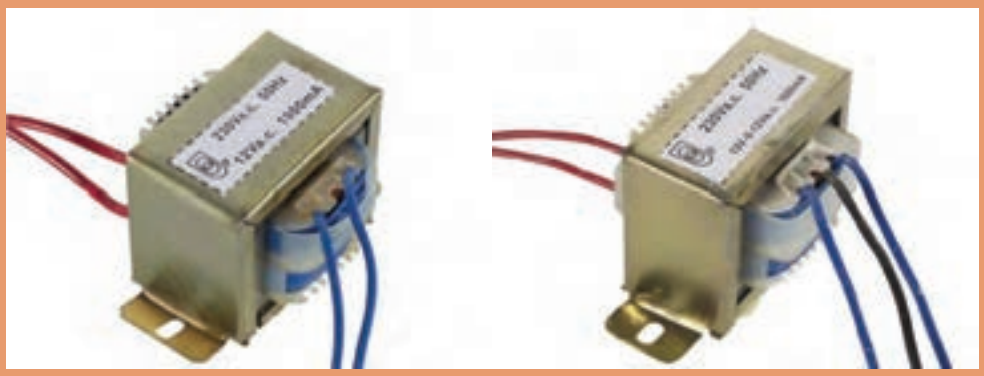
پودمان ۳

سیم‌پیچی ترانسفورماتور



واحد یادگیری ۳

سیم‌پیچی ترانسفورماتور

آیا می‌دانید:

- اساس کار ترانسفورماتور چیست؟
- اجزای تشکیل‌دهنده ترانسفورماتور کدام است؟
- تفاوت ترانسفورماتور ایده‌آل و واقعی چیست؟
- آزمایش بی‌باری و اتصال کوتاه چه خصوصیاتی از ترانسفورماتور را بیان می‌کند؟
- محاسبات و سیم‌پیچی ترانسفورماتور چگونه است؟
- اتوترانسفورماتور با ترانسفورماتور معمولی چه تفاوت‌هایی دارد؟

استاندارد عملکرد

پس از اتمام این واحد یادگیری هنرجویان قادر خواهند بود محاسبه و سیم‌پیچی انواع ترانسفورماتورهای کوچک و آزمایش‌های بی‌باری و اتصال کوتاه ترانسفورماتور را انجام دهند.
همچنین آنها قادر به محاسبه و سیم‌پیچی اتوترانسفورماتور خواهند بود.

❋ مقدمه

ترانسفورماتورها مبدل‌هایی هستند، که انرژی الکتریکی را بدون تغییر نوع انرژی، با مقادیر مختلف در اختیار مصرف‌کننده قرار می‌دهند. این خصوصیت به مهندسین برق این امکان را می‌دهد تا وسایل الکتریکی را در انواع مختلف با جریان‌ها و ولتاژهای گوناگون طراحی کنند. بدین طریق در مواقعی که احتمال خطر برق‌گرفتگی وجود داشته باشد وسایلی را با ولتاژ کم طراحی کنند که خطر برق‌گرفتگی نداشته باشد. در مواقعی مانند «جوشکاری» که نیاز به جریان زیاد است، با تغییر در مقدار ولتاژ، می‌توان جریان زیادی برای جوشکاری فراهم کرد.

ترانسفورماتورها در انتقال توزیع انرژی الکتریکی از اهمیت بسیار زیادی برخوردار هستند. معمولاً در ابتدای خطوط ولتاژ افزایش داده می‌شود که به‌واسطه آن اولاً: امکان انتقال را با ولتاژ بالا ممکن می‌سازند. ثانیاً: به دلیل افزایش ولتاژ جریان عبوری از خطوط انتقال کاهش یافته و درنتیجه تلفات خطوط انتقال بسیار کاهش می‌یابد. در انتهای خطوط که محل توزیع برق است با کاهش ولتاژ به اندازه‌ای که برای مصرف مناسب باشد، در نتیجه میزان جریان افزایش یافته و این امکان را فراهم می‌آورد تا جریان دهی به تعداد زیادی مصرف‌کننده افزایش یابد. ضمناً ترانسفورماتورها در موارد دیگری همچون صنعت خودروسازی، کوره‌های القایی، وسایل روشنایی و روشنایی‌های تزیینی، اندازه‌گیری‌ها و حفاظت‌های الکتریکی بسیار مورد استفاده قرار می‌گیرند.

سؤال

حداقل ولتاژ برای ترانسفورماتور جوشکاری چند ولت است؟

در شکل ۱ تصویر یک نمونه ترانسفورماتور سه فاز و تک فاز را مشاهده می‌کنید.

شکل ۱ــ ترانسفورماتورهای سه‌فاز و تک‌فاز

فیلم

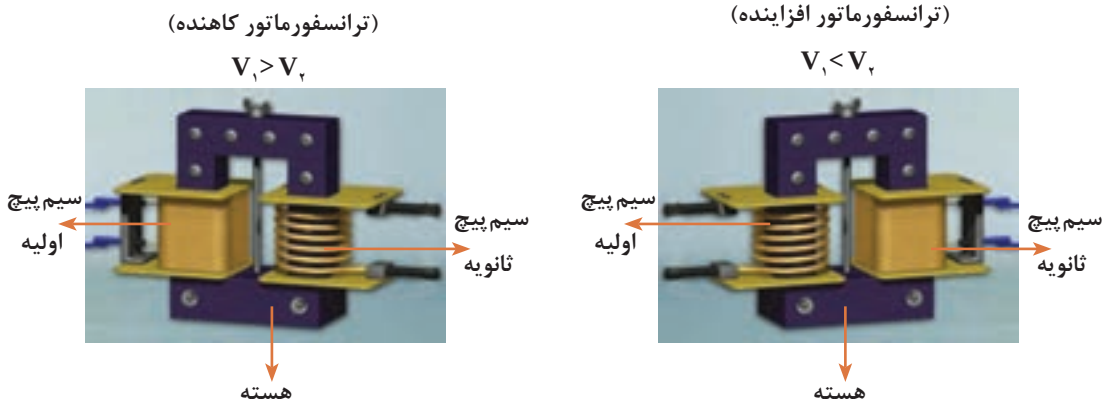
تعریف ترانسفورماتور (دو دقیقه اول فیلم)

ساختمان ترانسفورماتورها

ترانسفورماتور از دو قسمت تشکیل‌شده است. ۱ـ هسته آهنی ۲ـ سیم‌پیچی

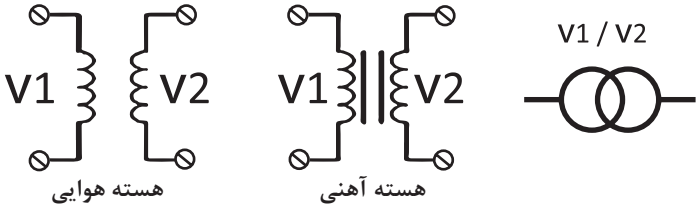
سیم‌پیچی ترانسفورماتورها در ساده‌ترین حالت به دو دسته تقسیم می‌شوند. به سیم‌پیچی که به ولتاژ ورودی متصل می‌شود اصطلاحاً «سیم‌پیچی اولیه» و به سیم‌پیچی که از آن ولتاژ موردنظر (پس از عمل تبدیل ترانسفورماتور) به دست می‌آید «سیم‌پیچی ثانویه» گفته می‌شود. تمامی کمیت‌های الکتریکی و فیزیکی اولیه با اندیس (۱ یا P) و کمیت‌های ثانویه با اندیس (۲ یا S) نشان داده می‌شود.

با توجه به توضیحات داده شده پس می‌توان نتیجه گرفت که ترانسفورماتورها به دو صورت تقسیم‌بندی می‌شوند. در شکل ۲ تصویر ترانسفورماتورهای تک فاز در دو حالت کاهنده و افزاینده نشان داده شده است.



شکل ۲ـ ساختمان یک ترانسفورماتور

در مباحث الکتریکی از تصاویر شکل ۳ برای نشان دادن ترانسفورماتورها استفاده می‌شود.



شکل ۳ـ علائم اختصاری ترانسفورماتور با هسته‌های مختلف

فعالیت

چند نمونه کاربرد ترانسفورماتور افزاینده و کاهنده در صنعت و برق و لوازم برقی اشاره کنید.

فعالیت

یک ترانسفورماتور کاهنده مثلاً $\frac{۲۲۰}{۱۲}$V تهیه کنید. با استفاده از اهم‌متر مقاومت اهمی سیم‌پیچ اولیه و ثانویه آن را اندازه‌گیری کنید. چه تفاوتی می‌بینید؟ چرا؟

برای آشنایی با طرز کار و چگونگی عملکرد ترانسفورماتورها لازم است تا ابتدا مباحث القای مغناطیسی ارائه شود.

القای مغناطیسی دو سیم‌پیچ

اگر دو سیم‌پیچ در مجاورت هم قرار بگیرد، چنانچه به یکی از آنها (اولیه) ولتاژ متناوب وصل شود، جریان متناوب متغیر در داخل سیم‌پیچ اولیه جاری می‌شود. این جریان، بر اساس قانون اورستد شار مغناطیسی متغیر تولید می‌کند و شار مغناطیسی متغیر، مدار خود را از درون و اطراف سیم‌پیچ اولیه می‌بندد.
اگر همه یا قسمتی از این شار از سیم‌پیچ دومی (ثانویه) عبور کند، به علت متغیر بودن شار، بر اساس قانون فاراده، در این سیم‌پیچ نیروی محرکه الکتریکی القا خواهد شد، که با آهنگ تغییر شار و تعداد دور سیم‌پیچ ثانویه متناسب خواهد بود. شار متغیر درسیم‌پیچ اولیه نیز، نیروی محرکه القا می‌کند. این نیروی محرکه براساس قانون لنز با عامل به وجود آورنده آن، یعنی تغییرات شار مخالفت می‌کند. علامت منفی در روابط ۱ـ۳ و ۲ـ۳ به خاطر قانون لنز است.

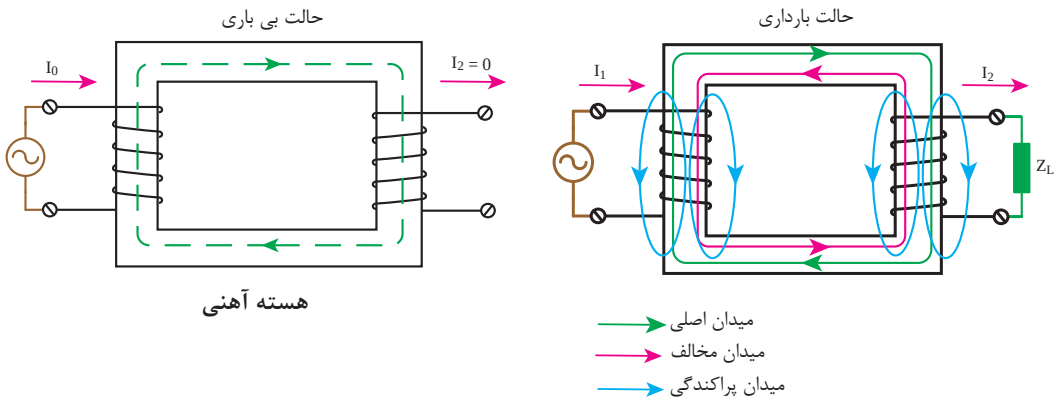
$$E_2 = -N_2 \frac{\Delta\varphi_2}{\Delta t} \qquad (۳ـ۱)$$

$$E_1 = -N_1 \frac{\Delta\varphi_1}{\Delta t} \qquad (۳ـ۲)$$

E_1 نیروی محرکه القایی در سیم‌پیچ اولیه، E_2 نیروی محرکه القایی در سیم‌پیچ ثانویه، N_1 تعداد حلقه‌های سیم‌پیچ اولیه و N_2 تعداد حلقه‌های سیم‌پیچ ثانویه است. $\frac{\Delta\varphi_1}{\Delta t}$ آهنگ تغییر شار در سیم‌پیچ اولیه و $\frac{\Delta\varphi_2}{\Delta t}$ آهنگ تغییر شار در سیم‌پیچ ثانویه می‌باشد.
قسمتی از شار مغناطیسی تولیدشده فقط از سیم‌پیچ اولیه عبور می‌کند و از سیم ثانویه عبور نمی‌کند و در تولید نیروی محرکه E_1 مؤثر است ولی در تولید E_2 بی‌تأثیر است. به این مقدار شار، «شار پراکندگی» می‌گویند.

$$\Delta\varphi = \varphi_1 - \varphi_2 \qquad (۳-۳)$$

φ_1 مقدار شار تولید در سیم‌پیچ اولیه و φ_2 مقدار شار سیم‌پیچ ثانویه است.



شکل ۴ـ القای مغناطیسی در دو سیم‌پیچ

سؤال

تصور کنید یک وسیله برقی دارید که با ولتاژ ۱۱۰ ولت کار می‌کند با توجه به ولتاژ شبکه برق ۲۲۰ ولت چگونه می‌توان از آن استفاده کرد.

ضریب کوپلینگ

در شکل ۳ از مقدار شار تولیدشده φ_1، درسیم‌پیچ اولیه به‌اندازه φ_2، از سیم‌پیچ ثانویه عبور می‌کند، طبق تعریف :

نسبت $K=\frac{\varphi_2}{\varphi_1}$ را ضریب کوپلینگ می‌گویند و چون همواره $\varphi_2 \leq \varphi_1$ می‌باشد لذا ضریب کوپلینگ $K \leq 1$ می‌باشد. اگر همه شار تولیدشده در سیم پیچ اولیه ازسیم پیچ ثانویه عبور کند ($\varphi_2=\varphi_1$ و $K=1$) دراین صورت کوپلینگ کامل است. با روی هم قرارگرفتن دو سیم‌پیچ روی یک بازوی هسته تا حدودی کوپلینگ کامل اتفاق می‌افتد.

فیلم

عملکرد ترانسفورماتور (بخش اول)

اساس کار ترانسفورماتورها

اگر سیم‌پیچ اولیه یک ترانسفورماتور، با جریان متناوب سینوسی تغذیه کند، جریان متناوب سینوسی در سیم‌پیچ اولیه برقرار می‌شود. این جریان بر اساس قانون اورستد شار مغناطیسی متغیری در سیم‌پیچ اولیه ایجاد می‌کند. به علت مقاومت مغناطیسی کم‌هسته، شار مغناطیسی، مدار خود را از طریق هسته می‌بندد. در شکل ۵ این شار با φ_0 نشان داده شده است. دو سیم‌پیچ اولیه و ثانویه ترانسفورماتور با شار متغیر φ_0 مواجه می‌شوند. در سیم‌پیچ اولیه نیروی محرکه E_1 و در سیم‌پیچ ثانویه نیروی محرکه E_2، بر اساس قانون فارادی القا می‌شود.

$$E_1=4/44 \times f \times \varphi \times N_1 = 4/44 \times f \times B \times A \times N_1 \qquad (۳-۴)$$

$$E_2=4/44 \times f \times \varphi \times N_2 = 4/44 \times f \times B \times A \times N_2 \qquad (۳-۵)$$

E_1 ـ نیروی محرکه القایی در سیم‌پیچ اولیه برحسب ولت

E_2 ـ نیروی محرکه القایی در سیم‌پیچ ثانویه برحسب ولت

N_1 ـ تعداد دور سیم‌پیچ اولیه

N_2 ـ تعداد دور سیم‌پیچ ثانویه

φـ برایند شارهای مغناطیسی متغیر هسته برحسب وبر

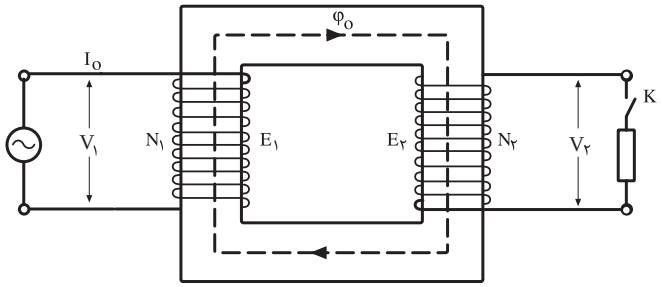
B ـ چگالی میدان در هسته برحسب تسلا

f ـ فرکانس ولتاژ تغذیه برحسب هرتز

تحقیق

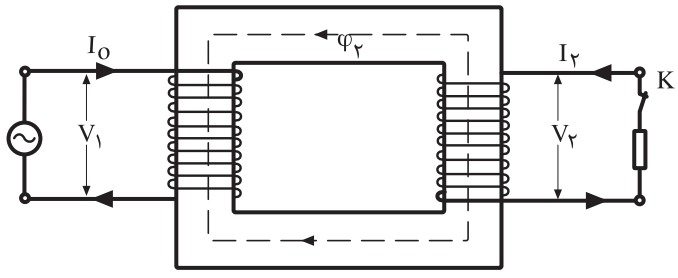
ترانسفورماتوری که تعداد دور اولیه و ثانویه آن برابر باشد ($N_۱ = N_۲$) چه کاربردی دارد؟

در این حالت با توجه به آنکه هنوز بار ثانویه وارد مدار نشده است، در سیم‌پیچ اولیه جریان الکتریکی $I_۰ = \frac{\overrightarrow{V_۱} - \overrightarrow{E_۱}}{Z_۱}$ جاری می‌شود که به آن جریان بی‌باری گفته می‌شود و با $I_۰$ نشان داده می‌شود. در رابطه اخیر $V_۱$ ولتاژ تغذیه سیم‌پیچ اولیه و $E_۱$ نیروی محرکه القایی در سیم‌پیچ اولیه و $Z_۱$ امپدانس سیم‌پیچ اولیه می‌باشند.



شکل ۵ـ جریان بی‌باری $\varphi_۰$ را تولید می‌کند.

