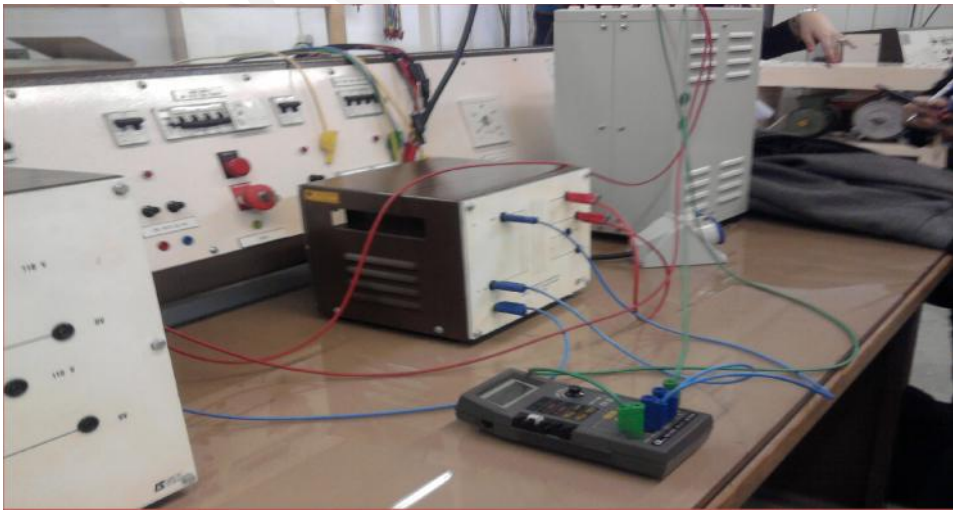
به نام خدا

گزارش کار آزمایشگاه مبانی مهندسی برق

ترانسفورماتور

آزمایش بی باری و اتصال کوتاه

www.ieuni.ir



www.ieuni.ir

تئوری:

ترانسفورماتور Transformer وسیله‌ای است که انرژی الکتریکی را به وسیله دو یا چند سیم‌پیچ و از طریق القای الکتریکی از یک مدار به مداری دیگر منتقل می‌کند. به این صورت که جریان جاری در مدار اول اولیه ترانسفورماتور موجب به وجود آمدن یک میدان مغناطیسی در اطراف سیم‌پیچ اول می‌شود، این میدان مغناطیسی به نوبه خود موجب به وجود آمدن یک ولتاژ در مدار دوم می‌شود که با اضافه کردن یک بار به مدار دوم این ولتاژ می‌تواند به ایجاد یک جریان در ثانویه بینجامد.

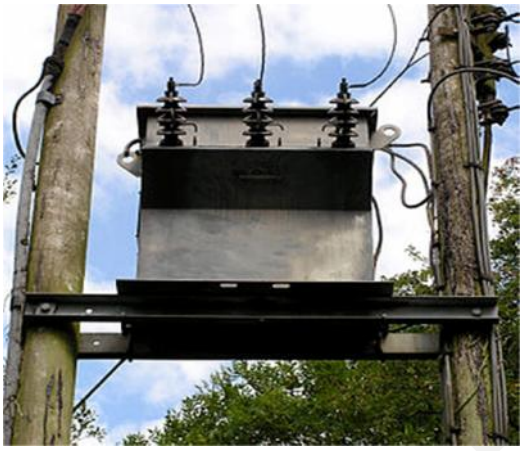
ولتاژ القا شده در ثانویه V_S و ولتاژ دو سر سیم‌پیچ اولیه V_P دارای یک نسبت با یکدیگرند که به طور آرمانی برابر نسبت تعداد دور سیم پیچ ثانویه به سیم‌پیچ اولیه‌است:

$$\frac{V_S}{V_P} = \frac{N_S}{N_P}$$

به این ترتیب با اختصاص دادن امکان تنظیم تعداد سیم‌پیچ‌های ترانسفورماتور، می‌توان امکان تغییر ولتاژ در ثانویه ترانس را فراهم کرد.

یکی از کاربردهای بسیار مهم ترانسفورماتورهای کاهش جریان پیش از خطوط انتقال انرژی الکتریکی است. دلیل استفاده از ترانسفورماتور در ابتدای خطوط این است که همه هادی‌های الکتریکی دارای میزان مشخصی مقاومت الکتریکی هستند، این مقاومت می‌تواند موجب اتلاف انرژی در طول مسیر انتقال انرژی الکتریکی شود. میزان تلفات در یک هادی با مجذور جریان عبوری از هادی رابطه مستقیم دارد و بنابر این با کاهش جریان می‌توان تلفات را به شدت کاهش داد. با افزایش ولتاژ در خطوط انتقال به همان نسبت جریان خطوط کاهش می‌یابد و به این ترتیب هزینه‌های انتقال انرژی نیز کاهش می‌یابد، البته با نزدیک شدن خطوط انتقال به مراکز مصرف برای بالا بردن ایمنی ولتاژ خطوط در چند مرحله و باز به وسیله ترانسفورماتورها کاهش می‌یابد تا به میزان استاندارد مصرف برسد. به این ترتیب بدون استفاده از ترانسفورماتورها امکان استفاده از منابع دوردست انرژی فراهم نمی‌آمد.

