

## فصل هشتم

### عملکرد سلف در جریان مستقیم و متناوب

**هدف کلی:** بررسی اثرات سلف در مدارهای RL سری و موازی



پس از پایان این فصل از فراگیرنده انتظار می رود که:

- ۱- میدان مغناطیسی را تعریف کند. دهد.
- ۲- میدان مغناطیسی اطراف سیم حامل جریان را شرح دهد.
- ۳- میدان الکترومغناطیسی را شرح دهد.
- ۴- جهت میدان الکترومغناطیسی را تعیین کند.
- ۵- ساختمان سلف و میدان مغناطیسی اطراف آن را توضیح دهد.
- ۶- جریان القایی و ضریب خود القایی سلف را تعریف توضیح دهد.
- ۷- ولتاژ القایی و نحوه تولید آن را توضیح دهد.
- ۸- نحوه محاسبه ولتاژ القایی را بیان کند.
- ۹- شارژ و دشارژ سیم پیچ را توضیح دهد.
- ۱۰- ثابت زمانی در یک مدار RL سری را محاسبه کند.
- ۱۱- روش آزمایش سلف به کمک اهم متر را بیان کند.
- ۱۲- عملکرد سلف در جریان متناوب را توضیح دهد.
- ۱۳- راکتانس سلفی را تعریف و مقدار آن را محاسبه کند.
- ۱۴- اختلاف فاز بین جریان گذرنده از سلف و ولتاژ دو سر آن را توضیح دهد و مقدار آن را اندازه بگیرد.
- ۱۵- ضریب خود القایی متغیر را توضیح دهد.
- ۱۶- انواع سیم پیچ متغیر را نام ببرد.
- ۱۷- خود القایی متقابل را توضیح دهد.
- ۱۸- ضریب خود القایی در مدار سری و موازی را توضیح دهد.
- ۱۹- عملکرد مدار RL سری در ولتاژ DC و AC را توضیح دهد.
- ۲۰- امپدانس، ولتاژ و اختلاف فاز در مدار RL سری را محاسبه کند.
- ۲۱- عملکرد مدار RL موازی در ولتاژ DC و AC را توضیح دهد.
- ۲۲- امپدانس، اختلاف فاز و جریان های مدار RL موازی را محاسبه کند.
- ۲۳- امپدانس مدار RL سری و موازی را اندازه گیری کند.
- ۲۴- اصول کار ترانسفورماتور را توضیح دهد.
- ۲۵- روابط توان و جریان در ترانس را محاسبه کند.
- ۲۶- تطبیق امپدانس در ترانسفورماتور را توضیح دهد.
- ۲۷- تلفات ترانس را توضیح دهد.
- ۲۸- عملکرد اتوترانس را شرح دهد.
- ۲۹- نحوه تشخیص خرابی های ترانس را شرح دهد.
- ۳۰- اختلاف فاز بین جریان و ولتاژ را در مدار RL توسط اسیلوسکوپ اندازه گیری کند.
- ۳۱- اهداف رفتاری در حیطه عاطفی که در فصل اول آمده است را اجرا کند.

ساعت آموزش: 21:00			توانایی
جمع	عملی	نظری	
۲۱	۹	۱۲	شماره ۸



## پیش آزمون فصل (۸)

۱- با کدام وسیله می توان به وجود میدان مغناطیسی پی

برد؟

الف) آمپر متر      ب) براده های آهن

ج) از طریق مشاهده ی دقیق      د) ولت متر

۲- فلوی مغناطیسی و واحد آن را تعریف کنید.

۳- چگونگی تشخیص جهت میدان الکترومغناطیسی در

اطراف سیم حامل جریان را شرح دهید.

۴- اجزای یک سلف کدام است؟

الف) سیم پیچ      ب) هسته

ج) قرقره      د) همه موارد

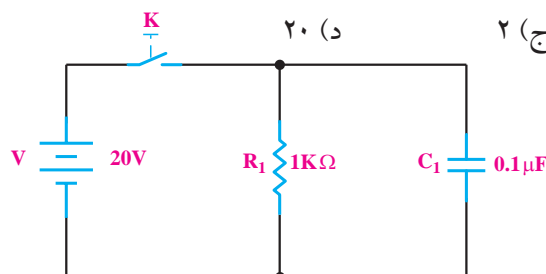
۵- در شکل زیر جریان نهایی در مدار بعد از بسته شدن

کلید، چند میلی آمپر است؟

الف) صفر      ب) ۰/۲

ج) ۲

د) ۲۰



۶- ۶۴۵۸/۵ میکرو هانری، چند میلی هانری است؟

الف) ۶۴/۵۸۵      ب) ۶/۴۵۸۵

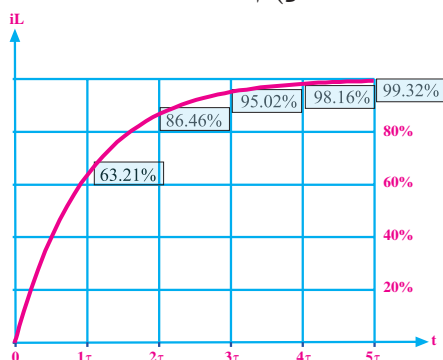
ج) ۶۴۵/۸۵      د) ۶۴۵۸۵۰۰

۷- در یک مدار RL سری، بعد از چند ثابت زمانی، جریان

مدار تقریباً به ۹۵٪ جریان ماکزیمم می رسد؟

الف) ۱      ب) ۲

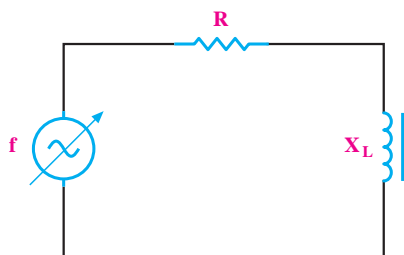
ج) ۳      د) ۴



۸- در شکل زیر هر قدر فرکانس افزایش یابد توان تلف

شده در مقاومت R ..... می شود.

الف) کم تر      ب) بیش تر



۹- به میدان ایجاد شده در فضای اطراف یک سیم حامل

جریان، میدان ..... گویند.

الف) الکتریکی      ب) مغناطیسی

ج) الکترومغناطیسی      د) استاتیکی

۱۰- با تبدیل سیم راست به صورت حلقه، میدان مغناطیسی

..... می شود.

الف) زیاد      ب) کم

۱۱- در قانون دست راست برای سیم حامل جریان انگشت

شست جهت .....، و خم شدن چهار انگشت دیگر جهت

..... رانشان می دهد.

۱۲- از یک سلف با  $L=3H$ ، جریان  $2A$  عبور می کند،

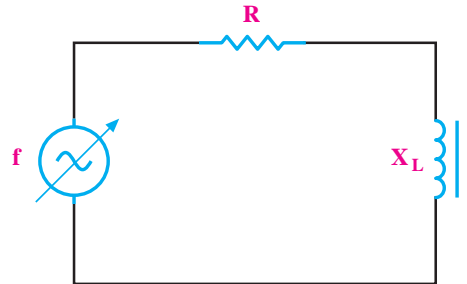
انرژی ذخیره شده در آن چند ژول است؟

الف) ۹۰      ب) ۶۰

ج) ۹      د) ۶

۱۳- برای محاسبه‌ی امپدانس مدار زیر از کدام رابطه

استفاده می شود؟



الف)  $Z=R+X_L$       ب)  $Z=\sqrt{R^2+X_L^2}$

ج)  $Z=\frac{R.X_L}{\sqrt{R^2+X_L^2}}$       د)  $Z=R.X_L$

۱۴- اگر در ترانسفورماتوری نسبت دور اولیه به ثانویه

برابر با ۵ و تعداد دور سیم پیچ ثانویه ۲۰۰ دور باشد، تعداد

دور اولیه را محاسبه کنید.



۱۵- پاسخ های صحیح ستون سمت چپ را به ستون سمت

راست با ترسیم خطوط رنگی جداگانه ارتباط دهید.

عامل مشترک جریان

عامل مشترک ولتاژ

$$\cos \varphi = \frac{R}{Z}$$

$$\cos \varphi = \frac{Z}{R}$$

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2}$$

$$Z = \frac{R.X_L}{\sqrt{R^2 + X_L^2}}$$

$$I_T = \sqrt{I_R^2 + I_L^2}$$

$$V_T = \sqrt{V_R^2 + V_L^2}$$

• RL سری

• RL موازی

## ۸-۱ خطوط نیروی مغناطیس و میدان مغناطیسی

### ۸-۱-۱ میدان مغناطیسی آهن ربا

جسمی که خاصیت مغناطیسی داشته باشد را آهن ربا

می گویند. همانطور که می دانید، یک آهن ربا می تواند بدون

اینکه با یک قطعه آهن تماس داشته باشد، آن را جذب کند

یا از یک فاصله‌ی معین بر روی آهن ربای دیگر اثر بگذارد.

دلیل اینکه یک آهن ربا به آهن ربای دیگر نیرو وارد می کند،

وجود «میدان مغناطیسی» در اطراف آن است. پس می توان

میدان مغناطیسی را به صورت زیر تعریف کرد:

فضای اطراف یک جسم مغناطیسی (آهن ربا) که

می تواند روی اجسام مغناطیسی دیگر اثر بگذارد را «میدان

مغناطیسی» می گویند. آهن ربای مغناطیسی دارای دو قطب

شمال (N) و جنوب (S) است. میدان مغناطیسی را می توان

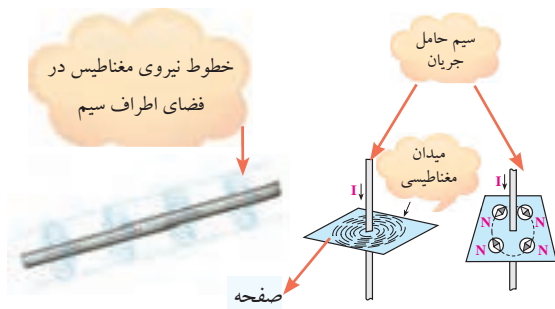
با خطوط بردار گونه نشان داد. این خطوط را «خطوط

شار مغناطیسی»، «خطوط نیروی میدان مغناطیسی»، «فلوی

مغناطیسی» یا «فوران مغناطیسی» می نامند، شکل ۸-۱.

## ۲-۱-۸ میدان مغناطیسی اطراف سیم حامل جریان

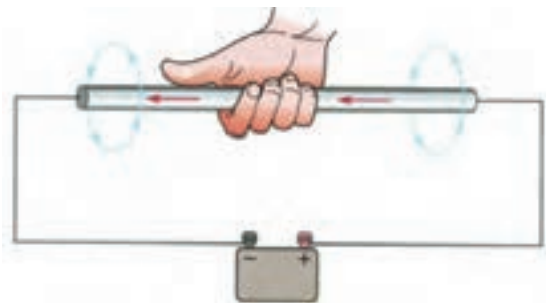
اگر از یک سیم یا یک هادی، جریانی عبور کند، اطراف این سیم یک میدان مغناطیسی ایجاد می شود. اگر روی صفحه‌ای در فضای اطراف سیم با نمک پاش براده‌ی آهن بریزیم، مشاهده می کنیم که براده‌های آهن دور سیم حامل جریان حلقه می زنند. شکل ۴-۸ میدان مغناطیسی را در اطراف سیم حامل جریان نشان می دهد.



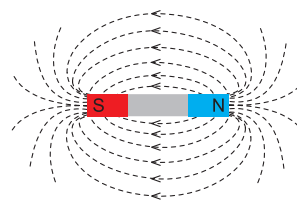
شکل ۴-۸ میدان مغناطیسی اطراف سیم حامل جریان

هر قدر مقدار جریان عبوری از سیم حامل جریان بیش تر باشد، میدان مغناطیسی اطراف سیم قوی تر می شود. به عبارت دیگر فلوی مغناطیسی افزایش می یابد. جهت میدان مغناطیسی را به کمک قانون دست راست می توان تعیین کرد.

همانند شکل ۵-۸ هر گاه سیم حامل جریان را طوری در دست راست بگیریم که انگشت شست جهت جریان را نشان دهد، جهت خم شدن چهار انگشت دیگر جهت میدان مغناطیسی را نشان می دهد.

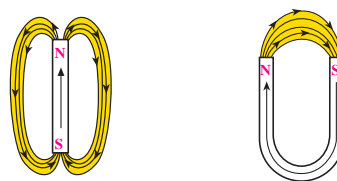


شکل ۵-۸ میدان مغناطیسی و قانون دست راست



شکل ۱-۸ میدان مغناطیسی اطراف آهن ربا

فلوی مغناطیسی عبارت از کلیه‌ی خطوط میدان مغناطیسی است که از قطب شمال آهن ربا خارج می شود و به قطب جنوب آهن ربا می رسد. فلوی مغناطیسی را با حرف « $\Phi$ » فی نمایش می دهند و واحد آن بر حسب وبر «Wb» است. در شکل ۲-۸ جهت خطوط میدان را در بیرون و درون دو نمونه آهن ربا مشاهده می کنید. همانطور که مشاهده می شود خطوط میدان از قطب شمال خارج می شود و پس از وارد شدن به قطب جنوب از طریق داخل آهن ربا به قطب شمال می رسد.



شکل ۲-۸ جهت خطوط میدان مغناطیس

میدان مغناطیسی با چشم مشاهده نمی شود ولی اثر آن را با یک قطب‌نمای ساده می توان مشاهده نمود. شکل ۳-۸ اثرات این میدان را روی حرکت عقربه‌ی قطب‌نما و چگونگی تراکم براده‌های آهن در اطراف آهن ربا نشان می دهد.

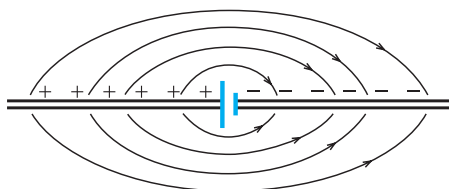


شکل ۳-۸ اثر میدان مغناطیسی روی قطب نما و براده‌های آهن

است. همانند شکل ۸-۶-ج چنانچه جهت جریان عبوری از سیم عوض شود، جهت میدان مغناطیسی نیز عوض خواهد شد.

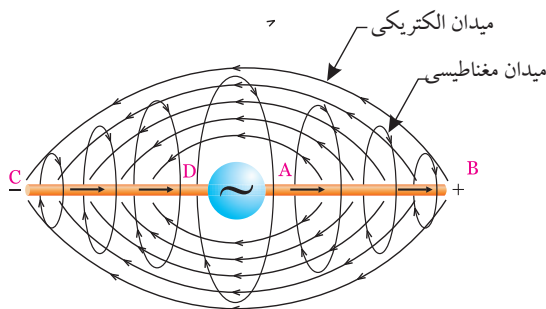
### ۳-۱-۸ میدان الکترومغناطیسی

یادآوری می شود اگر از یک سیم هادی، جریانی عبور کند در آن میدان الکتریکی ایجاد می شود. در شکل ۸-۷ میدان الکتریکی اطراف سیم هادی که به قطب های مثبت و منفی یک منبع ولتاژ DC اتصال دارد را مشاهده می کنید. خطوط میدان الکتریکی از قطب مثبت به سمت قطب منفی رسم شده است.



شکل ۸-۷ میدان الکتریکی

با توجه به مطالب بیان شده پی می بریم با عبور جریان از سیم هادی در اطراف آن میدان الکتریکی و میدان مغناطیسی ایجاد می شود. ترکیب این دو میدان را میدان الکترومغناطیسی می نامند، شکل ۸-۸.



شکل ۸-۸ میدان الکترومغناطیسی

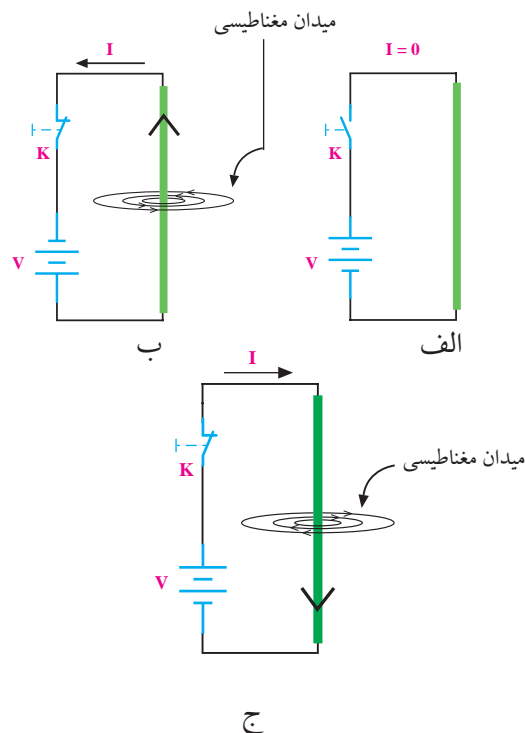
میدان الکترومغناطیسی سه بعدی است و در آن میدان الکتریکی، میدان مغناطیسی و حرکت وجود دارد.

### توجه

قانون دست راست برای جهت قراردادی جریان (از قطب + به سمت قطب -) صادق است.