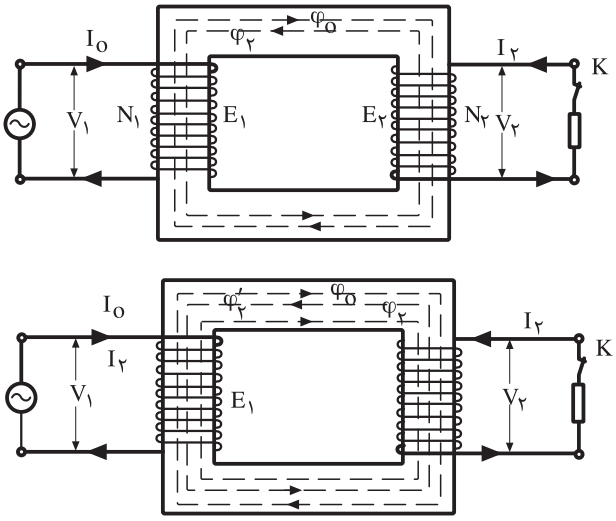
اگر کلید بار را درطرف ثانویه بسته شود نیروی محرکه القایی $E_۲$ در بارجریان الکتریکی $I_۲$ برقرار شده و در دو سر بار اختلاف پتانسیل $V_۲$ ایجاد می‌شود و براساس رابطه $I_۲ = \frac{\overrightarrow{E_۲} - \overrightarrow{V_۲}}{Z_۲}$ اندازه جریان ثانویه معین می‌شود. $V_۲$ ولتاژ دو سر سیم‌پیچ ثانویه و $E_۲$ نیروی محرکه القایی در سیم‌پیچ ثانویه و $Z_۲$ امپدانس سیم‌پیچ ثانویه می‌باشند. جریان $I_۲$، جریان متناوب سینوسی است، به نوبه خود در سیم‌پیچ ثانویه شارمغناطیسی $\varphi_۲$ ایجاد کرده که مدار خود را از طریق هسته بسته و با شارمغناطیسی $\varphi_۰$ براساس قانون لنز مخالفت کرده و موجب کاهش شار در هسته می‌شود.



شکل ۶ـ جریان بار، شار $\varphi_۲$ را تولید می‌کند.

با کاهش شار مغناطیسی در هسته، مقدار $E_۱$ کاهش یافته و با کاهش $E_۱$ با توجه به رابطه $I_۰ = \frac{\overrightarrow{V_۱} - \overrightarrow{E_۱}}{Z_۱}$، مقدار $I_۰$ به مقدار $I_۱$ افزایش می‌یابد و شارمغناطیسی $\varphi'_۲$ تولید می‌کند که $\varphi_۲$ را خنثی کرده و دوباره $\varphi_۰$ را در هسته برقرار می‌کند (شکل ۶).

با بررسی مطالب فوق مشاهده می‌شود تغییرات جریان از I_0 به I_1 متناسب با φ_2 می‌باشد ازآنجایی که φ_2 را I_2 به‌وجود آورده بود و I_2 با امپدانس بار متناسب است. نتیجه می‌گیریم که افزایش I_0 به I_1 متناسب با بارترانسفورماتور می‌باشد، که این فرایند را خود تنظیمی ترانسفورماتورها می‌گویند (شکل ۷).



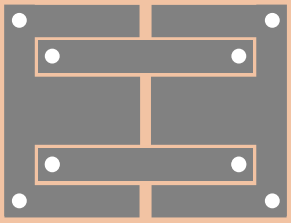
شکل ۷ــ خودتنظیمی ترانسفورماتور

فیلم

اجزای ترانسفورماتور از لحظه ۲ تا ۵:۱۳

فعالیت

چرا هسته ترانسفورماتور با توجه به شکل ۸ به شکل EI ساخته می‌شود؟

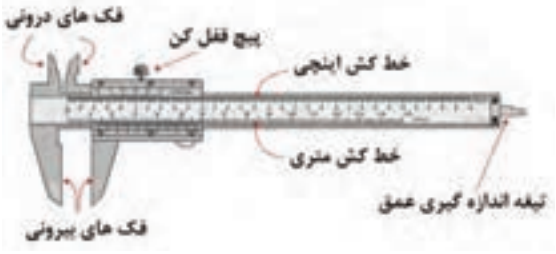


شکل ۸ــ ساخت ورق هسته EI

توضیح: برای اینکه بتوان کارهای عملی ساده و متناسب با بحث ترانسفورماتورها را در کارگاه انجام داد، لازم است تا با یکسری وسایل و ابزار مرتبط آن آشنا شد که در ادامه به بررسی و معرفی آنها پرداخته می‌شود.

کولیس

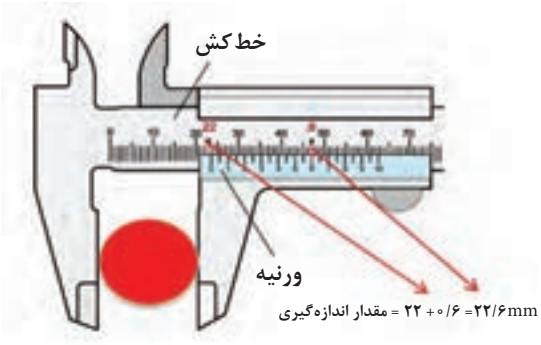
کولیس وسیله اندازه‌گیری، فاصله بین دو نقطه، با دقت اندازه‌گیری یک دهم میلی‌متر می‌باشد. کولیس از یک خط‌کش مدرج، یک ورنیه، دوفک بیرونی، دوفک درونی و یک تیغه تشکیل می‌شود (شکل ۹).



شکل ۹ــ اجزای تشکیل‌دهنده کولیس

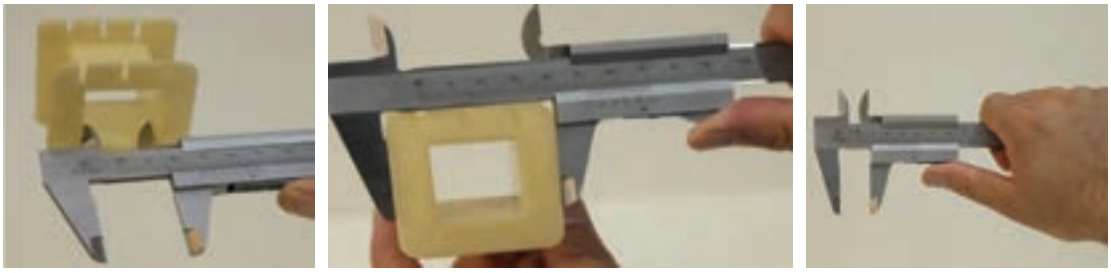
روش اندازه‌گیری با کولیس

قطعه‌ای بین دو فک قرار داده شود (سنجش قطر خارجی). قسمت صحیح را قبل از صفر ورنیه، از خط‌کش برحسب میلی‌متر خوانده می‌شود. قسمت اعشاری را از ورنیه جدا ساخته، در این حالت یکی از اعداد ورنیه، با یکی از اعداد خط‌کش در امتداد هم قرار می‌گیرند، این عدد قسمت اعشاری اندازه‌گیری را نشان خواهد داد. بنابراین، دقت اندازه‌گیری دهم میلی‌متر خواهد بود.



شکل ۱۰ــ اندازه‌گیری قطر خارجی با کولیس

با کولیس می‌توان اندازه داخلی و خارجی و عمق اجسام را اندازه‌گیری نمود (شکل ۱۱).



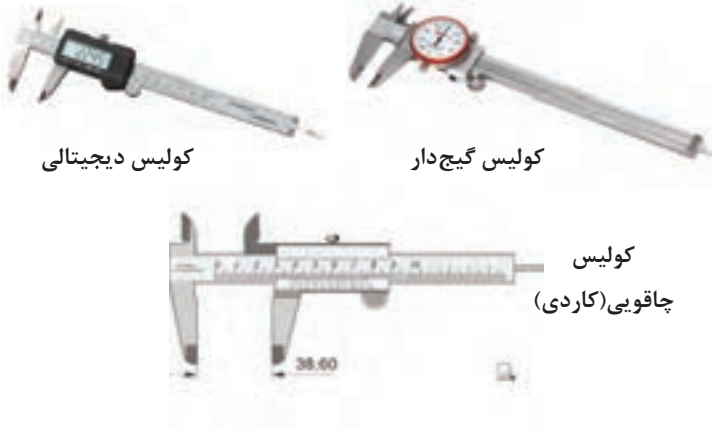
شکل ۱۱ــ نحوه اندازه‌گیری با کولیس

سؤال

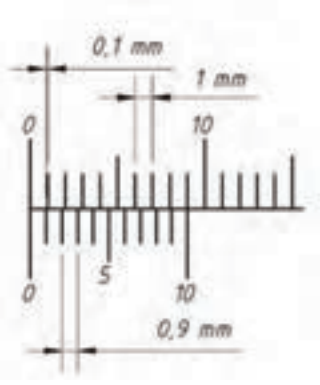
چه تفاوتی در انواع کولیس در شکل ۱۲ دیده می‌شود؟

فعالیت

مقدار نشان داده شده توسط کولیس در شکل ۱۳ چقدر است؟



شکل ۱۲ــ انواع کولیس‌ها



شکل ۱۳

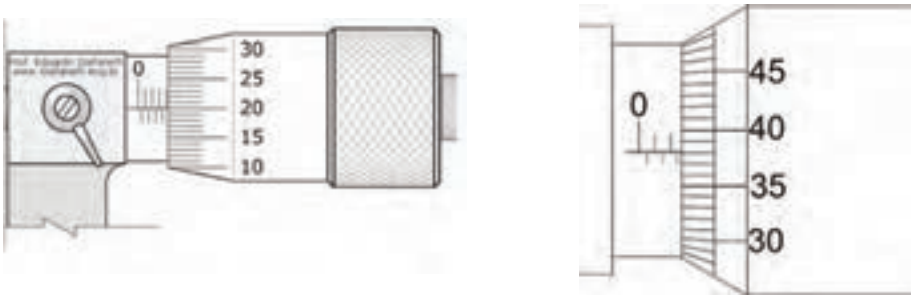
میکرومتر (ریزسنج)

از میکرومتر معمولاً برای اندازه‌گیری قطر سیم‌های با روکش لاکی استفاده می‌شود. دقت اندازه‌گیری آن تا ۰/۰۱ میلی‌متر می‌باشد. روش اندازه‌گیری و قرائت مقدار اندازه‌گیری شده در شکل ۱۴ نشان داده شده است.

شکل ۱۴ــ اندازه‌گیری قطر اجسام با میکرومتر

فعالیت

مقدار نشان داده شده در شکل توسط میکرومتر چقدر است؟



شکل ۱۵ــ اندازه‌گیری با میکرومتر

ایمنی

از ضربه زدن به کلیه اجزای میکرومتر خودداری کنید و بعد از هرزگردی مهره را بیشتر نچرخانید.

فعالیت

مقادیری را که دستگاه‌های کولیس در شکل‌های زیر نشان می‌دهند، مشخص کنید.

الف

ب

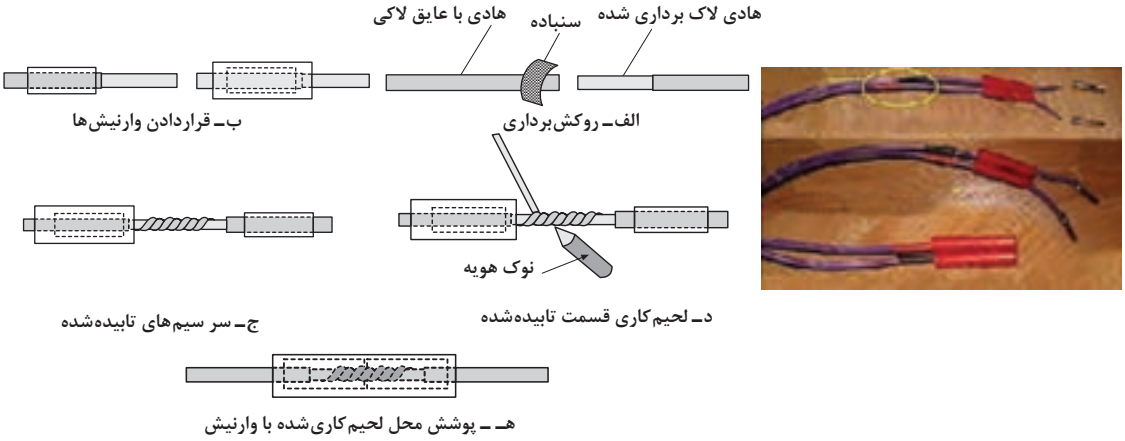
ت

پ

شکل ۱۶ــ مقادیر مختلف اندازه‌گیری‌شده با کولیس

وارنیش

معمولاً برای محکم کردن اتصال سیم‌های لاکی با یکدیگر و یا اتصال سیم‌های لاکی با سیم‌های افشان که از داخـل وسیله سیم‌پیچی شده مانند ترانسفورماتورها و الکتروموتورها خارج می‌شود از روش لحیم‌کاری استـفاده می‌شود. برای عایق‌کاری این نقاط اتصال از عایق‌های حرارتی به نام وارنیش (ماکارونی) استفاده می‌شود. در زمان سیم‌پیچی یک طرف این روکش‌ها باید در داخل قرقره و زیر سیم‌پیچ‌ها قرار گرفته و محکم شود. وارنیش‌ها به‌صورت لوله‌ای در قطرهای مختلف و با طول‌های یک متر وجود دارند که می‌توان متناسب با ضخامت محل اتصال دو سیم شماره وارنیش را انتخاب کرد.



شکل ۱۷ــ کاربرد وارنیش

کاغذپرشمان

کاغذهای عایقی الکتریکی هستند که از آنها در بین طبقات سیم‌پیچی‌ها و روی سیم‌پیچی‌های اولیه و ثانویه برای جدا کردن این سیم‌پیچی‌ها از یکدیگر و همچنین حفاظت از سیم‌پیچی در مقابل ضربات خارجی استفاده می‌شود.

شکل ۱۸ــ کاغذ پرشمان

سر سیم

برای اتصال سیم‌های ترانسفورماتور به شبکه یا مصرف‌کننده می‌توان از سر سیم استفاده کرد که در شکل ۱۹ با تصویر چند نمونه از آنها آشنا می‌شویم.

شکل ۱۹ـ سرسیم

فیلم

ترانسفورماتور (بخش سوم)

فعالیت

مقاومت عایقی بین سیم‌پیچ اولیه و ثانویه یک ترانسفورماتور یک‌فاز را به کمک مِگر اندازه‌گیری کنید.

سؤال

اگر سیم‌پیچ اولیه با سیم‌پیچ ثانویه اتصال الکتریکی پیدا کند چه اتفاقی در عملکرد ترانسفورماتور رخ می‌دهد؟

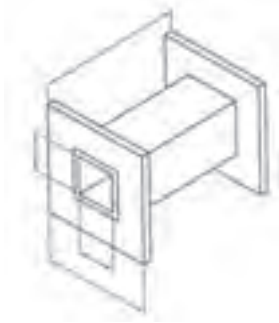
کار عملی۱

هدف: آشنایی و کار با کولیس، میکرومتر، سیم لاکی، وارنیش، قرقره ترانسفورماتور، ورق‌های هسته ترانسفورماتور

وسایل و مواد لازم: کولیس، میکرومتر، سیم لاکی، وارنیش، قرقره ترانسفورماتور، انواع ورق‌های EI

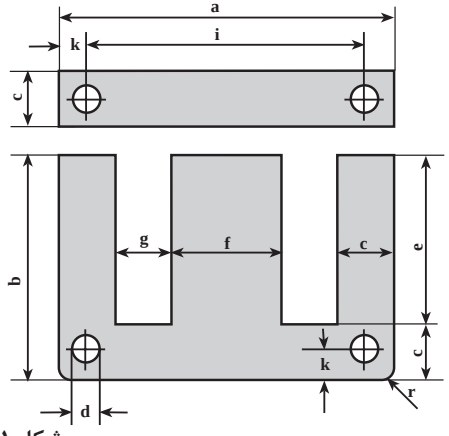
۱ـ دو اندازه مختلف از قرقره‌های آماده ترانسفورماتورها را در اختیار گرفته و مقادیر نشان داده شده در شکل ۲۰ را با کولیس اندازه‌گیری کنید.

۲ـ دو اندازه مختلف از ورق‌های EI ترانسفورماتورها را در اختیار گرفته و مقادیر نشان داده شده در



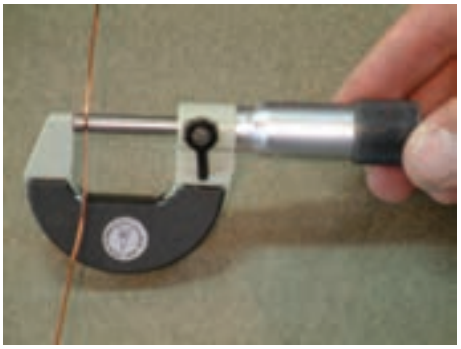
شکل ۲۰ـ ابعاد قرقره ترانسفورماتور

شکل ۲۱ را با کولیس اندازه‌گیری کنید. چه ارتباطی بین مقدار وسط هسته (f) با دو ضلع کناری (C) وجود دارد؟ علت این ارتباط چیست؟



شکل ۲۱ـ ابعاد هسته EI

۳ـ چند نمونه قرقره سیم لاکی مختلف را در اختیار گرفته و با میکرومتر قطر سیم لاکی آنها را اندازه‌گیری کنید و جدول ۱ را تکمیل کنید (شکل ۲۲).

