l

آزمایشگاه فیزیک پایه 2

گزارش کار آزمایش شماره 2

« ترانسفورماتور »

گروه 5

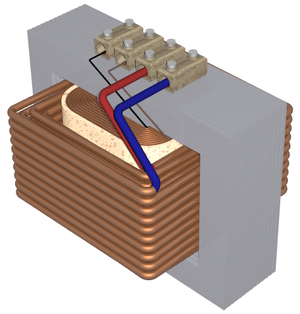
محمدرضا مهدیه

تاریخ آزمایش : 10/8/1390

تاریخ تحویل گزارش کار: 29/8/1390

استاد: آقای علی محمد نیکو

تئوری آزمایش:

[](http://fa.wikipedia.org/wiki/%D9%BE%D8%B1%D9%88%D9%86%D8%AF%D9%87:WeldingTransformer-1.63.png)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 VS و ولتاژ دو سر سیم‌پیچ اولیه VP 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}}

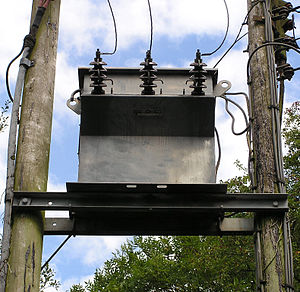

به این ترتیب با اختصاص دادن امکان تنظیم تعداد سیم‌پیچ‌های ترانسفورماتور، می‌توان امکان تغییر ولتاژ در ثانویه ترانس را فراهم کرد.

یکی از کاربردهای بسیار مهم ترانسفورماتورهای کاهش جریان پیش از خطوط [انتقال انرژی الکتریکی](http://fa.wikipedia.org/wiki/%D8%A7%D9%86%D8%AA%D9%82%D8%A7%D9%84_%D8%A7%D9%86%D8%B1%DA%98%DB%8C_%D8%A7%D9%84%DA%A9%D8%AA%D8%B1%DB%8C%DA%A9%DB%8C) 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](http://fa.wikipedia.org/wiki/%D8%A8%D8%A7%D8%B2%D8%AF%D9%87) 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.

اصول پایه

به طور کلی یک ترانسفورماتور بر دو اصل استوار است:اول اینکه، جریان الکتریکی متناوب 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 متناوب در یک سیم سیم‌پیچ شود.

[](http://fa.wikipedia.org/wiki/%D9%BE%D8%B1%D9%88%D9%86%D8%AF%D9%87:PoleMountTransformer02.jpg)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:

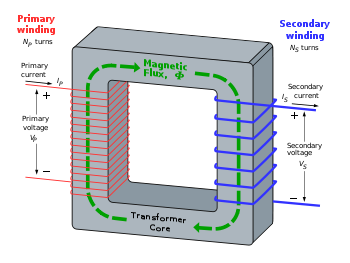

V_{S} = N_{S} \frac{d\Phi}{dt}


در فرمول بالا VS ولتاژ لحظه‌ای, NS 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}}


[](http://fa.wikipedia.org/wiki/%D9%BE%D8%B1%D9%88%D9%86%D8%AF%D9%87:Transformer3d_col3.svg)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:

Pincoming = IPVP = Poutgoing = ISVS

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.

