

آزمایش شماره ۱۴

ترانسفورماتور

هدف آزمایش

- (۱) مطالعه اصول فیزیکی ترانسفورماتور
- (۲) تحقیق قوانین حاکم بر ترانسفورماتور
- (۳) محاسبه بازده یا راندمان ترانسفورماتور

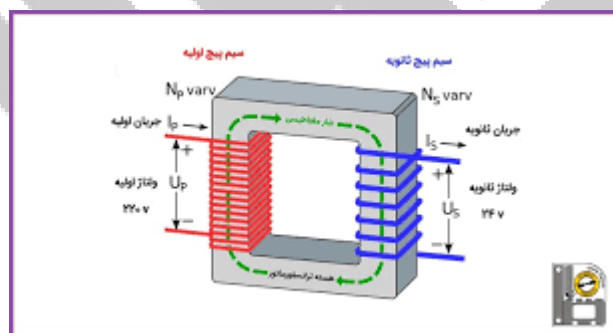
وسایل مورد نیاز

منبع تغذیه جریان متناوب، سیم پیچ‌های مختلف، آمپرتر، ولتمتر، رئوستا، هسته‌های آهنی، سیم‌های رابط

تئوری آزمایش

هر چند در ابتدا دو پدیده الکتریسیته و مغناطیس به طور مستقل از یکدیگر شناخته و مطالعه شدند اما آزمایش‌های مختلف نشان دادند که این دو پدیده مستقل از یکدیگر نیستند و بر اساس دو قانون زیر به یکدیگر وابسته‌اند.

- (۱) هر سیم حامل جریان الکتریکی در اطراف خود میدان مغناطیسی تولید می‌کند.
- (۲) حرکت یک سیم در میدان مغناطیسی و یا تغییر شار مغناطیسی سبب ایجاد نیروی محرکه القایی در دو سر سیم می‌شود.



(شکل ۱)

ترانسفورماتور به منظور کاهش و یا افزایش ولتاژ مورد استفاده قرار می‌گیرد و بر مبنای دو قانون فوق عمل می‌کند. این وسیله در مدارهای جریان متناوب کاربرد فراوان دارد. به طور کلی ترانسفورماتور مطابق شکل (۱) از دو سیم‌پیچ که بر روی یک هسته آهنی قرار گرفته اند تشکیل شده است. یکی از آن‌ها را سیم‌پیچ اولیه (Primary) و دیگری را سیم‌پیچ ثانویه (Secodary) می‌گویند. اگر جریان متغیری از سیم پیچ‌اولیه بگذرد،

میدان مغناطیسی متغیری درون هسته آهنی به وجود می‌آید. این هسته خطوط میدان مغناطیسی را به داخل سیم‌پیچ ثانویه هدایت می‌کند. از آنجا که از داخل سیم‌پیچ ثانویه شار متناوبی عبور می‌کند بر اساس قانون القای فاراده، یک نیروی محرکه القایی در دو سر سیم‌پیچ ثانویه به وجود می‌آید. سیم‌پیچ اولیه را با P و سیم‌پیچ ثانویه را با S نشان می‌دهیم. بنابراین V_p ، I_p ، N_p ، P_p به ترتیب ولتاژ، جریان، تعداد دور و توان در سیم‌پیچ اولیه و V_s ، I_s ، N_s ، P_s مقادیر متناظر در سیم‌پیچ ثانویه هستند و همواره فرض بر این است که سیم‌پیچ اولیه به منبع تغذیه و سیم‌پیچ ثانویه به عامل مصرف متصل هستند.

فرض کنید که سیم‌پیچ اولیه‌ی یک ترانسفورماتور به منبع تغذیه جریان متناوب متصل شده باشد. در این صورت شارمغناطیسی که از هر یک از حلقه‌های سیم‌پیچ می‌گذرد با زمان تغییر می‌کند. اگر شارمغناطیسی گذرنده از هر حلقه را با Φ نشان دهیم بر اساس قانون القای فاراده یک نیروی محرکه القایی در دو سر سیم‌پیچ اولیه به وجود می‌آید که با رابطه زیر داده می‌شود:

