کار عملی ۱

ترانسفورماتوری بسازید که اولیه‌ی آن به ولتاژ ۲۲۰ ولت با فرکانس ۵۰Hz وصل شود و ثانویه‌ی آن دارای ولتاژ ۲۵ ولت و جریان دو آمپر باشد.

هنگام پیچیدن سیم ثانویه بر روی قرقره، یک سر سیم را از وسط آن خارج کنید تا بتوانید از همین ترانسفورماتور در کار عملی۳ نیز استفاده نمایید.

سؤالات

۱ــ محاسبات این ترانسفورماتور را به طور کامل بنویسید.

۲ــ اگر قطر سیم ثانویه را افزایش دهیم، چه تغییراتی در جریان یا ولتاژ ثانویه ایجاد می‌شود؟

۳ــ سر وسط سیم‌پیچ ثانویه در ترانسفورماتور چه نقشی دارد؟

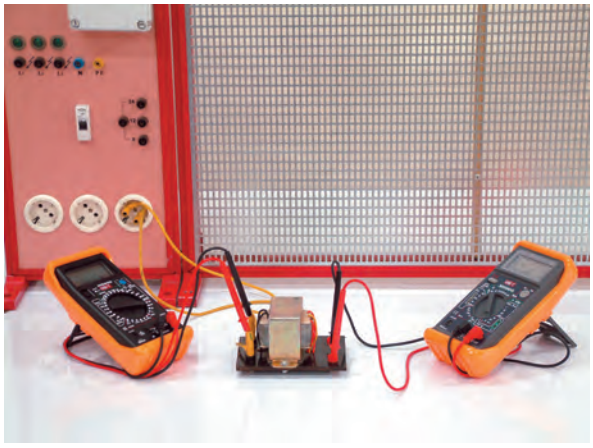
۴ــ مشخصات این ترانسفورماتور را از طریق منحنی به دست آورید و با نتایج محاسبه‌های قبل مقایسه کنید.

۵ــ افزایش سطح مقطع آهن این ترانسفورماتور چه تأثیری در نتایج محاسبات دارد؟

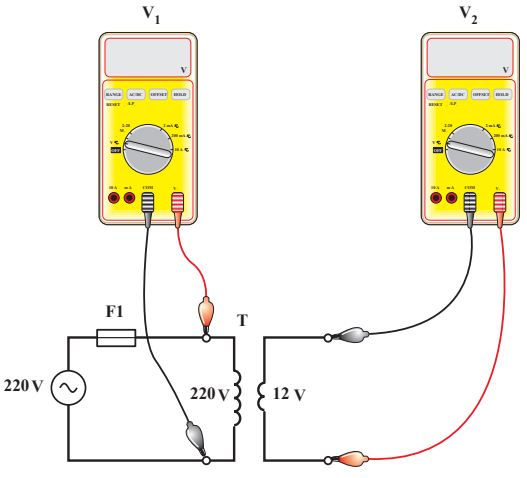
کار عملی ۲

ترانسفورماتور ساخته شده در فعالیت شماره‌ی یک را به صورت بی‌بار به‌ولتاژ ۲۲۰ ولت وصل کنید و مراحل زیر را انجام دهید.

الف : سیم‌پیچ اولیه‌ی ترانسفورماتور ۲۲۰V/۱۲V را مطابق شکل ۲ــ۳ به شبکه‌ی تک‌فاز ۲۲۰ ولت اتصال دهید.



الف



ب

شکل ۲ــ۳

◀ آوومتر را روی حالت ولت‌متر AC و با ضریب (رنج) بزرگ‌تر یا مساوی ۲۵۰ قرار دهید.

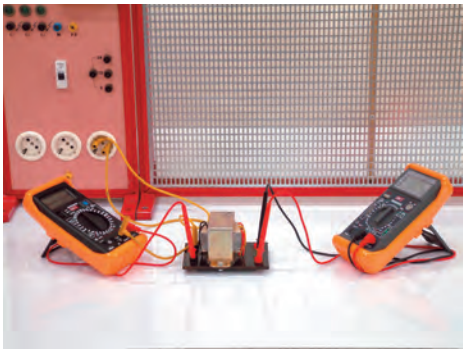
◀ فیش‌های هر دو آوومتر را به دو سر سیم‌پیچ اولیه و ثانویه‌ی ترانسفورماتور اتصال دهید و ولتاژهای اولیه و ثانویه را درحالت بی‌باری اندازه‌گیری کنید.

$V_1 =$ ☐ V

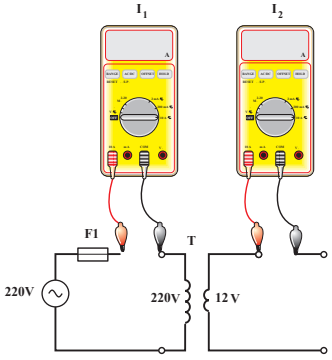
$V_2 =$ ☐ V

◀ مدار را قطع کنید و آوومتر را درحالت آمپرمتر AC با بیش‌ترین رنج جریانی قرار دهید.

◀ فیش‌های آوومترها را به‌صورت سری در مسیر سیم‌پیچ‌های اولیه و ثانویه مطابق شکل ۳ــ۳ قرار دهید.



الف



ب

شکل ۳ــ۳

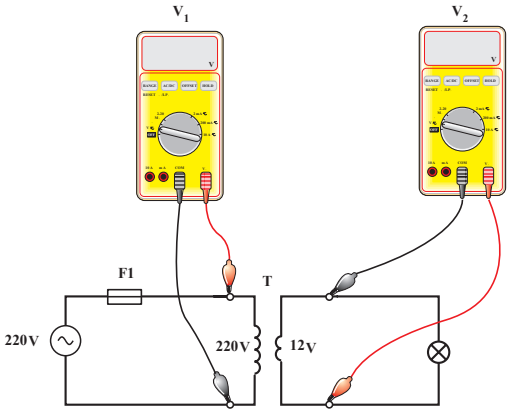
◀ مدار را وصل کنید و مقدار جریان سیم‌پیچ‌های اولیه و ثانویه را درحالت بی‌باری اندازه‌گیری نمایید.

$I_1 =$ ☐ A

$I_2 =$ ☐ A

ب : مدار را قطع کنید و یک لامپ ۱۲ ولت را طبق شکل ۴ــ۳ در مدار ثانویه‌ی ترانسفورماتور قرار دهید.

الف



ب

شکل ۴ــ۳

◀ آوومتر را درحالت ولت‌متر AC قرار دهید و ولتاژهای سیم‌پیچی اولیه و ثانویه را درحالت بارداری اندازه‌گیری کنید.

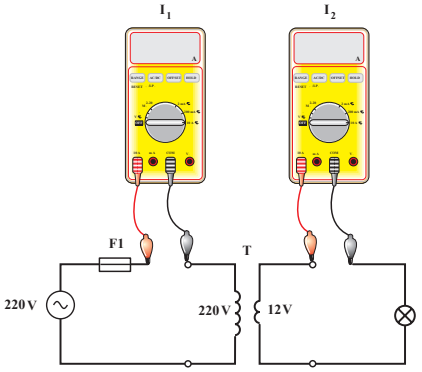
$V_1 =$ ☐ V

$V_2 =$ ☐ V

◀ مدار را قطع کنید و آوومتر را درحالت آمپرمتر AC با بیش‌ترین رنج قرار دهید.

◀ آوومتر را به‌صورت سری در مسیر سیم‌پیچی‌های اولیه و ثانویه مطابق شکل ۵ــ۳ قرار دهید.

◀ مدار را وصل کنید و مقدار جریان سیم‌پیچی‌های اولیه و ثانویه را درحالت بارداری اندازه‌گیری کنید.



