



وزارت علوم، تحقیقات و فناوری  
دانشگاه جیرفت

# مبانی برق ۲

جلسه ۱۲



# فصل پنجم



## ترانسفورماتورها



وزارت علوم، تحقیقات  
دانشگاه جیرفت



# ترانسفورماتور



- با عبور جریان الکتریکی از هادی، میدان مغناطیسی اطراف آن تولید می شود.
- جریان DC تولید شار مغناطیسی ثابت و جریان AC تولید شار متناوب خواهد کرد.
- اگر شار مغناطیسی تغییر کند، ولتاژ القایی تولید می شود .

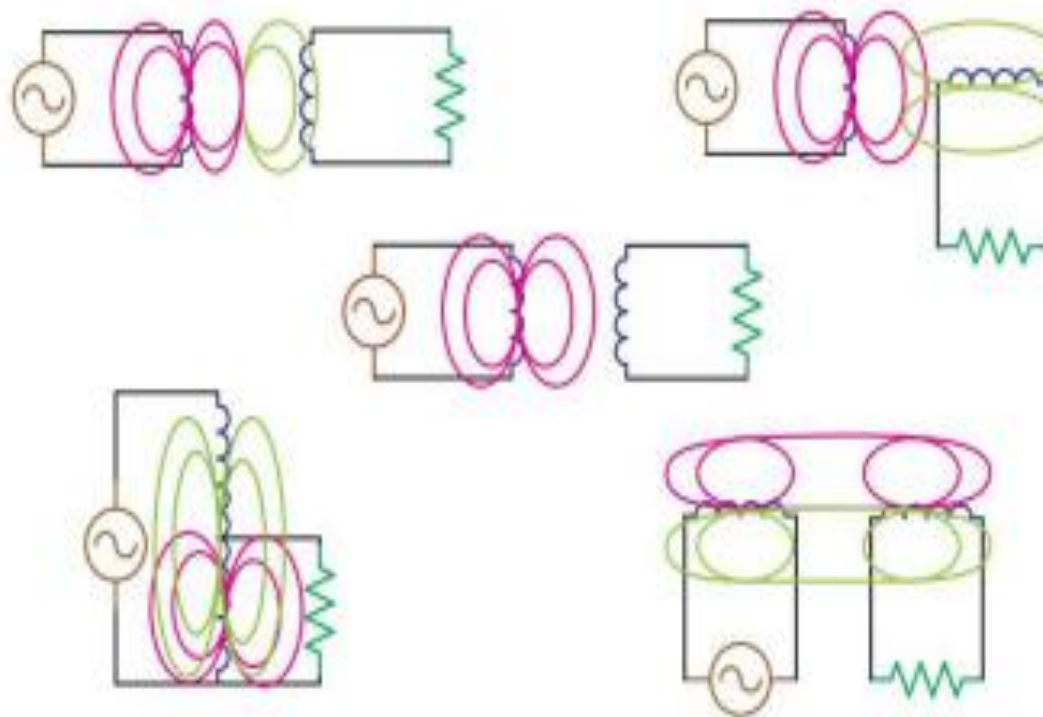
اگر شار مغناطیسی یکی از دو سیم پیچ نزدیک هم تغییر کند،

**آنگاه در دیگری ولتاژ القایی تولید می شود.**



# ترانسفورماتور

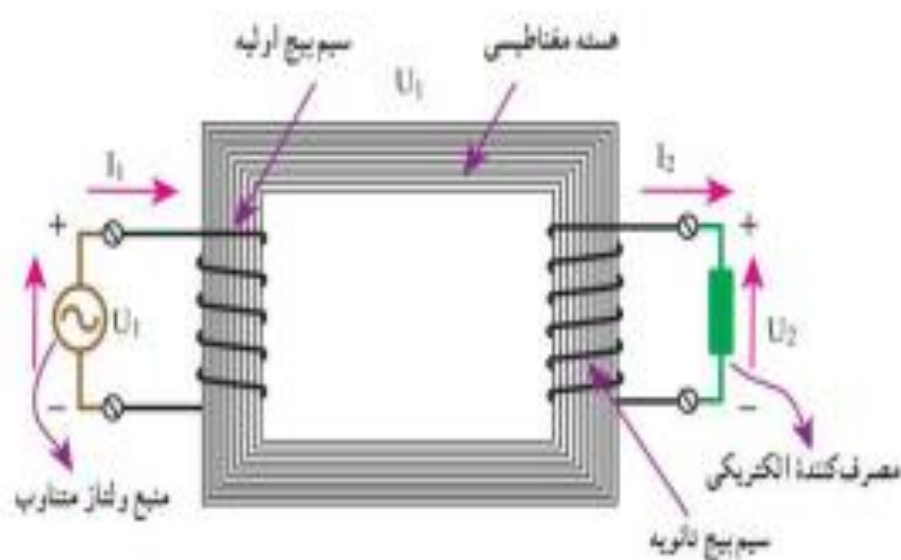
- دامنه ولتاژ القایی به مشخصات فیزیکی و فاصله بین سیم پیچ ها بستگی دارد.
- میزان وابستگی ولتاژ دو سیم پیچ به همدیگر با **القای متقابل** مشخص شود.





