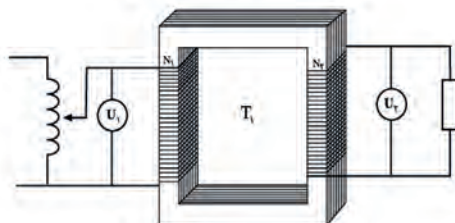
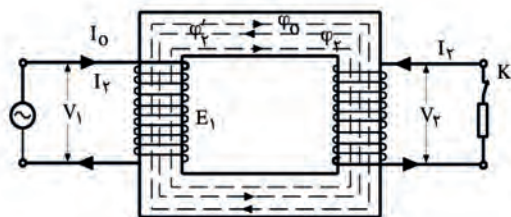


## پودمان دوم

تحلیل ماشین‌های الکتریکی (ترانسفورماتورهای تک فاز)



## واحد یادگیری ۱

### آیامی دانید

- ۱- چرا ولتاژ تولیدی نیروگاه توسط ترانسفورماتور افزایشده، افزایش می یابد؟
- ۲- آزمایش بی باری و اتصال کوتاه ترانسفورماتور معرف چه متغیرهایی است؟
- ۳- تفاوت ترانسفورماتور و اتوترانسفورماتور چیست؟

پس از پایان این پودمان هنرجویان قادر خواهند بود تحلیل رفتار ترانسفورماتورهای تک فاز را در حالت بی باری و اتصال به بار بررسی و با روابط اساسی آن کمیت های ترانسفورماتور را تحلیل نمایند.

استاندارد  
عملکرد



## ۱-۲- مقدمه

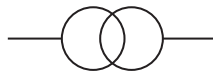
زندگی روزمره انسان به استفاده از انرژی الکتریکی وابسته است. لوازم خانگی و صنعتی با انرژی الکتریکی کار می‌کنند. انرژی الکتریکی در نیروگاه‌های برق تولید می‌شود. معمولاً نیروگاه‌های تولید انرژی الکتریکی در فواصل دورتری از مصرف‌کننده‌های انرژی الکتریکی قرار دارند. ولتاژ مصرف‌کننده‌های انرژی الکتریکی به مراتب کمتر از ولتاژ تولیدکننده‌های انرژی الکتریکی می‌باشند. برای تبدیل ولتاژ انرژی الکتریکی به مقدار مطلوب از ترانسفورماتور استفاده می‌شود (شکل ۱).

شبکه‌های انتقال، انرژی الکتریکی را از نیروگاه به پست‌های برق می‌رسانند. برای کاهش تلفات انرژی در شبکه‌های انتقال، ولتاژ شبکه انتقال در محل نیروگاه توسط ترانسفورماتور افزایش می‌یابد سپس در پست برق مجدداً ولتاژ را توسط ترانسفورماتور کاهش می‌دهند.



شکل ۱- تصویر ترانسفورماتور قدرت

علامت اختصاری ترانسفورماتور در نقشه‌های الکتریکی در (شکل ۲) نشان داده شده است.



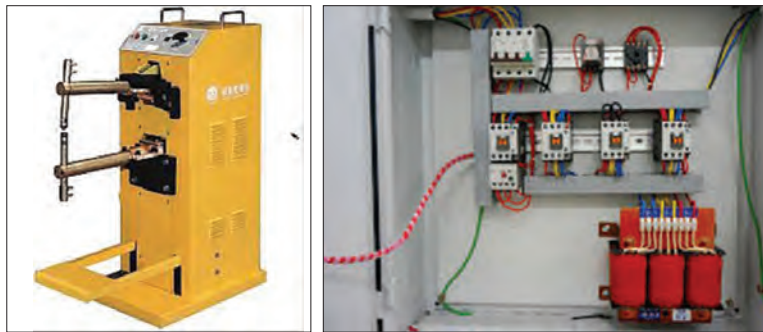
شکل ۲- شمای فنی ترانسفورماتور

در خطوط انتقال انرژی الکتریکی، ترانسفورماتور، ولتاژ را افزایش می‌دهد در نتیجه جریان کاهش می‌یابد با کاهش جریان تلفات خطوط انتقال کم می‌شود (شکل ۳).



شکل ۳- پست تقویت ولتاژ

همچنین در صنعت از ترانسفورماتور برای افزایش یا کاهش ولتاژ در مواردی همچون تابلوهای برق صنعتی، راه‌اندازی موتورهای القایی، کوره‌های القایی، جوشکاری و دستگاه نقطه جوش استفاده می‌شود (شکل ۴).

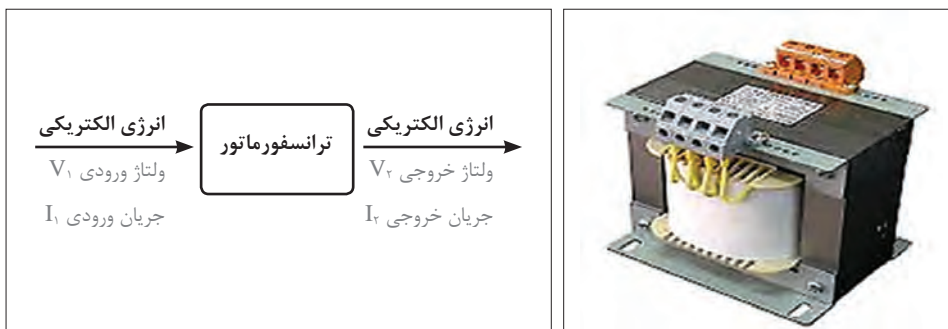


شکل ۴- کاربرد ترانسفورماتور در صنعت

## ۲-۲- ترانسفورماتور

ترانسفورماتور ماشین الکتریکی است که بدون تغییر در نوع انرژی ولتاژ را تبدیل می‌کند. این ماشین در فرایند تبدیل ولتاژ، انرژی الکتریکی دریافتی را به انرژی مغناطیسی و سپس انرژی مغناطیسی را به انرژی الکتریکی تبدیل می‌نماید.

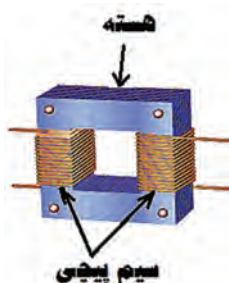
ترانسفورماتور با جریان متناوب کار می‌کند و اساس کار آن قانون القای الکترومغناطیس فاراده می‌باشد. ترانسفورماتور ولتاژ و جریان ورودی ( $V_1$  و  $I_1$ ) را در خروجی به ولتاژ جریان  $V_2$  و  $I_2$  تبدیل می‌کند. در این تبدیل ترانسفورماتور فرکانس را تغییر نمی‌دهد (شکل ۵).



شکل ۵- ترانسفورماتور و ورودی و خروجی آن

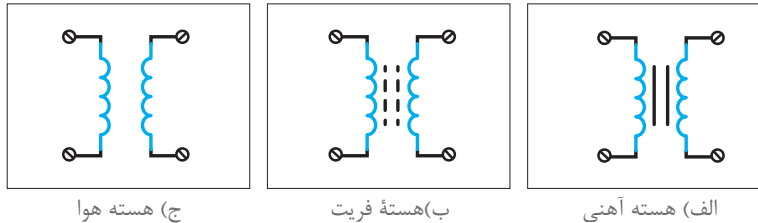
## ۲-۳- ساختمان ترانسفورماتور

ترانسفورماتور از دو سیم‌پیچ که بر روی یک هسته قرار دارند تشکیل شده است (شکل ۶).



شکل ۶- ساختمان ترانسفورماتور

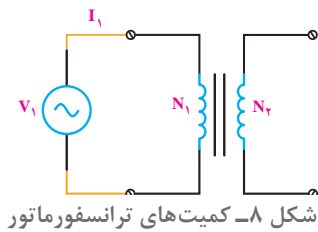
سیم‌پیچ‌های ترانسفورماتور از جنس مس یا آلومینیوم می‌باشند در ولتاژهای زیاد از سیم با مقطع گرد استفاده می‌شود و در جریان‌های زیاد سیم با مقطع چهارگوش به کار می‌رود. هسته ترانسفورماتور از جنس آهن، فریت و هوا می‌باشد. از هسته‌های آهنی در فرکانس‌های ۵۰ و ۶۰ هرتز استفاده می‌شود و در محدوده فرکانس‌های کیلوهرتز و مگاهرتز جنس هسته از فریت یا هوا انتخاب می‌شود. علامت اختصاری ترانسفورمورها با توجه به نوع هسته به کار رفته در (شکل ۷) نشان داده شده است.



