

کار عملی ۱

ترانسفورماتوری بسازید که اولیه‌ی آن به ولتاژ 220° ولت با فرکانس 50°Hz وصل شود و ثانویه‌ی آن دارای ولتاژ 25° 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 عملی ۳ نیز استفاده نمایید.

سوالات

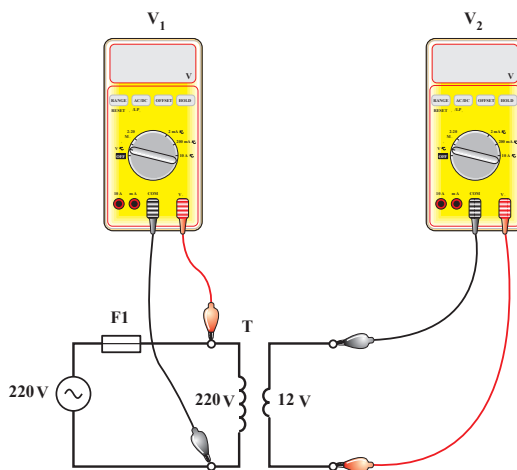
- ۱- محاسبات این ترانسفورماتور را به طور کامل بنویسید.
- ۲- اگر قطر سیم ثانویه را افزایش دهیم، چه تغییری در جریان یا ولتاژ ثانویه ایجاد می‌شود؟
- ۳- سر وسط سیم بیچ ثانویه در ترانسفورماتور چه نقشی دارد؟
- ۴- مشخصات این ترانسفورماتور را از طریق منحنی به دست آورید و با نتایج محاسبه‌های قبل مقایسه کنید.
- ۵- 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 به ولتاژ 220° ولت وصل کنید و مراحل زیر را انجام دهید.
الف: سیم بیچ اولیه‌ی ترانسفورماتور $220^\circ\text{V}/12\text{V}$ را مطابق شکل ۲-۳ به شبکه‌ی تک فاز 220° ولت اتصال دهید.



الف



ب

شکل ۲-۳

- ◀ آومتر را روی حالت ولت متر AC و با ضریب (رنج) بزرگ‌تر یا مساوی 25° قرار دهید.
- ◀ فیش‌های هر دو آومتر را به دو سر سیم پیچ اولیه و ثانویه‌ی ترانسفورماتور اتصال دهید و ولتاژهای اولیه و ثانویه را در حالت بی‌باری اندازه‌گیری کنید.

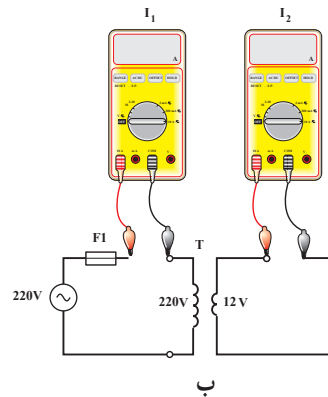
$V_1 = \square \text{ V}$

$V_2 = \square \text{ V}$

- ◀ مدار را قطع کنید و آومتر را در حالت آمپر متر AC با بیش‌ترین رنج جریانی قرار دهید.
- ◀ فیش‌های آومترها را به صورت سری در مسیر سیم پیچ‌های اولیه و ثانویه مطابق شکل ۳-۳ قرار دهید.



الف



ب

شکل ۳-۳

- ◀ مدار را وصل کنید و مقدار جریان سیم پیچ‌های اولیه و ثانویه را در حالت بی‌باری اندازه‌گیری نمایید.

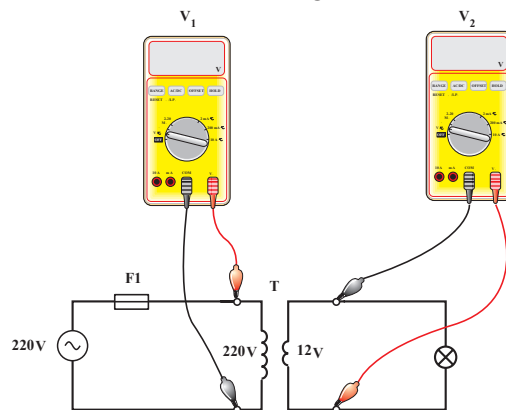
$I_1 = \square \text{ A}$

$I_2 = \square \text{ A}$

- ب: مدار را قطع کنید و یک لامپ ۱۲ ولت را طبق شکل ۳-۴ در مدار ثانویه‌ی ترانسفورماتور قرار دهید.



الف



ب

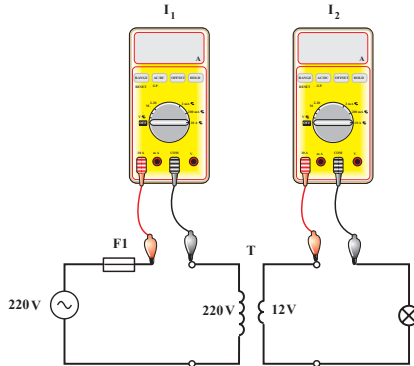
شکل ۳-۴

$V_1 = \square \text{ V}$

$V_2 = \square \text{ V}$

◀ آومتر را در حالت ولت متر AC قرار دهید و ولتاژهای سیم پیچی اولیه و ثانویه را در حالت بارداری اندازه گیری کنید.

- ◀ مدار را قطع کنید و آومتر را در حالت آمپر متر AC با بیشترین رنج قرار دهید.
- ◀ آومتر را به صورت سری در مسیر سیم پیچی های اولیه و ثانویه مطابق شکل ۳-۵ قرار دهید.
- ◀ مدار را وصل کنید و مقدار جریان سیم پیچی های اولیه و ثانویه را در حالت بارداری اندازه گیری کنید.



$I_1 = \square \text{ A}$

$I_2 = \square \text{ A}$

شکل ۳-۵

سوالات

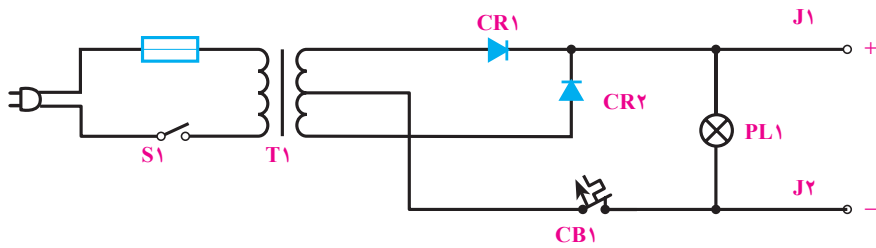
- ۱- جریان بی باری چند درصد جریان نامی اولیه است؟
- ۲- آیا ترانسفورماتوری که ساخته اید، دقیقاً مطابق خواسته ها بوده است؟
- ۳- افت ولتاژ ثانویه در بار نامی چند ولت است؟