ترانسفورماتورها یکی از پربازده‌ترین تجهیزات الکتریکی هستند به طوری که در برخی ترانسفورماتورهای بزرگ بازده به ۹۹.۷۵٪ نیز می‌رسد. امروزه از ترانسفورماتورها در اندازه‌ها و توان‌های مختلفی استفاده می‌شود از یک ترانسفورماتور بند انگشتی که در یک میکروفن قرار دارد تا ترانسفورماتورهای غول‌پیکر چند گیگا ولت-آمپری. همه این ترانسفورماتورها اصول کار یکسانی دارند اما در طراحی و ساخت متفاوت هستند.



به طور کلی یک ترانسفورماتور بر دو اصل استوار است:

- اول اینکه، جریان الکتریکی متناو می‌تواند یک میدان مغناطیسی متغییر پدید آورد (الکترومغناطیس
- و دوم اینکه، یک میدان مغناطیسی متغییر در داخل یک حلقه سیم‌پیچ می‌تواند موجب به وجود آمدن یک جریان الکتریکی متناو در یک سیم سیم‌پیچ شود.

ساده‌ترین طراحی برای یک ترانسفورماتور در شکل 2 آمده‌است. جریان جاری در سیم‌پیچ اولیه موجب به وجود آمدن یک میدان مغناطیسی می‌گردد. هر دو سیم‌پیچ اولیه و ثانویه بر روی یک هسته که دارای خاصیت نفوذپذیری مغناطیسی بالایی است (مانند آهن پیچیده شده‌اند. بالا بودن نفوذپذیری هسته موجب می‌شود تا بیشتر میدان تولید شده توسط سیم‌پیچ اولیه از داخل هسته عبور کرده و به سیم‌پیچ ثانویه برسد.

قانون القا

میزان ولتاژ القا شده در سیم‌پیچ ثانویه را می‌توان به وسیله قانون فاراده به دست آورد:

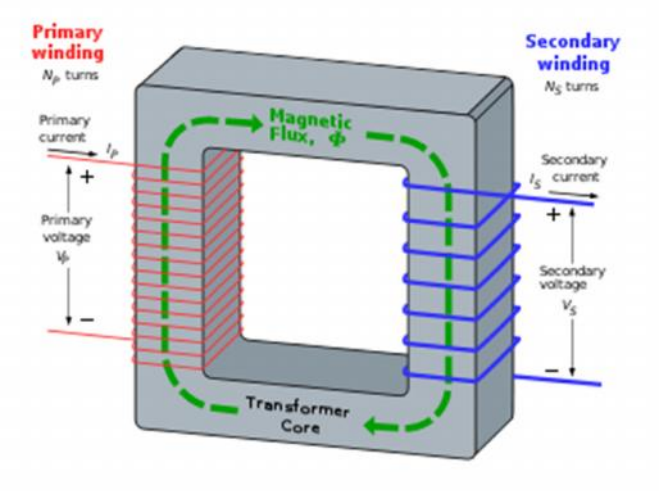
$$V_S = N_S \frac{d\Phi}{dt}$$

در فرمول بالا V_S ولتاژ لحظه‌ای, N_S تعداد دورهای سیم‌پیچ در ثانویه و Φ برابر مجموع شار مغناطیسی است که از یک دور از سیم‌پیچ می‌گذرد. با توجه به این فرمول تا زمانی که شار در حال تغییر از دو سیم پیچ اولیه و ثانویه عبور کند ولتاژ لحظه‌ای در اولیه یک ترانسفورماتور آرمانی از فرمول زیر بدست می‌آید:

$$V_P = N_P \frac{d\Phi}{dt}$$

و با توجه به تعداد دور سیم‌پیچ‌های اولیه و ثانویه و این معادله ساده می‌توان میزان ولتاژ القایی در ثانویه را بدست آورد:

$$\frac{V_S}{V_P} = \frac{N_S}{N_P}$$



شکل-2 یک ترانسفورماتور کاهنده آرمانی و مسیر عبور شار در هسته

معادله ایدهال توان

اگر سیم‌پیچ ثانویه به یک بار متصل شده باشد جریان در سیم‌پیچ ثانویه جاری خواهد شد و به این ترتیب توان الکتریکی بین دو سیم‌پیچ منتقل می‌شود. به طور ایده‌آل ترانسفورماتور باید کاملاً بدون تلفات کار کند و تمام توانی که به ورودی وارد می‌شود به خروجی برسد وبه این ترتیب توان ورودی و خروجی باید برابر باشد و در این حالت داریم:

$$P_{incoming} = I_P V_P = P_{outgoing} = I_S V_S$$

و همچنین در حالت ایده‌آل خواهیم داشت:

$$\frac{V_S}{V_P} = \frac{N_S}{N_P} = \frac{I_P}{I_S}$$

بنابر این اگر ولتاژ ثانویه از اولیه بزرگتر باشد جریان ثانویه باید به‌همان نسبت از جریان اولیه کوچکتر باشد. همانطور که در بالا اشاره شد در واقع بیشتر ترانسفورماتورها بازده بسیار بالایی دارند و به این ترتیب نتایج به دست آمده از این معادلات به مقادیر واقعی بسیار نزدیک خواهد بود.

مبحث فنی

تعاریف ساده شده بالا از بسیاری از مباحث پیچیده درباره ترانسفورماتورها گذشته‌است.

در یک ترانسفورماتور آرمانی، ترانسفورماتور دارای یک هسته بدون مقاومت مغناطیسی و دو سیم‌پیچ بدون مقاومت الکتریکی است. زمانی که ولتاژ به ورودی‌های اولیه ترانسفورماتور اعمال می‌شود برای به وجود آمدن شار در مدار مغناطیسی هسته، جریانی کوچکی در سیم‌پیچ اولیه جاری می‌شود. از آنجایی که در ترانسفورماتور ایده‌آل هسته فاقد مقاومت مغناطیسی است این جریان قابل چشم پوشی خواهد بود در حالی که در یک ترانسفورماتور واقعی این جریان بخشی از تلفات ترانسفورماتور را تشکیل خواهد داد.

شار پراکندگی

در یک ترانسفورماتور آرمانی شار مغناطیسی تولید توسط سیم‌پیچ اول به طور کامل توسط سیم پیچ دوم جذ می‌شود اما در واقع بخشی از شار مغناطیسی در فضای اطراف پراکنده می‌شود. به شاری که در حین انتقال از مسیر خود جدا می‌شود شار پراکندگی leakage flux می‌گویند. این شار پراکندگی موجب به وجود آمده اثر خود القا در سیم‌پیچ‌ها می‌شود و به این ترتیب موجب می‌شود که در هر سیکل، انرژی در سیم‌پیچ ذخیره شده و در نیمه پایانی سیکل آزاد شود. این اثر به طور مستقیم باعث ایجاد افت توان نخواهد شد اما به دلیل ایجاد اختلاف فاز موجب ایجاد مشکلاتی در تنظیم ولتاژ خواهد شد و به این ترتیب باعث خواهد شد تا ولتاژ ثانویه دقیقاً نسبت واقعی خود با ولتاژ اولیه حفظ نکند؛ این اثر به ویژه در بارهای بزرگ خود را نشان خواهد داد. به همین دلیل ترانسفورماتورهای توزیع طوری ساخته می‌شوند تا کمترین میزان تلفات پراکندگی را داشته باشند.

با این حال در برخی کاربردها، وجود تلفات پراکندگی بالا پسندیده‌است. در این ترانسفورماتورها با استفاده از روش‌هایی مانند ایجاد مسیرهای مغناطیسی طولانی، شکاف‌های هوایی یا مسیرهای فرعی مغناطیسی اقدام به افزایش شار پراکندگی می‌کنند. دلیل افزایش عمدی تلفات پراکندگی در این ترانسفورماتورها قابلیت بالای این نوع ترانسفورماتورها در تحمل اتصال کوتاه است. از این گونه ترانسفورماتورها برای تغذیه بارهای دارای مقاومت منفی مانند دستگاه های جوش یا دیگر تجهیزات استفاده کننده از قوس الکتریکی، لامپ‌های بخار جیوه و تابلوهای نئون یا ایجاد ایمنی در بارهایی که احتمال بروز اتصال کوتاه در آنها زیاد است استفاده می‌شود.