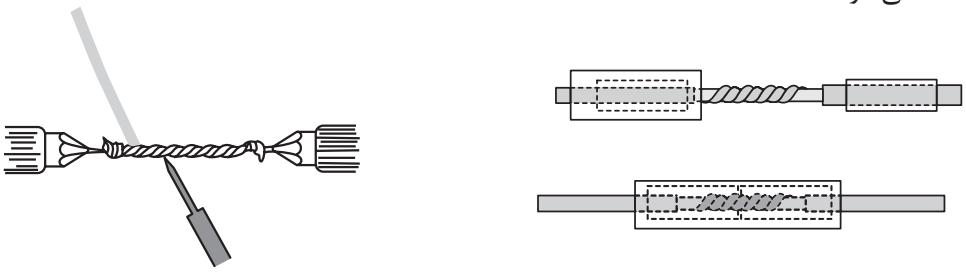


شکل ۲۲ـ اندازه‌گیری قطر سیم لاکی

جدول ۱ـ مقادیر اندازه گیری شده

شماره سیم	قطر سیم اندازه‌گیری شده	ضخامت لاک سیم	اندازه‌گیری سطح مقطع سیم (A) $\frac{\pi d^2}{4}$
۰/۵۰			
۰/۶۰			
۰/۸۰			
۰/۸۵			
۱			

۴ـ چند رشته سیم لاکی را مطابق شکل ۲۳ به یکدیگر اتصال داده و پس از لحیم‌کاری مناسب روی اتصال‌ها را با وارنیش پلاستیکی بپوشانید (اندازه روکش‌برداری و وارنیش‌ها توسط هنرآموز (استادکار) در اختیار شما گذاشته می‌شود).



شکل ۲۳ـ لحیم‌کاری

ترانسفورماتور ایده‌آل

ترانسفورماتوری که تمام شار مغناطیسی تولیدشده در سیم‌پیچ اولیه از سیم‌پیچ ثانویه عبور می‌کند ایده‌آل نامیده می‌شود. در این ترانسفورماتورها هیچ گونه تلفات وجود ندارد و راندمان آن صددرصد می‌باشد. این نوع ترانسفورماتورها یک تعریف ذهنی است و در عمل امکان دستیابی به چنین ترانسفورماتورهایی امکان‌پذیر نیست.

روابط اساسی ترانسفورماتورهای ایده‌آل

در ترانسفورماتورهای ایده‌آل به علت نادیده گرفتن مقاومت اهمی سیم‌پیچ‌ها و تلفات پراکندگی می‌توان نوشت :

$E_1 = V_1$ ، $E_2 = V_2$ (۳-۴) ، $P_1 = P_2$ (۳-۵)

با توجه به روابط ۴ـ۳ و ۵ـ۳ می‌توان نوشت:

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{4/44 \times f \times B \times A \times N_1}{4/44 \times f \times B \times A \times N_2} \Rightarrow \frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{V_1}{V_2} \quad (۳-۶)$$

$P_1 = V_2 \times I_1$ $P_2 = V_2 \times I_2$ $P_1 = P_2$

$$V_1 \times I_1 = V_2 \times I_2 \Rightarrow \frac{V_1}{V_2} = \frac{I_2}{I_1} \quad (۳-۷)$$

در ترانسفورماتورهای ایده‌آل نسبت دورها با نسبت ولتاژها و عکس نسبت جریان‌ها برابر است و $\frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{V_1}{V_2} = \frac{I_2}{I_1} = a$ را رابطه اساسی ترانسفورماتورهای ایده‌آل می‌گویند. a را ضریب تبدیل ترانسفورماتور می‌گویند.

مثال ۱

تعداد دور سیم‌پیچ اولیه یک ترانسفورماتور ایده‌آل ۱۰۰۰ دور و تعداد دور سیم‌پیچ ثانویه آن ۴۰۰ دور می‌باشد این ترانسفورماتور در ثانویه بار ۲۰ اهمی را با ولتاژ ۲۰۰ ولت تغذیه می‌کند. ولتاژ و جریان اولیه و توان ورودی ظاهری آن را به دست آورید.

حل:

$N_1=1000$ دور , $N_2=400$ دور, $R=20\Omega$, $V_2=200V \rightarrow \frac{V_1}{V_2}=\frac{N_1}{N_2}$

$\frac{V_1}{200}=\frac{1000}{400} \rightarrow V_1=500V$ $\frac{N_1}{N_2}=\frac{I_2}{I_1}$, $I_2=\frac{V_2}{R}=\frac{200}{20}=10A$, $\frac{1000}{400}=\frac{10}{I_1} \rightarrow I_1=4A$

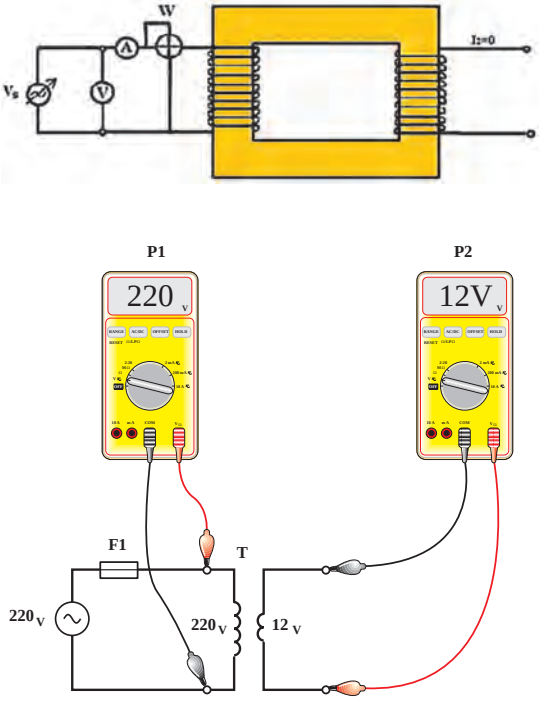
$S_1=V_1\times I_1=1000\times 4=4000VA$

سؤال

تفاوت ترانسفورماتور ایده‌آل و واقعی چیست؟ چرا در عمل ترانسفورماتور ایده‌آل وجود ندارد؟

آزمایش بی‌باری

در آزمایش بی‌باری هدف تعیین تلفات هسته و مشخص نمودن عناصر معادل هسته می‌باشد. در این آزمایش، ثانویه بدون بار بوده و در فرکانس نامی مطابق شکل ۲۴ منبع ولتاژ متغیر را آن قدر تغییر می‌دهیم تا ولت‌متر ولتاژ اسمی ترانسفورماتور را نشان دهد. در این حالت وات‌متر تلفات بی‌باری یا تقریباً تلفات هسته که برابر $P_{Fe}=\frac{V_1^2}{R_c}$ است را نشان خواهد داد. مقداری که آمپرمتر نشان می‌دهد جریان بی‌باری ترانسفورماتور I_0 می‌باشد (با چگونگی محاسبه عناصر مدار معادل در سال‌های بعد آشنا خواهید شد).



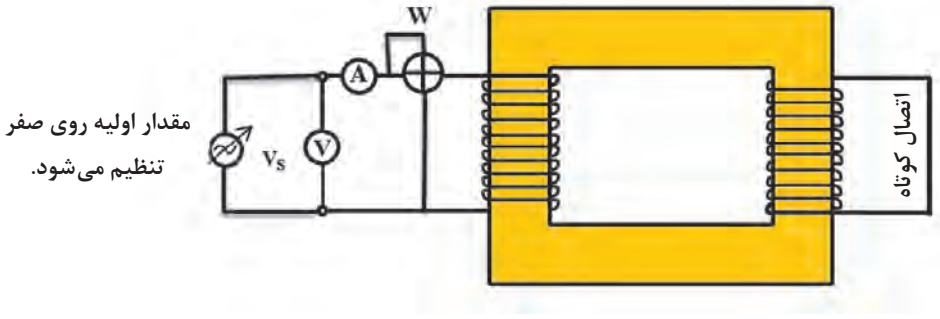
شکل ۲۴ ــ مدار آزمایش بی‌باری

فعالیت

چرا ولتاژ بی‌باری ترانسفورماتور از مقدار محاسبه شده بیشتر است؟

آزمایش اتصال کوتاه

هدف از آزمایش اتصال کوتاه برآورد تقریبی تلفات سیم‌پیچی و عناصر معادل سیم‌پیچی ترانسفورماتور است. این آزمایش به جهت اشباع مغناطیسی هسته، باید با احتیاط صورت گیرد. برای این منظور ابتدا منبع ولتاژ را در مقدار صفر قرار داده، سپس ثانویه را مانند شکل ۲۵ اتصال کوتاه کرده و سپس منبع ولتاژ متغیر را آهسته آهسته افزایش داده تا از آمپرمتر، جریان نامی اولیه ترانسفورماتور عبور کند در این حالت مقداری که وات‌متر نشان می‌دهد گویای تلفات مسی $P_{cu} = I_1^2 \times R_e$ می‌باشد و مقداری که ولت‌متر نشان می‌دهد ولتاژ اتصال کوتاه V_{SC} است.



شکل ۲۵ـ مدار آزمایش اتصال کوتاه

تلفات ترانسفورماتور

به مجموع تلفات آهنی (P_{Fe}) و تلفات مسی (P_{Cu}) تلفات ترانسفورماتور گفته می‌شود.

$$\Delta P = P_{Fe} + P_{cu} \qquad (۳\text{ـ}۸)$$

فیلم

آزمایش بی‌باری و اتصال کوتاه از لحظه ۲۱:۴۵ تا ۲۳:۵۵

راندمان ترانسفورماتور

نسبت توان خروجی P_{out} به توان ورودی P_{in} راندمان گفته می‌شود و با η نشان داده می‌شود.

$$\eta\% = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times ۱۰۰ \qquad (۳\text{ـ}۱۰) \qquad P_{in} = P_{out} + \Delta P \qquad (۳\text{ـ}۹)$$

تحقیق

سیم‌پیچی ترانسفورماتورهای وسایل زیر روی یک بازو یا دو بازوی مختلف هسته پیچیده شده است؟

الف)ترانسفورماتور هویه تفنگی

ب)ترانسفورماتور جوشکاری مدل پله‌ای

ج)ترانسفورماتور جوشکاری مدل هسته متحرک

ولتاژ اتصال کوتاه

اگر سیم‌پیچ ثانویه ترانسفورماتور اتصال کوتاه شود، و از سیم‌پیچ اولیه ترانسفورماتور جریان نامی‌عبور کند، در این حالت ولتاژی که در اولیه ترانسفورماتور اعمال شده است ولتاژ اتصال کوتاه گفته و آن را با V_{SC} (VShort Circuit) نشان می‌دهند.

ولتاژ اتصال کوتاه نسبی

نسبت ولتاژ اتصال کوتاه به ولتاژ نامی‌اولیه را «ولتاژ اتصال کوتاه نسبی» می‌گویند و آن را با U_K نشان می‌دهند. معمولاً آن را به درصد بیان می‌کنند و یکی از مشخصات ترانسفورماتور می‌باشد و معمولاً در پلاک ترانسفورماتور آورده می‌شود.

$$U_k\% = \frac{V_{SC}}{V_{1n}} \times 100 \qquad (۳-۱۱)$$

ولتاژ اتصال کوتاه معیاری برای اندازه‌گیری مقدار امپدانس ترانسفورماتورها است. هرچقدر ولتاژ اتصال کوتاه بیشتر باشد امپدانس ترانسفورماتور زیادتر، تلفات آن بیشتر و راندمان کمتری دارد اما در مقابل اتصال کوتاه مقاوم‌تر است.

برای کاهش ولتاژ اتصال کوتاه، سیم‌های سیم‌پیچ‌های اولیه و ثانویه را روی هم می‌پیچند.

فعالیت

مقدار ولتاژ اتصال کوتاه یک ترانسفورماتور سیم‌پیچی شده را اندازه‌گیری کنید و در مورد امپدانس داخلی آن بحث کنید.

جریان اتصال کوتاه

چنانچه ترانسفورماتور با مقادیر نامی، باری را تغذیه کند و دوسر بار اتصال کوتاه شود جریان شدیدی (حدوداً تا ۲۰ برابر جریان نامی) از ترانسفورماتور عبور می‌کند که به آن جریان ضربه‌ای یا جریان هجومی گفته می‌شود این جریان پس از چند سیکل تقریباً به نصف مقدار اولیه کاهش پیدا کرده و مقدار ثابت پیدا می‌کند، به این جریان، جریان اتصال کوتاه گفته و با I_{SC} نمایش داده می‌شود.

$$I_{SC} = \frac{I_n}{u_k} \qquad (۳-۱۲)$$

I_{SC} ـ جریان اتصال کوتاه　　I_n ـ جریان نامی　　u_k ـ ولتاژ اتصال کوتاه نسبی

مثال ۲

ولتاژ نامی یک ترانسفورماتور ۲۲۰ ولت و جریان نامی آن ۱۰ آمپر است. اگر ولتاژ اتصال کوتاه آن ۴۴ ولت باشد، جریان اتصال کوتاه آن چند آمپر است؟

حل

$$V_{1n}=220V\ ,\ I_n=10A\ ,\ V_{SC}=44V$$

$$u_k = \frac{V_{SC}}{V_{1n}} = \frac{44}{220} = 0/2$$

$$I_{SC} = \frac{I_n}{u_k} = \frac{10}{0/2} = 50A$$

سؤال

چه ارتباطی بین مقدار جریان اتصال کوتاه یک ترانسفورماتور و ولتاژ اتصال کوتاه آن وجود دارد؟

ایمنی

هنگامی که ترانسفورماتور به ولتاژ اولیه نامی‌برق شهر متصل است ثانویه را برای مدت طولانی اتصال کوتاه نکنید.

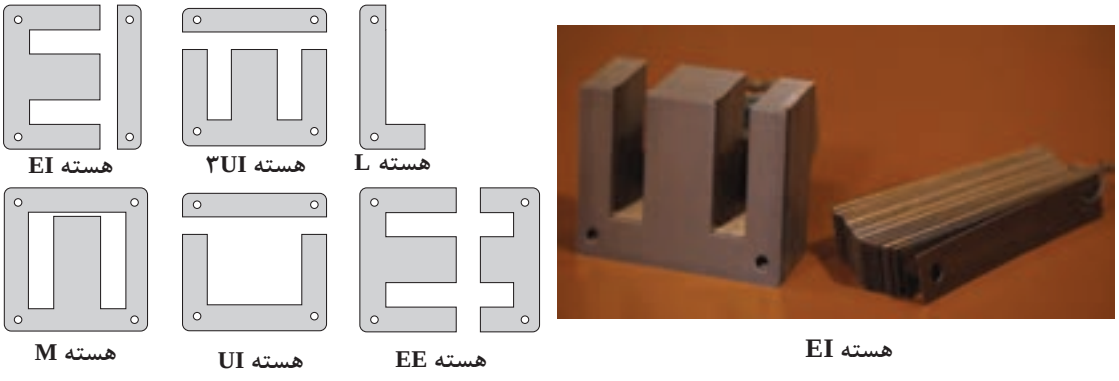
محاسبات عملی ترانسفورماتورهای تک‌فاز

هسته‌های آهنی مورد استفاده در ترانسفورماتورها باید دو ویژگی بسیار مهم داشته باشند.

۱ـ داشتن حداقل تلفات هیسترزیس (مربوط به جنس هسته می‌شود.)

۲ـ داشتن حداقل تلفات فوکو (مربوط به شکل هسته می‌شود.)

با افزودن ناخالصی سیلیس به آهن می‌توان از هسته مرغوب با حداقل تلفات هیسترزیس بهره‌مند شد. با ورق ورق کردن هسته می‌توان تلفات فوکو را به حداقل رساند در عمل علاوه بر ورق، ورق کردن هسته، ورقه‌های هسته با افزودن روکش ورنی، آنها را نسبت به هم عایق می‌کنند. لعاب روکش ورقه جدار ۰/۰۱ میلی‌متر است که طی دو مرحله روکش و در هر مرحله ۰/۰۰۵ روی ورق‌ها روکش ورنی می‌دهند. ورقه‌ها در اندازه‌های ۰/۳۵ میلی‌متر و ۰/۵۰ میلی‌مترساخته می‌شوند.ورقه‌های هسته به صورت ۳UI, EE , UI, L, M برش داده می‌شوند. در شکل ۲۶ نمونه‌هایی از هسته‌ها مشاهده می‌شود.



شکل ۲۶ـ انواع هسته‌های ترانسفورماتور

محاسبه سطح مقطع هسته

مبنای تعیین سطح مقطع هسته‌های ترانسفورماتور، توان ظاهری خروجی آنها می‌باشد. چون ترانسفورماتورهای قدرت براساس القای متقابل کار می‌کنند، نقطه کار آنها در ناحیه خطی می‌باشد. می‌توان از ضریب تبدیل $a = \frac{N_1}{N_2}$ با دقت بالا استفاده کرد. هنگام محاسبه سطح مقطع، مقدار سطح مقطع مؤثر باید در نظرگرفته شود.

برای کاهش اثرات فوکو، هسته ترانسفورماتور را از ورقه‌های آهن سیلیس‌دار با ضخامت‌های ۰/۳۵ یا ۰/۵۰ میلی‌متر ساخته می‌شود. سطح مقطع ظاهری حجم بیشتری نسبت به‌سطح مقطع مؤثر دارد. ارتباط سطح مقطع مؤثر و سطح مقطع ظاهری را ضریب تورق (۰/۹۰ الی ۰/۹۵) مشخص می‌کند. اگر سطح مقطع مؤثر را با S و سطح مقطع ظاهری را با S′ نمایش دهیم، می‌توان رابطه ۱۳-۳ را نوشت.

$$S = K\sqrt{P_۲} \qquad (۳-۱۳)$$

سطح مقطع ظاهری هسته‌های ترانسفورماتور از رابطه ۱۴ـ۳ تعیین می‌شود.

$$S' = \frac{S}{\text{ضریب تورق}} \approx ۱/۱ \times S \qquad (۳-۱۴)$$

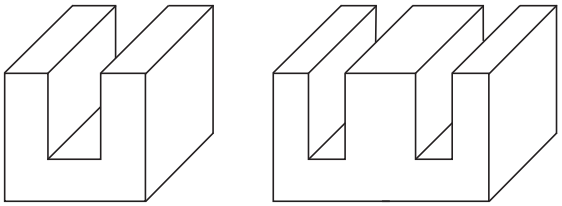
کاهش یافته وK بین ۰/۸ تا ۱/۲۱متغیر است هر چقدر توان ترانسفورماتور بیشتر باشد، مقدارKضریب به مقدار ۰/۸ نزدیک‌تر می‌شود.