$$\varepsilon_p = -N_p \frac{d\Phi}{dt} \quad (1)$$

این ولتاژ تقریباً برابر با ولتاژ اعمال شده توسط منبع تغذیه است. علامت منفی در رابطه بالا معرف قانون لنز است و نشان می‌دهد که نیروی محرکه‌القایی در جهتی به وجود می‌آید که با تغییرات ولتاژ اعمال شده مخالفت می‌کند. به دلیل وجود هسته آهنی شاری که از سیم‌پیچ اولیه می‌گذرد از سیم‌پیچ ثانویه نیز خواهد گذشت. از آنجا که این شار متناوب است، بر اساس قانون القای فاراده در دو سر سیم‌پیچ ثانویه نیز نیروی محرکه القایی به وجود می‌آید که با رابطه زیر داده می‌شود:

$$\varepsilon_s = -N_s \frac{d\Phi}{dt} \quad (2)$$

از تقسیم روابط (1) و (2) خواهیم داشت:

$$\varepsilon_s / \varepsilon_p = N_s / N_p \quad (3)$$

رابطه بالا در هر لحظه برقرار است. بنابراین در مورد قدرمطلق ولتاژ مؤثر اولیه و ثانویه نیز می‌توان نوشت:

$$V_s / V_p = N_s / N_p \quad (4)$$

به این ترتیب با انتخاب مناسب نسبت دورهای اولیه و ثانویه می‌توان هر نسبتی از ولتاژ اولیه را به دست آورد. نسبت دورها را نسبت تبدیل می‌گویند. با توجه به روابط فوق، اگر تعداد دور ثانویه بیشتر از تعداد دور اولیه باشد، مقدار ولتاژ آن نیز بیشتر خواهد بود. به عبارت دیگر ترانسفورماتور مقدار ولتاژ را در مدار ثانویه افزایش می‌دهد. در این حالت، ترانسفورماتور را افزایشنده می‌نامند. اگر تعداد دور ثانویه کمتر از تعداد دور اولیه باشد

ولتاژ آن نیز کمتر خواهد بود. به عبارت دیگر ترانسفورماتور مقدار ولتاژ را در مدار ثانویه کاهش می‌دهد. در این حالت، ترانسفورماتور را کاهنده می‌گویند.

شار مغناطیسی موجود در هسته آهنی به ولتاژ اعمال شده در سیم‌پیچ اولیه و نیز ولتاژ القایی به وجود آمده در دو سر آن بستگی دارد. حال اگر از ثانویه جریان I_s بگذرد شاری متناسب با جریان I_p در خلاف جهت شار اصلی از اولیه خواهد گذشت. برای آن که شار اولیه ثابت بماند، لازم است جریان اولیه افزایش یابد. بنابراین شار ناشی از دو سیم‌پیچ برابر و در خلاف جهت یکدیگر هستند. از آن جا که شار، متناسب با جریان و تعداد دورهای هر سیم‌پیچ است می‌توان نوشت:

$$I_s/N_s = I_p/N_p \quad (5)$$

البته رابطه فوق در صورتی صادق است که در حالت بی‌بار ($I_s = 0$)، جریان اولیه صفر باشد. با استفاده از رابطه فوق نسبت جریان سیم‌پیچ ثانویه به جریان سیم‌پیچ اولیه برابر با نسبت عکس تعداد دورهای آنهاست.

$$I_s/I_p = N_p/N_s \quad (6)$$

از آنجا که آهنگ تولید انرژی گرمایی در هر سیم با مجذور جریان متناسب است، برای انتقال انرژی ژنراتورها به فواصل دور، از ولتاژ زیاد و جریان الکتریکی کم استفاده می‌کنند. به این صورت که در ابتدای خط یک ترانسفورماتور افزاینده و در انتهای خط یک ترانسفورماتور کاهنده به کار می‌برند تا ولتاژ به حد قابل مصرف برسد. در جوشکاری و کوره الکتریکی که محتاج الکتریکی زیاد است از ترانسفورماتورهای کاهنده استفاده می‌کنند.