# ساختمان ترانسفورماتور

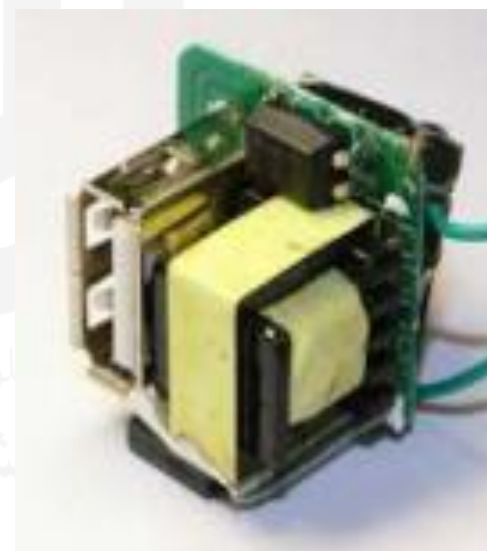
- ترانسفورماتور از دو سیم پیچ که القای متقابل آنها **کامل** است، تشکیل شده است.
- ترمینال متصل به منبع **سیم پیچ اولیه** و ترمینال متصل به بار **سیم پیچ ثانویه** نام دارد.
- به سیم پیچ با ولتاژ بالاتر **سیم پیچ فشار قوی** به سیم پیچ با ولتاژ پایینتر **سیم پیچ فشار ضعیف** می گویند .





# ترانسفورماتور

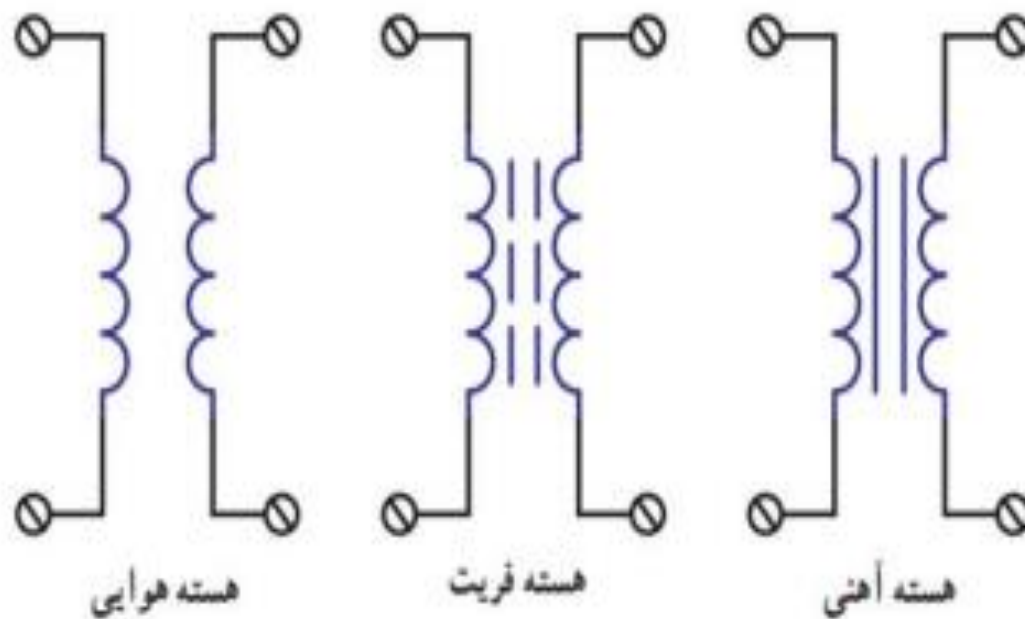
- اگر ولتاژسیم پیچ ثانویه بیشتر از اولیه باشد به **ترانسفورماتور افزایشده** گفته می شود.
- اگر ولتاژسیم پیچ اولیه بیشتر از ثانویه باشد به **ترانسفورماتور کاهشده** گفته می شود.
- از ترانسفورماتورهای افزایشده و کاهشده برای تقویت و تضعیف ولتاژ **AC** استفاده می شود .