کار عملی ۳

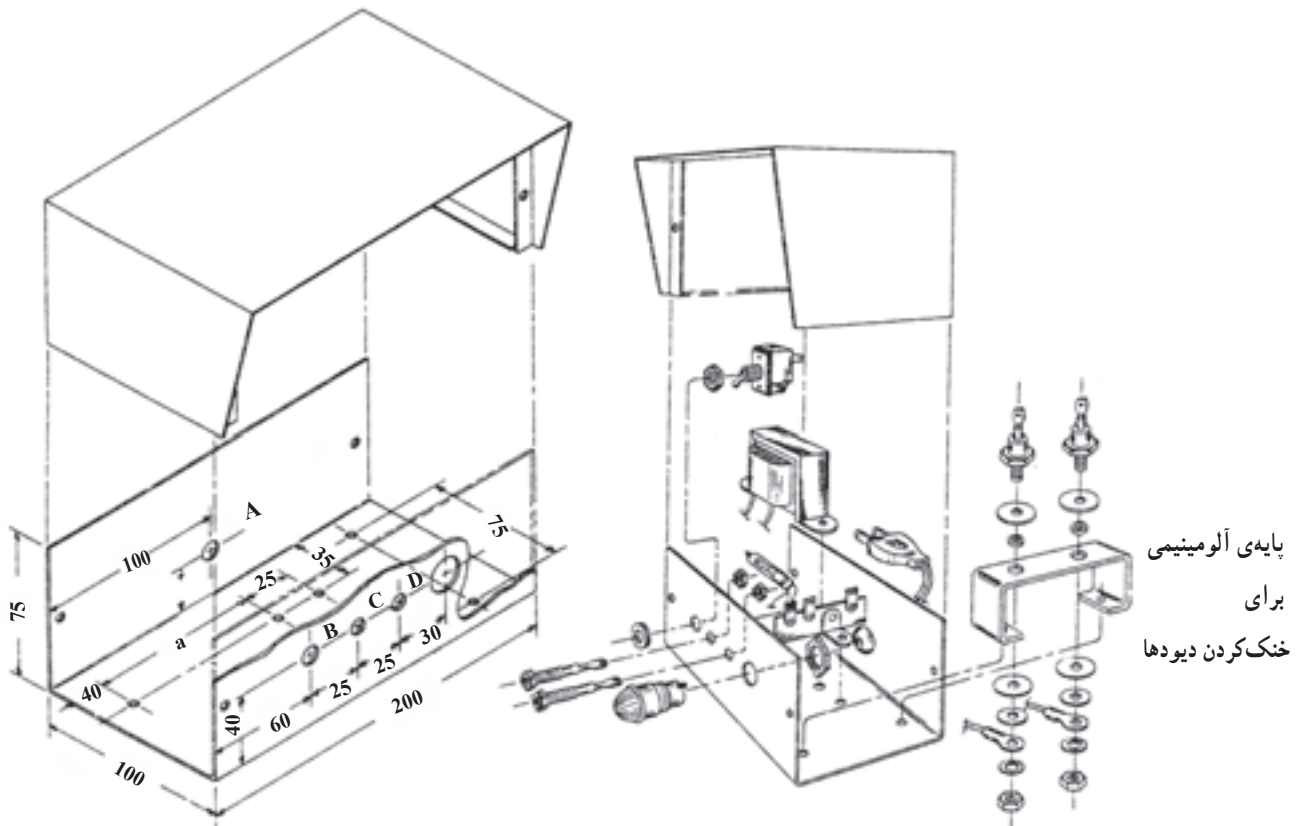
با استفاده از ترانسفورماتور ساخته شده در کار عملی ۱، یک شارژر باتری ۱۲ ولتی که مدار اتصال آن در شکل ۳-۶ داده شده است، بسازید. نقشه ی محفظه ی این شارژر نیز در شکل ۳-۷ نشان داده شده است.

وسایل لازم:

۲ عدد	مادگی قرمز (+) و مشکی (-) (j)	۶	۲ عدد	دیود ۶A-۵۰V P.I. (CR)	۱
۱ عدد	دوشاخه	۷		ترانسفورماتور (صفر وسط) (T ₁)	۲
۲ عدد	گیره ی سوسماری بزرگ قرمز و مشکی	۸	۱ عدد	۱۲/۵V-۰-۱۲/۵V و جریان ۲A	
۲ متر	سیم رابط نمره ی ۲/۵ مشکی و قرمز (از هر رنگ)	۹	۲ عدد	فیش قرمز (+) و مشکی (-)	۳
	ورق آلومینیومی یک میلی متر یا ورق آهن ۰/۶ میلی متر	۱۰	۱ عدد	کلید ۲۲۰ ولت، ۳ آمپر (S ₁)	۴
۱ عدد	فیوز کپسولی ۰/۵ آمپر با پایه	۱۱	۱ عدد	لامپ ۱۴ ولت (PL ₁)	۵



شکل ۶-۳- قطعات جعبه‌ی ترانسفورماتور



شکل ۷-۳- اندازه‌ی a با توجه به ترانسفورماتور ساخته شده و قطر سوراخ‌های A و B و C و D با توجه به اندازه‌ی وسایل موجود به دست می‌آید.

سوالات

- ۱- ولتاژهای خروجی این ترانسفورماتور با یک‌دیگر چه تفاوتی دارند؟
- ۲- آیا می‌توان از تمامی قدرت ترانسفورماتور به کارگرفته شده در این مدار استفاده کرد؟
- ۳- 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؟
- ۴- اگر باتری خالی شده باشد و آن را به دو سر شارژر وصل کنیم، چه اتفاقی می‌افتد؟ آیا لامپ خاموش و روشن می‌شود؟

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

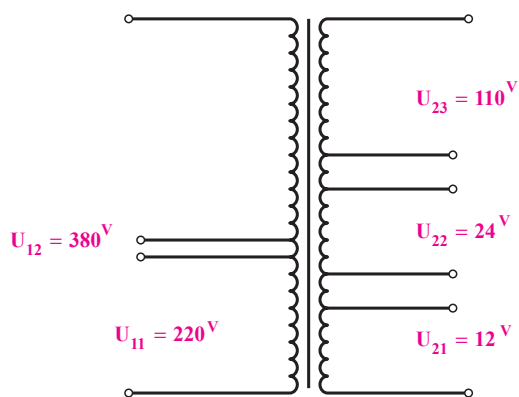
محاسبه و طراحی ترانسفورماتور با چند سیم پیچ در اولیه یا ثانویه

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

- ۱- تعداد دور اولیه و ثانویه یک ترانسفورماتور با چند ورودی و خروجی را محاسبه کند.
- ۲- قطر سیم لاکه اولیه و ثانویه ترانسفورماتور با چند ورودی و چند خروجی را محاسبه کند.
- ۳- هسته و قرقره‌ی مناسب را در ترانسفورماتور انتخاب کند.
- ۴- ترانسفورماتور با یک ورودی و چند خروجی را سیم‌پیچی و آزمایش کند.

۴- محاسبه و طراحی ترانسفورماتور با چند سیم پیچ در اولیه یا ثانویه

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



شکل ۴-۱- نمایش سیم‌پیچ‌های ترانسفورماتور

در این صورت، باید توجه داشت که همیشه تنها یکی از سیم‌پیچ‌های اولیه به شبکه وصل می‌شود اما همه‌ی سیم‌پیچ‌های ثانویه یا تعدادی از آن‌ها را می‌توان به مصرف کننده اتصال داد. برای مثال، اگر ترانسفورماتوری دارای ورودی‌های 220° و 380° ولت و خروجی‌های 12° و 24° و 110° ولت باشد، سیم‌پیچ اولیه‌ی آن باید به ولتاژ 220° ولت یا 380° 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 به نظر می‌رسد که برای هریک از ولتاژهای ذکر شده‌ی اولیه و ثانویه، یک سیم‌پیچ جداگانه مطابق شکل ۴-۱ پیچیده شود.

$$= 86 / 27A$$

قطر سیم‌ها نیز برای قسمت اول (از صفر تا ۱۲ ولت) بر مبنای جریان $2/3 = (1 + 0/8 + 0/5)$ آمپر و برای قسمت دوم (از ۱۲ تا ۲۴ ولت) برای جریان $1/3 = (0/8 + 0/5)$ آمپر و برای قسمت سوم (از ۲۴ تا ۱۱۰ ولت) بر مبنای جریان $0/5$ آمپر حساب می‌شود.