در یک ترانسفورماتور ایده‌آل که در آن اتلاف انرژی وجود ندارد و رابطه‌ی (۶) برقرار است، از ضرب روابط (۴) و (۶) خواهیم داشت:

$$I_s/N_s = I_p/V_p \quad (7)$$

و یا :

$$P_s = P_p \quad (8)$$

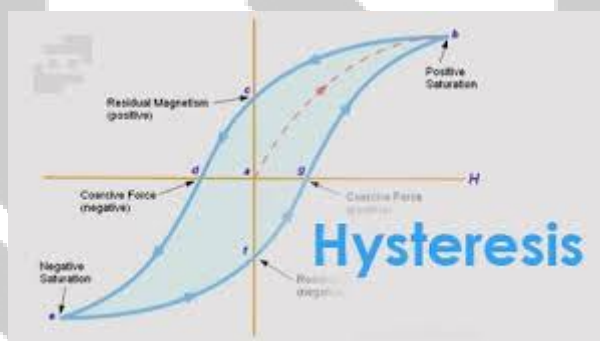
که P_s ، P_p به ترتیب توان گرمایی ایجاد شده در مقاومت در سیم‌پیچ‌های اولیه و ثانویه هستند. البته لازم به ذکر است که رابطه (۸) فقط در مورد ترانسفورماتور ایده‌آل برقرار است. در عمل اتلاف انرژی وجود دارد و مقادیر اندازه‌گیری شده با آنچه که در مورد ترانسفورماتور ایده‌آل محاسبه شد تفاوت دارد.

اتلاف انرژی در ترانسفورماتور را می‌توان به دو بخش اتلاف بارداری و اتلاف بی‌باری، تقسیم کرد. اتلاف بی‌باری که به آن اتلاف هسته نیز می‌گویند، حتی در زمانی که از ترانسفورماتور جریانی گرفته نمی‌شود نیز وجود دارد.

اتلاف بارداری یا اهمی نیز هنگامی که روی ترانسفورماتور بارالکتریکی قرار می‌گیرد به‌وجود می‌آید. وجود این دو نوع اتلاف انرژی سبب کاهش راندمان یا بازده ترانسفورماتور می‌شود. اتلاف انرژی در ترانسفورماتور به چهار طریق صورت می‌گیرد: (۱) اثر هیستریزیس (۲) جریان فوکو (۳) پراکندگی شار (۴) اتلاف گرمایی. سه مورد اول به اتلاف بی‌باری و مورد چهارم به اتلاف بارداری مربوط می‌شود.

(۱) اثر هیستریزیس:

به علت وجود جریان در سیم‌پیچ‌ها، هسته مغناطیده می‌شود. مقداری از این خاصیت مغناطیدگی پس از حذف جریان الکتریکی، در هسته باقی می‌ماند. این پدیده را پسماند مغناطیسی می‌گویند. پسماند مغناطیسی ناشی از آن است که هنگامی که میدان مغناطیسی را افزایش و سپس کاهش می‌دهیم نمودار مغناطیدگی مواد فرومغناطیس، در این دو وضعیت برهم منطبق نمی‌شود. این موضوع در شکل (۲) نشان داده شده است. بنابراین برای حذف خاصیت هسته باید جریانی را در جهت عکس در سیم‌پیچ‌ها ایجاد نمود. این عمل با اتلاف مقداری انرژی همراه است. بنابراین در ترانسفورماتورهای جریان متناوب که جهت مغناطیدگی هسته متناوباً تغییر می‌کند همواره کسری از انرژی ورودی به صورت تلف می‌شود. این نوع اتلاف به اتلاف هیستریزیس مرسوم است. مقدار این اتلاف انرژی متناسب با فرکانس جریان متناوب است و به باز و بسته بودن مدار ثانویه بستگی ندارد. با انتخاب جنس آهن مورد استفاده در هسته می‌توان این نوع اتلاف را کاهش داد. در صنعت معمولاً این کار را با اضافه کردن ۴ درصد سیلیسیوم به آهن انجام می‌دهند.