شکل ۵ــ۳

$I_1 =$ ☐ A

$I_2 =$ ☐ A

سؤالات

۱ــ جریان بی‌باری چند درصد جریان نامی اولیه است؟

۲ــ آیا ترانسفورماتوری که ساخته‌اید، دقیقاً مطابق خواسته‌ها بوده است؟

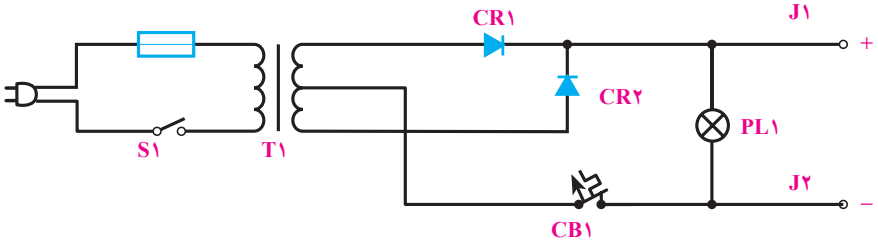
۳ــ افت ولتاژ ثانویه در بار نامی چند ولت است؟

کار عملی ۳

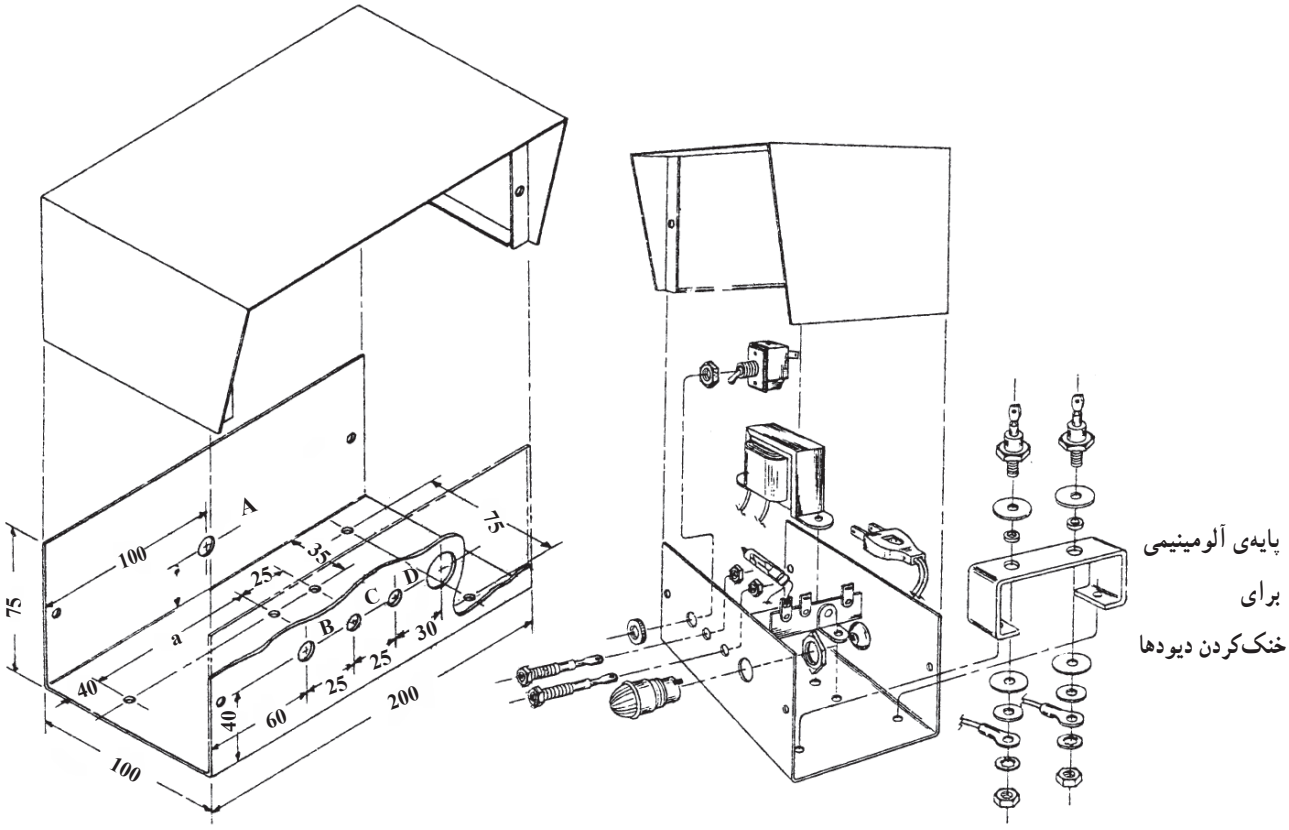
با استفاده از ترانسفورماتور ساخته شده در کار عملی۱، یک شارژر باتری ۱۲ ولتی که مدار اتصال آن در شکل ۶ــ۳ داده شده است، بسازید. نقشه‌ی محفظه‌ی این شارژر نیز در شکل ۷ــ۳ نشان داده شده است.

وسایل لازم:

۱	دیود P.I.V ۵۰V – ۶A (CR)	۲ عدد	۶	مادگی قرمز (+) و مشکی (–) (j)	۲ عدد
۲	ترانسفورماتور (صفر وسط)(T_1) ۱۲/۵V–۰–۱۲/۵V و جریان ۲A	۱ عدد	۷	دوشاخه	۱ عدد
			۸	گیره‌ی سوسماری بزرگ قرمز ومشکی	۲عدد
۳	فیش قرمز (+) و مشکی (–)	۲ عدد	۹	سیم رابط نمره‌ی ۲/۵ مشکی و قرمز (از هر رنگ)	۲ متر
۴	کلید ۲۲۰ ولت، ۳ آمپر(S_1)	۱ عدد	۱۰	ورق آلومینیومی یک میلی‌متر یا ورق آهن۰/۶ میلی‌متر	
۵	لامپ ۱۴ ولت(PL_1)	۱ عدد	۱۱	فیوز کپسولی ۰/۵ آمپر با پایه	۱عدد



شکل ۶ ــ۳ــ قطعات جعبه‌ی ترانسفورماتور



پایه‌ی آلومینیمی برای خنک‌کردن دیودها

شکل ۷ــ۳ــ اندازه‌ی a با توجه به ترانسفورماتور ساخته شده و قطر سوراخ‌های A و B و C و D با توجه به اندازه‌ی وسایل موجود به‌دست می‌آید.

سؤالات

۱ــ ولتاژهای خروجی این ترانسفورماتور با یک‌دیگر چه تفاوتی دارند؟

۲ــ آیا می‌توان از تمامی قدرت ترانسفورماتور به کارگرفته شده در این مدار استفاده کرد؟

۳ــ در صورتی که بخواهیم برای این شارژر ترانسفورماتوری غیر از آن چه در کار عملی ۱ ساخته شده است بسازیم، قدرت آن چه تغییری می‌کند؟ آیا مشخصات آن نیز تغییر می‌کند؟

۴ــ اگر باتری خالی شده باشد و آن را به دو سر شارژر وصل کنیم، چه اتفاقی می‌افتد؟ آیا لامپ خاموش و روشن می‌شود؟

فصل چهارم

ساعات آموزش		
نظری	عملی	جمع
۱/۵	۱۶/۵	۱۸

محاسبه و طراحی ترانسفورماتور با چند سیم‌پیچ در اولیه یا ثانویه

هدف‌های رفتاری: از هنرجو انتظار می‌رود در پایان این فصل بتواند :

۱ــ تعداد دور اولیه و ثانویه‌ی یک ترانسفورماتور با چند ورودی و خروجی را محاسبه کند.

۲ــ قطر سیم لاکی اولیه و ثانویه‌ی ترانسفورماتور با چند ورودی و چند خروجی را محاسبه کند.

۳ــ هسته و قرقره‌ی مناسب را در ترانسفورماتور انتخاب کند.

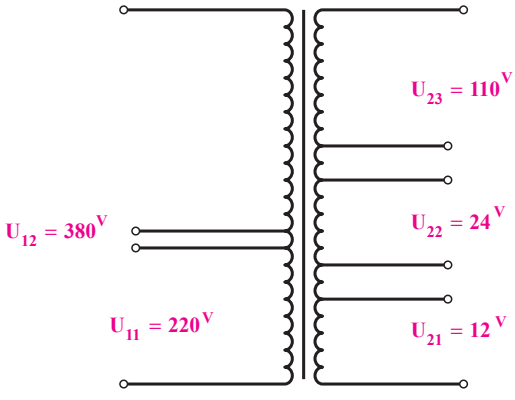
۴ــ ترانسفورماتور با یک ورودی و چند خروجی را سیم‌پیچی و آزمایش کند.

۴ــ محاسبه و طراحی ترانسفورماتور با چند سیم‌پیچ در اولیه یا ثانویه

گاهی لازم است ترانسفورماتور دارای چند ولتاژ خروجی باشد یا این‌که اولیه‌ی آن را بتوان به چند ولتاژ ورودی وصل کرد.

در این‌صورت، باید توجه داشت که همیشه تنها یکی از سیم‌پیچ‌های اولیه به شبکه وصل می‌شود اما همه‌ی سیم‌پیچ‌های ثانویه یا تعدادی از آن‌ها را می‌توان به‌مصرف کننده اتصال داد.