ملاحظات عملی

شار پراکندگی

در یک ترانسفورماتور آرمانی [شار مغناطیسی](http://fa.wikipedia.org/wiki/%D8%B4%D8%A7%D8%B1_%D9%85%D8%BA%D9%86%D8%A7%D8%B7%DB%8C%D8%B3%DB%8C) تولید توسط سیم‌پیچ اول به طور کامل توسط سیم‌پیچ دوم جذب 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](http://fa.wikipedia.org/w/index.php?title=%D8%A7%D8%AA%D8%B5%D8%A7%D9%84_%DA%A9%D9%88%D8%AA%D8%A7%D9%87&action=edit&redlink=1&preload=%D8%A7%D9%84%DA%AF%D9%88:%D8%A7%DB%8C%D8%AC%D8%A7%D8%AF+%D9%85%D9%82%D8%A7%D9%84%D9%87/%D8%A7%D8%B3%D8%AA%D8%AE%D9%88%D8%A7%D9%86%E2%80%8C%D8%A8%D9%86%D8%AF%DB%8C&editintro=%D8%A7%D9%84%DA%AF%D9%88:%D8%A7%DB%8C%D8%AC%D8%A7%D8%AF+%D9%85%D9%82%D8%A7%D9%84%D9%87/%D8%A7%D8%AF%DB%8C%D8%AA%E2%80%8C%D9%86%D9%88%D8%AA%DB%8C%D8%B3&summary=%D8%A7%DB%8C%D8%AC%D8%A7%D8%AF+%DB%8C%DA%A9+%D9%85%D9%82%D8%A7%D9%84%D9%87+%D9%86%D9%88+%D8%A7%D8%B2+%D8%B7%D8%B1%DB%8C%D9%82+%D8%A7%DB%8C%D8%AC%D8%A7%D8%AF%DA%AF%D8%B1&nosummary=&prefix=&minor=&create=%D8%AF%D8%B1%D8%B3%D8%AA+%DA%A9%D8%B1%D8%AF%D9%86+%D9%85%D9%82%D8%A7%D9%84%D9%87+%D8%AC%D8%AF%DB%8C%D8%AF) است. از این گونه ترانسفورماتورها برای تغذیه بارهای دارای مقاومت منفی مانند دستگاه‌های 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.

تاثیر بسامد

مشتق زمان در [قانون فاراده](http://fa.wikipedia.org/wiki/%D9%82%D8%A7%D9%86%D9%88%D9%86_%D9%81%D8%A7%D8%B1%D8%A7%D8%AF%D9%87) نشان می‌دهد که شار در یک سیم‌پیچ، برابر انتگرال ولتاژ ورودی است. در یک ترانسفورماتور ایده‌آل افزایش شار در سیم‌پیچ به طور خطی در نظر گرفته می‌شود اما در عمل شار مغناطیسی با سرعت نسبتا زیاد افزایش پیدا می‌کند این افزایش تا جایی ادامه دارد که شار به نقطه اشباع مغناطیسی هسته می‌رسد. به خاطر افزایش ناگهانی جریان مغناطیس کننده در یک ترانسفورماتور واقعی، همه ترانسفورماتورها باید همیشه با جریان متناوب سینوسی (نه پالسی) تغذیه شوند.

معادله عمومی EMF برای ترانسفورماتورها

اگر شار مغناطیسی را سینوسی در نظر بگیریم رابطه بین ولتاژ E، بسامد منبع f، تعداد دور N، سطح مقطع هسته A و ماکزیمم چگالی مغناطیسی B از رابطه عمومی EMF و به صورت زیر به دست می‌آید:

 E={\frac {2 \pi f N a B} {\sqrt{2}}} \!=4.44 f N a B

برای یک ترانسفورماتور در چگالی مغناطیسی ثابت، EMF با افزایش بسامد افزایش می‌یابد که تاثیر آن را می‌توان از معادله عمومی EMF محاسبه کرد. بنابراین با استفاده از ترانسفورماتورها در بسامد بالاتر می‌توان بهره‌وری آنها را نسبت به وزن‌شان افزایش داد چراکه یک ترانسفورماتور با حجم هسته ثابت در بسامد بالاتر می‌تواند میزان توان بیشتری را بین سیم‌پیچ‌ها جابجا کند و تعداد دور سیم‌پیچ کمتری نیز برای ایجاد یک امپدانس ثابت نیاز خواهد بود. با این حال افزایش بسامد می‌تواند موجب به وجود آمدن تلفات مضایف مانند تلفات هسته و اثر سطحی در سیستم شود. در هواپیماها و برخی تجهیزات نظامی از بسامد 400 هرتز استفاده می‌شود چراکه با این کار گذشته از افزایش برخی تلفات می‌توان حجم تجهیزات را کاهش داد.

به طور کلی استفاده از یک ترانسفورماتور در ولتاژ نامی ولی بسامد بیش از نامی موجب کاهش جریان مغناطیس کننده می‌شود و به این ترتیب در بسامدی کمتر از بسامد نامی جریان مغناطیس کننده می‌تواند در حد زیادی افزایش یابد. البته استفاده از ترانسفورماتورها در بسامدهای بیشتر یا کمتر از بسامد نامی باید قبل از اقدام، مورد ارزیابی قرار گیرد تا شرایط ایمن برای کار ترانس مثل سنجش ولتاژها، تلفات و استفاده از سیستم خنک‌کننده خاص بررسی شود. برای مثال ترانسفورماتورها باید به وسیله رله‌های کنترل محافظتی ولتاژ به ازای بسامد مجهز شوند تا در مقابل اضافه ولتاژهای ناشی از افزایش بسامد محافظت شوند.