اگر از سیم، جریانی عبور نکند، میدان مغناطیسی اطراف سیم وجود ندارد و اگر از سیم جریانی عبور کند، چنانچه جهت جریان عوض شود، جهت میدان نیز عوض خواهد شد. در شکل ۸-۶ جهت میدان مغناطیسی و جهت جریان در سیم نشان داده شده است



شکل ۸-۶ میدان مغناطیسی در اطراف سیم

همانطور که مشاهده می کنید در شکل ۸-۶-الف به علت صفر بودن جریان در مدار، میدان نیز در اطراف سیم وجود ندارد. در شکل ۸-۶-ب جهت میدان مغناطیسی نشان داده شده

## ۸-۲ سلف

### ۸-۲-۱ ساختمان سلف یا سیم پیچ

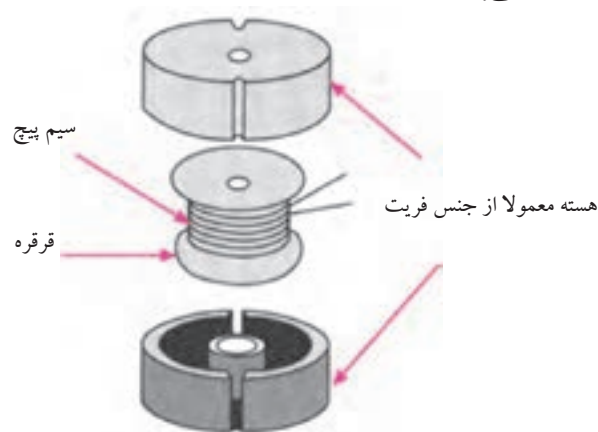
سلف یا سیم پیچ عنصری است که انرژی الکتریکی را به صورت میدان مغناطیسی در خود ذخیره می‌کند. یک سلف معمولاً از سه قسمت تشکیل می‌شود:

قرقره

سیم پیچ

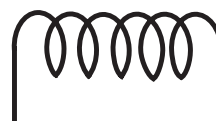
هسته

در شکل (۸-۹) اجزای یک سلف معمولی نشان داده شده است.



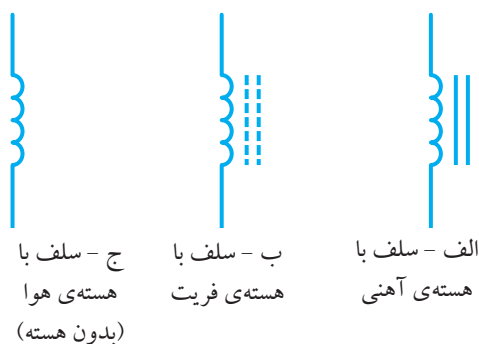
شکل ۸-۹ اجزای یک نمونه سلف معمولی

لازم به یادآوری است که یک سلف می‌تواند قرقره‌ی سیم پیچی و هسته نداشته باشد و فقط از چند دور سیم تشکیل شده باشد، شکل ۸-۱۰.



شکل ۸-۱۰ سلف معمولی

بنابراین یک سلف می‌تواند با هسته یا بدون هسته باشد. در شکل ۸-۱۱ علامت قرار دادی انواع سلف (با هسته و بدون هسته) نشان داده شده است.



شکل ۸-۱۱ علامت قرار دادی انواع سلف

سلف‌ها در عمل با ابعاد و مشخصات الکتریکی متنوعی ساخته می‌شوند و در مدارهای الکتریکی و الکترونیکی کاربرد وسیعی دارند.

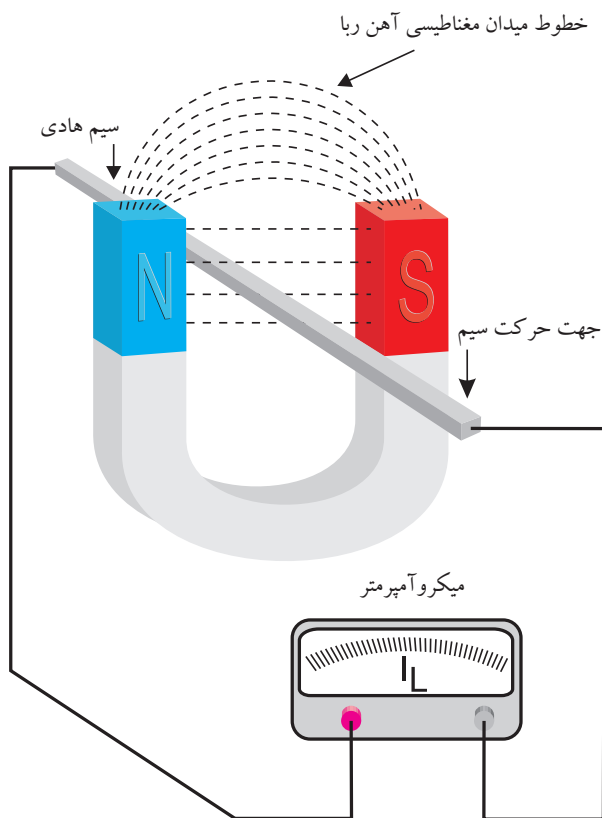
در شکل ۸-۱۲ چند نمونه از سلف‌های کوچک که در الکترونیک کاربرد دارند نشان داده شده است.



شکل ۸-۱۲ چند نمونه سلف کوچک

### ۸-۲-۲ میدان مغناطیسی اطراف سلف

اگر سیم حامل جریان را به صورت یک حلقه یا چند حلقه درآوریم، میدان مغناطیسی اطراف هر حلقه با هم جمع می‌شود و تراکم میدان مغناطیسی را افزایش می‌دهد. در شکل ۸-۱۳ چگونگی ترکیب میدان‌های مربوط به حلقه‌های سیم پیچ یا سلف را مشاهده می‌کنید.



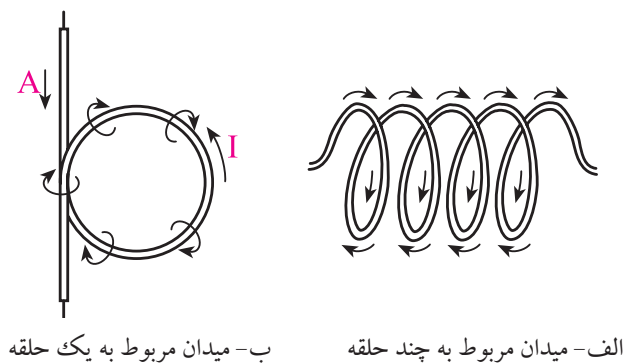
شکل ۸-۱۵ تولید جریان القایی

#### ۸-۴ ضرب خود القایی سلف

همانطور که قبلاً اشاره شد اگر از یک سیم یا یک هادی، جریانی عبور کند، اطراف این سیم یک میدان مغناطیسی ایجاد می شود.

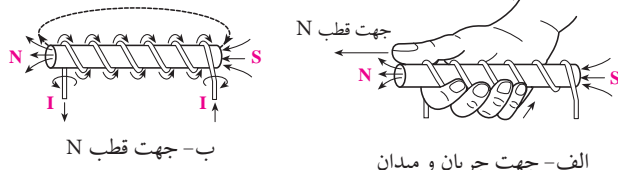
اگر سیم حامل جریان را به صورت یک حلقه در آوریم، مقدار فلوی مغناطیسی نسبت به یک سیم راست (با همان جریان قبلی) در داخل حلقه بیش تر می شود.

اگر به جای یک حلقه، سیم را به صورت دو حلقه در آوریم و همان جریان قبلی را از آن عبور دهیم مقدار فلوی مغناطیسی باز هم بیش تر می شود، در شکل ۸-۱۶ فلوی (شار) مغناطیسی را مشاهده می کنید.



شکل ۸-۱۳ میدان مغناطیسی اطراف سیم پیچ

جهت میدان مغناطیسی اطراف یک سیم پیچ نیز با «قانون دست راست» قابل تعیین است. چنانچه طبق شکل ۸-۱۴ سیم پیچ حامل جریانی را طوری در دست راست بگیریم که جهت خم شدن چهار انگشت، در جهت قرار دادی جریان قرار گیرد، انگشت شست، جهت قطب N میدان مغناطیسی اطراف سیم را نشان خواهد داد.



شکل ۸-۱۴ تعیین قطب های N و S در سیم پیچ

#### ۸-۳ جریان القایی

چنانچه یک سیم هادی را در یک میدان مغناطیسی به نحوی حرکت دهیم که خطوط نیروی مغناطیسی را قطع کند در سیم متحرک جریان الکتریکی به وجود می آید. این نوع جریان را جریان القایی می گویند. در شکل ۸-۱۵ چگونگی تولید جریان القایی را مشاهده می کنید.

القایی در سیم پیچ بروز می کند. اصولاً این خاصیت سیم پیچ را خاصیت خود القایی سیم پیچ می نامند.

از خاصیت خود القایی سیم پیچ در صنعت برق جهت ایجاد ولتاژهای زیاد استفاده می کنند.

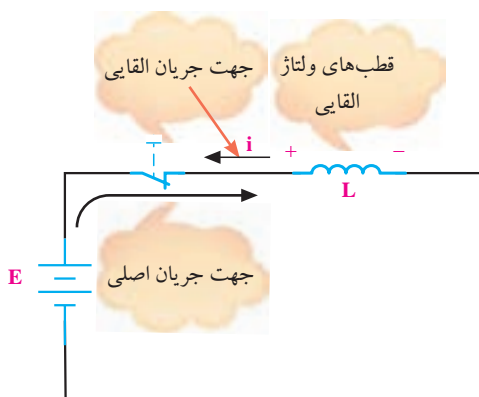
مقدار ولتاژ ایجاد شده در دو سر سیم پیچ بستگی به مقدار ضریب خود القایی ( $L$ ) و نسبت تغییرات جریان به تغییرات

زمان دارد.  

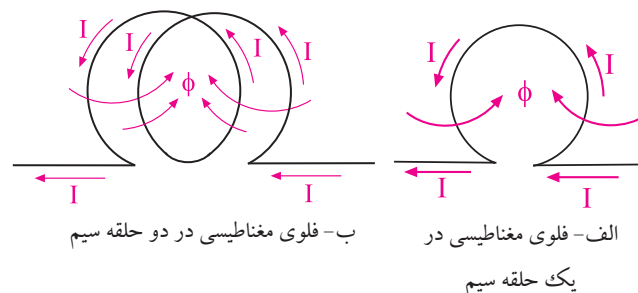
$$V = -L \frac{\text{تغییرات جریان گذرنده از سیم پیچ}}{\text{تغییرات زمان}}$$
 ولتاژ به وجود آمده در دو سر سیم پیچ

علامت منفی به مفهوم مخالفت با عامل به وجود آورندهی جریان است.

قطب‌های ولتاژ به وجود آمده طوری است که اگر این ولتاژ جریانی را در مدار ایجاد کند، این جریان خلاف جهت جریانی خواهد بود که این ولتاژ را به وجود آورده است. به عبارت دیگر جریان به وجود آمده با جریان به وجود آورندهی آن مخالفت می کند، (در حقیقت جریان اصلی را تضعیف می کند). از این رو می توان گفت که یک سلف در مدار با تغییرات جریان مخالفت می کند، شکل ۱۷-۸



شکل ۱۷-۸ ولتاژ القایی



شکل ۱۶-۸ فلوی مغناطیسی

در یک سیم پیچ، نسبت فلوی مغناطیسی ایجاد شده به جریان گذرنده از سیم پیچ ( $I$ ) را ضریب خود القایی سلف (اندوکتانس) می گویند و با حرف  $L$  نشان می دهند:

$$L = \frac{\Phi \text{ (کل فلوی مغناطیسی ایجاد شده)}}{I \text{ (جریان گذرنده از سیم پیچ)}}$$

$L$  = ضریب خود القایی سلف بر حسب هانری ( $H$ )  
 $\Phi$  = فلوی مغناطیسی ایجاد شده بر حسب وبر ( $Wb$ )  
 $I$  = جریان گذرنده از سیم پیچ بر حسب آمپر ( $A$ )  
 واحدهای کوچکتر از هانری را میلی هانری و میکروهانری می نامند. این واحدها نیز در الکترونیک کاربرد دارد.  
 میلی هانری را با  $mH$  و میکروهانری را  $\mu H$  نشان می دهند.

$$1 \text{ میلی هانری} = \frac{1}{1000} H = 10^{-3} H = 1 mH$$

$$1 \text{ میکروهانری} = \frac{1}{1000000} H = 10^{-6} H = 1 \mu H$$

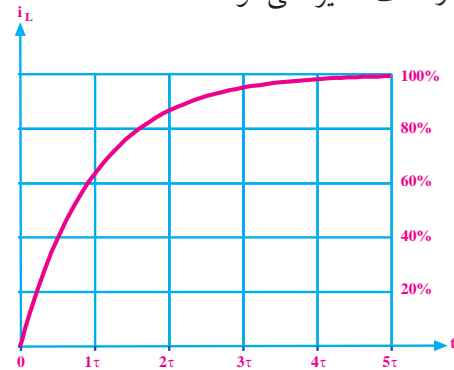
## ۵-۸ ولتاژ القایی

اگر از یک سیم یا یک هادی، جریانی عبور کند، اطراف این سیم یک میدان مغناطیسی ایجاد می شود. چنانچه جریان عبوری تمایل به تغییر پیدا کند، سیم پیچ با تغییر جریان مخالفت می نماید و این مخالفت به صورت ایجاد ولتاژی به نام ولتاژ



## ۶-۸ شارژ و دشارژ سلف

وقتی یک سلف را به ولتاژ DC وصل می‌کنیم، جریان در مدار به آرامی و به صورت تابع نمایی (جهشی) زیاد می‌شود. شکل ۱۸-۸ نحوه‌ی افزایش جریان در سلف را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشخص است، پس از مدتی جریان در مدار تقریباً به حداکثر مقدار خود می‌رسد. در این حالت حداکثر انرژی در سلف ذخیره می‌شود.



شکل ۱۸-۸ شارژ سلف

به عبارت دیگر سلف کاملاً شارژ می‌شود و انرژی ذخیره شده در مدار از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید:

$$W = \frac{1}{2} LI^2$$

کمیت‌های رابطه‌ی فوق عبارتند از:

$W$  = انرژی ذخیره شده بر حسب ژول

$L$  = ضریب خود القایی سلف بر حسب هانری

$I$  = جریان گذرنده از سلف بر حسب آمپر

توجه داشته باشید که به محض قطع مدار الکتریکی سلف، انرژی ذخیره شده در آن نیز تخلیه می‌شود، به عبارت دیگر رفتار سلف بر خلاف رفتار خازن است. قبلاً اشاره کردیم که اگر خازن را از مدار جدا می‌کردیم انرژی ذخیره شده در آن باقی می‌ماند.

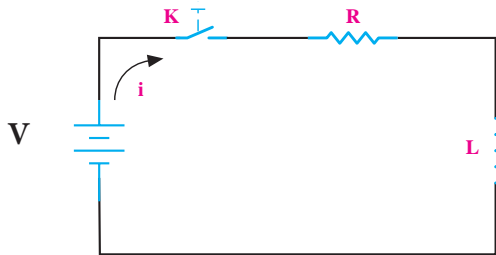
هنگام تخلیه‌ی انرژی سلف، ممکن است یک جرقه، حتی جرقه‌ی شدید در نقطه‌ای که مدار قطع می‌شود، مانند کلید قطع و وصل به وجود آید. تخلیه‌ی انرژی سلف را دشارژ سلف نیز می‌گویند.

## ۷-۸ ثابت زمانی در مدار RL سری

در شکل ۱۹-۸ اگر کلید بسته شود، جریان در مدار به آرامی زیاد می‌شود. تقریباً بعد از ۵ ثابت زمانی جریان به حداکثر مقدار خود می‌رسد. ثابت زمانی مدار RL سری از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید:

$$\tau = \frac{L}{R}$$

اگر  $L$  بر حسب هانری و  $R$  بر حسب اهم باشد  $\tau$  بر حسب ثانیه خواهد بود.



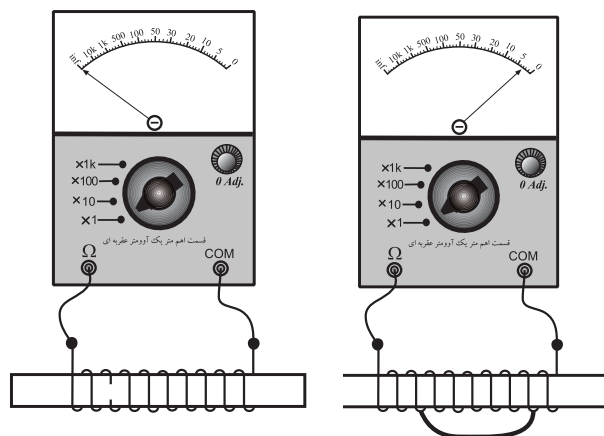
شکل ۱۹-۸ مدار شارژ سلف

جدول ۱-۸ جریان مدار در هر ثابت زمانی را بر حسب درصدی از جریان ماکزیمم نشان می‌دهد.