شکل ۷- شمای فنی ترانسفورماتور با هسته‌های متفاوت

### ۱- سیم‌پیچی‌های ترانسفورماتور

سیم‌پیچی از ترانسفورماتور که به ولتاژ ورودی متصل می‌شود را «سیم‌پیچی اولیه<sup>۱</sup>» گویند و کمیت‌های آن را به صورت (شکل ۸) نشان می‌دهند.



شکل ۸- کمیت‌های ترانسفورماتور

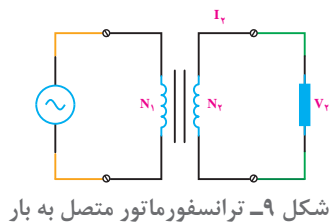
در این شکل:

$V_1$  ولتاژ اولیه

$I_1$  جریان اولیه

$N_1$  تعداد دور سیم‌پیچ اولیه است.

سیم‌پیچی از ترانسفورماتور که به مصرف‌کننده متصل می‌شود را «سیم‌پیچی ثانویه<sup>۲</sup>» گویند و کمیت‌های آن را به صورت (شکل ۹) نشان می‌دهند:



شکل ۹- ترانسفورماتور متصل به بار

در این شکل:

$V_r$  ولتاژ ثانویه

$I_2$  جریان ثانویه

$N_2$  تعداد دور سیم‌پیچ ثانویه است.

سطح مقطع هادی سیم پیچ‌های اولیه و ثانویه متناسب با جریان آنها انتخاب می‌شود لذا با افزایش جریان الکتریکی ترانسفورماتور سطح مقطع هادی سیم پیچ‌ها بزرگ تر در نظر گرفته خواهد شد. تعداد دور سیم پیچ‌های اولیه و ثانویه متناسب با ولتاژ آنها تعیین می‌شود لذا با افزایش ولتاژ تعداد دور سیم پیچ‌ها بیشتر در نظر گرفته خواهد شد.

سیم‌های مسی یا آلومینیومی سیم پیچی ترانسفورماتور دارای عایق شارلاک با ضخامت ۰/۵ و یا نوار کاغذی می‌باشند بدین ترتیب حلقه‌های سیم پیچی نسبت به یکدیگر عایق خواهند بود. حلقه‌های سیم پیچی اولیه و ثانویه در کنار یکدیگر و در چند لایه بر روی قرقره‌هایی از جنس ترموپلاست به‌طور مرتب پیچیده می‌شوند (شکل ۱۰).



شکل ۱۰- انواع قرقره ترانسفورماتور

**۲- هسته ترانسفورماتور:** هسته ترانسفورماتور مسیری برای عبور فوران مغناطیسی سیم پیچ‌های اولیه و ثانویه می‌باشد و ارتباط مغناطیسی بین سیم پیچ‌ها را برقرار می‌سازد.



شکل ۱۱- هسته ترانسفورماتور

هسته ترانسفورماتور از جنس مواد فرومغناطیس می‌باشد. مواد فرومغناطیس دارای ضریب نفوذ مغناطیسی زیاد می‌باشد و به راحتی فوران مغناطیسی را از خود عبور می‌دهد. آهن بدون آلیاژ، فولاد الکتریکی، آهن با آلیاژ نیکل و فریت‌ها جزء مواد فرومغناطیس می‌باشند. هسته فریت به صورت یکپارچه و هسته‌های آهنی به صورت ورقه ورقه می‌باشد.

## ۲-۲ انواع ترانسفورماتور

ترانسفورماتور یک مبدل ولتاژ است و با مقایسه ولتاژ ثانویه و اولیه ترانسفورماتور، آن را به سه دسته تقسیم بندی می‌کنند:

- ۱- ترانسفورماتور افزایشده
- ۲- ترانسفورماتور کاهشده
- ۳- ترانسفورماتور یک به یک

ترانسفورماتوری که ولتاژ ثانویه از ولتاژ اولیه بزرگتر باشد را ترانسفورماتور افزایش‌دهنده گویند. یعنی :

$$(V_2 > V_1)$$

در ترانسفورماتور افزایش‌دهنده تعداد حلقه‌های سیم‌پیچ ثانویه بیشتر از تعداد حلقه‌های سیم‌پیچ اولیه می‌باشد.

ترانسفورماتوری که ولتاژ ثانویه از ولتاژ اولیه کوچک‌تر باشد را ترانسفورماتور کاهش‌دهنده گویند. یعنی:

$$(V_2 < V_1)$$

در ترانسفورماتور کاهش‌دهنده تعداد حلقه‌های سیم‌پیچ ثانویه کمتر از تعداد حلقه‌های سیم‌پیچ اولیه می‌باشد.

ترانسفورماتوری که ولتاژ ثانویه با ولتاژ اولیه برابر باشد را ترانسفورماتور یک به یک گویند. یعنی:

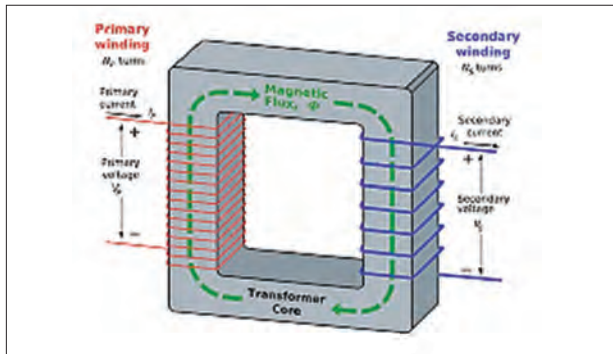
$$(V_2 = V_1)$$

در ترانسفورماتور یک به یک تعداد حلقه‌های سیم‌پیچ ثانویه برابر با تعداد حلقه‌های سیم‌پیچ اولیه می‌باشد.

سمتی از ترانسفورماتور که ولتاژ بیشتر دارد را «سمت فشار قوی» و سمتی از ترانسفورماتور که ولتاژ کمتر دارد را «سمت فشار ضعیف» می‌گویند.

سمت فشار قوی ترانسفورماتور را با H.V و سمت فشار ضعیف آن را با L.V نشان می‌دهند.

## ۵-۲ طرز کار ترانسفورماتور

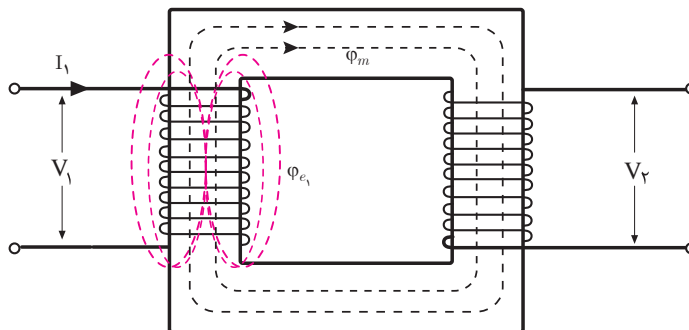


شکل ۱۲- فوران مغناطیسی در هسته ترانسفورماتور

با اتصال سیم‌پیچ اولیه به منبع ولتاژ متناوب سینوسی با مقدار مؤثر  $V_1$ ، جریان  $I_1$  در آن جاری می‌شود. با جاری شدن جریان  $I_1$  سیم‌پیچ اولیه فوران متناوب  $\Phi_1$  را تولید می‌کند. بخشی از فوران سیم‌پیچ اولیه که مسیر خود را از هسته برقرار می‌کند «فوران مغناطیس‌کننده» گویند و آن را با  $\Phi_m$  نشان می‌دهند (شکل ۱۲).

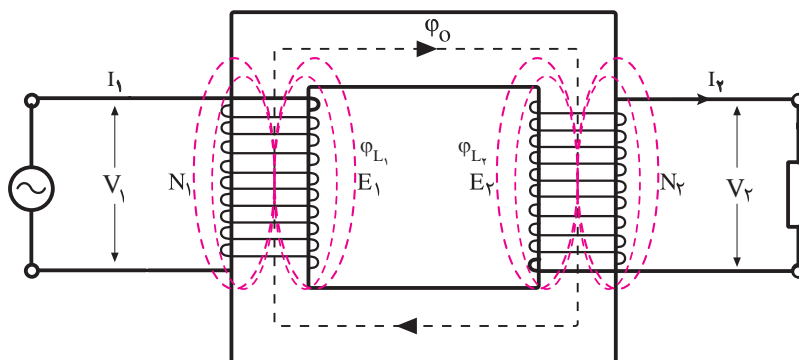
همه فوران سیم‌پیچ اولیه  $\Phi_1$  از هسته عبور نمی‌کند. بخشی از فوران سیم‌پیچ اولیه که مسیر خود را خارج از هسته برقرار می‌کند، «فوران نشتی»<sup>۱</sup> و یا «فوران پراکندگی» اولیه گویند و آن را با  $\Phi_{l1}$  نشان می‌دهند.

(شکل ۱۳).