# ساختمان ترانسفورماتور

- قسمت های اصلی ترانسفورماتور **هسته مغناطیسی** و **سیم پیچ ها** است.
- **هسته** ترانسفورماتورها می تواند **هوا، فریت و یا فولاد الکتریکی** باشد.



علائم اختصاری ترانسفورماتور با هسته های مختلف





# ساختمان ترانسفورماتور



- از ترانسفورماتور با هسته هوا و فریت اغلب در کاربردهای مخابراتی استفاده می شود.



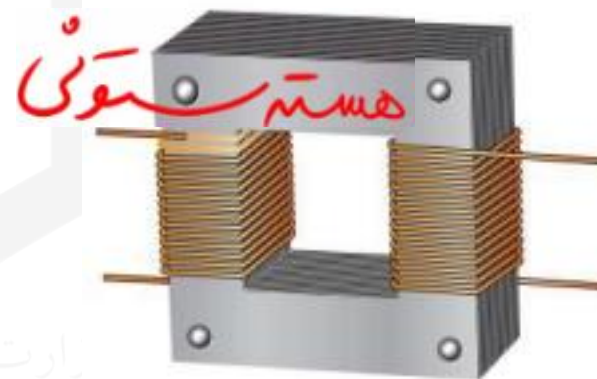
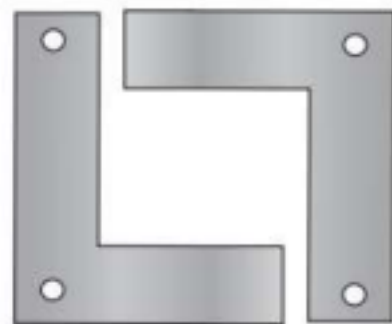
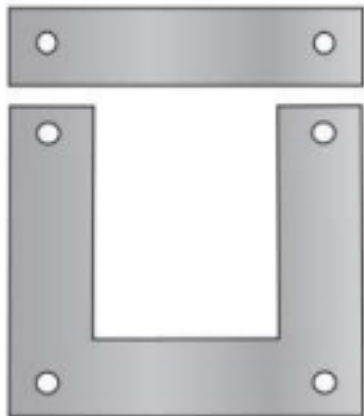