(شکل ۲)

(۲) جریان فوکو (ادی):

همان‌طور که می‌دانیم شار مغناطیسی متغیر در هسته نیروی محرکه القایی تولید می‌کند. به همین دلیل در تمام حجم هسته، جریان‌های الکتریکی ایجاد می‌شود که به آن‌ها جریان‌های فوکو گفته می‌شود. این جریان‌ها طبق قانون لنز با تغییر شار مغناطیسی مخالفت می‌کنند. بنابراین برای کاهش این نوع اتلاف انرژی باید مقاومت الکتریکی هسته را افزایش داد. برای این منظور هسته‌های ترانسفورماتور را به صورت ورقه‌های آهن عایق شده از یکدیگر می‌سازند.

۳) پراکندگی شار

در ترانسفورماتور ایده آل فرض کردیم تمام شار ناشی از سیم پیچ اولیه از ثانویه نیز می‌گذرد. اما در عمل به دلیل سطح کم و شکستگی در شکل هسته، مقداری شار از هسته خارج می‌شود. این شار پراکنده شده از ثانویه نمی‌گذرد و سبب کاهش راندمان ترانسفورماتور می‌شود. برای حذف این نوع اتلاف، سیم‌پیچ اولیه و ثانویه را بر روی یک هسته آهنی و به صورت هم‌محور قرار می‌دهند.

۴) اتلاف گرمایی

از آنجا که سیم‌پیچ‌های اولیه و ثانویه دارای مقاومت هستند، مقداری انرژی به صورت انرژی گرمایی در سیم‌ها ظاهر می‌شود که مقدار آن در واحد زمان برابر است با:

$$R_p I_p^2 + R_s I_s^2 \quad (9)$$

بنابراین با ازدیاد بار (ازدیاد جریان ثانویه) این نوع اتلاف افزایش می‌یابد. ترانسفورماتورها با توجه به گرمای ناشی از اتلاف برای یک بیشینه دمای معین طراحی می‌شوند. افزایش بیش از حد دمای ترانسفورماتور سبب کاهش عمر آن خواهد شد.

روش‌های عملی و مهندسی زیادی برای بهبود بخشیدن بازده ترانسفورماتورها وجود دارد. در طراحی‌های مختلف می‌توان با تغییر شکل هندسی هسته و مجموعه سیم‌پیچ‌ها و ارتقا کیفیت مواد تشکیل‌دهنده‌ی آن‌ها، بازده ترانسفورماتورها بالاتر برد.



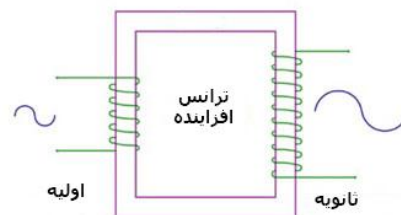
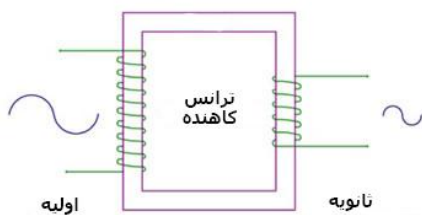
ترانسفورماتور توزیع



ترانسفورماتور اندازه‌گیری



ترانسفورماتور قدرت



(شکل ۳)

روش آزمایش

(۱) ولتاژ ثانویه در حالت بدون بار

سیم پیچ‌های ۴۰۰، ۸۰۰ و ۱۲۰۰ دوری را به ۶ حالت ممکن به عنوان پیچ‌های اولیه و ثانویه بر روی هسته آهنی قرار دهید. سیم‌پیچ اولیه را مطابق شکل (۳) به منبع تغذیه جریان متناوب وصل کنید. ولتاژ ورودی مناسبی را اختیار کنید. برای هر حالت با استفاده از ولت‌متر، ولتاژ اولیه و ثانویه را اندازه‌گیری کرده و در جدول (۱) گزارش کار بنویسید. در آخر جدول (۱) را کامل کنید.