تلفات انرژی

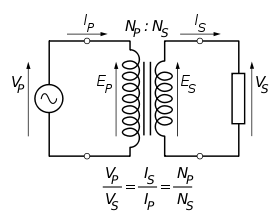
یک ترانسفورماتور ایده‌آل هیچ تلفاتی نخواهد داشت و در واقع بازدهی برابر 100٪ دارد. با این حال ترانسفورماتورهای واقعی نیز جزو بهره‌ورترین تجهیزات الکتریکی محسوب می‌شود به طوری که نمونه‌های آزمایشی ترانسفورماتورهایی که با بهرگیری از [ابر رسانا](http://fa.wikipedia.org/wiki/%D8%A7%D8%A8%D8%B1_%D8%B1%D8%B3%D8%A7%D9%86%D8%A7) 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.

[](http://fa.wikipedia.org/wiki/%D9%BE%D8%B1%D9%88%D9%86%D8%AF%D9%87:Transformer_under_load.svg)جریان گردابی

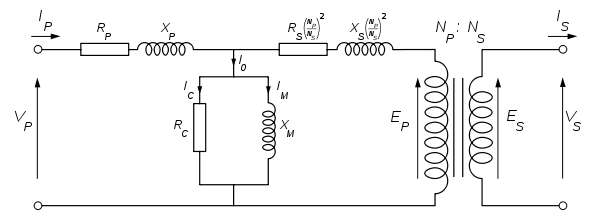
مواد فرومغناطیس معمولاً هادی‌های الکتریکی خوبی نیز هستند و بنابراین هسته ترانسفورماتورمی‌تواند مانند یک مدار اتصال کوتاه شده عمل کند. بنابراین حتی با القای میزان کمی ولتاژ، جریان در هسته به شدت بالا می‌رود. این جریان جاری در هسته گذشته از به وجود آوردن تلفات الکتریکی موجب به وجود آمدن حرارت در هسته نیز 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.

[](http://fa.wikipedia.org/wiki/%D9%BE%D8%B1%D9%88%D9%86%D8%AF%D9%87:Transformer_equivalent_circuit.svg)مدار معادل

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 RS و RP هستند. با بررسی خواص شار پراکندگی می‌توان آن را به صورت خود القاهای XP و XS نشان داد که به صورت سری با سیم‌پیچ ایده‌آل قرار می‌گیرند. تلفات آهنی از دو نوع تلفات گردابی (فوکو) و [پسماند](http://fa.wikipedia.org/wiki/%D9%BE%D8%B3%D9%85%D8%A7%D9%86%D8%AF) (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 می‌توان به صورت مقاومتی موازی با مدار ترانسفورماتور نشان داد. این مقاومت همان RC است.

هسته‌ایی با نفوذپذیری محدود نیازمند جریان IM 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 XM در مدار نشان داد که به طور موازی با تلفات آهنی هسته RC قرار می‌گیرد. RC و XM 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 I0 خواهد بود که از شاخه مغناطیس کننده عبور خواهد کرد این جریان را جریان بی‌باری نیز می‌نامند.

مقاومت‌های موجود در طرف ثانویه یعنی RS و XS 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 کوتاه‌تر(که در ترانس کاهنده سیم‌پیچ ثانویه محسوب می‌شود) 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

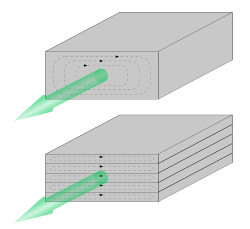
برای تغذیه بارهای سه فاز می‌توان از سه ترانسفورماتور جداگانه استفاده کرد یا آنکه از یک ترانسفورماتور سه فاز استفاده کرد. در یک ترانسفورماتور سه فاز مدارهای مغناطیسی با هم مرتبط هستند و بنابر این هسته دارای شار مغناطیسی در سه فاز متفاوت است. برای چنین هسته‌هایی می‌توان از چندین شکل مختلف برای هسته استفاده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