تحقیق

چه تفاوتی بین راندمان ترانسفورماتورهای قدرت و ترانسفورماتورهای کوچک آزمایشگاهی وجود دارد؟

فعالیت

در دو مدل هسته E و U شکل ۲۷ چه ارتباطی بین سطح مقطع هسته وجود دارد؟ در مورد آن بحث کنید.



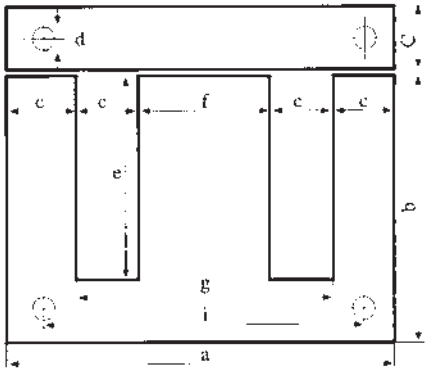
شکل ۲۷ـ سطح مقطع هسته EI و U

ابعاد ورق‌های هسته EI و UI اندازه و ابعاد برش هسته‌های EI و UI با یکدیگر متفاوت است. در شکل ۲۸ ابعاد و روابط آن در هسته EI نشان داده شده است، ابعاد هسته UI در شکل ۲۹ نشان داده شده است.

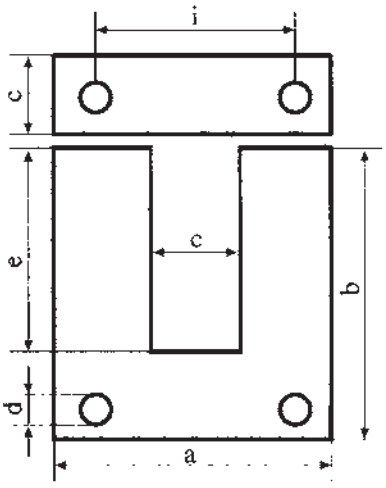
سؤال

اندازه برش f چند برابر C در هسته EI است؟ چرا؟

$$b = \frac{۲}{۳}a \ , \ c = \frac{۱}{۶}a \ , \ e = \frac{۱}{۲}a \ , \ f = \frac{۱}{۳}a \ , \ g = \frac{۲}{۳}a$$



شکل ۲۸ـ ابعاد هسته



$$b = \frac{۴}{۳}a$$

$$c = \frac{۱}{۳}a$$

$$e = a$$

شکل ۲۹ـ ابعاد ورق

تعیین نوع ورق با استفاده از جداول

با مشخص شدن سطح مقطع ظاهری هسته و استفاده از روابط ۱۵ ـ۳ و جدول ۲ می‌توان ابعاد هسته را معین کرد. در تعیین ابعاد هسته، ضخامت هسته کمی بیشتر از عرض هسته در نظر گرفته می‌شود. جدول ابعاد هسته UI در کتاب همراه هنرجو قابل استفاده است.

نوع هسته EI یا UI $\leq ۳۰\times\sqrt{S}$ (۳ـ۱۵)

جدول ۲ـ استاندارد ابعاد ورق‌های EI

اندازه	a	b	c	d	e	f	g	i	ضخامت
EI۳۰	۳۰	۲۰	۵	ـ	۱۵	۱۰	۲۰	ـ	۰/۵ ـ ۰/۰
EI۳۸	۳۸/۴	۲۵/۶	ـ	ـ	۱۹/۲۱	۱۲/۸	۲۵/۵	ـ	"
EI۴۲	۴۲	۲۸	۷	۳/۵	۲۱	۱۴	۲۸	۳۵	۶۵ ـ ۰/۲۷
EI۴۸	۴۸	۳۲	۸	۳/۵	۲۴	۱۶	۳۲	۴۰	"
EI۵۴	۵۴	۳۶	۹	۳/۵	۲۷	۱۸	۳۶	۴۵	"
EI۶۰	۶۰	۴۰	۱۰	۳/۵	۳۰	۲۰	۴۰	۵۰	"
EI۶۶	۶۶	۴۴	۱۱	۴/۵	۳۳	۲۲	۴۴	۵۵	"
EI۷۵	۷۵	۵۰	۱۲/۵	۴/۵	۳۷/۵	۲۵	۵۰	۶۲/۵	"
EI۷۸	۷۸	۵۲	۱۳	۴/۵	۳۹	۲۶	۵۲	۶۵	"
EI۸۴	۸۴	۵۶	۱۴	۴/۵	۴۲	۲۸	۵۶	۷۰	"
EI۹۶	۹۶	۶۴	۱۶	۵/۵	۴۸	۳۲	۶۴	۸۰	"
EI۱۰۵	۱۰۵	۷۰	۱۷/۵	۵/۵	۵۲/۵	۳۵	۷۰	۸۷/۵	"
EI۱۰۸	۱۰۸	۷۲	۱۸	۵/۵	۵۴	۳۶	۷۲	۹۰	"
EI۱۲۰	۱۲۰	۸۰	۲۰	۷	۶۰	۴۰	۸۰	۱۰۰	"
EI۱۵۰N	۱۵۰	۱۰۰	۲۵	۸	۷۵	۵۰	۱۰۰	۱۲۵	"

سؤال

اگر سیم‌پیچ ترانسفورماتور به ولتاژ DC متصل شود، مقدار ولتاژ ثانویه ترانسفورماتور چقدر خواهد بود؟ چرا؟

مثال ۳

نوع ورق مناسب برای هسته ترانسفورماتور با ولتاژ $U_۲ = ۱۲V$ و جریان $I_۲ = ۴A$ تعیین کنید.

$$P_۲=U_۲ \times I_۲=۱۲ \times ۴=۴۸\,W$$

$$S = ۱/۲\sqrt{P_۲} = ۱/۲\sqrt{۴۸} = ۸/۳۱cm^۲$$

$$\text{نوع هسته EI} \leq ۳۰\times\sqrt{S}$$

$$\text{نوع هسته EI} \leq ۳۰\times\sqrt{۸/۳۱} = ۸۶/۴۸$$

ورق استاندارد مربوط به مقدار محاسبه شده ورق EI۸۴ می‌باشد. در این ورق $f = \frac{۱}{۳}a = ۲۸mm$ می‌باشد. ضخامت هسته از $\frac{s}{f}$ به دست می‌آید.

$$\text{ضخامت هسته} = \frac{s}{f} = \frac{۸/۳۱}{۲۸\times۱۰^{-۱}} = ۲/۹۶۷\,cm = ۲۹/۶۷\,mm$$

اگر ورق‌ها را از نوع ۰/۳۵میلی‌متری انتخاب کنیم در این حالت تعداد ورق‌ها برابراست با :

$$\text{تعداد ورق‌ها} = \frac{\text{ضخامت هسته}}{\text{ضخامت هر ورق}} = \frac{۲۹/۶۷}{۰/۳۵} = ۸۴\text{عدد}$$

اگر ورق‌ها از نوع ۰/۵۰ میلی‌متری انتخاب کنیم در این حالت تعداد ورق‌ها برابراست با :

$$\text{تعداد ورق‌ها} = \frac{\text{ضخامت هسته}}{\text{ضخامت هر ورق}} = \frac{۲۹/۶۷}{۰/۵۰} = ۵۹\text{عدد}$$

محاسبهٔ تعداد دور سیم‌پیچ اولیه و ثانویه

مبنای محاسبات تعداد دورهای سیم‌پیچ اولیه و ثانویه رابطه $E=۴/۴۴\times f\times B_m\times S\times N$ می‌باشد. عملاً در محاسبات برای سادگی عمل E را یک ولت در نظر می‌گیرند و تعداد دور را برای یک ولت به‌دست می‌آورند که آن را دور بر ولت می‌گویند و با N_V نشان می‌دهند. پس از تعیین N_V، براساس ولتاژهای سیم‌پیچ‌های اولیه و ثانویه و در نظرگرفتن افت ولتاژها، تعداد دورهای اولیه و ثانویه را تعیین می‌کنند.

$$E = ۴/۴۴ \times f \times B_m \times S \times N$$

$$E = ۱V \rightarrow N_V = \frac{۱}{۴/۴۴\times f\times B_m\times S} \qquad (۳\text{-}۱۶)$$

اگر S را برحسب سانتی‌مترمربع و B_m را برحسب گوس در نظر بگیریم دور بر ولت به صورت رابطه ۳ـ۱۶ بیان خواهد شد.

$$N_V = \frac{10^8}{4/44 \times f \times B_m \times S} \qquad (3-15)$$

اگر $f=50Hz$ و گوس $=12000$ $=$ تسلا $1/2$ $=B_m$ باشد دور بر ولت N_V به صورت زیر بیان می‌شود.

هستهٔ مرغوب $N_V = \frac{37/5}{S\left[Cm^2\right]}$

اگر $f=50Hz$ و گوس $=10000$ $=$ تسلا 1 $=B_m$ باشد دور بر ولت N_V به صورت زیر بیان می‌شود.

هستهٔ معمولی $N_V = \frac{45}{S\left[Cm^2\right]}$

فعالیت

مقدار دور بر ولت به چه عواملی بستگی دارد؟ اگر فرکانس افزایش یابد دور بر ولت چه تغییری می‌کند؟

برای محاسبه تعداد دور اولیه و ثانویه دو حالت زیر را می‌توان درنظر گرفت.

۱ـ تعداد دور سیم‌پیچ اولیه را متناسب با نصف درصد افت ولتاژ، کاهش و تعداد دور ثانویه متناسب با نصف درصد افت ولتاژ افزایش می‌دهند.

$$N_1 = N_V \times V_1 \times (1 - \frac{\%\Delta V}{2})$$

$$N_2 = N_V \times V_2 \times (1 + \frac{\%\Delta V}{2})$$

۲ـ تعداد دور سیم‌پیچ اولیه را تغییر نداده و تعداد دور ثانویه را متناسب با درصد افت ولتاژ کل افزایش می‌دهند.

$$N_1 = N_V \times V_1$$

$$N_2 = N_V \times V_2 \times (1 + \%\Delta V)$$

میزان افت ولتاژ با توجه به توان ترانسفورماتور تغییر می‌کند. افت ولتاژ در جدول شکل ۳ برحسب توان خروجی نشان داده شده است.

جدول ۳ـ افت ولتاژ ترانسفورماتورها برحسب قدرت آن

قدرت ترانس VA	۵	۱۰	۲۵	۵۰	۷۵	۱۰۰	۱۵۰	۲۰۰	۳۰۰	۴۰۰	۷۵۰	۱۰۰۰	۱۵۰۰	۲۰۰۰	۳۰۰۰	۳۵۰۰
درصد افت ولتاژ ΔU	۲۰	۱۷	۱۴	۱۲	۱۰	۹	۸	۷/۵	۷	۶/۵	۵	۴	۳	۲	۵	۱

سؤال

چرا با افزایش قدرت ترانسفورماتور مقدار درصد افت کمتر می‌شود؟

مثال ۴

ترانسفورماتوری با مشخصات ۲۰۰ VA با ولتاژ اولیه ۲۲۰ ولت و ولتاژ ثانویه ۱۲ ولت مورد نیاز است. هسته این ترانسفورماتور از نوع مرغوب با چگالی Bm=۱۲۰۰۰ GS، ضخامت هر ورق ۰/۵۰ mm و فرکانس شبکه ۵۰ هرتز می‌باشد. تعداد دور سیم‌پیچ اولیه و ثانویه و تعداد ورق‌های هسته را با شرایط زیر مشخص کنید.

۱ـ بدون در نظر گرفتن افت ولتاژ، در اولیه ۲ـ با در نظر گرفتن افت ولتاژ اولیه

حل:

۱ـ بدون در نظر گرفتن افت ولتاژ در سیم‌پیچ اولیه

ازجدول شکل ۶۵ـ۳ برای P = ۲۰۰ VA اندازه افت ولتاژ برابر ۷/۵% تعیین می‌شود و از رابطه برای هسته مرغوب می‌توان نوشت:

$$N_V = \frac{۳۷/۵}{S\left[Cm^۲\right]}$$

$$S = ۱/۲\sqrt{p_۲} = ۱/۲\sqrt{۲۰۰} = ۱۶/۹۷\,Cm^۲$$

$$N_V = \frac{۳۷/۵}{۱۶/۹۷} = ۲/۲۱$$ دور در هر ولت

$$N_V = \frac{۱۰^۸}{۴/۴۴ \times f \times B_m \times S}$$

$$N_V = \frac{۱۰^۸}{۴/۴۴ \times ۵۰ \times ۱۲۰۰۰ \times ۱۶/۹۷} = ۲/۲۱$$

$N_۱ = N_V \times V_۱ = ۲/۲۱ \times ۲۲۰ = ۴۸۶$ دور

$N_۲ = N_V \times V_۲ \times (۱ + \%\Delta V) = ۲/۲۱ \times ۱۲ \times (۱ + ۰/۰۷۵) \approx ۲۹$

۲ـ با در نظر گرفتن افت ولتاژ درسیم پیچ اولیه

$$N_۱ = N_V \times V_۱ \times \left(۱ - \frac{\%\Delta V}{۲}\right) = ۲/۲۱ \times ۲۲۰ \times \left(۱ - \frac{۰/۰۷۵}{۲}\right) = ۴۶۸$$ دور

$$N_۲ = N_V \times V_۲ \times \left(۱ + \frac{\%\Delta V}{۲}\right) = ۲/۲۱ \times ۱۲ \times \left(۱ + \frac{۰/۰۷۵}{۲}\right) = ۲۸$$ دور

EI نوع $\leq ۳۰\sqrt{S} = ۳۰\sqrt{۱۶/۹۷} = ۱۲۳/۵۸$

نوع ورق استاندارد نزدیک به EI=۱۲۳/۵۸، ورق EI ۱۲۰ می‌باشد. در این حالت، اندازه f =۴۰ میلی‌متر به‌دست می‌آید از رابطه مقابل می‌توان نوشت:

$S' = ۱/۱ \times S = ۱/۱ \times ۱۶۹۷ mm^۲ = ۱۸۶۶/۲ mm^۲$

$$\text{ضخامت هسته} = \frac{S'}{f} = \frac{۱۸۶۶/۲}{۴۰} = ۴۶/۶۶ mm$$

$$\text{تعداد ورق } n = \frac{\text{ضخامت هسته}}{\text{ضخامت هر ورق}} = \frac{۴۶/۶۶}{۰/۵} \approx ۹۴$$

تعیین قطر سیم مربوط به سیم‌پیچ اولیه و ثانویه

قطر سیم در سیم پیچ‌های ترانسفورماتور باید به گونه‌ای انتخاب شود، که حداقل بتواند اهداف زیر را برآورده کند.

الف) حداقل تلفات مسی را داشته باشد.

ب) حداقل وزن را داشته باشد.

ج) جریان مدار را به راحتی تحمل کند.

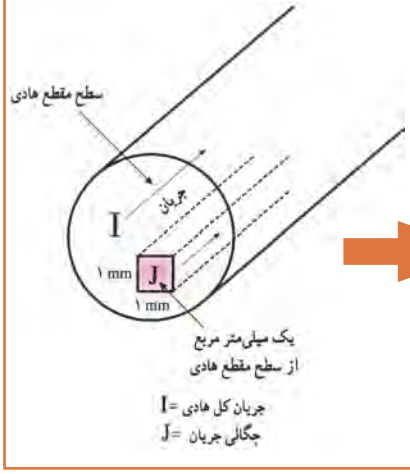
با توجه به ویژگی‌های فوق پس می‌توان نتیجه گرفت که قطر سیم متأثر از توان ترانسفورماتور و چگالی جریان می‌باشد.

فیلم

محاسبه ترانسفورماتور و مقدار افت ولتاژ از لحظه ۵:۱۵ تا ۹:۱۰

چگالی جریان

چگالی جریان، بزرگی شدت جریانی است که هر میلی‌مترمربع از یک سیم، آن را تحمل می‌کند. واحد آن آمپر بر میلی‌مترمربع است و آن را با J نشان می‌دهند. در شکل مفهوم چگالی با شکل ۳۰ نشان داده شده است.



$$\text{سطح مقطع سیم} = A = \frac{I}{J} \quad \frac{\text{جریان سیم}}{\text{چگالی جریان}} \ mm^2$$

$$\text{در مقطع دایره‌ای} \quad A = \frac{\pi d^2}{4} \Rightarrow d = \sqrt{\frac{4 \times A}{\pi}} = 1/13\sqrt{A}$$

$$\text{قطر سیم اولیه} \quad \text{سطح مقطع سیم اولیه} \ A_1 = — \Rightarrow d_1 = 1/13\sqrt{A_1}$$

$$\text{قطر سیم ثانویه} \quad \text{سطح مقطع سیم ثانویه} \ A_2 = \frac{I_2}{J} \Rightarrow d_2 = 1/13\sqrt{A_2}$$

شکل ۳۰ـ چگالی جریان و تعیین سطح مقطع سیم‌پیچ اولیه و ثانویه

چگالی جریان با افزایش توان ترانسفورماتورها کاهش می‌یابد. در جدول۴ محدوده چگالی جریان ترانسفورماتورها را متناسب با توان‌های مختلف مشاهده می‌کنید.
جدول ۴، مقدار چگالی جریان برحسب محدوده قدرت ترانسفورماتور را نشان می‌دهد.

جدول۴ـ چگالی جریان در ترانسفورماتور

قدرت VA	۰ـ۵۰	۵۰ـ۱۰۰	۱۰۰ـ۲۰۰	۲۰۰ـ۵۰۰	۵۰۰ـ ۱۰۰۰	۱۰۰۰ـ۲۰۰۰	۲۰۰۰ـ۳۰۰۰	۳۰۰۰ ـ۴۰۰
چگالی جریان $\frac{A}{mm^2}$	۴	۳/۵	۳	۲/۵	۲	۱/۷۵	۱/۵	۱

مثال ۵

یک ترانسفورماتور یک‌فاز با ولتاژ اولیه ۲۲۰ولت و ولتاژ ثانویه ۶ ولت و جریان ثانویه ۴ آمپر مورد نیاز است. چگالی هسته ۱۲۰۰۰گوس و فرکانس شبکه برق ۵۰ هرتز است. محاسبات لازم برای ساخت این ترانسفورماتور را، از قبیل انتخاب ورق‌ها، تعداد دور سیم‌پیچ اولیه و ثانویه و قطر سیم‌پیچ اولیه و ثانویه انجام دهید.

