\cdot Y_{Bc}+Y_{Bc}\cdot Y_{cA}+Y_{cA}\cdot Y_{AB}}{Y_{cA}}$$

$$Y_C=\frac{Y_{AB}\cdot Y_{Bc}+Y_{Bc}\cdot Y_{cA}+Y_{cA}\cdot Y_{AB}}{Y_{AB}}$$

و از طرفی رابطه بین امپدانسهای معادل در اتصال مثلث یعنی Z_{ab} و Z_{bc} و Z_{ac} و وقتیکه به امپدانسهای

POWEREN.IR
PowerEn.ir

معادل به صورت ستاره تبدیل می شوند چنین خواهد بود،

$$\bar{Z}_c = \frac{\bar{Z}_{ca}\cdot\bar{Z}_{bc}}{\bar{Z}_{ab}+\bar{Z}_{bc}+\bar{Z}_{ca}} \quad ; \quad \bar{Z}_b = \frac{\bar{Z}_{bc}\cdot\bar{Z}_{ab}}{\bar{Z}_{ab}+\bar{Z}_{bc}+\bar{Z}_{ca}} \quad ; \quad \bar{Z}_a = \frac{\bar{Z}_{ab}\cdot\bar{Z}_{ca}}{\bar{Z}_{ab}+\bar{Z}_{bc}+\bar{Z}_{ca}}$$

بنابراین می توان یک اتصال مثلث را با یک اتصال ستاره معادل مشخص نمود، به شرطی که ولتاژ خط طرف اول به ولتاژ خط طرف دوم در حالت بی باری یکی باشند. و اتصال Δ - Δ یک ترانسفورماتور سه فازه را می توان با یک ترانسفورماتور Y - Y معادل که دارای ولتاژهای حالت بی باری مساوی هستند نشان داد. همچنین یک اتصال Δ/Y و Y/Δ یک ترانسفورماتور سه فازه را می توان به وسیله اتصال Y - Y معادل آن مشخص نمود، بشرط آنکه نسبت ولتاژهای خط طرف اول و دوم حالت بی باری برای هر دو اتصال یکی باشد، ولی به علت وجود اختلاف فاز بین سیستم ولتاژهای طرف اول و دوم اتصال Y - Δ یا Δ - Y اتصال معادل Y/Y این دو اتصال نمی تواند این اختلاف فاز را مشخص نماید ولی این اتصال روابط بین ولتاژها و یا نمای هر طرف را مشخص می نماید.

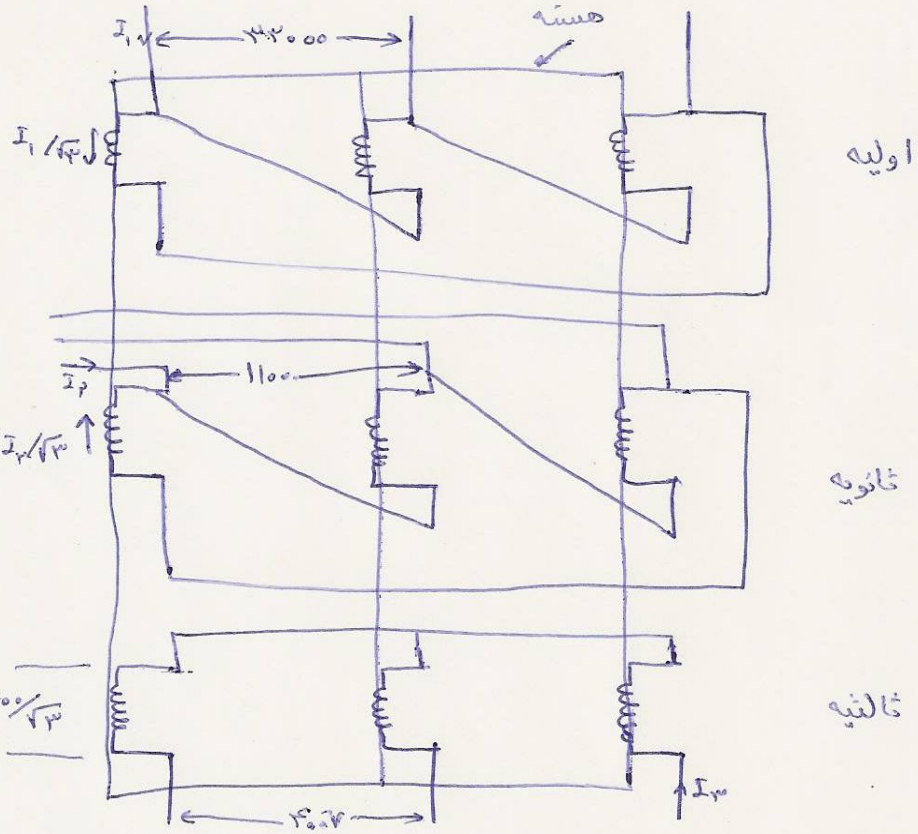
(ترانسفورماتور یک فازه و سه فازه، دکتر علی معلمی، ص ۶۸)

کمیات اسمی ترانسفورماتور:

ولتاژهای اسمی، طبق ضوابط استاندارد B.S.171، مربوط به ولتاژهای خط در حالت بی باری می باشند، وقتیکه نسبت ولتاژهای بی باری برحسب ولتاژهای فاز بیان گردد، عملاً این نسبت برابر نسبت برابر نسبت حلقه ها نیز خواهد بود زیرا افت ولتاژ $I_0 Z_0$ خیلی ناچیز است عبارت نسبت حلقه های خط، مفهومی نداشته و در محاسبات بهتر است که تمام کمیات به فاز تبدیل گردد و دیاگرامی طبق شکل ۲۲ در نظر گرفته شود. این شکل یک ترانسفورماتور ۴۰۰/۱۱۰۰/۳۳۰۰۰ ولت، اتصال Ddy را با اتصال ستاره در ثالثیه نشان می دهد. اگر ولتاژ فازها و جریان داخل بیم پیچ ها معلوم باشد، می توان محاسبات مربوط به بار متعادل سه فاز را بر اساس محاسبات سیستم یک فازه انجام داد، زیرا هریک از فازها تحت ولتاژ، جریان و ضریب قدرت مساوی، یک سوم قدرت کل را حمل می کنند.

PowerEn.ir

جریان بار کامل هر فاز را می توان از تقسیم KVA اسمی یک فاز به ولتاژ اسمی یک فاز (فاز اولیه یا ثانویه) بدست آورد. این موضوع بستگی به نوع تعریف دارد و در B.S.171 بحث شده است. توجه شود که KVA مشخص شده مربوط به تمام ترانسفورماتور ها باشد و در ترانسفورماتورها ~~سه فاز~~ سه فاز سه برابر KVA یک فاز خواهد بود.



شکل ۴۲

POWEREN.IR

POWEREN.IR
PowerEn.ir

ترانسفورماتور سه مداره و چند مداره :

علاوه بر ترانسفورماتورهائی که تاکنون مورد بررسی قرار گرفتند به ترانسفورماتورهای دیگر برخورد می کنیم که دارای سه سیم پیچی و یا بیشتر می باشند. و به ترانسفورماتورهای چند مداره و یا چند سیم پیچه مشهور نده مثلاً در نوع سه مداره آن هر هسته شامل ۳ سیم پیچی می باشد که یکی از این سیم پیچ ها اولیه و دو سیم پیچی دیگر که به نام مدار دوم و سوم باشند بارهای با ولتاژهای اسمی متفاوت را تغذیه می نمایند. این ترانسفورماتورها اغلب برای اتصال سه شبکه با ولتاژهای مختلف و یا بیشتر بکار می روند.

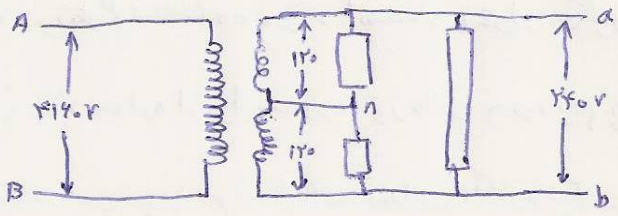
چنانچه بخواهند شبکه ای با ولتاژ V_1 و دو شبکه دیگر را با ولتاژهای V_2 و V_3 همزمان تغذیه نماید می توان به جای دو ترانسفورماتور با ولتاژهای $\frac{V_1}{V_2}$ و $\frac{V_1}{V_3}$ از یک ترانسفورماتور سه مداره که دارای یک سیم پیچی اول و دو سیم پیچی ثانویه که دو ولتاژ مختلف می دهند استفاده کرد. بطوریکه سیم پیچی اول دارای ولتاژ فشار قوی V_1 و سیم پیچی دوم دارای ولتاژ متوسط V_2 و سیم پیچی سوم دارای ولتاژ فشار ضعیف V_3 را شامل باشد. مثلاً در اتصال دو خط انتقال با ولتاژهای ۱۵۰ و ۷۰ کیلو ولت به خط دیگری که برای تغذیه مصرف کننده هائی تحت ولتاژ ۶۰ کیلو ولت در نظر گرفته شده مورد استفاده قرار می گیرند. زیرا برای چنین کارهائی ترانسفورماتورهای چند مداره از ترانسفورماتورهای دو سیم پیچه ارزانتر تمام شده و راندمان آنهم زیادتر می باشد. همچنین در تغذیه مدارهای الکترونیکی معمولاً از ترانسفورماتوری که دارای یک اولیه و دو یا چند ثانویه می باشد استفاده می نمایند. یکی از این ثانویه ها با ولتاژ کم بوده و برای گرم کردن کاتد لامپهای الکترونی بکار می رود و دیگری با ولتاژی در حدود چند صد ولت مدار صفحه را تغذیه می نماید. همینطور ترانسفورماتورهای توزیع هم که ولتاژ مناسب جهت مصارف خانگی ایجاد می نمایند دارای سه سیم پیچی هستند یکی از سیم پیچ ها اولیه بوده و دوتای دیگر ثانویه هستند اختلاف پتانسیل دو سر هرکدام از ثانویه ها ۱۲۰ ولت است. شکل ۴۷ این ثانویه ها را بطور سری بسته شده و بدینترتیب دو نوع ولتاژ ایجاد می نمایند.

PowerEn.ir

یکی ولتاژ ۱۲۰ ولت که همان اختلاف پتانسیل دوسر هرکدام از ثانویه ها است و دیگر ۲۴۰ ولت که اختلاف پتانسیل مجموعه دو ثانویه می باشد. چنین سیستمی دارای سه سر یا سه سیم است که بین سیم اول و وسط و همچنین آخر و وسط ۱۲۰ ولت اختلاف سطح بوده و بین دو سیم اول و آخر ۲۴۰ ولت اختلاف سطح وجود دارد. وسائل روشنائی به فشار ۱۲۰ ولت وصل شده درحالیکه چراغهای خوراکپز الکتریکی و آب گرمکن ها و بارهای مشابه دیگر توسط ولتاژ ۲۴۰ ولت تغذیه می شوند.

با استفاده از ترانسفورماتورهای چند منظوره که دارای دو نوع ولتاژ و یا بیشتری باشند می توان یک سیستم سه فازه با اختلاف سطح های مختلف بوجود آورد. و شبکه ای وسیع توزیع و پخش انرژی را تغذیه نمود.

