بسم الله الرحمن الرحیم

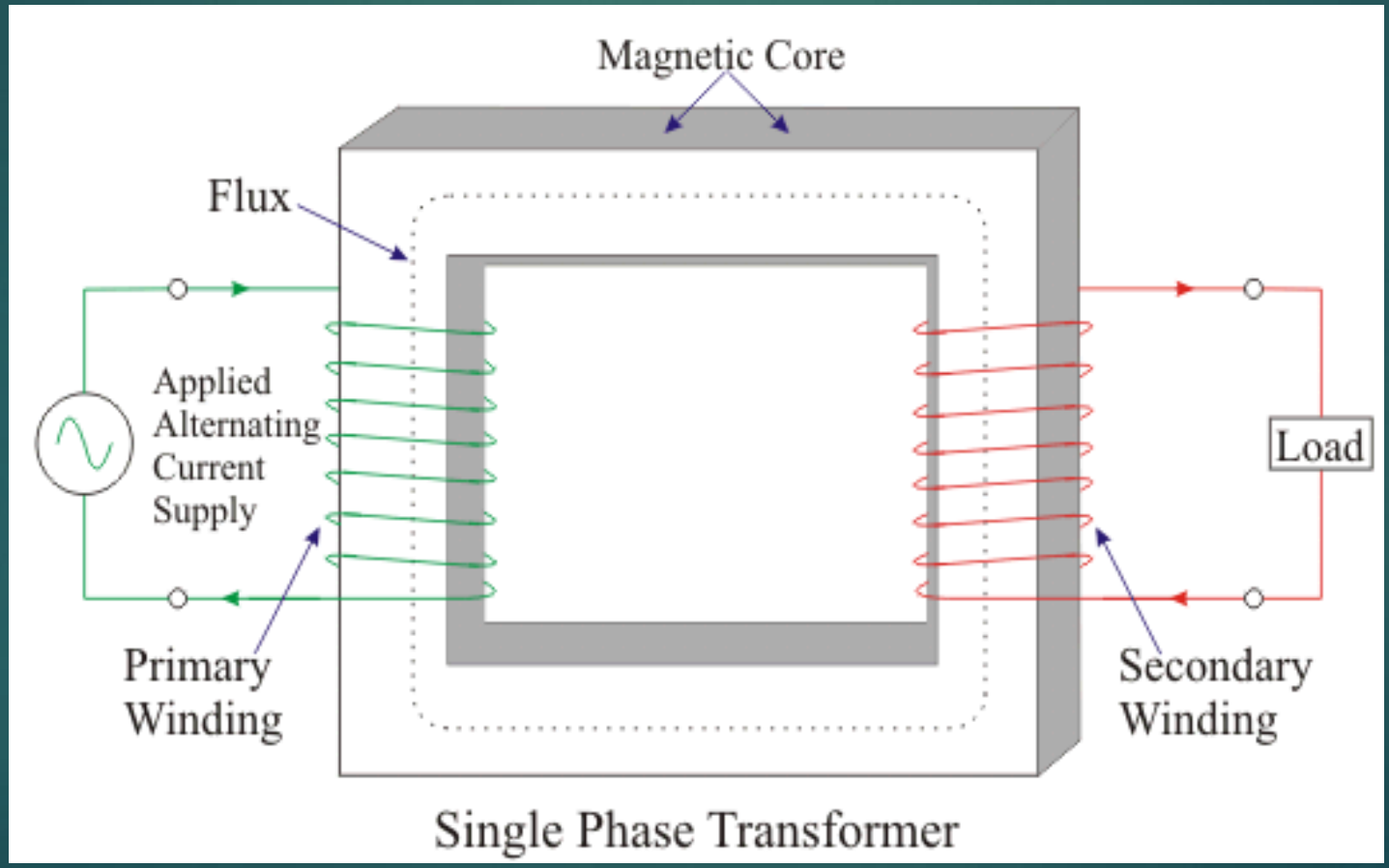
درس: ماشینهای الکتریکی
فصل:ترانسفورماتورها
قسمت دوم