# ساختمان ترانسفورماتور



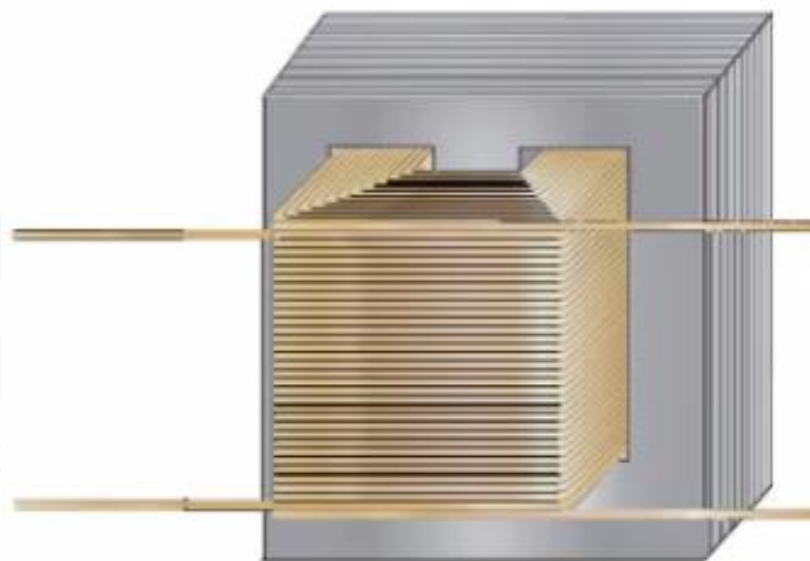
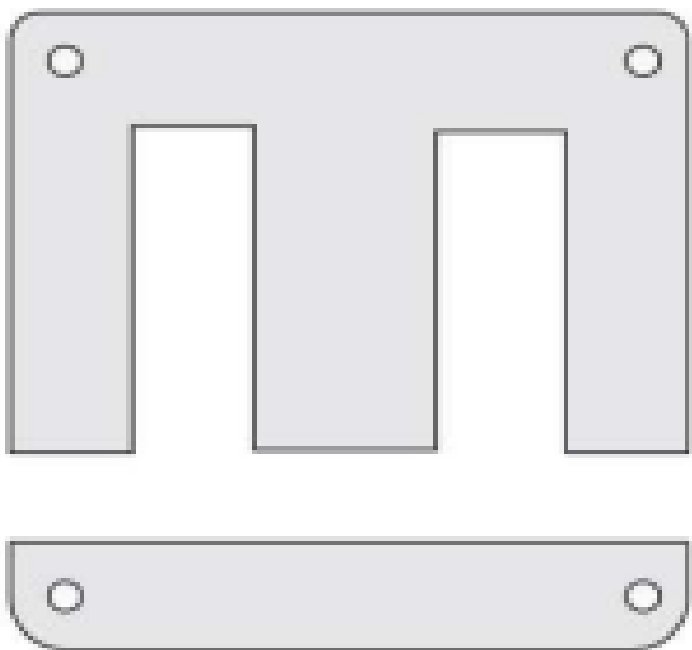
- از ترانسفورماتور با هسته فولاد الکتریکی اغلب در سیستم های قدرت استفاده می شود.
- اگر هر کدام از سیم پیچ ترانسفورماتور بر روی یک هسته فولادی باشد به آن ترانسفورماتور ستونی می گویند .





# ساختمان ترانسفورماتور

- از ترانسفورماتور با هسته فولاد الکتریکی اغلب در سیستم های قدرت استفاده می شود.
- اگر هر دوسیم پیچ ترانسفورماتور بر روی یک هسته فولادی باشد به آن **ترانسفورماتور زرهی** می گویند.





# ساختمان ترانسفورماتور

• ترانسفورماتورهای زرهی القای متقابل بیشتری نسبت به ستونی دارند. چرا؟

۵-۴

• برای کاهش مقاومت مغناطیسی از فولاد الکتریکی استفاده می شود.

• برای کاهش تلفات فوکو هسته لایه لایه است و بین آنها یک عایق به ضخامت ۰/۳۵ /

تا ۰/۵ میلی متر وجود دارد .

• نوع هادی سیم پیچ ها با توجه به **جریان و ولتاژ** مورد نیاز انتخاب می شود.

دانشگاه جی‌رِفْت



# طرز کار ترانسفورماتور

• اصول کار ترانسفورماتورها بر اساس قانون القای فاراده است.