شکل ۱۳- فوران مغناطیسی سیم‌پیچ اولیه

فوران مغناطیس کننده  $\Phi_m$  با طی مسیر هسته سیم پیچ های ثانویه و اولیه را قطع می کند و طبق قانون القای فاراده در سیم پیچی اولیه نیروی محرکه القایی  $E_1$  و در سیم پیچی ثانویه نیروی محرکه الکتریکی  $E_2$  را القا می کند. در ترانسفورماتور هیچ ارتباط الکتریکی بین سیم پیچ اولیه و ثانویه وجود ندارد و ارتباط آنها مغناطیسی است. ارتباط مغناطیسی سیم پیچ های اولیه و ثانویه با جاری شدن فوران از طریق هسته برقرار می شود. با اتصال مصرف کننده الکتریکی به ثانویه ترانسفورماتور نیروی محرکه الکتریکی  $E_2$  جریان متناوب  $I_2$  را در سیم پیچ ثانویه جاری می کند. با جاری شدن جریان  $I_2$  و عبور از مصرف کننده در دو سر آن ولتاژ  $V_2$  را ایجاد می کند. با جاری شدن جریان  $I_2$  سیم پیچ ثانویه فوران متناوب  $\Phi_2$  را تولید می کند. بخشی از فوران سیم پیچ ثانویه  $\Phi_2$  که مسیر خود را خارج از هسته برقرار می کند «فوران نشتی» و یا «فوران پراکندگی» ثانویه گویند و آن را با  $\Phi_{12}$  نشان می دهند (شکل ۱۴).



شکل ۱۴- فوران مغناطیسی سیم پیچ اولیه و ثانویه و پراکندگی

بخشی از فوران سیم پیچ ثانویه  $\Phi_2$  مسیر خود را از هسته برقرار می کند که جهت آن طبق قانون لنز مخالف جهت فوران مغناطیس کننده  $\Phi_m$  است و باعث کاهش آن می شود. با کاهش فوران مغناطیس کننده مقدار نیروی محرکه القایی سیم پیچ اولیه کاهش می یابد و جریان سیم پیچ اولیه افزایش می یابد و کاهش فوران مغناطیسی هسته جبران می شود و بدین ترتیب ترانسفورماتور به صورت پایدار به کار خود ادامه می دهد. تأثیر جریان ثانویه بر جریان اولیه که منجر به تثبیت فوران مغناطیسی هسته به مقدار  $\Phi$  خواهد شد را «خود تنظیمی» ترانسفورماتور گویند.

### مقادیر نیروی محرکه القایی

مقادیر نیروی محرکه القایی  $E_1$  و  $E_2$  با توجه به قانون القای الکترومغناطیسی فاراده  $E = N \frac{\Delta\phi}{\Delta t}$  از روابط زیر به دست می آید:

$$E_1 = 4.44 N_1 \cdot B_m \cdot A \cdot f$$

$$E_2 = 4.44 N_2 \cdot B_m \cdot A \cdot f$$

در این روابط :

$E_1$  نیروی محرکه القایی سیم پیچ اولیه [v]

$E_2$  نیروی محرکه القایی سیم پیچ ثانویه [v]

$N_1$  تعداد حلقه های سیم پیچ اولیه



$N_2$  تعداد حلقه‌های سیم‌پیچ ثانویه  
 $B_m$  ماکزیمم چگالی فوران مغناطیسی هسته [T]  
 $A$  سطح مقطع هسته [m<sup>2</sup>] است.

مثال



ترانسفورماتوری دارای یک هسته با سطح مقطع ۴۰۰ میلی‌متر مربع است. اگر تعداد دور سیم‌پیچ ثانویه آن برابر ۱۶۰۰ دور باشد و حداکثر چگالی میدان مغناطیسی در هسته ۱/۸ تسلا باشد نیروی محرکه القایی سیم‌پیچی در فرکانس ۵۰ هرتز چند ولت است؟

$$E_2 = 4/44 N_2 . B_m . A . f$$

$$E_2 = 4/44 \times 1600 \times 1/8 \times 400 \times 10^{-6} \times 50 = 255 / 744 \text{ V}$$

### نسبت تبدیل ترانسفورماتور

نسبت تعداد حلقه‌های سیم‌پیچ اولیه به تعداد حلقه‌های سیم‌پیچ ثانویه ترانسفورماتور را «نسبت تبدیل» گویند و با  $a$  نشان می‌دهند و از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$a = \frac{N_1}{N_2}$$

نسبت تعداد حلقه‌های سیم‌پیچ ثانویه به تعداد حلقه‌های سیم‌پیچ اولیه ترانسفورماتور را «ضریب تبدیل» گویند و با  $K$  نشان می‌دهند و از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$K = \frac{N_2}{N_1}$$

رابطه بین  $a$  و  $K$  به صورت زیر است:

$$a = \frac{1}{K}$$

برای محاسبه نسبت تبدیل از رابطه زیر نیز استفاده می‌شود:

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} = a$$

فعالیت



رابطه  $\frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} = a$  را به دست آورید.



یک ترانسفورماتور با تعداد حلقه‌های سیم‌پیچ اولیه  $1250$  و ثانویه  $125$  دور مفروض است. اگر نیروی محرکه القایی اولیه  $250$  ولت باشد مطلوب است:

الف) ضریب تبدیل

ب) نسبت تبدیل

ج) نیروی محرکه القایی ثانویه

$$k = \frac{N_2}{N_1} = \frac{125}{1250} = \frac{1}{10}$$

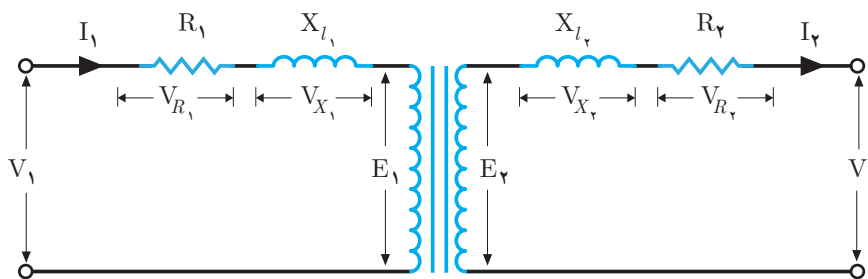
$$a = \frac{1}{k} = \frac{1}{\frac{1}{10}} = 10$$

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} \rightarrow \frac{250}{E_2} = \frac{1250}{125}$$

$$E_2 = 25 [V]$$

### افت ولتاژ ترانسفورماتور

افت ولتاژ ترانسفورماتور ناشی از مقاومت اهمی و فوران پراکندگی سیم‌پیچ‌های اولیه و ثانویه می‌باشد. افت ولتاژ ناشی از مقاومت اهمی سیم‌پیچ‌ها را «افت ولتاژ اهمی» گویند و با  $V_R$  نشان می‌دهند. افت ولتاژ ناشی از فوران پراکندگی سیم‌پیچ‌ها را «افت ولتاژ پراکندگی» گویند و با  $V_X$  نشان می‌دهند. برای نشان دادن افت ولتاژ ناشی از فوران پراکندگی از یک سلف و برای نشان دادن افت ولتاژ اهمی از یک مقاومت استفاده می‌شود. مقدار افت ولتاژ فوران پراکندگی و افت ولتاژ اهمی به مقدار جریان سیم‌پیچ‌ها بستگی دارد لذا برای مدل کردن آنها از یک مدار RL که با سیم‌پیچ سری است استفاده می‌شود. (شکل ۱۵).



شکل ۱۵- افت ولتاژ در ترانسفورماتور

افت ولتاژ اهمی و پراکندگی سیم‌پیچ اولیه باعث می‌شود که نیروی محرکه القایی اولیه  $E_1$  مقداری کمتر از

ولتاژ سیم‌پیچ اولیه  $V_1$  داشته باشد همچنین افت ولتاژ اهمی و پراکندگی سیم‌پیچ ثانویه باعث ایجاد اختلاف بین نیروی محرکه القایی ثانویه  $E_2$  و ولتاژ سیم‌پیچ ثانویه  $V_2$  خواهد شد.  
اگر ثانویه ترانسفورماتور بدون مصرف‌کننده الکتریکی باشد ترانسفورماتور بی‌بار می‌باشد و جریانی در سیم‌پیچ ثانویه برقرار نمی‌شود و  $I_2=0$  خواهد بود در این صورت افت ولتاژ ناشی از پراکندگی و اهمی در ثانویه ایجاد نخواهد شد در نتیجه ولتاژ بدون بار<sup>۱</sup> ثانویه  $V_{NL}$  با نیروی محرکه القایی سیم‌پیچ ثانویه  $E_2$  برابر خواهد شد یعنی:

$$E_2 = V_{NL}$$

برای محاسبه افت ولتاژ ترانسفورماتور در اتصال به مصرف‌کننده‌های پس فاز و یا پیش فاز از ترسیم دیاگرام برداری ولتاژها و جریان‌ها استفاده می‌شود. از ترسیم دیاگرام برداری برای محاسبه افت ولتاژ ترانسفورماتور رابطه زیر به دست می‌آید:

$$\Delta V = V_R \cdot \cos \phi_2 \pm V_X \cdot \sin \phi_2$$

در این رابطه:

$\Delta V$  افت ولتاژ ترانسفورماتور

$V_R$  معادل افت ولتاژ اهمی اولیه و ثانویه

$V_X$  معادل افت ولتاژ فوران پراکندگی اول و ثانویه

$\cos \phi_2$  ضریب توان مؤثر مصرف‌کننده

علامت + برای مصرف‌کننده پس فاز و علامت - برای مصرف‌کننده پیش فاز است.