ارائه دهنده: علی بوبه رژ

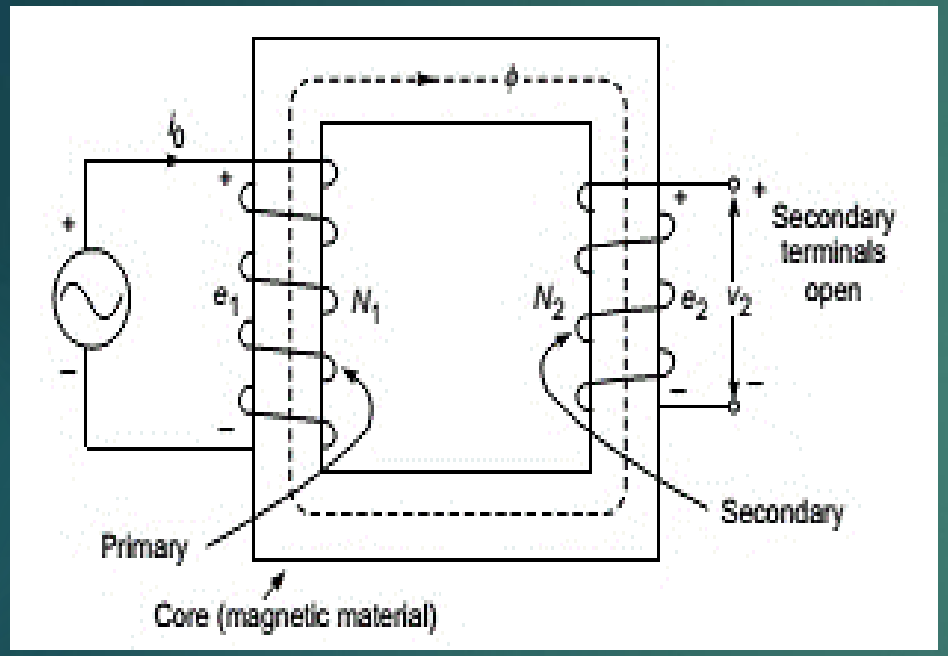
ALIBOOBEHREJ@GMAIL.COM

ALIBOUBEHREZH.BLOGFA.COM

ساختار یک ترانسفورماتور ساده

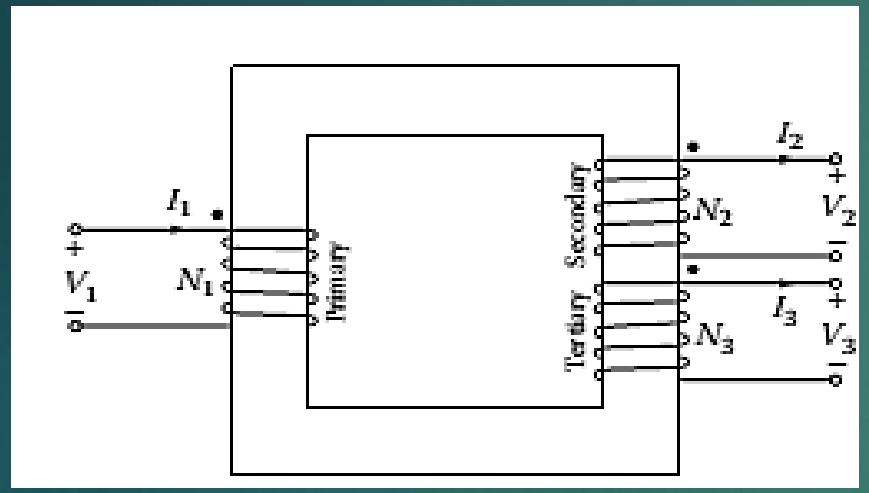


روابط اساسی ترانسفورماتور ایده آل



$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{V_1}{V_2} = \frac{I_2}{I_1} = \frac{N_1}{N_2} = a$$