جدول ۱-۸

ثابت زمانی	درصد ماکزیمم جریان مدار
$\tau$	۶۳/۲۱٪
$2\tau$	۸۶/۴۶٪
$3\tau$	۹۵/۰۲٪
$4\tau$	۹۸/۱۶٪
$5\tau$	۹۹/۳۲٪

اگر اهم متر، مقاومت اهمی سلف را صفر اهم یا بی نهایت نشان دهد سلف قطعاً معیوب شده است. چنانچه اهم متر، مقدار مقاومت اهمی را صفر نشان دهد سلف سوخته و اتصال کوتاه است. در صورتی که اهم متر مقدار مقاومت اهمی سلف را بی نهایت نشان دهد سیم پیچ سلف در یک یا چند نقطه قطع شده است. در شکل ۸-۲۲ الف سلف اتصال کوتاه است و مقاومت اهمی بسیار کمی دارد. در شکل ۸-۲۲ ب سیم پیچ سلف قطع شده است و اهم متر مقاومت اهمی سلف را بی نهایت نشان می دهد.



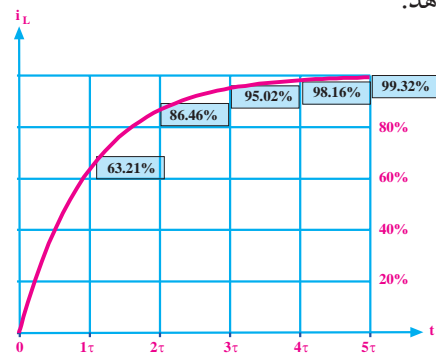
الف- قسمتی از سلف اتصال کوتاه شده است. ب- سلف قطع شده است.  
شکل ۸-۲۲ سلف معیوب

## ۸-۹ سلف (سیم پیچ) در جریان متناوب

### ۸-۹-۱ عملکرد سلف در جریان متناوب

اگر یک سلف را به ولتاژ DC وصل کنیم، از آن جریان عبور می کند و فقط مقاومت اهمی سیم پیچ جریان را محدود می نماید. اگر سلف را ایده آل در نظر بگیریم یعنی مقاومت آن را صفر فرض کنیم، سلف در برابر جریان مستقیم هیچ مقاومتی از خود نشان نمی دهد، شکل ۸-۲۳.

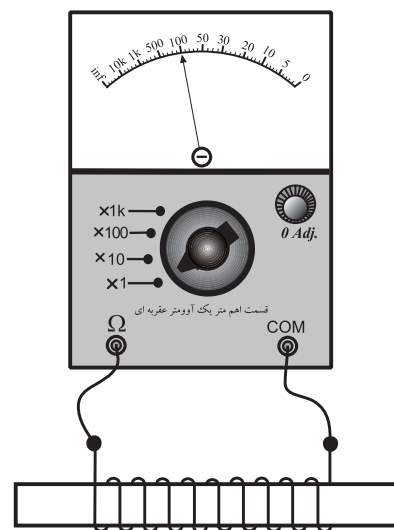
ماکزیمم جریان در مدار برابر  $\frac{E}{R}$  است. شکل ۸-۲۰ منحنی افزایش جریان (شارژ سلف) در مدار RL سری را نشان می دهد.



شکل ۸-۲۰ منحنی افزایش جریان در مدار RL

## ۸-۸ روش آزمایش (تست) سلف به کمک اهم متر

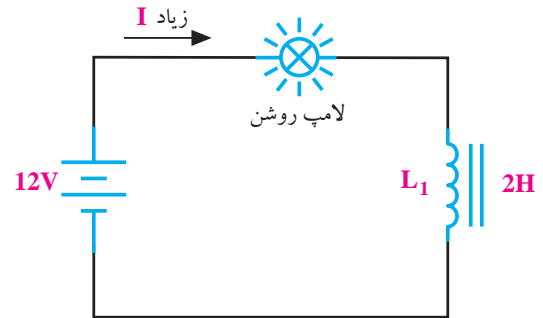
هر سلف یا سیم پیچ سالم علاوه بر داشتن ضریب خود القایی (L اندوکتانس) یک مقاومت اهمی نیز دارد. برای آزمایش صحت کار یک سلف می توان به کمک اهم متر، مقاومت اهمی آن را اندازه گرفت. اگر مقاومت اهمی اندازه گیری شده، برابر با مقاومت اهمی در حالت عادی باشد، سلف سالم است. در غیر این صورت ممکن است سلف معیوب شده باشد، شکل ۸-۲۱.



شکل ۸-۲۱ آزمایش اهمی سلف



ژوزف هانری (۱۸۷۸-۱۷۹۷)  
دانشمند آمریکایی، واحد ضریب  
خود القایی ( $L$ ) به نام او ثبت شده  
است.



شکل ۸-۲۳ سلف ایده آل در جریان مستقیم

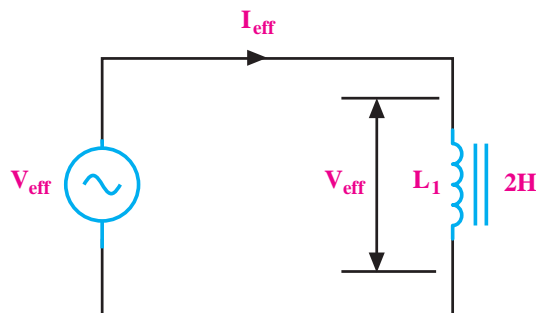
سلف ایده آل در مقابل عبور جریان مستقیم، هیچ  
مقاومتی از خود نشان نمی دهد.

## ۲-۹-۸ راکتانس سلفی

به مقاومتی که سلف در جریان متناوب از خود نشان  
می دهد راکتانس یا عکس العمل سلفی می گویند.  
راکتانس سلفی را با  $X_L$  نشان می دهند و مقدار آن از  
رابطه ی زیر به دست می آید.

$$X_L = 2\pi \cdot f \cdot L$$

در این رابطه  $X_L$  راکتانس سلفی بر حسب اهم،  $f$  فرکانس  
منبع ولتاژ یا جریان متناوب سینوسی بر حسب هرتز و  $L$   
ضریب خودالقایی سلف بر حسب هانری است. در شکل  
۸-۲۵ روابط مربوط به سلف آمده است.



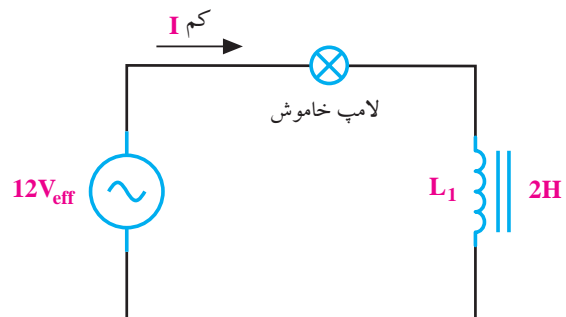
$$X_L = \frac{V_{eff}}{I_{eff}} = 2\pi f L = L\omega$$

راکتانس سلفی

اندوکتانس یا ضریب  
خود القایی سلف

شکل ۸-۲۵ سلف در جریان متناوب

در صورتی که سلف را به یک منبع ولتاژ متناوب وصل  
کنیم، سلف علاوه بر مقاومت اهمی از خود مقاومت دیگری  
نیز نشان می دهد که به آن راکتانس سلفی می گویند. این  
مقاومت باعث محدود شدن جریان در مدارهای جریان  
متناوب می شود. در شکل ۸-۲۴ عملکرد سلف در جریان  
متناوب نشان داده شده است.



شکل ۸-۲۴ سلف ایده آل در جریان متناوب

سلف در جریان متناوب از خود یک نوع مقاومت نشان  
می دهد. بنابراین جریان در مدار کم می شود و لامپ را  
روشن نمی کند. روشن شدن، خاموش شدن یا کم نور شدن  
لامپ بستگی به مقدار  $L$  و فرکانس دارد.

### ۳-۹-۸ اختلاف فاز بین جریان و ولتاژ در سلف

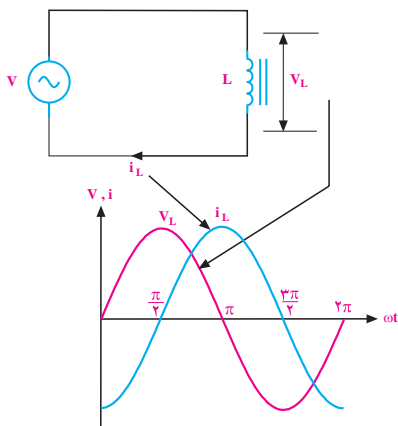
اگر در یک مدار الکتریکی با منبع جریان متناوب سینوسی، فقط یک سلف بدون مقاومت اهمی وجود داشته باشد، جریان در مدار به اندازه ی ۹۰ درجه با ولتاژ دو سر آن اختلاف فاز پیدا می کند.

در شکل ۲۷-۸ شکل موج جریان گذرنده از سلف و شکل موج ولتاژ دو سر آن رسم شده است. همانطور که از شکل ۲۷-۸ مشخص است جریان به اندازه ی ۹۰ درجه از ولتاژ عقب تر است. (پس فاز).

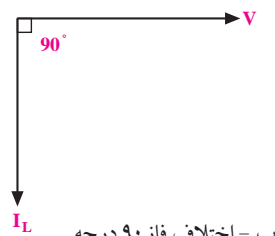
رابطه ی ریاضی ولتاژ و جریان در سلف به صورت زیر نوشته می شود:

$$V_L = V_{Lmax} \sin \omega t$$

$$I_L = I_{Lmax} \sin(\omega t - \frac{\pi}{2})$$



الف - جریان و ولتاژ سلف



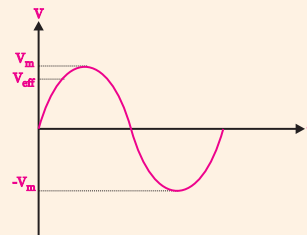
ب - اختلاف فاز ۹۰ درجه

شکل ۲۷-۸ اختلاف فاز بین جریان و ولتاژ سلف

### نکته مهم:

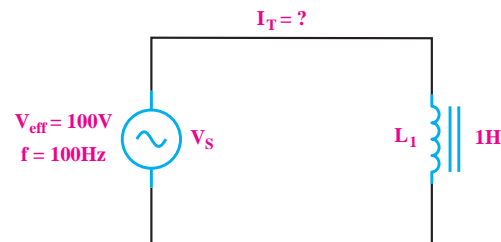


در مدارهای جریان متناوب سینوسی معمولاً منظور از  $V_{eff}$  و  $I_{eff}$  مقدار جریان و ولتاژ موثری است که از روابط  $\frac{V_m}{\sqrt{2}}, \frac{I_m}{\sqrt{2}}$  محاسبه می شود.



**مثال ۱:** در شکل ۲۶-۸ جریان  $I_T$  چند میلی آمپر است؟

از مقاومت اهمی سیم پیچ صرف نظر کنید.



شکل ۲۶-۸ مثال

حل:

جریان  $I_T$  همان جریان عبوری از سیم پیچ ( $I_L$ ) است.

$$I_L = I_T = \frac{V_{eff}}{X_L}$$

$$X_L = 2\pi \cdot f \cdot L = 2\pi \times 100 \times 1 = 628 \Omega$$

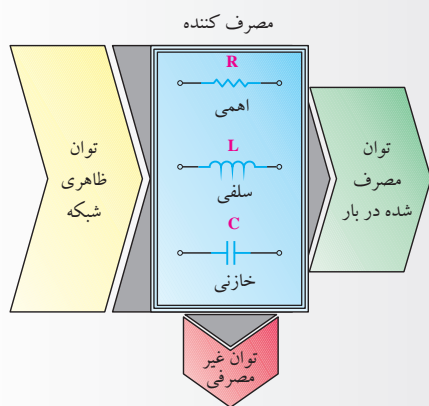
$$I_L = \frac{100}{628} = 0.159 A = 159 mA$$

$$I_L = 159 mA$$

در مدارهای جریان متناوب، جریان های عبوری از سلف و خازن از نوع غیر موثر یا راکتیو است.

## مخصوص دانش آموزان علاقه‌مند:

در مدارهای جریان متناوب از عناصر اهمی ( $R$ )، سلفی ( $L$ ) و خازنی ( $C$ ) به صورت مستقل یا ترکیبی استفاده می‌شود. این عناصر انرژی الکتریکی دریافتی از منبع ولتاژ را به صورت‌های گوناگون ظاهر می‌کنند. گروهی از عناصر توان الکتریکی را مورد مصرف قرار می‌دهند و آن را به نوع دیگری از انرژی تبدیل می‌کنند. و گروهی دیگر توان الکتریکی را به صورت انرژی ذخیره می‌کنند. به همین خاطر در شبکه‌های متناوب سه نوع توان خواهیم داشت، شکل ۲۸-۸.



شکل ۲۸-۸

### توان ظاهری ( $S$ )

به حاصل ضرب ولتاژ و جریان موثر توان ظاهری گفته می‌شود.

### توان حقیقی، مفید یا اکتیو ( $P$ )

توانی که به وسیله‌ی مصرف کننده‌های اهمی ( $R$ ) مورد استفاده قرار می‌گیرد و کار موثر را انجام می‌دهد، این توان را توان اکتیو یا مفید می‌گویند.

توان غیر حقیقی، غیر مفید یا راکتیو ( $Q$ ):

توانی که در مقاومت‌های سلفی و خازنی ظاهر می‌شود ولی نمی‌تواند به کار مفید تبدیل شود این توان را توان غیر حقیقی یا راکتیو می‌نامند.

چون در مدارهای القایی جریان از ولتاژ عقب می‌ماند، توان به صورت مفید یا موثر مصرف نمی‌شود. در این مدارها توان به صورت غیر موثر یا راکتیو است و انرژی در سلف ذخیره می‌شود ولی عملاً مورد استفاده قرار نمی‌گیرد. شکل ۲۷-۸-ب بردارهای ولتاژ و جریان در سلف را نشان می‌دهد. همانطور که ملاحظه می‌کنید زاویه‌ی بین بردارهای جریان و ولتاژ ۹۰ درجه است و جریان به اندازه‌ی ۹۰ درجه از ولتاژ عقب‌تر است.

در مدارهای القایی چون جریان از ولتاژ عقب می‌ماند لذا در سلف توان مفید یا موثر مصرف نمی‌شود و به صورت غیر موثر، غیر مفید یا راکتیو ( $Reactive$ ) است و در این قطعات ذخیره می‌شود ولی انرژی حاصل از آن مورد استفاده قرار نمی‌گیرد.

## ۱۰-۸ آزمایش شماره‌ی (۱)

■ فانکشن ژنراتور را روی فرکانس ۱۰ KHz و دامنه‌ی

ولتاژ ۵ ولت سینوسی تنظیم کنید. زمان اجرا: ۳ ساعت آموزشی

### ۱-۱۰-۸ هدف آزمایش:

■ اسیلوسکوپ را روشن کنید و تنظیم‌های لازم را روی

آن انجام دهید.

مشاهده و اندازه‌گیری اختلاف فاز بین جریان و ولتاژ در

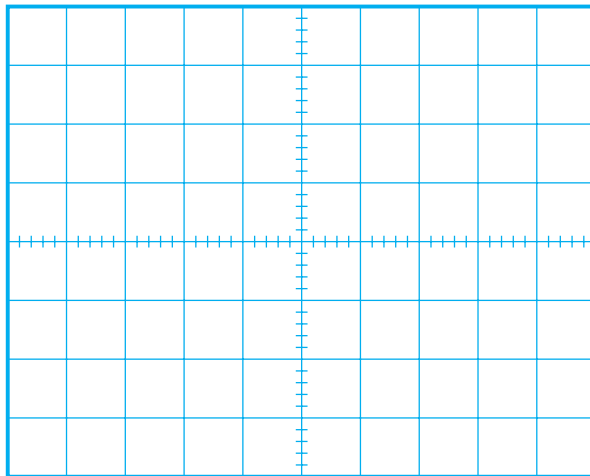
سلف

■ شکل موج‌های نشان داده شده روی صفحه‌ی حساس

را در نمودار شکل ۳۰-۸ با دو رنگ مختلف رسم کنید.

### ۲-۱۰-۸ تجهیزات، ابزار، قطعات و مواد مورد نیاز:

ردیف	نام و مشخصات	تعداد/ مقدار
۱	مولتی متر دیجیتالی	یک دستگاه
۲	اسیلوسکوپ دو کاناله	یک دستگاه
۳	سیم رابط	به تعداد کافی
۴	سلف $100\mu\text{H}$	یک عدد
۵	مقاومت اهمی $470\Omega$	یک عدد
۶	ابزار عمومی کارگاه الکترونیک	یک سری



شکل ۳۰-۸ شکل موج ولتاژ و جریان در سلف

### ۳-۱۰-۸ مراحل اجرای آزمایش:

■ مدار شکل ۲۹-۸ را روی بردبرد ببندید.

**سؤال ۱:** شکل موج ولتاژ دو سر مقاومت اهمی که همان

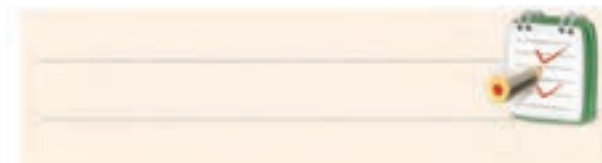
شکل موج جریان گذرنده از سلف است را CH۲ و شکل

موج ولتاژ دو سر سلف را CH۱ نشان می‌دهد. این دو شکل

موج چند درجه با یکدیگر اختلاف فاز دارند؟

درجه  $\phi = \dots\dots\dots$

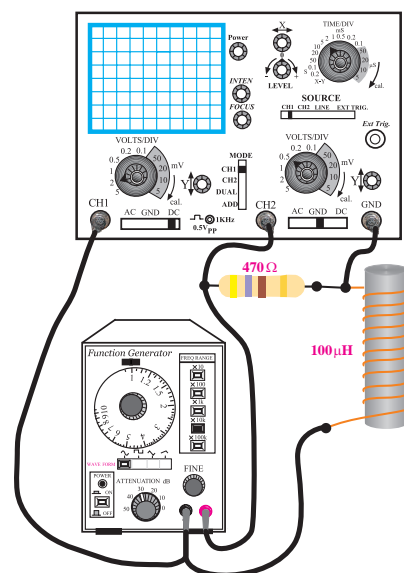
نحوه‌ی محاسبه‌ی اختلاف فاز را توضیح دهید.