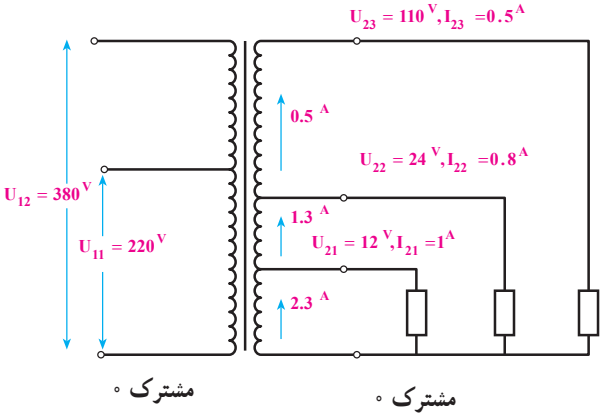
برای مثال، اگر ترانسفورماتوری دارای ورودی‌های ۲۲۰ و ۳۸۰ ولت و خروجی‌های ۱۲ و ۲۴ و ۱۱۰ ولت باشد، سیم‌پیچ اولیه‌ی آن باید به ولتاژ ۲۲۰ ولت یا ۳۸۰ ولت اتصال یابد اما از هر سه سیم‌پیچ ثانویه‌ی آن می‌توان به‌طور هم‌زمان یا غیرهم‌زمان بار گرفت. برای ساختن چنین ترانسفورماتوری، در مرحله‌ی اول این فکر به‌نظر می‌رسد که برای هریک از ولتاژهای ذکرشده‌ی اولیه و ثانویه، یک سیم‌پیچ جداگانه مطابق شکل ۱ــ۴ پیچیده شود.



شکل ۱ــ۴ــ نمایش سیم‌پیچ‌های ترانسفورماتور

به کارگیری این روش باعث افزایش حجم ترانسفورماتور می‌شود و بنابراین، اقتصادی نیست. می‌توان تعداد دور سیم‌پیچ اولیه را برای بالاترین ولتاژ در اولیه و تعداد دور سیم‌پیچ ثانویه را نیز برای بیش‌ترین ولتاژ ثانویه پیچید و برای ولتاژهای دیگر، در دورهای معین سر سیم‌پیچ‌ها را خارج کرد (شکل ۲ــ۴).

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



شکل ۲ــ۴ــ نمایش جریان هر سیم‌پیچ

برای محاسبه‌ی قدرت ترانسفورماتورهایی که دارای چندین ولتاژ در ثانویه هستند، در صورتی که از همه‌ی خروجی‌ها به‌طور هم‌زمان استفاده شود، می‌توان از جمع همه‌ی قدرت‌های خروجی، قدرت ثانویه و از روی آن قدرت اولیه را به‌دست آورد. اما اگر از همه‌ی 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 ؛ مثلاً اگر از مصرف‌کننده‌ی ۱۲ ولتی، جریان یک آمپر و از مصرف‌کننده‌ی ۲۴ ولتی، جریان ۰/۸ آمپر و از مصرف‌کننده‌ی ۱۱۰ ولتی، جریان ۰/۵ آمپر عبور کند و تمام مصرف‌کننده‌ها نیز هم‌زمان به ترانسفورماتور وصل شوند، توان کل خروجی برابر است با :

$$P_{۲} = U_{۲۱} \times I_{۲۱} + U_{۲۲} \times I_{۲۲} + U_{۲۳} \times I_{۲۳}$$

$$P_{۲} = ۱۲ \times ۱ + ۲۴ \times ۰/۸ + ۱۱۰ \times ۰/۵$$

$$= ۸۶/۲ VA$$

قطر سیم‌ها نیز برای قسمت اول (از صفر تا ۱۲ ولت) برمبنای 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) برمبنای 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 در نظر بگیریم. بنابراین برای این ترانسفورماتور قدرت ثانویه‌ی $P_{۲} = ۷۴/۲ VA$ 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 واز 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 محاسبه‌ی قدرت ترانسفورماتور از طریق روابط قبلی به‌دست آورد.

تعداد دورهای اولیه و ثانویه نیز به همان روش قبلی محاسبه می‌شود. لیکن در هنگام به‌دست آوردن درصد افت ولتاژ باید برای هر 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 اندازه‌ی $N_{۱۱}$ دورپیچیده شده و پس از بیرون آوردن یک سر خروجی، مجدداً برای دومین ولتاژ یعنی $U_{۱۲}$، سیم با قطر $d_{۱۲}$ و به اندازه‌ی $(N_{۱۲} - N_{۱۱})$ 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. بدین‌ترتیب، در هر مرحله قطر سیم نیز کم‌تر می‌شود. برای سیم‌پیچ ثانویه، 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 وسپس، 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 شود.

برای توضیح بیش‌تر به بررسی و حل کامل مثال ذکرشده می‌پردازیم.

سیم‌پیچ اولیه‌ی ترانسفورماتور موردنظر باید به ولتاژ ۲۲۰ ولت یا ۳۸۰ ولت با فرکانس ۵۰ هرتس اتصال یابد و ثانویه‌ی آن نیز دارای سه خروجی ۱۲ ولت با جریان یک آمپر و 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.

راه‌حل

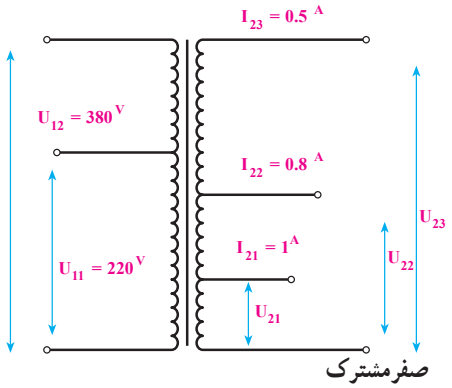
مرحله‌ی اول: در این مرحله، معلومات موردنیاز را مرتب کرده و شکل آن را رسم می‌کنیم (شکل ۳ــ۴).

$$U_{11}=220^{V} \quad \text{و} \quad U_{12}=380^{V}$$

$$U_{21}=12^{V} \quad \text{و} \quad I_{21}=1^{A}$$

$$U_{22}=24^{V} \quad \text{و} \quad I_{22}=0/8^{A}$$

$$U_{23}=110^{V} \quad \text{و} \quad I_{23}=0/5^{A}$$



شکل ۳ــ۴ــ نمایش معلومات موردنیاز ترانسفورماتور

مرحله‌ی دوم: قدرت اولیه‌ی ترانسفورماتور را با توجه به‌این‌که خروجی‌ها به‌طور هم‌زمان مورداستفاده قرار می‌گیرند، محاسبه می‌کنیم.

$$P_{2}=U_{21}\times I_{21}+U_{22}\times I_{22}+U_{23}\times I_{23}$$

$$P_{2}=12\times 1+24\times 0/8+110\times 0/5$$

$$=86/2\,VA$$

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 بهره‌ی ۸۹ درصد را انتخاب کنیم.

$$P_{1}=\frac{P_{2}}{\cdot}$$

هرگاه $P_{S_1}=P_1$ و $P_{S_2}=P_2$ درنظرگرفته‌شود می‌توان نوشت

$$P_{S_1}=\frac{P_{S_2}}{\cdot}$$

$$P_{S_1}=\frac{86/2}{0/89}=96/85\simeq 97 \text{ ولت آمپر}$$

مرحله‌ی سوم: سطح مقطع واقعی هسته را با توجه به قدرت P_{S_1} به‌دست می‌آوریم.

$$S_{Fe}=1/2\sqrt{P_{S_1}}=1/2\sqrt{97}=11/8\,cm^{2}$$

سطح مقطع ظاهری هسته برابر است با :

$$S'_{Fe}=\frac{S_{Fe}}{K_{Fe}}=\frac{11/8}{0/9}=13/11\,cm^{2}$$

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

$$n=\frac{37/54}{S}=\frac{37/54}{11/8}=3/18\,\frac{\text{دور}}{\text{ولت}}$$

مرحله‌ی پنجم: برای تعیین تعداد دورهای اولیه، باید ابتدا درصد افت ولتاژ را به‌دست آوریم. در جدول ۲ــ۲ 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 مورد نظر ۸۶ ولت آمپر است ؛ یعنی، از ۷۵ ولت‌آمپر ۱۱ = (۷۵ − ۸۶) ولت آمپر بیش‌تر است. با یک تناسب ساده، می‌توان مقدار کاهش افت ولتاژ را از ۱۰درصد به‌دست آورد که برابر با $\frac{11\times 1}{25}=0/44$ می‌شود.