حل:

$V_1=۲۲۰\ V\ ,\quad V_2=۶V \rightarrow P_2=V_2\times I_2=۶\times ۴=۲۴\ V.A$

$S=۱/۲\sqrt{P_2}=۱/۲\sqrt{۲۴}=۵/۹Cm$ سطح حقیقی آهن

$N_V=\frac{۳۷/۵}{S}=\frac{۳۷/۵}{۵/۹}=۶/۳۶$ دور بر ولت

$N_1=V_1\times N_V=۲۲۰\times ۶/۳۶=۱۴۰۰$ دور

$N_2=V_2\times N_V\times(۱+\Delta v\,\%)$

از جدول شکل ۶۸ـ۳ افت ولتاژ تقریباً ۱۴٪ می‌باشد.

$N_2=۶\times ۶/۶۳\times(۱+۰/۰۱۴)=۳۷$ دور

$A_1=\frac{I_1}{J}\ ,\quad I_1=\frac{P_1}{V_1}\ ,\quad P_1=\frac{P_2}{\eta}$

راندمان (η) را به‌طور متوسط ۹۰٪ در نظر می‌گیرند.

$P_1=\frac{۲۴}{۰/۹}=۲۶/۶VA\rightarrow I_1=\frac{۲۶/۶}{۲۲۰}=۰/۱۲\quad A\rightarrow A_1=\frac{I_1}{J}$

از جدول ۴ چگالی جریان برابر $J=۴A/mm^2$ است.

$A_1=\frac{I_1}{J}=\frac{۰/۱۲}{۴}=۰/۰۳mm^2\rightarrow d_1=۱/۱۳\sqrt{A_1}=۱/۱۳\sqrt{۰/۰۳}=۰/۲۰mm$

$$A_۲ = \frac{I_۲}{J} = \frac{۴}{۴} = ۱mm^۲ \rightarrow d_۲ = ۱/۱۳\sqrt{A_۲} = ۱/۱۳\sqrt{۱} = ۱/۱۳mm$$

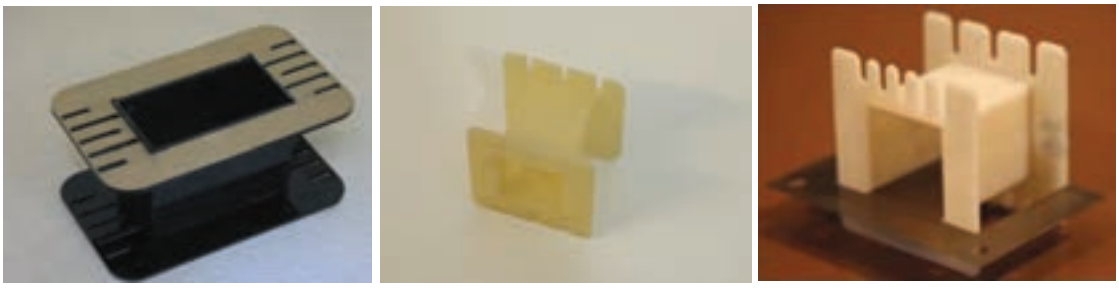
$$\text{نوع } E۱ \leq ۳۰\sqrt{S} \leq ۳۰\sqrt{۵/۹} = ۷۳$$

نوع EI استاندارد از جدول شکل ۶۶ ـ۳، EI۶۶ می‌باشد که در آن f =۲۲mm است و ضخامت هسته برابر است با:

$$\text{عدد } ۵۴ \approx \frac{۲۶/۸۱}{۰/۵} = EI \text{ تعداد ورق} \rightarrow ۲۶/۸۱mm = \frac{۵/۹\times۱۰^۲ mm}{۲۲mm} = \frac{s}{f} = \text{ضخامت هسته}$$

طراحی قرقره ترانسفورماتور تک فاز

سیم‌پیچ‌های هر ترانسفورماتور، ابتدا روی یک قرقره پیچیده می‌شود. پس از آماده شدن سیم‌پیچی‌ها، ورق‌های هسته در درون قرقره‌ها قرار داده می‌شوند. قرقره‌ها متناسب با ابعاد هسته انتخاب می‌شوند. این **قرقره‌ها** در توان‌های پایین، از مواد ترموپلاست به‌صورت یک پارچه در قالب‌های استاندارد ساخته می‌شوند، یا از برش و مونتاژ کاغذهای برشمان درست می‌شوند. در توان‌های بالا و دمای کار زیاد قرقره‌ها را از فیبرهای استخوانی می‌سازند. فیبرهای استخوانی از استحکام مکانیکی بالا برخوردارند و دماهای زیادی را تحمل می‌کنند (شکل ۳۱).



شکل ۳۱ـ قرقره‌های ترموپلاست و فیبر استخوانی

در انتخاب ورق‌های هسته و قرقره ترانسفورماتورها دو عامل تعیین‌کننده باید در نظر گرفته شود.

۱ـ سطح کافی برای سیم‌پیچ اولیه و ثانویه

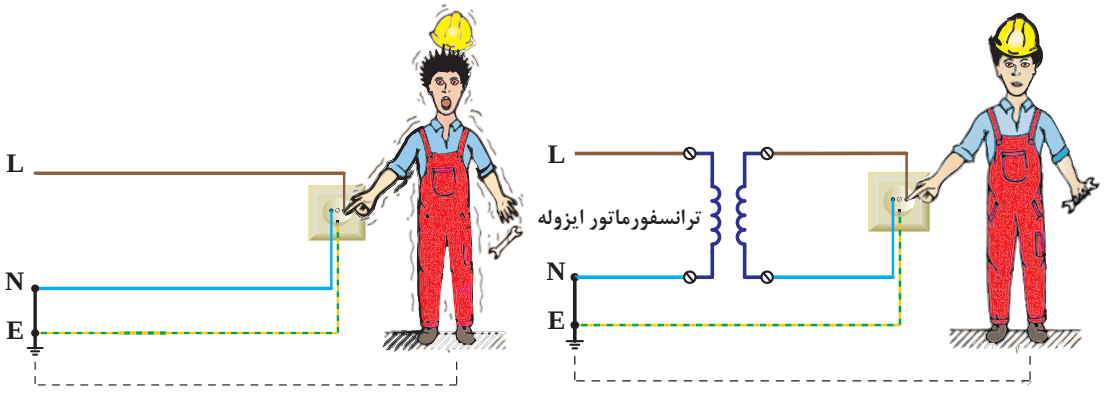
۲ـ حداکثر بهره‌برداری از فضای قرقره

در انتخاب ورق هسته، ورقی را باید انتخاب نمود که سطح پنجره آن، سطح موردنیاز سیم‌پیچ اولیه و ثانویه را کفایت کند، با مراجعه به جدول کتاب راهنمای هنرجو در تعیین قرقره کفایت سطح پنجره‌های آن اقدام کنید.

فعالیت

ترانسفورماتور با ولتاژ ورودی و خروجی برابر برای ایزوله و جداسازی دو بخش یک مدار الکتریکی کاربرد دارد.

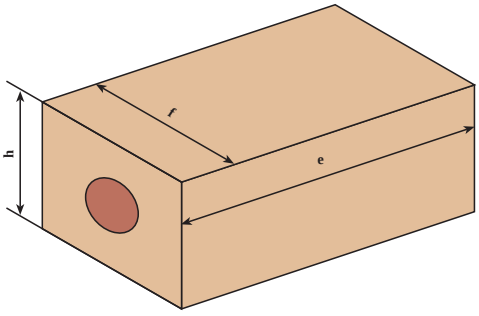
نقش ترانسفورماتور حفاظتی در شکل ۳۲ چیست؟

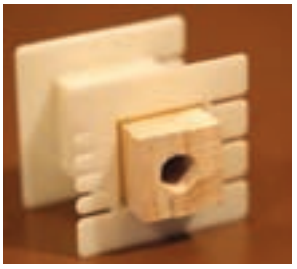


شکل ۳۲ـ ترانسفورماتور ایزوله

تهیه مغزی قرقره

یک قطعه چوب به شکل مکعب مستطیل براساس ابعاد نشان داده شده در شکل ۳۳ تهیه کنید. چرا که در زمان سیم‌پیچی لازم است تا این قطعه چوب در داخل قرارگرفته و سپس روی بوبین پیچ بسته شود.





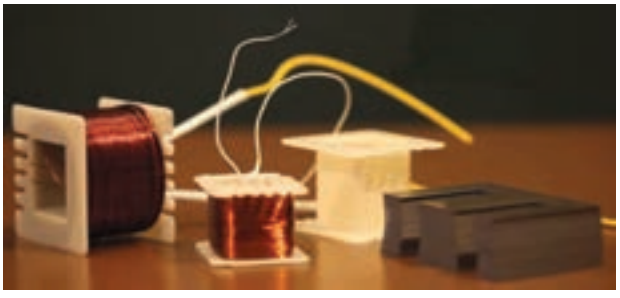
شکل ۳۳ـ ابعاد مغزی قرقره

کار عملی ۲

هدف : ساخت ترانسفورماتور تک فاز با یک ورودی و یک خروجی

وسایل و مواد لازم

- قرقره ترانسفورماتور از نوع EI۴۸ یک عدد
- ورق EI۶۶ به ضخامت ۰/۵ mm به تعداد ۶۰ عدد
- سیم لاکی ۰/۲۰mm و ۰/۸۰mm
- دستگاه بوبین پیچ
- سیم چین
- دم باریک
- سیم افشان ۱/۵ و ۱



شکل ۳۴ـ تجهیزات سیم‌پیچی ترانسفورماتور

ـ وارنیش نمره ۲،۲/۵، ۱
ـ هویه و دریل
ـ لحیم و ژاک (جای فیش) چهارعدد
ـ کاغذ پرشمان ۰/۲۰ و ۰/۱۵
ـ چسب نواری
ـ کاغذ سنباده

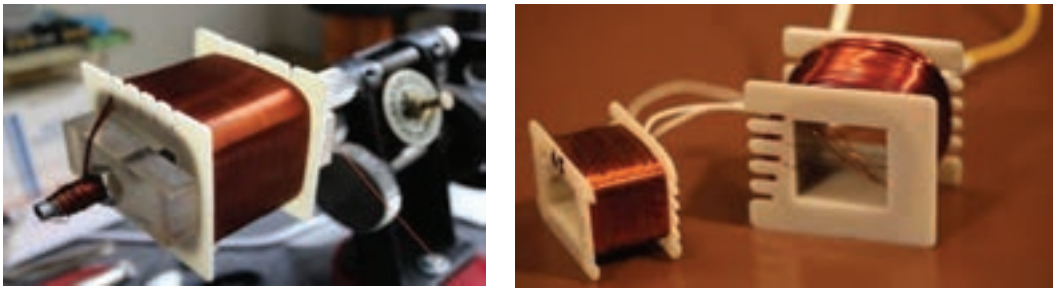
۱ـ با توجه به مشخصات الکتریکی داده شده و بهره گرفتن از ورق هسته مرغوب با چگالی بالا و فرکانس کاری ۵۰ هرتز تعداد دورسیم‌پیچ‌ها، قطر سیم‌های اولیه و ثانویه، ابعاد و نوع ورق EI را با احتساب افت ولتاژ مناسب در سمت اولیه و ثانویه به‌دست آورده و سپس به کمک مربی خود اقدام به پیچیدن آن نمایید.

مشخصات ترانسفورماتور $v_1 = ۲۲۰V \quad , \quad v_2 = ۱۲V \quad , \quad I_2 = ۳A$

۲ـ برای پیچیدن سیم روی قرقره لازم است تا ابتدا مغزی چوبی ساخته شده را به داخل قرقره هدایت کنید و سپس مجموعه را روی بوبین پیچ سوار کرده و اقدام به سیم‌پیچی کنید.

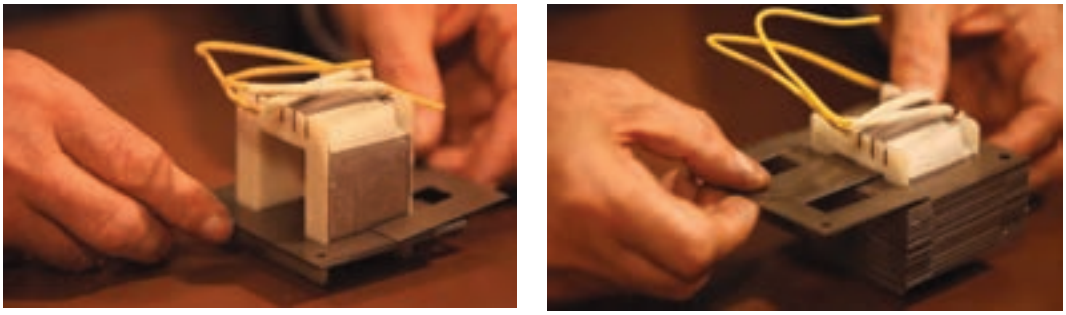
شکل ۳۵ـ مغزی قرقره

۳ـ سیم‌پیچ اولیه را مرتب روی قرقره بپیچید و پس از هدایت سرسیم‌ها به ژاک (جای فیش) مربوطه روی آن را باکاغذ پرشمان ۰/۱۵یا۰/۱بپوشانید و با چسب کاغذی محکم کنید سپس سیم ثانویه را به تعداد دور لازم بپیچید وپس از هدایت سرسیم‌های ثانویه به ژاک (جای فیش) مربوطه، روی سیم‌ها را با کاغذ پرشمان ۰/۲۰ پوشانده با چسب محکم کنید.



شکل ۳۶ـ سیم پیچی ترانسفورماتور

با راهنمایی مربی کارگاه ورق‌های EI را مطابق شکل ۳۷ به‌صورت یک در میان در داخل قرقره قرار دهید و در خاتمه پیچ ورق‌ها را محکم کنید. در نهایت ترانسفورماتور برای آزمایش بی باری و اتصال کوتاه آماده است (شکل ۳۸).

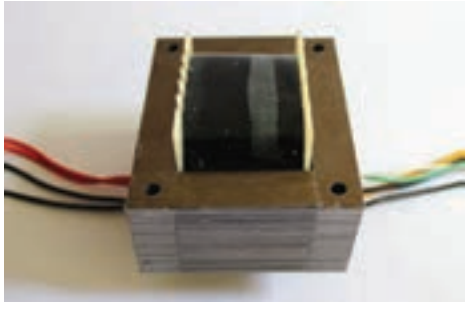


شکل ۳۷ـ جا زدن هسته

فعالیت

اگر سیم‌پیچی اولیه و ثانویه نامرتب باشد هنگام جا زدن هسته چه مشکلی پیش می‌آید؟

۵ـ پس از سیم‌پیچی با نظارت مربی خود اولاً: ولتاژ اولیه و ثانویه را به ازای یک بار مناسب اندازه‌گیری کنید.
۶ـ آزمایش بی باری و اتصال کوتاه ترانسفورماتور ساخته شده را انجام داده و تعیین مقدار تلفات هسته و سیم‌پیچی راندمان ترانسفورماتور را نیز محاسبه کنید.



شکل ۳۸ـ ترانسفورماتور آماده شده

ایمنی

هنگام جا زدن هسته ترانسفورماتور مراقب نوک تیز گوشه هسته باشید.

تذکر

بسیاری از مواقع هنگام سیم‌پیچی اولیه ترانسفورماتور در اثر عجله، یا بی‌دقتی سر سیم اولیه قطع می‌شود. پیدا کردن مجدد سرسیم و اتصال مجدد آن وقت‌گیر است برای جلوگیری از این اتفاق سرسیم اولیه را با سیم افشان اتصال دهید و از شیار قرقره بیرون بیاورید.

فیلم

مراحل عملی سیم‌پیچی ترانسفورماتور از لحظه ۱۱:۴۰ تا ۲۰

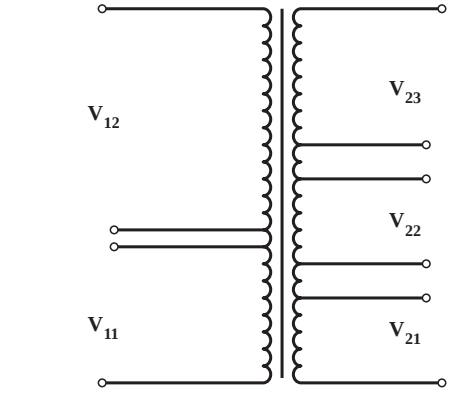
ترانسفورماتورهای با چند ورودی و خروجی

سیم‌پیچ اولیه ترانسفورماتورها ممکن است در شبکه‌های مختلف به ولتاژهای مختلف متصل شود. مثلاً در ولتاژهای V ۳۸۰، ۲۲۰V، ۱۱۰V به‌کار گرفته می‌شود. همچنین ممکن است ولتاژهای مختلف ۱/۵V،۳V،۴/۵V،۶V،۹V، ۱۲V، ۲۴V، ۴۸V و ۱۱۰V از خروجی ترانسفورماتورها دریافت شود. سیم‌پیچ‌های ثانویه ممکن است مستقل از هم یا مشترک باشند. (شکل ۳۹ و ۴۰)

فیلم

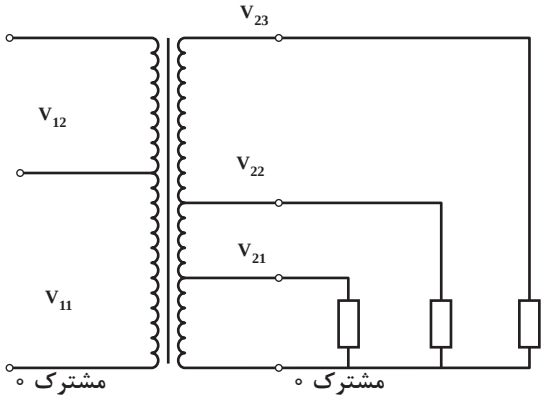
ترانسفورماتورهای چند سر از لحظه ۲۴ تا ۲۶:۴۰

معمولاً از روش سیم‌پیچ‌های مشترک در ترانسفورماتورهای با ولتاژهای پایین کمتر استفاده می‌شود. همچنین ممکن است در یک ترانسفورماتور از سیم‌پیچ‌های ثانویه به‌صورت هم‌زمان و یا غیر هم‌زمان استفاده شود که این مسئله در محاسبات عملی ترانسفورماتور مؤثر است. به‌کارگیری روش سیم‌پیچی مستقل باعث افزایش حجم ترانسفورماتور می‌شود و بنابراین صرفه اقتصادی نیست (شکل ۳۹).