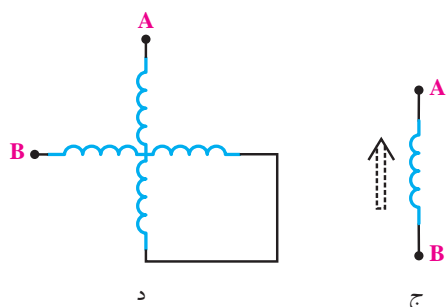
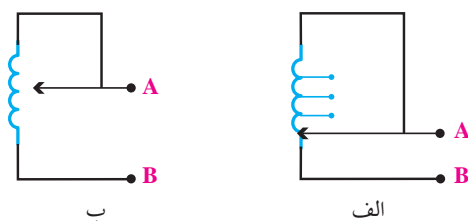
### ۴-۱۰-۸ نتایج آزمایش

آنچه را که در این آزمایش فراگرفته‌اید به اختصار شرح

دهید.



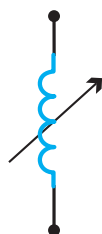
شکل ۲۹-۸ مدار آزمایش



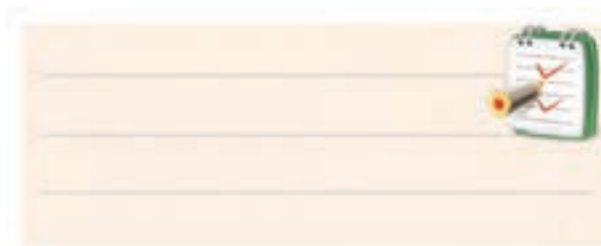
شکل ۸-۳۲ سیم پیچ های متغیر

در شکل ۸-۳۲-الف سیم پیچ چند سر دارد و با انتخاب سر مناسب توسط سلکتور می توان اندوکتانس مناسب را انتخاب کرد. در شکل ۸-۳۲-ب تغییر مقدار اندوکتانس مورد نظر به وسیله ی یک بازوی لغزنده انجام می شود. در شکل ۸-۳۲-ج برای داشتن اندوکتانس متغیر، هسته ی سیم پیچ را می توانیم تغییر دهیم. با جابه جایی هسته، اندوکتانس ( $L$ ) مورد نیاز را انتخاب می کنیم.

در شکل ۸-۳۲-د نیز با تغییر موقعیت مکانی سیم پیچ ها اندوکتانس کل مدار تغییر می کند. در شکل ۸-۳۳ نماد فنی سیم پیچ متغیر نشان داده شده است.



شکل ۸-۳۳ نماد فنی سیم پیچ متغیر



## ۱۱-۸ ضرب خود القایی متغیر

سیم پیچ ها را با توجه به نوع کاربرد در ۲ نوع ثابت و متغیر تولید می کنند. در شکل ۸-۳۱ شکل ظاهری چند نمونه سیم پیچ ثابت و متغیر را مشاهده می کنید.



شکل ۸-۳۱ چند نمونه سلف ثابت و متغیر

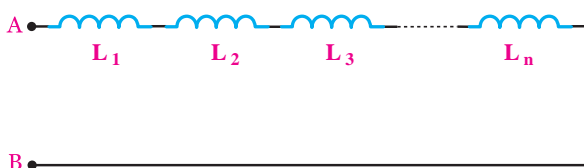
### ۱-۱۱-۸ انواع سیم پیچ متغیر

در شکل ۸-۳۲ نماد فنی چهار نمونه سیم پیچ متغیر نشان داده شده است.

صورت سری، موازی یا ترکیبی ضریب خود القایی مورد نظر را به دست آوریم.

### ۸-۱۲-۱ اتصال سری سیم پیچ ها

هرگاه دو یا چند سیم پیچ را مشابه مقاومت ها به صورت متوالی اتصال دهیم، «اتصال سری» سیم پیچ ها به وجود می آید. در شکل ۸-۳۵ اتصال سری  $n$  سیم پیچ نشان داده شده است.



شکل ۸-۳۵ اتصال سری سیم پیچ ها

بنابراین در اتصال سری سیم پیچ ها، ضریب خود القایی معادل بین دو نقطه  $A$  و  $B$  بر اساس رابطه ی زیر قابل محاسبه است.

$$L_T = L_1 + L_2 + L_3 + \dots + L_n$$

### توجه

رابطه بالا به شرطی برقرار است که بین سیم پیچ ها القای متقابل موجود نباشد.



اگر سیم پیچ های سری شده را به منبع ولتاژ متناوب اتصال دهیم هر سیم پیچ را کتانس القایی خاصی را از خود نشان می دهد.

در شکل ۸-۳۶ راکتانس سلفی هر سیم پیچ مشخص شده است.

### تحقیق کنید:

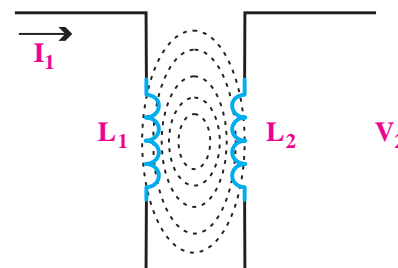


به نظر شما سیم پیچ های متغیر در چه مدارهایی کاربرد دارند؟ سه نمونه را نام ببرید.

### ۸-۱۱-۲ القای متقابل

هرگاه دو سیم پیچ را به گونه ای در مجاورت هم قرار دهیم که در صورت عبور جریان متناوب سینوسی از سیم پیچ اول، ولتاژی در سیم پیچ دوم به وجود آید (القا شود)، می گوئیم بین دو سیم پیچ القای متقابل وجود دارد.

یادآوری می شود که نباید هیچگونه اتصال الکتریکی بین سیم پیچ اول و دوم وجود داشته باشد. القای ولتاژ در سیم پیچ به خاطر تغییرات میدان ایجاد شده در سیم پیچ اول و اثر گذاشتن روی سیم پیچ دوم به وجود آمده است، شکل ۸-۳۴ هر قدر ولتاژ القایی به وجود آمده در سیم پیچ دوم بیشتر باشد، می گوئیم ضریب القایی متقابل بین دو سیم پیچ بیشتر است.



شکل ۸-۳۴ القای متقابل

### ۸-۱۲ سلف به صورت سری و موازی

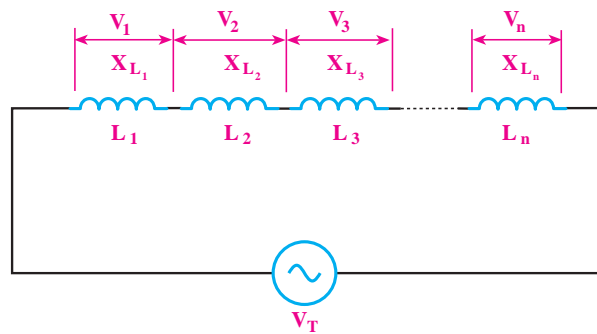
چنانچه سلف مورد نیاز در محدوده ی سلف های استاندارد نباشد، می توانیم با متصل کردن چند سیم پیچ (سلف) به



اگر سیم پیچ های موازی شده را به منبع ولتاژ متناوب متصل کنیم، ضریب خود القا و راکتانس معادل آن، مانند مقاومت های اهمی با استفاده از روابط زیر محاسبه می شود.

$$\frac{1}{L_T} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \dots + \frac{1}{L_n}$$

$$\frac{1}{X_{L_T}} = \frac{1}{X_{L_1}} + \frac{1}{X_{L_2}} + \dots + \frac{1}{X_{L_n}}$$



شکل ۳۶-۸ راکتانس معادل

راکتانس سیم پیچ ها به صورت سری نیز مانند مقاومت های اهمی از روابط زیر به دست می آید.

$$X_{L_T} = X_{L_1} + X_{L_2} + X_{L_3} + \dots + X_{L_n}$$

### تحقیق کنید:

درستی روابط مربوط به ضریب خود القا و راکتانس سلفی معادل را در مدار موازی اثبات کنید.

چنانچه n سیم پیچ مساوی به صورت موازی قرار گیرند، ضریب خود القای معادل از رابطه ی زیر محاسبه می شود.

$$L_T = \frac{L}{n}$$

ضریب خود القایی یک سیم پیچ
تعداد سیم پیچ ها

چنانچه دو سلف (سیم پیچ) نامساوی با یکدیگر به صورت موازی قرار گیرند، ضریب خود القای معادل از رابطه ی زیر به دست می آید.

$$L_T = \frac{L_1 L_2}{L_1 + L_2}$$

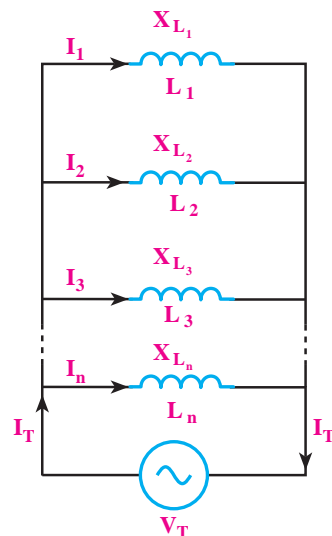
### تحقیق کنید:

با استفاده از روابط مربوط به مدار سری، رابطه ی راکتانس معادل سیم پیچ را به دست آورید.

$$X_{L_T} = X_{L_1} + X_{L_2} + X_{L_3} + \dots + X_{L_n}$$

### ۲-۱۲-۸ اتصال موازی سیم پیچ ها

اگر دو یا چند سیم پیچ را مطابق شکل ۳۷-۸ به یکدیگر اتصال دهیم، «اتصال موازی» سیم پیچ ها به وجود می آید.

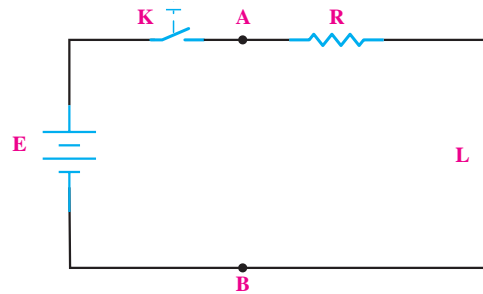


شکل ۳۷-۸ اتصال موازی سیم پیچ ها

## ۱۳-۸ مدار RL سری

### ۱-۱۳-۸ مدار RL سری در ولتاژ DC

در مدار شکل ۸-۳۸ سلف (L) و مقاومت (R) به صورت سری به هم اتصال دارند و ولتاژ DC را می توان از طریق یک کلید به آن متصل کرد. در صورتی که کلید K را ببندیم تقریباً بعد از مدتی جریان در مدار به ماکزیمم خود یعنی  $\frac{E}{R_{eq}}$  می رسد.



شکل ۸-۳۸ مدار RL سری

در عمل هر سلفی ضمن داشتن یک ضریب خود القایی (L)، یک مقاومت اهمی (مقاومت اهمی خود سیم پیچ) نیز دارد که می توان آن را به صورت سری با سلف نشان داد. ممکن است این مقاومت کم باشد ولی حتماً وجود دارد. این مقاومت را با  $r$  نشان می دهیم. از این به بعد در محاسبات سلف را ایده آل در نظر می گیریم و از مقاومت اهمی سلف صرف نظر می کنیم.

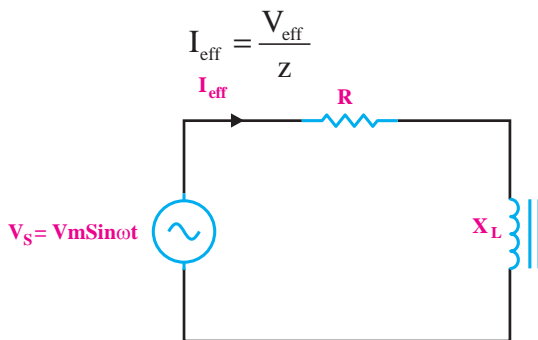
در مدار RL سری مقدار مقاومت اهمی از دو نقطه A و B برابر است با:

$$R_{eq} = R$$

### ۲-۱۳-۸ مدار RL سری در جریان متناوب

اگر یک سلف و یک مقاومت اهمی را مطابق شکل ۸-۳۹ به صورت سری به یکدیگر اتصال دهیم و سپس یک

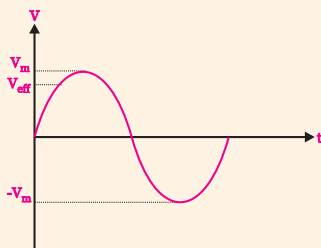
منبع ولتاژ متناوب سینوسی به دو سر آن وصل کنیم، مقدار جریان عبوری از مدار از رابطه ی زیر به دست می آید.



شکل ۸-۳۹ مدار RL سری در جریان متناوب

### یادآوری:

در مدارهای جریان متناوب سینوسی منظور از  $I_{eff}$  و  $V_{eff}$  مقدار جریان و ولتاژ موثری است که از روابط  $\frac{I_m}{\sqrt{2}}$  و  $\frac{V_m}{\sqrt{2}}$  محاسبه می شود.

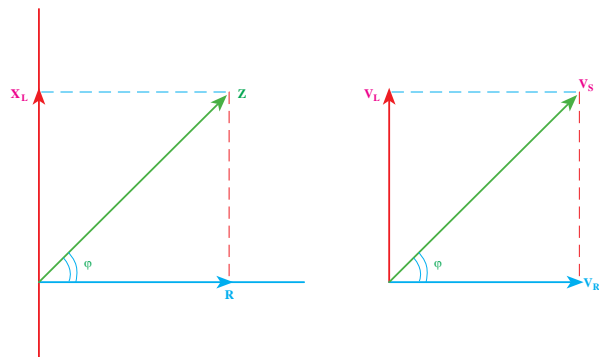


### امپدانس

در یک مدار RL سری، مقدار مقاومت معادل را مقاومت ظاهری یا امپدانس می گویند. مقدار امپدانس مدار از رابطه ی زیر به دست می آید.

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2} (\Omega)$$

مقاومت ( $V_R$ )، سلف ( $V_L$ ) و ولتاژ کل مدار ( $V_S$ ) و در شکل ۸-۴۲ ب دیاگرام برداری امپدانس مدار نشان داده شده است.



الف- دیاگرام برداری ولتاژهای مدار      ب- دیاگرام برداری امپدانس

شکل ۸-۴۲ دیاگرام برداری

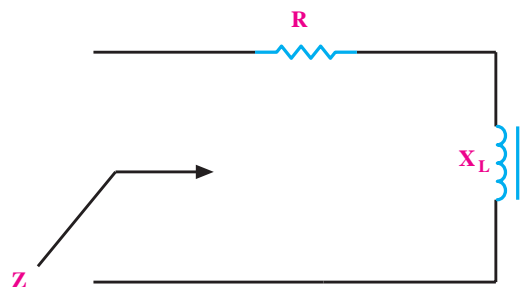
همانطور که از شکل ۸-۴۲ مشاهده می‌شود، در یک مدار RL سری، اختلاف فاز بین جریان و ولتاژ بین صفر تا ۹۰ درجه است. مقدار دقیق این اختلاف فاز به مقدار  $R$  و  $X_L$  بستگی دارد. با توجه به شکل ۸-۴۲ اختلاف فاز بین جریان و ولتاژ مدار را با  $\phi$  (فی) نشان می‌دهیم. مقدار  $\cos\phi$  از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید:

$$\cos\phi = \frac{R}{Z}$$

با محاسبه‌ی  $\cos\phi$  می‌توانیم مقدار  $\phi$  را با استفاده از جدول مثلثاتی یا ماشین حساب به دست آوریم.

### ولتاژهای مدار

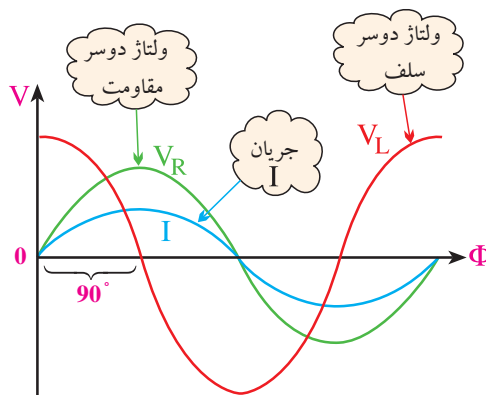
در یک مدار RL سری مطابق شکل ۸-۴۳ ولتاژ دو سر عناصر از روابط زیر به دست می‌آید:



شکل ۸-۴۰ امپدانس در مدار RL سری

### اختلاف فاز

در مدار RL سری ولتاژ دو سر مقاومت ( $V_R$ ) با جریان عبوری از مدار هم‌فاز است. در این مدار ولتاژ دو سر سلف به اندازه‌ی ۹۰ درجه از جریان عبوری از مدار جلوتر است. این اختلاف فاز در شکل موج‌های رسم شده در شکل ۸-۴۱ نشان داده شده است.