ترانسفورماتورهای سه سیم پیچه و کاربرد



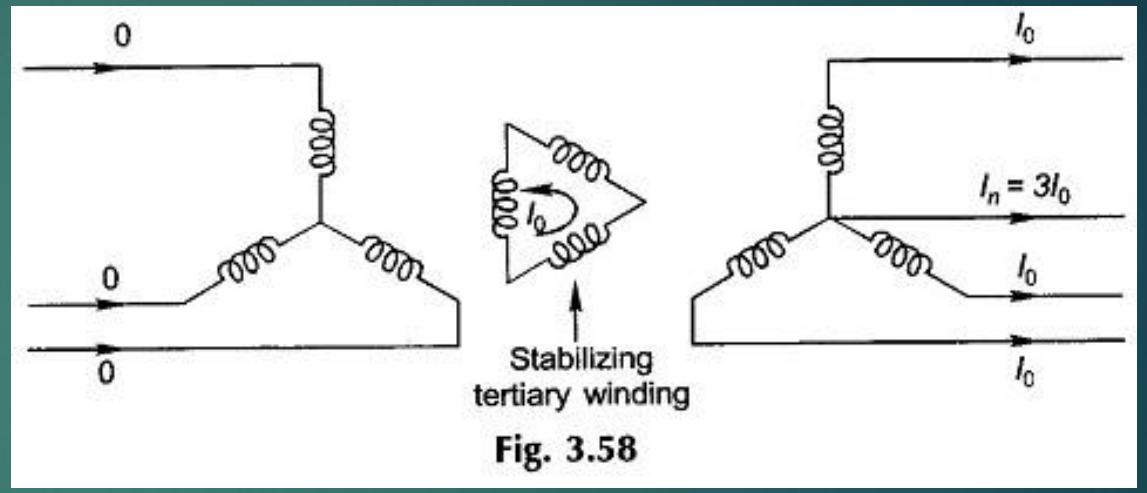


Fig. 3.58

برای حل مسائل ترانسهای سه سیم پیچه سه راه وجود دارد:

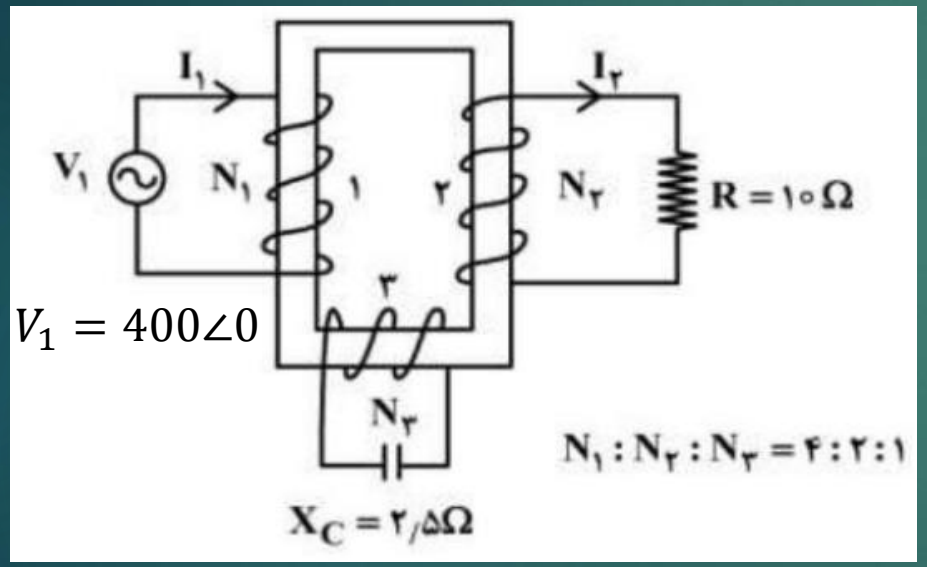
۱)در مثالهایی که نسبت تبدیل داده نمی شود، از روش محاسبه توان ظاهری یا مختلط استفاده می گردد.

۲)درمثالهایی که نسبت تبدیل داده می شود از روش جمع آثار استفاده می شود.

۳)در مثالهای با چند ساق با توجه به عرض ساق و شار گذرنده از ساق مسئله را حل می نماییم.

