آموزشکده فنی و حرفه‌ای پسران دورود

ماشین‌های الکتریکی ۲

مدرس:

سامان فروتنی

کارشناسی ارشد سیستم‌های قدرت

ماشین های الکتریکی (۲)

-) درس ۳ واحدی نظری

-) پیش نیاز: ماشین های الکتریکی (۱)

آموزشکده فنی وحرفه‌ای پسران دورود
ماشین‌های الکتریکی ۲
مدرس:
سامان فروتنی
کارشناسی ارشد سیستم‌های قدرت

ماشین های الکتریکی: دستگاه هایی که انرژی الکتریکی و مکانیکی را به هم تبدیل می کنند.

الف) ازنظر نوع جریان : -) ماشین DC

-) ماشین AC

ب) از نظر نوع تبدیل انرژی: -) موتور

-) ژنراتور (مبدل)

آموزشکده فنی وحرفه‌ای پسران دورود
ماشین‌های الکتریکی ۲
مدرس:
سامان فروتنی
کارشناسی ارشد سیستم‌های قدرت

کمیت های مهم دربخش الکتریکی:

۱) ولتاژ

۲) جریان

کمیت های مهم دربخش مکانیکی:

- ۱) گشتاور
- ۲) سرعت

آموزشکده فنی وحرفه‌ای پسران دورود
ماشین‌های الکتریکی ۲
مدرس:
سامان فروتنی
کارشناسی ارشد سیستم‌های قدرت

سرفصل های درس

۱) ترانسفورماتورها ۲) ماشین های القایی (آسنکرون)

انرژی مکانیکی ⟷ میدان مغناطیسی ⟷ انرژی الکتریکی

ترانسفورماتورها:

انرژی الکتریکی ⟷ میدان مغناطیسی ⟷ انرژی الکتریکی

آموزشکده فنی وحرفه‌ای پسران دورود
ماشین‌های الکتریکی ۲
مدرس:
سامان فروتنی
کارشناسی ارشد سیستم‌های قدرت

میدان های مغناطیسی

۱) فوران یا شار مغناطیسی (∅) واحد wb

۲) چگالی فوران الکتریکی (ß) واحد $\frac{wb}{m^2}$ و T و G $B = \frac{\emptyset}{A}$

۳) نیروی محرکه مغناطیسی (θ یا mmf) $mmf = NI$

۴) شدت میدان مغناطیسی $H = \frac{\theta}{L_c}$ $(\frac{A.T}{m})$

آموزشکده فنی وحرفه‌ای پسران دورود
ماشین‌های الکتریکی ۲
مدرس:
سامان فروتنی
کارشناسی ارشد سیستم‌های قدرت

۵) مقاومت مغناطیسی یا رلوکتانس (R_m)

$$R_m = \frac{L_c}{\mu.A}$$

۶) ضریب نفوذ مغناطیسی مطلق ماده (μ)

$$B = \mu.H$$

۷) اندوکتانس

$$\tau = N.\varphi \qquad L = \frac{\tau}{I} = \frac{N.\varphi}{I}$$

آموزشکده فنی وحرفه‌ای پسران دورود
ماشین‌های الکتریکی ۲
مدرس:
سامان فروتنی
کارشناسی ارشد سیستم‌های قدرت

درس اول : ترانسفورماتور

- مقدمه ای در مورد ترانسفورماتور و اجرای آن
- انواع ترانسفورماتورها و کاربرد آنها
- ترانسفورماتور ایده آل
- ترانسفورماتور تکفاز واقعی
- مدار معادل ترانسفورماتورتکفاز واقعی
- ساده سازی مدار معادل ترانس تکفاز واقعی
- تعیین پارامترهای مدار ترانس تکفاز واقعی
- تنظیم ولتاژ
- راندمان یا بازده
- جریان هجومی
- بررسی ترانس با استفاده از دیاگرام برداری
- بررسی اتصال کوتاه در ترانس

آموزشکده فنی وحرفه‌ای پسران دورود
ماشین‌های الکتریکی ۲
مدرس:
سامان فروتنی
کارشناسی ارشد سیستم‌های قدرت

ترانسفورماتور: یک ماشین الکتریکی ایستا،وسیله‌ای است که انرژی الکتریکی AC رااز یک سطح ولتاژبه سطح ولتاژدیگری تبدیل می‌کندکه اساس این کارازطریق میدان های مغناطیسی صورت می‌گیرد.

ترانسفورماتوردارای دو یا چند سیم پیچ است که از طریق یک مدار مغناطیسی مشترک بهم پیوند داده می‌شوند.

اجزای ترانسفورماتور:

۱) هسته

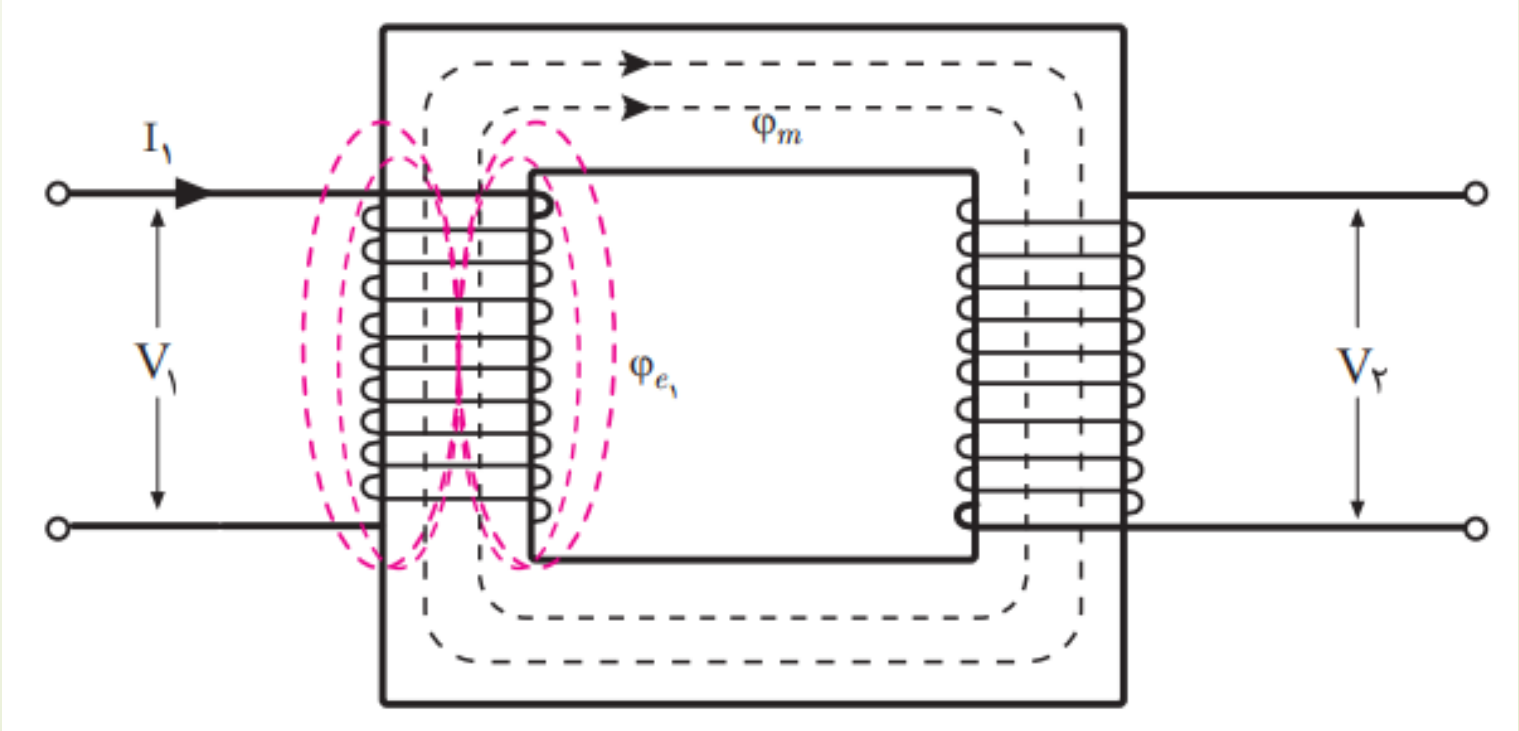
۲) سیم پیچ

۳) عایق کاری، روغن و ....