پس از محاسبه افت ولتاژ ترانسفورماتور برای به دست آوردن ولتاژ خروجی آن از رابطه زیر استفاده خواهد شد:

$$V_2 = V_{NL} - \Delta V$$

مثال

یک ترانسفورماتور که ولتاژ بدون مصرف‌کننده آن ۴۰۰ ولت است دارای افت ولتاژ اهمی ۱۰ ولت و پراکندگی ۲۰ ولت می‌باشد ولتاژ خروجی ترانسفورماتور در حالت‌های زیر چند ولت است؟

الف) مصرف‌کننده با ضریب توان مؤثر ۰/۸ پس فاز

$$\Delta V = V_R \cdot \cos \phi_2 \pm V_X \cdot \sin \phi_2$$

$$\Delta V = 10 \times 0.8 + 20 \times 0.6 = 20 \text{ [V]}$$

$$V_2 = 400 - 20 = 380 \text{ [V]}$$

ب) مصرف‌کننده با ضریب توان مؤثر ۰/۸ پیش فاز

$$\Delta V = V_R \cdot \cos \phi_2 \pm V_X \cdot \sin \phi_2$$

$$\Delta V = 10 \times 0.8 - 20 \times 0.6 = -4 \text{ [V]}$$

$$V_r = 400 - (-4) = 404 \text{ [V]}$$

ج) مصرف کننده با ضریب توان مؤثر ۱

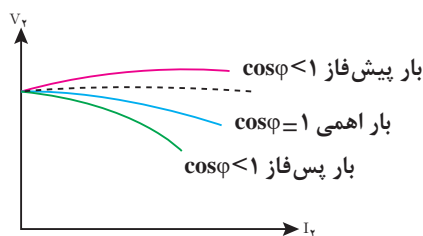
$$\Delta V = V_R \cdot \cos \phi_r \pm V_X \cdot \sin \phi_r$$

$$\Delta V = 10 \times 1 \pm 20 \times 0 = 10 \text{ [V]}$$

$$V_r = 400 - 10 = 390 \text{ [V]}$$

از مقایسه جوابها مشاهده می شود در ترانسفورماتور بارهای پس فاز افت ولتاژ بیشتری نسبت به بارهای اهمی و بارهای پیش فاز ایجاد می کنند.

ضریب توان مؤثر مصرف کننده  $\cos \phi$  در مقدار افت ولتاژ  $\Delta v$  تأثیر دارد مصرف کننده های اهمی افت ولتاژ اهمی ترانسفورماتور را افزایش می دهد و مصرف کننده های پس فاز افت ولتاژ پراکندگی ترانسفورماتور را به شدت افزایش می دهد در صورتی که مصرف کننده های پیش فاز افت ولتاژ پراکندگی ترانسفورماتور را کاهش می دهند. جریان و ضریب توان مؤثر مصرف کننده بر ولتاژ خروجی ترانسفورماتور اثر می گذارد. تأثیر جریان مصرف کننده بر ولتاژ خروجی در نمودار (شکل ۱۶) زیر نشان داده شده است:



شکل ۱۶- نمودار افت ولتاژ بارهای مختلف

## ۶-۲ تلفات ترانسفورماتور

در فرایند تبدیل ولتاژ توسط ترانسفورماتور بخشی از انرژی ورودی به حرارت تبدیل می شود و قابل استفاده نیست. مقداری از انرژی الکتریکی که در واحد زمان در ترانسفورماتور به حرارت تبدیل می شود « تلفات ترانسفورماتور » گویند. تلفات ترانسفورماتور را با  $\Delta P$  نشان می دهند و واحد آن وات است. تلفات ترانسفورماتور شامل تلفات هسته  $P_{core}$  و تلفات سیم پیچی ها  $P_{cu}$  می باشد و می توان نوشت:

$$\Delta P = P_{core} + P_{cu}$$

در یک ترانسفورماتور تلفات سیم پیچی و آهنی به ترتیب ۱۲۰۰ وات و ۸۰۰ وات می باشد، تلفات ترانسفورماتور را به دست آورید.

مثال



حل: تلفات ترانسفورماتور از جمع تلفات هسته و سیم پیچها به دست می آید.

$$\Delta P = P_{core} + P_{cu}$$

$$\Delta P = 800 + 1200 = 2000 \text{ [W]}$$

## الف) تلفات هسته

هسته وظیفه انتقال انرژی از اولیه به ثانویه ترانسفورماتور را دارد. در این فرایند بخشی از انرژی در هسته به حرارت تبدیل می‌شود. مقداری از انرژی که در واحد زمان در هسته به حرارت تبدیل می‌شود را تلفات هسته گویند. اگر جنس هسته ترانسفورماتور آهنی باشد تلفات هسته را اصطلاحاً تلفات آهنی گویند. تلفات هسته را با  $P_{core}$  نشان می‌دهند و واحد آن وات است.

تلفات هسته در فرکانس ثابت تابع مجذور ولتاژ اولیه ترانسفورماتور می‌باشد از آنجایی که ولتاژ اولیه ترانسفورماتور ثابت است مقدار تلفات هسته نیز ثابت خواهد بود از این رو تلفات هسته را «تلفات ثابت» نیز می‌گویند. تلفات هسته شامل تلفات فوکو  $P_f$  و تلفات هیستریزیس  $P_h$  می‌باشد و می‌توان نوشت:

$$P_{core} = P_f + P_h$$

### ۱- تلفات هیستریزیس

با اتصال ترانسفورماتور به ولتاژ متناوب، فوران مغناطیسی در هسته جاری می‌شود. جهت فوران مغناطیسی متناوب در هر نیم سیکل تغییر خواهد کرد. مقداری از انرژی که در واحد زمان صرف تغییر جهت فوران مغناطیسی می‌شود را «تلفات هیستریزیس» گویند. تلفات هیستریزیس را با  $P_h$  نشان می‌دهند و واحد آن وات است.

تلفات هیستریزیس تابع ماکزیمم چگالی میدان مغناطیسی  $B_m$  و فرکانس ولتاژ  $f$  و حجم هسته می‌باشد و برای کاهش تلفات هیستریزیس جنس هسته را از مواد فرو مغناطیسی با ضریب نفوذ مغناطیسی زیاد انتخاب می‌کنند.

### ۲- تلفات فوکو

فوران مغناطیسی متناوب در ترانسفورماتور ضمن اینکه در سیم‌پیچ‌های اولیه و ثانویه طبق قانون القای فاراده نیروی محرکه الکتریکی القاء می‌کند در هسته ترانسفورماتور نیز باعث القای نیروی محرکه الکتریکی خواهد شد. هسته ترانسفورماتور علاوه بر نفوذپذیری مغناطیسی دارای هدایت الکتریکی نیز می‌باشد لذا نیروی محرکه القایی در هسته جریان القایی جاری می‌کند که به آن «جریان فوکو» گویند. نیروی محرکه القایی هسته در آن جریان فوکو را جاری می‌کند. مقداری از انرژی که در واحد زمان ناشی از جریان‌های فوکو در هسته به حرارت تبدیل می‌شود را «تلفات فوکو» گویند و آن را با  $P_f$  نشان می‌دهند و واحد آن وات است. تلفات فوکو تابع ماکزیمم چگالی میدان مغناطیسی  $B_m$  و فرکانس ولتاژ  $f$  می‌باشد. برای کاهش تلفات فوکو باید مقاومت الکتریکی هسته را افزایش داد تا مقدار جریان فوکو کاهش یابد.

در ترانسفورماتور با هسته آهنی برای کاهش تلفات فوکو هسته را از ورقه‌هایی که نسبت به یکدیگر عایق شده‌اند انتخاب می‌کنند.