شکل ۸-۴۱ اختلاف فاز بین ولتاژ و جریان در مدار RL سری

همانطور که مشاهده می‌شود جریان عبوری از مدار با ولتاژ دو سر مقاومت، هم‌فاز است.

### دیاگرام برداری

در مدار RL سری، ولتاژ کل مدار از مجموع برداری ولتاژهای دو سر مقاومت ( $R$ ) و سلف ( $L$ ) به دست می‌آید. در شکل ۸-۴۲ الف دیاگرام برداری ولتاژهای دو سر

$$V_{\text{eff}} = \frac{V_m}{\sqrt{2}} = \frac{100}{\sqrt{2}} = 70.7$$

مقدار امپدانس را به دست می آوریم:

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2} = \sqrt{10^2 + 10^2} = \sqrt{200}$$

$$Z = 14.14 \Omega$$

مقدار جریان موثر  $I_{\text{eff}}$  را محاسبه می کنیم:

$$I_{\text{eff}} = \frac{70.7}{14.14} = 5 \text{ A}$$

$\cos \phi$  مدار را به دست می آوریم:

$$\cos \phi = \frac{R}{Z} = \frac{10}{14.14} \approx 0.7$$

مقدار  $\phi$  را با استفاده از ماشین حساب یا جدول مثلثاتی

محاسبه می کنیم:

$$\phi = 45^\circ$$

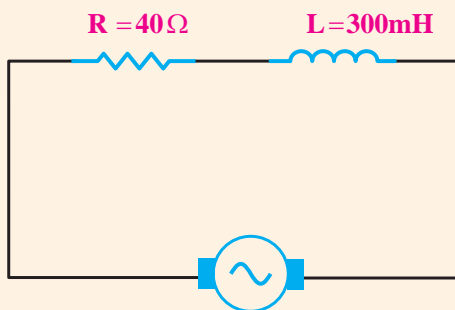
تمرین کلاسی ۱: در مدار شکل ۸-۴۵ مطلوب

است:

الف- محاسبه ی امپدانس مدار

ب- افت ولتاژ دو سر هر قطعه

ج- اختلاف فاز بین جریان و ولتاژ کل مدار



$$V_S = V_{\text{eff}} = 100 \text{ V}$$

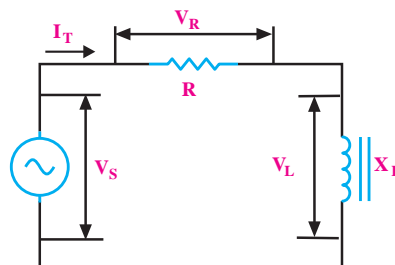
$$\omega = 100 \text{ rad/s}$$

شکل ۸-۴۵

$$V_R = I_T \cdot R$$

$$V_L = I_T \cdot X_L$$

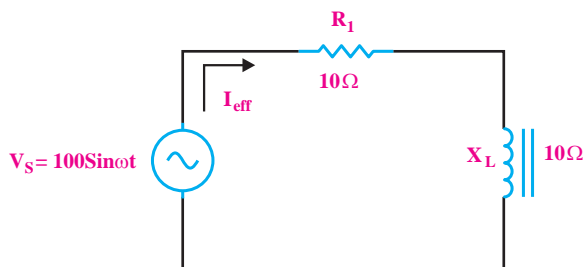
$$V_S = \sqrt{V_R^2 + V_L^2}$$



شکل ۸-۴۳ ولتاژهای مدار RL سری

**مثال ۲:** جریان و اختلاف فاز بین جریان و ولتاژ را در

مدار شکل ۸-۴۴ به دست آورید.



شکل ۸-۴۴ مثال

چون در مدار سری جریان کل با جریان عبوری از

مقاومت برابر است بنابراین می توانیم جریان کل مدار ( $I_T$ )

را به عنوان ( $I_{\text{eff}}$ ) یا جریان موثر در نظر بگیریم.

می خواهیم مقدار جریان موثر را با استفاده از رابطه ی زیر

به دست آوریم:

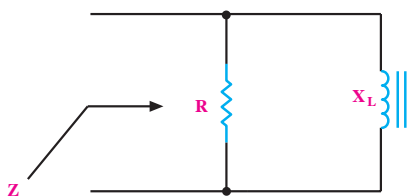
$$I_{\text{eff}} = \frac{V_{\text{eff}}}{Z}$$

مقدار ولتاژ موثر را محاسبه می کنیم:

## ۲-۱۴-۸ مدار RL موازی در جریان متناوب

در مدار شکل ۸-۴۷ اگر یک مقاومت اهمی و یک سلف را به صورت موازی به یکدیگر وصل کنیم، امپدانس مدار از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$\frac{1}{Z^2} = \frac{1}{R^2} + \frac{1}{X_L^2} \quad \text{یا} \quad Z = \frac{R \cdot X_L}{\sqrt{R^2 + X_L^2}}$$

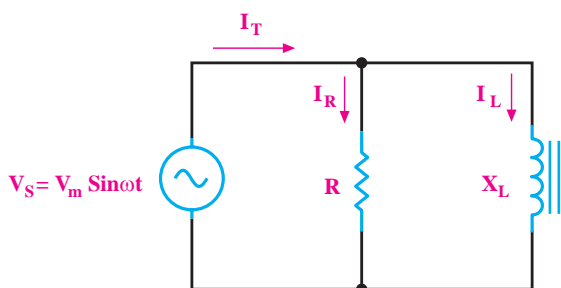


شکل ۸-۴۷ امپدانس مدار RL موازی

### جریان‌های مدار

در مدار شکل ۸-۴۸ جریان کل مدار از رابطه زیر قابل محاسبه است.

$$I_T = \frac{V_{eff}}{Z}$$



شکل ۸-۴۸ مدار RL موازی

در مدار RL موازی، روابط زیر برقرارند.

$$I_R = \frac{V_S}{R} \quad \text{یا} \quad I_L = \frac{V_S}{X_L}$$



## ۱-۱۴-۸ مدار RL موازی

### ۱-۱۴-۸ مدار RL موازی در ولتاژ DC

شکل ۸-۴۶ مدار RL موازی را نشان می‌دهد. همانطور که در شکل مشاهده می‌کنید ولتاژ یا اختلاف پتانسیل بین دو نقطه A و B برای سلف و مقاومت R یکسان است.

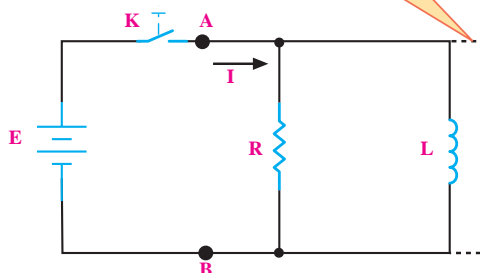
بعد از بسته شدن کلید K به علت موازی بودن مدار، ولتاژ منبع (E) در دو سر سلف قرار می‌گیرد. اگر از مقاومت اهمی سلف (r) صرف نظر نماییم، در ولتاژ DC سلف مانند یک سیم اتصال کوتاه عمل می‌کند.

در این مدار مقاومت معادل از دو نقطه A و B برابر است

با:

$$R_{eq} = R_{AB} = R \parallel 0 \cong 0$$

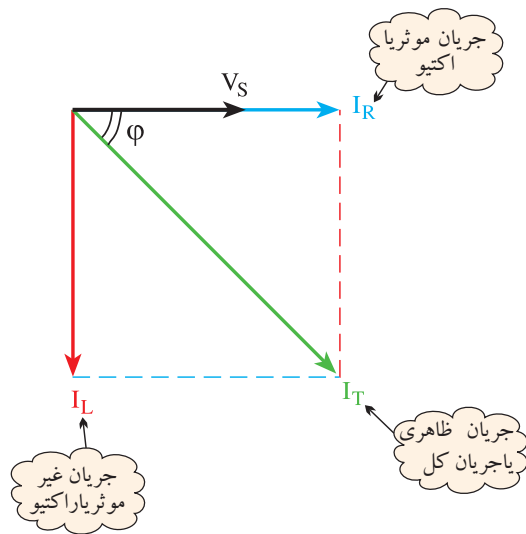
معادل سلف  
ایده آل در  
ولتاژ DC



شکل ۸-۴۶ مدار RL موازی

## دیاگرام برداری

در مدار RL موازی جریان کل مدار از جمع برداری جریان‌های سیم پیچ (L) و مقاومت (R) به دست می‌آید. در شکل ۸-۵۰ دیاگرام برداری مربوط به جریان‌های مدار و ولتاژ کل ( $V_S$ ) رسم شده است.



شکل ۸-۵۰ دیاگرام برداری جریان‌های مدار RL موازی

همانطور که در شکل مشاهده می‌شود، جریان عبوری از سیم پیچ به اندازه‌ی ۹۰ درجه از ولتاژ کل مدار عقب‌تر است. همچنین جریان عبوری از مقاومت با ولتاژ کل مدار هم‌فاز است.

با توجه به شکل ۸-۵۰ اختلاف فاز بین جریان کل مدار ( $I_T$ ) و ولتاژ منبع ( $V_S$ ) را با  $\phi$  نشان می‌دهیم و مقدار  $\cos \phi$  از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید:

$$\cos \phi = \frac{I_R}{I} = \frac{Z}{R}$$

با دانستن مقدار  $\cos \phi$  مقدار  $\phi$  با استفاده از ماشین حساب یا جدول مثلثاتی قابل محاسبه است.



## نکته‌ی مهم:

▲ مقدار جریان عبوری از مقاومت R، جریان موثر ( $I_{\text{eff}}$ ) است.

▲ جریان عبوری از سیم پیچ برابر با جریان غیر موثر یا  $I_L$  است.

▲ جریان عبوری از مقاومت ظاهری (Z) را جریان ظاهری ( $I_T$ ) می‌گویند. این جریان از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود.

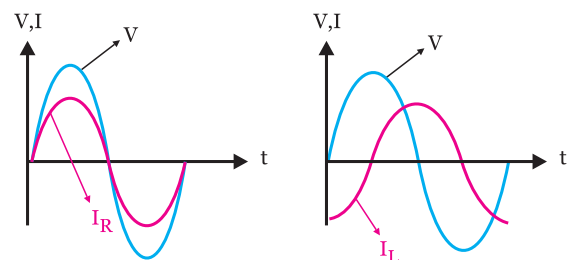
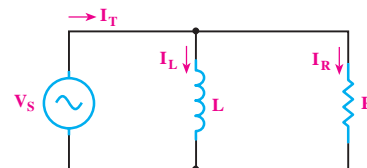
$$I_T = \sqrt{I_R^2 + I_L^2}$$

▲ مقدار  $\phi$  را با استفاده از ماشین حساب یا جدول مثلثاتی محاسبه می‌کنیم:

$$\cos \phi = \frac{Z}{R}$$

## اختلاف فاز:

در مدار RL موازی، ولتاژ دو سر سلف و مقاومت یکسان است و جریان کل مدار به نسبت عکس، بین مقاومت‌های R و  $X_L$  تقسیم می‌شود، شکل ۸-۴۹



شکل ۸-۴۹ مدار RL موازی

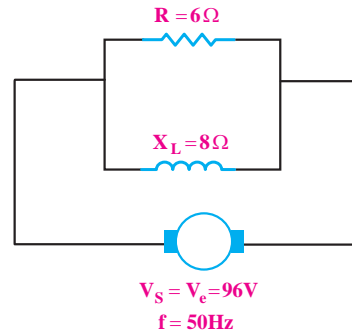
**مثال ۳:** در مدار شکل ۸-۵۱ مطلوبست:

الف- امپدانس مدار

ب- جریان کل مدار

ج- جریان هر شاخه

د- اختلاف فاز



شکل ۸-۵۱ مدار مربوط به مثال

$$I = \frac{V_s}{Z} = \frac{96}{4/8} = 20 \text{ A}$$

جریان عبوری از مقاومت را تعیین می کنیم:

$$I_R = \frac{V_s}{R} = \frac{96}{6} = 16 \text{ A}$$

جریان عبوری از  $X_L$  را به دست می آوریم

$$I_L = \frac{V_s}{X_L} = \frac{96}{8} = 12 \text{ A}$$

مقدار  $\cos \phi$  را محاسبه می کنیم

$$\cos \phi = \frac{Z}{R} = \frac{4/8}{6} = 0.8$$

با استفاده از ماشین حساب یا جدول مثلثاتی مقدار  $\phi$  را به

دست می آوریم.

$$\phi = 37^\circ$$

**تحقیق کنید:**



با استفاده از رابطه ی  $\frac{1}{Z} = \frac{1}{R} + \frac{1}{X_L}$  رابطه ی ساده شده ی  $Z$  را به دست آورید.

**حل:**

ابتدا مقاومت ظاهری مدار ( $Z$ ) را با استفاده از رابطه ی

زیر محاسبه می کنیم:

$$\frac{1}{Z} = \frac{1}{R} + \frac{1}{X_L}$$

$$\frac{1}{Z} = \frac{1}{6} + \frac{1}{8} = \frac{1}{36} + \frac{1}{64} \Rightarrow Z = 4/8 \Omega$$

توجه: به جای رابطه ی  $\frac{1}{Z} = \frac{1}{R} + \frac{1}{X_L}$  می توان از رابطه ی ساده شده ی زیر استفاده کرد.

$$Z = \frac{R \cdot X_L}{\sqrt{R^2 + X_L^2}} = \frac{6 \times 8}{\sqrt{6^2 + 8^2}} = \frac{48}{10} = 4/8 \Omega$$

جریان کل مدار را محاسبه می کنیم:

## ۱۵-۸ آزمایش شماره‌ی (۲)

زمان اجرا: ۶ ساعت آموزشی

### ۱۵-۸-۱ هدف‌های آزمایش

به دست آوردن امپدانس در مدارهای RL سری و موازی و تحقیق روی روابط آنها

### ۱۵-۸-۲ تجهیزات، ابزار، قطعات و مواد مورد نیاز:

ردیف	نام و مشخصات	تعداد/ مقدار
۱	مولتی متر دیجیتالی	یک دستگاه
۲	سلف ۱۰mH	یک عدد
۳	مقاومت اهمی ۱KΩ	یک عدد
۴	فانکشن ژنراتور	یک دستگاه
۵	سیم رابط	به مقدار لازم
۶	بردبرد	یک عدد
۷	ابزار عمومی کارگاه الکترونیک	یک سری

### ۱۵-۸-۳ مراحل اجرای آزمایش

الف: به دست آوردن امپدانس یک مدار RL سری و تحقیق روی

$$V_S = \sqrt{V_R^2 + V_L^2} \quad \text{رابطه‌ی}$$

#### توجه

در صورتی که دو مولتی‌متر در اختیار ندارید از یک مولتی‌متر استفاده کنید.



تمرین کلاسی ۲: سلفی با اندوکتانس

$L=4\text{mH}$  با یک مقاومت  $R=8\Omega$  به طور موازی به ولتاژ متناوب ۲۴ ولتی با فرکانس ۱/۵ کیلوهرتز اتصال داده شده است.

$$V_S = V_{\text{eff}} = 24$$

مطلوب است:

الف- جریان هر شاخه

ب- جریان کل مدار

ج- امپدانس مدار

د- اختلاف فاز  $\phi$





$I_T = \dots\dots\dots \text{mA}$  جریان مدار

$V_s = \dots\dots\dots \text{V}$  ولتاژ خروجی فانکشن ژنراتور

■ با استفاده از مقادیر اندازه گیری شده امپدانس مدار را محاسبه کنید.

$$Z = \frac{V(\text{ولت})}{I(\text{آمپر})} = \frac{\dots\dots}{\dots\dots} = \dots\dots \Omega$$

■ مقدار Z را محاسبه کنید.

$$X_L = L \cdot 2\pi f = \dots\dots \Omega$$

$$X_L = \dots\dots \Omega$$

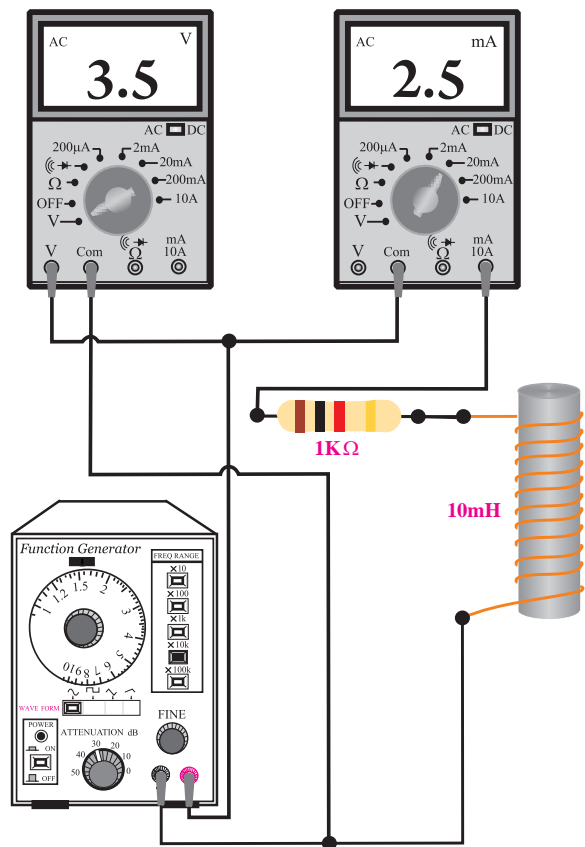
$$R = \dots\dots \Omega$$

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2} = \sqrt{(\dots)^2 + (\dots)^2}$$

$$Z = \sqrt{\dots\dots} = \dots\dots \Omega$$

**سوال ۲:** آیا مقدار Z به دست آمده از طریق اندازه گیری

با مقدار Z محاسبه شده تقریباً برابرند؟ توضیح دهید.