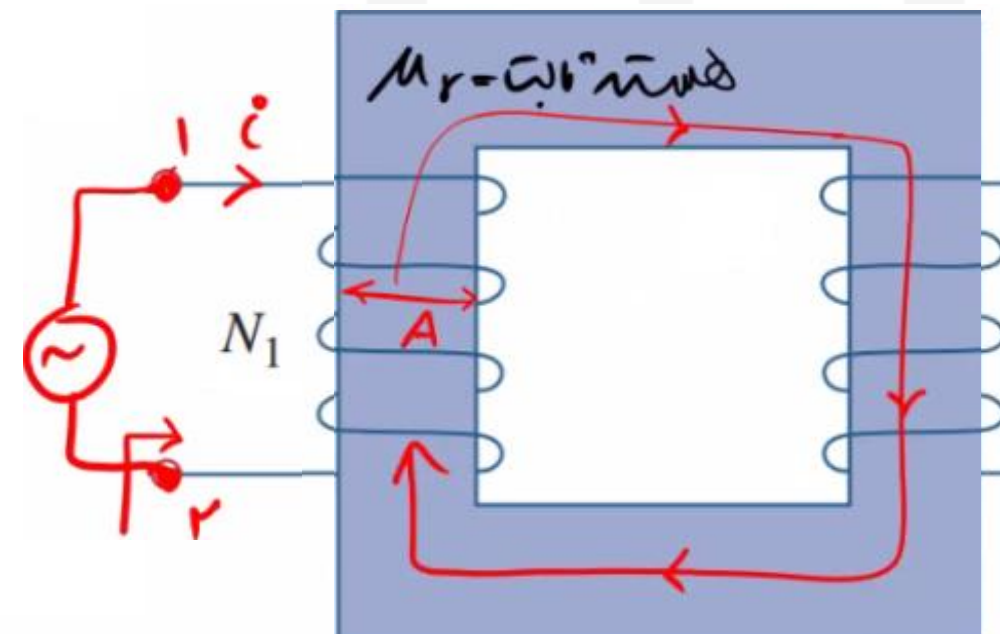


$$i = I_m \sin \omega t$$

$$B = \frac{\mu_0 \mu_r N I}{L}$$

$$B = \frac{\mu N_1 I_m}{L} \sin \omega t$$

$$\phi = \frac{\mu N_1 I_m}{L A} \sin \omega t$$



$$U_2 = + N_2 \frac{d\phi}{dt}$$

$$U_2 = N_2 \times \frac{\mu N_1 I_m}{L A} \times \omega \cos \omega t$$

$$U_2 = \left( \frac{\mu N_1 N_2 I_m}{L A} \omega \cos \omega t \right)$$

$$U_1 = \left( \frac{\mu N_1^2 I_m}{L A} \omega \cos \omega t \right) \Rightarrow \frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1^2}{N_1 N_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

$\frac{U_2}{U_1} = \frac{N_2}{N_1}$



# طرز کار ترانسفورماتور



• سیگنال ورودی ترانسفورماتور AC است.

$$\varphi_{(t)} = \varphi_m \sin \omega t$$

$$\varphi = B A$$

$$E = -N \frac{d\varphi}{dt} = -N \frac{d(\varphi_m \sin \omega t)}{dt} = N \varphi_m \omega \cos \omega t$$

$$E_m = N \varphi_m \omega \Rightarrow E = \frac{N \varphi_m \omega}{\sqrt{2}}$$

$$E = \frac{N B_m A (2\pi f)}{\sqrt{2}} \Rightarrow E = \frac{4}{44} N \overbrace{\varphi_m}^{f} = 4,44 N \varphi_m f$$

E مقدار نیروی محرکه القایی مؤثر بر حسب V

N تعداد دور سیم پیچ

$B_m$  حداکثر چگالی میدان مغناطیسی بر حسب T

A سطح مقطع هسته بر حسب  $m^2$

f فرکانس برق بر حسب HZ



# مثال



- ترانسفورماتوری دارای یک هسته با سطح مقطع  $10$  سانتی مربع است. اگر تعداد حلقه های یکی از سیم پیچ ها برابر  $1000$  و حداکثر چگالی میدان مغناطیسی در هسته برابر  $1.26$  / تسلا باشد، آنگاه نیروی محرکه القایی سیم پیچ در فرکانس  $50$  هرتز را محاسبه کنید .
- با فرض ثابت ماندن تعداد حلقه های سیم پیچ ها شار مغناطیسی آنها را  $20$  درصد افزایش می دهیم. در اینصورت برای افزایش نیروی محرکه القایی به اندازه  $50$  درصد افزایش فرکانس را محاسبه کنید.





$$A = 10 \text{ cm}^2 = 10 \times 10^{-8} \text{ m}^2 = 10^{-7} \text{ m}^2$$

$$N = 1000 \quad B_m = 1.124 \text{ T} \quad f = 50 \text{ Hz}$$

$$E = 4.44 N B_m A f = 4.44 \times 1000 \times 1.124 \times 10^{-7} \times 50 = 249.9 \text{ V}$$

$$\frac{E_2}{E_1} = \frac{\cancel{N_2}}{\cancel{N_1}} \times \frac{B_{m2}}{B_{m1}} \times \frac{\cancel{A_2}}{\cancel{A_1}} \times \frac{f_2}{f_1} = \frac{B_{m2}}{B_{m1}} \times \frac{f_2}{f_1} = \frac{\rho_{m2}}{\rho_{m1}} \times \frac{f_2}{f_1}$$

$$1.5 = 1.2 \times \frac{f_2}{f_1} \Rightarrow \frac{f_2}{f_1} = \frac{1.5}{1.2} = \frac{15}{12} = \frac{5}{4} = 1.25$$