آموزشکده فنی وحرفه‌ای پسران دورود
ماشین‌های الکتریکی ۲
مدرس:
سامان فروتنی
کارشناسی ارشد سیستم‌های قدرت

ساختمان ترانسفورماتورو اجزای آن

آموزشکده فنی وحرفه‌ای پسران دورود
ماشین‌های الکتریکی ۲
مدرس:
سامان فروتنی
کارشناسی ارشد سیستم‌های قدرت



هسته

ارتباط دهنده سیم پیچ ها که از مواد فرو مغناطیس ساخته می‌شود.

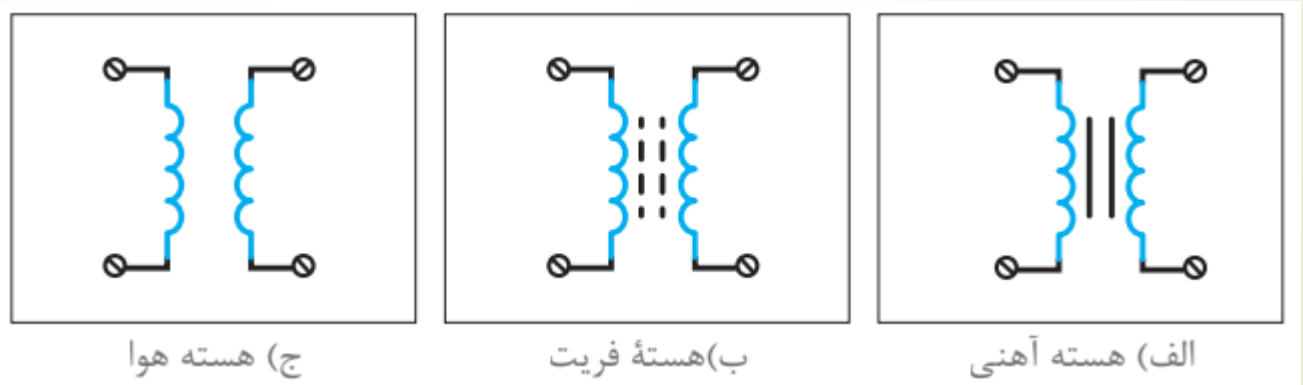
به دو علت هسته رااز مواد فرو مغناطیس می‌سازند:

۱) ایجاد پیوند مغناطیسی قوی بین سیم پیچ ها.

۲) بالابردن چگالی شاردرهسته.

در هسته ازجنس فرومغناطیس مقاومت مغناطیسی یا رلوکتانس به سمت صفر میل می‌کند و ضریب نفوذ مغناطیسی به سمت بی نهایت میل می‌کند.

هسته ترانس را به صورت مورب می‌سازند.



شمای فنی ترانسفورماتور با هسته های متفاوت

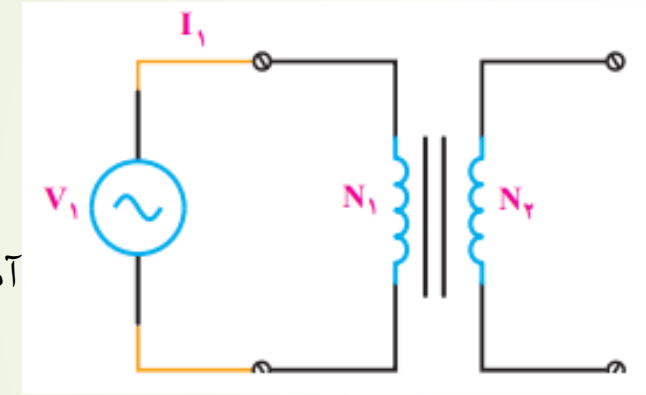
آموزشکده فنی وحرفه‌ای پسران دورود
ماشین‌های الکتریکی ۲
مدرس:
سامان فروتنی
کارشناسی ارشد سیستم‌های قدرت

سیم پیچی‌های ترانسفورماتور

آموزشکده فنی وحرفه‌ای پسران دورود
ماشین‌های الکتریکی ۲
مدرس:
سامان فروتنی
کارشناسی ارشد سیستم‌های قدرت

سیم پیچ اولیه :

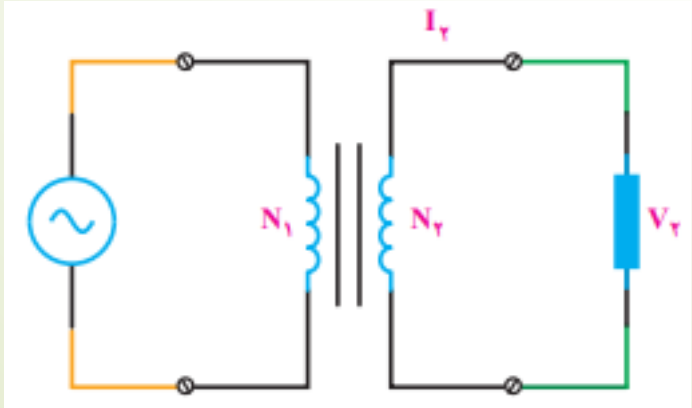
سیم پیچی از ترانسفورماتور که به ولتاژ ورودی متصل می شود را «سیم پیچی اولیه» گویند و کمیت های آن را به صورت شکل زیر نشان می دهند.



در این شکل:
V1ولتاژ اولیه
I1جریان اولیه
N1تعداد دور سیم پیچ اولیه است .

سیم پیچ ثانویه:

سیم پیچی از ترانسفورماتور که به مصرف کننده متصل می شود را « سیم پیچی ثانویه » گویند و کمیت های آن را به صورت شکل زیر نشان می دهند .



در این شکل:
V2ولتاژ ثانویه
I2جریان ثانویه
N2تعداد دور سیم پیچ ثانویه است .

انواع ترانسفورماتورها و کاربرد آنها

۱) ترانسفورماتور افزاینده
۲) ترانسفورماتور کاهنده
۳) ترانسفورماتور یک به یک

ترانسفورماتوری که ولتاژ ثانویه از ولتاژ اولیه بزرگتر باشد را ترانسفورماتور افزاینده گویند.

یعنی: $V_2 > V_1$

در ترانسفورماتور افزاینده تعداد حلقه های سیم پیچ ثانویه بیشتر از تعداد حلقه های سیم پیچ اولیه می باشد.

ترانسفورماتوری که ولتاژ ثانویه از ولتاژ اولیه کوچک تر باشد را ترانسفورماتور کاهنده گویند.

یعنی: $V_2 < V_1$

در ترانسفورماتور کاهنده تعداد حلقه های سیم پیچ ثانویه کمتر از تعداد حلقه های سیم پیچ اولیه می باشد.