۱۲۰۰	۱۲۰۰	۸۰۰	۸۰۰	۴۰۰	۴۰۰	N_p
۸۰۰	۴۰۰	۱۲۰۰	۴۰۰	۱۲۰۰	۸۰۰	N_s
						V_p
						V_s
						N_s/N_p
						V_s/V_p

(جدول ۱)

(۲) جریان ثانویه در حالت اتصال کوتاه

سیم‌پیچ ۴۰۰ دور را به عنوان پیچ اولیه و سیم‌پیچ‌های ۱۲۰۰ دور و ۴۰۰ دور و ۷۵ دور را به ترتیب به عنوان پیچ‌های ثانویه ترانسفورماتور اختیار کنید. مقدار اولیه را به منبع تغذیه جریان متناوب متصل کنید. ولتاژ منبع را طوری انتخاب کنید جریان پیچ‌ها از حد مجاز آن‌ها بیشتر نشود. جریان‌های اولیه و ثانویه را با استفاده از آمپر متر جریان متناوب اندازه‌گیری کرده و در جدول (۲) گزارش کار بنویسید. سپس جدول (۲) را کامل کنید.

I_s/I_p	N_s/N_p	I_s	I_p	N_s	N_p
				۱۲۰۰	۸۰۰
				۴۰۰	۸۰۰
				۷۵	۸۰۰

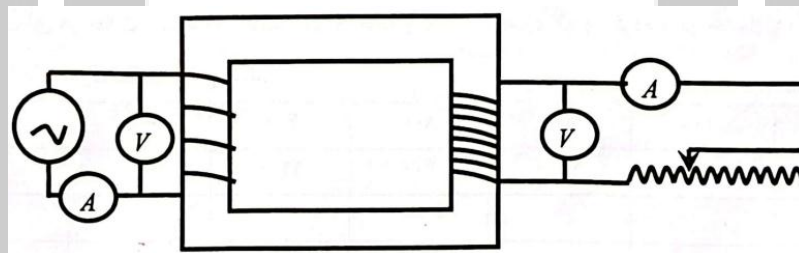
(جدول ۲)

۳) مشخصات ترانسفورماتور هنگام کشیدن بار

با استفاده از یک رئوستا، یک ترانسفورماتور، دو ولتمتر و دو آمپر متر، مدار شکل (۴) را ببندید. سیم‌پیچ ۴۰۰ دور را به عنوان پیچه اولیه و سیم‌پیچ ۸۰۰ دور را به عنوان ثانویه اختیار کنید. ولتاژ مناسبی را با نظر استاد انتخاب کنید. ابتدا در حالتی که اتصال رئوستا قطع است (بدون بار) ولتاژ و جریان‌های اولیه و ثانویه را اندازه‌گیری کرده و در جدول (۳) یادداشت نمایید. سپس مدار ثانویه را به وسیله رئوستا ببندید و برای ۴ مقاومت مختلف رئوستا جریان و ولتاژهای اولیه و ثانویه را اندازه‌گیری کرده و در جدول (۳) یادداشت نمایید. تذکر: ابتدا بیشترین مقاومت رئوستا را اختیار کنید و سپس هر بار مقاومت آن را کاهش دهید.

						I_s
						I_p
						V_s
						V_p

(جدول ۳)



(شکل ۴)

محاسبات، بررسی نتایج، پرسش‌ها

- ۱) با استفاده از مقادیر جدول (۱) نسبت تعداد دور سیم‌پیچ و نسبت ولتاژهای اولیه و ثانویه را با یکدیگر مقایسه و نتیجه‌گیری نمایید.
- ۲) دلیل اختلاف مقادیر فوق را توضیح دهید.
- ۳) با استفاده از مقادیر جدول (۲) نسبت تعداد دور سیم‌پیچ‌ها و نسبت جریان‌های اولیه و ثانویه را با یکدیگر مقایسه و نتیجه‌گیری نمایید.
- ۴) دلیل اختلاف مقادیر فوق را توضیح دهید.

۵) با استفاده از مقادیر جدول (۳) ولتاژ ثانویه را با مقدار آن در حالت بدون بار مقایسه کرده و نتیجه‌گیری نمایید.

۶) با استفاده از مقادیر جدول (۳) دلیل کاهش ولتاژ ثانویه را با ازدیاد جریان آن توضیح دهید.

۷) با استفاده از مقادیر جدول (۳) دلیل وجود جریان در اولیه در حالتی که ثانویه بدون بار است را توضیح دهید.

۸) با استفاده از مقادیر جدول (۳) دلیل افزایش جریان اولیه را با افزایش جریان ثانویه توضیح دهید.

دانشگاه بوعلی سینا