امروزه ترانسفورماتورهای سه منظوره سه فازه با قدرتهای ۵۶۰۰ تا ۲۱۵۰۰ کیلو ولت آمپر و ولتاژهای ۱۲۱ و ۳۸/۵ و ۱۱ کیلو ولت و یک فازه بقدرت ۵۰۰۰ تا ۴۰۰۰۰ کیلو ولت آمپر و ولتاژهای ۱۲۱ و ۳۸/۵ و ۱۱ کیلو ولت ساخته شده اند. اخیراً ترانسفورماتورهای سه منظوری که ولتاژ فشار قوی آنها ۲۲۰ و ۴۰۰ کیلو ولت است نیز ساخته می شود. (ترانسفورماتور یک فازه و سه فازه، دکتر علی مطیعی، ص)



شکل ۴۳

راندمان:

هنگام بررسی دقیق تلفات ترانسفورماتور، بایستی تلفات دی الکتریک و تلفات پراکنده نیز به حساب آید، ولی در اینجا فرض می کنیم که اینها و به ترتیب در تلفات آهن و تلفات مس منظور شده اند. اگر فرکانس و ولتاژ ثابت باشند، تلفات آهن مستقل از بار می گردد بطوریکه جزو تلفات ثابت به حساب خواهند آمد. تلفات مس برابر I^2R_e است که R_e مقاومت انتقال یافته اولیه به ثانویه است. قدرت خروجی برابر $V_2I_2\cos\theta_2$ و راندمان برابر است با

POWEREN.IR
PowerEn.ir

(تلفات + قدرت خروجی) / تلفات = ۱ - ۸

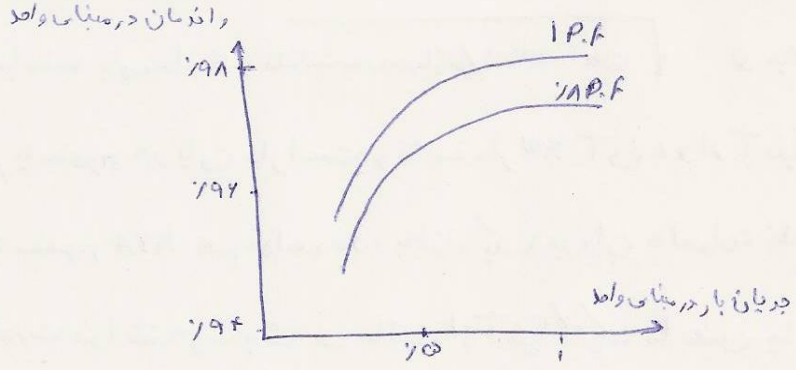
راندمان موقعی ماکزیمم می گردد که تلفات ثابت (تلفات آهن) برابر گردد با تلفی که متناسب با I^2 است (تلفات مس)، یعنی وقتی که رابطه زیر برقرار باشد،

تلفات آهن = $R_e I^2 \frac{(I_{F.L})^2}{(I_{F.L})^2}$ از آنجا که $I_{F.L}$ جریان بار در مبنای واحد، و $R_e (I_{F.L})^2$ تلفات مس در بار کامل می باشند بنابراین راندمان موقعی ماکزیمم است که جریان بار در مبنای واحد برابر باشد با مقدار: $\sqrt{\text{تلفات آهن / تلفات مس در بار کامل}}$ توجه شود که لفت بار در ترانسفورماتور به مفهوم جریان بار است و نه مقدار KW آن، و از آنجا که ولتاژ تقریباً ثابت است بار به مفهوم KVA هم خواهد بود. به ازاء یک جریان دلخواه، تلفات تقریباً بستگی به مقدار ضریب قدرت نداشته و ثابت می ماند. از آنجا که یک ماشین یا بستی طوری طرح گردد که بتواند تلفات مسی را بخارج انتقال دهد، پس مبنای طرح برای کار با جریان متناوب بایستی KVA باشد نه KW، زیرا KVA با جریان، و جریان نیز با تلفا بستگی دارد، در حالیکه KW به مولفه $I\cos\theta$ جریان بستگی دارد.

بزرگترین مقدار راندمان در ضریب قدرت واحد پیش می آید، زیرا در این ضریب قدرت به ازاء یک جریان و یک تلفات مسی، قدرت خروجی ماکزیمم می باشد. شکل ۴۴ دو منحنی راندمان رسم شده است، یکی برای ضریب قدرت واحد و دیگری برای ضریب قدرت ۸/۰ که مربوط به حالتی می گردد که تلفات مس در بار کامل برابر تلفات آهن است. ماکزیمم هردو منحنی به ازاء یک مقدار جریان مبنای واحد صورت می گیرد و در حوالی این مقدار شیب منحنی ها عملاً ثابت می ماند. از آنجا که مقدار تلفات آهن و مس بستگی به وزن آنها دارد، لذا در مراحل طراحی یک ترانسفورماتور، وزن آهن و مس به نحوی تنظیم می گردد تا مناسب برای باری باشد که می خواهیم به ازاء آن راندمان ماکزیمم گردد. ترانسفورماتورهائی که در نیروگاهها، ژنراتور را به شبکه متصل می کنند، یا اصلاً در مدار قرار ندارند، و آن هنگامی است که ژنراتور کار نمی کند، یا اینکه در اکثر اوقات در بار کامل کار می کنند. لذا این نوع ترانسفورماتورها

PowerEn.ir

که ترانسفورماتور قدرت نامیده می شوند، طوری طرح می گردند که در بار کامل تلفات مس و آهن آنها برابر و نتیجتاً راندمان ماکزیمم باشد. از طرفی، ترانسفورماتورهائی که بطور دائم در مدار قرار دارند و اغلب هم در بار خیلی کم کار می کنند ترانسفورماتور توزیع نامیده شده و در طرح آنها تلفات طوری تنظیم می گردند که ماکزیمم راندمان، بسته به تغییرات بار در زمان ۲۴ ساعت، در باری خیلی کمتر از بار کامل صورت گیرد.



شکل ۴۲

راندمان روزانه:

هنگامیکه بار یک ترانسفورماتور طی شبانه روز متغییر باشد، راندمان آنرا بر اساس انرژی و نه بر اساس توان بیان می کنند. با محاسبه قدرت خروجی و تلفات برحسب کیلو وات ساعت (kwh) برای مدت ۲۴ ساعت، راندمان روزانه به قرار زیر تعریف می گردد:

$$\eta = 1 - \frac{\text{تلفات برحسب kwh}}{\text{تلفات برحسب kwh} + \text{قدرت خروجی برحسب kwh}}$$

(ماشینهای الکتریکی و کاربرد آنها، دکتر کاوس قصبه ای، ص ۱۷۲)

تاثیر تغییرات ولتاژ و فرکانس منبع تغذیه:

بعضی اوقات لازم است که ترانسفورماتور در ولتاژ و فرکانس غیر اسمی کار کند. دانستن حدود این تغییرات مطلب مهمی است. ولتاژ اعمالی به یک ترانسفورماتور تقریباً برابر است با emf القایی اولیه، که این خود متناسب است با emf القایی اولیه. که این خود متناسب است با چگالی شار و فرکانس، بنابراین با تقریب خوب رابطه $V = k_1 \hat{B} f$ برقرار است. بدین ترتیب افزایش V بدون افزایش متناسبی در f باعث افزایش چگالی شار و نتیجتاً اشباع آهن می گردد که این خود باعث افزایش جریان مغناطیس کننده و هارمونیک ها می شود.

POWEREN.IR
PowerEn.ir

همین موضوع برای کاهش f بدون کاهش متناسب در X نیز صادق می باشد.

(ماشینهای الکتریکی و کاربرد آنها، دکتر کاوس قصبه ای، ص ۱۴۸)

آزمایشهای ترانسفورماتور:

به منظور تحلیل عملکرد و تعیین عناصر مدار معادل بر روی ترانسفورماتور دو آزمایش انجام می گیرد.

۱- آزمایش بی باری یا S_c از روی نتایج آن آزمایش می توان تلفات آهنی و همینطور مقادیر المانهای شاخه تحریک (R_c و X_m) را بدست آورد.

۲- آزمایش اتصال کوتاه (S_c) از روی نتایج این آزمایش می توان تلفات مسی نامی و همینطور مقادیر امپدانس معادل شاخه سری (R_{eq} و X_{eq}) در ترانسفورماتور را بدست آورد.

(جزوه کارگاه ماشینهای الکتریکی ۲، مهندس بهجان زاده)

آزمایش بی باری:

در این آزمایش یک طرف های اولیه و یا ثانویه را بر حسب امکانات تحت ولتاژ سه فازه قرار می دهند و طرف دیگر را باز نگه میدارند، و در طرفی که ولتاژ اعمال شده اند قدرت تلفات شده را در آزمایش بی باری به کمک روش دو واتمتری اندازه گیری می کنند. و گاهی ولتاژ سه فازه را به کمک اتو ترانسفورماتور سه فازه اعمال می کنند و با تغییر دادن ولتاژ ورودی بین ۲۰٪ ولتاژ نامی تا ولتاژ نامی تغییرات تلفات و جریان بی باری را یادداشت می کنند.

در این آزمایش اگر قطبهای اتصال واتمترها درست انتخاب شده باشند تلفات بی باری برابر حاصل جمع مقادیری است که واتمترها نشان می دهند که آن حاصل جمع را با P_0 نمایش می دهیم از آنجا تلفات همیشه برابر خواهد بود با:

$$P_{Fe} = P_0 - 3R_{1Ph} \cdot I_{0Ph}^2$$

R_{1Ph} مقاومت اهمی یکفاز طرفی است که جریان بی باری I_{0Ph} از آن عبور می کند.

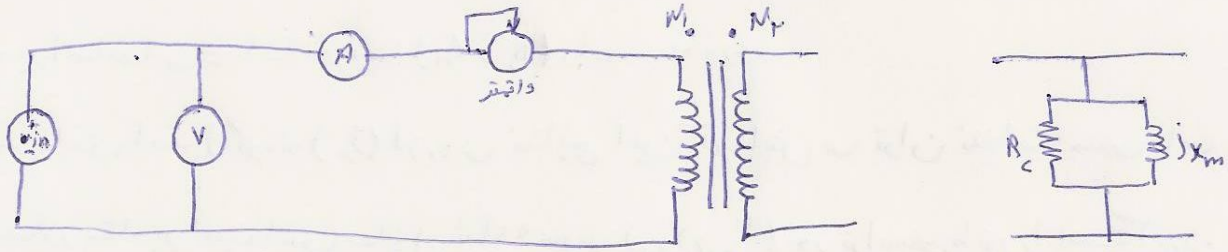
(ترانسفورماتور یک فازه و سه فازه، دکتر علی مطلبی، ص ۸۶)

در این آزمایش اولیه ترانسفورماتور را از طریق یک واتمتر یک آمپرمتر و یک ولتمتر به شبکه ای

PowerEn.ir

با ولتاژ برابر ولتاژ نامی اولیه وصل می کنیم و ثانویه را به صورت مدار باز قرار می دهیم

شکل ۴۵ مدار این آزمایش را به همراه مدار معادل ترانس در هنگام آزمایش بی باری نشان می دهد چون باری در ثانویه نداریم توان که ترانس در این حالت از شبکه می گیرد همان تلفات آهن (هسته است) و جریانی که از شبکه دریافت می شود جریان بی باری می باشد، قسمتی که دارای ولتاژ بالا است در این آزمایش مدار باز می کنیم و وسایل آزمایشگاهی را در قسمتی قرار می دهیم که ولتاژ آن پایین می باشد.



شکل ۴۵

(جزوه کارگاه ماشینهای الکتریکی ۲، مهندس بیجانی زاده)

آزمایش اتصال کوتاه:

در این آزمایش بیشتر مواقع سه سر طرف فشار قوی را اتصال کوتاه کرده و به کمک اتو ترانسفورماتور سه فازه ای ولتاژ را که از صفر شروع می شود به سه فاز طرف فشار ضعیف اعمال می کنند و ولتاژ را در طرف فشار ضعیف آنقدر افزایش می دهند تا جریانهای نامی فازها از پوپین های اولیه و ثانویه عبور کند البته تلفات را به روش دو واتمتری یا قرار دادن وسایل اندازه گیری در طرف فشار ضعیف بدست می آورند در این آزمایش چون سطح ولتاژ اتصال کوتاه پائین تر از ده درصد ولتاژ نامی می باشد لذا تلفات آهن قابل صرفنظر می گیرد و مقادیر نشان داده شده به وسیله واتمترها همان تلفات مسی ترانسفورماتور سه فازه خواهد بود

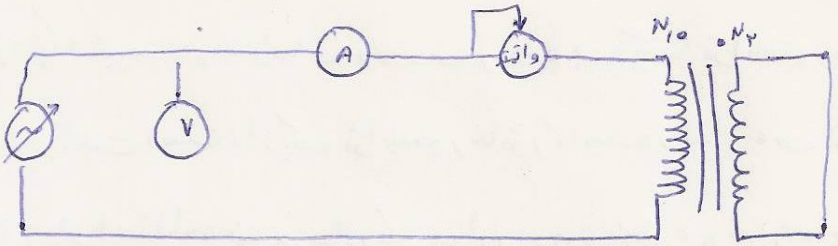
$$P_{sc} = P_{cu} = 3I_{1sc,ph}^2 \cdot R_{1ph} + 3I_{2sc,ph}^2 \cdot R_{2ph} \simeq 3I_{1sc,ph}^2 \cdot R_{e1ph} = 3I_{2sc,ph}^2 \cdot R_{e2ph}$$

در رابطه فوق I_{1sc} و I_{2sc} جریانهای مربوط به آزمایش اتصال کوتاه بوده و R_{1ph} و R_{2ph} به ترتیب اندازه مقاومتهای هر فاز در اولیه و ثانویه می باشند. R_{e1ph} مقاومت اهمی