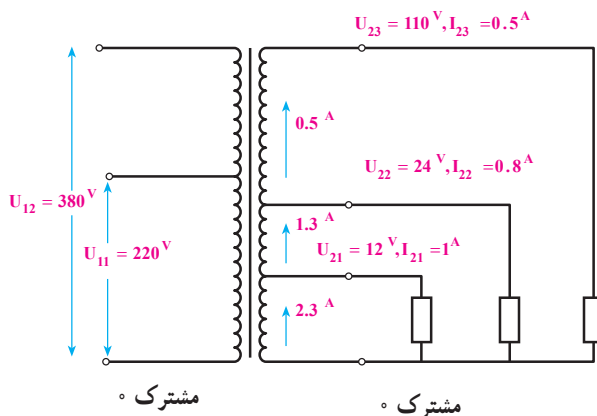
در این مثال، اگر فرض کنیم که از سه خروجی، تنها دو خروجی بتوانند به‌طور هم‌زمان کار کنند، باید قدرت‌های خروجی را دوبه‌دو با یکدیگر جمع کنیم و مقدار بزرگ‌تر را برای قدرت خروجی ترانسفورماتور منظور در نظر بگیریم. بنابراین برای این ترانسفورماتور قدرت ثانویه $P_2 = 74 / 27A$ به دست می‌آید. قطر سیم نیز با بررسی جریان‌ها در شرایط مختلف پیدا می‌شود. به طوری که از قسمت اول سیم پیچ، حداکثر $1/8$ آمپر و از قسمت دوم آن حداکثر جریان $1/3$ آمپر و از قسمت سوم نیز جریان $0/5$ 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 به دست آورد.

تعداد دورهای اولیه و ثانویه نیز به همان روش قبلی محاسبه می‌شود. لیکن در هنگام به دست 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 سیم پیچی، ابتدا سیم با قطر d_{11} برای ولتاژ کم‌تر (یعنی U_{11}) و به اندازه‌ی N_{11} دور پیچیده شده و پس از بیرون آوردن یک سر خروجی، مجدداً برای دومین ولتاژ یعنی U_{12} ، سیم با قطر d_{12} و به اندازه‌ی $(N_{12} - N_{11})$ دور پیچیده شود تا در هنگام وصل شدن به ولتاژ بیشتر، هر دو سیم پیچ (N_{11}) و $(N_{12} - N_{11})$ با یکدیگر سری شوند و مجموع حلقه‌های آن‌ها برابر با N_{12} شود. بدین ترتیب، در هر مرحله قطر سیم نیز کم‌تر می‌شود. برای سیم پیچ ثانویه، ابتدا ولتاژها را از کم به زیاد مرتب کرده و برای ولتاژ U_{21} تعداد دور N_{21} و برای ولتاژ U_{22} و U_{23} و ... تعداد دورهای N_{22} و N_{23} و ... را محاسبه می‌کنیم و سپس، مانند طرف اولیه عمل می‌نماییم.

به کارگیری این روش باعث افزایش حجم ترانسفورماتور می‌شود و بنابراین، اقتصادی نیست. می‌توان تعداد دور سیم پیچ اولیه را برای بالاترین ولتاژ در اولیه و تعداد دور سیم پیچ ثانویه را نیز برای بیش‌ترین ولتاژ ثانویه پیچید و برای ولتاژهای دیگر، در دورهای معین سر سیم پیچ‌ها را خارج کرد (شکل ۲-۴).

قطر سیم پیچ را نیز می‌توان بر مبنای بیش‌ترین جریانی که از سیم پیچ عبور می‌کند، انتخاب کرد و برای همه‌ی 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 این که جریان‌ها بسیار نزدیک به هم باشند.



شکل ۲-۴ - نمایش جریان هر سیم پیچ

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 به دست 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 $0/8$ آمپر و از مصرف‌کننده‌ی ۱۱۰ ولتی، جریان $0/5$ آمپر عبور کند و تمام مصرف‌کننده‌ها نیز هم‌زمان به ترانسفورماتور وصل شوند، توان کل خروجی برابر است با:

$$P_2 = U_{21} \times I_{21} + U_{22} \times I_{22} + U_{23} \times I_{23}$$

$$P_2 = 12 \times 1 + 24 \times 0/8 + 110 \times 0/5$$

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.

$$P_1 = \frac{P_2}{\dots}$$

هرگاه $P_{S_1} = P_1$ و $P_{S_2} = P_2$ در نظر گرفته شود می‌توان نوشت

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

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

مرحله‌ی سوم: سطح مقطع واقعی هسته را با توجه به

قدرت P_{S_1} به دست می‌آوریم.

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

سطح مقطع ظاهری هسته برابر است با:

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

مرحله‌ی چهارم: دور بر ولت برای این ترانسفورماتور

برابر است با:

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

مرحله‌ی پنجم: برای تعیین تعداد دورهای اولیه، باید

ابتدا درصد افت ولتاژ را به دست آوریم. در جدول ۲-۲ 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 مورد نظر ۸۶ ولت آمپر است؛ یعنی، از ۷۵ ولت آمپر $(86 - 75) = 11$ (۷۵-۸۶) ولت آمپر بیش تر است. با یک تناسب ساده، می‌توان مقدار کاهش افت ولتاژ را از

۱۰ درصد به دست آورد که برابر با $\frac{11 \times 1}{44} = 0/44$ می‌شود.

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

در عمل باید دقت کنیم که سیم‌پیچ‌های ثانویه همه در یک جهت پیچیده شوند تا ولتاژ آن‌ها با یک دیگر جمع شود. برای توضیح بیش‌تر به بررسی و حل کامل مثال ذکر شده می‌پردازیم.

سیم‌پیچ اولیه‌ی ترانسفورماتور مورد نظر 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 ۸/۰ آمپر و ۱۱۰ ولت با جریان ۵/۰ 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 مورد نیاز را

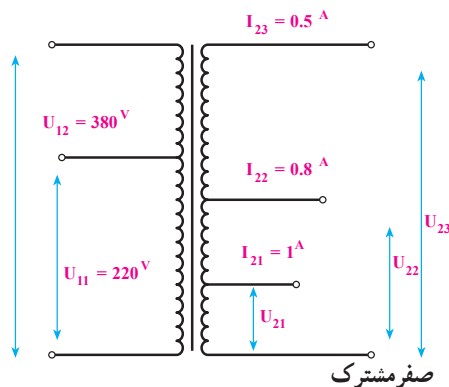
مرتب کرده و شکل آن را رسم می‌کنیم (شکل ۳-۴).