آموزشکده فنی وحرفه‌ای پسران دورود
ماشین‌های الکتریکی ۲
مدرس:
سامان فروتنی
کارشناسی ارشد سیستم‌های قدرت

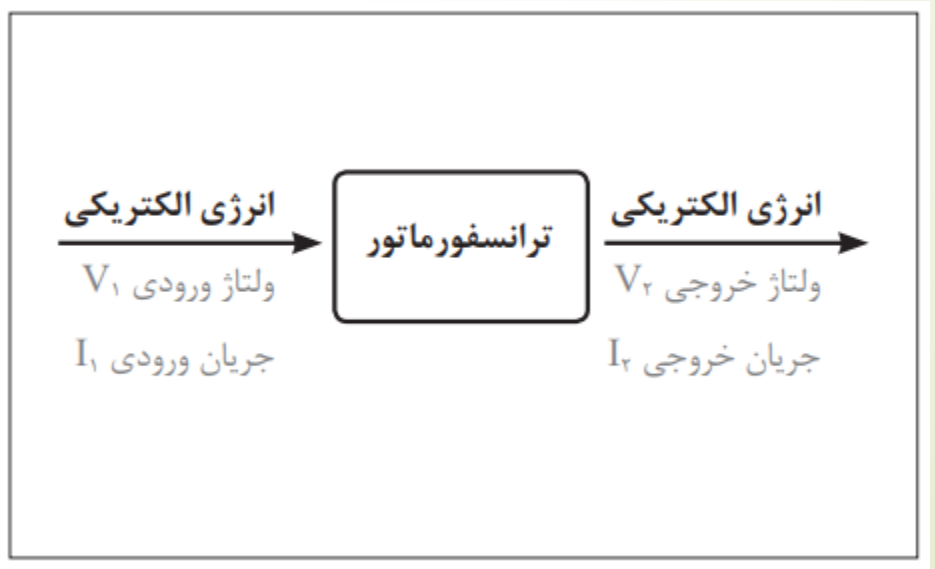
ترانسفورماتوری که ولتاژ ثانویه با ولتاژ اولیه برابر باشد را ترانسفورماتور **یک به یک** گویند.

یعنی: V2=V1

در ترانسفورماتور یک به یک تعداد حلقه های سیم پیچ ثانویه برابر با تعداد حلقه های سیم پیچ اولیه می باشد.

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

سمت فشار قوی ترانسفورماتور را با **H.V** و سمت فشار ضعیف آن را با **L.V** نشان می دهند.

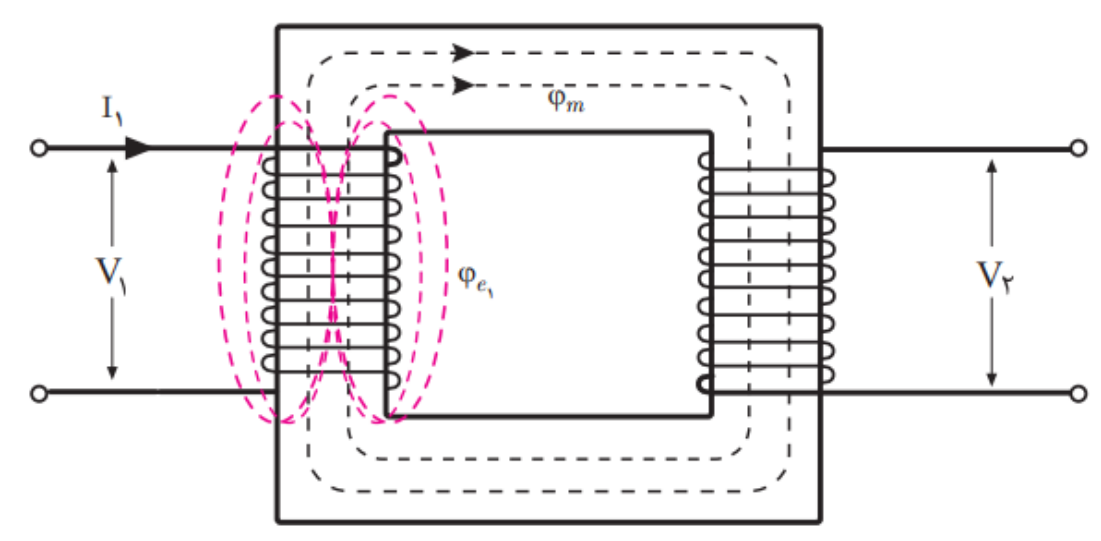


آموزشکده فنی وحرفه‌ای پسران دورود
ماشین‌های الکتریکی ۲
مدرس:
سامان فروتنی
کارشناسی ارشد سیستم‌های قدرت

طرز کار ترانسفورماتور

با اتصال سیم پیچ اولیه به منبع ولتاژ متناوب سینوسی با مقدار مؤثر V_1 جریان I_1 در آن جاری می شود. با جاری شدن جریان I_1 سیم پیچ اولیه فوران متناوب φ_1 را تولید می کند. بخشی از فوران سیم پیچ اولیه که مسیر خود را از هسته برقرار می کند «فوران مغناطیس کننده» گویند وآن را با φ_m نشان می دهند.

همهٔ فوران سیم پیچ اولیه φ_1 از هسته عبور نمی کند. بخشی از فوران سیم پیچ اولیه که مسیر خود را خارج از هسته برقرار می کند، «فوران نشتی» ویا «فوران پراکندگی» اولیه گویند وآن را با φ_{I_1} نشان می دهند.



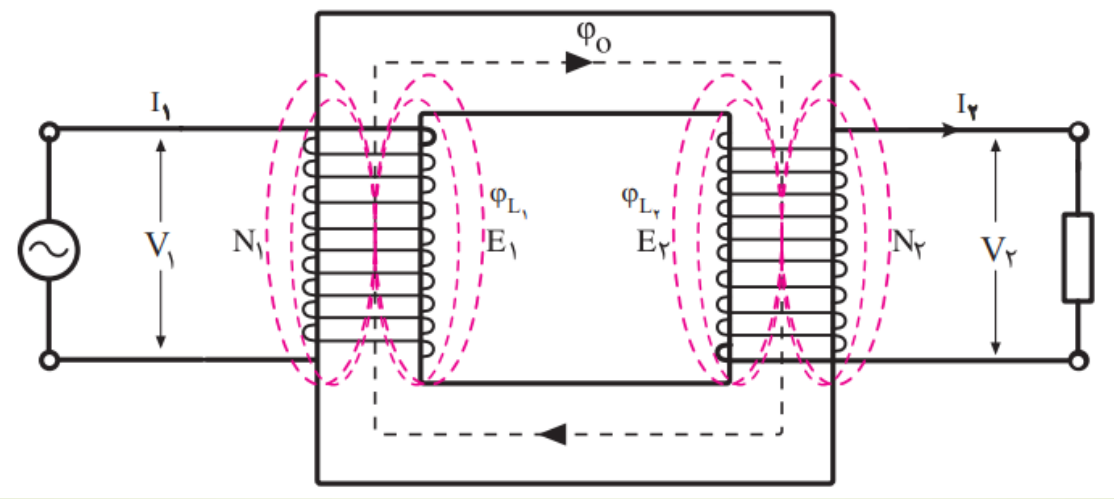
آموزشکده فنی وحرفه‌ای پسران دورود
ماشین‌های الکتریکی ۲
مدرس:
سامان فروتنی
کارشناسی ارشد سیستم‌های قدرت

طرز کار ترانسفورماتور

فوران مغناطیس کننده φ_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 φ_2 را تولید می کند. بخشی از فوران سیم پیچ ثانویه φ_2 که مسیر خود را خارج از هسته برقرار می کند «فوران نشتی» و یا «فوران پراکندگی» ثانویه گویند و آن را با φ_{I_2} نشان می دهند.



آموزشکده فنی وحرفه‌ای پسران دورود
ماشین‌های الکتریکی ۲
مدرس:
سامان فروتنی
کارشناسی ارشد سیستم‌های قدرت

ترانسفورماتورایده آل

ترانسفورماتور ایده آل ترانسفورماتوری است که:

۱ـراندمان ۱۰۰% است. در نتیجه تلفات ترانسفورماتور صفر می باشد و توان ورودی و خروجی برابر خواهد شد و $V_1 I_1 = V_2 I_2$ می باشد.

۲ـفوران پراکندگی اولیه وثانویه ایجاد نمی شود در نتیجه افت ولتاژ پراکندگی صفر خواهد شد.