تلفات انرژی

یک ترانسفورماتور ایده‌آل هیچ تلفاتی نخواهد داشت و در واقع بازدهی برابر 100٪ دارد. با این حال ترانسفورماتورهای واقعی نیز جزو بهره‌ورترین تجهیزات الکتریکی محسو می‌شود به طوری که نمونه‌های آزمایشی ترانسفورماتورهایی که با بهرگیری از ابر رسانا ساخته شده‌اند به بازدهی برابر 99.85٪ دست یافته‌اند. به طور کلی ترانسفورماتورهای بزرگتر از بازده بالاتری برخوردارند و ترانسفورماتورهایی که برای مصارف توزیعی مورد استفاده قرار می‌گیرند از بازدهی در حدود 95٪ برخوردارند در حالی که ترانسفورماتورهای کوچک مانند ترانسفورماتورهای موجود در اداپتورها بازدهی در حدود 85٪ دارند. تلفات به وجود آمده در ترانسفورماتور با توجه به عوامل به وجود آورنده یا محل اتلاف انرژی به این صورت طبقه بندی می‌شوند:

مقاومت سیم‌پیچ‌ها

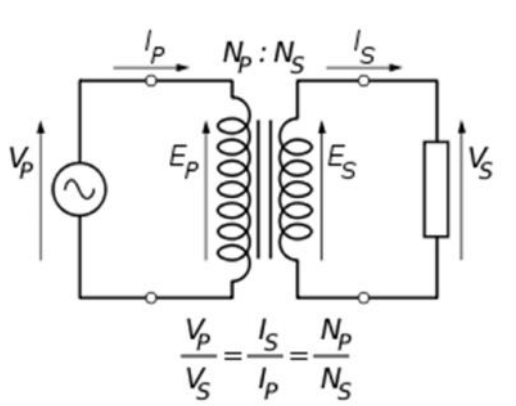
جریانی که در یک هادی جاری می‌شود با توجه به میزان مقاومت الکتریکی هادی می‌تواند موجب به وجود آمدن حرارت در محل عبور جریان شود. در بسامدهای بالاتر اثر سطحی و اثر مجاورت نیز می‌توانند تلفات مضایفی را در ترانسفورماتور به وجود آورند.

تلفات پسماند هیسترزیس

هر بار که جهت جریان الکتریکی به‌خاطر وجود بسامد عوض می‌شود با توجه به جنس هسته، مقدار کمی انرژی در هسته باقی می‌ماند. به این ترتیب برای یک هسته با جنس ثابت این نوع تلفات با میزان بسامد تناسب دارد و با افزایش بسامد تلفات پسماند هسته نیز افزایش می‌یابد.

www.ieun.ir

جریان گردابی



شکل-3 یک ترانسفورماتور ایده‌آل به عنوان المانی در مدار

مواد فرومغناطیس معمولاً هادی‌های الکتریکی خوبی نیز هستند و بنابراین هسته ترانسفورماتورمی‌تواند مانند یک مدار اتصال کوتاه شده عمل کند. بنابراین حتی با القای میزان کمی ولتاژ، جریان در هسته به شدت بالا می‌رود. این جریان جاری در هسته گذشته از به وجود آوردن تلفات الکتریکی موجب به وجود آمدن حرارت در هسته نیز می‌شود. جریان گردابی در هسته با مجذور بسامد منبع رابطه مستقیم و با مجذور ضخامت ورق هسته رابطه معکوس دارد. برای کاهش تلفات گردابی در هسته، هسته‌ها را ورقه ورقه کرده و آنها را نسبت به یکدیگر عایق می‌کنند.

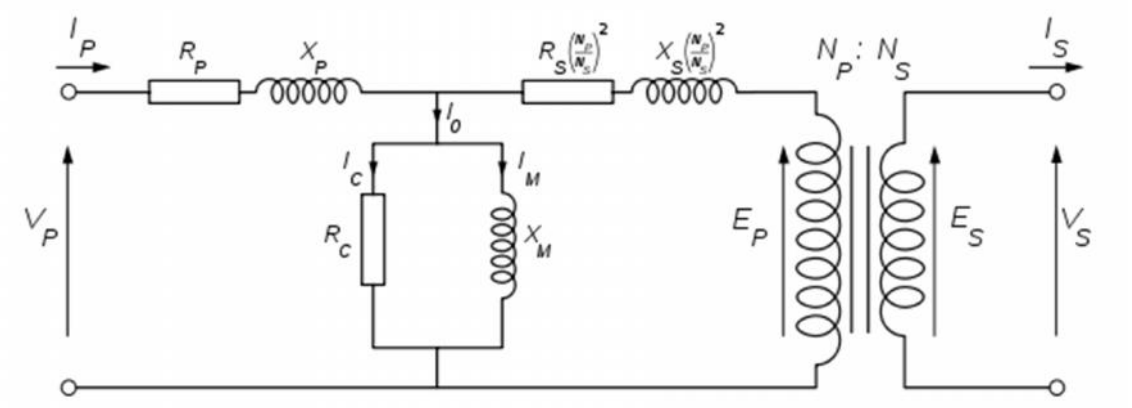
تغییر شکل بر اثر مغناطیس

شار مغناطیسی در یک ماده فرومغناطیس موجب حرکت نسبی ورقه‌های هادی نسبت به یکدیگر می‌شود. در صورت محکم نبودن این ورقه‌ها این اثر می‌تواند موجب ایجاد صدایی شبیه وز وز در هنگام کار کردن ترانسفورماتور شود به این اثر تغییر شکل بر اثر میدان مغناطیسی یا Magnetostriction می‌گویند. این اثر می‌تواند موجب به وجود آمدن گرما در اثر اصطکاک بین صفحات نیز شود.