طبقه‌بندی

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

* بر حسب رده [توان](http://fa.wikipedia.org/wiki/%D8%AA%D9%88%D8%A7%D9%86): از کسری از ولت-آمپر تا بیش از هزار مگا ولت-آمپر.
* بر حسب محدوده [بسامد](http://fa.wikipedia.org/wiki/%D8%A8%D8%B3%D8%A7%D9%85%D8%AF): بسامد قدرت، بسامد صوتی، بسامد رادئویی
* بر حسب رده [ولتاژ](http://fa.wikipedia.org/wiki/%D9%88%D9%84%D8%AA%D8%A7%DA%98): از چند ولت تا چند صد کیلوولت
* بر حسب نوع خنک کنندگی: خنک کننده هوا، روغنی، خنک کنندگی با فن، خنک کنندگی آب.
* بر حسب نوع کاربرد: منبع تغذیه، تطبیق امپدانس، تثبیت کننده ولتاز و جریان خروجی یا ایزوله کردن مدار.
* برحسب هدف نهایی کاربرد: [توزیع](http://fa.wikipedia.org/wiki/%D8%AA%D9%88%D8%B2%DB%8C%D8%B9_%D8%A7%D9%86%D8%B1%DA%98%DB%8C_%D8%A7%D9%84%DA%A9%D8%AA%D8%B1%DB%8C%DA%A9%DB%8C)، یکسوسازی، ایجاد قوس الکتریکی، ایجاد تقویت کننده.
* بر حسب نسبت سیم‌پیچ‌ها: افزاینده، کاهنده، ایزوله کننده (با نسبت تقریبا یکسان در دوسیم‌پیچ)، متغیر.

ساختمان

[](http://fa.wikipedia.org/wiki/%D9%BE%D8%B1%D9%88%D9%86%D8%AF%D9%87:Lamination_eddy_currents.svg)هسته

هسته لایه لایه شده

لایه لایه کردن هسته ترانس جریان گردابی را به شدت کاهش می‌دهد. ترانسفورماتورها مورد استفاده در کاربردهای قدرت یا بسامد بالا (رادیویی) معمولاً از هسته با جنس فولاد سیلیکاتی با قابلیت نفوذپذیری مغناطیسی بالا استفاده می‌کنند.قابلیت نفوذپذیری مغناطیسی در فولاد بارها بیشتر از نفوذپذیری در خلاء است و به این ترتیب با استفاده از هسته‌های فولادی جریان مغناطیس کننده مورد نیاز برای هسته به شدت کاهش می‌یابد و شار در مسیری کاملا نزدیک به سیم‌پیچ‌ها محبوس می‌شود. سازندگان ترانسفورماتورهای اولیه به سرعت متوجه این موضوع شدند که استفاده از هسته یک پارچه باعث افزایش تلفات گردابی در هسته ترانسفورماتور می‌شود و در طراحی‌های خود از هسته‌هایی استفاده کردند که از دسته‌های عایق شده آهن تولید شده بود. در طراحی‌هایی بعدی با استفاده از ورق‌های نازک آهن که نسبت به یکدیگر عایق شده بودند، تلفات در ترانسفورماتور باز هم کاهش یافت. از این روش در ساخت هسته امروزه نیز استفاده می‌شود. همچنین با استفاده از معادله عمومی ترانسفورماتور می‌توان نتیجه گرفت که کمترین سطح اشباع در هسته با سطح مقطع کوچکتر ایجاد می‌شود.

گرچه استفاده از هسته‌های با لایه‌های نازک‌تر تلفات را کاهش می‌دهد، اما از طرفی هزینه ساخت ترانسفورماتور را افزایش می‌دهد. بنابراین از هسته‌های با لایه‌های نازک معمولاً در بسامدهای بالا استفاده می‌شود. با استفاده از برخی انواع هسته‌های با لایه‌های بسیار نازک امکان ساخت ترانسفورماتورهایی برای کاربرد در مصارف تا ۱۰ کیلوهرتز پدید می‌آید.

نوعی متداول از هسته‌های لایه لایه، از قطعاتی E شکل که با قطعاتی I شکل یک هسته را به وجود می‌آورند تشکیل شده. این هسته‌ها را هسته‌های E-I می‌نامند. این هسته‌ها گرچه تلفات را افزایش می‌دهند اما به علت آسانی مونتاژ، هزینه ساخت هسته را کاهش می‌دهند. نوع دیگری از هسته‌ها، هسته‌های C شکل هستند. این هسته از قرار دادن دو قطعه C شکل در مقابل یکدیگر تشکیل می‌شود. این هسته‌ها این مزیت را دارند که تمایل شار برای عبور از هر قطعه از هسته برابر است و این مزیت باعث کاهش یافتن مقاومت مغناطیسی می‌شود.