۳ـنیروی محرکه القایی سیم پیچ ها برابر ولتاژ آنها است $V_1 = E_1$ و $V_2 = E_2$

بین کمیت های الکتریکی ترانسفورماتور ایده آل رابطة زیر برقرار است:

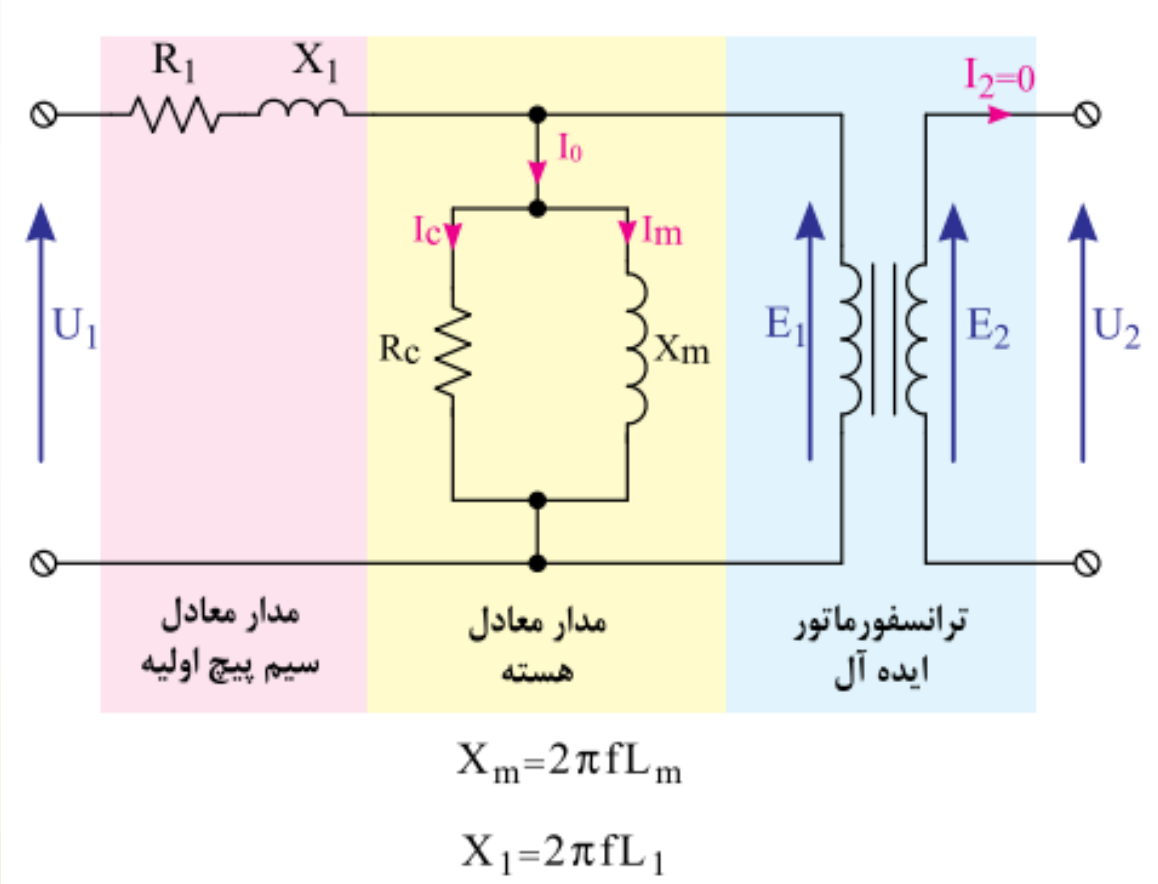
رابطهٔ اساسی ترانسفورماتور ایده آل :

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

آموزشکده فنی وحرفه‌ای پسران دورود
ماشین‌های الکتریکی ۲
مدرس:
سامان فروتنی
کارشناسی ارشد سیستم‌های قدرت

مدارمعادل ترانسفورماتورواقعی

مدارمعادل ترانسفورماتورواقعی درحالت بی باری



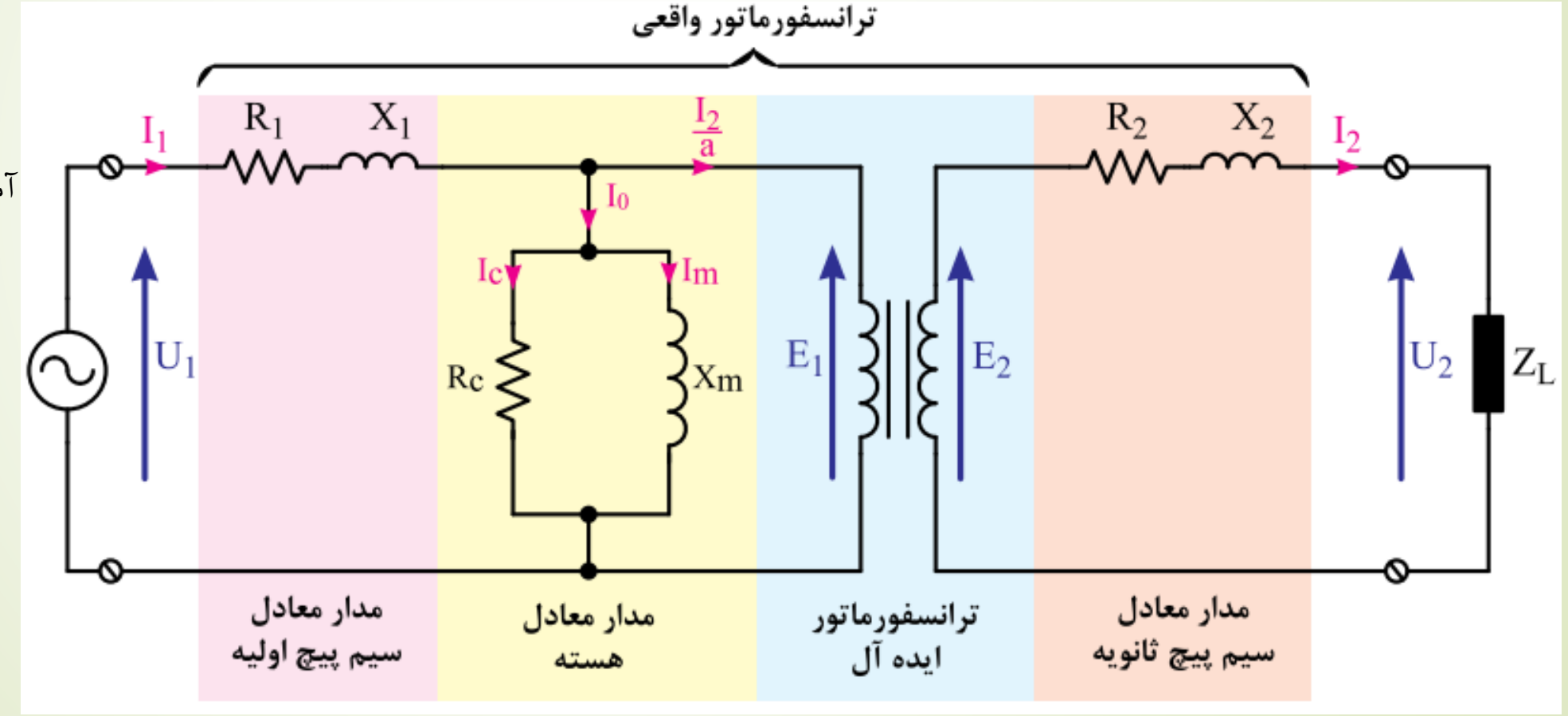
$$X_m = 2\pi f L_m$$

$$X_1 = 2\pi f L_1$$

آموزشکده فنی وحرفه‌ای پسران دورود
ماشین‌های الکتریکی ۲
مدرس:
سامان فروتنی
کارشناسی ارشد سیستم‌های قدرت