مثال

جریان ورودی I1 بر حسب آمپر کدام است؟



$V_1 = 400\angle 0$

$$\begin{cases} \frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2} \Rightarrow \frac{400}{V_2} = \frac{4}{2} \Rightarrow V_2 = 200v \\ \frac{V_1}{V_3} = \frac{N_1}{N_3} \Rightarrow \frac{400}{V_3} = \frac{4}{1} \Rightarrow V_2 = 100v \end{cases}$$

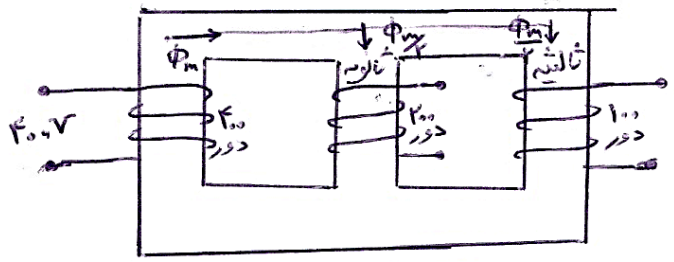
$$\begin{cases} I_2 = \frac{V_2}{R} = \frac{200}{10} = 20(A) \\ I_3 = \frac{V_3}{-jX_c} = \frac{100}{-j2.5} = j40(A) \end{cases}$$

$$\begin{cases} \frac{I_2}{I_1} = \frac{N_1}{N_2} \Rightarrow \frac{20}{I_1} = \frac{4}{2} \Rightarrow I_1 = 10(A) \\ \frac{I_3}{I_1} = \frac{N_1}{N_3} \Rightarrow \frac{j40}{I_1} = \frac{4}{1} \Rightarrow I_1 = j10(A) \end{cases} \Rightarrow I_{1total} = 10 + j10(A)$$

جمع آثار

ترانسفورماتورهای سه سیم پیچه و کاربرد

مثال: در ترانس ایده‌آل زیر ولتاژ خروجی در سیم پیچ‌های ۲ و ۳ چقدر است ؟

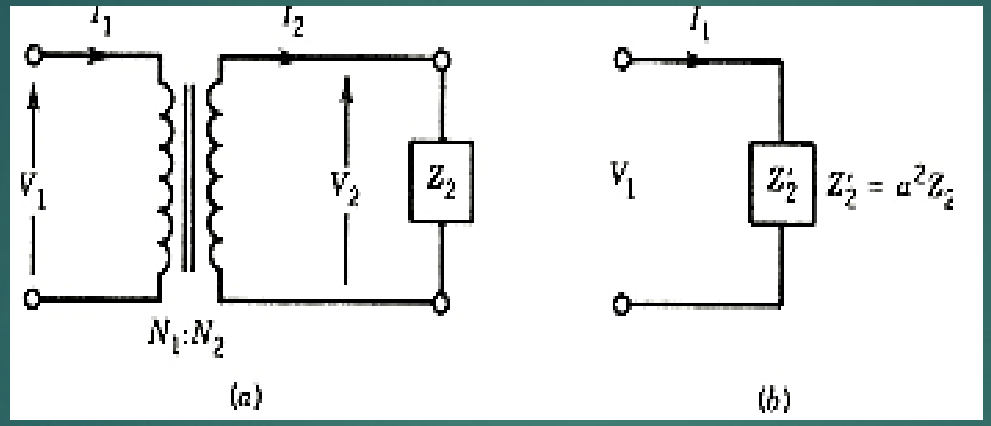


چون شار عبوری از ساق‌های ۲ و ۳ نصف شار عبوری از ساق اول است طبق رابطه $E=4/44\,N f \Phi_m$ پس :

$$\frac{V_1}{V_2}=\frac{N_1}{\frac{1}{2}N_2} \Rightarrow \frac{۴۰۰}{V_2}=\frac{۴۰۰}{\frac{1}{2}\times ۲۰۰}=\frac{۴۰۰}{۱۰۰} \Rightarrow V_2=\frac{۴۰۰}{۴}=\boxed{۱۰۰V}$$

$$\frac{V_1}{V_3}=\frac{N_1}{\frac{1}{2}N_3} \Rightarrow \frac{۴۰۰}{V_3}=\frac{۴۰۰}{\frac{1}{2}\times ۱۰۰}=\frac{۴۰۰}{۵۰} \Rightarrow V_3=\frac{۴۰۰}{۸}=\boxed{۵۰V}$$