POWEREN.IR
PowerEn.ir

معادل برده شده یک فاز بطرف اول و $R_{eq_{ph}}$ مقاومت اهمی معادل یک فاز برده شده به طرف دوم هستند. در ترانسفورماتور سه فازه نیز مانند ترانسفورماتور یک فازه نیز می توانیم اندازه امپدانس معادل یکفاز را از تقسیم کردن ولتاژ فازی اتصال کوتاه بر جریان فازی اتصال کوتاه بدست آوریم. (ترانسفورماتور یک فازه سه فازه، دکتر علی مطلبی، ص ۸۷)

این آزمایش در ولتاژهای کمتر از نامی انجام می گیرد برای این منظور اولیه را توسط ولتمتر و آمپرمتر به یک منبع AC تغذیه متغییر مانند اتوترانس متصل می کنیم و ثانویه به صورت شکل ۴۲ اتصال کوتاه می کنیم. ولتاژ منبع تغذیه را از صفر زیاد می کنیم تا جایی که جریان نامی از اولیه بگذرد آنگاه مقادیر اندازه گیری شده را می خوانیم در این حالت چون ثانویه اتصال کوتاه است کل توان دریافتی از منبع تغذیه صرف تلفات مدار می شود. سپس مقداری که واتمتر مدار نشان می دهد همان تلفات مسی نامی است. مقدار آمپرمتر جریان نامی اولیه و مقدار ولتمتر ولتاژ اتصال کوتاه نامی می باشد. بنابراین به علت کوچک بودن ولتاژ آزمایش مقدار توان تلفاتی در دو سر R_c کوچک بوده لذا از آن صرفنظر می شود و کل مقدار واتمتر به عنوان P_{cu} تلقی می گردد. (جزوه ماشین های الکتریکی ۲، مهندس یعقوبی زاده)



شکل ۴۲

انواع دیگر ترانسفورماتور:

اتوترانسفورماتور:

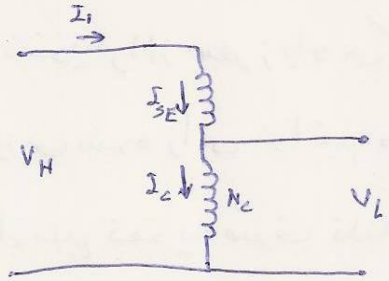
در ترانسفورماتورهای تکفاز و سه فازی که تاکنون مورد بحث قرار داده ایم میم پیچ های اولیه و ثانویه با هم ارتباط الکتریکی ندارند و فقط توسط هسته بهم مرتبط یا کوپله می باشند. در اتوترانسفورماتورها علاوه بر ارتباط و کوپلاژ مغناطیسی توسط هسته ما ارتباط الکتریکی

PowerEn.ir

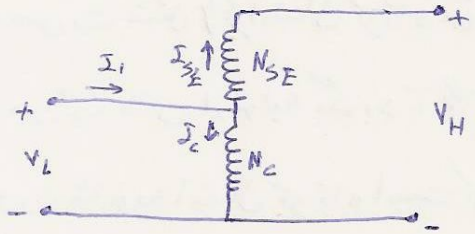
نیز بین سیم پیچ های اولیه و ثانویه وجود دارد. اتو ترانسفورماتورهای بردو نوع اند:

۱- اتو ترانسفورماتورهای تک فاز ۲- اتو ترانسفورماتورهای سه فاز (اصول ماشینهای الکتریکی، دکتر مهدی هاوازی، ص ۱۸۲)

دارای یک سیم پیچی می باشد درواقع دارای یک سیم پیچی مشترکی است که قسمتی از آن به عنوان سیم پیچی مشترک ضعیف استفاده می شود. شکلهای زیر مدار معادل اتو ترانسفورماتورهای را در حالت کاهنده و افزاینده نشان می دهد.



شکل ۴۷ کاهنده



شکل ۴۸ افزاینده

از جمله کاربردهای اتو ترانسفورماتور جهت روشن کردن لامپهای گازی و راه اندازی موتورهای AC و همینطور به عنوان تنظیم کننده ولتاژ برای ارتباط خطوط ۲۳۰kV و ۴۰۰kV می باشد.

(جزوه ماشینهای الکتریکی ۲، مهندس بهجانی زاده)

ترانسفورماتور اندازه گیری:

از آنجائیکه نسبت ولتاژهای ورودی و خروجی یک ترانسفورماتور تقریباً بستگی به بار نداشته و ثابت است، از یک ترانسفورماتور کاهنده ولتاژ، می توان برای اندازه گیری یک ولتاژ زیاد استفاده نمود بطوریکه بتوان بدون خطر، ولتاژهای زیاد را با ضعیف دستگاهای ولتاژ کم استاندارد شده در ثانویه اندازه گیری نمود. همسته این نوع ترانسفورماتورها که ترانسفورماتور پتانسیل (P.T) نامیده می شوند از نوع مرغوب انتخاب می شود و در جائی بار خیلی کمی کار می کند تا اینکه جریان بی باری ناچیز گردد. با دقت کافی در طراحی، می توان مقدار و اختلاف فاز بین ولتاژهای ورودی و خروجی ناشی از تغییرات بار را به حداقل ممکن کاهش داد. ثانویه ترانسفورماتورهای پتانسیل معمولاً برای ولتاژ خروجی ۱۱۵V

POWEREN.IR
PowerEn.ir

طرح می شوند.

هرگاه یکی از دو سیم پیچ ترانسفورماتور بطور سری در یک فاز قرار گیرد و ثانویه آن به یک مثلاً آمپرمتر یا یک رله حفاظتی متصل گردد، یک ترانسفورماتور جریان (C.T) بوجود می آید. در مدار بسته ثانویه این ترانسفورماتور جریانی تولید می گردد که mmf آن با آمپر دور اولیه تعادل برقرار می سازد، یعنی این جریان متناسب با جریان اولیه خواهد بود. ترانسفورماتور جریان معمولاً از نظر نسبت حلقه های اولیه به ثانویه یک ترانسفورماتور افزاینده است زیرا مقدار جریان اولیه که مورد اندازه گیری می باشد معمولاً، ولی نه لزوماً، زیاد است. اکثراً، اولیه بدون سیم پیچ است بدین ترتیب که، فازی که جریان آن مورد اندازه گیری می باشد از درون سیم پیچ ثانویه عبور داده می شود. معمولاً ثانویه ترانسفورماتور های جریان برای ایا ۵ آمپر طرح می گردند. در اینجا هم بایستی در طرح ترانسفورماتور دقت کافی کرد که خطای مربوط به نسبت جریانها و اختلاف فاز بین آنها به حداقل کاهش یابد. بایستی دقت نمود که ثانویه یک C.T هنگامیکه اولیه آن در مدار جریان قرار دارد هیچگاه باز نماند زیرا بدون وجود آمپر دور متعادل کننده ثانویه، جریان اولیه به شدت همیشه C.T را اشباع می کند. در اینجا، بر خلاف ترانسفورماتورهای قدرت که جریان اولیه توسط بار ثانویه تعیین می گردد، جریان اولیه توسط مداری که C.T با آن سری شده تعیین می گردد. همانطور که اشاره شده، استفاده از P.T و C.T دارای این مزیت است که دستگاههای اندازه گیری، از پتانسیل زیاد خط ایزوله می شوند. یک طرف سیم پیچ ثانویه آنها به زمین متصل می گردد تا پتانسیل دستگاهها هیچگاه از ولتاژ ثانویه آنها به زمین متصل گردد تا پتانسیل دستگاهها هیچگاه از ولتاژ ثانویه تجاوز نکند.

ترانسفورماتور برای فرکانس های زیاد

برای ترانسفورماتورهائی که با فرکانس بالاتر از حد فرکانس قدرت (۵۰ الی ۶۰ هرتز) کار می کنند بایستی ضخامت ورقه ها کاهش یابد تا تلفات آهن در حد قابل قبول قرار

PowerEn.ir

گیرد. باژاء فرکانسهائی بیش از چند کیلو سیکل در ثانیه، لازم است که از پودر آهن یا فرریت در ساختمان هسته استفاده گردد. این نوع مواد دارای خواص مغناطیسی مناسبی بوده و تلفات جریانی فوکو در آنها ناچیز است.

در این نوع ترانسفورماتورها متغیر بودن فرکانس جزو شرایط کار عادی می باشد و وقتی که فرکانس افزایش یابد، درجه اهمیت المانهای مدار معادل نیز تغییر می کنند. به عنوان مثال، در فرکانسهای خیلی کم راکتانس مغناطیس کننده آنقدر کم هست که مقدار آن در حدود، یا حتی کمتر از امپدانس بار خواهد بود، بطوریکه باعث اتصال کوتاه بار و نتیجتاً کاهش ولتاژ خروجی می گردد. در فرکانسهای حد متوسط، تاثیر X_m بیش از آنست که از آن صرفنظر گردد و مقدار راکتانس پراکندگی در حدی است که افت ولتاژ آن در حد قابل قبولی قرار دارد. با افزایش فرکانس، افت ولتاژ در راکتانس پراکندگی نیز افزایش یافته و باعث افت شدید در ولتاژ خروجی می گردد. در فرکانسهای بالا، کاپاسیتانس موجود بین حلقه ها، و بین سیم پیچ و زمین قابل ملاحظه می گردد زیرا بصورت موازی در مدار توزیع شده اند و عمل آنها نظیر یکبار یا ضریب قدرت پیش فاز می باشد. در طرح این نوع ترانسفورماتورها این مساله مطرح است که یک زیگنال ورودی که مولفه های آن دارای فرکانسهای مختلفی می باشند بتواند بدون تغییر زیاد از اولیه به ثانویه منتقل گردد، مثلاً یک ورودی که ملیف فرکانس کمپلکس آن مربوط به نت موسیقی باشد. در سیستم های قدرت زیاد نیز، با افتراع تایریستورها، ولتاژ منبع تغذیه ممکن است خیلی از فرم سینوسی بدور باشد و بصورت پله ای و یا سایر موجهای مرکب دیگر ظاهر گردد. (ماشینهای الکتریکی، دکتر کاوس قمبه ای، ص ۲۴۰)

ترانسفورماتورهای آزمایشی

برای آزمایشات مواد از قبیل عایقها و روغن ها و غیره و مطالعات مختلف و متنوع دیگر نیاز به ولتاژهای بسیار بالا در حدود ۵۰۰ تا ۲۰۰۰ کیلو ولت با فرکانس صنعتی است و دستگاه

PowerEn.ir

اصلی مهیا کننده چنین ولتاژهائی همانا ترانسفورماتور می باشد البته متذکر می شویم که ولتاژهای آزمایش بین یک میلیون تا ده میلیون نیز بوسیله مولدهای مخصوص مجهز به کنداکتورها جهت ایجاد موج ضربه‌ای انجام می گیرد.

ترانسفورماتور آزمایش اولیه آنقدر تفاوتی با ترانسفورماتورهای قدرت معمولی نداشتند بدین جهت کارآئی و رضایت مورد نظر را حاصل نمی دادند لذا امروزه در این مورد ترانسفورماتورهای آزمایش تحت شرایط زیر ساخته می شوند.

۱- توزیع اجباری ولتاژ فشار قوی در تمام مسیر مونتاژ فشار قوی بطوریکه امکان ثابت نگهداشتن پتانسیل در نقاط مختلف مونتاژ نسبت به زمین حاصل دهد.

۲- توزیع ولتاژ کلی روی چندین ترانسفورماتور که بطور سری یا آبشاری با هم بسته شده اند.

۳- استفاده و کاربرد ترانسفورماتورهای کمکی که مشهور به ترانسفورماتورهای مجزا یا عایق کننده می باشند.

۴- کاربرد یک سیم پیچی فشار قوی بعد از یک نوع عایق یا ایزولاتور یا کاپاسیته.

ترانسفورماتورهای آزمایش ممکن است بصورت خشک و یا در داخل روغن باشند.

POWEREN.IR
PowerEn.ir

موضوعات طراحی ترانسفورماتور:

موضوعات طراحی ترانسفورماتور را در پنج قسمت مورد بحث و مطالعه قرار می دهیم.

قسمت اول - مدارهای مغناطیسی - شامل ساختمان، محاسبه تلفات در آن، محاسبه جریان بی باری، محاسبه جریان ناگهانی در موقع زیر ولتاژ قرار دادن و صدا.

قسمت دوم - سیم پیچی ها - شامل ساختمان، محاسبه ابعاد، محاسبه تلفات و راندمان، محاسبه افت ولتاژ و ولتاژ اتصال کوتاه، محاسبه نیروهای الکترودینامیکی، نوع اتصالات و کوپلاژ و شرایط کارموازی.

قسمت سوم - عایقکاری - مطالعه عایقها، تجربه و آزمایش دی الکتریک ها، مطالعه مقاومت دی الکتریک، ساختمان عملی عایقها

قسمت چهارم - گرما و خنک کردن - مقررات نسبی درگرم شدگی و قانون پخش حرارت، روشهای خنک کردن.