مدارمعادل ترانسفورماتورواقعی

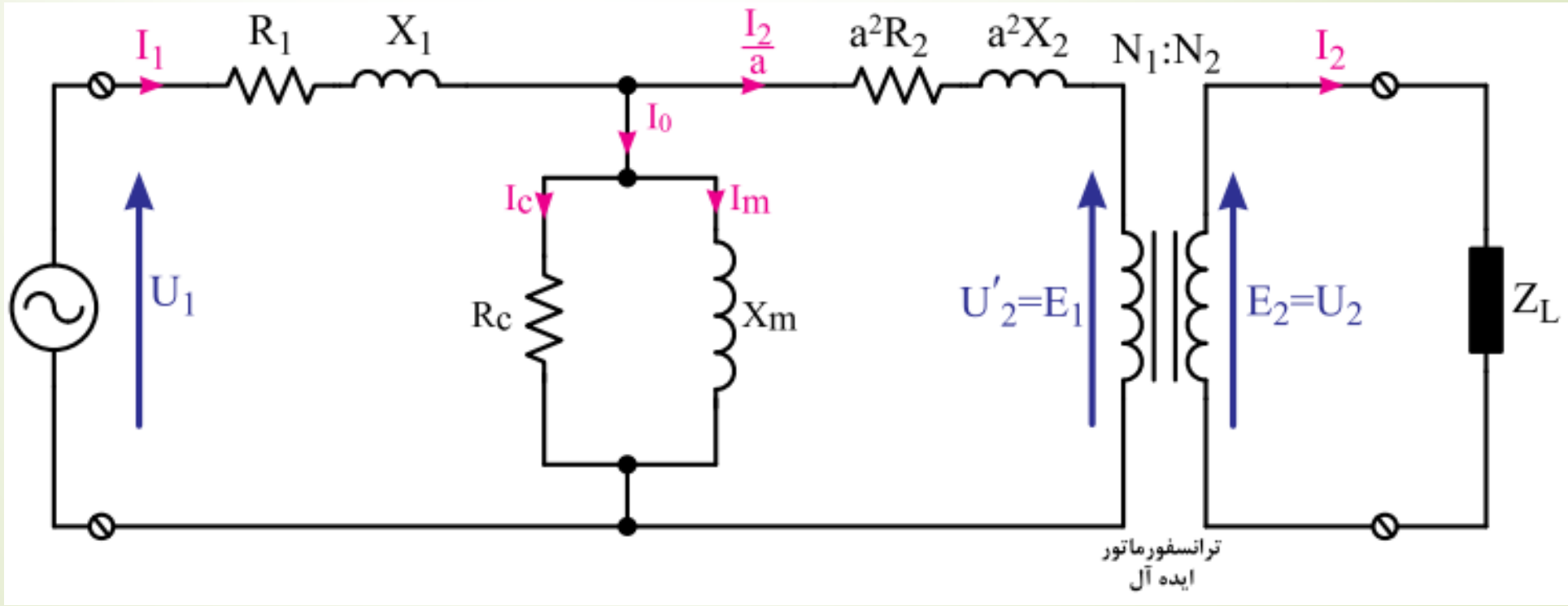
مدارمعادل ترانسفورماتور واقعی در حالت بارداری:



آموزشکده فنی وحرفه‌ای پسران دورود
ماشین‌های الکتریکی ۲
مدرس:
سامان فروتنی
کارشناسی ارشد سیستم‌های قدرت

ساده سازی مدارمعادل ترانس تکفاز واقعی

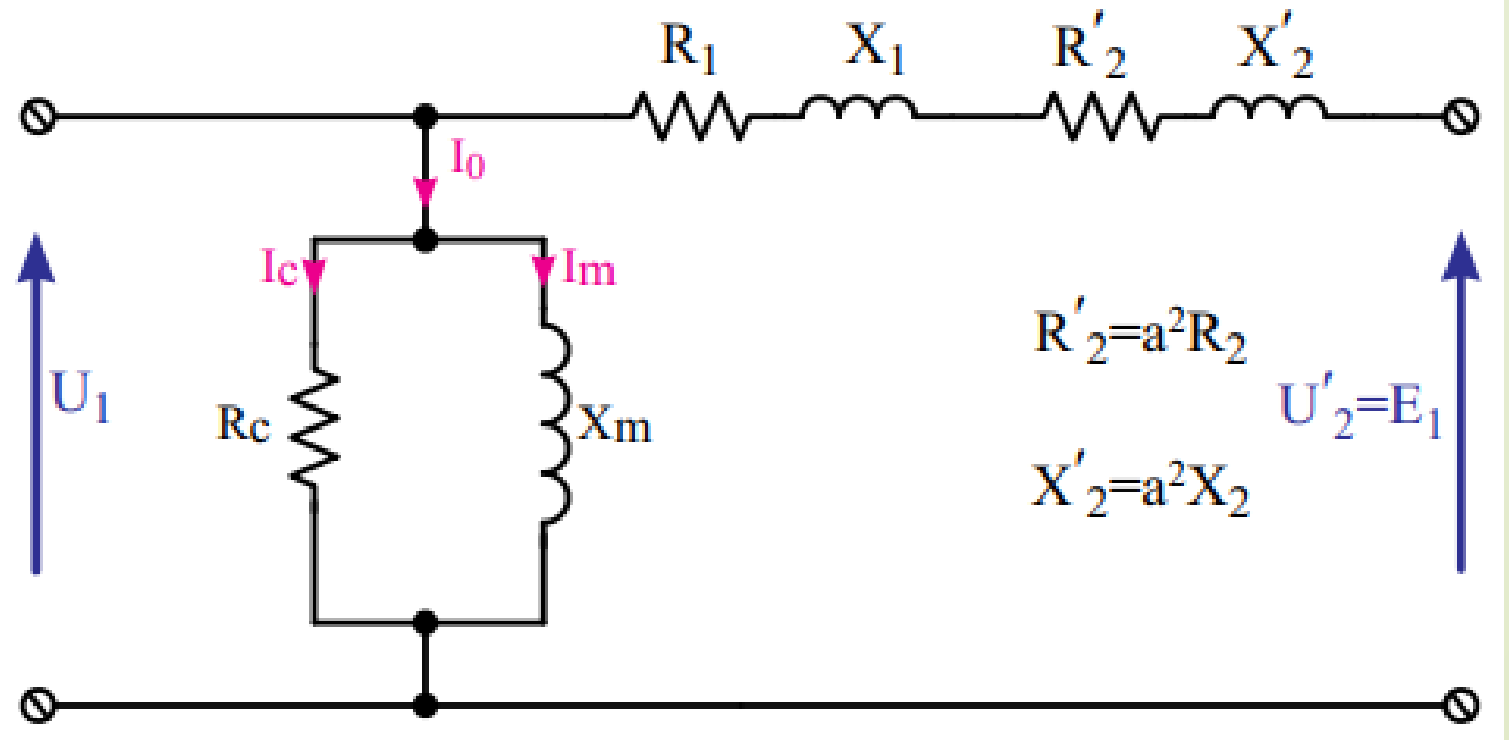
مدارمعادل ترانسفورماتورواقعی را می‌توان با حذف ترانسفورماتور ایده آل ساده تر نیز نمود چرا که انتقال امپدانس از سمتی به سمت دیگر با توجه به نسبت تبدیل صورت گرفته و هیچ تاثیری در تحلیل مدار آن ندارد. بنابراین می‌توان آن بخش را از مدار معادل حذف کرد و به خاطر سپرد.