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

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

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

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



شکل ۳-۴ - نمایش معلومات مورد نیاز ترانسفورماتور

مرحله‌ی دوم: قدرت اولیه‌ی ترانسفورماتور را با توجه

به این که خروجی‌ها به‌طور هم‌زمان مورد استفاده قرار می‌گیرند، محاسبه می‌کنیم.

$$P_2 = U_{21} \times I_{21} + U_{22} \times I_{22} + U_{23} \times I_{23}$$

$$P_2 = 12 \times 1 + 24 \times 0/8 + 110 \times 0/5$$

$$= 86/27A$$

همان‌طور که قبلاً گفتیم، ضریب بهره برای یک

مرحله هفتم: ابتدا قطر سیم را برای سیم‌های اولیه حساب می‌کنیم. اگر اولیه را به 22° ولت وصل کنیم، جریان آن برابر است با:

$$I_{11} \Rightarrow \frac{P_1}{U_{11}} = \frac{97}{22} = 4.4 \text{ A}$$

و اگر آن را به 38° ولت وصل کنیم، جریان آن برابر خواهد شد با:

$$I_{12} \Rightarrow \frac{P_1}{U_{12}} = \frac{97}{38} = 2.5 \text{ A}$$

چگالی جریان برای قدرت 5° تا 10° ولت آمپر برابر با $J = 3/5 \frac{\text{A}}{\text{mm}^2}$ است. لذا قطر سیم قسمت اول برابر می‌شود با:

$$d_{11} = 1/13 \sqrt{\frac{I_{11}}{J}} = 1/13 \sqrt{\frac{4.4}{3/5}}$$

$$= 0.4 \text{ mm}$$

$$d_{12} = 1/13 \sqrt{\frac{I_{12}}{J}} = 1/13 \sqrt{\frac{2.5}{3/5}}$$

$$= 0.3 \text{ mm}$$

بنابراین، با توجه به تعداد دورهای اولیه باید 658 دور از سیم 4° و به دنبال آن 478 دور سیم 3° پیچیده شود.

مرحله هشتم: چگالی جریان برای ثانویه نیز برابر با $J = 3/5 \frac{\text{A}}{\text{mm}^2}$ است؛ بنابراین، قطر سیم برای قسمت اول سیم پیچ

که هر سه جریان از آن عبور می‌کند، برابر است با:

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

$$d_{21} = 1/13 \sqrt{\frac{1 + 0.8 + 0.5}{3/5}} = 0.91 \text{ mm}$$

در این جا نیز با تقریب سیم 9° را انتخاب می‌کنیم.

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

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

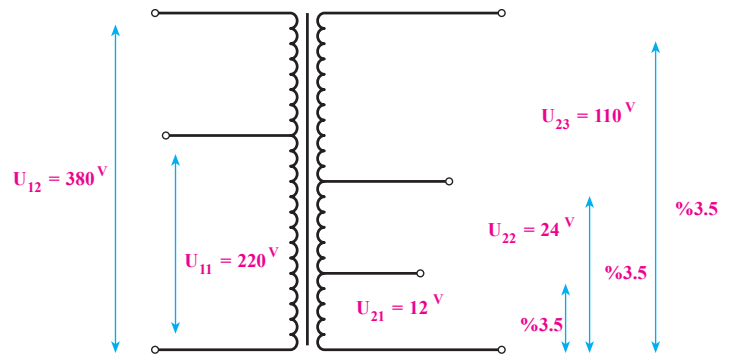
$$d_{22} = 1/13 \sqrt{\frac{0.8 + 0.5}{3/5}} = 0.68 \text{ mm}$$

$$N_{11} = n \times U_{11} (1 - \Delta U_{1-}) = 3/18 \times 22 \times (1 - 0.06) = 657/6 \approx 658 \text{ دور}$$

$$N_{12} = n \times U_{12} (1 - \Delta U_{1-}) = 3/18 \times 38 \times (1 - 0.06) = 1135/9 \approx 1136 \text{ دور}$$

سیم پیچ اولیه ترانسفورماتور دارای دو سیم پیچ سری است که قسمت اول 658 دور و قسمت دوم $1136 - 658 = 478$ دور می‌باشد.

مرحله 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 12° و 24° و 110° ولت، $3/5$ درصد برآورد می‌شود که در شکل ۴-۴ مشخص شده است.



شکل ۴-۴ - نمایش درصد افت ولتاژ در ترانسفورماتور

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

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

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

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

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

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

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

بدین ترتیب، برای 12° ولت باید 38 دور و برای 24° ولت

$$(362 - 77) = 285 \text{ ولت } 110^\circ \text{ و برای } 110^\circ \text{ ولت } (77 - 38) = 39$$

دور سیم به صورت سری پیچیده شود.

$$F_{11} = \frac{658}{45} = 1/46 \text{ cm}^2$$

$$d_{12} = 0/30 \xrightarrow{\text{از جدول دور}} 77 \frac{\text{cm}^2}{\text{cm}^2} \Rightarrow$$

$$F_{12} = \frac{478}{77} = 0/62 \text{ cm}^2$$

$$d_{21} = 0/90 \xrightarrow{\text{از جدول دور}} 100 \frac{\text{cm}^2}{\text{cm}^2} \Rightarrow$$

$$F_{21} = \frac{38}{100} = 0/38 \text{ cm}^2$$

$$d_{22} = 0/70 \xrightarrow{\text{از جدول دور}} 160 \frac{\text{cm}^2}{\text{cm}^2} \Rightarrow$$

$$F_{22} = \frac{39}{160} = 0/24 \text{ cm}^2$$

$$d_{23} = 0/45 \xrightarrow{\text{از جدول دور}} 370 \frac{\text{cm}^2}{\text{cm}^2} \Rightarrow$$

$$F_{23} = \frac{285}{370} = 0/77 \text{ cm}^2$$

سطح کل مورد نیاز برابر است با:

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

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

$$F = 1/46 + 0/62 + 0/38 + 0/24 + 0/77$$

$$= 3/47 \text{ cm}^2$$

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

با مراجعه به جدول ۲-۶ (EIV8) که پنجره‌ی آن

دارای ابعاد $e = 3/9$ و $g = 1/3$ سانتی‌متر است، به دست می‌آید.

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

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

پس از پیدا کردن نوع ورق، باید قرقره را مطابق روش‌های

گذشته طراحی کرد.

برای این قسمت نیز با توجه به جدول ۲-۳ سیم استاندارد

$0/70$ را انتخاب می‌کنیم. از قسمت سوم سیم پیچ ثانویه، فقط

جریان I_{23} عبور می‌کند. بنابراین قطر آن برابر است با:

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

$$d_{23} = 1/13 \sqrt{\frac{0/5}{3/5}}$$

از جدول

$$= 0/43 \text{ mm} \Rightarrow 0/45 \text{ mm} \text{ میلی‌متر}$$

مرحله‌ی نهم: در این مرحله، بهتر است برای کاهش خطا

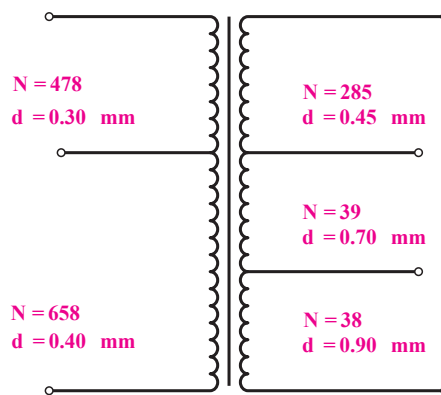
در محاسبه، نتایج به دست آمده را برای پیچیدن ترانسفورماتور بر

روی شکل بنویسیم و با توجه به آن، نوع ورق ترانسفورماتور را

انتخاب کنیم.

نتایج محاسبات لازم برای سیم‌پیچی هر قسمت از

ترانسفورماتور مورد نظر، در شکل ۴-۵ نشان داده شده است.