شکل ۵۲-۸ مدار عملی آزمایش

■ فانکشن ژنراتور را روی فرکانس ۱۶KHz و دامنه‌ی

ولتاژ ۱۰ ولت پیک تا پیک سینوسی تنظیم کنید.

■ کلید سلکتور مولتی‌متری که به عنوان ولت‌متر به کار

برده‌اید را در حالت AUTO یا رنج ۲۰ ولت AC قرار دهید.

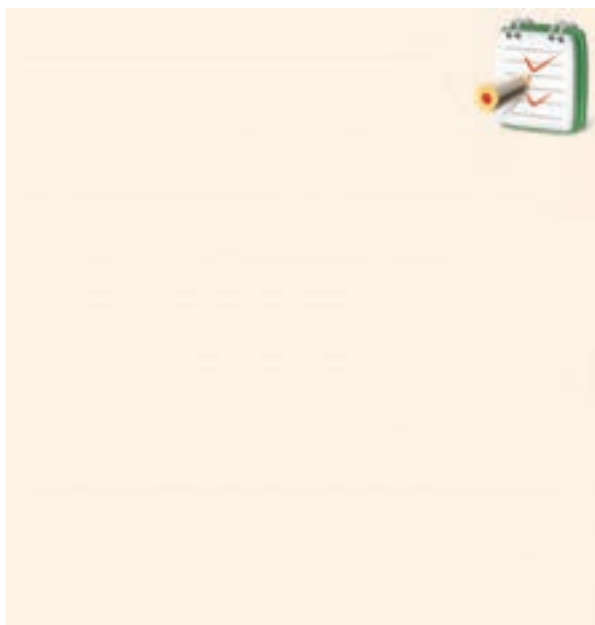
■ کلید سلکتور مولتی‌متری که به عنوان میلی‌آمپر AC

به کار برده‌اید را روی ۱۰ mA بگذارید و در حالت AC

بگذارید.

■ مقدار ولتاژی که ولت‌متر و همچنین مقدار جریانی که

میلی‌آمپر متر نشان می‌دهد را یادداشت کنید



■ مدار شکل ۵۳-۸ را روی بردبرد ببندید.

■ یکی از ولت‌مترها را از مدار جدا کنید و با آن ولتاژ

خروجی فانکشن ژنراتور را اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

ولت‌متری که به دو سر مقاومت اهمی وصل است.	$V_R = \dots\dots\dots V$
ولت‌متری که به دو سر سلف وصل است.	$V_L = \dots\dots\dots V$
ولت‌متری که به دو سر خروجی فانکشن ژنراتور وصل است.	$V_S = \dots\dots\dots V$

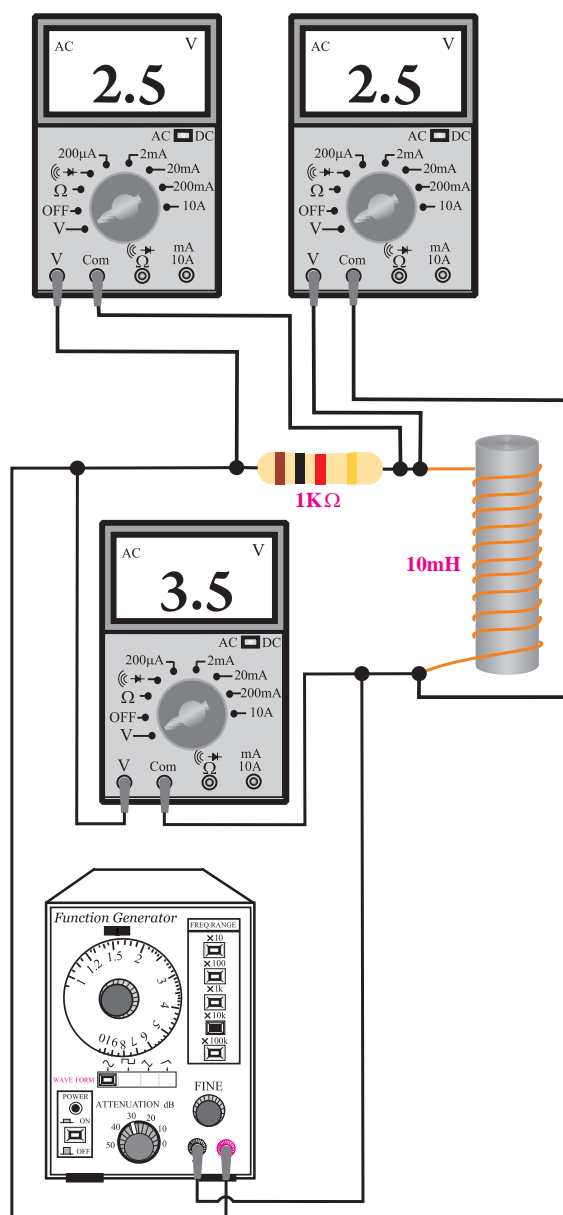
■ مقدار ولتاژ کل را که با استفاده از مقادیر  $V_R$  و  $V_L$  اندازه‌گیری کرده‌اید محاسبه کنید.

$$V_S = \sqrt{V_R^2 + V_L^2} = \sqrt{(\dots)^2 + (\dots)^2} = \sqrt{\dots} = \dots\dots\dots V$$

محاسبه  $V_S = \dots\dots\dots V$

**سوال ۳:** آیا مقدار ولتاژ کل ( $V_S$ ) به دست آمده از

طریق محاسبه با مقدار  $V_S$  اندازه‌گیری شده تقریباً برابر است؟  
توضیح دهید.



شکل ۵۳-۸ مدار عملی آزمایش

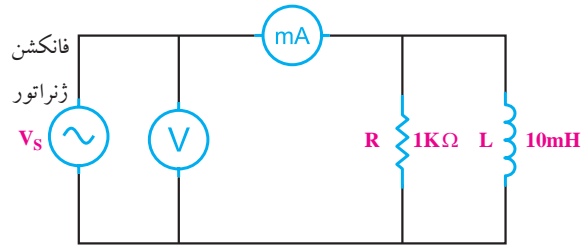
**توجه**

در صورتی که سه مولتی‌متر  
در اختیار ندارید از یک مولتی‌متر  
استفاده کنید.

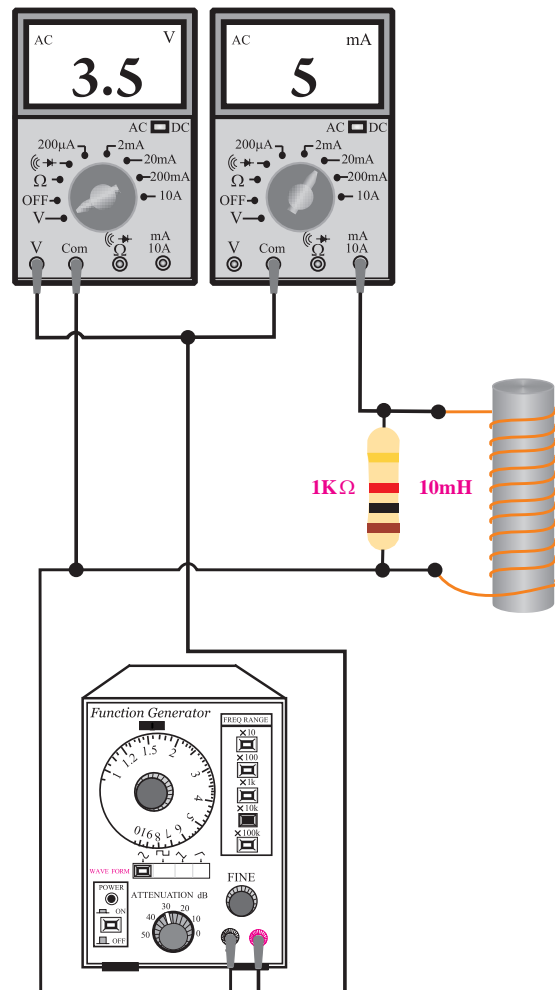


## ب: به دست آوردن امپدانس مدار RL موازی

■ مدار شکل ۵۴-۸ را روی بردبرد ببندید.



الف- نقشه‌ی فنی مدار



ب- مدار عملی

شکل ۵۴-۸ مدار آزمایش

■ فانکشن ژنراتور را روی فرکانس ۱۶KHz و دامنه‌ی

ولتاژ ۱۰ ولت پیک تو پیک سینوسی تنظیم کنید.

■ کلید سلکتور مولتی‌متری که به عنوان ولت‌متر به کار

برده‌اید را در حالت AUTO یا رنج ۱۰ ولت و در حالت AC قرار دهید.

■ کلید سلکتور مولتی‌متری که به عنوان میلی‌آمپر AC

به کار برده‌اید را روی ۲۰mA و در حالت AC قرار دهید.

■ مقدار ولتاژی که ولت‌متر و همچنین مقدار جریانی که

میلی‌آمپر نشان می‌دهد را یادداشت کنید.

$V = \dots\dots\dots$  مقدار ولتاژی را که ولت‌متر نشان می‌دهد.

$mA = \dots\dots\dots$  مقدار جریانی که میلی‌آمپر متر نشان می‌دهد.

■ امپدانس مدار را با استفاده از مقادیر اندازه‌گیری شده

محاسبه کنید.

$$Z = \frac{V(\text{ولت})}{I(\text{آمپر})} = \frac{\dots\dots\dots}{\dots\dots} = \dots\dots \Omega$$

مقدار Z را از طریق محاسبه به دست آورید:

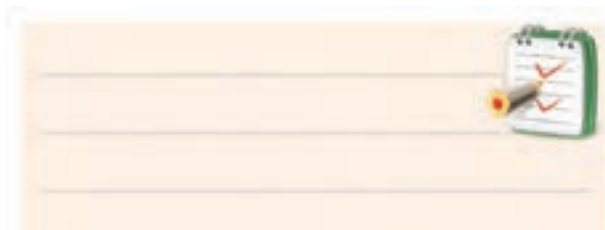
$$\frac{1}{Z^2} = \frac{1}{R^2} + \frac{1}{X_L^2}$$

$$\frac{1}{Z^2} = \frac{1}{(\dots)^2} + \frac{1}{(\dots)^2} \quad Z = \dots\dots\dots \Omega$$

**سؤال ۴:** آیا مقدار Z را که از طریق ریاضی محاسبه

کرده‌اید با مقدار Z به دست آمده از روش اندازه‌گیری ولتاژ

و جریان تقریباً برابر است؟ توضیح دهید.



#### ۴-۱۵-۸ نتایج آزمایش:

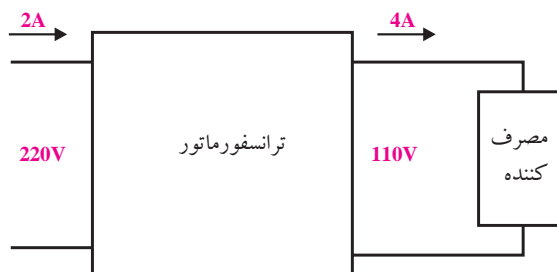
نتایج حاصل از آزمایش‌های الف و ب را به طور خلاصه

بیان کنید.

الف

ب

را متناسب با نیاز تغییر دهد. معمولاً تلفات در ترانسفورماتورها زیاد نیست، لذا می‌توان با تقریب قابل قبول توان ورودی را با توان خروجی برابر گرفت. بنابراین مطابق شکل ۸-۵۶ اگر ولتاژ ورودی یک ترانسفورماتور ۲۲۰ ولت و جریان آن ۲A باشد، ترانسفورماتور می‌تواند این ولتاژ را به ولتاژ خروجی ۱۱۰ ولت و به جریان ۴A تبدیل کند.



شکل ۸-۵۶ ترانسفورماتور کاهنده

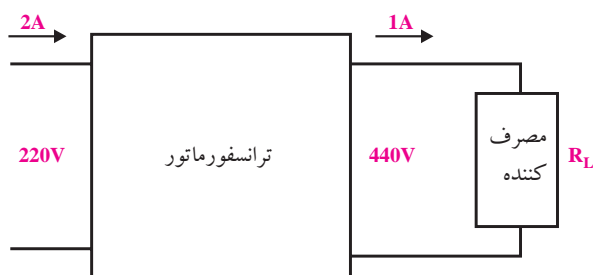
اگر ولتاژ خروجی یک ترانسفورماتور کمتر از ولتاژ ورودی باشد ترانسفورماتور از نوع کاهنده است. اگر ترانسفورماتوری، کاهنده‌ی ولتاژ باشد افزایش‌دهی جریان است.

#### ۱۶-۸ اصول کار ترانسفورماتور

##### ۱-۱۶-۸ تعریف ترانسفورماتور

ترانسفورماتور یک قطعه‌ی الکترومغناطیسی است که می‌تواند ولتاژ متناوب سینوسی مانند ولتاژ ۲۲۰ ولت برق شهر را دریافت و آن را به ولتاژ مورد نیاز مثلاً ۱۲ ولت تبدیل کند. شکل ۸-۵۵ یک نمونه ترانسفورماتور کوچک را نشان می‌دهد.

در شکل ۸-۵۷ اگر ولتاژ خروجی ۴۴۰ ولت شود، جریان خروجی به یک آمپر کاهش می‌یابد.



شکل ۸-۵۷ ترانسفورماتور افزایش‌دهنده

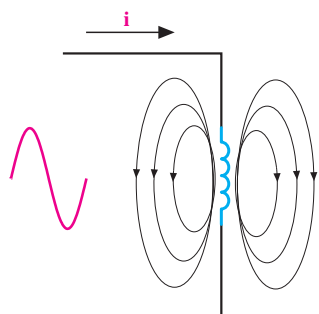


شکل ۸-۵۵ یک نمونه ترانسفورماتور

ترانسفورماتور انرژی الکتریکی را به نوع دیگری از انرژی تبدیل نمی‌کند و فقط قادر است مقدار ولتاژ دریافتی

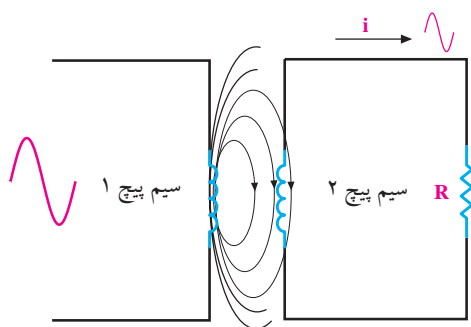
### ۳-۱۶-۸ اساس کار ترانسفورماتور:

اگر به یک سیم پیچ، ولتاژ متناوب اعمال شود در سیم پیچ جریان متناوب جاری می شود و همان طور که در قبل گفته شد در اطراف سیم پیچ میدان مغناطیسی متغیر به وجود می آید،  
شکل ۵۹-۸



شکل ۵۹-۸ میدان مغناطیسی اطراف سیم پیچ

حال اگر سیم پیچ دیگری را در مجاورت چنین سیم پیچی قرار دهیم، میدان مغناطیسی حاصل از عبور جریان متناوب از سیم پیچ اول، سیم پیچ دوم را در بر می گیرد و در سیم پیچ دوم ولتاژی را متناسب با ضریب القای متقابل القا می کند، شکل ۶۰-۸



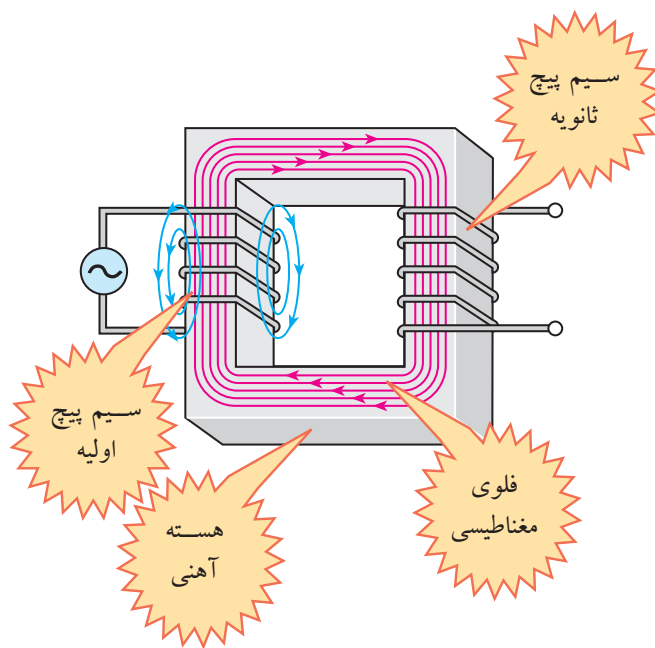
شکل ۶۰-۸ میدان مغناطیسی در ترانس

یک ترانسفورماتور معمولی، حداقل دارای دو سیم پیچ است. به یکی از سیم پیچ های آن ولتاژ متناوب می دهیم تا در سیم پیچ دوم ولتاژی القا شود.