بنابراین، افت ولتاژ برای این ترانسفورماتور برابر با $9/56=(10-0/44)$ درصد می‌شود. از این مقدار با توجه به‌نسبت تقریبی مقاومت سیم‌پیچ‌های 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 :

$$N_{11} = n \times U_{11}(1-\Delta U_{1}\text{-}) = 3/18 \times 220(1-0/06)$$

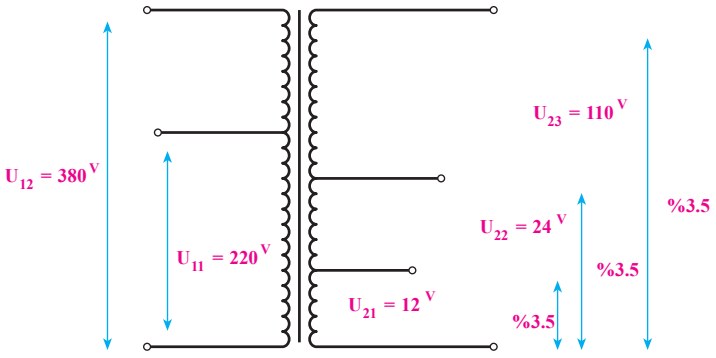
$$= 657/6 \simeq 658 \quad \text{دور}$$

$$N_{12} = n \times U_{12}(1-\Delta U_{1}\text{-}) = 3/18 \times 380 \times$$

$$(1-0/06) = 1135/9 \;.\; 1136 \quad \text{دور}$$

سیم‌پیچ اولیه‌ی ترانسفورماتور دارای دو سیم‌پیچ سری است که قسمت اول ۶۵۸ دور و قسمت دوم $(1136-658) = 478$ دور می‌باشد.

مرحله‌ی ششم: چون از هر سه خروجی ترانسفورماتور به‌طور هم‌زمان استفاده می‌شود، درصد افت ولتاژ برای هر سه ولتاژ از سیم مشترک تا هریک از خروجی‌های ۱۲ و ۲۴ و ۱۱۰ ولت، ۳/۵ درصد برآورد می‌شود که در شکل ۴ــ۴ مشخص شده است.



شکل ۴ــ۴ــ نمایش درصد افت ولتاژ در ترانسفورماتور

بنابراین، تعداد دور ثانویه برای هر ولتاژ جداگانه برابر است با :

$$N_{21} = n \times U_{21}(1+\Delta U_{2}\text{-}) = 3/18 \times 12 \times$$

$$(1+\frac{3/5}{100}) \;\&\; 38 \quad \text{دور}$$

$$N_{22} = n \times U_{22}(1+\Delta U_{2}\text{-})$$

$$N_{22} = 3/18 \times 24 \times (1+\frac{3/5}{100}) \;\&\; 77 \quad \text{دور}$$

$$N_{23} = n \times U_{23}(1+\Delta U_{2}\text{-}) = 3/18 \times 110 \times$$

$$(1+\frac{3/5}{100}) = 362 \quad \text{دور}$$

بدین ترتیب، برای ۱۲ ولت باید ۳۸ دور و برای ۲۴ ولت $(77-38) = 39$ دور و برای ۱۱۰ ولت $(362-77) = 285$ دور سیم به‌صورت سری پیچیده شود.

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

$$I_{11} \Rightarrow \frac{P_1}{U_{11}} = \frac{97}{220} = 0/44\,A$$

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

$$I_{12} \Rightarrow \frac{P_1}{U_{12}} = \frac{97}{380} = 0/25\,A$$

چگالی جریان برای قدرت ۵۰ تا ۱۰۰ ولت آمپر برابر با $J = 3/5 \frac{A}{mm^2}$ است. لذا قطر سیم‌قسمت اول برابر می‌شود با :

$$d_{11} = 1/13\sqrt{\frac{I_{11}}{J}} = 1/13\sqrt{\frac{0/44}{3/5}}$$

$$= 0/40\,mm$$

$$d_{12} = 1/13\sqrt{\frac{I_{12}}{J}} = 1/13\sqrt{\frac{0/25}{3/5}}$$

$$= 0/30\,mm$$

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.

مرحله‌ی هشتم: چگالی جریان برای ثانویه نیز برابر با $3/5 \frac{A}{mm^2}$ است ؛ بنابراین، قطر سیم برای قسمت اول سیم‌پیچ که هر سه جریان از آن عبور می‌کند، برابر است با :

$$d_{21} = 1/13\sqrt{\frac{I_{21}+I_{22}+I_{23}}{J}}$$

$$d_{21} = 1/13\sqrt{\frac{1+0/8+0/5}{3/5}} = 0/91\,mm$$

در این‌جا نیز با تقریب سیم ۰/۹۰ را انتخاب می‌کنیم.

از قسمت دوم سیم‌پیچ ثانویه مجموع جریان I_{22} و I_{23} عبور می‌کند. بنابراین، قطر آن برابر است با :

$$d_{22} = 1/13\sqrt{\frac{I_{22}+I_{23}}{J}}$$

$$d_{22} = 1/13\sqrt{\frac{0/8+0/5}{3/5}} = 0/68\,mm$$

برای این‌قسمت نیز با توجه به جدول ۳ــ۲ سیم استاندارد ۰/۷۰ را انتخاب می‌کنیم. از قسمت سوم سیم‌پیچ ثانویه، فقط جریان $I_{۲۳}$ عبور می‌کند. بنابراین قطر آن برابر است با :

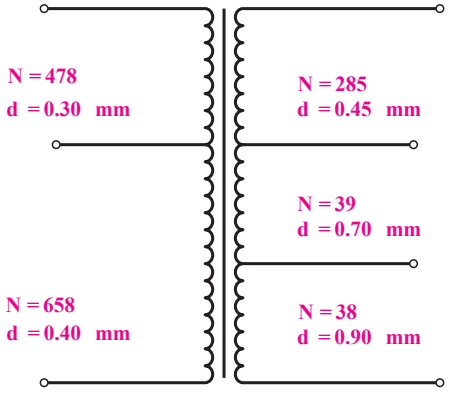
$$d_{۲۳} = ۱/۱۳\sqrt{\frac{I_{۲۳}}{J}}$$

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

$$= ۰/۴۳mm \xrightarrow{\text{از جدول}} ۰/۴۵mm \text{ میلی‌متر}$$

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

نتایج محاسبات لازم برای سیم‌پیچی هر قسمت از ترانسفورماتور موردنظر، در شکل ۵ ــ۴ نشان داده شده است.



شکل ۵ــ۴ ــ نمایش ترانسفورماتور با چند سر ورودی و چند سر خروجی

پس از مشخص‌کردن کامل تعداد دور سیم‌ها و قطر آن، باید سطح پنجره‌ی لازم برای آن‌ها را به‌دست آورد و ورق ترانسفورماتور استاندارد را انتخاب کرد. سطح موردنیاز برای هر سیم پیچ به قرار زیر است.

$$d_{۱۱} = ۰/۴۰ \xrightarrow{\text{از جدول}} ۴۵۰\frac{\text{دور}}{cm^۲} \Rightarrow$$

$$F_{۱۱} = \frac{۶۵۸}{۴۵۰} = ۱/۴۶\,cm^۲$$

$$d_{۱۲} = ۰/۳۰ \xrightarrow{\text{از جدول}} ۷۷۰\frac{\text{دور}}{cm^۲} \Rightarrow$$

$$F_{۱۲} = \frac{۴۷۸}{۷۷۰} = ۰/۶۲\,cm^۲$$

$$d_{۲۱} = ۰/۹۰ \xrightarrow{\text{از جدول}} ۱۰۰\frac{\text{دور}}{cm^۲} \Rightarrow$$

$$F_{۲۱} = \frac{۳۸}{۱۰۰} = ۰/۳۸\,cm^۲$$

$$d_{۲۲} = ۰/۷۰ \xrightarrow{\text{از جدول}} ۱۶۰\frac{\text{دور}}{cm^۲} \Rightarrow$$

$$F_{۲۲} = \frac{۳۹}{۱۶۰} = ۰/۲۴\,cm^۲$$

$$d_{۲۳} = ۰/۴۵ \xrightarrow{\text{از جدول}} ۳۷۰\frac{\text{دور}}{cm^۲} \Rightarrow$$

$$F_{۲۳} = \frac{۲۸۵}{۳۷۰} = ۰/۷۷\,cm^۲$$

سطح کل موردنیاز برابر است با :

$$F_T = ۱/۳۵ \times F$$

$$F = F_{۱۱} + F_{۱۲} + F_{۲۱} + F_{۲۲} + F_{۲۳}$$

$$F = ۱/۴۶ + ۰/۶۲ + ۰/۳۸ + ۰/۲۴ + ۰/۷۷$$

$$= ۳/۴۷cm^۲$$

$$F_T = ۱/۳۵ \times ۳/۴۷ = ۴/۶۸cm^۲$$

با مراجعه به جدول ۶ــ۲ ورق (EI۷۸) که پنجره‌ی آن دارای ابعاد $e = ۳/۹$ و $g = ۱/۳$ سانتی‌متر است، به‌دست می‌آید.

$$g \times e \geq ۴/۶۸$$

$$۳/۹ \times ۱/۳ = ۵/۰۷ > ۴/۶۸\,cm^۲$$

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

کار عملی ۴

ترانسفورماتوری را طراحی کرده و بسازید که اولیه‌ی آن به ولتاژ ۲۲۰ ولت با فرکانس ۵۰Hz وصل شود و بتوان به طور هم‌زمان سه مصرف کننده‌ی زیر را به ثانویه‌ی آن وصل کرد.