برای کنار هم قراردادن ورقه‌های هسته و محکم کردن آنها به چه نکاتی باید توجه کرد؟

فعالیت



مثال



تلفات هسته ترانسفورماتوری ۴۰ وات است اگر تلفات فوکو ۲۵ وات باشد مقدار تلفات هیستریزیس را به دست آورید.

حل:

$$\begin{aligned}P_{core} &= P_f + P_h \\40 &= 25 + P_h \\P_h &= 40 - 25 = 15 \text{ [W]}\end{aligned}$$

### ب) تلفات سیم پیچی

هادی سیم پیچی های ترانسفورماتور دارای مقاومت اهمی می باشد. با جاری شدن جریان، سیم پیچی های ترانسفورماتور گرم می شوند. مقداری از انرژی که در واحد زمان در سیم پیچی به حرارت تبدیل می شود را «تلفات سیم پیچی» گویند. از آنجایی که جنس هادی سیم پیچی ترانسفورماتورها غالباً از مس می باشد، تلفات سیم پیچی را «تلفات مسی» نیز می گویند. تلفات سیم پیچی را با  $P_{cu}$  نشان می دهند و واحد آن وات است. تلفات سیم پیچی اولیه و سیم پیچی ثانویه از روابط زیر به دست می آید:

$$P_{cu_1} = R_1 I_1^2$$

$$P_{cu_2} = R_2 I_2^2$$

در این روابط:

$P_{cu_1}$  تلفات سیم پیچی اولیه

$R_1$  مقاومت اهمی سیم پیچ اولیه

$I_1$  جریان اولیه

$P_{cu_2}$  تلفات سیم پیچی ثانویه

$R_2$  مقاومت اهمی سیم پیچ اولیه

$I_2$  جریان ثانویه می باشد.

تلفات سیم پیچی ترانسفورماتور از مجموع تلفات سیم پیچی های اولیه و ثانویه به دست می آید:

$$P_{cu} = P_{cu_1} + P_{cu_2}$$

و یا:

$$P_{cu} = R_1 I_1^2 + R_2 I_2^2$$

تلفات سیم پیچی ترانسفورماتور تابع مجذور جریان می باشد جریان های اولیه و ثانویه ترانسفورماتور تابع جریان بار است لذا با تغییر بار تلفات سیم پیچی تغییر خواهد کرد از این رو تلفات سیم پیچی را «تلفات متغیر» می گویند.

مقاومت اهمی سیم پیچی های اولیه و ثانویه یک ترانسفورماتور به ترتیب ۰/۱ و ۰/۲ اهم می باشد اگر جریان سیم پیچ اولیه ۲ آمپر و جریان سیم پیچ ثانویه ۱۰ آمپر باشد تلفات مسی چند وات است؟

مثال



حل:

$$P_{cu_1} = R_1 I_1^2 = 0.01 \times 2^2 = 0.04 \text{ [W]}$$

$$P_{cu_2} = R_2 I_2^2 = 0.2 \times 10^2 = 20 \text{ [W]}$$

$$P_{cu} = R_1 I_1^2 + R_2 I_2^2 = 0.04 + 20 = 20.04 \text{ [W]}$$

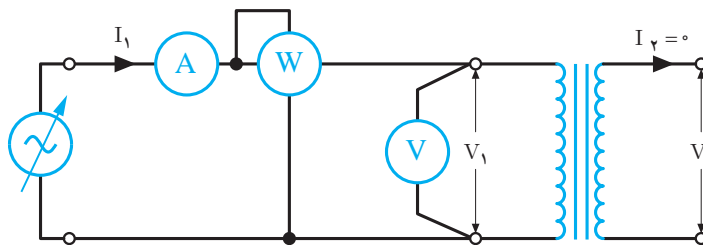
برای کاهش تلفات سیم‌پیچی ترانسفورماتور، باید مقاومت هادی سیم‌پیچی را کاهش داد. با توجه به رابطه  $R = \frac{1}{\kappa A}$  مقاومت اهمی تابع جنس، سطح مقطع و طول هادی می‌باشد. طول هادی متناسب با تعداد دور سیم‌پیچی است که به ازای ولتاژ مشخص محاسبه شده است و تغییر آن امکان‌پذیر نیست. اما با انتخاب مناسب جنس و سطح مقطع هادی می‌توان مقاومت اهمی را کاهش داد. به همین دلیل از هادی با ضریب هدایت الکتریکی زیاد مانند مس استفاده می‌شود همچنین سطح مقطع هادی را حتی‌الامکان افزایش می‌دهند تا مقاومت اهمی هادی سیم‌پیچ کاهش بیابد تا تلفات سیم‌پیچی ترانسفورماتور به حداقل برسد.

## ۲-۷- آزمایش ترانسفورماتور

آزمایش ترانسفورماتور با هدف اندازه‌گیری تلفات آن انجام می‌شود. برای اندازه‌گیری تلفات ترانسفورماتور از آزمایش بی‌باری و اتصال کوتاه استفاده می‌شود.

### الف) آزمایش بی‌باری

آزمایش بی‌باری<sup>۱</sup> با هدف اندازه‌گیری تلفات هسته انجام می‌شود. برای انجام آزمایش بی‌باری ثانویه ترانسفورماتور را بی‌بار می‌کنند و اولیه آن با وسایل اندازه‌گیری ولت‌متر، آمپر متر و وات‌متر به منبع ولتاژ متناوب متغیر متصل می‌شود. (شکل ۱۷).



شکل ۱۷- آزمایش بی‌باری ترانسفورماتور

ولتاژ منبع به تدریج افزایش داده می‌شود تا ولت‌متر ولتاژ نامی سیم‌پیچ اولیه را نشان دهد در این حالت آمپر متر جریان بی‌باری  $I_0$  و وات‌متر مجموع تلفات هسته و تلفات سیم‌پیچ اولیه را اندازه‌گیری می‌کنند. در آزمایش بی‌باری مقدار اندازه‌گیری شده توسط وات‌متر را با  $P_{oc}$  نشان می‌دهند.

$$P_{oc} = P_{cu_1} + P_{core}$$

با محاسبه تلفات سیم‌پیچ اولیه از رابطه  $P_{cu_1} = R_1 I_1^2$  تلفات هسته به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$P_{core} = P_{oc} - P_{cu_1}$$



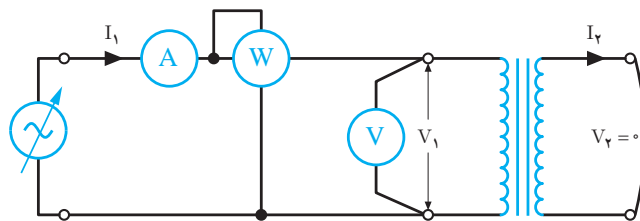
در آزمایش بی‌باری یک ترانسفورماتور وات‌متر ۱۵۰ وات را اندازه‌گیری می‌کند اگر تلفات مسی اولیه در این آزمایش ۱۰ وات باشد، تلفات هسته چند وات است؟

$$P_{\text{core}} = P_{\text{oc}} - P_{\text{cu}_1}$$

$$P_{\text{core}} = 150 - 10 = 140 \text{ [W]}$$

### ب) آزمایش اتصال کوتاه

آزمایش اتصال کوتاه<sup>۱</sup> با هدف اندازه‌گیری تلفات سیم‌پیچی انجام می‌شود. برای انجام آزمایش اتصال کوتاه ثانویه ترانسفورماتور را اتصال کوتاه می‌کنند و اولیه آن با وسایل اندازه‌گیری ولت‌متر، آمپر‌متر و وات‌متر به منبع ولتاژ متناوب متغیر متصل می‌شود. (شکل ۱۸).



شکل ۱۸- آزمایش اتصال کوتاه ترانسفورماتور

ولتاژ منبع به تدریج افزایش داده می‌شود تا آمپر‌متر جریان نامی سیم‌پیچ اولیه را نشان دهد در این حالت ولت‌متر ولتاژ اتصال کوتاه و وات‌متر مجموع تلفات سیم‌پیچ‌ها و تلفات هسته را اندازه‌گیری می‌کنند. در آزمایش اتصال کوتاه مقدار اندازه‌گیری شده توسط وات‌متر را با  $P_{\text{sc}}$  نشان می‌دهند.

$$P_{\text{sc}} = P_{\text{cu}_1} + P_{\text{cu}_2} + P_{\text{core}}$$

تلفات هسته ترانسفورماتور متناسب با مجذور ولتاژ اولیه آن است. ولتاژ اولیه در آزمایش اتصال کوتاه خیلی کمتر از ولتاژ نامی آن می‌باشد لذا از تلفات هسته در این آزمایش صرف‌نظر می‌شود بنابراین:

$$P_{\text{core}} \approx 0$$

$$P_{\text{sc}} = P_{\text{cu}_1} + P_{\text{cu}_2}$$

تلفات مسی که در آزمایش اتصال کوتاه اندازه‌گیری می‌شود  $P_{\text{sc}}$ ، تلفات مسی ترانسفورماتور به ازای بار نامی می‌باشد و آن را «تلفات مسی نامی» گویند و با  $P_{\text{cu}_n}$  نشان می‌دهند.