قسمت پنجم - مخزن با ملحقاتش

قسمت اول - مدار مغناطیسی

مدار مغناطیسی یک ترانسفورماتور در حالیکه بوسیله یک موج فوران متناوب طی می شود سطح مقطع آن باید طوری تقسیم شده باشد که تلفات حاصل از جریانهای فوکو در حدی معقول محدود گردد. و برای رسیدن باین خواسته بنا بآنچه که قبلاً نیز ذکر شده از ورقه های فولاد مخصوص با ضخامت بسیار کم که یکی از دیگری عایق شده استفاده می شود. مدار مغناطیسی اساساً مجموعه دوی هم چیده شده‌ای از ورقه‌های مغناطیسی مناسب است که بکمک بست ها ی محکم کننده‌ای بهم فشرده و نگهداشته می شوند. ورقه های متوالی روی هسته ها و فلاسک ها روی یوغ ها یا کولاس ها بوسیله پیچ مهره های بلند بهم فشرده می شوند.

POWEREN.IR
PowerEn.ir

ورقه‌های مغناطیسی : سه نوع ورقه مغناطیسی متداول می باشد .

۱- ورقه‌های مغناطیسی معمولی که بطور گرم نورد شده‌اند .

۲- ورقه‌های مغناطیسی سرد نورد شده با گرید بالای جهت داده شده .

۳- ورقه‌های مغناطیسی با نیکل

۱- ورقه‌های مغناطیسی معمولی یا گرم نورد شده : فولادی بکار رفته در این ورقه‌ها فولاد با سیلیسیم است مخصوصاً مطالعه شده که تلفات وانه کم و ضریب نفوذ بزرگ داشته باشند و با یک اندازه سیلیسیم بین ۲ تا ۵ درصد مشخص شده‌اند . اضافه و الحاق سیلیسیم برای کاهش تلفات اثر دیسترزیس و افزایش مقاومت مخصوص ورقه می باشد ، از طرفی چون تلفات فوکو با مقاومت مخصوص نسبت عکس دارد لذا بالا رفتن مقاومت مخصوص موجب کاهش تلفات حاصل از جریان‌های فوکو می‌گردد و بعلاوه سیلیسیم عملاً پدیده پیر شدگی را در ورقه‌ها از بین می برد . البته پیر شدگی بوسیله افزایش آهسته و مداوم تلفات برحسب زمان مشخص گردیده است . داخل شدن سیلیسیم در فولاد گاهی مشکل شکننده شدن را در ورقه‌ها موجب می‌گردد .

بدینجهت اندازه آن در حد تقریباً ۵ درصد محدود گردیده ورقه‌های مغناطیسی معمولی بطور گرم نورد شده و بنابراین سطوحشان بوسیله یک قشر اکسید گریزاتر معروف به کالامین پوشیده می‌شوند . بیشتر اوقات ورقه‌ها را در حالیکه پاک و صیقل شده تهیه و فراهم می نمایند و برای این عمل قشر کالامین را با روشی خاص که فلز را ضایع نکند از سطح فلز برمیدارند . بطور تجارتی ورقه‌ها به صورت صفحه مربع مستطیلی و معمولاً با ابعاد ۲m x 1m متر یا بصورت لوله شده (رل) تا به پهنای ۸۰۰ میلیمتر و ضخامت معمولاً ۰/۳۵ میلی متر عرضه می شوند . سطوح ورقه‌ها باید صاف و یکنواخت و تمیز و مصون از زنگ و همینطور از جمیع عیوب از قبیل ترک و خط و سولفور و حفره و زبری و ناهمواری و غیره ... باشد و ورقه‌ها نباید نه تموج‌هائی که خاصیت گسترده شدن ندارند و نه کشش‌های داخلی از خود نشان دهند . جنس ورقه‌های

PowerEn.ir

مغناطیسی به وسیله اندازه گیری تلفات مخصوص و ضریب نفوذ آنها بکمک مدار مغناطیسی بنام اپشتاین مورد مطالعه و بررسی قرار می گیرد.

برای کنترل کردن کیفیت مکانیکی ورقه ها به آزمایشات تاکردن تناوبی تحت زاویه ۹۰ درجه که به کمک دستگاه مخصوصی اجرا می شود می نمایند و تعداد تاکردن ها بستگی به کیفیت ورقه خواهد داشت.

۲- ورقه های مغناطیسی با کریستالهای جهت داده شده:

ورقه های مغناطیسی با سیلیسیم و با کریستالهای جهت داده شده قبل از سال ۱۹۴۹ در آمریکا تهیه شده و امروزه بطور عمومی در ساختمان ترانسفورماتورهای قدرت بکار برده می شوند.

مطالعات آزمایشگاهی نشان داده که کریستالهای آهن از نوع مکعبی بهترین خاصیت مغناطیسی را دارا هستند. وقتی خوران طی کننده اش در امتداد موازی با خطوط تقاطع سطوح مکعب ها می باشد تلفات موثرشان نیم و قابلیت نفوذش ماکزیمم مقدار را دارد و در جهتی بغیر از حالت فوق خوب نبودن مشخصه اش بطور محسوس ظاهر می شود.

در ورقه های معمولی گرم نورد شده که در آن کریستالها بطور اجباری جهت داده نشده اند وگاهی بطور بسیار ضعیف در جهت نورد شدن قرار می گیرند نشان می دهد که مقدار تلفات آهنی با شرط گذر خوران در امتداد نورد شدگی قدری کاهش می یابد و این تفاوت تلفات آهنی اندازه گیری شده با خوران گذرنده در جهت نورد نسبت به حالتیکه خوران در جهت عرضی عبور کند در حدود ۵۰ درصد می باشد.

پیدا کرده اند که نورد ورقه های سیلیسیم دار در حالت سردی بخاطر اثر داشتن ردیفا بندی کریستالها در تغییر شکل پلاستیکی بوده. گامی عمل نورد کشش های مکانیکی داخلی زیان آوری را در مشخصه های مغناطیس و مکانیکی ورقه ها ایجاد می کند لذا جهت غلبه بر این اثر به روشی حرارتی در فضائی بیاراکسیدی عمل می نمایند. حد عمل جهت دادن کریستالهای را در ورقه های جدید که بطور سرد نورد شده اند.

PowerEn.ir

ورقه‌های با کریستالهای جهت داده شده بوسیله آهن بسیار خالص نسبت به ورقهای معمولی تهیه می‌شوند که در آنها خصوصاً اندازه کربن از ۰/۰۴٪ درصد به ۰/۰۰۵٪ درصد تنزل یافته و شامل ۲ تا ۳٫۵ درصد سیلیسیم می‌باشند و بطور سرد نورد شده و دارای سطحی کاملاً صاف و یکنواخت هستند. بطور تجارتی ورقه‌های مغناطیسی با کریستالها جهت داده شده در بسته بندیهای با طول بزرگ و پهنای متغیر بین ۱۳ تا ۷۹۰ میلیمتر و یا بصورت لوله شده. بشکل استوانه عرضه می‌شوند. وزن معمولی بسته‌ها ۴۵ کیلوگرم بر سانتیمتر پهنا می‌باشد. همینطور می‌توان بصورت صفحه‌ای به ابعاد ۷۸٪ × ۳ متر نیز عرضه کرد. ضخامت معمولی ورقه‌ها ۳۵٪ میلیمتر می‌باشد ورقه‌هایی به ضخامت ۳٪ میلی متر نیز می‌توان دریافت نمود.

۳- ورقه‌های با نیکل:

برای بعضی از کاربردهای اختصاصی مثلاً مدار مغناطیسی ترانسفورماتورهای جریان از ورقهای مغناطیسی با نیکل استفاده می‌شود که با نام تجارتی پرمالوی یا نومتال معروف شده است. که دارای نسبت یک درصد نیکل در آلیاژ می‌باشد. این ورقه‌ها مخصوصاً از خود ضریب قابلیت نفوذ بسیار زیادی را عرضه می‌کنند.

عایق ورقه‌های مغناطیسی:

بخاطر اجتناب از جریانهای مزاحم که در لایه‌های متوالی ورقه‌ها پدیدار می‌شوند و این لایه‌ها داملی می‌نمایند مناسب است که جهت غلبه بر آنها ورقه‌ها ازهم عایق بشوند.

عایق با کاغذ:

قبلاً برای عایق کردن ورقه‌ها از کاغذ استفاده می‌شد بطوریکه صفحه کاغذ بضخامت ۰/۰۲٪ تا ۰/۰۳٪ میلیمتر را روی یک طرف ورقه‌ها می‌چسپاندند و با در تماس گرفتن قشر چسب و با قدری افزایش در اندازه باید یک ضخامت کل ۰/۰۳٪ تا ۰/۰۴٪ میلیمتر را بحساب آورد.

مزیت این روش عایق کاری لزوم ایجاد تاسیسات گران قیمتی را پیش نمی‌آورد و گاهی ایجاب می‌کرد که بعضی از احتیاطات را برای محدود کردن مقادیری مناسب و درجه گرما

POWEREN.IR
PowerEn.ir

در داخل مدار مغناطیسی که بکار برده می شود انجام گیرد.

عایق پاورنی:

بعد از عمل لعاب کاری پاورنی مورد استفاده قرار گرفته که مبتنی بر اندود کردن دو سطح ورقه بوسیله ورنی مانند مخصوصی که آنرا پخته و بصورت شیشه درکوره های با درجات بالا در آورده اند. و اضافه ضخامت کل در حدود ۱٪ میلیمتر (دو دفعه ۰/۰۰۵٪) عایق بندی است. خاصیت عایقی و چسبندگی و مقاومت در برابر حرارتشان عالی هستند.

عایق با کارلیت:

یک نوع جدیدی از عایقکاری که همزمان با ورقه های مغناطیسی با کریستالهای جهت یافته پیدا شده و مبتنی بر کاربردن قشر بسیار سطحی و نازکی چون عمل فسفاتاسیون که ایجاد یک فیلم عایق بسیار نازک و ضعیف در حدود میکرون با نام کارلیت می نماید. ورقه های با کریستالهای جهت یافته از جنس M۹x و M۷x و M۸x بوسیله این عایق عایقکاری و عرضه می شوند و ضمنا بعد از عمل هیچی و پرش کاری در کارخانه دوباره تحت درجه حرارت برابر ۸۲۰°C پخته می شود. گرچه ارزش عایقی کارلیت با بعضی از انواع عایق های پاورنی برابری نمی کند ولیکن به علت زیاد چین نبودن ورقه کفایت می کند. برای مدارهای مغناطیسی که در آنها ورقه های عایق شده با کارلیت و یا پهنای بزرگ بکار رفته می توان ورقه ها را خواه دوباره با عایق ورنی عایق کاری نمود و خواه باین ترتیب که قسمت به قسمت در ضمن چیدن ورقه های مدار مغناطیسی عمل عایقکاری را انجام داد.

بررسی عایق ورقه ها:

درجه موثر بودن عایق ورقه ها را در شرایط زیر مورد بررسی قرار می دهند. ۲۵۰ نوار یا ورقه از ابعاد ۳۰×۳۰ سانتیمتر را بعد از پلیسه برداری چیده و بین دو الکترود که تقریبا با سطح معادل سطح ورقه ها دارد. قرار داده و تحت فشار ۷۰ N/cm² فشرده می شوند و آنگاه به دو الکترود دو سر منبع جریان دائمی که در مسیر آن یک رئوستا قرار گرفته اعمال گردیده و رئوستا طوری تنظیم

PowerEn.ir

می شود که ولتاژ اعمال شده برابر یک ولت باشد و آنگاه در انتهای زمانی برابر یکدهم ثانیه
مدار را یادداشت می کنند. بعنوان مثال برای ورقه های عایق شده یا کارایت این جریان باید
در حدود ۱ آمپر باشد.

شکل مدارهای مغناطیسی:

مدارهای مغناطیسی عموماً از قسمت های راست تشکیل یافته اند. قسمتی که سیم پیچ ها بر آنها
پیچیده می شوند با نام هسته و قسمتی که هسته ها را بهم متصل می کند و مسیر برگشت خطوط را
مهیا می سازد با نام یوغ یا کولاس یا جوشن نامیده می شوند.

ما نظور که قبلاً ملاحظه شد مدارهای مغناطیسی را بدو دسته تقسیم نمودیم.