۱ــ مصرف کننده‌ی اهمی با ولتاژ ۱۱۰ ولت و جریان ۲۵۰ میلی‌آمپر.

۲ــ مصرف کننده‌ی اهمی با ولتاژ ۴۲ ولت و جریان ۴۰۰ میلی‌آمپر.

۳ــ مصرف کننده‌ی اهمی با ولتاژ ۱۲ ولت و جریان ۰/۵ آمپر.

سؤالات

۱ــ محاسبات این ترانسفورماتور را به طور کامل بنویسید.

۲ــ مشخصات این ترانسفورماتور را از طریق منحنی به دست آورید و با نتایج محاسبات قبلی مقایسه کنید.

۳ــ این ترانسفورماتور را برای حالتی که فقط از دو خروجی آن بتوان به‌طور هم‌زمان استفاده کرد نیز محاسبه کنید.

کار عملی ۵

الف : ترانسفورماتور ساخته شده در کار عملی۴ را به صورت بی‌بار به ولتاژ ۲۲۰ ولت وصل کنید و ولتاژ ثانویه و جریان بی‌باری آن را اندازه بگیرید.

ب : مقاومت‌های متغیر را که در ماکزیمم قرار دارند، به ثانویه‌ی ترانسفورماتور وصل کرده و سپس اولیه‌ی آن را به ولتاژ ۲۲۰ ولت وصل کنید. آن‌گاه با تغییر مقاومت‌های متغیر، جریان هر یک از مصرف کننده‌ها را در مقدار نامی خود تنظیم کنید و پس از آن ولتاژهای خروجی و جریان اولیه را اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

سؤالات

۱ــ مدار اتصال آزمایش حالت الف را رسم کنید.

۲ــ مدار اتصال آزمایش حالت ب را رسم کنید.

۳ــ نسبت تبدیل‌های ترانسفورماتور چه‌قدر است؟

۴ــ چرا باید در ابتدای آزمایش بارداری، مقاومت‌های بار را در حداکثر قرار داد؟

۵ــ اگر از ولتاژهای خروجی به‌طور هم‌زمان استفاده نشود، آیا در مقادیر آن‌ها تغییری به‌وجود می‌آید؟

فصل پنجم

ساعات آموزش		
نظری	عملی	جمع
۱	۱۱	۱۲

اتوترانسفورماتور

هدف‌های رفتاری: از هنرجو انتظار می‌رود در پایان این فصل بتواند :

۱ــ ساختمان اتوترانسفورماتور را توضیح دهد.

۲ــ توان تیپ و توان انتقالی را توضیح دهد.

۳ــ سطح مقطع هسته‌ی یک اتوترانسفورماتور را محاسبه کند.

۴ــ قطر سیم قسمت‌های مختلف اتوترانسفورماتور را محاسبه کند.

۵ ــ تعداد دور قسمت‌های مختلف اتوترانسفورماتور را محاسبه کند.

۶ ــ یک اتوترانسفورماتور یک فاز را براساس نیاز بازار محاسبه و سیم‌پیچی و آزمایش کند.

۵ ــ اتوترانسفورماتور

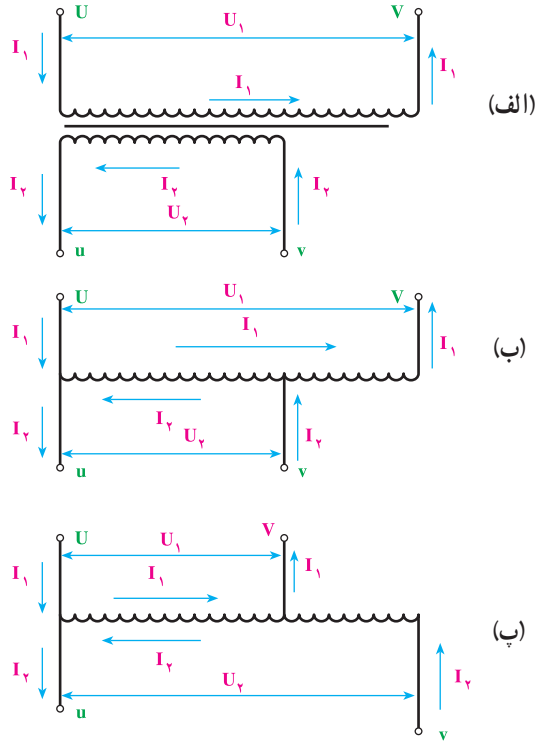
۱ــ ۵ ــ اتوترانسفورماتور (ترانسفورماتور صرفه‌ای)

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

تفاوت ترانسفورماتورهای معمولی با اتوترانسفورماتور دراین است که ترانسفورماتورهای معمولی دو سیم‌پیچ اولیه و ثانویه‌ی 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.

در شکل ۱ــ ۵ ــ الف یک ترانسفورماتور با دو سیم‌پیچ جداگانه و در شکل۱ــ ۵ ــ ب همان ترانسفورماتور با سیم‌پیچ‌های مشترک نشان داده شده است. در این شکل، ولتاژ اولیه از ولتاژ خروجی بیش‌تر است. در شکل ۱ــ ۵ ــ پ اتوترانسفورماتوری را می‌بینید که ولتاژ ثانویه‌ی آن از ولتاژ اولیه‌اش بیش‌تر است.

در ترانسفورماتورهای صرفه‌ای، دو سیم‌پیچ ازنظر الکتریکی با یک‌دیگر در ارتباط هستند و لذا نمی‌توان از آن‌ها



شکل ۱ــ۵ــ تفاوت ترانسفورماتور و اتو ترانسفورماتور

به‌عنوان ترانسفورماتور حفاظت، حتی در ولتاژهای کم استفاده کرد.

قدرتی که هسته‌ی آهن ترانسفورماتورهای صرفه‌ای برمبنای 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 محاسبه‌ی هسته باید از آن استفاده کرد. به‌این قدرت در اصطلاح قدرت **تیپ ترانسفورماتور** می‌گویند و آن را با P_T نشان می‌دهند. قدرت خروجی ترانسفورماتور صرفه‌ای برابر است با $P_2 = U_2 \times I_2$ که آن را می‌توان با قدرت ورودی تقریباً برابر گرفت.

همان‌طورکه در شکل ۱ــ۵ــ ب مشاهده می‌کنید، از قسمت $u - v$ سیم‌پیچ که به بار وصل می‌شود و دارای اختلاف پتانسیل U_2 است، جریان $I_2 - I_1$ و در جهت I_2 عبور می‌کند. درحالی که از قسمت $v - V$ که دارای اختلاف پتانسیل $U_1 - U_2$ است، جریان I_1 عبور می‌کند.

بنابراین، قسمت $u - v$ سیم‌پیچ که از آن به‌عنوان ثانویه نیز استفاده می‌شود، دارای قدرت ظاهری $U_2 \times (I_2 - I_1)$ و باقی‌مانده‌ی سیم‌پیچ ــ یعنی قسمت $v - V$ ــ دارای قدرت ظاهری $I_1(U_1 - U_2)$ است. این دو قدرت با یک دیگر برابرند و هسته‌ی آهن ترانسفورماتور بر مبنای یکی از آن‌ها محاسبه می‌شود.

بنابراین :

$$P_{ST} = U_2(I_2 - I_1) = I_1(U_1 - U_2)$$
$$P_{S_2} = U_2 \times I_2$$

$$\frac{P_{ST}}{P_{S_2}} = \frac{U_2(I_2 - I_1)}{U_2 \times I_2} \Rightarrow \boxed{P_{ST} = P_{S_2} = \frac{I_2 - I_1}{I_2}}$$

با استفاده از رابطه‌ی $P_2 \simeq P_1 = U_1 \times I_1$ نیز می‌توان نوشت :

$$\frac{P_{ST}}{P_{S_2}} = \frac{I_1(U_1 - U_2)}{U_1 \times I_1} \Rightarrow \boxed{P_{ST} = P_{S_2} \frac{U_1 - U_2}{U_1}}$$

اگر U_1 از U_2 کوچک‌تر باشد(مانند شکل ۱ــ۵ ــ پ) رابطه‌ی بالا به‌صورت زیر درمی‌آید.

$$P_{ST} = P_{S_2} \frac{U_2 - U_1}{U_2}$$

یعنی در ترانسفورماتور صرفه‌ای، نسبت قدرت تیپ به‌قدرت 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 ثانویه‌ی 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 مشخص‌کردن قدرت تیپ ترانسفورماتور و محاسبه‌ی سطح مقطع آهن از روی آن، سایر محاسبات را می‌توان بر اساس روش گذشته انجام داد. با این تفاوت که در این‌جا برای پیدا کردن چگالی جریان از جدول ۲ــ۲ به‌جای P_2 ، قدرت تیپ (P_T) را درنظر می‌گیریم.