شکل ۳۹ــ ترانسفورماتور با سیم‌پیچ‌های مجزا در اولیه و ثانویه

می‌توان تعداد دور سیم پیچ اولیه را برای بالاترین ولتاژ در اولیه و تعداد دور سیم پیچ ثانویه را نیز برای بیشترین ولتاژ ثانویه پیچیده و برای ولتاژهای دیگر، در دورهای معین سرسیم پیچ‌ها را خارج کرد (شکل ۳۶).



شکل ۴۰ــ ترانسفورماتور با سیم‌پیچ‌های مشترک در اولیه و ثانویه

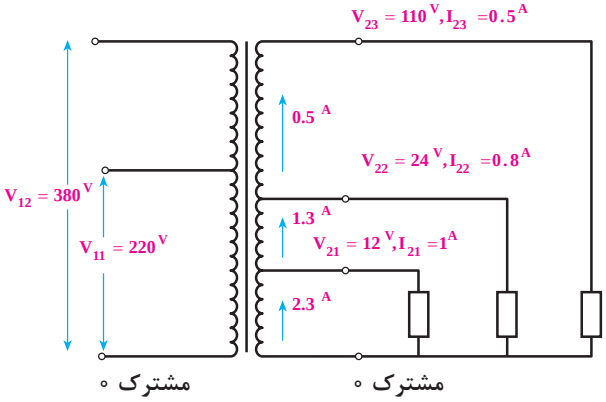
قطر سیم‌پیچ را نیز می‌توان بر مبنای بیشترین جریانی که از سیم پیچ عبور می‌کند، انتخاب کرد و برای همهٔ سیم پیچ‌های ثانویه یا اولیه یکی باشد اما چون جریان هر قسمت از سیم پیچ‌ها با قسمت‌های دیگر تفاوت دارد، بهتر است برای هر قسمت سیمی با قطر متفاوت پیچیده شود؛ مگر اینکه جریان‌ها بسیار نزدیک به هم باشند.

برای محاسبهٔ قدرت ترانسفورماتورهایی که دارای چندین ولتاژ در ثانویه هستند، درصورتی که از همهٔ خروجی‌ها به‌طور هم‌زمان استفاده می‌شود، می‌توان از جمع همهٔ قدرت‌های خروجی، قدرت ثانویه و از روی آن قدرت اولیه را به‌دست آورد. اما اگر از همهٔ ولتاژهای ثانویه به‌طور هم‌زمان استفاده نشود، باید با بررسی حالت‌های ممکن بیشترین توان خروجی را انتخاب کرد و محاسبات را بر مبنای آن انجام داد.

مثال ۶: شکل ۴۱ را درنظر بگیرید اگر از مصرف‌کنندهٔ ۱۲ ولتی، جریان یک آمپر و از مصرف‌کنندهٔ ۲۴ ولتی، جریان ۰/۸ آمپر و از مصرف‌کنندهٔ ۱۱ ولتی، جریان ۰/۵ آمپر عبور کند و تمام مصرف‌کننده‌ها نیز هم‌زمان به ترانسفورماتور وصل شوند، توان کل خروجی برابر است با :

$$P_۲ = V_{۲۱} \times I_{۲۱} + V_{۲۲} \times I_{۲۲} + V_{۲۳} \times I_{۲۳}$$

$$P_۲ = ۱۲ \times ۱ + ۲۴ \times ۰/۸ + ۱۱۰ \times ۰/۵ = ۸۶/۲۷$$



شکل ۴۱ــ ترانسفورماتور چندسر

قطر سیم‌ها نیز برای قسمت اول (از صفر تا ۱۲ ولت) بر مبنای جریان ۲/۳=(۰/۵+۰/۸+۱) آمپر و برای قسمت دوم (از ۱۲ تا ۲۴ ولت) برای جریان ۱/۳ =(۰/۵+۰/۸) آمپر و برای قسمت سوم از (۲۴ تا ۱۱۰ ولت) بر مبنای جریان ۰/۵ آمپر حساب می‌شود.

در این مثال، اگر فرض کنیم که از سه خروجی، تنها دو خروجی بتوانند به‌طور هم‌زمان کار کنند، باید قدرت‌های خروجی را دو به دو با یکدیگر جمع کنیم و مقدار بزرگ‌تر را برای قدرت خروجی ترانسفورماتور منظور، درنظر بگیریم. بنابراین برای این ترانسفورماتور قدرت ثانویهٔ $P_۲$=۷۴/۲۷۸ به‌دست می‌آید. قطر سیم نیز با بررسی جریان‌ها در شرایط مختلف پیدا می‌شود. به‌طوری که از قسمت اول سیم‌پیچ، حداکثر ۱/۸ آمپر و از قسمت دوم آن حداکثر جریان ۱/۳ آمپر و از قسمت سوم نیز جریان ۰/۵ آمپر عبور می‌کند. با توجه به چگالی جریان، می‌توان قطر سیم‌ها را مشخص کرد.

سطح مقطع آهن خالص و دور بر ولت را می‌توان پس از محاسبهٔ قدرت ترانسفورماتور از طریق روابط قبلی به‌دست آورد.

تعداد دورهای اولیه و ثانویه به همان روش قبلی محاسبه می‌شود. لیکن در هنگام به‌دست آوردن درصد افت ولتاژ باید برای قسمت خروجی، قدرت همان قسمت را در جدول قرار دهیم و افت ولتاژ را پیدا کنیم. در هنگام سیم‌پیچی، ابتدا سیم با قطر $d_{۱۱}$ برای ولتاژ کمتر (یعنی $U_{۱۱}$) و به اندازهٔ $N_{۱۱}$ دور پیچیده شده و پس از بیرون آوردن یک سر خروجی، مجدداً برای دومین ولتاژ یعنی $U_{۱۲}$ سیم با قطر $d_{۱۲}$ و به اندازهٔ $N_{۱۲}(N_{۱۱}-)$ دور پیچیده شود تا در هنگام وصل شدن به ولتاژ بیشتر، هر دو سیم‌پیچ ($N_{۱۱}$) و $N_{۱۲}(N_{۱۱}-)$ با یکدیگر سری شوند و مجموع حلقه‌های آنها برابر با $N_{۱۲}$ شود. بدون ترتیب در مرحله قطر سیم نیز کمتر می‌شود. برای سیم پیچ‌ثانویه، ابتدا ولتاژها را از کم به زیاد مرتب کرده و برای ولتاژ $U_{۲۱}$ تعداد دور $N_{۲۱}$ و برای ولتاژ $U_{۲۲}$ و $U_{۲۳}$ و... تعداد دورهای $N_{۲۲}$ و $N_{۲۳}$ و... را محاسبه می‌کنیم و سپس، مانند طرف اولیه عمل می‌نماییم.

در عمل باید دقت کنیم که سیم‌پیچ‌های ثانویه همه در یک جهت پیچیده شوند تا ولتاژ آنها با یکدیگر جمع شوند.

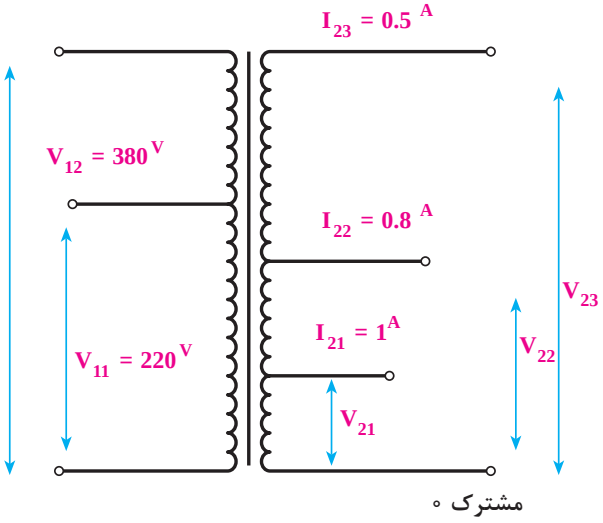
برای توضیح بیشتر به بررسی و حل کامل مثال ذکر شده می‌پردازیم. سیم پیچ اولیه ترانسفورماتور موردنظر باید به ولتاژ ۲۲۰ ولت با ۳۸۰ ولت با فرکانس ۵۰ هرتز اتصال یابد و ثانویهٔ آن نیز دارای سه خروجی ۱۲ ولت با جریان یک آمپر. ۲۴ ولت با جریان ۰/۸ آمپر و ۱۱۰ ولت با جریان ۰/۵ آمپر باشد. فرض می‌کنیم که از هر سه خروجی به‌طور

هم‌زمان استفاده شود.

حل این مثال را در ۹ مرحله توضیح می‌دهیم.

راه حل

مرحله اول : در این مرحله، معلومات مورد نیاز را مرتب کرده و شکل آن را رسم می‌کنیم (شکل ۴۲).



شکل ۴۲ـ مقادیر ترانسفورماتور چندسر

$V_{۱۱} = ۲۲۰V \quad , \quad V_{۱۲} = ۳۸۰V$

$V_{۲۱} = ۱۲V \quad , \quad I_{۲۱} = ۱A$

$V_{۲۲} = ۲۴V \quad , \quad I_{۲۲} = ۰/۸A$

$V_{۲۳} = ۱۱۰V \quad , \quad I_{۲۳} = ۰/۵A$

مرحله دوم : قدرت اولیهٔ ترانسفورماتور را با توجه به اینکه خروجی‌ها به‌طور هم‌زمان مورد استفاده قرار می‌گیرند، محاسبه می‌کنیم.

$$P_۲ = V_{۲۱} \times I_{۲۱} + V_{۲۲} \times I_{۲۲} + V_{۲۳} \times I_{۲۳}$$

$$P_۲ = ۱۲ \times ۱ + ۲۴ \times ۰/۸ + ۱۱۰ \times ۰/۵ = ۸۶/۲VA$$

همان‌طور که قبلاً گفتیم، ضریب بهره برای یک ترانسفورماتور با قدرت از ۲۰ ولت آمپر تا ۱۲۵ ولت آمپر حدود ۸۰ تا ۹۰ درصد است. پس می‌توانیم برای این ترانسفورماتور ضریب بهرهٔ ۸۹ درصد انتخاب کنیم.

$$P_۱ = \frac{P_۲}{\eta}$$

هرگاه $P_{S۱} = P_۱$ و $P_{S۲} = P_۱$ درنظر گرفته شود، می‌توان نوشت :

$$P_{S۱} = \frac{P_{S۲}}{\eta}$$

$$P_{S۲} = \frac{۸۶/۲}{۰/۸۹} = \frac{۹۶}{۸۵} = ۹۷ \text{ ولت آمپر}$$

مرحله سوم : سطح مقطع واقعی هسته را با توجه به قدرت $P_{S۱}$ به‌دست می‌آوریم.

$$S_{F_e} = ۱/۲\sqrt{P_{S۱}} = ۱/۲\sqrt{۹۷} = ۱۱/۸cm^۲$$

سطح مقطع ظاهری هسته برابر است با :

$$S'_{F_e} = \frac{S_{F_e}}{K_{F_e}} = \frac{۱۱/۸}{۰/۹} = ۱۳/۱۱ cm^۲$$

مرحله چهارم : دور بر ولت برای این ترانسفورماتور برابر است با :

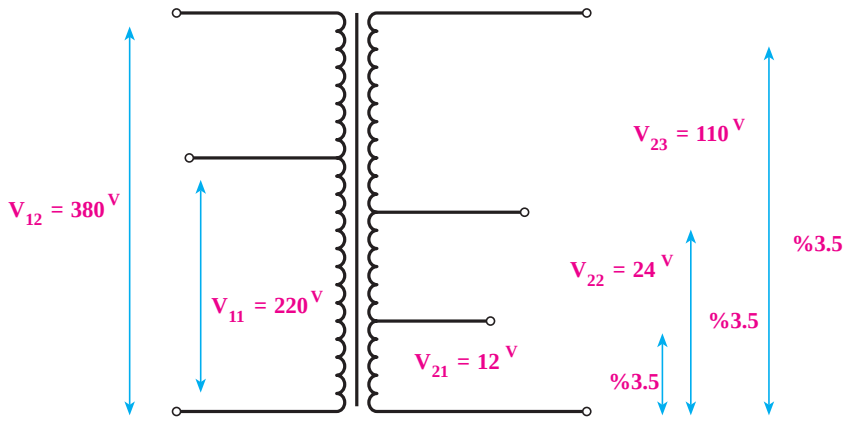
$$N_V = \frac{۳۷/۵۴}{S} = \frac{۳۷/۵۴}{۱۱/۸} = ۳/۱۸ \frac{\text{دور}}{\text{ولت}}$$

مرحله پنجم : برای تعیین دورهای اولیه، باید ابتدا درصد افت ولتاژ را به‌دست آوریم. در جدول ۲ درصد افت ولتاژ برای قدرت ۷۵ ولت آمپر ۱۰ درصد و برای قدرت ۱۰۰ ولت آمپر ۹ درصد است ؛ یعنی با افزایش ۲۵ ولت آمپر به قدرت ترانسفورماتور یک درصد از افت ولتاژ کاسته شده است. قدرت خروجی ترانسفورماتور موردنظر ۸۶ ولت آمپر است، یعنی، از ۷۵ ولت آمپر ۱۱ = (۷۵ - ۸۶) ولت آمپر بیشتر است. با یک تناسب ساده، می توان مقدار کاهش افت ولتاژ را از ۱ درصد به‌دست آورد که برابر با $\frac{۱۱\times۱}{۲۵} = ۰/۴۴$ می‌شود. بنابراین، افت ولتاژ برای این ترانسفورماتور برابر با ۹/۵۶= (۱۰-۰/۴۴) درصد می‌شود. از این مقدار با توجه به نسبت تقریبی مقاومت سیم پیچ‌های اولیه و ثانویه، حدود ۶ درصد برای اولیه و ۳/۵ درصد برای ثانویه منظور می‌کنیم. بنابراین، تعداد دور اولیه برای هر ولتاژ جداگانه برابر است با :

$$N_{۱۱} = n \times V_{۱۱}(۱ - \%\Delta V_۱) = ۳/۱۸ \times ۲۲۰(۱ - ۰/۰۶) = ۶۵۸ \quad \text{دور}$$

$$N_{۱۲} = n \times V_{۱۲}(۱ - \%\Delta V_۱) = ۳/۱۸ \times ۳۸۰ \times (۱ - ۰/۰۶) = ۱۱۳۵/۹ \cong ۱۱۳۶ \quad \text{دور}$$

سیم‌پیچ اولیه ترانسفورماتور دارای دو سیم‌پیچ سری است که قسمت اول ۶۵۸ دور و قسمت دوم ۴۷۸=(۶۵۸-۱۱۳۶) دور می باشد.



شکل ۴۳ـ درصد افت ولتاژ در ترانسفورماتور

مرحله ششم : چون از هر سه خروجی ترانسفورماتور به طور هم زمان استفاده می‌شود، درصد افت ولتاژ برای هر سه ولتاژ از سیم مشترک تا هر یک از خروجی های ۱۲ و ۲۴ و ۱۱۰ ولت، ۳/۵ درصد برآورد می‌شود که در شکل ۳۹ مشخص شده است بنابراین، تعداد دور ثانیه برای هر ولتاژ جداگانه برابر است با :

$$N_{۱۱} = n \times V_{۱۱}(۱ - \%\Delta V_{۱}) = ۳/۱۸ \times ۱۲ \times (۱ + \frac{۳/۵}{۱۰۰}) = ۳۸$$

$$N_{۲۲} = n \times V_{۲۲}(۱ - \%\Delta V_{۲})$$

$$N_{۲۲} = ۳/۱۸ \times ۲۴ \times (۱ + \frac{۳/۵}{۱۰۰}) \cong ۷۷ \text{ دور}$$

$$N_{۲۳} = n \times V_{۲۳}(۱ - \%\Delta V_{۲}) = ۳/۱۸ \times ۱۱۰ \times (۱ + \frac{۳/۵}{۱۰۰}) = ۳۶۲ \text{ دور}$$

بدین ترتیب، برای ۱۲ ولت باید ۳۸ دور و برای ۲۴ ولت ۳۹ = (۳۸-۷۷) دور و برای ۱۱۰ ولت = (۷۷-۳۶۲) ۲۸۵ دور سیم به‌صورت سری پیچیده شود.

مرحله هفتم : ابتدا قطر سیم را برای سیم‌های اولیه حساب می‌کنیم. اگر اولیه را به ۲۲۰ ولت وصل کنیم، جریان آن برابر است با :

$$I_{۱۱} = \frac{P_{۱}}{V_{۱۱}} = \frac{۹۷}{۲۲۰} = ۰/۴۴A$$

و اگر آن را به ۳۸۰ ولت وصل کنیم، جریان آن برابر خواهد شد با :

$$I_{۱۲} = \frac{P_{۱}}{V_{۱۲}} = \frac{۹۷}{۳۸۰} = ۰/۲۵A$$

چگالی جریان برای قدرت ۵۰ تا ۱۰۰ ولت آمپر برابر با $I = ۳/۵ \frac{A}{mm^{۲}}$ است. لذا قطر سیم قسمت اول برابر می شود با :

$$d_{۱۱} = ۱/۱۳\sqrt{\frac{I_{۱۱}}{J}} = ۱/۱۳\sqrt{\frac{۰/۴۴}{۳/۵}} = ۰/۴۰mm$$

$$d_{۱۲} = ۱/۱۳\sqrt{\frac{I_{۱۲}}{J}} = ۱/۱۳\sqrt{\frac{۰/۲۵}{۳/۵}} = ۰/۳۰mm$$

بنابراین، با توجه به تعداد دورهای اولیه باید ۶۵۸ دور از سیم ۰/۴۰ و به دنبال آن ۴۷۸ دور سیم ۰/۳۰ پیچیده شود.