در صورت تغییر بار ترانسفورماتور تلفات مسی تغییر می‌کند و مقدار آن از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$\frac{P_{\text{cu}_n}}{P_{\text{cu}}} = \left( \frac{S_n}{S_r} \right)^2$$

در این رابطه:

$P_{\text{cu}_n}$  تلفات مسی نامی به ازای بار نامی  $S_n$   
 $P_{\text{cu}}$  تلفات مسی به ازای بار  $S_r$  است.



مثال



در آزمایش اتصال کوتاه یک ترانسفورماتور ۵ کیلوولت آمپری وات‌متر ۲۰۰ وات اندازه‌گیری کرده است. تلفات مسی به ازای بار ۲ کیلو ولت آمپری چند وات می‌شود؟

$$\frac{P_{cu_n}}{P_{cu}} = \left( \frac{S_n}{S_r} \right)^2$$

$$\frac{200}{P_{cu}} = \left( \frac{5}{2} \right)^2$$

$$P_{cu} = \frac{200}{6.25} = 32 \text{ [W]}$$

با محاسبه تلفات سیم‌پیچ اولیه از رابطه  $P_{cu_1} = R_1 I_1^2$  می‌توان تلفات سیم‌پیچ ثانویه را به صورت زیر محاسبه کرد:

$$P_{cu_2} = P_{sc} - P_{cu_1}$$

مثال



در آزمایش اتصال کوتاه یک ترانسفورماتور ۱ کیلوولت آمپری وات‌متر ۵۰ وات، ولت‌متر ۲۰ ولت و آمپر‌متر ۱۰ آمپر را اندازه‌گیری کرده‌اند اگر مقاومت سیم‌پیچی اولیه ترانسفورماتور ۰/۲ اهم باشد مطلوب است:

الف) تلفات مسی نامی

ب) تلفات مسی سیم‌پیچ اولیه

حل:

الف) در آزمایش اتصال کوتاه مقدار اندازه‌گیری شده توسط وات‌متر همان تلفات مسی نامی است.

$$P_{cu_n} = 50 \text{ [W]}$$

ب)

$$P_{cu_1} = R_1 I_1^2 = 0.2 \times 10^2 = 20 \text{ [W]}$$

تلفات مسی سیم‌پیچ ثانویه

$$P_{cu_2} = P_{sc} - P_{cu_1}$$

$$P_{cu_2} = 50 - 20 = 30 \text{ [W]}$$

## ۸-۲- راندمان ترانسفورماتور

راندمان ترانسفورماتور نسبت توان مؤثر خروجی  $P_{out}$  به توان مؤثر ورودی  $P_{in}$  می‌باشد و آن را با حرف  $\eta$  نشان می‌دهند. راندمان را به درصد بیان می‌کنند و از رابطه صفحه بعد به دست می‌آید:

$$\% \eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100$$

تلفات ترانسفورماتور  $\Delta P$  از اختلاف توان مؤثر ورودی و توان مؤثر خروجی به دست می‌آید.

$$\Delta P = P_{in} - P_{out}$$

تلفات ترانسفورماتور شامل تلفات هسته و تلفات سیم‌پیچی می‌باشد و از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$\Delta P = P_{core} + P_{cu}$$

مثال



یک ترانسفورماتور ۵ کیلوولت آمپری در آزمایش بی‌باری و اتصال کوتاه به ترتیب ۲۰۰ وات و ۴۰۰ وات مصرف کرده است. راندمان ترانسفورماتور در بار نامی و ضریب توان مؤثر ۰/۸ را به دست آورید.

حل:

در بار نامی  $S_p = S_n$  می‌باشد.

$$P_{out} = S_p \cdot \cos \phi = 5000 \times 0.8 = 4000 \text{ [W]}$$

از آزمایش بی‌باری تلفات هسته و از آزمایش اتصال کوتاه تلفات مسی به دست می‌آید.

$$\Delta P = P_{core} + P_{cu} = 2000 + 4000 = 6000 \text{ [W]}$$

$$\Delta P = P_{in} - P_{out}$$

$$6000 = P_{in} - 4000$$

$$P_{in} = 4000 + 6000 = 10000 \text{ [W]}$$

$$\% \eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100$$

$$\% \eta = \frac{4000}{10000} \times 100 = 40\%$$

بیشترین راندمان ترانسفورماتور در ضریب توان مؤثر ثابت را «راندمان ماکزیمم» گویند و آن را با  $\eta_{max}$  نشان می‌دهند. راندمان ماکزیمم به ازای بار نامی که در آن تلفات مسی با تلفات هسته برابر شود به دست می‌آید. تلفات هسته مقدار ثابتی دارد لذا برای ایجاد راندمان ماکزیمم با تغییر بار ترانسفورماتور تلفات مسی را به تلفات هسته می‌رسانند.

مثال



یک ترانسفورماتور ۵ کیلوولت آمپری در آزمایش بی‌باری و اتصال کوتاه به ترتیب ۲۰۰ وات و ۴۰۰ وات مصرف کرده است. راندمان ماکزیمم ترانسفورماتور به ازای چه بار نامی به دست می‌آید؟

حل: شرط ایجاد راندمان ماکزیمم  $P_{core} = P_{cu}$  می‌باشد.

$$P_{core} = P_{cu} = 2000$$

$$\frac{P_{cu_n}}{P_{cu}} = \left( \frac{S_n}{S_r} \right)^2$$

$$\frac{4000}{2000} = \left( \frac{S}{S_r} \right)^2$$

$$S_r = 3/54 \text{ KVA}$$

## ۹-۲- ترانسفورماتور ایده آل

ترانسفورماتور ماشین الکتریکی ساکن است که قسمت گردان ندارد. از این رو ترانسفورماتور در مقایسه با سایر ماشین‌های الکتریکی راندمان بیشتری دارد. با پیشرفت تکنولوژی، راندمان ترانسفورماتور به بیش از ۹۵٪ رسیده است لذا برای سادگی محاسبات، ترانسفورماتورهای قدرت را ایده آل در نظر می‌گیرند. «ترانسفورماتور ایده آل» ترانسفورماتوری است که:

۱- راندمان ۱۰۰٪ است. در نتیجه تلفات ترانسفورماتور صفر می‌باشد و توان ورودی و خروجی برابر خواهد شد و  $V_1 I_1 = V_2 I_2$  می‌باشد.

۲- فوران پراکندگی اولیه و ثانویه ایجاد نمی‌شود در نتیجه افت ولتاژ پراکندگی صفر خواهد شد.

۳- نیروی محرکه القایی سیم‌پیچ‌ها برابر ولتاژ آنها است

$$V_2 = E_2 \text{ و } V_1 = E_1$$

بین کمیت‌های الکتریکی ترانسفورماتور ایده آل رابطه زیر برقرار است:

$$a = \frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{I_2}{I_1}$$

از این رابطه فقط در تحلیل ترانسفورماتور ایده آل استفاده می‌شود و آن را «رابطه اساسی ترانسفورماتور ایده آل» می‌نامند.

فعالیت



رابطه اساسی ترانسفورماتور را به دست آورید.

مثال



یک ترانسفورماتور ایده آل ۲۲۰/۱۱۰ ولت ۱۰ آمپری با تعداد حلقه‌های سیم‌پیچ ثانویه ۵۵۰ دور مفروض است. جریان سیم‌پیچ اولیه و تعداد حلقه‌های آن را به دست آورید.