آموزشکده فنی وحرفه‌ای پسران دورود
ماشین‌های الکتریکی ۲
مدرس:
سامان فروتنی
کارشناسی ارشد سیستم‌های قدرت

ساده سازی مدارمعادل ترانس تکفاز واقعی

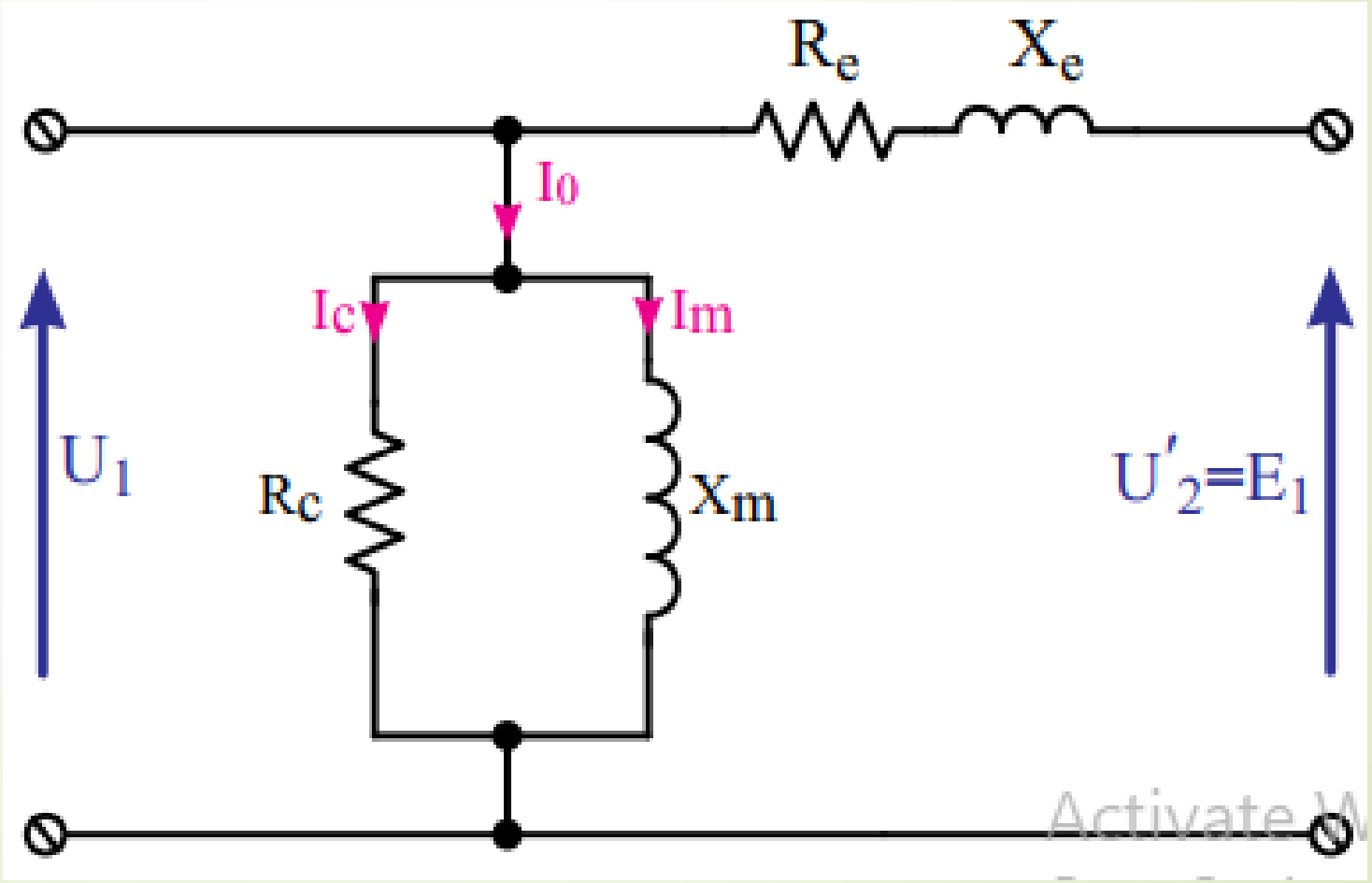
تقریب اول : درترانسفورماتورهای قدرت، جریان تحریک بسیارکم و در حدود ۲تا۶ درصد مقدارنامی جریان است و ازطرفی مقدار مقاومت سیم پیچ ها و راکتانس پراکندگی بزرگ نیست. لذا می‌توان باجابجا کردن شاخه موازی(مدارمعادل هسته) به طرف ورودی مدار معادل را به طورمحسوسی ساده کرد.



آموزشکده فنی وحرفه‌ای پسران دورود
ماشین‌های الکتریکی ۲
مدرس:
سامان فروتنی
کارشناسی ارشد سیستم‌های قدرت

ساده سازی مدارمعادل ترانس تکفاز واقعی

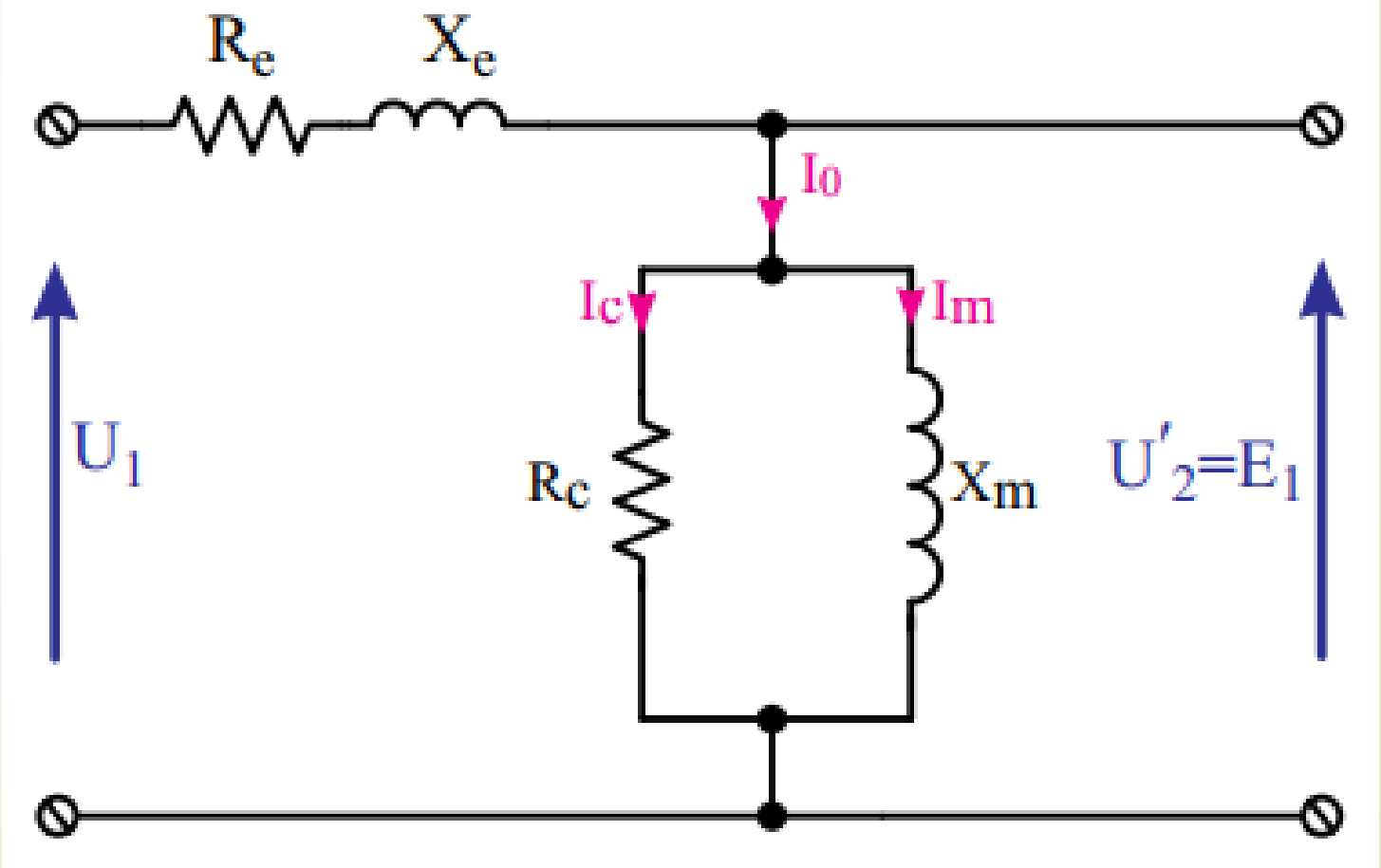
دراین صورت با سری شدن مقاومت های اهمی و راکتانس پراکندگی طرف اولیه و ثانویه مدار معادل تقریبی شکل زیر بدست می‌آید.