شکل ۴-۵ - نمایش ترانسفورماتور با چند سر ورودی و چند سر خروجی

پس از مشخص کردن کامل تعداد دور سیم‌ها و قطر آن،

باید سطح پنجره‌ی لازم برای آن‌ها را به دست آورد و ورق

ترانسفورماتور استاندارد را انتخاب کرد. سطح مورد نیاز برای

هر سیم پیچ به قرار زیر است.

$$d_{11} = 0/40 \xrightarrow{\text{از جدول دور}} 45 \frac{\text{cm}^2}{\text{cm}^2} \Rightarrow$$

ترانسفورماتوری را طراحی کرده و بسازید که اولیه‌ی آن به ولتاژ 220° ولت با فرکانس 50°Hz وصل شود و بتوان به طور هم‌زمان سه مصرف‌کننده‌ی زیر را به ثانویه‌ی آن وصل کرد.

- ۱- مصرف‌کننده‌ی اهمی با ولتاژ 110° ولت و جریان 250° میلی‌آمپر.
- ۲- مصرف‌کننده‌ی اهمی با ولتاژ 42° ولت و جریان 400° میلی‌آمپر.
- ۳- مصرف‌کننده‌ی اهمی با ولتاژ 12° ولت و جریان 50° آمپر.

سؤالات

- ۱- محاسبات این ترانسفورماتور را به طور کامل بنویسید.
- ۲- مشخصات این ترانسفورماتور را از طریق منحنی به دست آورید و با نتایج محاسبات قبلی مقایسه کنید.
- ۳- این ترانسفورماتور را برای حالتی که فقط از دو خروجی آن بتوان به‌طور هم‌زمان استفاده کرد نیز محاسبه کنید.

الف: ترانسفورماتور ساخته شده در کار عملی ۴ را به صورت بی‌بار به ولتاژ 220° 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 220° ولت وصل کنید. آن‌گاه با تغییر مقاومت‌های متغیر، جریان هر یک از مصرف‌کننده‌ها را در مقدار نامی خود تنظیم کنید و پس از آن ولتاژهای خروجی و جریان اولیه را اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

سؤالات

- ۱- مدار اتصال آزمایش حالت الف را رسم کنید.
- ۲- مدار اتصال آزمایش حالت ب را رسم کنید.
- ۳- نسبت تبدیل‌های ترانسفورماتور چه قدر است؟
- ۴- چرا باید در ابتدای آزمایش بارداری، مقاومت‌های بار را در حداکثر قرار داد؟
- ۵- اگر از ولتاژهای خروجی به‌طور هم‌زمان استفاده نشود، آیا در مقادیر آن‌ها تغییری به‌وجود می‌آید؟

ساعات آموزش		
جمع	عملی	نظری
۱۲	۱۱	۱

اتوترانسفورماتور

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

- ۱- ساختمان اتوترانسفورماتور را توضیح دهد.
- ۲- توان تیپ و توان انتقالی را توضیح دهد.
- ۳- سطح مقطع هسته‌ی یک اتوترانسفورماتور را محاسبه کند.
- ۴- قطر سیم قسمت‌های مختلف اتوترانسفورماتور را محاسبه کند.
- ۵- تعداد دور قسمت‌های مختلف اتوترانسفورماتور را محاسبه کند.
- ۶- یک اتوترانسفورماتور یک فاز را براساس نیاز بازار محاسبه و سیم‌بجی و آزمایش کند.

۵- اتوترانسفورماتور

در این است که ترانسفورماتورهای معمولی دو سیم‌پیچ اولیه و ثانویه‌ی مجزا از یک‌دیگر دارند اما در اتوترانسفورماتور سیم‌پیچ مربوط به ولتاژ کم تر حذف شده است و به جای آن از قسمتی از سیم‌پیچ مربوط به ولتاژ بیش‌تر استفاده می‌شود.

در شکل ۱-۵ الف یک ترانسفورماتور با دو سیم‌پیچ جداگانه و در شکل ۱-۵ ب همان ترانسفورماتور با سیم‌پیچ‌های مشترک نشان داده شده است. در این شکل، ولتاژ اولیه از ولتاژ خروجی بیش‌تر است. در شکل ۱-۵ پ اتوترانسفورماتوری را می‌بینید که ولتاژ ثانویه‌ی آن از ولتاژ اولیه‌اش بیش‌تر است. در ترانسفورماتورهای صرفه‌ای، دو سیم‌پیچ از نظر الکتریکی با یک‌دیگر در ارتباط هستند و لذا نمی‌توان از آن‌ها

۱-۵ اتوترانسفورماتور (ترانسفورماتور صرفه‌ای)

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

تفاوت ترانسفورماتورهای معمولی با اتوترانسفورماتور

ظاهری $(U_1 - U_2)I_1$ است. این دو قدرت با یک دیگر برابرند و هسته‌ی آهن ترانسفورماتور بر مبنای یکی از آن‌ها محاسبه می‌شود.

بنابراین:

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

$$P_{S_2} = U_2 \times I_2$$

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

با استفاده از رابطه‌ی $P_2 \approx P_1 = U_1 \times I_1$ نیز می‌توان

نوشت:

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

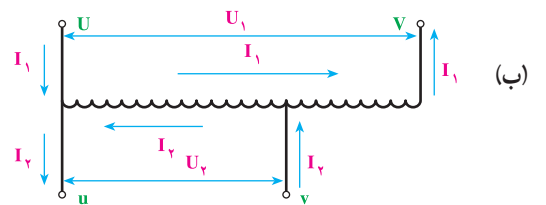
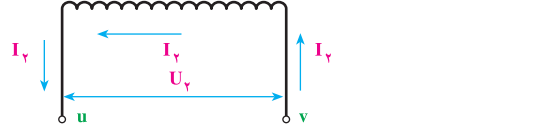
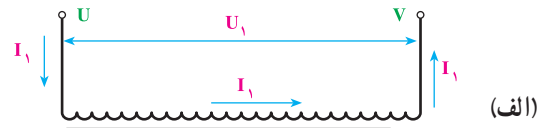
اگر U_1 از U_2 کوچک‌تر باشد (مانند شکل ۵-۱ پ) رابطه‌ی بالا به صورت زیر درمی‌آید.

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

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. در نتیجه، برای ساختن ترانسفورماتورهایی که تفاوت ولتاژ اولیه و ثانویه‌ی آن‌ها کم است، استفاده از این روش بسیار با صرفه خواهد بود؛ زیرا علاوه بر قیمت ارزان، تلفات الکتریکی آن نیز از ترانسفورماتور با دو سیم بیچ جداگانه کم‌تر خواهد شد.

با مشخص کردن 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 این جا برای پیدا کردن چگالی جریان از جدول ۲-۲ به جای P_2 ، قدرت تیپ (P_T) را در نظر می‌گیریم.

برای مثال، در یک اتوترانسفورماتور با ولتاژ خروجی 15° ولت و قدرت ۳ کیلوولت آمپر و ولتاژ ورودی 22° ولت، قدرتی که باید برای محاسبه‌ی سطح مقطع آهن (قدرت تیپ) به دست آید برابر است با:



شکل ۵-۱- تفاوت ترانسفورماتور و اتوترانسفورماتور

به عنوان ترانسفورماتور حفاظت، حتی در ولتاژهای کم استفاده کرد.

قدرتی که هسته‌ی آهن ترانسفورماتورهای صرفه‌ای بر مبنای آن حساب می‌شود، با قدرت خروجی یا ورودی تفاوت دارد و از آن‌ها کم‌تر است. محاسباتی که در این جا بیان می‌شود تنها برای به دست آوردن قدرتی است که برای محاسبه‌ی هسته باید از آن استفاده کرد. به این 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.