حل:

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{I_2}{I_1}$$

$$\frac{220}{110} = \frac{N_1}{550} \Rightarrow N_1 = \frac{550 \times 220}{110} = 1100$$

$$N_1 = 1100$$

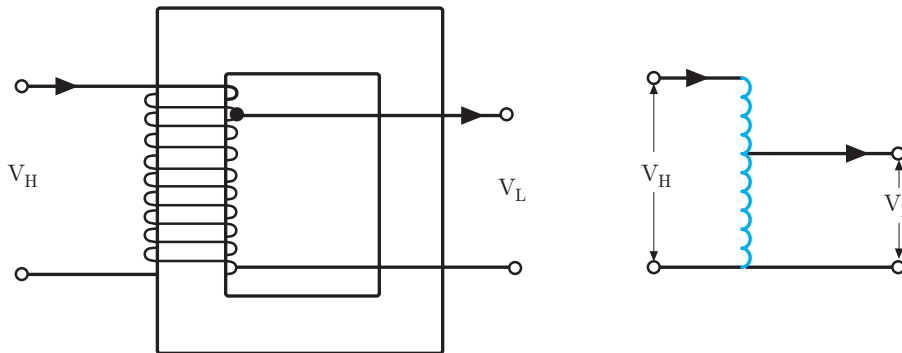
$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{I_2}{I_1}$$

$$\frac{220}{110} = \frac{1}{I_1} \Rightarrow I_1 = \frac{110 \times 1}{220} = 0.5 \text{ [A]}$$

$$I_1 = 0.5 \text{ [A]}$$

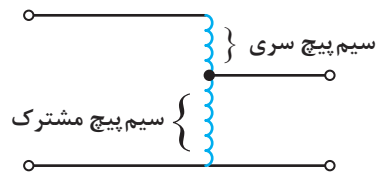
## ۱۰-۲- اتو ترانسفورماتور

اتو ترانسفورماتور انرژی الکتریکی را توسط ارتباط مغناطیسی و الکتریکی سیم پیچ‌ها از اولیه به ثانویه منتقل می‌کند. ارتباط مغناطیسی توسط هسته و ارتباط الکتریکی با اتصال بین سیم پیچی‌های اولیه و ثانویه برقرار می‌شود. ترانسفورماتوری که دارای یک سیم پیچی است و علاوه بر ارتباط مغناطیسی، ارتباط الکتریکی نیز بین اولیه و ثانویه برقرار باشد را «اتو ترانسفورماتور» گویند. اتو ترانسفورماتور دارای یک سیم پیچی با هسته مغناطیسی است. (شکل ۱۹).



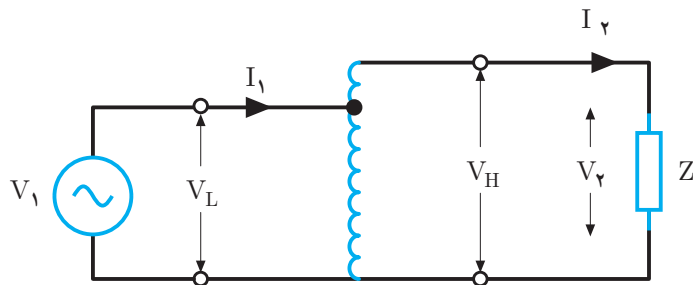
شکل ۱۹- اتو ترانسفورماتور

اتو ترانسفورماتور برای کاهش یا افزایش ولتاژ استفاده می‌شود سمتی از اتو ترانسفورماتور که ولتاژ بیشتر دارد را «سمت فشار قوی» و سمتی از اتو ترانسفورماتور که ولتاژ کمتر دارد را «سمت فشار ضعیف» می‌گویند. ولتاژ سمت فشار قوی اتو ترانسفورماتور را با  $V_H$  و ولتاژ سمت فشار ضعیف آن را با  $V_L$  نشان می‌دهند. در اتو ترانسفورماتور بخشی از سیم پیچی که در ورودی و خروجی مشترک است را «سیم پیچ مشترک» و بخشی از سیم پیچی که فقط در ورودی یا خروجی قرار دارد را «سیم پیچ سری» گویند. (شکل ۲۰)



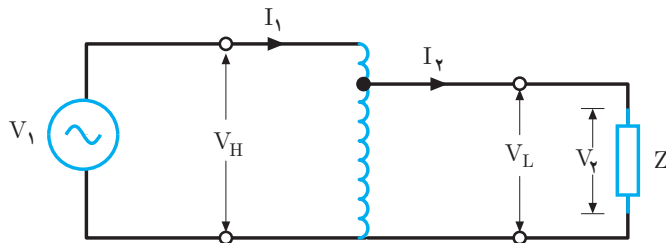
شکل ۲۰- سیم پیچ سری و مشترک اتوترانسفورماتور

اتو ترانسفورماتور به صورت افزایشنده و یا کاهشنده ولتاژ استفاده می‌شود. در اتو ترانسفورماتور افزایشنده مصرف کننده به سمت فشار قوی و منبع ولتاژ به سیم پیچ مشترک وصل می‌شود ولتاژ مصرف کننده  $V_p = V_H$  می‌باشد و از جمع ولتاژ القایی سیم پیچ سری و ولتاژ سیم پیچ مشترک به دست می‌آید. شکل (۲۱).



شکل ۲۱- اتوترانسفورماتور افزایشنده

در اتو ترانسفورماتور کاهشنده، مصرف کننده به سمت فشار ضعیف و منبع ولتاژ به سمت فشار قوی وصل می‌شود ولتاژ مصرف کننده  $V_p = V_L$  می‌باشد و بخشی از ولتاژ القایی سیم پیچی است (شکل ۲۲).



شکل ۲۲- اتوترانسفورماتور کاهشنده

حداکثر توان ظاهری که اتوترانسفورماتور در اختیار مصرف کننده قرار می‌دهد را «توان عبوری» گویند و واحد آن ولت - آمپر است و با  $S$  نشان می‌دهند و از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$S_p = V_p I_p$$

توان ظاهری ورودی  $S_1$  از دو طریق ارتباط مغناطیسی و الکتریکی سیم پیچی‌ها به مصرف کننده می‌رسد. توانی که از طریق ارتباط مغناطیسی توسط هسته به مصرف کننده منتقل می‌شود را «توان ساختمانی» گویند. و واحد آن ولت - آمپر است و با  $S_B$  نشان می‌دهند و از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$S_B = \frac{V_H - V_L}{V_H} S_p$$



یک اتوترانسفورماتور افزایشده ۲۲۰/۲۰۰ ولت ۱۰ آمپری با تعداد حلقه‌های ۴۴۰ دور مفروض است. مطلوب است:  
الف) توان عبوری  
ب) توان تیپ

(الف)

$$S_r = V_r I_r$$

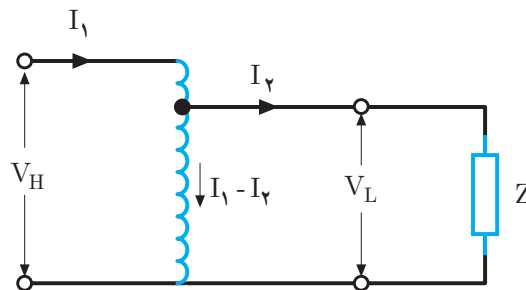
$$S_r = 220 \times 10 = 2200 \text{ [VA]}$$

(ب)

$$S_B = \frac{V_H - V_L}{V_H} S_r$$

$$S_B = \frac{220 - 200}{220} \times 2200 = 200 \text{ [VA]}$$

توان ساختمانی توسط هسته از اولیه به ثانویه منتقل می‌شود. هر چه مقدار ولتاژ فشار قوی  $V_H$  به مقدار ولتاژ فشار ضعیف  $V_L$  نزدیک‌تر باشد توان ساختمانی کمتر می‌شود در این صورت به هسته کوچک‌تری نیاز می‌باشد. با انتخاب هسته کوچک‌تر تلفات هسته کاهش می‌یابد.  
از سیم‌پیچی مشترک اتوترانسفورماتور تفاضل جریان‌های اولیه و ثانویه می‌گذرد. (شکل ۲۳)



شکل ۲۳- جریان ورودی و خروجی اتوترانسفورماتور

سطح مقطع‌های سیم‌پیچی مشترک متناسب با جریان آن انتخاب می‌شود هرچه مقدار جریان اولیه  $I_1$  به مقدار جریان ثانویه  $I_2$  نزدیک‌تر باشد جریان سیم‌پیچ مشترک کمتر خواهد شد در این صورت‌های سیم‌پیچی مشترک با سطح مقطع کمتری انتخاب می‌شود. بدین ترتیب در اتوترانسفورماتور با استفاده از یک سیم‌پیچی و سطح مقطع کم سیم‌پیچ مشترک آن به مس کمتری نیاز است. با مصرف مس کمتر تلفات مسی کاهش می‌یابد.

در اتوترانسفورماتور با کاهش تلفات هسته و تلفات مسی راندمان افزایش می‌یابد. در محاسبات اتوترانسفورماتور را ایده‌آل فرض می‌کنند و راندمان آن را ۱۰۰٪ در نظر می‌گیرند.