تلفات **مکانیکی**

به دلیل وجود تغییر شکل بر اثر مغناطیس در یک ترانسفورماتور بین قطعات ترانسفورماتور نوعی حرکت به وجود می‌آید این تحرک نیز به نوبه خود موجب به وجود آمدن تلفات مکانیکی در ترانسفورماتورخواهد شد. در صورتی که قطعات موجود در ترانسفورماتور به خوبی در جای خود محکم نشده باشند، تحرکات مکانیکی آنها نیز افزایش یافته و در نتیجه تلفات مکانیکی نیز افزایش خواهد یافت.

مدار معادل



شکل-4 مدار معادل یک تراسنفورماتور

محدودیت‌های فیزیکی یک ترانسفورماتور واقعی به صورت یک مدار نمایش داده می‌شوند. این مدار معادل از تعدادی از عوامل به وجود آورنده تلفات یا محدودیت‌ها و یک ترانسفورماتور ایده‌آل تشکیل شده‌است. تلفات توان در سیم‌پیچ یک ترانسفورماتور به طور خطی تابعی از جریان هستند و به راحتی می‌تواند آنها را به صورت مقاومت‌هایی سری با سیم‌پیچ‌های ترانسفورماتور نمایش داده شود؛ این مقاومت‌ها R_S و R_P هستند. با بررسی خواص شار پراکندگی می‌توان آن را به صورت خود القاهای X_P و X_S نشان داد که به صورت سری با سیم‌پیچ ایده‌آل قرار می‌گیرند. تلفات آهنی از دو نوع تلفات گردابی فوکو و پسماند هیسترزیس تشکیل شده. در بسامد ثابت این تلفات با مجذور شار هسته نسبت مستقیم دارند و از آنجایی که شار هسته نیز تقریباً با ولتاژ ورودی نسبت مستقیم دارد این تلفات را می توان به صورت مقاومتی موازی با مدار ترانسفورماتور نشان داد. این مقاومت همان R_C است.

هسته‌ایی با نفوذپذیری محدود نیازمند جریان I_M خواهد بود تا همچنان شار مغناطیسی را در هسته برقرار کند. بنابراین تغییرات در جریان مغناطیس کننده با تغییرات در شار مغناطیسی هم فاز خواهد بود و به دلیل اشباع پذیر بودن هسته، رابطه بین این دو خطی نخواهد بود. با این حال برای ساده کردن این تاثیرات در بیشتر مدارهای معادل این رابطه خطی در نظر گرفته می‌شود. در منابع سینوسی شار مغناطیسی 90 درجه از ولتاژ القایی عقبتر خواهد بود، بنابراین این اثر را می‌توان با القاگر X_M در مدار نشان داد که به طور موازی با تلفات آهنی هسته R_C قرار می‌گیرد. R_C و X_M را در برخی موارد با هم به صورت یک شاخه در نظر می‌گیرند و آن را شاخه مغناطیس کننده می‌نامند. اگر سیم‌پیچ ثانویه ترانسفورماتور را مدار باز کنیم تمامی

جریان عبوری از اولیه ترانسفورماتور جریان I_0 خواهد بود که از شاخه مغناطیس کننده عبور خواهد کرد این جریان را جریان بی‌باری نیز می‌نامند.

مقاومت‌های موجود در طرف ثانویه یعنی R_S و X_S نیز باید به طرف اولیه منتقل شوند. این مقاومت‌ها در واقع معادل تلفات مسی و پراکندگی در طرف ثانویه هستند و به صورت سری با سیم پیچ ثانویه قرار می‌گیرند.

مدار معادل حاصل را **مدار معادل دقیق** می‌نامند گرچه در این مدار معادل نیز از برخی ملاحضات پیچیده مانند اثرات غیرخطی چشم پوشی می‌کند.

انواع

ساخت انواع مختلف ترانسفورماتورها به منظور رفع اهداف استفاده از آنها در کاربردهای متفاوت می‌باشد. در این میان برخی از انواع ترانسفورماتورها بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرند که می‌توان به نمونه‌ها زیر اشاره کرد:

اتوترانسفورماتور

اتوترانسفورماتور به ترانسفورماتوری گفته می‌شود که تنها از یک سیم‌پیچ تشکیل شده‌است. این سیم‌پیچ دارای دو سر ورودی و خروجی و یک سر در میان است. به طوری که می‌توان گفت سیم‌پیچ کوتاه ترکه در ترانس کاهنده سیم پیچ ثانویه محسو می شود قسمتی از سیم‌پیچ بلندتر است. در این گونه ترانسفورماتورها تا زمانی که نسبت ولتاژ-دور در دو سیم‌پیچ برابر باشد ولتاژ خروجی از نسبت سیم‌پیچ تعداد دور سیم‌پیچ‌ها به ولتاژ ورودی به دست می‌آید.