همان‌طور که در شکل ۵-۱ ب مشاهده می‌کنید، از قسمت $u-v$ سیم بیچ که به بار وصل می‌شود و دارای اختلاف پتانسیل U_2 است، جریان $I_2 - I_1$ و در جهت I_2 عبور می‌کند. در حالی که از قسمت $v-v$ که دارای اختلاف پتانسیل $U_1 - U_2$ است، جریان I_1 عبور می‌کند.

بنابراین، قسمت $u-v$ سیم بیچ که از آن به عنوان ثانویه نیز استفاده می‌شود، دارای قدرت ظاهری $U_2 \times (I_2 - I_1)$ و باقی مانده‌ی سیم بیچ - یعنی قسمت $v-v$ - دارای قدرت

بدین ترتیب، این اتوترانسفورماتور دارای سطح مقطع آهن

$$S_{Fe} = 1/2 \sqrt{954} = 37 \text{ cm}^2$$

است و سطح مقطع سیم قسمت مشترک سیم پیچ اولیه و ثانویه باید بر مبنای جریان $6/37 = 0.162$ (۱۳/۶۳-۲۰) آمپر و قسمت بعدی - که فقط جریان اولیه از آن عبور می کند - بر مبنای $13/63$ آمپر محاسبه شود.

با دقت در این مثال، متوجه می شوید 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 قابل تنظیم نیز از این روش استفاده می شود.

$$P_{ST} = P_{S2} \cdot \frac{U_1 - U_2}{U_1}$$

$$P_{ST} = 3000 \cdot \frac{220 - 150}{220} = 954 \text{ VA}$$

جریان های اولیه و ثانویه ی آن نیز با فرض $P_{S1} = P_{S2}$

برابر است با:

$$I_1 = \frac{P_{S1}}{U_1} = \frac{3000}{220} = 13.63 \text{ A}$$

$$I_2 = \frac{P_{S2}}{U_2} = \frac{3000}{150} = 20 \text{ A}$$

مطالعه ی آزاد

۲-۵ - ترانسفورماتورهای جوشکاری

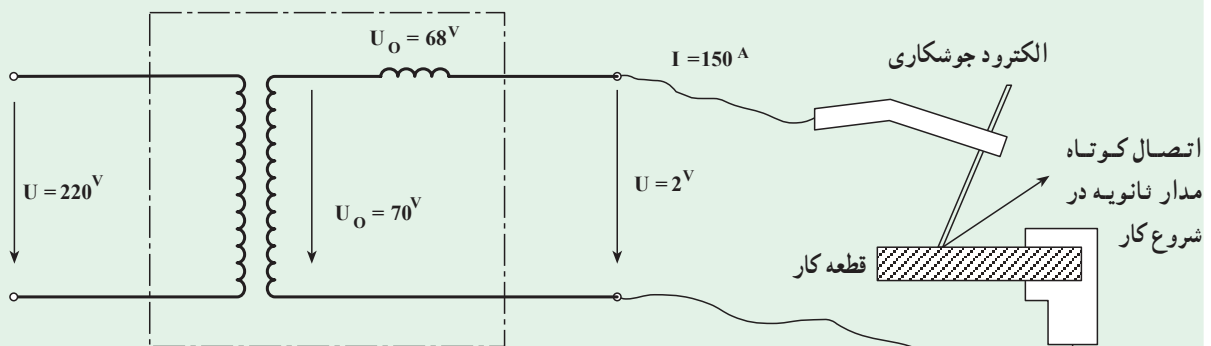
یکی از روش های جوشکاری فلزات، استفاده از حرارتی است که توسط قوس الکتریکی ایجاد می شود.

برای تشکیل قوس الکتریکی می توان از ترانسفورماتور استفاده کرد.

ترانسفورماتورهایی که در جوشکاری از آنها استفاده می شود، باید علاوه بر داشتن خصوصیات یک ترانسفورماتور معمولی، سیستمی برای تغییر جریان ثانویه و هم چنین کاهش ولتاژ کار داشته باشند. بنابراین، علاوه بر مطالب گفته شده در مورد ساخت ترانسفورماتورها، لازم است به نکات زیر نیز توجه کنیم.

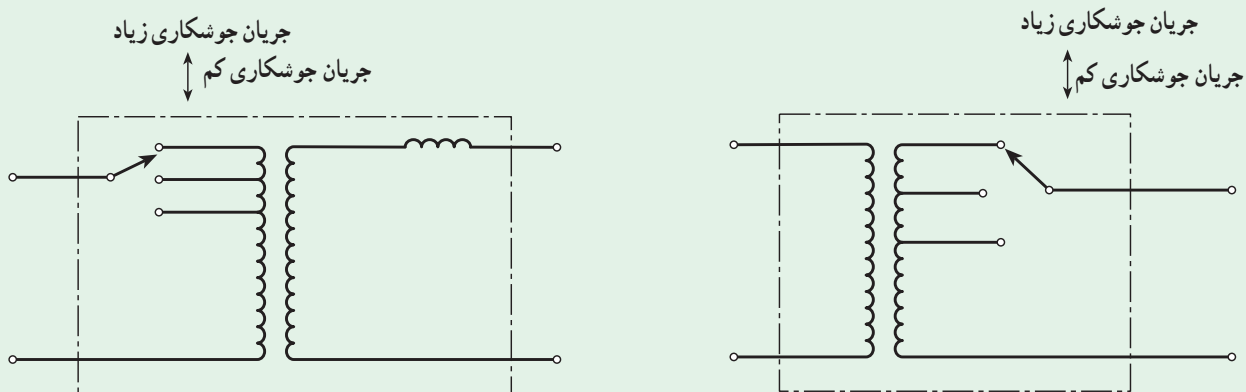
ولتاژ ترانسفورماتور جوشکاری در حالت بی باری نباید از 70° ولت بیش تر باشد. پس از ایجاد قوس الکتریکی، این ولتاژ باید تنزل کند. به طوری که حداکثر مقدار آن 30° ولت باشد. مدار ثانویه ی ترانسفورماتورهای جوشکاری، در هنگام تولید جرقه برای ایجاد قوس الکتریکی به صورت اتصال کوتاه در می آید. برای این که ترانسفورماتور در این حالت صدمه نبیند، باید یک سلف را با مدار ثانویه به صورت سری قرار داد (شکل ۲-۵) یا این که 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.

ترانسفورماتور جوش



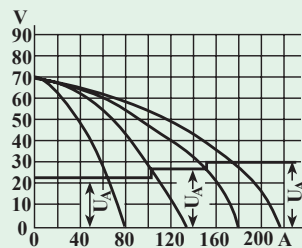
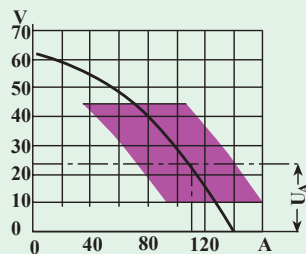
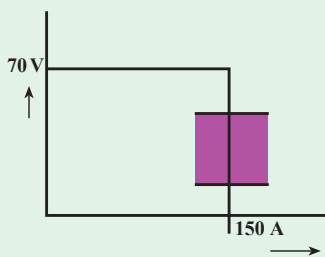
شکل ۲-۵ - ترانسفورماتور جوشکاری در حین کار

همان طور که می دانیم برای جوشکاری قطعات مختلف باید جریان جوشکاری قابل تنظیم باشد. برای مثال، جهت افزایش آن باید ولتاژ ثانویه را افزایش داد. این عمل با کاهش تعداد دور سیم پیچ اولیه توسط یک کلید پله ای یا افزایش تعداد دور سیم پیچ ثانویه از طریق تغییر اتصال آن امکان پذیر می شود (شکل ۳-۵).