مرحله هشتم : چگالی جریان برای ثانویه نیز برابر با $۳/۵ \frac{A}{mm^۲}$ است ؛ بنابراین، قطر سیم برای قسمت اول سیم‌پیچ که هرسه جریان از آن عبور می‌کند، برابر است با :

$$d_{۲۱} = ۱/۱۳\sqrt{\frac{I_{۲۱} + I_{۲۳} + I_{۲۳}}{J}}$$

$$d_{۲۱} = ۱/۱۳\sqrt{\frac{۱ + ۰/۸ + ۰/۵}{۳/۵}} = ۰/۹۱mm$$

در اینجا نیز با تقریب سیم ۰/۹۰ را انتخاب می‌کنیم. از قسمت دوم سیم‌پیچ ثانویه مجموع جریان $I_{۲۳}$ و $I_{۲۳}$ عبور می‌کند. بنابراین قطر آن برابر است با :

$$d_{۲۳} = ۱/۱۳\sqrt{\frac{I_{۲۳} + I_{۲۳}}{J}}$$

$$d_{۲۳} = ۱/۱۳\sqrt{\frac{۰/۸ + ۰/۵}{۳/۵}} = ۰/۶۸mm$$

برای این قسمت نیز با توجه به جدول اندازه‌های قطر سیم استاندارد ۰/۷۰ را انتخاب می‌کنیم. از قسمت سوم سیم پیچ ثانویه، فقط جریان $I_{۲۳}$ عبور می‌کند. بنابراین قطر آن برابر است با :

$$d_{۲۳} = ۱/۱۳\sqrt{\frac{I_{۲۳}}{J}}$$

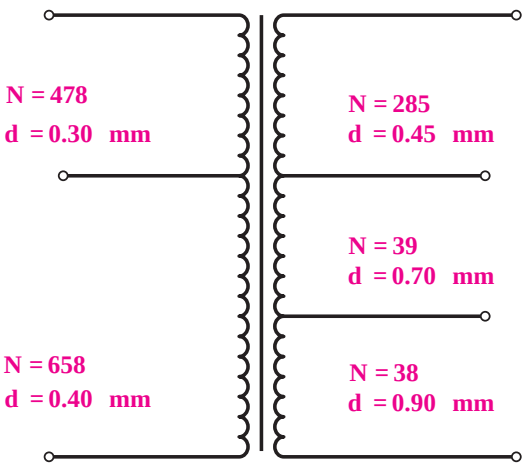
$$d_{۲۳} = ۱/۱۳\sqrt{\frac{۰/۵}{۳/۵}} = ۰/۴۳mm$$

این مقدار از جدول mm ۰/۴۵ به‌دست می‌آید.

مرحلهٔ نهم : در این مرحله، بهتر است برای کاهش خطا در محاسبه، نتایج به دست آمده را برای پیچیدن ترانسفورماتور بر روی شکل بنویسیم و با توجه به آن، نوع ورق ترانسفورماتور را انتخاب کنیم.

نتایج محاسبات لازم برای سیم پیچی هر قسمت از ترانسفورماتور مورد نظر، در شکل ۴۴ نشان داده شده است.

پس از مشخص کردن کامل تعداد دور سیم‌ها و قطر آن، باید سطح پنجرهٔ لازم برای آنها را به‌دست آورد و ورق ترانسفورماتور استاندارد را انتخاب کرد. سطح



شکل ۴۴ــ ترانسفورماتور با چندسر ورودی و چند سر خروجی

مورد نیاز برای هر سیم‌پیچ به قرار زیر است.

$$d_{11}=0/40 \xrightarrow{\text{از جدول}} 450 \frac{\text{دور}}{cm^2} \Rightarrow F_{11}=\frac{658}{450}=1/46cm^2$$

$$d_{12}=0/30 \xrightarrow{\text{از جدول}} 770 \frac{\text{دور}}{cm^2} \Rightarrow F_{12}=\frac{478}{770}=0/62cm^2$$

به همین ترتیب F_{21} و F_{22} و F_{23} به‌دست می‌آید و در نتیجه سطح کل مورد نیاز برابر است با

$$F_T=1/35\times F$$

$$F=F_{11}+F_{12}+F_{21}+F_{22}+F_{23}$$

$$F=1/46+0/62+0/38+0/24+0/77=3/47cm^2$$

$$F_T=1/35\times 3/47=4/68cm^2$$

با مراجعه به جدول ابعاد هسته ورق (EI78) که پنجرهٔ آن دارای ابعاد $e=3/9$ و $g=1/3$ سانتی‌متر است، به‌دست می‌آید.

$$g\times e\geq 4/68$$

$$3/9\times 1/3=5/07>4/68cm^2$$

پس از پیدا کردن نوع ورق، باید قرقره را مطابق روش‌های گذشته طراحی کرد.

مثال ۶:

ترانسفورماتور تک فاز با ولتاژهای اولیه ۳۸۰V و ۲۲۰V و ولتاژهای ثانویه ۱۲V و۵A و۶ ولت ۱A که سیم‌پیچ‌های آن مستقل از هم بوده و هم زمان مورد استفاده قرارمی‌گیرد، مورد نیاز است. هسته این ترانسفورماتور از ورق‌های آب دیده با چگالی ۱۰۰۰۰ گوس و ضخامت ورق‌ها ۰/۵ میلی‌مترساخته می‌شود. فرکانس شبکه ۵۰ هرتز است. تمام مراحل طرح این ترانسفورماتور را انجام دهید.

حل:

$$P_{21}=12\times 5=60V.A \quad , \quad P_{22}=6\times 1=6V.A$$

$P_2=60+6=66$ کار هم‌زمان سیم‌های ثانویه

$$S=1/2\sqrt{66}=9/75cm^2$$

$$N_V = \frac{۴۵}{S} = \frac{۴۵}{۹/۷۵} = ۴/۶۲$$

$$N_{۱۱} = ۲۲۰ \times ۴/۶۲ = ۱۰۱۶ \text{ دور} \rightarrow N_{۱۲} = N_{۱۱} + (۳۸۰ - ۲۲۰) \times ۴/۶۲ = ۱۰۱۶ + ۷۳۹/۲ = ۱۷۵۵ \text{ دور}$$

$$P = ۵ \rightarrow \Delta V = ۰/۲$$
$$P = ۱۰ \rightarrow \Delta V = ۰/۱۷$$

چون $P = ۶V.A$ در جدول نیست از تناسب افت ولتاژ آن را به‌دست می‌آوریم:

$$۱۰ - ۵ = ۵ \rightarrow ۰/۲ - ۰/۱۷ = ۰/۰۳$$

$$۶ - ۵ = ۱ \rightarrow \frac{۵}{۱} = \frac{۰/۳}{x} \rightarrow X = \frac{۱ \times ۰/۰۳}{۵} = ۰/۰۰۶ \rightarrow \Delta V = ۰/۲ - ۰/۰۰۶ = ۰/۱۹۴$$
$$P = ۱۰ \rightarrow \Delta V = ۰/۱۲$$
$$P = ۲۵ \rightarrow \Delta V = ۰/۱۰$$
$$۷۵ - ۵۰ = ۲۵ \rightarrow \Delta V = ۰/۱۲ - ۰/۱۰ = ۰/۰۲$$

$$۶۶ - ۵۰ = ۱۶ \rightarrow \Delta V = X \rightarrow \frac{۲۵}{۱۶} = \frac{۰/۰۲}{X} \rightarrow X = \frac{۱۶ \times ۰/۰۲}{۲۵} = ۰/۰۱۲۸$$
$$\Delta V = ۰/۱۲ - ۰/۰۱۲۸ = ۰/۱۰۷۲$$

$$N_{۲۱} = ۶ \times ۴/۶۲ \times (۱ + ۰/۱۹۴) = ۳۳ \text{ دور}$$
$$N_{۲۲} = ۱۲ \times ۴/۶۲ \times (۱ + ۰/۱۰۷۲) = ۶۲ \text{ دور}$$

$$P_۲ = ۶۶V.A \rightarrow P_۱ = \frac{P_۲}{\eta} = \frac{۶۶}{۰/۹} = ۷۳V.A \rightarrow I_۱ = \frac{۷۳}{۲۲۰} = ۰/۳۳A$$ حداکثر جریان

$$J = ۳/۵ \frac{A}{mm^۲} \text{ از جدول} \rightarrow A_{۱۱} = \frac{۰/۳۳}{۳/۵} = ۰/۰۹mm^۲ \rightarrow d_{۱۱} = ۱/۱۳\sqrt{۰/۰۹} = ۰/۳۴mm$$

فضای موجود در EI۸۴ $= \frac{۵۱/۱ - ۳۲/۶}{۲} \times ۴۱ = ۳/۷۹$

بنابراین EI۸۴ برای ترانسفورماتور فوق مناسب نمی‌باشد و قرقره مناسب EI۹۶a می‌باشدکه دارای ابعاد زیر است.

$$a = ۶۲/۴mm \quad b = ۳۲/۶mm \quad h = ۳۷/۵mm \quad L = ۵۰mm$$

$$A_F = \frac{۶۲/۴ - ۳۲/۶}{۲} \times ۵۰ = ۷۴۵mm^۲ = ۷/۴۵cm^۲ > ۶/۲۵$$ کفایت سطح را دارد

کار عملی ۳

هدف : ساخت ترانسفورماتور تک فازدارای چند خروجی با سیم‌پیچ مشترک

وسایل ومواد لازم

- قرقره ترانسفورماتور از نوع EI۴۸ یک عدد
- ورق EI۶۶ به ضخامت۰/۵ mm به تعداد ۶۰ عدد
- سیم لاکی ۰/۲۰mm و ۰/۸۰mm
- دستگاه بوبین پیچ
- سیم چین
- دم باریک
- سیم افشان ۱/۵ و ۱
- وارنیش نمره ۱،۲،۲/۵
- هویه ودریل
- لحیم وژاک (جای فیش) چهارعدد
- کاغذ پرشمان ۰/۲۰ و ۰/۱۵
- چسب نواری
- کاغذ سنباده

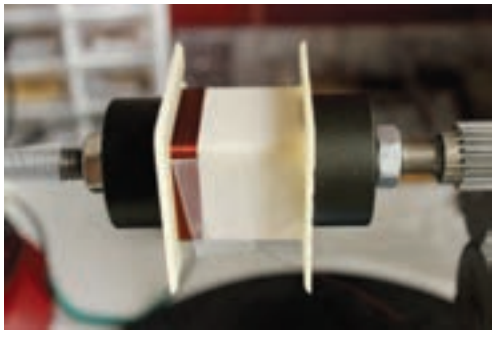
۱ـ با توجه به مشخصات الکتریکی داده شده و بهره گرفتن از ورق هسته مرغوب باچگالی بالا و فرکانس کاری ۵۰ هرتز تعداد دورسیم‌پیچ‌ها، قطر سیم‌های اولیه و ثانویه، ابعاد و نوع ورق EI را با احتساب افت ولتاژ مناسب در سمت اولیه و ثانویه به‌دست آورده و سپس به کمک مربی خود اقدام به پیچیدن آن نمایید.

$V_{11}=۲۲۰V$, $V_{12}=۱۱۰V$, $V_{21}=۶V$, $V_{22}=۹V$, $V_{23}=۱۲V$

$I_{21}=۵A$, $I_{22}=۴A$, $I_{23}=۳A$, $f=۵۰Hz$, $B=۱۲۰۰۰Gs$

۲ـ برای پیچیدن سیم روی قرقره لازم است تا ابتدا مغزی چوبی ساخته شده را به داخل قرقره هدایت کنید و سپس مجموعه را روی بوبین پیچ سوار کرده و اقدام به سیم‌پیچی کنید .

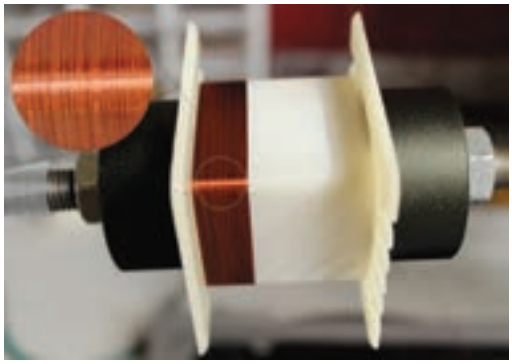
۳ـ سیم‌پیچ اولیه را مرتب روی قرقره بپیچید و پس از هدایت سرسیم‌ها به ژاک مربوطه روی آن را با کاغذ پرشمان ۰/۱۵یا۰/۱بپوشانید و با چسب کاغذی محکم کنید سپس سیم ثانویه را با تعداد



شکل ۴۵ـ سیم پیچی اولیه

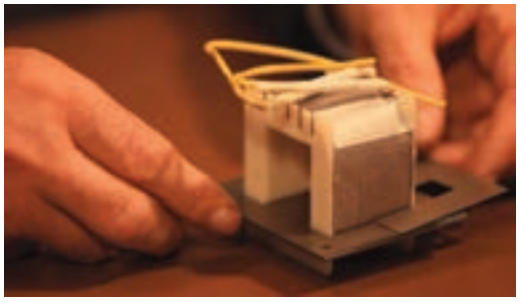
دور لازم بپیچید و پس از هدایت سرهای سیم ثانویه ژاک مربوطه، روی سیم‌ها را با کاغذ پرشمان ۰/۲۰ پوشانده با چسب محکم کنید.

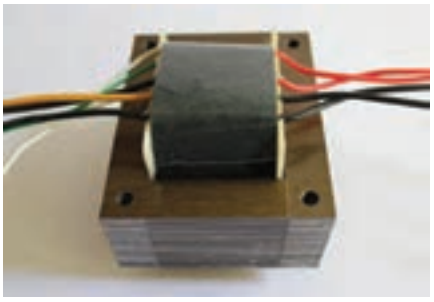
۴ـ با راهنمایی مربی کارگاه ورق های EI را مطابق شکل ۴۷ به‌صورت یک در میان در داخل قرقره قرار دهید و درخاتمه پیچ ورق‌ها را محکم کنید.



شکل ۴۶ـ سیم پیچی منظم

۵ـ پس از سیم‌پیچی با نظارت مربی خود اولاً : ولتاژ اولیه و ثانویه را به‌ازای یک بار مناسب اندازه‌گیری کنید.



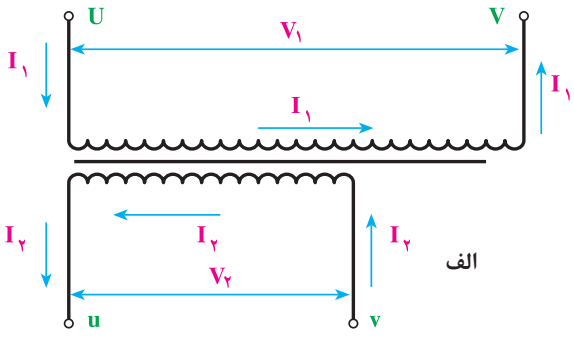


شکل ۴۷ـ هسته چینی

۶ـ آزمایش بی باری و اتصال کوتاه ترانسفورماتور ساخته شده را انجام داده و تعیین مقدار تلفات هسته و سیم‌پیچی راندمان ترانسفورماتور را نیز محاسبه کنید.

اتوترانسفورماتور

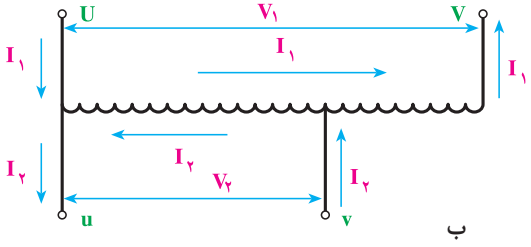
در مواردی که از ترانسفورماتور به‌عنوان وسیله‌ای حفاظتی (ترانسفورماتور جداکننده و ترانسفورماتور ولتاژ کم) استفاده نمی‌شود یا اصولاً الزامی برای جدا بودن سیم پیچ‌های اولیه و ثانویهٔ آن وجود ندارد، مانند ترانسفورماتورهای راه‌اندازی موتورهای آسنکرون می‌توان از اتوترانسفورماتور استفاده کرد. به‌علت صرفه‌جویی در حجم آهن هسته و همچنین مقدار سیم مصرفی، به این ترانسفورماتورها، ترانسفورماتور صرفه‌ای نیز گفته می‌شود.



الف

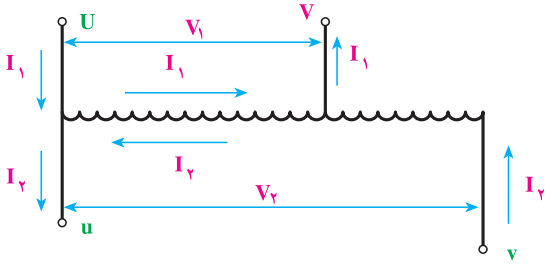
تفاوت ترانسفورماتورهای معمولی با اتوترانسفورماتور

در این است که ترانسفورماتورهای معمولی دو سیم پیچ اولیه و ثانویهٔ مجزا از یکدیگر دارند اما در اتوترانسفورماتور سیم‌پیچ مربوط به ولتاژ کمتر حذف شده است و به‌جای آن از قسمتی از سیم‌پیچ مربوط به ولتاژ بیشتر استفاده می‌شود.