الف- مدارهای مغناطیسی ستونی ب- مدارهای مغناطیسی زرهی

در مدارهای مغناطیسی ستونی عموماً مقطع هسته ها دردایره ای محاط می باشند و بصورت
قائم بشکل ستون قرار می گیرند. ویوغ ها که هسته ها را بهم متصل می نمایند بطور افقی واقع
می شوند. در مدار مغناطیسی بشکل زرهی مقطع هسته ها یا بشکل محاط شده در
یک دایره بوده یا بشکل مستطیل می باشند و یوغ ها سیم پیچی ها را در برگرفته و مشابه
زرهی محافظت کننده هستند. در واقع هسته ها و یوغ ها عموماً در یک صفحه بوده و حفاظت
بسیار جزئی می باشد.

برای قدرت های بسیار بزرگ از فقط ۱ فاز مصل و نقل بدون آنکه قطعات از هم دیگر باز شوند
غالباً سه دستگاه تکفازه مجزا بجای یک سیستم سه فازه واحد بکار می برند.

متذکر می شویم که در مدارهای مغناطیسی سه فازها از نوع زرهی و بشکل افقی و نوع پنج ستونی
و نوع تشکیل شده از سه مدار تکفاز فوراً نهای هسته مستقل هستند بدینجهت اینگونه مدارها
با فوران آزاد یا مستقل می نامند. ترانسفورماتورهائی که این چنین مدارهای مغناطیسی را
شامل هستند باید بطور معمول یکی از سیم پیچی های یا طرف اول یا دوم بصورت مثلث
بسته شوند.

POWEREN.IR

POWEREN.IR
PowerEn.ir

نحوه چیدن و تماس ورقه‌ها:

ملاحظه کردیم که مدارهای مغناطیسی بطور معمول از قسمت های مستطیلی شکل تشکیل شده اند. اتصال بین این قسمت ها را با هم نقاط اتصالات نامگذاری می نمائیم و و نوع از اتصالات بکار برده شده اند اتصالات در یک صفحه مسطح و مستوی و اتصالات عمامه‌ای یا دو پهلو.

الف- روش چیدن در یک صفحه مسطح:

با روش چیدن در یک صفحه، قسمتهای مختلف مدار مغناطیسی از قبیل هسته‌ها و یوغ ها بطور مجزا انجام شده. سطوح مشخص شده ایکه یکی روی دیگری منطبق می شود باید کاملاً مسطح باشند البته آنها غالباً در کارخانه عمل می شوند و ضمن این عمل در کارخانه باید نهایت مواظبت شود تا از کوبیده شدن بهم و تماس بین ورقه اجتناب گردد.

برای جلوگیری از درست لب بالب قرار نگرفتن ورقه های یوغ با ورقه‌های هسته که موجبات اتصال کوتاه شدن آنها را فراهم می سازد بین دو سطحی از یوغ و هسته که ورقه‌ها لب بهم تکیه می کنند یک صفحه عایق به ضخامت ۱/۲ تا ۳/۴ میلی متر با سختی مکانیکی بزرگ قرار می دهند. یوغهای منطبق شده بر هسته‌ها بوسیله میله های پیچ و مهره دارای بهم فشرده شده و نگهداری می شوند. قسمتهای مختلف مدار مغناطیسی که یک از دیگری به وسیله عایقهای نقاط اتصالات یا تماس ها از هم مجزا مانده اند. می توانند به وسیله پتانسیل های حاصل از اندوکسیون الکترواستاتیکی سیم پیچ های مجاور هم بار شوند. برای پرهیز از دشارژ مناسب است که آنها را بطور الکتریکی با اتصالاتی بهم وصل نمود. باید متوجه بود که اتصالات نباید با ورقه‌ها مجموعاً یک مدار یا یک حلقه بسته ایکه بوسیله شوران طی گردد درست کند. نحوه اتصالات یا تماس ورقه ها در یک سطح این مزیت را دارد که براحتی می توان مدار مغناطیسی را از هم باز و پیاده نمود. ولی از آنجائیکه بعمل آوردن این چنین مدار مغناطیسی دشوار می باشد لذا کمتر مورد کاربرد دارد.

POWEREN.IR
PowerEn.ir

نحوه چیدن بصورت فلس ماهی یا سامانه‌ای

با نحوه چیدن بصورت فلس ماهی، هسته‌ها و یرغ‌ها مجموعاً با هم لایه به لایه بطور متوالی روی هم سوار می‌شوند. ورقه‌های قسمت‌های مختلف در دو محل بهم رسیده و متکی می‌شوند. و فوران عبور کننده از ورقه در محل اتصال یا پیوستگی یک قسمت از هوا و یک قسمت از ورقه هم بوار می‌گذرد و تابعی از لوکتاش بوده و همواره سعی می‌شود که در قسمت اخیر فوران را با عملی کردن فواصل هوائی حداقل ممکن کمپک کاهش دهند.

پیوستگی بصورت فلس ماهی امکان دارد بشکل چهار گوش قائم و یا بصورت مقاربی یا مایل انجام گیرد. از ورقه‌های مغناطیسی معمول افزایش تلفات که از این روی هم آمدن ورقه‌ها حاصل می‌گردد. ناچیز و قابل صرفنظر کردن بود و اندازه‌اش در ورقه‌های با کریستالهای جهت یافته یکسان نمی‌باشد.

در مورد مدارهای مغناطیسی سه فازه با سه ستون و در یک صفحه باید فورانهای سه هسته همدیگر را در اتصال وسطی صفر کنند و در این قسمت فوران بطور دائم جهت خود را عوض می‌کنند و ورقه‌های بریده شده که این خواست را تامین نمایند اما سنگ وجود ندارد.

ورقه‌های مغناطیسی در کارخانه بریده شده و سوراخ کاری و پلیسه برداری گردیده و دوباره پخته و در صورت لزوم عایق کاری می‌شود.

همانطوریکه سابقاً گفته کردیم اجزاء تشکیل دهنده یک مدار مغناطیسی معمولاً مستطیلی یا ذوزنقه‌ای امتالاً با یک زاویه ضعیف هستند.

جمع آوری یا سوار کردن مدارهای مغناطیسی

مجموعه ورقه‌های تشکیل دهنده مدار مغناطیسی را باید با مواظبت بهم فشرد برای آنکه با آنها یک استحکام و سختی مکانیکی داده شود و تا از پدیده لرزش جلوگیری شده باشد. هسته‌های با ابعاد کوچک و متوسط گاهی بوسیله ماشین پرس فشرده می‌شوند. یا در مونتاژهائی بصورت متراکم بوسیله بندهای عایق نگهداری می‌شوند. برای ورقه‌های با ابعاد خیلی بزرگ هسته را به وسیله میله‌هائی که بطور منظم فاصله داده شده‌اند فشرده می‌کنند.

POWEREN.IR
PowerEn.ir

یافته . $W_f = W_h = 15\ (W_f + W_h)$

برای محاسبه تلفات آهنی در یک مدار مغناطیس ابتدا آنرا به قطعات مشخص تقسیم می نمائیم که در آنها اندوکسیون مختلف است مثلاً مانند هسته ها و یوغ ها ـ برای هر قسمت جرم آن قسمت را در تلفات بر یک کیلوگرم آن در فرکانس کار و اندوکسیون مربوطه ضرب می نمائیم سپس حاصلجمع تلفات تمام این قسمتها تلفات کل را در مدار مغناطیس ارائه خواهد نمود. تلفات اضافی که در بعضی از قسمت های مدار مغناطیس در اثر اغتشاش فوران در آن قسمت ها حاصل می گردد از قبیل محل های فلزی نزدیک به مدار مغناطیس مانند میله های آهنی و ورقه های مترس و فلاسک ها و غیره ـ

برای در نظر گرفتن تلفات اضافی تلفات آهنی محاسبه شده در قبل را در ضریب تجربی و متغیر با پهنای ورقه های هسته ضرب می نمایند.

برای مدارهای مغناطیس با ورقه های معمولی و اتصالات چهار گوش یا با ورقه های با کریستالهای جهت یافته و اتصالات مطلوب می توان این ضریب را وقتیکه بزرگترین پهنای ورقه های هسته کوچکتر یا برابر ۱۰۰ میلیمتر باشد برابر ۱/۱ گرفت و در مواقع پهنا تا ۳۰۰ میلی متر و بیشتر آنرا مساوی ۱/۳ انتخاب می نمایند .

تلفات ژولی حاصل از جریان مغناطیس کننده که آنرا باید جزو تلفات مالت یی باری بحساب آورد معمولاً بعلت کوچک صرفنظر می شوند.

همانطوریکه به تحقیق می رسد تلفات آهن با یک دقت زیادی تعیین و مشخص نمی شوند. تلفات حاصل از هیستریس و جریان فوکو بستگی به جنس ورقه ها و نحوه دو بار پختن آنها دارند. و تلفات اضافی مبتنی بر تجربه می باشند و لازم به تذکر است که مقدار تلفات بدست آمده با یک خطائی برابر ۱۵٪ تضمین می شوند.

برای کار در حالت ولتاژ ثابت تغذیه تلفات آهنی با بار مصرفی و $\cos\varphi$ پس ماز کاهش می یابد و با بار مصرفی و $\cos\varphi$ پیش ماز افزایش می یابد.

POWEREN.IR
PowerEn.ir

و فشار روی سطوح بو سیله صفحات فشارنده توزیع می گردد. یا با ورقه های مترس از فولاد معمولی یا مغناطیسی. فشاری در حدود ۲ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع سطح برای ورقه های یا بسته های بزرگ مورد پذیرش می باشد.

یونیت ها بو سیله فلاسکهائی از آهن پروفیل یا با ورقه های جوش شده، و امتالاً یا چوب برای ترانسفورماتورهای با قدرت کم، یا با میله های مجهز به پیچ و مهره فشرده می شوند.

محاسبه مدار مغناطیسی:

محاسبه ابعاد: برای اجرای محاسباتی که مدار مغناطیسی را شامل می شود. لازم است که از آن نوع و ابعاد و اندازه و اندوکسیون در ولتاژ نامی و ابشناسیم برای یکدستگاه موجود ابعاد مدار مغناطیسی معلوم هستند و اندازه اندوکسیون ماکزیمم را در ازاء ولتاژ اولیه و تعداد حلقه های سیم پیچی اولیه و فرکانس و سطح مقطع مدار آن مطابق رابطه زیر خواهیم داشت

$$B_m = \frac{V_1}{n_1} / 4,44 . f . S$$

B_m: اندوکسیون ماکزیمم بر حسب تسلا - $\frac{V_1}{n_1}$: ولتاژ موثر ولت بر هر حلقه در سیم پیچی اولیه

f: فرکانس پریودها در هرثانیه - S: مقطع موثر و خالص مدار مغناطیسی بر حسب متر مربع

محاسبه تلفات در آهن:

تلفات در آهن عبارتند از: - تلفات حاصل از هیسترزیس - تلفات حاصل از جریانهای فوکو - تلفات اضافی

تلفات هیسترزیس با فرمول $W_h = k_h f B_m^n$ و تلفات حاصل از جریانهای فوکو با فرمول $W_f = k_f e^2 f^2 B_m^2$ مشخص می شوند.

که در آنها k_h و k_f ضرایب مربوط به مشخصات ورقه ها می باشند - f: فرکانس - e: ضخامت ورقه - B_m اندوکسیون ماکزیمم n - نمایی است که دارای تغییرات جزئی و کوچک برحسب اندوکسیون بوده و حدوداً برای اندوکسیونهای نرمال و معمولی برابر ۲ می باشند

برای ورقه های معمولی $W_h = 17 (W_f + W_h)$ و $W_f = 13 (W_f + W_h)$ برای ورقه های با کریستالهای جهت

POWEREN.IR
PowerEn.ir

محاسبه قدرت مغناطیس کننده و جریان بی باری:

قدرت مغناطیس کننده قدرت راکتیوی است که خوران را در مدار مغناطیسی استقرار می دهد و برای محاسبه این قدرت ساده ترین روش همان روش محاسبه تلفات آهنی می باشد تصور ذهنی تلفات راکتیو حاصل در جرم یک کیلوگرم ورقه ها ملی شده بوسیله خوران سینوسی با اندوکسیون ماکزیمم B_m و فرکانس f مانوس ذهنی است، لیکن قدرت مغناطیس کننده در کیلوگرم ورقه ها کمتر آشنا تر است.

فرض کنیم یک مدار مغناطیس با سطح مقطع s و طول l و شامل سیم پیچی تحریک با n حلقه باشد جریان مغناطیس کننده با فرمول زیر داده می شود. $n_{im} = R\varphi = \frac{l}{\mu s} B_s = \frac{B}{\mu} l$

$i_m = \frac{Bl}{\mu n}$ و ولتاژ دوسر سیم پیچی خواهد بود. $U = k B s f n$ و قدرت مغناطیس کننده $U_{im} = k B s f n \frac{Bl}{\mu n}$. از آنجا اندازه قدرت مغناطیس کننده برای واحد حجم یا وزن چنین خواهد شد. $\frac{U_{im}}{sl} = k \frac{B^2}{\mu} f$

برای فرکانس معین شده ای اندازه آن وابسته به اندوکسیون می باشد البته ضریب قابلیت تغوذ دارای همان تابع اندوکسیون است.