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

$$P_{ST} = P_{S_2} : \frac{U_1 - U_2}{U_1} +$$

$$P_{ST} = ۳۰۰۰ : \frac{۲۲۰ - ۱۵۰}{۲۲۰} + = ۹۵۴\,VA$$

جریان‌های اولیه و ثانویه‌ی آن نیز با فرض $P_{S1} = P_{S2}$ برابر است با :

$$I_1 = \frac{P_{S1}}{U_1} = \frac{۳۰۰۰}{۲۲۰} = ۱۳/۶۳A$$

$$I_2 = \frac{P_{S2}}{U_2} = \frac{۳۰۰۰}{۱۵۰} = ۲۰A$$

بدین ترتیب، این اتوترانسفورماتور دارای سطح مقطع آهن

$$S_{Fe} = ۱/۲\sqrt{۹۵۴} = ۳۷\,cm^2$$

است و سطح مقطع سیم قسمت مشترک سیم‌پیچ اولیه و ثانویه باید بر مبنای جریان $۶/۳۷ = (۲۰ - ۱۳/۶۳)$ آمپر و قسمت بعدی ــ که فقط جریان اولیه از آن عبور می‌کند ــ بر مبنای ۱۳/۶۳ آمپر محاسبه شود.

با دقت در این مثال، متوجه می‌شوید که استفاده از این نوع ترانسفورماتور خصوصاً در حالتی که اختلاف ولتاژ اولیه و ثانویه کم باشد، تا چه حد مقرون به صرفه است. برای ساختن ترانسفورماتورهای قابل‌تنظیم نیز از این روش استفاده می‌شود.

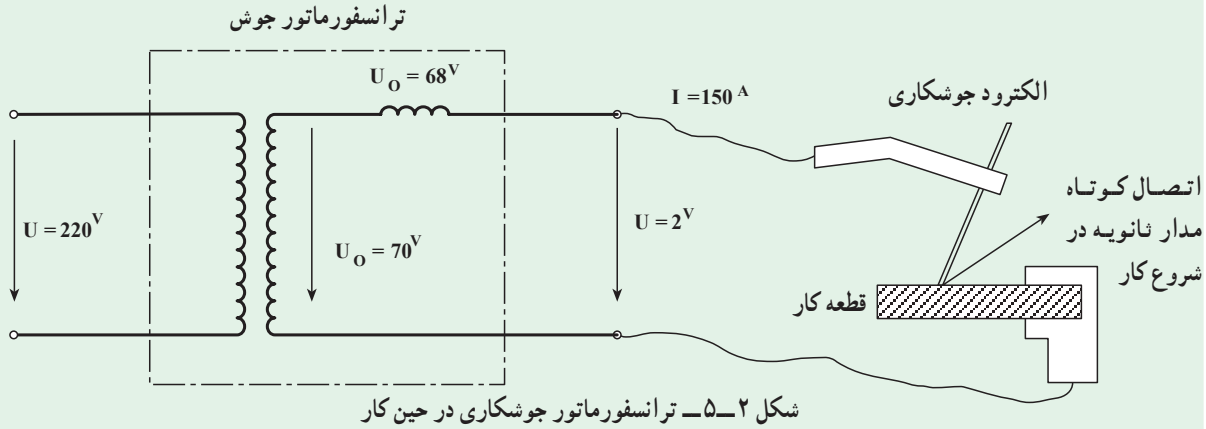
مطالعه‌ی آزاد

۲ــ ۵ ــ ترانسفورماتورهای جوشکاری

یکی از روش‌های جوشکاری فلزات، استفاده از حرارتی است که توسط قوس الکتریکی ایجاد می‌شود. برای تشکیل قوس الکتریکی می‌توان از ترانسفورماتور استفاده کرد.

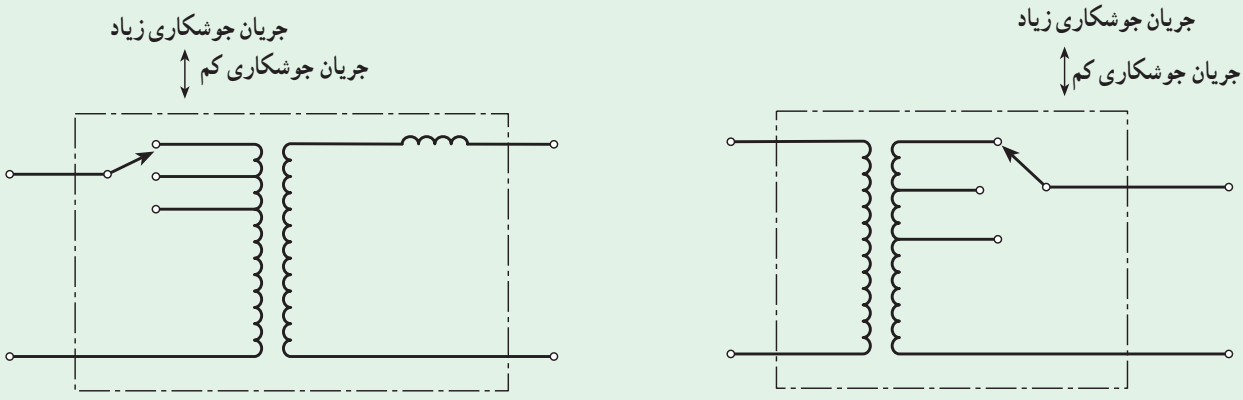
ترانسفورماتورهایی که در جوشکاری از آن‌ها استفاده می‌شود، باید علاوه‌بر داشتن خصوصیات یک ترانسفورماتور معمولی، سیستمی برای تغییر جریان ثانویه و هم‌چنین کاهش ولتاژ کار داشته باشند. بنابراین، علاوه‌بر مطالب گفته‌شده درمورد ساخت ترانسفورماتورها، لازم است به نکات زیر نیز توجه کنیم.

ولتاژ ترانسفورماتور جوشکاری در حالت بی‌باری نباید از ۷۰ ولت بیش‌تر باشد. پس از ایجاد قوس الکتریکی، این ولتاژ باید تنزل کند. به‌طوری که حداکثر مقدار آن ۳۰ ولت باشد. مدار ثانویه‌ی ترانسفورماتورهای جوشکاری، در هنگام تولید جرقه برای ایجاد قوس الکتریکی به‌صورت اتصال کوتاه درمی‌آید. برای این‌که ترانسفورماتور در این حالت صدمه نبیند، باید یک سلف را با مدار ثانویه به‌صورت سری قرار داد (شکل ۲ــ۵) یا این‌که از ترانسفورماتورهایی با پراکندگی زیاد استفاده کرد. به همین جهت، ضریب قدرت ترانسفورماتورهای جوشکاری پایین است و برای بالابردن آن باید از خازن استفاده کرد.



شکل ۲ــ۵ــ ترانسفورماتور جوشکاری در حین کار

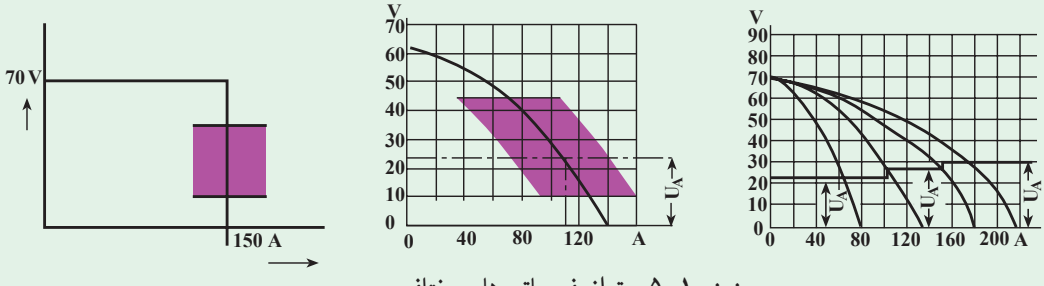
همان‌طور که می‌دانیم برای جوشکاری قطعات مختلف باید جریان جوشکاری قابل‌تنظیم باشد. برای مثال، جهت افزایش آن باید ولتاژ ثانویه را افزایش داد. این عمل با کاهش تعداد دور سیم‌پیچ اولیه توسط یک کلید پله‌ای یا افزایش تعداد دور سیم‌پیچ ثانویه ازطریق تغییر اتصال آن امکان‌پذیر می‌شود (شکل ۳ــ ۵).