اگر ولتاژ خروجی یک ترانسفورماتور بیشتر از ولتاژ ورودی باشد ترانسفورماتور از نوع افزایش دهنده است. اگر ترانسفورماتوری افزایش دهنده ولتاژ باشد کاهش دهنده جریان است.

### ۲-۱۶-۸ ساختمان ترانسفورماتور

ساختمان ترانسفورماتور معمولی شامل دو سیم پیچ و یک هسته است. چنانچه انرژی الکتریکی با ولتاژ مشخصی را به یکی از سیم پیچ ها بدهیم، می توانیم ولتاژ مورد نظر را از سیم پیچ دیگر دریافت کنیم. سیم پیچی که به آن ولتاژ می دهیم را سیم پیچ اولیه و سیم پیچی که از آن ولتاژ دریافت می کنیم را سیم پیچ ثانویه می نامند. شکل ۵۸-۸ ساختمان ساده ی یک ترانسفورماتور را نشان می دهد.

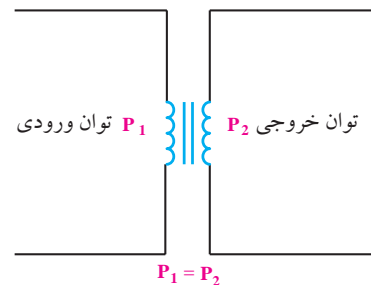


شکل ۵۸-۸ ساختمان داخلی یک ترانسفورماتور

با انتخاب مناسب تعداد دورهای اولیه و تعداد دورهای ثانویه یک ترانسفورماتور، می‌توانیم هر ولتاژی را به ولتاژ دیگر تبدیل کنیم. با انتخاب مناسب ابعاد هسته و ضخامت سیم‌پیچ‌های اولیه و ثانویه، توان مورد نیاز توسط ترانسفورماتور تامین می‌شود.

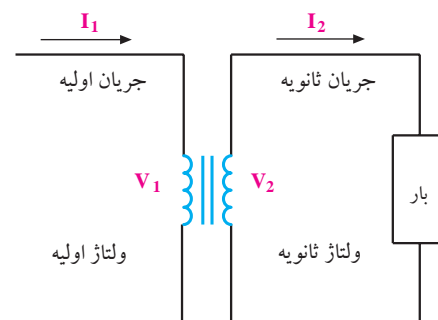
#### ۴-۱۶-۸ نسبت تبدیل ترانسفورماتور

چنانچه توان خروجی با توان ورودی برابر باشد، ترانسفورماتور را ایده‌آل می‌نامند، شکل ۸-۶۱. معمولاً در عمل توان خروجی کمتر از توان ورودی است. زیرا به دلیل عبور جریان از سیم‌پیچ‌های اولیه و ثانویه مقدار کمی از توان در داخل ترانسفورماتور تلف می‌شود.



شکل ۸-۶۱ ترانسفورماتور ایده‌آل

با توجه به شکل ۸-۶۲ در یک ترانسفورماتور ایده‌آل روابط زیر برقرار است:



شکل ۸-۶۲ روابط ترانسفورماتور

توان ورودی با توان خروجی برابر است:

$$P_1 = P_2$$

$$P_1 = V_1 \cdot I_1, P_2 = V_2 \cdot I_2$$

با مساوی قرار دادن  $P_1$  و  $P_2$  داریم:

$$V_1 \cdot I_1 = V_2 \cdot I_2$$

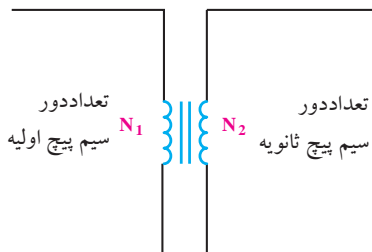
رابطه را ساده می‌کنیم:

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

رابطه‌ی نهایی به صورت زیر در می‌آید:

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

مقدار ولتاژ القا شده در ثانویه بستگی به تعداد دور سیم‌پیچ اولیه ( $N_1$ ) و ولتاژ اولیه ( $V_1$ ) دارد. لذا رابطه‌ی زیر برای یک ترانسفورماتور ایده‌آل صدق می‌کند، شکل ۸-۶۳.



شکل ۸-۶۳ تعداد دور سیم‌پیچ‌ها در ترانسفورماتور

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

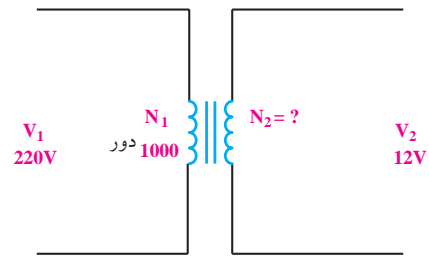
**مثال ۴:** در یک ترانسفورماتور  $V_1 = 220V$  و  $V_2 = 12V$  است. اگر  $N_1 = 1000$  دور باشد،  $N_2$  را محاسبه کنید، شکل ۸-۶۴.

شکل ۸-۶۴

مقادیر را جایگزین می‌کنیم و جریان  $I_1$  را به دست می‌آوریم

$$I_1 = \frac{110 \times 5}{24} = 22/91 \text{ A}$$

$$I_1 = 22/91 \text{ A}$$



شکل ۶۴-۸ مربوط به مثال ۴

حل: ابتدا رابطه را می‌نویسیم

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

مقادیر را جایگزین می‌کنیم

$$\frac{220}{12} = \frac{1000}{N_2}$$

$N_2$  را محاسبه می‌نماییم:

$$N_2 = \frac{1000 \times 12}{220} = 55 \text{ دور}$$

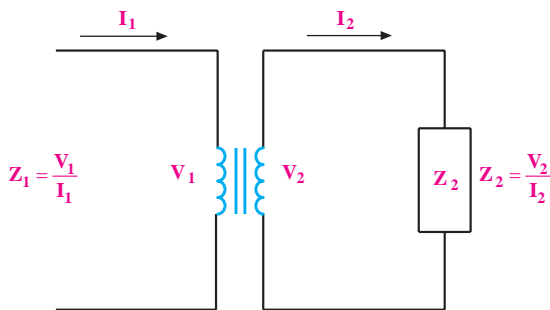
## ۱۷-۸ ترانسفورماتورهای تطبیق امپدانس

### ۱۷-۸-۱ تبدیل امپدانس:

اگر مطابق شکل ۶۶-۸ ولتاژ سیم‌پیچ اولیه یا ثانویه را به جریان عبوری از آن‌ها تقسیم کنیم، امپدانس بار در ثانویه ( $Z_p$ ) و اولیه ( $Z_s$ ) با استفاده از روابط زیر به دست می‌آید.

طبق قانون اهم:

$$Z_s = \frac{V_1}{I_1} \quad \text{و} \quad Z_p = \frac{V_2}{I_2}$$



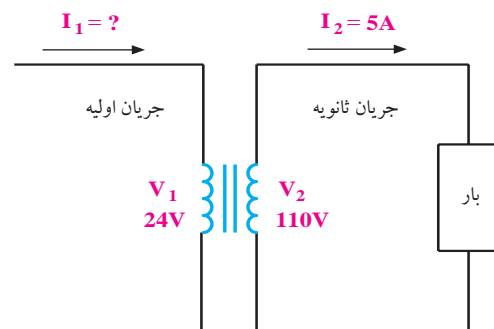
شکل ۶۶-۸ امپدانس اولیه و ثانویه

در روابط فوق  $Z_p$  امپدانس بار و  $Z_s$  امپدانس اولیه است که در اولیه‌ی ترانسفورماتور دیده می‌شود. مقدار این امپدانس از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید.

$$Z_s = Z_p \left( \frac{N_1}{N_2} \right)^2$$

## مثال ۵: در یک ترانسفورماتور طبق شکل (۶۵-۸) مقادیر

زیر را داریم:



شکل ۶۵-۸ مربوط به مثال ۵

جریان اولیه ( $I_1$ ) ترانسفورماتور چند آمپر است؟

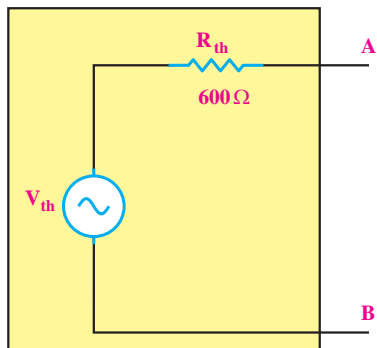
حل:

ابتدا رابطه‌ی مورد نظر را می‌نویسیم و ساده می‌کنیم:

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

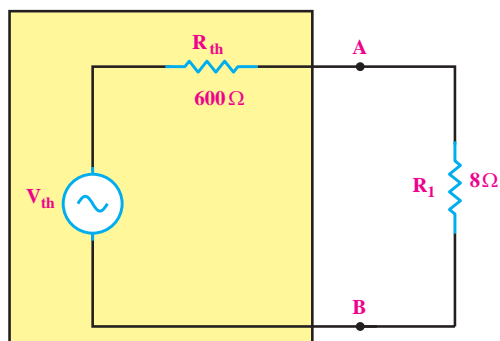
## ۲-۱۷-۸ تطبیق امپدانس به کمک ترانسفورماتور

فرض کنید می‌خواهیم در مدار معادل تونن شکل ۸-۶۸ حداکثر توان را به یک مقاومت  $8\Omega$  انتقال دهیم. شرط انتقال توان حداکثر این است که مقاومت بار با مقاومت معادل تونن ( $R_{th}$ ) برابر باشد.



شکل ۸-۶۸ مدار معادل تونن

با توجه به این که مقاومت معادل تونن برابر با  $600\Omega$  و مقاومت موجود بین دو نقطه‌ی A و B (مقاومت بار) برابر با  $8\Omega$  است، با اتصال مستقیم مقاومت  $8\Omega$  به دو نقطه‌ی A و B، حداکثر توان به مقاومت  $8\Omega$  منتقل نمی‌شود، شکل ۸-۶۹



شکل ۸-۶۹

برای انتقال حداکثر توان به مقاومت بار  $8\Omega$  از ترانسفورماتور استفاده می‌کنیم. به این ترتیب که اولیه‌ی ترانسفورماتور را بین دو نقطه‌ی A و B و بار را به ثانویه‌ی

## تحقیق کنید:



با استفاده از روابط ترانس، رابطه‌ی امپدانس بار در اولیه‌ی ترانس ( $Z_1$ ) را به دست آورید.

$$Z_1 = Z_2 \left( \frac{N_1}{N_2} \right)^2$$

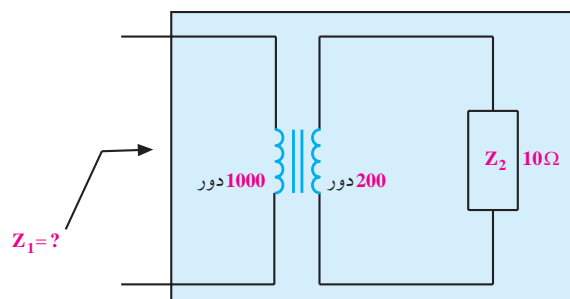
**مثال ۶:** در ترانسفورماتور شکل ۸-۶۷ مقادیر زیر

مفروض است:

$N_1 = 1000$  (تعداد دور سیم پیچ اولیه)

$N_2 = 200$  (تعداد دور سیم پیچ ثانویه)

$$Z_2 = 10\Omega$$



شکل ۸-۶۷ مثال

مقدار امپدانس  $Z_1$  یعنی مقاومت از دید سیم‌پیچ اولیه را به دست آورید.

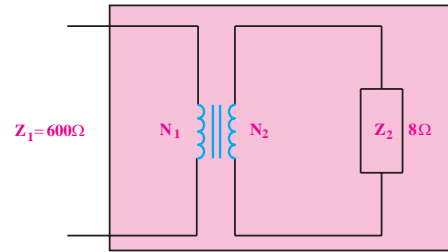
$$Z_1 = Z_2 \left( \frac{N_1}{N_2} \right)^2 = 10 \times \left( \frac{1000}{200} \right)^2 = 250\Omega$$

در یک ترانسفورماتور ایده‌آل، نسبت امپدانس

از دیدگاه اولیه به امپدانس ثانویه با مجذور نسبت تعداد دورهای سیم پیچ اولیه و ثانویه متناسب است.



ترانسفورماتور وصل می کنیم، شکل ۷۰-۸



شکل ۷۰-۸ انتقال توان ماکزیمم

با توجه به رابطه‌ی انتقال امپدانس می‌توانیم نسبت دور اولیه به ثانویه‌ی ترانسفورماتور را به روش زیر محاسبه کنیم.

$$Z_1 = Z_2 \left( \frac{N_1}{N_2} \right)^2$$

$$600 = 8 \left( \frac{N_1}{N_2} \right)^2$$

تعداد دورهای ترانسفورماتور را طوری انتخاب می‌کنیم که از دیدگاه اولیه‌ی ترانسفورماتور امپدانس  $600 \Omega$  را داشته باشیم.

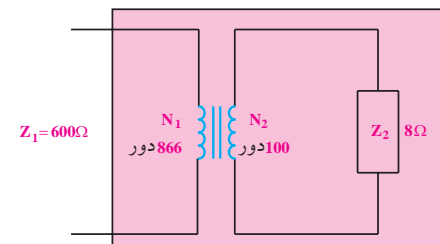
$$\left( \frac{N_1}{N_2} \right)^2 = \frac{600}{8} = 75$$

$$\left( \frac{N_1}{N_2} \right) = \sqrt{75} = 8.66$$

مطابق شکل ۷۱-۸ اگر  $N_2 = 100$  دور انتخاب کنیم،

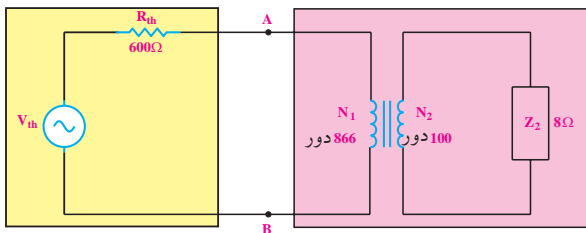
مقدار  $N_1$  برابر است با:

$$N_1 = 8.66 \times N_2 = 8.66 \times 100 = 866 \text{ دور}$$



شکل ۷۱-۸ تطبیق امپدانس

مطابق شکل ۷۲-۸ ترانسفورماتور با بار  $8 \Omega$  را به مدار معادل تونن بین دو نقطه‌ی A و B وصل می‌کنیم. چون بر اساس محاسبات امپدانس از دیدگاه اولیه‌ی ترانسفورماتور  $600 \Omega$  است، پس حداکثر توان به اولیه‌ی ترانسفورماتور منتقل می‌شود. از طرفی در یک ترانسفورماتور، توان اولیه با توان ثانویه تقریباً برابر است. لذا حداکثر توان از اولیه‌ی ترانسفورماتور، به ثانویه‌ی ترانسفورماتور منتقل می‌شود و ثانویه‌ی ترانسفورماتور می‌تواند این توان را به بار برساند.



شکل ۷۲-۸ انتقال حداکثر توان به بار

به کمک ترانسفورماتور می‌توانیم مقدار امپدانس بار (مصرف کننده) را از دیدگاه اولیه کم یا زیاد کنیم. به عبارت دیگر توان انتقالی را به مقداری که نیاز داریم تنظیم نماییم. به این نوع ترانسفورماتورها، ترانسفورماتور تطبیق امپدانس نیز می‌گویند. این ترانسفورماتورها برای انتقال حداکثر توان به بلندگوها به کار می‌روند. زیرا امپدانس بلندگوها معمولاً  $4 \Omega$  یا  $8 \Omega$  است. شکل ۷۳-۸



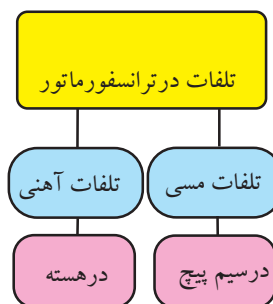
شکل ۷۳-۸ تطبیق امپدانس

## ۱۸- تلفات در ترانسفورماتور

وقتی انرژی الکتریکی را به ترانسفورماتور اعمال می‌کنیم، قسمتی از این انرژی در ترانسفورماتور تلف می‌شود، به این

انرژی تلف شده، تلفات ترانسفورماتور می گویند. مهم ترین تلفات در یک ترانسفورماتور تلفات مسی و آهنی است،

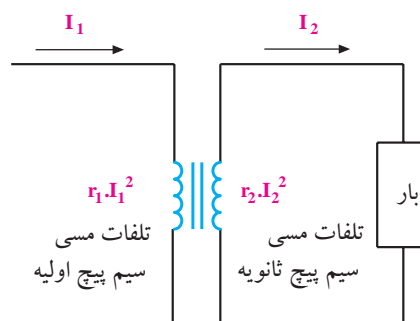
شکل ۸-۷۴.



شکل ۸-۷۴ تلفات در ترانسفورماتور

### ۱-۱۸-۸ تلفات مسی

همانطور که در شکل ۸-۷۵ مشاهده می کنید سیم پیچ اولیه دارای مقاومت  $r_1$  و سیم پیچ ثانویه دارای مقاومت اهمی  $r_2$  است. هنگامی که ترانسفورماتور کار می کند جریان از سیم پیچ اولیه و ثانویه عبور می کند لذا تلفات  $r_1 I_1^2$  در سیم پیچ اولیه و  $r_2 I_2^2$  در سیم پیچ ثانویه به وجود می آید. به این تلفات، **تلفات مسی** می گویند.