پسماند در یک هسته فولادی به معنای باقی ماندن خاصیت مغناطیسی در هسته پس از قطع شدن توان الکتریکی است. زمانی که جریان دوباره در هسته جاری می‌شود این پسماند باقی مانده در هسته تا زمانی که کاهش یابد موجب به وجود آمدن یک جریان هجومی در ترانس می‌شود. تجهیزات حفاظتی مانند فیوزها باید طوری انتخاب شوند که به این جریان هجومی اجازه عبور دهند.

ترانسفورماتورهای توزیع می‌توانند با استفاده از هسته‌های با قابلیت نفوذ پذیری مغناطیسی بالا تلفات بی باری را کاهش دهند. هزینه اولیه هسته بعدها با صرفه‌جویی که در مصرف انرژی و افزایش طول عمر ترانس می‌شود جبران خواهد شد.

هسته‌های یکپارچه

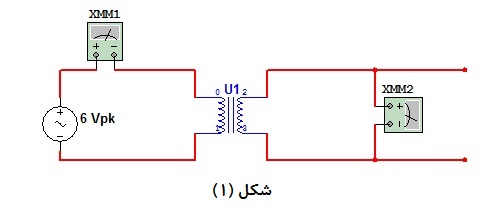
هسته‌هایی که از آهن پودر شده ساخته شدند در مدارهایی که با بسامد بالاتر از بسامد شبکه تا چند ده کیلوهرتز کار می‌کنند کاربرد دارند. این هسته دارای قابلیت نفوذ پذیری مغناطیسی بالا و همچنین مقاومت الکتریکی بالا هستند. برای بسامدهایی بالاتر از باند VHF از هسته‌های غیر رسانای فریت استفاده می‌شود. برخی از ترانسفورماتورهای بسامد رادیویی از هسته‌های متحرک استفاده می‌کنند که این امکان را به وجود می‌آورد که ضریب اتصال هسته قابل تغییر باشد.

[](http://fa.wikipedia.org/wiki/%D9%BE%D8%B1%D9%88%D9%86%D8%AF%D9%87:Small_toroidal_transformer.jpg)هسته‌های حلقوی

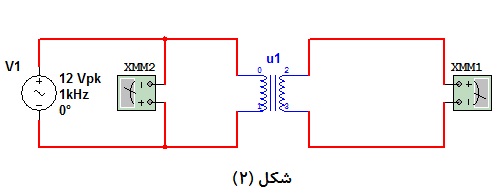
ترانسفورماتورهای حلقوی دور حلقه‌ای ساخته می‌شوند.جنس این هسته بسته به بسامد مورد استفاده ممکن است از نوارهای بلند فولاد سیلیکاتی، پرمالوی پیچیده شده دور یک چنبره، آهن تقویت شده یا فریت باشد.ساختار نواری باعث چینش بهینه [مرز\_دانه‌ها](http://fa.wikipedia.org/wiki/%D9%85%D8%B1%D8%B2_%D8%AF%D8%A7%D9%86%D9%87) می‌شود که این امر با کاهش رلوکتانس هسته موجب افزایش بهره وری ترنسفورماتور می‌گردد.شکل حلقوی بسته باعث از بین رفتن فاصله هوایی در هسته‌هایی با ساختار E-I می‌شود.سطح مقطع حلقه عموما به صورت مربعی یا مستطیلی می‌باشند، البته هسته‌هایی با سطح مقطع دایروی با قیمت بالا نیز وجود دارند. سیم پیچیهای اولیه و ثانویه به صورت فشرده پیچیده می‌شوند و تمام سطح حلقه را می‌پوشانند. با این کار می‌توان طول سیم مورد نیاز را به حداقل رساند. در توانهای برابر ترانسفورماتورهای حلقوی از انواع E-I -که ارزانتر میباشند- بازده بیشتری دارند.دیگر مزایای ترانسفورماتورهای حلقوی به قرار زیرند:اندازه کوچکتر (در حدود نصف)، وزن کمتر(در حدود نصف)، اغتشاش (صدای هوم) پائین(ایده آل برای استفاده در تقویت کننده‌های صوتی)، میدان مغناطیسی کمتر(در حدود یک دهم)، تلفات بی باری پائین(مناسب برای مدارها در حالت آماده بکار-standby-). از معایب آنها به قیمت بیشتر و توان نامی محدود می‌توان اشاره کرد.