در محاسبه قدرت مغناطیس کننده متعلق به یک مدار مغناطیسی باید تلفات اضافی در اتصالات و امتداد روا ضای میله های مجهز به پیچ و مهره و یا در محل هائیکه اندوکسیون افزایش یافته باشد در نظر گرفت. جریان مغناطیس کننده از قدرت مغناطیس کننده نتیجه می شود. برای محاسبه قدرت ظاهری حالت بی باری مدار مغناطیسی را به حجمهائی که در آنها اندازه اندوکسیون با هم متفاوت و متمایز است تقسیم می کنند هر یک از این مقادیر تغییر تعدادی ولت آمپر بر کیلوگرم در روی منحنی های ذکر شده بوده آنرا در جرم قسمت مربوطه به خودش باید ضرب نمود. و حاصلجمع تمام حاصلضرب ها حاصل از جمیع قسمت ها قدرت ظاهری حالت بی باری را حاصل میدهد و از آنجا اندازه جریان بی باری نتیجه می شود.

POWEREN.IR
PowerEn.ir

جریان بی باری I_0 غالباً برحسب درصد جریان نامی I_n سیم پیچی بیان می گردد.

$$\frac{I_0}{I_n}100 = \frac{U_n I_0}{U_n I_n}100 = \frac{V_A}{P_n}100$$

جریان بی باری برحسب درصد جریان نامی، برابر قدرت مغناطیس کنندگی بخش بر قدرت نامی ترانسفورماتور ضربدر صد ما باشد. و همین قاعده برای حالت سه فازه نیز صادق می باشد $\frac{I_0}{I_n}100 = \frac{V_A}{U_n I_n \sqrt{3}}\times 100$

در مدارهای مغناطیسی سه فازه متقارن جریان مغناطیس کننده در سه فاز با هم برابرند و در مدارهای مغناطیسی ستونی و واقع در یک صفحه برابر نیستند معمولاً در حالت سه ستونی که جریان مغناطیس کننده در ستون وسطی کوچکتر از در دو ستون طرفین است. قاعده ذکر شده در بالا اندازه متوسط جریان بی باری را ارائه می کند که همان مقدار جریان بی باری است که باید تضمین شود.

تقاریب محاسبه برای قدرت مغناطیس کننده نسبت به تلفات آهنی بسیار بزرگ هستند و معمولاً خطای اندازه روی مقدار تضمین شده جریان بی باری برابر ۳۰ درصد است.

صدا در ترانسفورماتورها:

صدای منتشر شده بوسیله ترانسفورماتور از لرزش مدار مغناطیس و سیم پیچی ها حاصل می شود که در مورد دستگاههای خشک مستقیماً به هوا منتقل می گردد و در موارد دیگه دستگاهها غوطه ور بوده با وسیله مایع عایق و خنک کننده انجام می پذیرد.

صدای حاصل از لرزش سیم پیچی ها ناشی از نیروهای الکترو دینامیکی قابل صرفنظر هستند در صورتی که سیم پیچی ها کاملاً بانده و بست و محکم شده باشند، یا عملاً تاثیری در روی صدای ترانسفورماتورها ندارد و در مقام قیاس مثل آنست که دستگاه بی باری می باشد. منشاء اصلی صدا مدار مغناطیس است.

صدای ترانسفورماتورها تقریباً بطور اخص از خاصیت سختی مغناطیسی ورقه های مغناطیسی ناشی می شود. یعنی که تغییرات ابعاد ورقه ها تحت اثر مغناطیس شدن، سختی مغناطیسی بستگی به

POWEREN.IR
PowerEn.ir

ترکیب شیمیایی و رفتار حرارتی که تحت آن قرار گرفته اند و سختی مکانیکی داخلی داد.
دوباره پختن ورقه‌ها بعد از برش و سوراخ کاری سختی مکانیکی را از بین می برد. بهتر است که ورقه‌ها در هنگام این عملیات تغییر شکل ندهند، جهت دیگر ریسک داخل شدن کیک کشش تازه‌ای در اثر عمل فشردگی مدار مغناطیسی را انتظار داشت.

خارج از سختی مغناطیسی، همواره می‌تواند از لرزش ناشی از نیروهای بین ورقه‌ها نیز باشد و یا در اثر بد چیده شدن در تقاطعات، و اثر این بد چیدگی در ترانسفورماتورها با ابعاد کوچکتر و بیشتر محسوس می باشد.

لرزش مدار مغناطیسی به دیواره مخزن ترانسفورماتور خواه بطور مستقیم خواه از طریق مایع پر شده در آن منتقل می شود که در آن ماده غیرقابل انقباض و تراکم پذیر فرض می شود. مانند صدای منتشر شده به وسیله مغناطیسی تحت اثر سختی مغناطیسی بسیار پیچیده بوده و در عمل به نتایج حاصل از تجربه و آزمایش استعانت جسته و استناد می نماید.

سطح یا ارتفاع صدا تابعی است از:

- جنس ورقه های مغناطیسی - وزن ورقه های مغناطیسی - نوع مدار مغناطیسی - نوع اتصالات در چیدن - فرکانس

قسمت دوم - سیم پیچی ها:

ساختمان سیم پیچی ها

سیم پیچی ها تشکیل شده اند از هادیهای با مقاطع گرد یا مستطیلی و عایق شده که بصورت بوبین در فرم های مختلف و متنوع که تابعی از قدرت و ولتاژ سیم پیچی مورد نظر هستند پیچیده می شوند.

دو ماده بکار برده می شوند ~~مس~~ مس و آلومینیوم

مس: مس را کاملاً خالص و از طریق عمل الکترولیز بدست آمده بکار می برند.

شمش مس که با نام ویرباز معروف است بصورت گرم فورج کرده تا برای تهیه سیم های

POWEREN.IR
PowerEn.ir

با منقطع گرد یا مستطیلی درمد موارد کاربرد تبدیل شود.

مقاطع مقابلی ها ها دیما بوسیله عمل مفتول سازی در حالت سرد بدست می آید و برای از بین بردن آثار زدگی و سوراخ و پلیسه در اثر این عمل ناشی می شوند فلز را دوباره در پناه هوا می پزند.

با لا مزه جهت پر میز از خراب یا مانع شدن عایق ها و جلوگیری از متراکم شدن میدان الکتریکی سطح ها دیما باید کاملاً صاف و بطور مناسبی مصون از اکسیدها و ناصافی و زبری و زاویه های برش گردیده باشد.

مزیتی که مس با زمی تواند از خود نشان دهد عبارتست از سهولت سفید گری و لحیم و یا جوشکاری آن است.

آلومینیوم: فلزی خالص با درجه خالص ۹۹,۵ درصد را بکار می برند که آنرا می توان بصورت سیم گرد یا مستطیلی درآورد و مشخصات مکانیکی اش اجازه پائین آمدن بز یر مقطر ۳/۱ میلیمتر را می دهد. آلومینیوم بطور فنک در هوا پوشیده می شود ضمناً بطور لحظه ای یک قشر اکسید آلومینیوم روی آنرا می پوشاند که خود عایق می باشد. و این خاصیت عمل اتصال بوسیله کنتاکت را دشوار ساخته و انجام لحیم کاری و جوشکاری را مشکل می سازد تجربه متخصص این مشکل را حل کرده و این خاصیت مانع ورادی از کاربرد آلومینیوم در ترانسفورماتورها نبوده است.

انتخاب مادی:

مشخصات بسیار با اهمیت فلزاتی که در ترانسفورماتور مورد کاربرد و استعمال دارند عبارتند از مقاومت مخصوصی که تلفات و گرمای سیم پیچی ها بدان مربوطند و مقاومت مکانیکی که در حالت اتصال کوتاه که نگهداری و محافظت دستگاه بدان ربط پیدا می کند.

با در نظر گرفتن مشخصات دو فلز ممکن است که با هر یک از آنها ترانسفورماتورها را ساخت بطوریکه از نقطه نظر فنی رضایت کامل را حاصل دهند. چنانچه در سالهای ۱۹۴۹ تا ۱۹۴۴ که کم بود مس موجود بوده ترانسفورماتورهای تا قدرت ۶۴۰۰۰ KVA و ۲۲۰ KV با سیم پیچی های

POWEREN.IR
PowerEn.ir

آلومینیوم ساخته می شوند بطوریکه نهایت رضایت مندی را حاصل می دهند. همینطور ترانسفورماتورهائیکه جهت تغذیه یکسو سازهای با بخار جیوه بکار می روند که از خصوصیات آنها قرار داده شدن درمقابل اتصال کوتاه های حاصل از برگشت قوس در یکسو ساز می باشند.

آلومینیوم معمولاً تلفاتی بیشتر از مس را ارائه می کند و یا در دستگاههای بسیار بزرگ تلفاتی مساوی را نشان می دهند. البته انتخاب فلز یک موضوع اقتصادی می باشد و بستگی به قیمت نسبی یکی از دو فلز دارد.

امروزه کاربرد مس بیشتر مورد توجه است و آلومینیوم بطور استثنائی بکار برده می شود.

ابعاد مقطع هادیها:

هادیها دارای مقاطعی یا گرد و یا مستطیلی باز اویه پخ خورده می باشند.

هادیهای با مقطع گرد: از سیم های گرد با قطرهای بسیار کوچک معمولاً برای سیم پیچی های که به دلایل مراعاتهای مکانیکی از ۲ میلیمتر برای مس و ۵ میلیمتر برای آلومینیوم مورد استفاده قرار گرفته اند. و کاربرد آنها با قطرهای خیلی بزرگ از ۳/۵۵ میلیمتر تجاوز نکرده اند.

هادیهای چهارگوش: برای هادیهای چهارگوش ضخامت بکار برده شده معمولاً از ۱/۸ تا ۴/۵ میلیمتر و پهنا بین ۳/۱۵ تا ۱۶ میلیمتر تغییر می کند و نسبت پهنا به ضخامت معمولاً در حدود ۲ تا ۶ قرار دارد. بخاطر سهولت در ساختن و برای کاستن تلفات پاراازیت ساختن هادیهای با ابعاد خیلی بزرگ مورد توجه نمی باشد. و برای بدست آوردن یک مقطع قابل اهمیت و مورد نیاز چندین هادی را بطور موازی با هم قرار می دهند. در سیم پیچی های با ولتاژهای متوسط برای ترانسفورماتور خیلی بزرگ این عمل را با بکار بردن ۱۰۰ هادی بطور موازی انجام داده اند.

به جهت سهولت در عایق کاری و اعمال مربوط به سیم پیچی بوبین ها و برای نگهداری دی-الکتریک زوایای هادیهای مستطیلی پخ خورده یا گرد شده می باشند و شعاع پخ تابعی از ضخامت هادی است.

POWEREN.IR
PowerEn.ir

تکنولوژی مایق بندی:

اندازه مایق بندی روی هادی ها که قبلاً پیش بینی گردیده مربوط می شود به مراقبت و نگهداری و نوع سیم پیچی ها. که بعداً در مبحث مربوط به مایق ها که چگونه تعیین می شوند از آن صحبت خواهیم نمود.

مایق بندی تشکیل شده خواه از لعاب یا تشرهائی از فیبر، یا از پنبه، از نوارهای کاغذی یا پارچه شیشه ای امتالاً ترکیبی از میکا عمل لعاب دادن بوسیله غرو بردن و خیس کردن سیم در یک وزنی و پختنش در کوره انجام می گیرد، و محشر لعاب حتی الامکان باید یکنواخت و منظم و مصون از حباب ها و گودالیها و سنبه کاریها باشد. اعمال لعاب کاری باید طوری انجام گیرد تا کوفتگی و زدگی فلز در حداقل باشد.

سیم های گرد با قطرهای کوچک عموماً بوسیله وزنی چرب و سیم های با قطرهای بزرگتر و هادیهای چهارگوش با ورنیهای ترکیبی لعاب داده می شوند.

بنابراین ضخامت خواسته شده عمل لعاب کاری می تواند ساده و کامل یا مضاعف انجام شود و هم چنین ضخامت مایق از ۰/۲۱ میلیمتر برای یک سیم بقطر ۳/ میلیمتر تا ۱/۵۵ میلیمتر برای یک سیم با قطر بزرگ از لعاب کاری بطور ساده تا لعاب کاری بطور مضاعف تغییر می نماید.