شکل ۳-۵- دو نوع ترانسفورماتور جوش متغیر

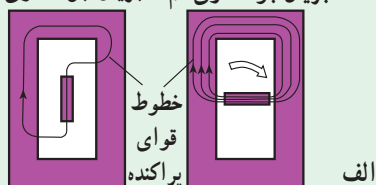
در این روش، نسبت تبدیل ترانسفورماتور تغییر می کند؛ بنابراین، ولتاژ بی باری آن نیز تغییر خواهد کرد. برای این که با تغییر جریان جوشکاری، ولتاژ حالت بی باری تغییر نکند، می توان نسبت تبدیل ترانسفورماتور را تغییر داد و در عوض، با ایجاد افت ولتاژ در ثانویه، ولتاژ خروجی را در حالت کار پایین آورد. بنابراین، در ولتاژ بی باری ثابت با زیاد کردن افت ولتاژ، جریان جوشکاری کاهش می یابد و با کم کردن آن، جریان جوشکاری افزایش می یابد. (منحنی ۱-۵).



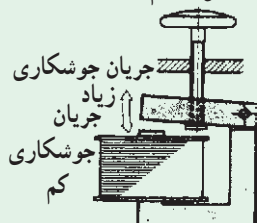
منحنی ۱-۵- ترانسفورماتورهای مختلف

خطوط قوای پراکندگی قابل تنظیم

جریان جوشکاری کم جریان جوشکاری زیاد



سلف قابل تنظیم



شکل ۴-۵

افت ولتاژ را می توان با تغییر مقاومت داخلی ترانسفورماتور جوشکاری به وسیله یک سلف قابل تنظیم یا یوخی - که مقدار پراکندگی را تغییر می دهد - به دست آورد. در شکل های ۴-۵ و ۵-۴ روش عمل تغییر فوران 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 سیستم های دیگری مانند به کار بردن جریان مستقیم و غیره انجام گیرد.

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 13° آمپر در زیر آمده است. برای این که شما هنرجویان نیز بتوانید با حداقل وسایل این ترانسفورماتور را بسازید. تغییرات جریان ثانویه را به وسیله‌ی تغییر دادن تعداد دور سیم پیچ اولیه در پنج مرحله در نظر گرفته‌ایم.

مشخصات خارجی ترانسفورماتور

ولتاژ اولیه 220° ولت

قدرت ترانسفورماتور $3/2$ کیلوولت‌آمپر

کسینوس فی $5/5^\circ$

جریان ثانویه $40/130A$

اختلاف سطح بی‌باری $60V$

اختلاف سطح در هنگام جوشکاری 247

جریان نامی فیوز اولیه $15A$

سطح مقطع کابل اتصال به شبکه: $1/5$ میلی‌متر مربع

سطح مقطع کابل اتصال ثانویه به الکتروود و قطعه کار: 16 میلی‌متر مربع

قطر الکتروودهای جوشکاری: $3/25 - 2/5 - 1/5$ میلی‌متر

وزن تقریبی: 17 کیلوگرم

مشخصات سیم پیچ‌های اولیه و ثانویه

قطر سیم اولیه $d_1 = 1/9 \text{ mm}$

تعداد دور کل اولیه $N_1 = 425$ دور

طول سیم لاک‌ی لازم برای اولیه $I_1 = 100 \text{ m}$

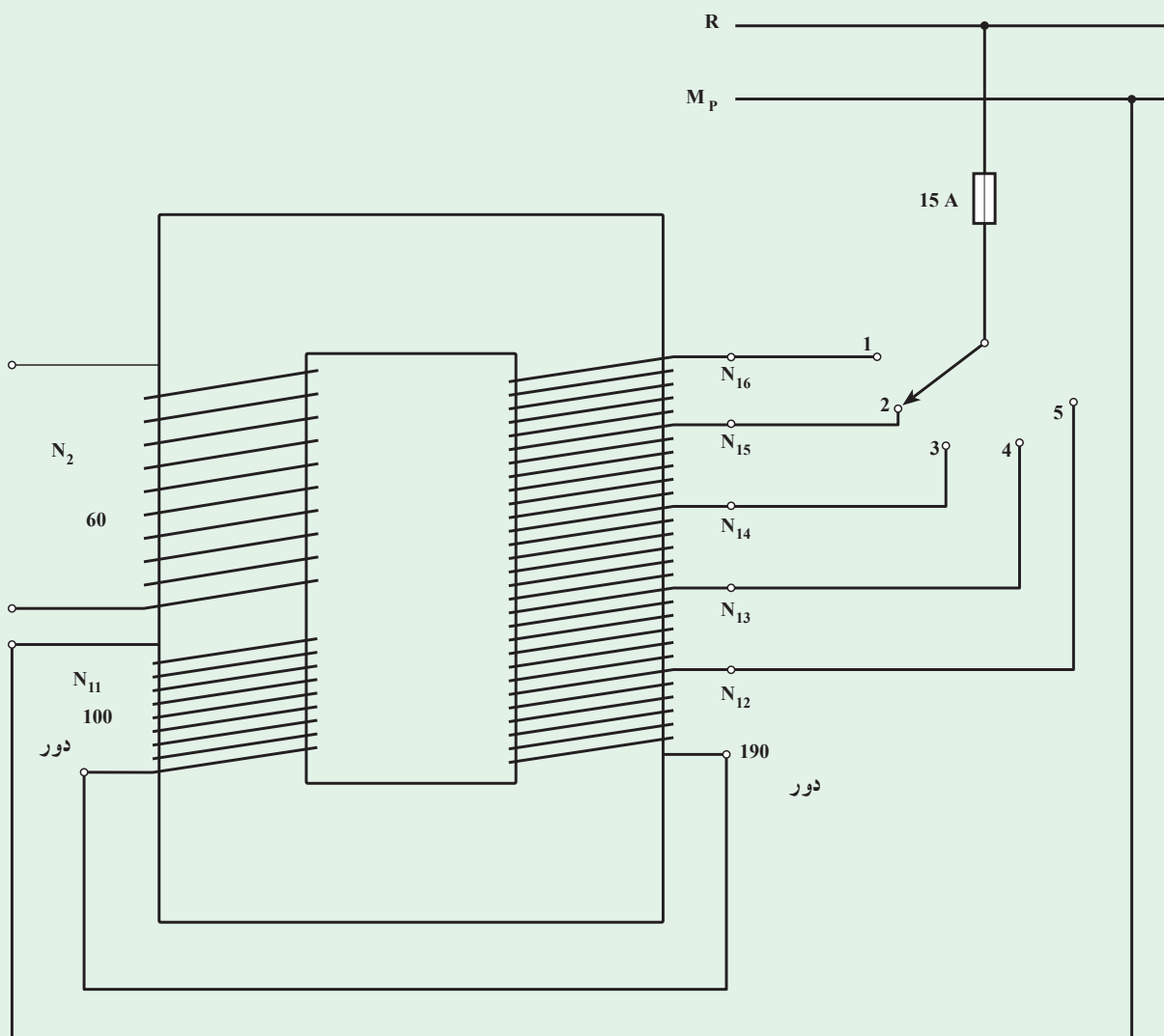
قطر سیم ثانویه $d_2 = 4 \text{ mm}$

تعداد دور ثانویه $N_2 = 68$ دور

طول سیم لاک‌ی لازم برای ثانویه $I_2 = 22 \text{ m}$

سیم پیچ اولیه از شش سیم پیچ با تعداد دورهای $N_{11} = 100$ و $N_{12} = 190$ و $N_{13} = 15$ و $N_{14} = 25$ و $N_{15} = 35$ و $N_{16} = 60$ که مجموع آن‌ها $N_1 = 425$ دور می‌شود، تشکیل شده است.