در بسامدهای بالا هسته‌های حلقوی فریت مورد استفاده قرار می‌گیرند. فریت قابلیت کار در بسامدهای چند ده کیلوهرتز تا یک مگا هرتز را دارا میباشد. با بکارگیری فریت تلفات، اندازه فیزیکی، و وزن [منابع نیروی سوئیچ مد](http://en.wikipedia.org/wiki/Switched-mode_power_supply) کاهش می‌یابد. ایراد دیگر ترانسفورماتورهای حلقوی هزینه بالای سیم پیچی در آنهاست. در نتیجه آنها در توان‌های نامی بیشتر از چند کیلوولت آمپر کاربرد بسیار کمی دارند.

روش عملی آزمایش:

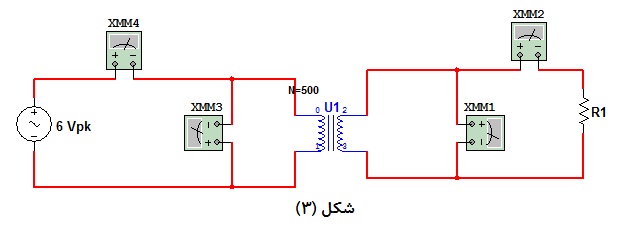
قسمت 1)بستگی جریان ها در ترانس با خروجی اتصال کوتاه:

ابتدا مدار شکل (1) بسته شد و سپس در دو مرحله یکبار جریان متناوب 6 ولت و بار دیگر 9 ولت متصل شد و برای هر مرحله نیز یکبار سیم پیچ اولیه 500 و بار دیگر 1000 دور قرار داده شد و در هر یک از این مراحل مقدار جریان ورودی و خروجی اندازه گیری و در جدول (1) ثبت شد.

قسمت 2): بستگی ولتاژها در ترانس بدون بار:

این بار مدار شکل (2) بسته شد به طوری که سیم پیچ اولیه 500 دور باشد. و سپس ولتاژهای 3،6،9،12 سیم پیچ اولیه اعمال شد و سپس مقدار ولتاژ های بدست آمده در جدول (2) ثبت شد. مجددا این مراحل با برعکس کردن سیم پیچ( به طوری که سیم پیچ اولیه 1000 دور باشد) انجام و مقادیر در همان جدول ثبت شد.

قسمت 3) بستگی ولتاژ خروجی و مقاومت بار (جریان خروجی):

مدار شکل (3) بسته شد و ولتاژ ورودی همواره 6 ولت قرار داده شد. سپس با تغییر مقدار مقاومت مقادیر ولتاژ و شدت جریان در جدول ثبت شد.(نکته: با تغییر مقاومت مقدار ولتاژ اولیه تغییر میکند وباید در هر مرحله آنرا ثابت و روی 6 ولت قرار داد).

جداول:

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **V** | **NP(سیم پیچ اولیه)** | **NS(سیم پیچ ثانویه)** | **IP(mA)** | **IS(mA)** | **NP/NS** | **IS/IP** |
| **6** | **1000** | **500** | **0.12** | **0.29** | **2** | **2.41** |
| **500** | **1000** | **0.12** | **0.05** | **0.5** | **0.41** |
| **9** | **1000** | **500** | **0.19** | **0.44** | **2** | **2.31** |
| **500** | **1000** | **0.19** | **0.10** | **0.5** | **0.52** |

جدول (1)

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **V** | **NP** | **NS** | **VP(v)** | **VS(v)** | **NP/NS** | **VP/VS** |
| **3** | **1000** | **500** | **3.07** | **1.37** | **2** | **2.24** |
| **500** | **1000** | **3.07** | **5.64** | **0.5** | **0.54** |
| **6** | **1000** | **500** | **6.04** | **2.77** | **2** | **2.18** |
| **500** | **1000** | **6.04** | **11.32** | **0.5** | **0.53** |
| **9** | **1000** | **500** | **8.98** | **4.16** | **2** | **2.15** |
| **500** | **1000** | **8.98** | **17.00** | **0.5** | **0.53** |
| **12** | **1000** | **500** | **11.99** | **5.61** | **2** | **2.14** |
| **500** | **1000** | **11.99** | **22.8** | **0.5** | **0.53** |