روی هادیهای چهارگوش ضخامت لعاب وزنی ۰/۶ میلیمتر یا ۰/۷۵ میلیمتر در ضخامت ساده یا یک لایه می باشد. مزیت مایق لعاب منتج به یک کوچک شدگی حجم یا برم می شود عموماً به سختی می توان عمل لعاب کاری را در روی هادیهای بدون عیب انجام داد و تا سالهای اخیر هادیهای لعاب داده شده لخت را نیز در موارد ولتاژهای سطح پائین بکار می بردند.

امروزه با پیشرفتی که در تکنولوژی این کار انجام پذیرفته این هادیها را در سیم پیچی های ترانسفورماتورهای ولتاژ متوسط نیز بکار می برند در مواردیکه ترانسفورماتورها در مایع غرق هستند از مناسب بودن جنس لعاب بکار برده شده که در داخل مایع دی الکتریک قرار می گیرد باید مطمئن باشیم. که بیشتر در مورد روغن بدان برخورد می شود. بعضی لعابها در دی الکتریک ها گنده نباشند.

PowerEn.ir

عایق کاغذ بسیار به کار برده می شود، که برای هر سیم پیچی و برای تمام ولتاژها در
اندازه‌ای مناسب می باشد. و تعداد لایه ها بسیار بالا بوده و امکان اینکه تا ۵۰ لایه برسد نیز
است.

نوار کاغذی که ضخامت آنها می تواند از ۰/۲ میلی متر برای سیم های خیلی کوچک تا ۰/۸
میلی متر برای سیم های بزرگ تغییر کند. و پهنای آن با ابعاد هادی تغییر می نماید. که
به وسیله ماشین دور هادی پیچیده می شود بطوریکه لبه های هر دور لبه بعدی را می پوشاند.
لبه یا کناره های نوارهای لایه های متوالی بطور مناسب تغییر مکان داده می شوند. غوطه ور
یا اشباع شدن کاغذ در روغن یا پیرالن موجب می شود که کاغذ یک سخت دی الکتریک بزرگی
را از خود نشان دهد.

امروزه نوار یا روبان های با پارچه شیشه‌ای بسیار نرم و قابل انعطاف که می توان به راحتی
دور هادی مانند روبان یا نوار کاغذی پیچانید بکار برده می شود. این عایق می تواند در
برابر حرارت یا گرما مقاومتی بالاتر از عایق های آلی ارائه کند.

مانند عایق ها در مرحله غیر باید در یک ورنی غرق و اشباع شوند. و این طبیعت ورنی است
که حد تحمل درجه حرارت را در ضمن کار مشخص می کند و اندازه آن از ۱۳۰ برای ورنی متولکن
چرب و تا بیشتر از ۱۸۰ برای ورنی سیلیکونی می باشد. مقادیری که از حد معمول قبول برای
دی الکتریک های مایع معمولی تجاوز می کنند بکار برده نمی شوند مگر در ترانسفورماتورهای خشک
قیمت این چنین عایق هائی امروزه خیلی بالا بوده و کاربرد آنها در نهایت ضرورت مورد
نظر ما باشد.

عایق هادیهای با نوار یا روبان از غیر شیشه‌ای که با میکا ترکیب شده یا غیر از خود مزیتی
بزرگ از نقطه نظر سختی دی الکتریک عرضه می نمایند. عمل اشباع شدگی هادیها از ورنی یا
با دی الکتریک مایع بعد از ختم عمل سیم پیچی انجام می پذیرد. بدین جهت آنها را باید قبل
از انجام این عمل با مراقبت زیاد خشک نمود.

POWEREN.IR
PowerEn.ir

اجرای عمل سیم پیچی:

سیم پیچی های ترانسفورماتور می توانند بصورت متحدالمرکز تا از نوع تناوبی (لایه لایه یا ساندویچی) انجام پذیرند.

سیم پیچی های متحدالمرکز:

در نوع متحدالمرکز، سیم پیچ های اولیه و ثانویه بصورت استوانه مخامت دارای با ارتفاعی کمی کوچکتر از ارتفاع هسته مغناطیسی و با فاصله ای مناسب که بتوان یکی را در داخل دیگری قرار داد انجام می شوند البته با در نظر گرفتن محل کافی برای انجام عایق بندی بین آنها و امکان گردش روغن جهت خنک کردن.

عموماً استوانه ها بوسیله خود سیم پیچی ها نیز پیدا کرده اند و نسبتاً بلند و دارای ارتفاعی تقریباً دو تا سه برابر قطرشان می باشند. بسیار مواقع به دلیل عایق بندی سیم پیچی فشار ضعیف را در داخل و روی مدار مغناطیسی و سیم پیچی فشار قوی را در بیرون آن قرار می دهند. و گاهی اتفاق می افتد که جهت سهولت ساختمان عمل فکس انجام پذیرد. مثلاً در مورد ترانسفورماتورهای کوره ها سیم پیچی فشار ضعیف که دارای جریان بسیار زیاد می باشند در خارج سیم پیچی فشار قوی قرار می گیرد تا بدینوسیله اجرای ترتیبات آن بسهولت انجام پذیرد.

وسرهای بوبین هائی که جهت رگلاژ و تاثیر بکار می روند اگر در داخل قرار گیرند بیرون آوردن سرهای آنها دشوار خواهد بود لذا جهت آسانی و در دسترس قرار گرفتن سرهای این بوبین بهتر است در قسمت خارجی واقع باشند.

سیم پیچی یا سیم گرد:

در اینجا دو نوع سیم پیچی را متمایز می نمائیم.

الف- سیم پیچی بشکه ای

ب- سیم پیچی بوبینی

POWEREN.IR
PowerEn.ir

۱- سیم پیچی بشکه‌ای :

این سیم پیچی بوسیله چندین لایه از هادی ها به طول برابر طول سیم پیچی درست شده که روی جرقی پیچیده می شود و چرخ بطور تناوبی از جهتی به جهت دیگر خواه از راست به چپ خواه از چپ به راست حرکت می کند لایه ها از هم بوسیله یک عایق متشکل از یک پوش کاغذی یا پارچه ورنی بنام بین لایه که به دو انتها منتهی می شود که اندازه ضخامت آن به ولتاژ ماکزیمم بین هادیهای مجاور هم دو لایه بستگی دارد که متناظر با تعداد حلقه های دو لایه است. برای ولتاژهای خیلی ~~بزرگ~~ ضعیف ضخامت بین لایه برحسب شرایط ثبات مکانیکی آن تعیین گردیده. تمام لایه ها کلاً دارای یک تعداد حلقه مساوی می باشند بجز آخری که امکان دارد چندین حلقه ای کمتر داشته باشد به دلیل وضعیت قرار گرفتن هادیها تعداد کل حلقه های سیم پیچی از تعداد حلقه ها ~~ی کمتر داشته باشد~~ یه هر لایه ضربدر تعداد لایه ها منهای یک حلقه نمی تواند تجاوز کند.

سیم پیچی با سیم گرد یا فرم بشکه‌ای به کار برده نمی شود مگر در مورد ولتاژهای ضعیف، برای ولتاژهای متوسط و هم چنین برای فشار قوی ولتاژها بین لایه ها قابل ملاحظه شده و هم چنین برای داشتن بهترین شرایط خنک شدگی در آنها سیم پیچی نوع بوبین به کار برده می شود.

۲- سیم پیچی بوبینی :

سیم پیچی ابتدا به تعداد تقسیمات جزء تقسیم شده که هر جزء را یک بوبین نامیده و پس از با هم سری متصل می نمایند هر بوبین از چندین لایه و چندین حلقه تشکیل می شود عایق هر لایه مانند سیم پیچی بشکه‌ای از جنس کاغذ یا پارچه کتانی آغشته به ورنی بوده و ضخامت آن بستگی به ولتاژ واقع بین دو لایه دارد عایق های بین بوبین ها به صورت دیسکهای عایق درست شده است یا به وسایلی که از آنها برای خنک کردن نیز بتوان استفاده نمود و آنها را به کمک کال یا گوه یا تکیه گاه به هم محکم کرده

PowerEn.ir

و نگهداری می نمایند انجام می گیرد برای عایق بندی لایه ها در نقاط انتهایی لایه های را بیشتر از مقدار طول سیم پیچی بریده سپس جهت آنرا بطرف لایه برمی گردانند یا تا می کنند. و برای سیم های با قطر کوچک گاهی از کاغذ استفاده نموده بطوریکه در نقاط انتهایی از خود چین خوردگی نشان می دهد که البته تعداد چین خوردگی ها بستگی به ضخامت کاغذ و قطر هادی عایق شده دارد. ترتیبات متذکر در روش آخری یک استقامت مکانیکی بزرگی را به بوبین ها سیم پیچی عطا می نمایند.

سیم پیچی ها با هادیهای چهار گوش:

چهار نوع سیم پیچی در این حالت متمایز شده اند.

الف - سیم پیچی بشکه ای ب - سیم پیچی حلزونی (هلیسی) یا نیمه حلزونی (نیمه هلیسی)

ج - سیم پیچی بوبینی د - سیم پیچی با لایه های طویل

سیم پیچی متناوب:

سیم پیچی ها از دسته یا گروهای از بوبین ها تشکیل شده اند که تعدادشان اصولاً بستگی به راکتانس محقق شده در بین سیم پیچی ها دارد. برای ترانسفورماتورهای از قدرت بزرگ و فشار قوی با کاستن محل اشغال شده وسیله عایقهای بین گروهها تعداد را در یک یا دو در یکی از سیم پیچی ها محدود می کنند، عموماً در فشار ضعیف برای کاستن از یوغ ها یک گروه یا به دو گروه مساوی تقسیم و هرکدام را در یک انتها از طول چیده شده گروها قرار می دهند.

گروه ها می توانند بطور سری یا با در نظر گرفتن بعضی احتیاطات بطور موازی اتصال داده شوند. بوبین ها یا از نوع چندین حلقه در هر لایه هستند یا یک حلقه در لایه. و برای نداشتن تلفات مزاحم خیلی بالا ارتفاع هادی های در جهت محوری نباید خیلی بزرگ باشد و به ندرت از ده میلی متر تجاوز می کنند. و ابعاد شعاعی بوبین ها نسبتاً

POWEREN.IR
PowerEn.ir

ترانسفورماتورهای بزرگ قابل اهمیت هستند و می توانند تا ۵۰۰ میلی متر برسند و بدین جهت شکننده شده و لازم است که مراقبت ها و احتیاطات مخصوص را در مواقع دست به دست شدن و جابجا شدن در نظر گرفت.

وقتی سیم پیچی های تناوبی روی یک هسته مقدار مغناطیسی قائم قرار گرفته اند بوبین ها مانند یک سیم پیچی متحدالمرکز سوار شده اند. البته با در نظر گرفتن مزیت های اختصاصی برای عایق های بین گروه ها.

وقتی که سیم پیچی های تناوبی روی هسته مغناطیسی که بطور افقی است قرار گرفته باشند، بوبین ها در این حالت عموماً مربع مستطیل شکل هستند و بطور قائم جا داده شده اند و کانال ها یا فرم های مخصوصی ما بین بوبین واقع شده اند بطوریکه از نظر مکانیکی حلقه ها را نگهداری کرده و معبری برای سیال خنک کننده بجا گذارده و آنها روی مجاهای عایقی به فرم بوبین ها محکم شده اند.

مجاهای که از ماشینه مایشان که از طرف داخل و خارج تجاوز کرده و بیرون مانده برای عایق بندی میان بوبین ها بکار می روند.

سرهای انشعاب جهت رگلاژ یا تنظیم:

سرهای انشعاب برای میزان یا تنظیم نسبت تبدیل می باشند و عموماً در روی یک از سیستم پیچی های ترانسفورماتور پیش بینی شده اند. و اندازه و تنظیم خواسته شده معمولاً ۲/۵٪ ± یا ۵٪ ± که بوسیله دستگاه تعویض کننده سرهای انشعاب (تاپ چنجر) بیرون از ولتاژ انجام می گیرد و همینطور در اندازه ۱۰٪ ± و ۱۲/۵ ± یا ۱۵٪ در چندین مرحله یا پله یا دستگاه تعویض کننده سرهای انشعاب (تاپ چنجر) در زیر بار عمل می شود. سرهای انشعاب بیشتر اوقات روی سیم پیچی فشار قوی قرار داده می شود. زیرا دارای مزیت داشتن جریان ضعیف تر و زیادی تعداد حلقه ها است. از طرف کلاً مسئلهٔ عایق بندی آنها به سهولت قابل حل بوده اگر نقاط انشعاب بطور مناسبی در سیم پیچی جایگزین شده باشند.