با قرار دادن یک تیغه لغزان به جای سر وسط ترانس، می‌توان نسبت سیم‌پیچ‌های اولیه و ثانویه را تا حدودی تغییر داد و به این ترتیب ولتاژ پایانه خروجی ترانسفورماتور را تغییر داد. مزیت استفاده از اتوترانسفورماتور کم هزینه تر بودن آن است چراکه به جای استفاده از دو سیم‌پیچ تنها از یک سیم‌پیچ در آنها استفاده می‌شود.

ترانسفورماتور چند فازه

برای تغذیه بارهای سه فاز می‌توان از سه ترانسفورماتور جداگانه استفاده کرد یا آنکه از یک ترانسفورماتور سه فاز استفاده کرد. در یک ترانسفورماتور سه فاز مدارهای مغناطیسی با هم مرتبط هستند و بنابر این هسته دارای شار مغناطیسی در سه فاز متفاوت است. برای چنین هسته‌هایی می‌توان از چندین شکل مختلف برای هسته استفاده کرد که این شکل‌های مختلف هر یک دارای مزایا و معایبی هستند و در مواردی خاص کاربرد دارند.

ترانسفورماتور سه فاز توزیع

طبقه**بندی**

به دلیل وجود کاربردهای متفاوت برای ترانسفورماتورها، آنها ار بر حسب پارامترهای متفاوتی طبقه‌بندی می‌کنند:

- بر حسب رده توان: از کسری از ولت-آمپر تا بیش از هزار مگا ولت-آمپر.
- بر حسب محدوده بسامد: بسامد قدرت، بسامد صوتی، بسامد رادئویی
- بر حسب رده ولتاژ: از چند ولت تا چند صد کیلوولت
- بر حسب نوع خنک کنندگی: خنک کننده هوا، روغنی، خنک کنندگی با فن، خنک کنندگی آ.
- بر حسب نوع کاربرد: منبع تغذیه، تطبیق امپدانس، تثبیت کننده ولتاز و جریان خروجی یا ایزوله کردن مدار.
- برحسب هدف نهایی کاربرد: توزیع، یکسوسازی، ایجاد قوس الکتریکی، ایجاد تقویت کننده.
- بر حسب نسبت سیم‌پیچ ها: افزاینده، کاهنده، ایزوله کننده با نسبت تقریبا یکسان در دوسیم پیچ، متغیر.

www.iauni.ir

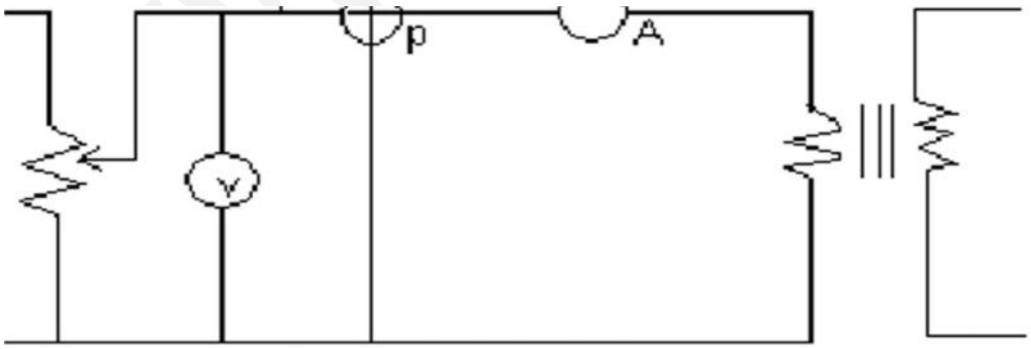
بخش عملی :

محاسبه اجزای مدار معادل ترانسفورماتور واقعی را می توان توسط دو آزمایش زیر تعیین کرد:

1-آزمایش بی باری .هدف: به دست آوردن مقاومت و راکتانس هسته

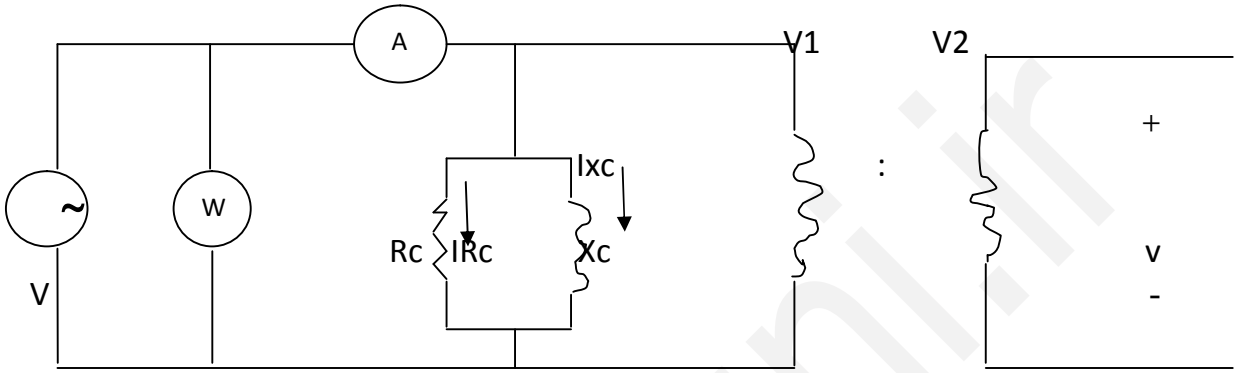
در این آزمایش نخست آمپدانس اسمی ترانس را یادداشت آردیم سپس مدار زیر را بستیم.

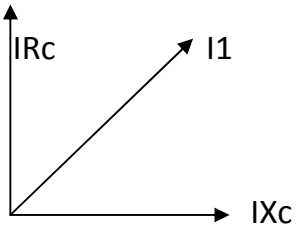
یکی از سیم پیچ ها را تغذیه کرده و دیگری را باز می گذاریم.پس اگر سیم پیچ اولیه تغذیه شده باشد،جریان ثانویه صفر می گردد.چون جریانی که ترانسفورماتور در حالت بی باری از شبکه می کشد کم استحدود 5 الی 10 درصد جریانمی توان از افت ولتاژ در R وx صرف نظر کرد.



به طور کلی بی باری یعنی اتصال باز یعنی به مقاومت وصل نباشد پس وقتی از طرف دوم جریانی عبور نکند جریانی که از طرف اول عبور می کند از هسته عبور میکند.پس در این آزمایش مقاومت ورکتانس هسته را محاسبه میکنیم.

ابتدا Rc را محاسبه میکنیم.وات متر توانی را که داخل مقاومت تلف میشود را اندازه گیری میکند که به آن توان حقیقا گوییم وداریم p=V^2/Rcدر نتیجه داریم: Rc=V^2/P
در نتیجه :Ic=V/Rc
در اینجا رابطه ی جریان ها خطی نیست چون جریان ما سینوسی است و جریان دو سر Xc در نمودار زیر 90 درجه نسبت به جریان هایی که از مقاومت عبور میکنند اختلاف فاز دارند.





جمع برداری IRc و IRx میشود I1.

و داریم:

$$IXc=I1^2 -IRc^2^1/2$$

پس Xm مقاومتی که یک سلف در مقابل جریان AC از خود نشان میدهد برابر است با:

$$Xm=V/IXm$$

چون آزمایش تک فاز است فاز ونول را به ولت متر می دهیم و از آن به طرف اول ترانس.

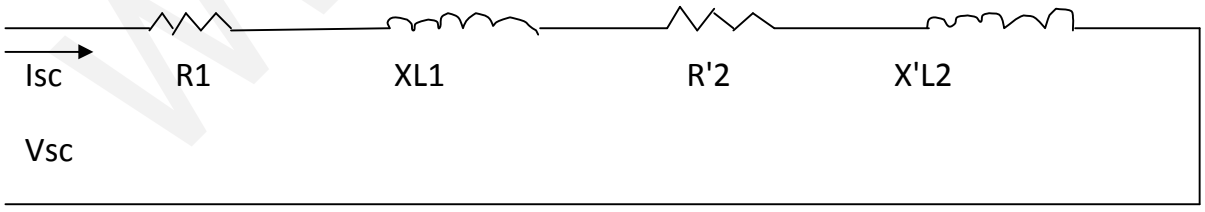
نکته‌ارد وسیله ای است برای تخلیه ی بار الکترواستاتیک.

چون جریان بي باري کوچك است سیم پیچ ولتاژ ولت متر وولت متر باید به گونه اي وصل شودکه جریان عبوري از آنها از سیم پیچ جریان ولت متر عبور نکند.
۱ مقدار نامي افزایش داده وتغییرات جریان ولتاژ وتوان را یادداشت میکنیم. ولتاژ اولیه ترانس را از صفر تا ۲آوردیم که نتایج در جدول زیر موجود مي باشد.