جدول (2)

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **R(Ω)** | **22** | **47** | **100** | **220** | **320** | **470** | **∞** |
| **VP(v)** | **6** | **6** | **6** | **6** | **6** | **6** | **6** |
| **VS(v)** | **2.82** | **4.88** | **7.44** | **9.44** | **10.03** | **10.44** | **11.33** |
| **IP(mA)** | **0.24** | **0.21** | **0.14** | **0.08** | **0.06** | **0.04** | **0.01** |
| **IS(mA)** | **0.11** | **0.09** | **0.05** | **0.02** | **0.01** | **0.01** | **0.01** |
| **Pp(10-3AV)** | **1.44** | **1.26** | **0.84** | **0.48** | **0.36** | **0.24** | **0.06** |
| **Ps(10-3AV)** | **0.31** | **0.44** | **0.37** | **0.19** | **0.10** | **0.10** | **0.11** |
| **K=pp/ps** | **4.64** | **2.86** | **2.27** | **2.52** | **3.6** | **2.4** | **0.54** |

جدول (3)

محاسبات:

قسمت 1)

مقادیر نسبت جریان ها براحتی قابل محاسبه است که در همان جدول (1) ثبت شده و همچنین نسبت عکس سیم پیچ نیز محاسبه و ثبت شد که همانطور که پیداست این دو مقدار با توجه به تئوری آزمایش نسبتا برابر هستند و رابطه NP/NS=IS/IP را به اثبات می رساند.

پس با اثبات این رابطه خواهیم دانست که هرچه دور سیم پیچ اولیه بیشتر باشد می توان جریان بیشتر در سیم پیچ ثانویه ایجاد کرد.

قسمت 2)

مقادیر نسبت ها براحتی قابل محاسبه است که در جدول (2) ثبت شده است. همانطور که پیداست نبست دور سیم پیچ ها با نسبت ولتاژ آنها نسبت مستقیم دارد. یعنی اگر سیم پیچ اولیه دارای دور کمتری باشد و به آن ولتاژی اعمال شود به نسبت دور سیم پیچ ها ولتاژ نیز افزایش می یابد.

قسمت 3)

مقدار توان از رابطه P=IV بدست می آید که برای هر سیم پیچ به طور جداگانه محاسبه و در جدول قرار داده شد. توان دو سیم پیچ اولیه و ثانویه در صورت ناچیز بودن مقاومت اهمی سیم پیچ ها باید برابر باشد و لی به دلیل اختلاف موجود در این توان ها باید مقداری به نام « ضریب جفت شدگی » ترانسفورماتور محاسبه شود . که در اینجا تحت ردیفی دیگر در جدول ذکر شده . که مقدار این ضریب برابر نسبت توان اولیه به ثانویه می باشد.

پرسش ها :

1. از روی نتایج آزمایش قسمت (3) منحنی های ولتاژ و توان خروجی را بر حسب IS بر روی کاغذ میلیمتری جداگانه رسم کنید.

نمودار های این قسمت بر روی کاغذ میلیمتری در ضمیمه کار پیوست شده است.

1. با استفاده از IP, VP, IS ,VS توان ورودی و توان خروجی را بدست آورید و ضریب جفت شدگی ترانفورماتور را بدست آورید.

این سوال در جدول (3) محاسبه و بررسی شد.

1. از روی منحنی های فوق بستگی ولتاژ و توان خروجی را با جریان خروجی تعیین کنید.

همانطور که از روی نمودار پیداست رابطه IS با VS رابطه خطی با شیب منفی است پس با هم نسبت عکس دارند و همچنین در نمودار IS بر حسب PS مشخص است که رابطه مستقیم دارند که این تناسبات از رابطه توان کاملا مشهود است.

1. توضیح دهید نقطه ماکزیمم در چه جریان خروجی رخ می دهد؟

چون دریک قسمت روابط نسبت عکس دارند ودر قسمتی نسبت مستقیم پس هرگاه جریان میانه باشد مقدار ماکزیمم خواهد بود که با امتداد نمودار Iبر حسب V مقدار I به 150 میکرو آمپر می رسد پس در 2/150 مقدار ماکزیمم است.