آموزشکده فنی وحرفه‌ای پسران دورود
ماشین‌های الکتریکی ۲
مدرس:
سامان فروتنی
کارشناسی ارشد سیستم‌های قدرت

ساده سازی مدارمعادل ترانس تکفاز واقعی

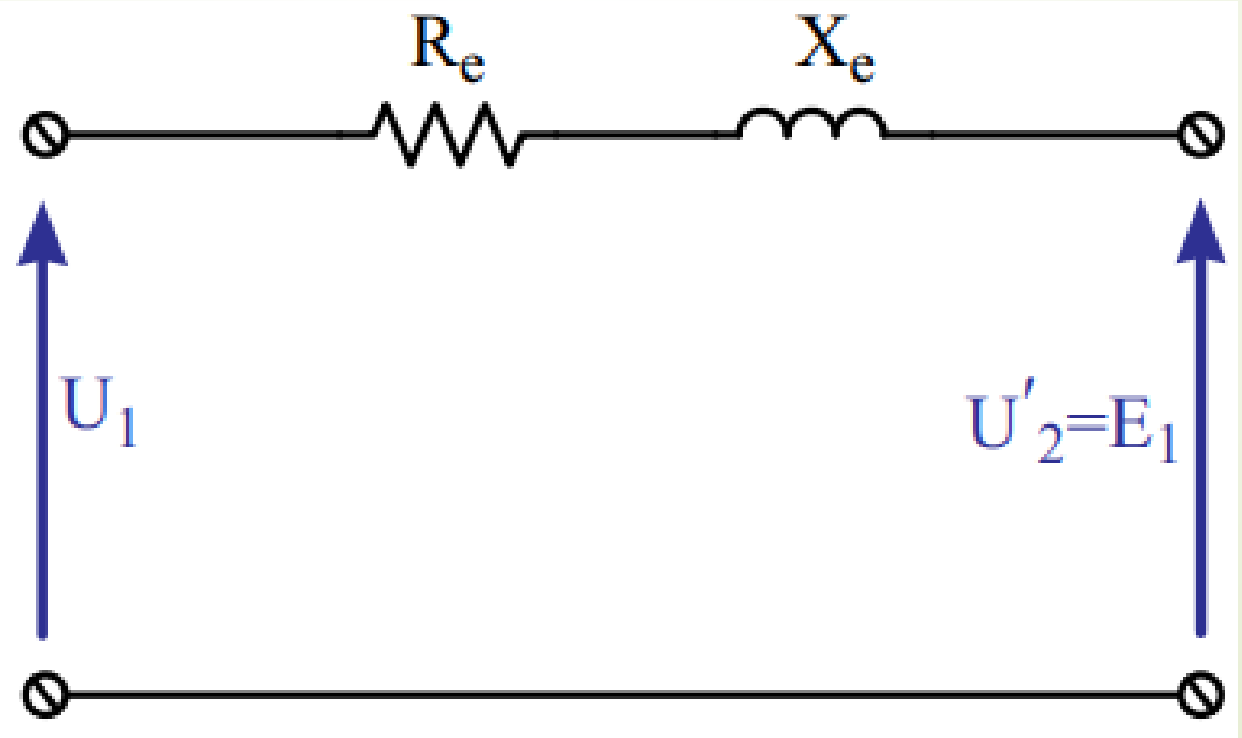
تقریب دوم : بااستدلالی مشابه آنچه در تقریب اول گفته شد می‌توان شاخه‌ها موازی رابه طرف خروجی جابجا کرد.



آموزشکده فنی وحرفه‌ای پسران دورود
ماشین‌های الکتریکی ۲
مدرس:
سامان فروتنی
کارشناسی ارشد سیستم‌های قدرت

ساده سازی مدارمعادل ترانس تکفاز واقعی

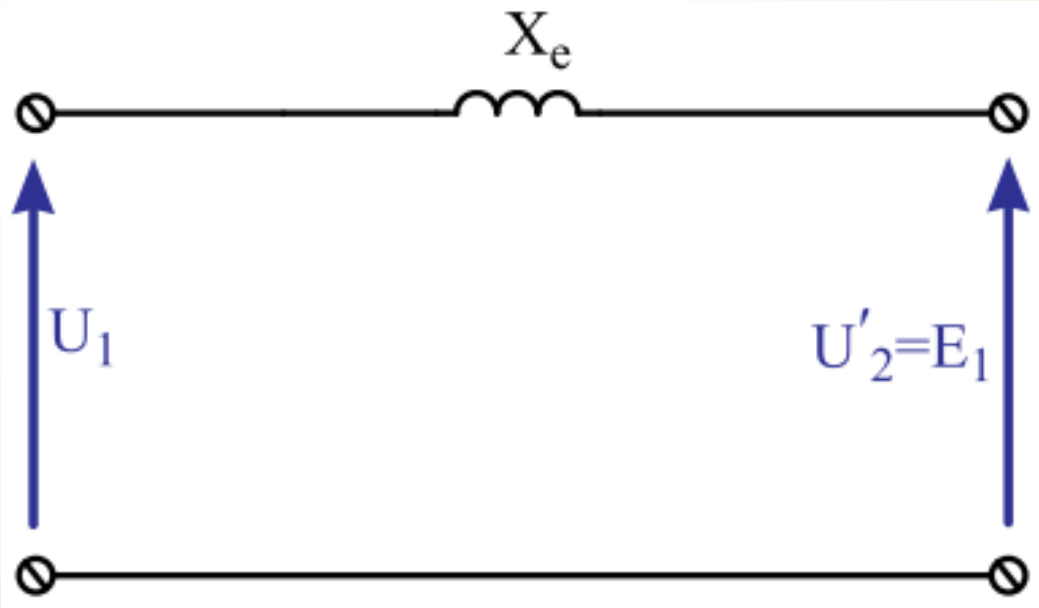
تقریب سوم : هنگامی که ترانسفورماتورزیرباراباشدوبیش ازنصف جریان نامی ازآن بارگیری شود می‌توان ازاثرجریان تحریک ترانسفورماتور(جریان بی‌باری I_o) درمقابل جریان اولیه صرف نظرکرد. پس مدار معادل به شکل زیر تبدیل می‌شود.



آموزشکده فنی وحرفه‌ای پسران دورود
ماشین‌های الکتریکی ۲
مدرس:
سامان فروتنی
کارشناسی ارشد سیستم‌های قدرت