سیم پیچ‌های اولیه و ثانویه باید بر روی دو قرقره پیچیده شوند. بر روی یک قرقره قسمتی از سیم پیچ اولیه $N_{11} = 100$ دور و سیم پیچ ثانویه پیچیده شده و بر روی قرقره‌ی دوم نیز سایر سیم پیچ‌های مربوط به اولیه پیچیده می‌شوند. بنابراین، در روی یک قرقره باید $325 - 100 = 425$ دور از سیم $d_1 = 1/9 \text{ mm}$ پیچیده شده و به ترتیب در دورهای اول و 190 و 205 و 230 و 265 و 325 ، یک سر از قرقره خارج شود. چگونگی خارج شدن سرها و سیم پیچ‌هایی که باید بر روی هر یک از دو قرقره پیچیده شوند، در شکل ۵-۵ نشان داده شده است.

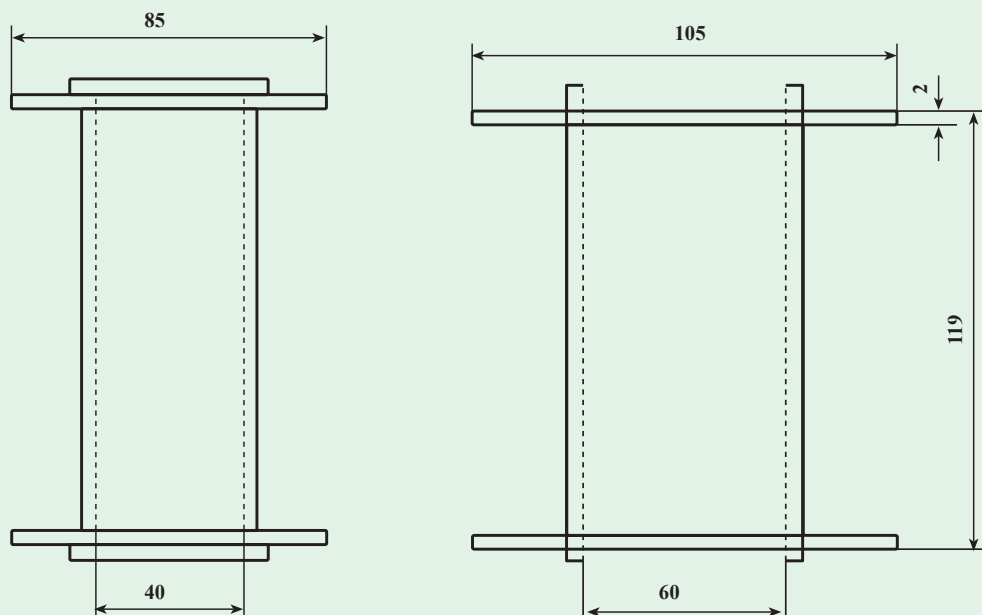


شکل ۵-۵- ترانسفورماتور متغیر

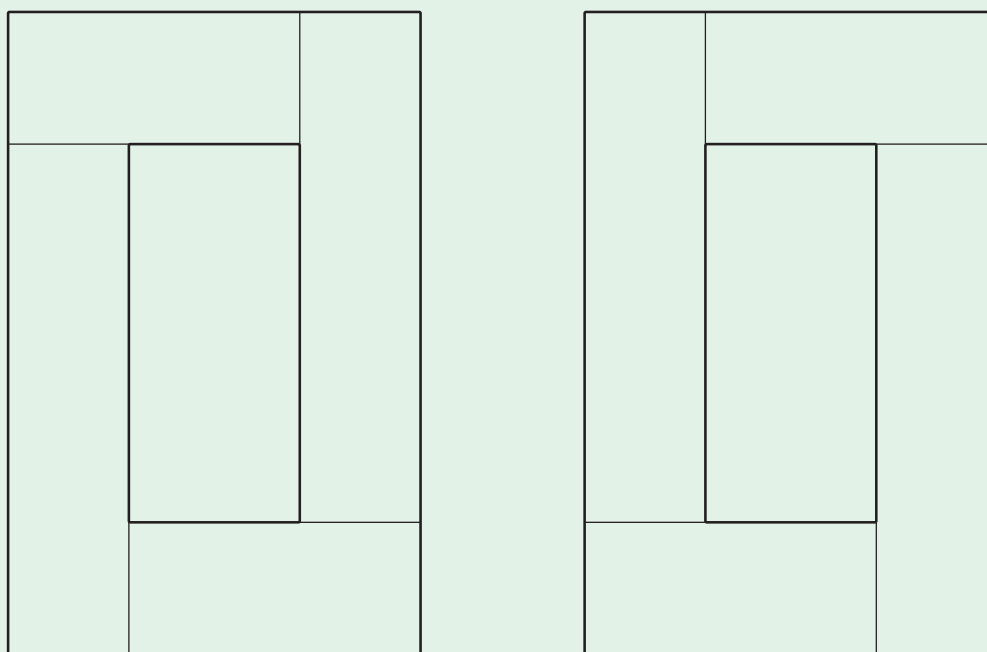
اندازه‌ی ورقه‌های دیناموبلش و قرقره: ورقه‌های آهن که در این ترانسفورماتور از آن استفاده می‌شود، به شکل مستطیل و در دو اندازه‌ی ۴۰×۱۶۰ و ۴۰×۹۰ میلی‌متر است تا با کنار هم قرار دادن آن‌ها، یک مدار بسته ایجاد شود. سطح آهن مورد نیاز ۲۴۰۰ میلی‌متر مربع است و بنابراین، ارتفاع ورقه‌ها برابر با $h = \frac{۲۴۰۰}{۴۰}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

در شکل ۶-۵ دو نمای قرقره نشان داده شده است. طراحی هر یک از اجزای تشکیل‌دهنده‌ی قرقره، به‌عهدی شما هنرجویان عزیز است.

اگر در این ترانسفورماتور از ورقه‌های دینامو به ضخامت $۰/۳۵$ میلی‌متر استفاده کنیم، تعداد ورقه‌های مورد نیاز برای هر بازو $۱۷۱ = ۳۵ / ۰/۶۰$ قطعه است. چون هر دو بازوی روبه‌رو مشابه یک دیگرند، در مجموع تعداد ۳۵۴ قطعه به هر یک از اندازه‌های ذکر شده، مورد نیاز است. طبقه‌ی چیدن و قرار دادن ورقه‌ها در داخل قرقره بر روی یک دیگر مانند شکل ۷-۵ است.



شکل ۵-۶- دو نمای قرقره



شکل ۵-۷- 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 محکم کردن ورقه‌های دیناموبلش در داخل قرقره و جلوگیری از پاشیدگی آن‌ها، می‌توان از بست- که طراحی آن به عهده‌ی خود هنرجویان است - 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 سر ثانویه و ولتاژ اولیه 220V و ولتاژهای ثانویه 230V ، 110V و 240V با قدرت 10KVA را محاسبه و سیم‌پیچی کنید.

کار عملی ۷

ترانسفورماتور کار عملی ۶ را از نظر بی‌باری و اتصال کوتاه و بارگذاری آزمایش کنید و نتایج به دست آمده را بررسی نمایید.