شکل ۳ــ۵ــ دو نوع ترانسفورماتور جوش متغیر

در این روش، نسبت تبدیل ترانسفورماتور تغییر می‌کند ؛ بنابراین، ولتاژ بی‌باری آن نیز تغییر خواهد کرد.

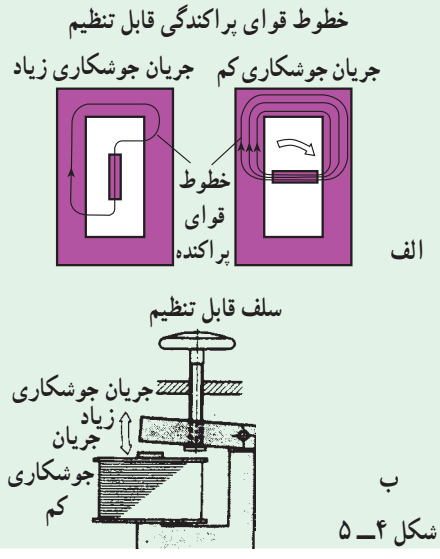
برای این‌که با تغییر جریان جوشکاری، ولتاژ حالت بی‌باری تغییر نکند، می‌توان نسبت تبدیل ترانسفورماتور را تغییر نداد و در عوض، با ایجاد افت ولتاژ در ثانویه، ولتاژ خروجی را در حالت کار پایین آورد. بنابراین، در ولتاژ بی‌باری ثابت با زیاد کردن افت ولتاژ، جریان جوشکاری کاهش می‌یابد و با کم‌کردن آن، جریان جوشکاری افزایش می‌یابد. (منحنی ۱ــ ۵).



منحنی ۱ــ۵ــ ترانسفورماتورهای مختلف

افت ولتاژ را می‌توان با تغییر مقاومت داخلی ترانسفورماتور جوشکاری به وسیله‌ی یک سلف قابل‌تنظیم یا یوغ ــ که مقدار پراکندگی را تغییر می‌دهد ــ به‌دست آورد. در شکل‌های ۴ــ ۵ دو روش عمل تغییرفوران پراکندگی و تغییر سلف نشان داده شده است.

در ترانسفورماتورهای جوشکاری با قدرت کم، اغلب تغییر افت ولتاژ با چرخاندن یک دستگیره و در ترانسفورماتورهای با قدرت متوسط و زیاد با استفاده از سیستم‌های دیگری مانند به‌کار بردن جریان مستقیم و غیره انجام گیرد.



شکل ۴ــ ۵

با دقت در توضیحات ارائه شده، تفاوت ترانسفورماتورهای جوشکاری و ترانسفورماتور معمولی مشخص می‌شود.

مشخصات و نتایج محاسبه برای ساختن یک ترانسفورماتور کوچک جوشکاری با جریان حداکثر ۱۳۰ آمپر در زیر آمده است. برای این‌که شما هنرجویان نیز بتوانید با حداقل وسایل این ترانسفورماتور را بسازید. تغییرات جریان ثانویه را به‌وسیله‌ی تغییر دادن تعداد دور سیم‌پیچ اولیه در پنج مرحله درنظر گرفته‌ایم.

مشخصات خارجی ترانسفورماتور

ولتاژ اولیه ۲۲۰ ولت

قدرت ترانسفورماتور ۳/۲ کیلوولت‌آمپر

کسینوس فی ۰/۵

جریان ثانویه ۴۰/۱۳۰A

اختلاف سطح بی‌باری ۶۰V

اختلاف سطح در هنگام جوشکاری ۲۴V

جریان نامی فیوز اولیه ۱۵A

سطح مقطع کابل اتصال به شبکه : ۱/۵ میلی‌متر مربع

سطح مقطع کابل اتصال ثانویه به الکترود و قطعه کار : ۱۶ میلی‌متر مربع

قطر الکترودهای جوشکاری : ۳/۲۵ــ ۲/۵ــ۲ــ ۱/۵ میلی‌متر

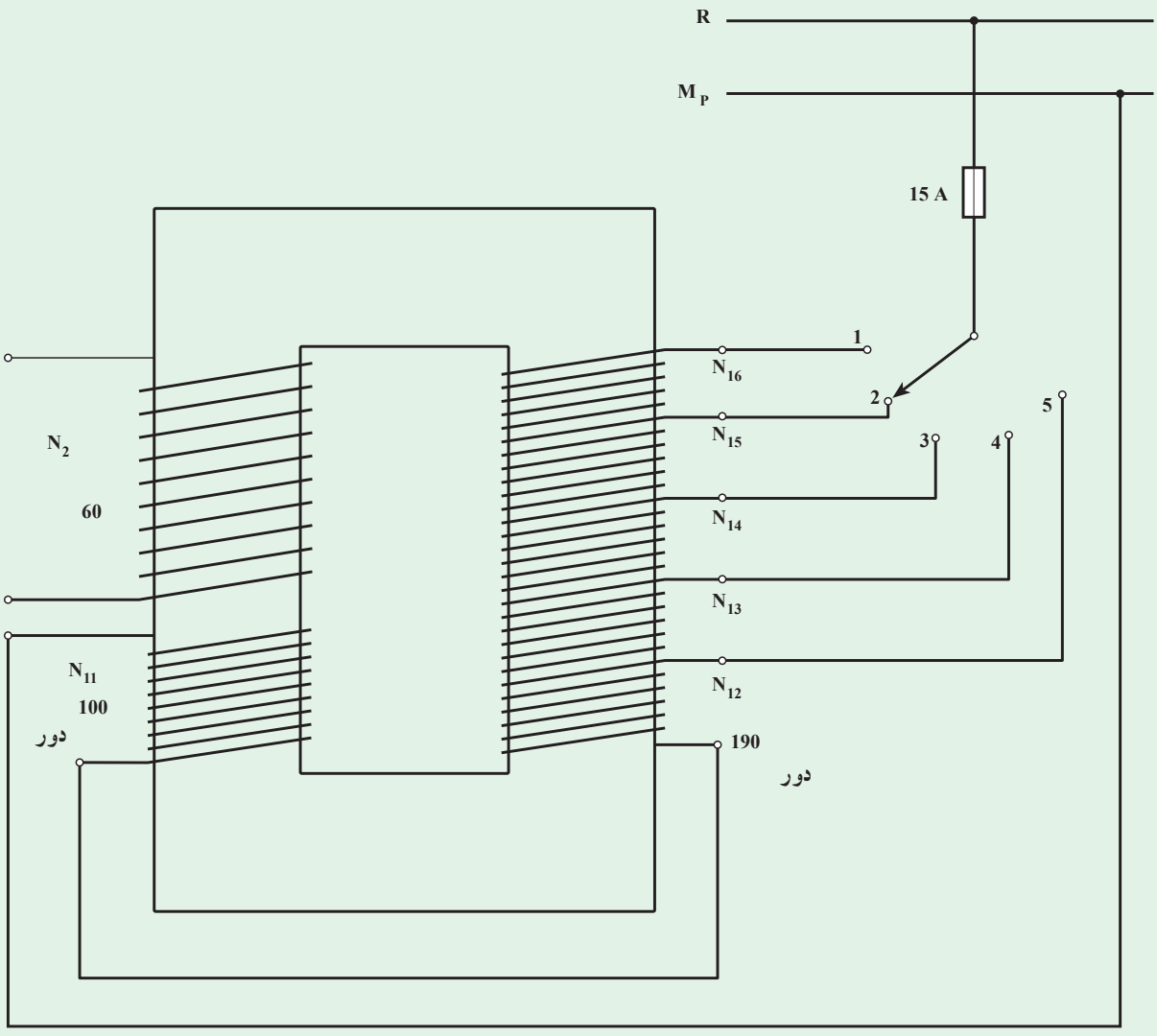
وزن تقریبی : ۱۷ کیلوگرم

مشخصات سیم‌پیچ‌های اولیه و ثانویه

قطر سیم اولیه	$d_1 = ۱/۹\,mm$
تعداد دور کل اولیه	$N_1 = ۴۲۵$ دور
طول سیم لاکی لازم برای اولیه	$I_1 = ۱۰۰\,m$
قطر سیم ثانویه	$d_2 = ۴\,mm$
تعداد دور ثانویه	$N_2 = ۶۸$ دور
طول سیم لاکی لازم برای ثانویه	$I_2 = ۲۲\,m$

سیم‌پیچ اولیه از شش سیم‌پیچ با تعداد دورهای $N_{11} = ۱۰۰$ و $N_{12} = ۱۹۰$ و $N_{13} = ۱۵$ و $N_{14} = ۲۵$ و $N_{15} = ۳۵$ و $N_{16} = ۶۰$ که مجموع آن‌ها $N_1 = ۴۲۵$ دور می‌شود، تشکیل شده است.