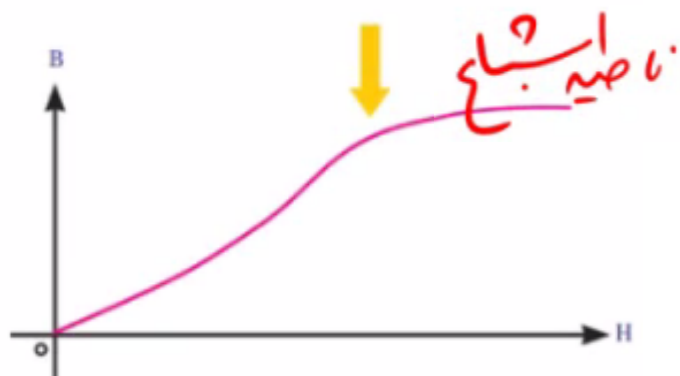
فرکانس ۲۵ درصد افزایش یابد





# ترانسفورماتور ایده آل

- به منظور درک کارکرد ترانسفورماتورهای واقعی، ترانسفورماتور ایده آل معرفی می شود.
- مقاومت الکتریکی سیم پیچ ها صفر است .
- کل شار مغناطیسی داخل هسته جریان دارد (شار پراکندگی صفر است) .
- با افزایش شدت میدان مغناطیسی، چگالی آن نیز زیاد می شود.



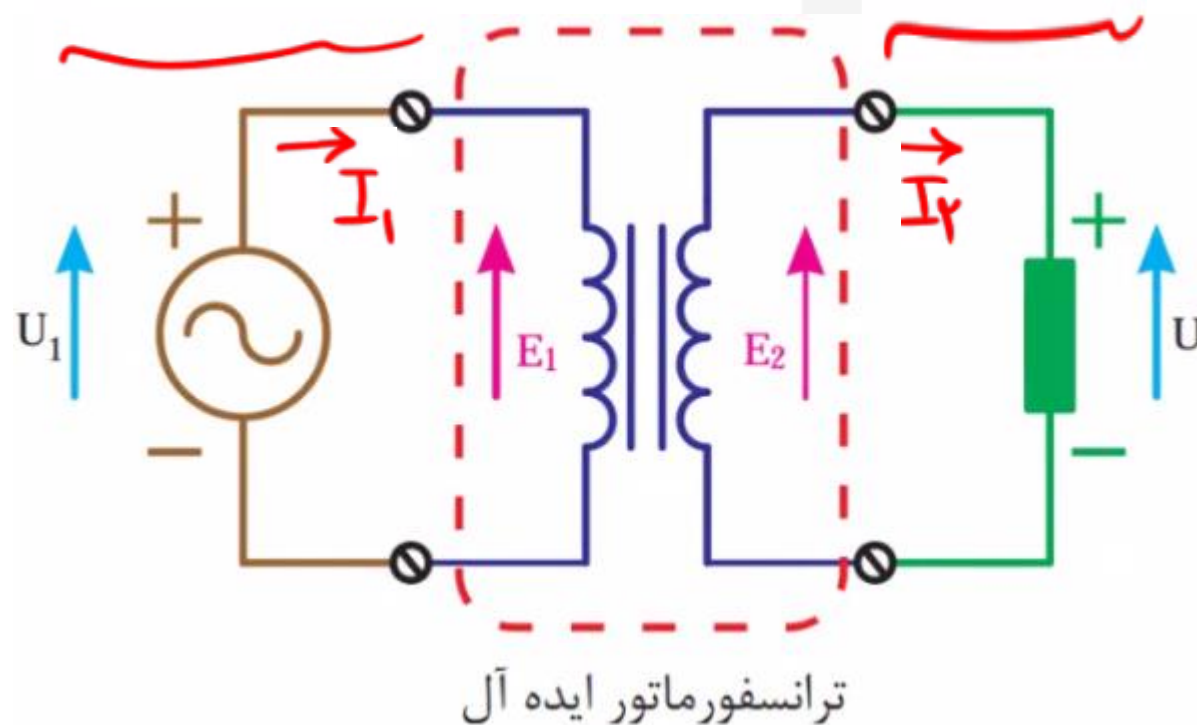
$$B = \mu H \rightarrow \mu \text{ ثابت}$$