POWEREN.IR
PowerEn.ir

ساخت بوبین ها:

هادیها در روی ایزاری به نام «قالب بوبین» که آنرا روی چرخ بوبین پیچی سوار می‌کنند پیچیده می شوند. قالب بوبین ها برای سیم پیچی پشکه‌ای - هلیسی - بوبینی یا یک حلقه در لایه و مداوم - یا طویل در نظر گرفته شده و از استوانه هائی عموماً از چوب سخت و مجهز به شعاع هائی متقاطع در منتهاالیه شان برای محکم و استوار شدن در روی چرخ بوبین پیچی درست شده‌اند. برای سیم پیچی هائی که مستقیماً روی استوانه های عایقی سیم پیچی می‌شوند این استوانه ها روی قالب ها آماده و چوب گذاری شده هستند.

برای بوبین های از سیم گرد یا از هادیهای چهارگوش با پند بین حلقه در لایه قالب از استوانه چوبی ساده قره قره نخ خیاطی، در طرفین استوانه که روی آن بوبین پیچیده می شود و استوانه با ضخامت نازکی جهت نگداری سیم پیچی در طرفین دارا می باشد.

قالب را جهت سهولت در پیاده کردنشان از دو قطعه درست می کنند بطوریکه در گوشه‌های درهم باز انداخته می شوند.

چرخ های ماشین بوبین پیچی با سرعت هائی که بین ۱۰۰ تا ۷۰۰ دور در دقیقه باشد کار می کنند و سرعت تابعی از ابعاد و تعداد هادیهای موازی با هم می باشد و سرعت بزرگتر اصولاً مناسب برای بوبین های با سیم های قطر کوچک و سرعت ضعیف‌تر برای سیم پیچهای هلیسی با تعداد بیشتری از هادی ها که با هم موازیند خواهد بود.

ساخت سیم پیچی های ترانسفورماتورها مستلزم مراقبت و تمیزی زیاد است. عایقها نباید به وسیله تماس یا کنتاکت با اجسام خارجی آلوده و نه به وسیله شوک یا موج ضربه‌ای خراب و ضایع شده باشند کیفیت یک ترانسفورماتور بستگی زیاد به احتیاطات گرفته شده در جریان اجرای سیم پیچی ها پیش دارد.

POWEREN.IR

POWEREN.IR
PowerEn.ir

سوار کردن سیم پیچی ها:

برای قرار دادن سیم پیچی ها روی مدار مغناطیسی باید یوغ بالائی مدار مغناطیسی برداشته شود و ممکن است یوغ بالائی همراه مدار مغناطیسی سوار نشده و یا در زمان سوار کردن سیم پیچی از جایش درآورده شده باشد.

مشکلی از نقطه نظر سوار کردن و یا پیاده کردن یوغ مدار مغناطیسی وجود ندارد حتی اگر مفصل شدگی آنها بصورت غلس ماهی یا روی هم آمده باشد، خصوصاً اگر ورقه ها بوسیله کارلیت یا لعاب عایق شده باشند. در مورد مدارهای مغناطیسی زره با سیم پیچی های تناوبی بفرم مستطیلی بعضی از سازنده ها مدار مغناطیسی را از طرف سیم پیچی سوار می نمایند.

سیم پیچی های قرار گرفته بر روی مدار مغناطیسی باید بطور مناسبی نگهداشته و محکم شوند بطریقی که تمام فواصل بین سیم پیچی ها و بدنه و مابین سیم پیچی ها تحت تاثیر نیروهای الکترو دینامیکی تغییر محل پیدا نکنند.

چوب یا کالل شعاعی که در جهت عمود بر محور هسته مدار مغناطیسی که بشکل خط کش هائی از ماده عایق درست شده اند با مقاطع دایره ای یا مستطیلی می باشند و آنها را در طول ارتفاع ما بین مدار مغناطیسی و سیم پیچی ها و استوانه های عایق قرار می دهند.

این خط کش های عایق چوبی یا مقوائی سخت یا از کاغذ یا کلیتی هستند و چوب یا کالل محوری یا موازی با محور هسته مغناطیسی درست شده است.

لازم است که سیم پیچی ها تناوبی بعد از ساخت بطور مناسبی مورد رسیدگی و فشردگی قرار بگیرند تا از کاستی حجم یا مچاله شدنش در ضمن کار اجتناب شده باشد.

کالهای سیم پیچی های تناوبی در روی مدارهای مغناطیسی ستونی مشابه به همان در سیم پیچی های متحد المرکز بوبین ها باشند.

در مورد مدارهای مغناطیسی زره با هسته های افقی بابوبین های مستطیلی کالهای بین بوبین ها روی مجاب های عایق که دارای شکل بوبین هستند مستقر و محکم می شوند.

PowerEn.ir

محاسبه سیم پیچی ها

برای محاسبه سیم پیچی ها مراحل زیر را خواهیم داشت.

- محاسبه ابعاد
- محاسبه تلفات
- محاسبه راکتانس ها و افت های ولتاژ
- محاسبه نیروهای الکترومغناطیسی در اتصال کوتاه

محاسبه ابعاد: محاسبه ابعاد سیم پیچی ها بر مبنای خصوصیاتشان از قبیل نوع - تعداد حلقه ها - نوع ساختمان حلقه - عایق های دیما - عایق بوبین ها و غیره ... و نحوه قرارگرفتنشان روی مدار مغناطیسی در حالیکه فواصل لازم جهت عایق ها و کانالهای لازم جهت گردش سیال خنک کننده در نظر گرفته شده انجام می پذیرد.

آنچه که موجبات محدودیت چگالی جریان را فراهم می سازد گرم شدن سیم پیچی ها و احتمالاً تلفات می باشد. و مقدارش در محدوده های بقدر کافی بزرگ بر حسب نوع ابرای بوبین ها و خنک کردن تغییر خواهد نمود. در اولین تقریب برای سیم پیچی های از مس با عایق های از کلاس چگالی های جریان مورد پذیرش برای ترانسفورماتورهای خشک و یا خنک شدن طبیعی برابر $10^6 \frac{A}{m^2}$ (1 - 1,5) هستند. و از $10^6 \frac{A}{m^2}$ (2 - 2,5) برای ترانسفورماتورهای غوطه ور یا خنک شدگی طبیعی می باشد و از $10^6 \frac{A}{m^2}$ (3 - 3,5) برای ترانسفورماتورهای خشک یا غوطه ور یا خنک شدگی اجباری می باشد. گردش اجباری هوا و یا آب یا روغن) چگالی جریان در دستگاههائی که بطور نوبه ای یا بطور تناوبی چند ساعتی در شبانه روز کار می کنند به $10^7 \frac{A}{m^2}$ نیز می رسد.

ضخامت و ارتفاع بوبین ها و سیم پیچی های اجراء شده کلا بزرگترند از نتایج حاصله از محاسبات تئوری می باشند. در نتیجه باید یک فضای قابل قبولی را روی ابعاد ناحی و تایپ حدسی در تغییر حجم در نظر گرفته شود. تغییر در حجم بستگی به جنس و کیفیت عایق ها در سیم پیچی و لوازم یا تدارکات و کیفیت و دست مزد و کارگر مورد استفاده قرار گرفته برای ابرای سیم پیچی دارد.

POWEREN.IR
PowerEn.ir

- محاسبه تلفات :

الف تلفات ژول ب - تلفات مزاحم در هادیها (به این تلفات - تلفات زیر نیز اضافه می شوند)

ج - تلفات مزاحم ناشی از جریان فراری در قسمتهای فلزی نزدیک به سیم پیچی ها و ورقه های نگهدارنده و بشقابهای دور (فلانژ) یوغ و مخزن ترانسفورماتور.

مجموعه تلفات موارد الف، ب و ج با نام تلفات ناشی از بار نامیده می شوند و این تلفات در ضمن آزمایش اتصال کوتاه ترانسفورماتور اندازه گیری می شوند و تلفات موارد ب و ج غالباً یک کاسه شده با نام عمومی تلفات مزاحم مشهور می باشند.

الف - تلفات ژول : تلفات ژول برحسب وات طبق فرمول زیر داده شده است $W = RI^2$

R - مقاومت اهمی اندازه گیری شده بوسیله جریان مستقیم I جریان برحسب آمپر می باشد.

مقاومت R دارای رابطه زیر است $R = \rho \frac{L}{S}$

از نقطه نظر سهولت در مقایسه تلفات ترانسفورماتورها آنها را عموماً در درجه حرارت مراجعه ای یا مقایسه ای $75^{\circ}C$ تضمین می نمایند و این درجه حرارت است که محاسبات ترانسفورماتور می باید براساس آن انجام شود.

ب - تلفات مزاحم در سیم پیچی ها :

سیم پیچی ها هنگامیکه بوسیله جریانی طی می گردند میدان مغناطیسی ای در فضا اشغال کننده خود ایجاد می کنند. نتیجتاً در هادی هایشان که در این میدان قرار دارند جریان هائی القاء می گردد که موجب تلفاتی می شوند که بر دو نوع اند.

- تلفات حاصله از جریانهای فوکو - تلفات حاصله از جریان هائی که در مواضع وجود چندین هادی بطور موازی با هم در آنها گردش می کنند.

- تلفات بوسیله جریان فوکو :

چنانچه یک هادی با سطح مقطع مربع مستطیل در یک میدان یکنواخت متناوب بمقدار $B_m \cdot \sin \omega t$ موازی با محور سطح مقطعش قرار گرفته باشد تلفات حاصل از جریانهای فوکوئی

POWEREN.IR
PowerEn.ir

آن در ۷۵ برحسب وات بر کیلوگرم مس با فرمول زیر داده شده است.

$$W/kg = 8/9 \times 10^{-3} B_m^2 f^2 d^2$$

در آن B_m اندازه ماکزیمم میدان برحسب تسلا f فرکانس برحسب هرتز d ضلعی از هادی عمود بر میدان برحسب متر

تلفات حاصل از جریان فوکو در فشار قوی و فشار ضعیف تابعی از اندازه ضلع (a) هادی تغییر می نمایند.

ب- تلفات حاصل از جریانهای گردشی:

درحالتی که چندین هادی موازی با هم که پهلو قرار گرفته اند برای کاهش تلفات ناشی از جریان فوکو سیم پیچی را بطریقی متقاطع نمود که جریان گردشی در هادیهائی که بطور موازی بندو در دو منتها الیه قرار دارند نتواند وجود داشته باشند.

برای این منظور باید که خوران پراکندگی برآیند در حلقه های تشکیل شده به وسیله دو هادی داخل موازی برابر صفر باشد. بعلاوه این خوران یک نیروی الکترو موتوری را القا می کند که ایجاد یک جریان گردشی می نماید که خود به تلفات مزامی منتج می شود که قابل محاسبه شدن است.

تلفات مزامم در قسمتهای فلزی مجاور سیم پیچی ها:

این نوع سوم تلفات ناشی شده بوسیله خوران پراکندگی سیم پیچ ها است که از مدار مغناطیسی در قسمت های فلزی پوشاننده مدار مغناطیسی بوجود در دیواره های مخزن منتسب شده که محاسبه شان دشوار می باشد.

این تلفات آنقدر که خوران پراکندگی و بعد آن راکتانس بزرگتر می گردند فزونی می یابد و به ابعاد واز آنجا به قدرت ترانسفورماتور و یا لاخره به فرکانس بستگی دارد.

برای یک دستگاه ۵۰ هرتزی می توان ۰/۵٪ وات برای درصد راکتانس ضربدر KVA قدرت پذیرفت. برای فرکانسی متفاوت با ۵۰ هرتز تلفات مزبور با فرکانس متناسباً تغییر می کند.

POWEREN.IR
PowerEn.ir

ظرف برای این شرایط پیش بینی می گردد و برای ترانسفورماتورهای خیلی بزرگ ابعاد خارجی ظرفها بدلایل حمل و نقل محدود می شوند، برای حمل به وسیله راه آهن به عنوان مثال بسته های کالای قرار گرفته روی واگن باید از آن اندازه معین شده از نظر ارتفاع در راه آهن تجاوز ننماید.

ضخامت دیواره ها بستگی به ابعاد ظرفها و اهمیت تقویت شدگی آنها دارد. و در حدود ۱ تا ۲ میلیمتر برای ظرفهای موجدار و تا ۳ میلیمتر برای کوچکترین ظرفها باید نه صاف تغییر می کند و تقریباً تا ۱۲ میلیمتر برای ظرفهای بزرگتر می باشد، ضخامت دریوشها و کف های ظرف بیشتر انتخاب می شوند و در مورد ترانسفورماتورهای بزرگ تا ضخامت ۳۰ میلیمتر و بلکه زیادتر نیز می رسد.

POWEREN.IR