ولتاژطرف اول	جریان	توان
231V	0.52A	35W

آزمایش دوم:
آزمایش اتصال کوتاه
هدف:به دست آوردن مقاومت و راکتانس سیم پیچ ها

در این آزمایش یکی از سیم پیچ ها را اتصال کوتاه کرده و طرف دیگر آن را با ولتاژی بسیار کمتر از ولتاژ نامی تغذیه میکنیم.در نتیجه جریان مغناطیس کننده ی Im و جریان تلفات آهنی Ic**قابل صرف** نظر بوده و مدار معادل مطابق زیر می گردد.



در این آزمایش حداکثر ولتاژ اعمال شده کمتر از 10 درصد ولتاژ نامی است.

در اینجا:

R'2=N1/N2^2*R2

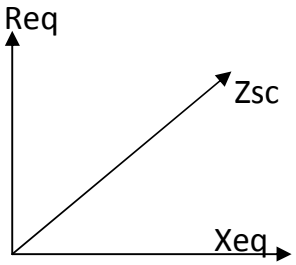
X'L2=N1/N2^2*XL2

توانی کع از شبکه گرفته می شود Psc استواگر سیم پیچ اتصال کوتاه شود داریم:

Req=R1+R2=Psc/Isc^2

Zsc=Vsc/Isc

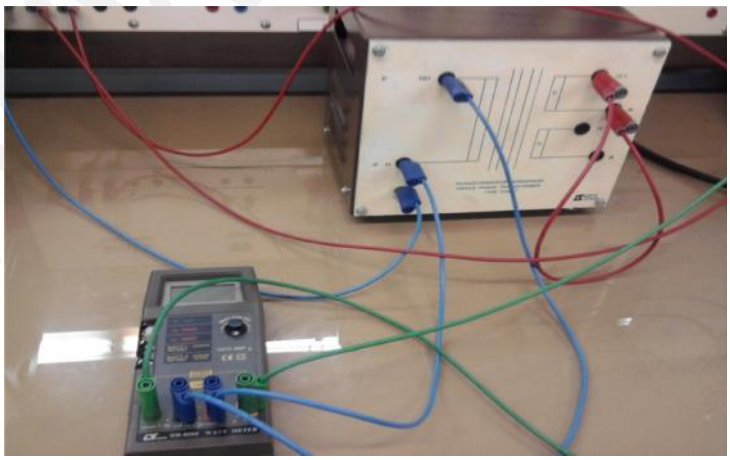
چون Req وXeq سری بسته شده اند پس 90 درجه اختلاف فاز دارند وداریم:



Xeq=X1+X2=Zsc^2 -Req^2^1/2

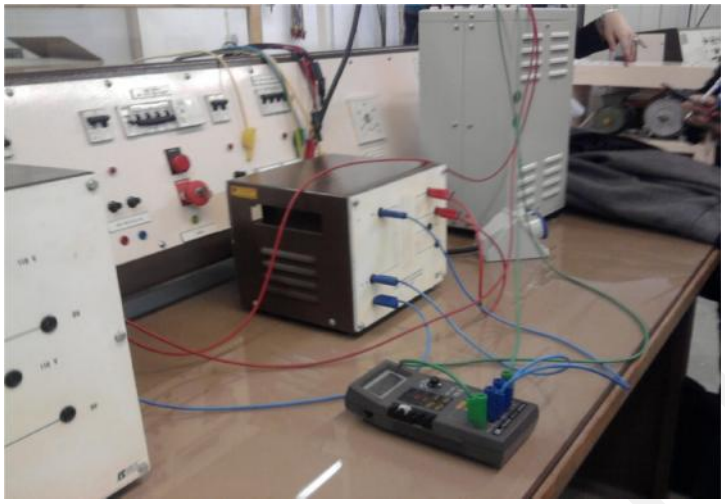
ترانس یک طرف اولیه دارد و یک طرف ثانویه .یک ترانس کاهنده داریم که 220 ولت را 110 ولت میکند. یعنی به نسبت 2 به 1.جریان طرف اول 4.5 آمپر است پس جریان طرف دوم 9 آمپر میشودچون ولتاژ نصف شود جریان دو برابر میشود.

در این آزمایش طرف دوم را اتصال کوتاه میکنیم در نتیجه طرف اول دیگر نمیتواند 220 ولت باشدچون باعث میشود که جریان زیادی از آن عبور کند ودستگاه منفجرشود.



پس 220 ولت را به یک اوتوترانس کاهنده میدهیم واوتوترانس خروجی اش را به ترانس میدهد.

آنقدرولتاژ خروجی اوتوترانس را آروم آروم زیاد میکنیم تا از طرف اول 4.5 آمپر عبور کند.



مقادیر به دست آمده از آزمایش:

ولتاژ	جریان	توان
13V	4.47A	48W

www.ieun.ir