# ترانسفورماتور ایده آل

$$P_{in} = U_1 I_1$$

• تلفات ترانسفورماتور ایده آل **صفر** است.



$$P_{out} = U_2 I_2$$

$$U_1 I_1 = U_2 I_2$$

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1} = \frac{N_1}{N_2}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} \frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2} = 2 \\ \frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1} = \frac{1}{2} \end{cases}$$



# ترانسفورماتور ایده آل

• هادی های سیم پیچ فشار ضعیف ضخیم تر است.

$$I_1 > I_2$$
$$U_2 > U_1$$

$$U_2 < U_1 \rightarrow I_2 > I_1$$



ب) ترانسفورماتور افزایش دهنده



الف) ترانسفورماتور کاهش دهنده

تأثیر تعداد دور سیم پیچ در تشخیص سیم پیچ فشار ضعیف یا فشار قوی

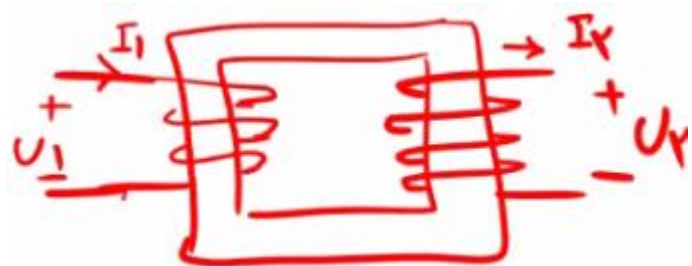
دانشگاه جی رف



# مثال



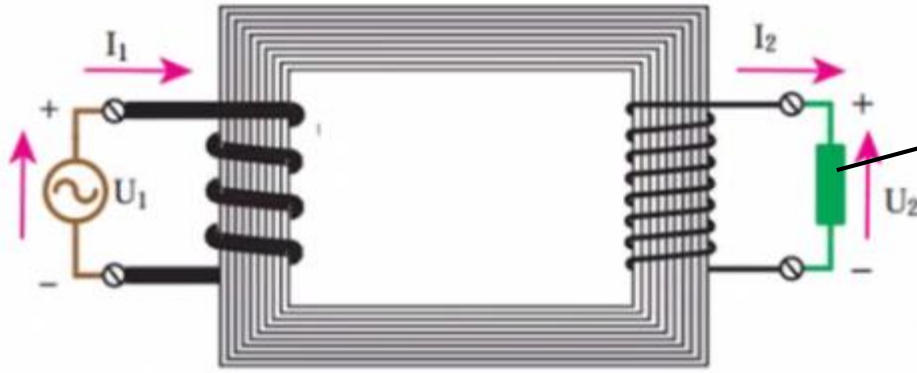
- به سیم پیچ فشار ضعیف یک ترانسفورماتور ولتاژ AC با دامنه ۱۰۰ ولت متصل می کنیم و جریان AC آن دارای دامنه ۱۰ آمپر است. اگر تعداد حلقه های سیم پیچ فشار ضعیف و فشار قوی به ترتیب برابر ۷۵۰ و ۱۵۰۰ دور باشد، جریان و ولتاژ سیم پیچ فشار قوی را محاسبه کنید.



$$\begin{cases} U_1 = 100 \text{ V} \\ I_1 = 10 \text{ A} \end{cases}$$

$$U_2 = \frac{N_2}{N_1} U_1 = \frac{1500}{750} \times 100 = 200 \text{ V}$$

$$I_2 = \frac{N_1}{N_2} I_1 = \frac{750}{1500} \times 10 = \frac{1}{2} \times 10 = 5 \text{ A}$$



$$P = V I$$

$$P_T = 0 = (U_1 I_1) + (-U_2 I_2) = 0$$

$$U_1 I_1 = U_2 I_2 \Rightarrow \frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1} = \frac{N_1}{N_2}$$



# انتقال امپدانس ترانسفورماتور ایده آل

- جهت تطبیق امپدانس در مدارات عملی به وفور از این خاصیت استفاده می شود.