سیم‌پیچ‌های اولیه و ثانویه باید بر روی دو قرقره پیچیده شوند. بر روی یک قرقره قسمتی از سیم‌پیچ اولیه $N_{11} = ۱۰۰$ دور و سیم‌پیچ ثانویه پیچیده شده و بر روی قرقره‌ی دوم نیز سایر سیم‌پیچ‌های مربوط به اولیه پیچیده می‌شوند. بنابراین، در روی یک قرقره باید $۴۲۵ - ۱۰۰ = ۳۲۵$ دور از سیم $d_1 = ۱/۹\,mm$ پیچیده شده و به‌ترتیب در دورهای اول و ۱۹۰ و ۲۰۵ و ۲۳۰ و ۲۶۵ و ۳۲۵، یک سر از قرقره خارج شود. چگونگی خارج‌شدن سرها و سیم‌پیچ‌هایی که باید بر روی هریک از دو قرقره پیچیده شوند، در شکل ۵ ــ ۵ نشان داده شده است.

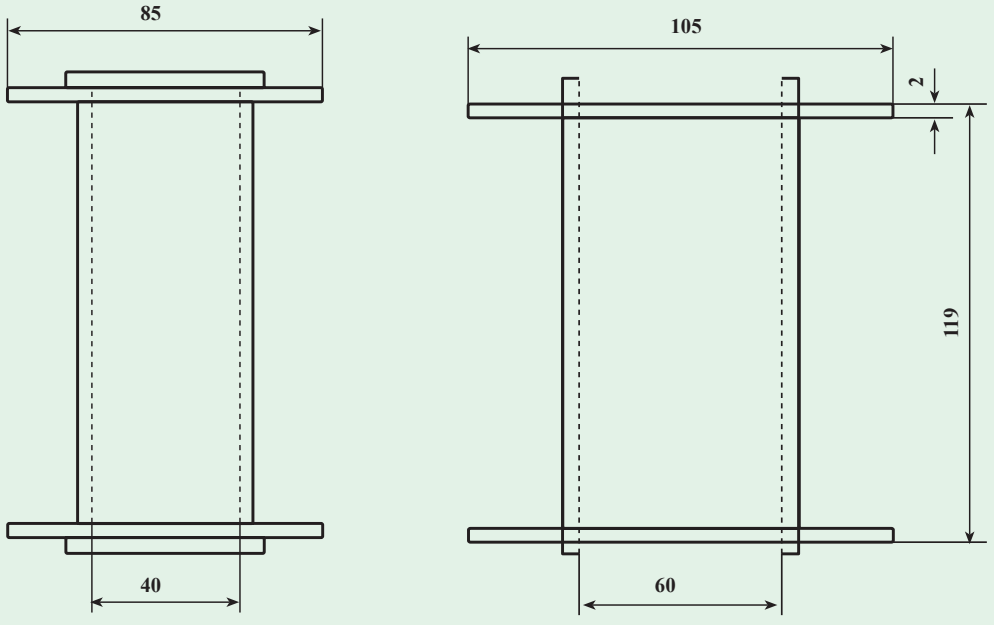


شکل ۵ــ۵ــ ترانسفورماتور متغیر

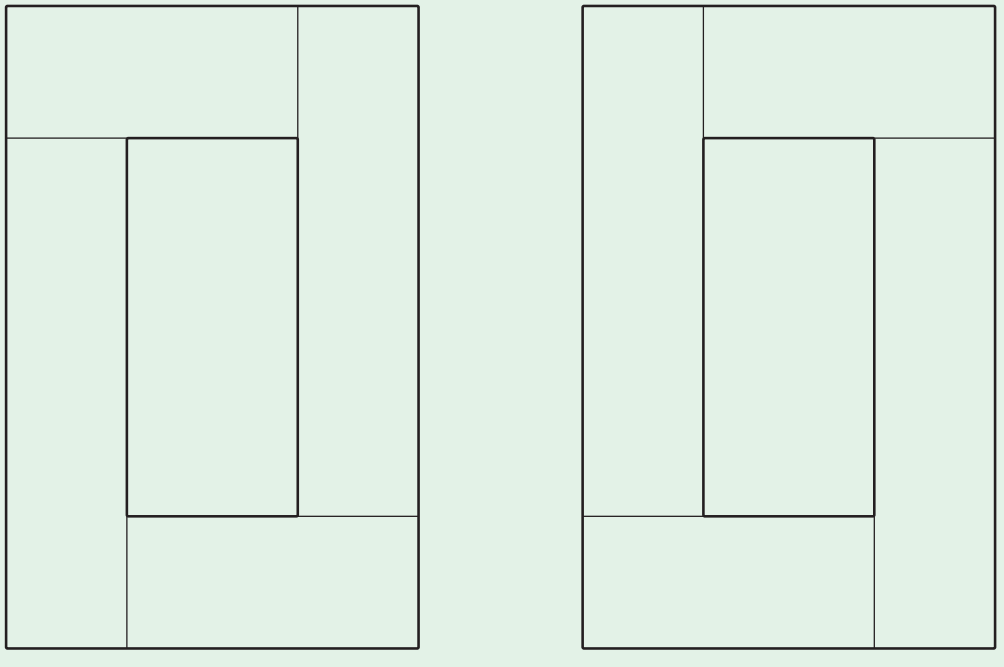
اندازه‌ی ورقه‌های دینامو‌بلش و قرقره: ورقه‌های آهن که دراین ترانسفورماتور از آن استفاده می‌شود، به‌شکل مستطیل و در دو اندازه‌ی ۱۶۰×۴۰ و ۹۰×۴۰ میلی‌متر است تا با کنارهم قراردادن آن‌ها، یک مدار بسته ایجاد شود. سطح آهن موردنیاز ۲۴۰۰ میلی‌متر مربع است و بنابراین، ارتفاع ورقه‌ها برابر با $h = \frac{۲۴۰۰}{۴۰} = ۶۰$ میلی‌متر خواهد شد. بنابراین، در قرقره‌ای که ساخته می‌شود، باید ورقه‌هایی به پهنای ۴۰ میلی‌متر و ارتفاع ۶۰ میلی‌متر، جای گیرد.

در شکل ۶ــ ۵ دو نمای قرقره نشان داده شده است. طراحی هریک از اجزای تشکیل‌دهنده‌ی قرقره، به‌عهده‌ی شما هنرجویان عزیز است.

اگر در این ترانسفورماتور از ورقه‌های دینامو به ضخامت ۰/۳۵ میلی‌متر استفاده کنیم، تعداد ورقه‌های موردنیاز برای هر بازو ۱۷۱ = ۰/۳۵ ÷ ۶۰ قطعه است. چون هر دو بازوی روبه‌رو مشابه یک دیگرند، در مجموع تعداد ۳۵۴ قطعه به هریک از اندازه‌های ذکرشده، موردنیاز است. طریقه‌ی چیدن و قراردادن ورقه‌ها در داخل قرقره بر روی یک‌دیگر مانند شکل ۷ــ ۵ است.



شکل ۶ــ۵ــ دو نمای قرقره



شکل ۷ــ۵ــ طریقه‌ی چیدن ورقه‌های دینامو‌بلش

در هنگام سیم‌پیچی، باید تمام نکات ایمنی را رعایت کرد و بین سیم‌پیچ اولیه و ثانویه و همه‌ی طبقات سیم‌پیچی حتماً عایق قرارداد. پس از جازدن ورقه‌ها در داخل قرقره نیز باید بین دو قرقره، عایق قرار دهیم. برای محکم‌کردن ورقه‌های دینامو‌بلش در داخل قرقره و جلوگیری از پاشیدگی آن‌ها، می‌توان از بست ــ که طراحی آن به‌عهده‌ی خود هنرجویان است ــ استفاده کرد. محفظه‌ای که ترانسفورماتور درون آن قرار می‌گیرد نیز باید دارای منافذی برای تهویه و خنک شدن ترانسفورماتور باشد.

کار عملی ۶

یک ترانسفورماتور با چند سرثانویه و ولتاژ اولیه ۲۲۰V و ولتاژهای ثانویه ۱۱۰V، ۲۳۰V و ۲۴۰V با قدرت ۱۰KVA را محاسبه و سیم‌پیچی کنید.

کار عملی ۷

ترانسفورماتور کار عملی ۶ را از نظر بی‌باری و اتصال کوتاه و بارداری آزمایش کنید و نتایج به‌دست آمده را بررسی نمایید.