در اتوترانسفورماتور افزایشدهنده ۲۰۰/۲۲۰ ولت ۱۰ آمپری با تعداد حلقه‌های ۴۴۰ دور مفروض است. الف) تعداد حلقه‌های سیم‌پیچی سمت فشار ضعیف ب) جریان سیم‌پیچ مشترک

(الف)

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

$$\frac{200}{220} = \frac{N_1}{440}$$

$$N_1 = 400$$

(ب)

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{I_2}{I_1}$$

$$\frac{200}{220} = \frac{10}{I_1}$$

$$I_1 = 11 \text{ [A]}$$

جریان سیم‌پیچ مشترک از تفاضل جریان‌های اولیه و ثانویه به دست می‌آید:

$$I_{\text{مشترک}} = |I_1 - I_2| = |10 - 11| = 1 \text{ [A]}$$

### کاربرد اتوترانسفورماتور

از اتوترانسفورماتور به‌عنوان یک منبع ولتاژ متغیر در راه‌اندازی موتورهای القایی و تثبیت‌کننده ولتاژ متناوب برق شهر و همچنین برای تبدیل ولتاژ ۲۳۰ کیلوولت به ۱۳۲ کیلوولت خطوط انتقال انرژی استفاده می‌شود. (شکل ۲۴).



شکل ۲۴- کاربرد اتوترانسفورماتور

## پرسش‌های پایانی پودمان ۲

- ۱- شمای فنی ترانسفورماتور را رسم کنید.
- ۲- ترانسفورماتور را تعریف کنید.
- ۳- اجزای ساختمانی ترانسفورماتور را نام ببرید و وظیفه هر یک را توضیح دهید؟
- ۴- انواع ترانسفورماتور را نام ببرید و هر یک را تعریف کنید.
- ۵- طرز کار ترانسفورماتور را توضیح دهید؟
- ۶- نسبت تبدیل و ضریب تبدیل ترانسفورماتور را تعریف کنید و رابطه آنها را بنویسید.
- ۷- نیروی محرکه القایی سیم‌پیچ اولیه و ثانویه یک ترانسفورماتور تک‌فاز به ترتیب ۲۰۰ و ۱۴ ولت می‌باشد. اگر سطح مقطع هسته ۵۰۰ میلی‌متر مربع و چگالی شار آن ۲ تسلا باشد در فرکانس ۵۰ هرتز تعداد حلقه‌های سیم‌پیچ‌های اولیه و ثانویه را به دست آورید.
- ۸- تعداد حلقه‌های سیم‌پیچ‌های اولیه و ثانویه یک ترانسفورماتور تک‌فاز به ترتیب ۴۰۰۰ و ۲۰۰ دور می‌باشد اگر نیروی محرکه القایی سیم‌پیچ ثانویه ۱۵ ولت باشد مطلوب است:  
الف) ضریب تبدیل  
ب) نسبت تبدیل  
ج) نیروی محرکه القایی سیم‌پیچ اولیه
- ۹- یک ترانسفورماتور ۱۲ ولتی دارای افت ولتاژ اهمی ۰/۳ ولت و پراکندگی ۰/۵ در نظر است ولتاژ خروجی ترانسفورماتور به ازای بار پیش‌فاز با ضریب توان مؤثر ۰/۹ چند ولت است؟
- ۱۰- تلفات ترانسفورماتور را تعریف کنید.
- ۱۱- انواع تلفات در ترانسفورماتور را نام ببرید و هر یک را تعریف کنید؟
- ۱۲- نحوه انجام آزمایش بی‌باری ترانسفورماتور را بنویسید. مدار آن را رسم کنید و هدف آن را بیان کنید.
- ۱۳- نحوه انجام آزمایش اتصال کوتاه را به همراه رسم مدار آزمایش توضیح دهید.
- ۱۴- راندمان ترانسفورماتور را تعریف کنید.
- ۱۵- ترانسفورماتور ایده‌آل را تعریف کنید.
- ۱۶- یک ترانسفورماتور تک‌فاز ایده‌آل ۲ کیلوولت آمپری ۲۳۰/۱۱۰ ولت مطلوب است  
الف) جریان ثانویه و اولیه  
ب) اگر تعداد حلقه‌های ثانویه ۵۵۰ دور باشد تعداد حلقه اولیه چند دور است.
- ۱۷- یک ترانسفورماتور ۲ کیلوواتی در بار نامی دارای ۱۰۰ وات تلفات مسی و ۱۰۰ وات تلفات آهنی است. مجموع تلفات ترانسفورماتور در نصف بار نامی کدام است؟  
الف) ۲۰۰ (الف)      ب) ۱۵۰ (ب)      ج) ۱۲۵ (ج)      د) ۱۰۰ (د)
- ۱۸- تلفات بی‌باری ترانسفورماتوری ۱۵۰ وات است. تلفات این ترانسفورماتور در بار نامی چند وات است؟  
الف) ۱۵۰ (الف)      ب) ۳۰۰ (ب)      ج) ۷۵ (ج)      د) اطلاعات داده شده کم است



- ۱۹- بیشترین راندمان یک ترانسفورماتور در چه حالتی اتفاق می‌افتد؟  
الف) بار اهمی و مجموع تلفات مسی و آهنی حداقل باشند  
ب) بار اهمی و تلفاتی مسی و آهنی برابر باشند  
ج) بار اهمی - سلفی و تلفات مسی کمتر از آهنی باشد  
د) ضریب قدرت یک و مجموع تلفات مسی و آهنی حداقل باشد
- ۲۰- راندمان را تعریف کنید و رابطه آن را بنویسید؟
- ۲۱- اتوترانسفورماتورها را تعریف کنید؟
- ۲۲- ماکزیمم راندمان ترانسفورماتور VA ۱۰۰۰ با ضریب قدرت  $\frac{9}{10}$  پس فاز برابر  $80\%$  است. مطلوب است تلفات مسی و آهنی را در بار نامی به دست آورید؟
- ۲۳- در شرایط نصف بار نامی کل تلفات ترانسفورماتور نصف می‌شود.  
 صحیح  غلط
- ۲۴- در اتوترانسفورماتور توان تیپ حدود  $\frac{1}{3}$  توان ظاهری است.  
 صحیح  غلط
- ۲۵- از اتوترانسفورماتورها برای افزایش قدرت موتورها و منبع ولتاژ متغیر استفاده می‌شود.  
 صحیح  غلط
- ۲۶- عامل تعیین‌کننده مقدار افت ولتاژ ترانسفورماتور نوع بار است.  
 صحیح  غلط

ارزشیابی مبتنی بر شایستگی پودمان تحلیل ماشین‌های الکتریکی (ترانسفورماتورهای تک‌فاز)

استاندارد ارزشیابی پیشرفت تحصیلی مبتنی بر شایستگی درس دانش فنی تخصصی الکتروتکنیک					
نمره	شاخص تحقیق	نتایج مورد انتظار	استاندارد عملکرد (کیفیت)	تکالیف عملکردی (واحدهای یادگیری)	عنوان پودمان
۳	از کل سؤالات به هفت تا ده سؤال به‌طور کامل پاسخ دهد.	بالاتر از حد انتظار	محاسبه مقدار نیروی محرکه القایی سیم‌پیچ‌های ترانسفورماتور تک‌فاز با اطلاعات الکتریکی و فیزیکی - محاسبه افت ولتاژ ترانسفورماتور با به‌کارگیری رابطه مربوطه - محاسبه تلفات ترانسفورماتور با استفاده از نتایج آزمایش - محاسبه راندمان ترانسفورماتور با استفاده از مقدار تلفات - محاسبه کمیت‌های الکتریکی اتوترانسفورماتور	تحلیل ماشین‌های الکتریکی (ترانسفورماتورهای تک‌فاز)	پودمان ۲
۲	از کل سؤالات به شش سؤال به‌طور کامل پاسخ دهد.	در حد انتظار			
۱	از کل سؤالات به یک تا پنج سؤال به‌طور کامل پاسخ دهد.	پایین‌تر از حد انتظار			
				نمره مستمر از ۵	
				نمره شایستگی پودمان	
				نمره پودمان از ۲۰	

### هدف‌گذاری و سنجش:

برای کسب شایستگی در این پودمان اگر هنرجو:

- از کل سؤالات به یک تا پنج سؤال به‌طور کامل پاسخ دهد شایستگی پایین‌تر از حد انتظار خواهد بود.
- از کل سؤالات به شش سؤال به‌طور کامل پاسخ دهد شایستگی در حد انتظار خواهد بود.
- از کل سؤالات به هفت تا ده سؤال به‌طور کامل پاسخ دهد شایستگی بالاتر از حد انتظار خواهد بود.

**توجه:** سؤالات ارائه شده همگی هم‌ارزش بوده و در سطح یادگیری در حد انتظار است. معیار ارزشیابی نتیجه‌محور است.

سؤال ۱- ..... (۲ نمره)

سؤال ۲- ..... (۲ نمره)

سؤال ۳- ..... (۲ نمره)

سؤال ۴- ..... (۲ نمره)

سؤال ۵- ..... (۲ نمره)

سؤال ۶- ..... (۲ نمره)

سؤال ۷- ..... (۲ نمره)

سؤال ۸- ..... (۲ نمره)

سؤال ۹- ..... (۲ نمره)

سؤال ۱۰- ..... (۲ نمره)