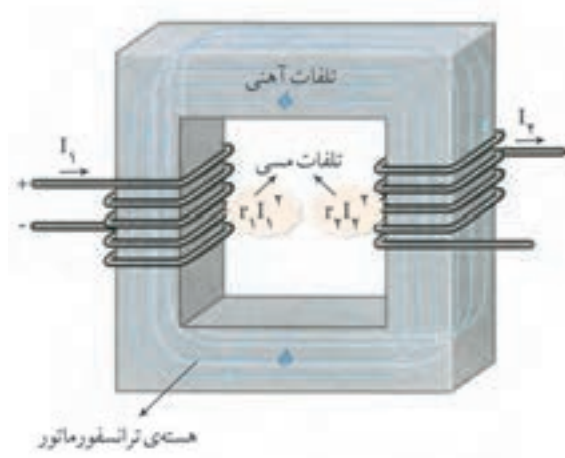


شکل ۸-۷۵ تلفات مسی

### ۲-۱۸-۸ تلفات آهنی

درصد بسیار کمی از انرژی الکتریکی داده شده به ترانسفورماتور در هسته ترانسفورماتور تلف می شود که به آن **تلفات آهنی** می گویند. تلفات کل ترانسفورماتور از

مجموع تلفات مسی و آهنی حاصل می شود، شکل ۸-۷۶.



شکل ۸-۷۶ تلفات آهنی و مسی

## ۱۹-۸ خرابی های ترانس تغذیه

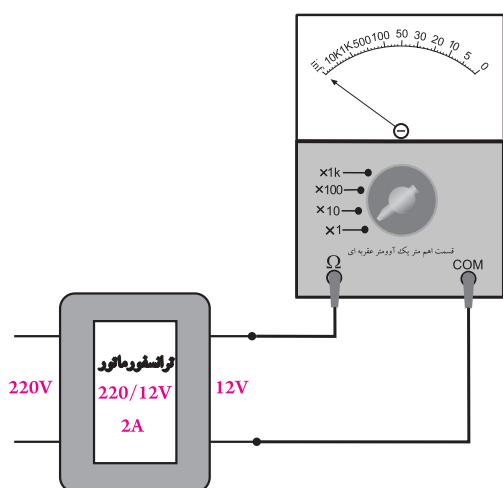
ترانسفورماتور تغذیه، ترانسفورماتوری است که انرژی مورد نیاز دستگاه را تأمین می کند. غالباً هر دستگاه الکترونیکی که با برق شهر کار می کند، یک ترانسفورماتور تغذیه دارد. در صورتی که ترانسفورماتور تغذیه معیوب شود دستگاه از کار می افتد.

**جریان نامی:** به حداکثر جریانی که می توان از

ثانویه ترانسفورماتور دریافت کرد (کشید)، جریان نامی می گویند.

**اضافه بار:** به میزان جریانی که مصرف کننده از

ثانویه ترانسفورماتور می کشد جریان بار می گویند. هر قدر مصرف کننده در اثر ایجاد اتصالی، جریان بیشتری از ثانویه ترانس بکشد اصطلاحاً گفته می شود، در ترانسفورماتور اضافه بار ایجاد شده است.



شکل ۷۷-۸ تشخیص قطع شدن سیم پیچ ها

ترانسفورماتورهای تغذیه از نوع کاهنده ی معمولی دارای مقاومت اهمی حدود چند ده اهم تا چند صد اهم در اولیه و حدود چند اهم در ثانویه هستند.

### توجه

در ترانس کاهنده مقاومت اولیه بیش تر از مقاومت ثانویه است.



### ۲- نیم سوز شدن (اتصال کوتاه ناقص سیم پیچ ها)

عیب معمول دیگر در ترانس های تغذیه نیم سوز شدن سیم پیچ ها است. در این حالت ولتاژ خروجی ترانسفورماتور کم تر از مقدار نامی است و ترانسفورماتور در حین کار بیش از حد داغ می شود و بوی سوختگی به مشام می رسد. چنانچه این حالت تداوم یابد در اثر گرم شدن بیش از حد امکان آتش سوزی وجود دارد.

در شکل ۷۸-۸ اتصال کوتاه ناقص در سیم پیچ توسط یک اهم متر بررسی می شود.

ترانسفورماتور تغذیه معمولاً دارای خرابی هایی به شرح زیر است:

- ۱- قطع شدن سیم پیچ اولیه یا ثانویه
- ۲- نیم سوز شدن (اتصال کوتاه ناقص سیم پیچ ها)
- ۳- اتصال کوتاه کامل

تمامی معایب ترانسفورماتورها معمولاً در اثر اضافه بار به وجود می آید. به این معنی که چنانچه جریان کشیده شده از جریان نامی بیش تر باشد، بر حسب مقدار اضافه بار، یا مدت زمان تداوم اضافه بار، یکی از اشکالات بروز می نماید.

### نکته ی مهم:

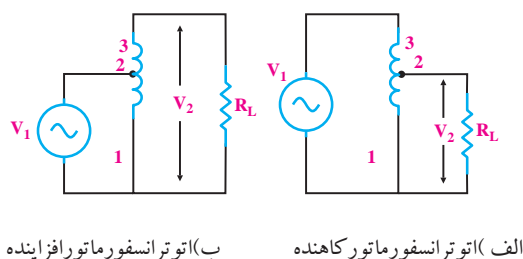


امروزه معمولاً اکثر منابع تغذیه ی دستگاه های مختلف حفاظت شده هستند و قبل از رساندن آسیب جدی به ترانسفورماتور مدار را قطع می کنند.

### ۱- قطع شدن سیم پیچ های اولیه یا ثانویه

قطع شدن سیم پیچ های اولیه یا ثانویه باعث می شود که پس از اتصال دستگاه به برق در ثانویه هیچ ولتاژی ظاهر نشود.

برای پیدا کردن این نوع خرابی ابتدا اولیه را از برق قطع کنید و سیم پیچ اولیه و ثانویه را به کمک اهم متر آزمایش نمایید. مطابق شکل ۷۷-۸ در صورت قطع بودن سیم پیچ، اهم متر مقاومت بی نهایت را نشان می دهد. در یک ترانسفورماتور هرچه توان بیشتر باشد مقاومت اهمی سیم پیچ ها کمتر است. زیرا برای داشتن توان بیشتر از سیم های ضخیم تر استفاده می کنند.



شکل ۷۹-۸ نماد فنی اتو ترانسفورماتور

### ۱-۲۰-۸ مزایای اتو ترانسفورماتور بر ترانسفورماتور معمولی

اتو ترانسفورماتورها به علت داشتن تنها یک سیم پیچ ابعاد کمتری دارند و قیمت آن‌ها ارزان‌تر است. یک نوع اتو ترانسفورماتور در فعالیت‌های آزمایشگاهی مورد استفاده قرار می‌گیرد که به آن واریاک (Variac) گفته می‌شود. ولتاژ خروجی واریاک قابل تنظیم است.

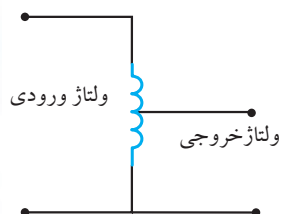
در شکل ۸۰-۸ شکل ظاهری اتو ترانسفورماتور با ولتاژ

خروجی قابل تنظیم و نماد فنی آن را مشاهده می‌کنیم.

در واریاک ولتاژ ورودی به پایه‌ی ثابت سیم‌پیچ که برای ولتاژ اولیه طراحی شده است، داده می‌شود و ولتاژ خروجی بین یک سر ثابت و یک سر متغیر دریافت می‌گردد. ولتاژ خروجی واریاک بین صفر تا یک مقدار حداکثر پیش‌بینی شده، قابل تنظیم است. مقدار حداکثر در اتو ترانسفورماتور می‌تواند از ولتاژ ورودی بیشتر باشد.

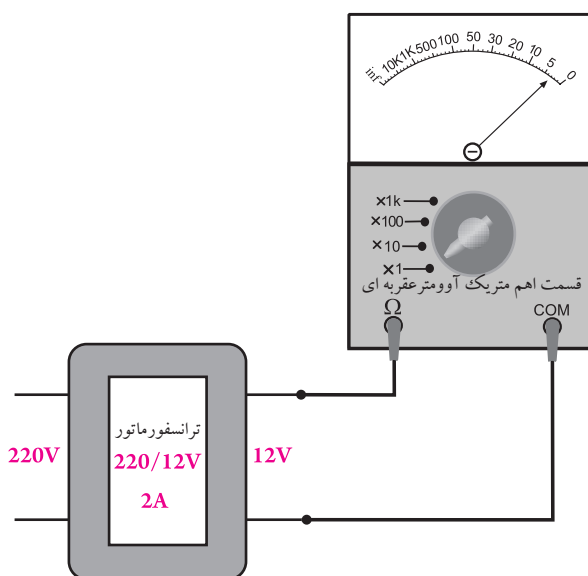


(ب) شکل ظاهری واریاک



(الف) نماد فنی واریاک

شکل ۸۰-۸ واریاک



شکل ۷۸-۸ نیم‌سوز شدن ترانسفورماتور تغذیه

### ۳- اتصال کوتاه کامل

این عیب در اثر اتصال یکی از سیم‌پیچ‌ها به بدنه‌ی ترانسفورماتور یا اتصال اولیه به ثانویه‌ی ترانسفورماتور رخ می‌دهد. بررسی این حالت توسط اهم‌متر به راحتی امکان‌پذیر است.

### ۲۰-۸ اتو ترانسفورماتور

از دیگر انواع ترانسفورماتورها، اتو ترانسفورماتور است. اتو ترانسفورماتورها بر خلاف ترانسفورماتورهای معمولی فقط یک سیم‌پیچ دارد که سرهای مختلف از آن خارج می‌شود. به این ترتیب ولتاژ ورودی به دو پایه‌ی قسمتی از سیم‌پیچ که برای ولتاژ اولیه طراحی شده است، داده می‌شود و ولتاژ خروجی از سرهای دیگر آن دریافت می‌گردد.

در شکل ۷۹-۸ نماد فنی دو نوع اتو ترانسفورماتور از نوع

کاهنده و افزایشنده نشان داده شده است.

## آزمون پایانی فصل ۸



۱- اجزای تشکیل دهنده ی یک سلف را نام ببرید.



۵- ضریب خود القایی سلف را تعریف کنید.



۲- کدام رابطه مربوط به محاسبه ی  $\cos \varphi$  در مدار RL

موازی است؟

الف)  $\frac{R}{Z}$

ب)  $\frac{X_L}{Z}$

ج)  $\frac{Z}{X_L}$

د)  $\frac{Z}{R}$

۳- میدان الکترومغناطیسی را تعریف کنید.



۶- چگونگی تولید جریان القایی را شرح دهید.



۷- از یک سلف با مشخصات  $r=100\Omega$  و  $L=300\text{mH}$

جریانی برابر با  $I=400\text{mA}$  می گذرد. انرژی ذخیره شده در

سیم پیچ چند میکرو ژول است؟

۴- جهت میدان مغناطیسی اطراف یک سیم پیچ را چگونه

تعیین می کنند؟

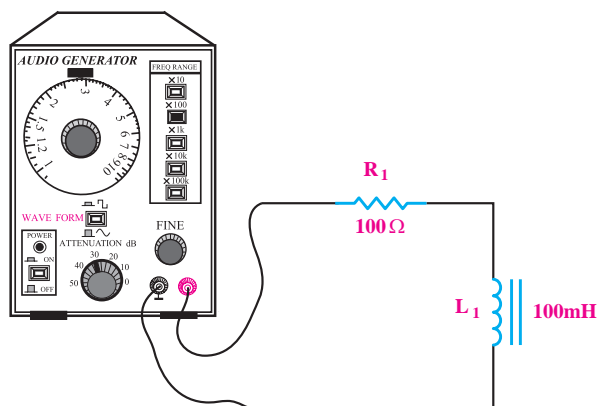
به وجود می آید؟

الف) سیم پیچ ها      ب) هسته

۱۲- در شکل ۸-۸۳ با افزایش فرکانس، ولتاژ دو سر

مقاومت اهمی ..... می شود.

الف) کم      ب) زیاد



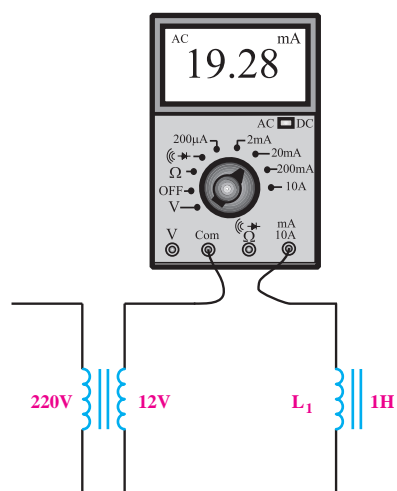
شکل ۸-۸۳

۱۳- در شکل ۸-۸۴ با افزایش ضریب خود القایی سلف

کدام حالت اتفاق می افتد؟

الف) میلی آمپر متر جریان بیشتری را نشان می دهد.

ب) میلی آمپر متر جریان کمتری را نشان می دهد.

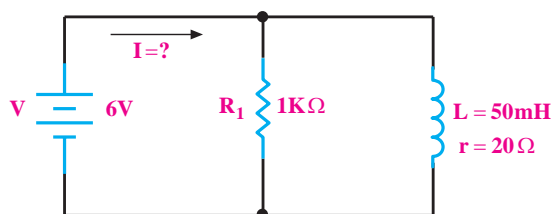


شکل ۸-۸۴



۸- در مدار شکل ۸-۸۱ جریان نهایی در مدار چند

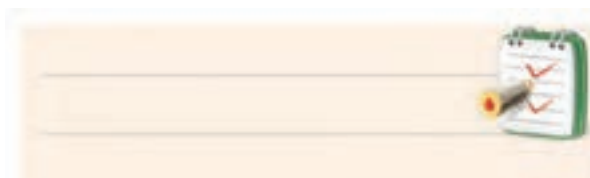
میلی آمپر است؟



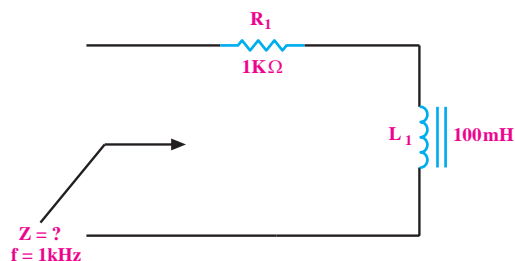
شکل ۸-۸۱

۹- نحوه ی آزمایش یک سلف به وسیله ی اهم متر را شرح

دهید.



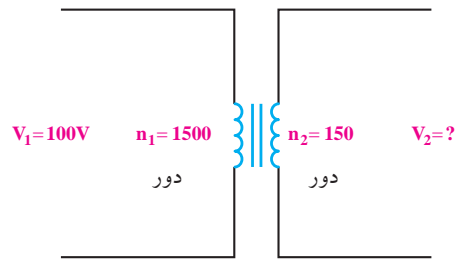
۱۰- در شکل ۸-۸۲ امپدانس مدار را محاسبه کنید.



شکل ۸-۸۲

۱۱- تلفات مسی در یک ترانسفورماتور، در کدام قسمت

۱۴- در شکل ۸-۸۵ مقدار  $V_2$  چند ولت است؟



شکل ۸-۸۵

الف) ۱۰ (ب) ۱۵

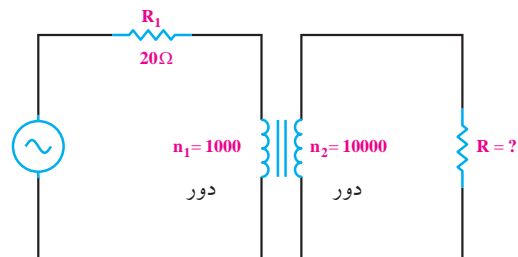
ج) ۱ (د) ۱/۵

۱۵- در شکل ۸-۸۶ مقدار  $R$  چند اهم باشد تا حداکثر

توان به دو سر آن انتقال یابد؟

الف) ۲۰۰۰۰ (ب) ۲۰۰۰

ج) ۲۰۰ (د) ۲



شکل ۸-۸۶

۱۶- اگر یک ترانسفورماتور مقدار ولتاژ را ..... دهد،

مقدار جریان را کاهش خواهد داد.

الف) کاهش (ب) افزایش

۱۷- ترانسفورماتور ایده آل، چه نوع ترانسفورماتوری

است؟

الف) ترانسفورماتوری که تلفات آهنی آن صفر باشد.

ب) ترانسفورماتوری که تلفات مسی آن صفر باشد.

ج) موارد الف و ب

د- ترانسفورماتوری که به صورت فیلتر عمل کند.

۱۸- روابط نسبت دور، نسبت جریان ها و نسبت ولتاژها را

در ترانسفورماتور ایده آل بنویسید.



۱۹- انواع تلفات در ترانسفورماتور را نام ببرید و برای هر

یک توضیح کوتاهی بنویسید.



۲۰- اگر یک هادی را در میدان مغناطیسی ثابت به حرکت

در آوریم، کدام اتفاق رخ می دهد؟

الف) در دو سر آن ولتاژ القا می شود.

ب) نیرویی به هادی وارد می شود.

ج) هیچ اتفاقی نمی افتد.