ساده سازی مدارمعادل ترانس تکفاز واقعی

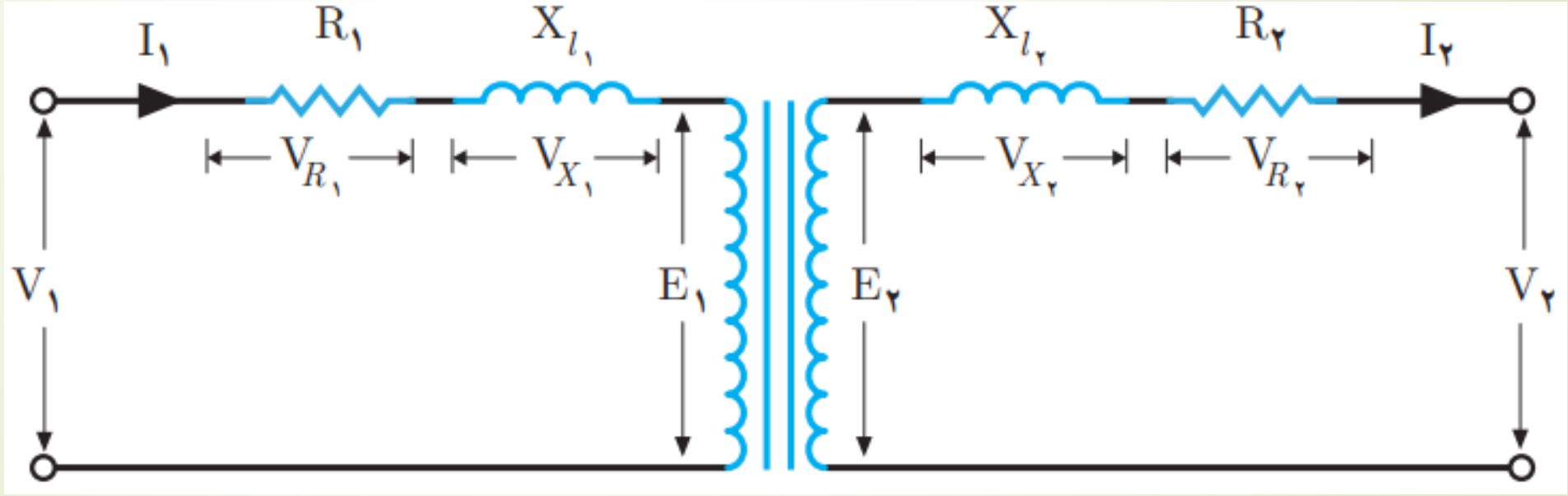
تقریب چهارم : درترانسفورماتورهای قدرتی که توان آنها از MVA ۱ بیشترباشد مقدار راکتانس معادل سیم پیچ‌ها خیلی بزرگتراز مقاومت‌های آنهاست. بخاطر سطح مقطع بالای سیم پیچ‌های ترانسفورماتور است. دراین حالت می‌توان از مقدار مقاومت اهمی در مقابل راکتانس صرف نظرکرد. لذا مدارمعادل ترانسفورماتورهای قدرت درترانسفورماتورهای پرقدرت به شکل زیردرمی‌آید.



آموزشکده فنی وحرفه‌ای پسران دورود
ماشین‌های الکتریکی ۲
مدرس:
سامان فروتنی
کارشناسی ارشد سیستم‌های قدرت

افت ولتاژ ترانسفورماتور

افت ولتاژ ترانسفورماتور ناشی از مقاومت اهمی و فوران پراکندگی سیم پیچ های اولیه و ثانویه می باشد.افت ولتاژ ناشی از مقاومت اهمی سیم پیچ ها را «افت ولتاژ اهمی» گویند و با V_R نشان می دهند.و افت ولتاژ ناشی از فوران پراکندگی سیم پیچ ها را «افت ولتاژ پراکندگی» گویند با V_x نشان می دهند.



آموزشکده فنی وحرفه‌ای پسران دورود
ماشین‌های الکتریکی ۲
مدرس:
سامان فروتنی
کارشناسی ارشد سیستم‌های قدرت

افت ولتاژ ترانسفورماتور از رابطهٔ زیر به دست می آید

$$\Delta V = V_R \cdot \cos\varphi_2 \pm V_x \cdot \sin\varphi_2$$

در این رابطه:

ΔV افت ولتاژ ترانسفورماتور

V_R معادل افت ولتاژ اهمی اولیه و ثانویه

V_x معادل افت ولتاژ فوران پراکندگی اول و ثانویه

$\cos\varphi_2$ ضریب توان مؤثر مصرف کننده

علامت + برای مصرف کننده پس فاز و علامت − برای مصرف کننده پیش فاز است.

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

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

آموزشکده فنی وحرفه‌ای پسران دورود
ماشین‌های الکتریکی ۲
مدرس:
سامان فروتنی
کارشناسی ارشد سیستم‌های قدرت

یک ترانسفورماتور که ولتاژ بدون مصرف کنندهٔ آن ۴۰۰ولت است دارای افت ولتاژ اهمی ۱۰ ولت و پراکندگی ۲۰ولت می باشد ولتاژ خروجی ترانسفورماتور در حالت های زیر چند ولت است؟

الف) مصرف کننده با ضریب توان مؤثر ۰/۸ پس فاز

$$\Delta V = V_R \cdot \cos\varphi_2 \pm V_x \cdot \sin\varphi_2 \quad \Delta V = 10 \times /8 + 20 \times /6 = 20 \quad [V]$$

$$V_2 = 400 - 20 = 380 \quad [V]$$

ب) مصرف کننده با ضریب توان مؤثر ۰/۸ پیش فاز

$$\Delta V = V_R \cdot \cos\varphi_2 \pm V_x \cdot \sin\varphi_2 \quad \Delta V = 10 \times /8 - 20 \times /6 = -4 [V]$$

$$V_2 = 400 - (-4) = 404 \quad [V]$$

آموزشکده فنی وحرفه‌ای پسران دورود
ماشین‌های الکتریکی ۲
مدرس:
سامان فروتنی
کارشناسی ارشد سیستم‌های قدرت

تلفات ترانسفورماتور

آموزشکده فنی وحرفه‌ای پسران دورود
ماشین‌های الکتریکی ۲
مدرس:
سامان فروتنی
کارشناسی ارشد سیستم‌های قدرت

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 ΔP 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 :

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

الف) تلفات هسته

تلفات هسته در فرکانس ثابت تابع مجذور ولتاژ اولیه ترانسفورماتور می باشد از آنجایی که ولتاژ اولیه ترانسفورماتور ثابت است مقدار تلفات هسته نیز ثابت خواهد بود از این رو تلفات هسته را « تلفات ثابت» نیز می گویند.تلفات هست شامل تلفات فوکو P_f و تلفات هیسترزیس P_h می باشد و می توان نوشت :

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

تلفات هسته

آموزشکده فنی وحرفه‌ای پسران دورود
ماشین‌های الکتریکی ۲
مدرس:
سامان فروتنی
کارشناسی ارشد سیستم‌های قدرت

۱ـ تلفات هیسترزیس

با اتصال ترانسفورماتور به ولتاژ متناوب، فوران مغناطیسی در هسته جاری می شود.

جهت فوران مغناطیسی متناوب در هر نیم سیکل تغییر خواهد کرد.مقداری از انرژی که در واحد زمان صرف تغییر جهت فوران مغناطیسی می شود را «تلفات هیسترزیس» گویند .

تلفات هیسترزیس را با P_h نشان می دهند و واحد آن وات است.

تلفات هیسترزیس تابع ماکزیمم چگالی میدان مغناطیسی B_m وفرکانس ولتاژ f و حجم هسته می باشد و بری کاهش تلفات هیسترزیس جنس هسته را از مواد فرو مغناطیسی با ضریب نفوذ مغناطیسی زیاد انتخاب می کنند.

تلفات هسته

آموزشکده فنی وحرفه‌ای پسران دورود
ماشین‌های الکتریکی ۲
مدرس:
سامان فروتنی
کارشناسی ارشد سیستم‌های قدرت

فوران مغناطیسی متناوب در ترانسفورماتور ضمن اینکه در سیم پیچ های اولیه و ثانویه طبق قانون القای فاراده نیروی محرکه الکتریکی القاء می کند در هسته ترانسفورماتور نیز باعث القای نیروی محرکه الکتریکی خواهد شد. هسته ترانسفورماتور علاوه بر نفوذپذیری مغناطیسی دارای هدایت الکتریکی نیز می باشد لذا نیروی محرکه القایی در هسته جریان القایی جاری می کند که به آن « جریان فوکو » گویند.

تلفات فوکو تابع ماکزیمم چگالی میدان مغناطیسی B_m و فرکانس ولتاژ f می باشد. برای کاهش تلفات فوکو باید مقاومت الکتریکی هسته را افزایش داد تا مقدار جریان فوکو کاهش یابد.

در ترانسفورماتور با هستهٔ آهنی برای کاهش تلفات فوکو هسته را از ورقه هایی که نسبت به یکدیگر عایق شده اند انتخاب می کنند.