ب

شکل ۴۸ـ ترانسفورماتور معمولی



شکل ۴۹ـ اتو ترانسفورماتور و ترانسفورماتور

در شکل ۴۸ (الف) یک ترانسفورماتور با دو سیم‌پیچ جداگانه و در شکل ۴۸ (ب) همان ترانسفورماتور با سیم‌پیچ‌های مشترک نشان داده شده است. در این شکل، ولتاژ اولیه از ولتاژ خروجی بیشتر است. در شکل ۴۹(پ) اتوترانسفورماتوری دیده می‌شود که ولتاژ ثانویهٔ آن از ولتاژ اولیه‌اش بیشتر است. در ترانسفورماتورهای صرفه‌ای، دو سیم‌پیچ از نظر الکتریکی با یکدیگر در ارتباط هستند و لذا نمی‌توان از آنها به‌عنوان ترانسفورماتور حفاظت حتی در ولتاژهای کم استفاده کرد.

قدرتی که هستهٔ آهن ترانسفورماتورهای صرفه‌ای بر مبنای آن حساب می‌شود با قدرت خروجی یا ورودی تفاوت دارد و از آنها کمتر است. محاسباتی که در اینجا بیان می‌شود تنها برای به‌دست آوردن قدرتی است که برای محاسبه هسته باید از آن استفاده کرد. به این قدرت در اصطلاح «قدرت تیپ» ترانسفورماتور می‌گویند و آن را با P_T یا P_{ST} نشان می‌دهند. قدرت خروجی ترانسفورماتور صرفه‌ای برابر است با $P_2 = V_2 \times I_2$ که آن را می‌توان با قدرت ورودی تقریباً برابر گرفت.

همان‌طور که در شکل ۴۸ (ب) مشاهده می شود، از قسمت v_u سیم‌پیچ که به بار وصل می‌شود و دارای اختلاف پتانسیل V_2 است جریان I_2-I_1 و در جهت I_2 عبور می‌کند. درحالی که از قسمت v ـ V که دارای اختلاف پتانسیل $V_1 - V_2$ است، جریان I_1 عبور می‌کند.

بنابراین قسمت v_u سیم‌پیچ که از آن به‌عنوان ثانویه نیز استفاده می‌شود، دارای ظاهری $V_2 I_2 - I_1$ و باقی‌مانده سیم پیچ یعنی قسمت u_V دارای قدرت ظاهری $(V_1-V_2) \times I_1$ است. این دو قدرت با یکدیگر برابرند و هستهٔ آهن ترانسفورماتور بر مبنای یکی از آنها محاسبه می‌شود. بنابراین :

$$P_{ST} = V_2(I_2 - I_1) = I_1(V_1 - V_2)$$

$$P_{S2} = V_2 \times I_2$$

$$\frac{P_{ST}}{P_{S2}} = \frac{V_2(I_2 - I_1)}{V_2 \times I_2} \Rightarrow \quad P_{ST} = P_{S2}\frac{(I_2 - I_1)}{I_2}$$

با استفاده از رابطهٔ $P_2 \cong P_1 = V_1 \times I_1$ نیز می‌توان نوشت:

$$\frac{P_{ST}}{P_{S۲}}=\frac{I_۱(V_۱-V_۲)}{V_۱\times I_۱}\Rightarrow P_{ST}=P_{S۲}\frac{(V_۱-V_۲)}{V_۱}$$

اگر $V_۱$ از $V_۲$ بزرگتر باشد (مانند شکل الف) رابطهٔ بالا را به‌صورت زیر می‌توان نوشت.

$$P_{ST}=P_{S۲}\frac{(V_۱-V_۲)}{V_۱}\Rightarrow P_{ST}=P_{S۲}\frac{(V_H-V_L)}{V_H}$$

اگر $V_۱$ از $V_۲$ کوچک‌تر باشد (مانند شکل ب) رابطهٔ بالا به‌صورت زیر درمی‌آید.

$$P_{ST}=P_{S۲}\frac{V_۲-V_۱}{V_۲}\Rightarrow P_{ST}=P_{S۲}\frac{V_H-V_L}{V_H}$$

یعنی در ترانسفورماتور صرفه‌ای، نسبت قدرت تیپ به قدرت ورودی برابر نسبت تفاوت اختلاف سطح‌ها به اختلاف سطح بزرگتر است. بنابراین، هرچه تفاوت دو ولتاژ کمتر باشد، قدرت تیپ نیز کاهش می‌یابد. درنتیجه، برای ساختن ترانسفورماتورهایی که تفاوت ولتاژ اولیه و ثانویهٔ آنها کم است، استفاده از این روش بسیار باصرفه خواهد بود ؛ زیرا علاوه بر قیمت ارزان، تلفات الکتریکی آن نیز از ترانسفورماتور با دو سیم‌پیچ جداگانه کمتر خواهد شد.

با مشخص کردن قدرت تیپ ترانسفورماتور و محاسبهٔ سطح مقطع آهن از روی آن، سایر محاسبات را می‌توان براساس روش گذشته انجام داد. با این تفاوت که در اینجا برای پیدا کردن چگالی جریان از جدول توان به جای $P_۲$، قدرت تیپ P_T، درنظر گرفته می‌شود.

مثال ۷: در یک اتو ترانسفورماتور با ولتاژ خروجی ۱۵۰ ولت قدرت ۳ کیلوولت آمپر و ولتاژ ورودی ۲۲۰ ولت، قدرتی که باید برای محاسبهٔ سطح مقطع آهن (قدرت تیپ) به‌دست آید برابر است با :

$$P_{S۲}=۳\ KVA=۳۰۰۰\quad VA$$

$$P_{ST}=P_{S۲}(\frac{V_۱-V_۲}{V_۱})\quad\Rightarrow\quad P_{ST}=۳۰۰۰(\frac{۲۲۰-۱۵۰}{۲۲۰})=۹۵۴$$

جریان‌های اولیه و ثانویهٔ آن نیز با فرض $P_{S_۱}=P_{S_۲}$ برابر است با :

$$I_۱=\frac{P_{S۱}}{V_۱}=\frac{۳۰۰۰}{۲۲۰}=۱۳/۶۳\quad A$$

$$I_۲=\frac{P_{S۲}}{V_۲}=\frac{۳۰۰۰}{۱۵۰}=۲۰\quad A$$

بدین ترتیب، این اتو ترانسفورماتور دارای سطح مقطع آهن

$$S_{fe}=S=۱/۲\sqrt{۹۵۴}=۳۷\quad cm^۲$$

است و سطح مقطع سیم قسمت مشترک سیم پیچ اولیه و ثانویه باید بر مبنای جریان ۶/۳۷= (۱۳/۶۳ـ ۲۰) آمپر و قسمت بعدی که فقط جریان اولیه از آن عبور می‌کند برمبنای ۱۳/۶۳ آمپر محاسبه می‌شود.

با دقت در این مثال، متوجه می‌شوید که استفاده از این نوع ترانسفورماتور خصوصاً درحالتی که اختلاف ولتاژ

اولیه و ثانویه کم باشد، تا چه حد مقرون به‌صرفه است. برای ساختن ترانسفورماتورهای قابل تنظیم نیز از این روش استفاده می‌شود.

فیلم

نمایش اتو ترانسفورماتور از لحظه ″۲۶:۴۵ تا ″۲۸:۲۳

تعیین دور سیم‌پیچ اولیه و ثانویه

برای محاسبه تعداد دور سیم‌پیچ‌های اولیه و ثانویه در اتوترانسفورماتورها مشابه ترانس‌های معمولی از همان روابط قبلی می‌توان استفاده کرد.

مثال ۸: اتوترانسفورماتوری به مشخصات ۱۱۰V_۲۲۰V به جریان خروجی ۱۰ آمپر مورد نیاز است این دستگاه در شبکه با فرکانس ۵۰ هرتز کار می‌کند و هسته آن از جنس مرغوب با چگالی میدان ۱۲۰۰۰ گوس ساخته می‌شود، مراحل طراحی آن را انجام دهید.

حل:

$$V_۱ = ۲۲۰V \ , \ V_۲ = ۱۱۰V \ , \ B_m = ۱۲۰۰۰Gs \ , \ f = ۵۰Hz$$

$$P_۲ = V_۲ \times I_۲ = ۱۱۰ \times ۱۰ = ۱۱۰۰ \quad V.A$$

$$P_T = \frac{V_H - V_L}{V_H} \times P_۲ = \frac{۲۲۰ - ۱۱۰}{۲۲۰} \times ۱۱۰۰ = ۵۵۰ \quad V.A$$

$$S = ۱/۲\sqrt{P_T} = ۱/۲\sqrt{۵۵۰} = ۲۸/۱۴ cm^۲$$

$$N_V = \frac{۳۷/۵}{S} = \frac{۳۷/۵}{۲۸/۱۴} = ۱/۳۳۲ \quad \text{دور بر ولت}$$

$$N_۱ = V_۱ \times N_V = ۲۲۰ \times ۱/۳۳۲ = ۲۹۳ \quad \text{دور}$$

جدول افت ولتاژ در اتوترانسفورماتورها

توان تیپ VA	۵	۱۰	۲۵	۵۰	۷۵	۱۰۰	۱۵۰	۲۰۰	۳۰۰	۴۰۰	۵۰۰	۱۰۰۰	۲۰۰۰
ΔV به درصد	۱۰	۸/۵	۷/۵	۶	۵	۴/۵	۴	۳/۷۵	۳/۵	۳/۲۵	۳	۲	۱

$\Delta V = \%3$ از جدول

$N_2 = V_2 \times N_V \times (1+\Delta V) = 110 \times 1/332 \times (1+0/03) = 151$ دور

$N_S = N_1 - N_2 = 293 - 151 = 142$ سیم‌پیچ سری

محاسبه قطر سیم

$J = 2 \frac{A}{mm^2}$ چگالی جریان ازجدول

به‌علت ناچیز بودن افت ولتاژ در اتوترانسفورماتورها آنها را تقریباً ایده‌آل فرض می‌کنند.

$$I_2 = 10\ A \quad \rightarrow \frac{I_1}{I_2} = \frac{V_2}{V_1} \quad \rightarrow I_1 = \frac{V_2}{V_1} \times I_2 = \frac{110}{220} \times 10 = 5\ A$$

$$I_c = I_2 - I_1 = 10 - 5 = 5\ A$$

$$P_1 = P_2 = 1100 V.A$$

جریان سیم مشترک و سیم‌پیچ سری با هم برابر هستند؛ بنابراین قطر سیم آنها برابر است.

$$A_S = A_C = \frac{5}{J} = \frac{5}{2} = 2/5 mm^2 \rightarrow d_s = d_c = 1/13\sqrt{2/5} = 1/78 mm = 1/80 mm$$

تعیین ابعاد قرقره

EI نوع $< 30\sqrt{S} = 30\sqrt{28/14} = 159 mm \rightarrow$ استاندارد $EI = EI150 \rightarrow f = 50 mm$

ضخامت هسته $\frac{S}{f} = \frac{2814}{50} = 56/28 \rightarrow$ ضخامت ظاهری هسته $= 1/1 \times 56/28 = 62/9 mm$

بررسی فضای لازم

از جدول مشخصات سیم‌های لاکی مشخص است که در سانتی‌متر مربع ۱۸ دور سیم ۱/۸۰ جای می‌گیرد.

$$A_1 = \frac{151}{18} = 8/39 cm^2 \rightarrow A_2 = \frac{141}{18} = 7/83 cm^2 \rightarrow A_F = 1/35(8/39 + 7/83) = 21/9 cm^2$$

کار عملی ۴

نیمه تجویزی

هدف : ساخت اتوترانسفورماتور تک فاز

وسایل و مواد لازم

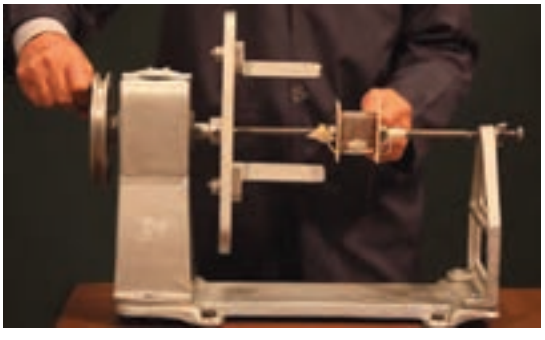
- قرقره ترانسفورماتور از نوع EI۴۸ یک عدد
- ورق EI۶۶ به ضخامت ۰/۵ mm به تعداد ۶۰ عدد
- سیم لاکی ۰/۰۲mm و ۰/۸۰mm
- دستگاه بوبین پیچ
- سیم چین
- دم باریک
- سیم افشان ۱/۵ و ۱
- وارنیش نمره ۲،۲/۵، ۱
- هویه و دریل
- لحیم و ژاک (جای فیش) چهارعدد
- کاغذ پرشمان ۰/۲۰ و۰/۱۵
- چسب نواری
- کاغذ سنباده

۱ـ با توجه به مشخصات الکتریکی داده شده و بهره گرفتن از ورق هسته مرغوب با چگالی بالا و فرکانس کاری ۵۰ هرتز تعداد دورسیم‌پیچ‌ها، قطر سیم‌های اولیه و ثانویه، ابعاد و نوع ورق EI را با احتساب افت ولتاژ مناسب در سمت اولیه و ثانویه به‌دست آورده و سپس به کمک مربی خود اقدام به‌پیچیدن آن نمایید.

$$V_{11}=۱۸۰V \quad , \quad V_{12}=۲۲۰V \quad , \quad I_۲=۸A$$

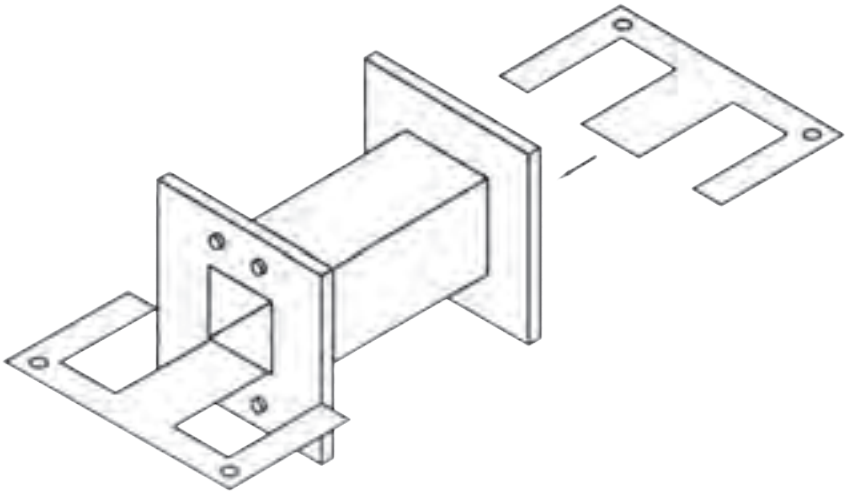
$$V_{21}=۲۲۰V \quad , \quad V_{22}=۲۴۰V \quad , \quad f=۵۰Hz \quad , \quad B=۱۲۰۰۰Gs$$

۲ـ برای پیچیدن سیم روی قرقره لازم است تا ابتدا مغزی چوبی ساخته شده را به‌داخل قرقره هدایت کنید و سپس مجموعه را روی بوبین پیچ سوار کرده و اقدام به سیم‌پیچی کنید.



شکل ۵۰ـ سیم پیچی با نوع دیگر بوبین پیچ

۳ـ سیم‌پیچ اولیه را مرتب روی قرقره بپیچید و پس از هدایت سرسیم‌ها به ژاک مربوطه روی آن را با کاغذ پرشمان ۰/۱۵ یا ۰/۱بپوشانید و با چسب کاغذی محکم کنید سپس سیم ثانویه را با تعداد دور لازم بپیچید و پس از هدایت سرهای سیم ثانویه ژاک مربوطه، روی سیم‌ها را با کاغذ پرشمان ۰/۲۰ پوشانده با چسب محکم کنید.



شکل ۵۱ـ جا زدن هسته

۴ـ با راهنمایی مربی کارگاه ورق‌های EI را مطابق شکل به‌صورت یک در میان در داخل قرقره قرار دهید و در خاتمه پیچ ورق‌ها را محکم کنید.
۵ـ پس از سیم‌پیچی با نظارت مربی خود ولتاژ اولیه و ثانویه را به‌ازای یک بار مناسب اندازه‌گیری کنید.
۶ـ آزمایش بی‌باری و اتصال کوتاه ترانسفورماتور ساخته شده را انجام داده و تعیین مقدار تلفات هسته و سیم‌پیچی راندمان ترانسفورماتور را نیز محاسبه کنید.

ارزشیابی شایستگی سیم پیچی ترانسفورماتور

شرح کار:
محاسبات ترانسفورماتور یک‌فاز
سیم‌پیچی ترانسفورماتور یک‌فاز یک ورودی، یک خروجی
سیم‌پیچی ترانسفورماتور یک‌فاز یک ورودی، چند خروجی
سیم‌پیچی اتوترانسفورماتور

استاندارد عملکرد: سیم پیچی ترانسفورماتور با رعایت موارد ایمنی در کار و استفاده از ابزار

شاخص‌ها:
سیم‌پیچی ترانسفورماتور یک‌فاز (دو سر وچند سرخروجی)
سیم‌پیچی اتوترانسفورماتور
استفاده صحیح از ابزار برای اتصالات و رعایت ایمنی

شرایط انجام کار و ابزار و تجهیزات:

شرایط: فضای مناسب - ابزار مناسب - مدت زمان متناسب با حجم کار
ابزار و تجهیزات: ابزار سیم پیچی- سیم لاکی - قرقره وهسته - کولیس ومیکرومتر- مولتی متر- میز تست و اندازه‌گیری

معیار شایستگی:

ردیف	مرحله کار	حداقل نمره قبولی از ۳	نمره هنرجو
۱	سیم‌پیچی ترانسفورماتور یک‌فاز یک ورودی ـ یک خروجی	۲	
۲	سیم‌پیچی ترانسفورماتور یک‌فاز یک ورودی ـ چند خروجی	۱	
۳	سیم پیچی اتوترانسفور ماتور	۱	
	شایستگی های غیرفنی، ایمنی، بهداشت، توجهات زیست محیطی و نگرش: کسب اطلاعات کارتیمی مستند سازی ویژگی شخصیتی	۲	
	میانگین نمرات		*

* حداقل میانگین نمرات هنرجو برای قبولی و کسب شایستگی، ۲ می باشد.