انتقال امپدانس



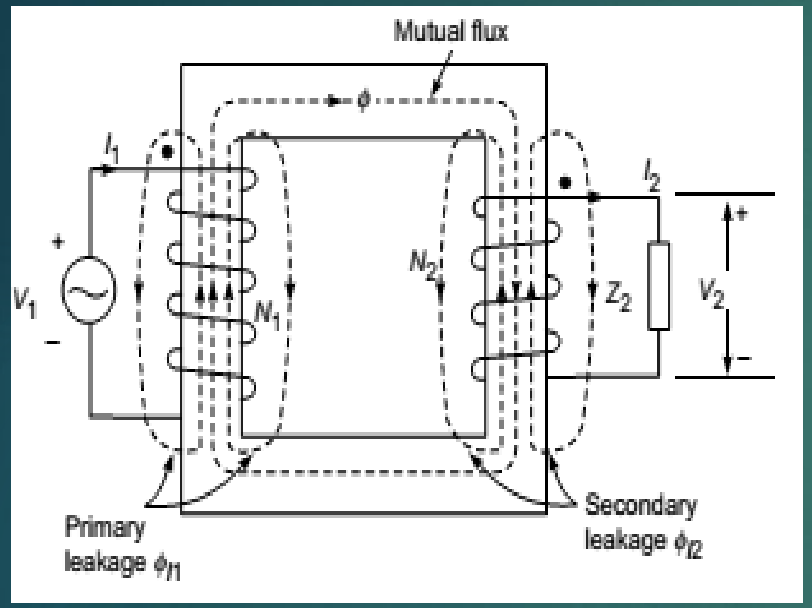
$$Z_1 = \frac{V_1}{I_1} = \frac{aV_2}{I_2/a} = a^2 \frac{V_2}{I_2} = a^2 Z_2 \Rightarrow \frac{Z_1}{Z_2} = a^2$$

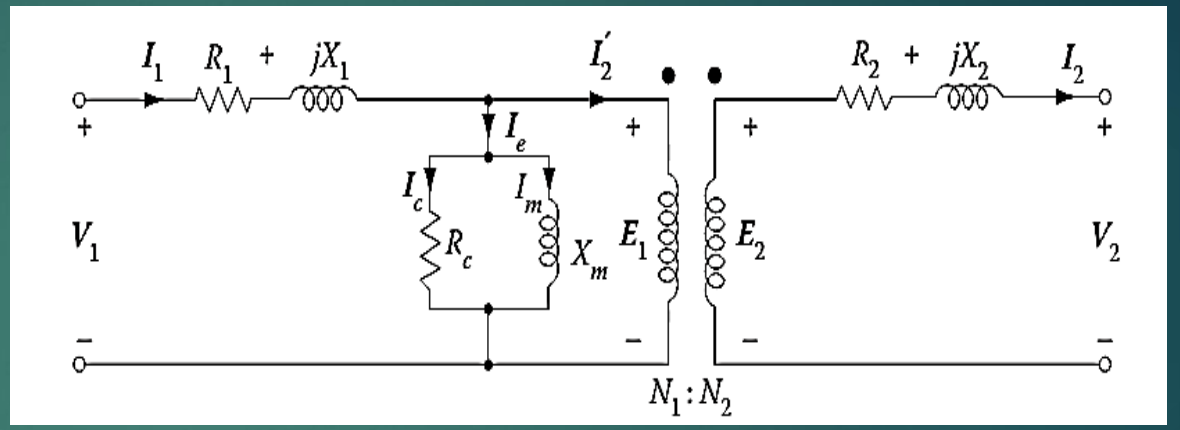
$$\frac{R_1}{R_2} = a^2$$

$$\frac{L_1}{L_2} = a^2$$

$$\frac{C_2}{C_1} = a^2$$

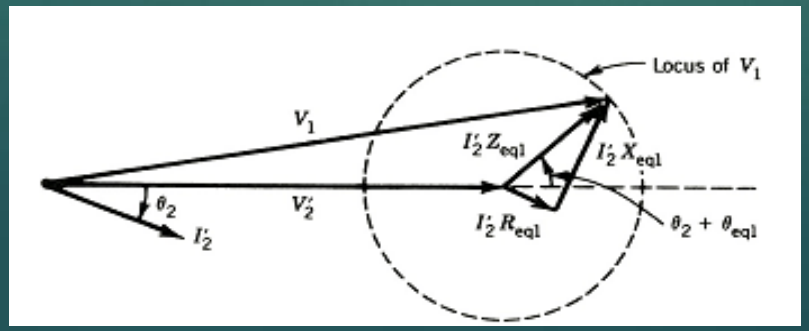
ترانسفورماتور واقعی



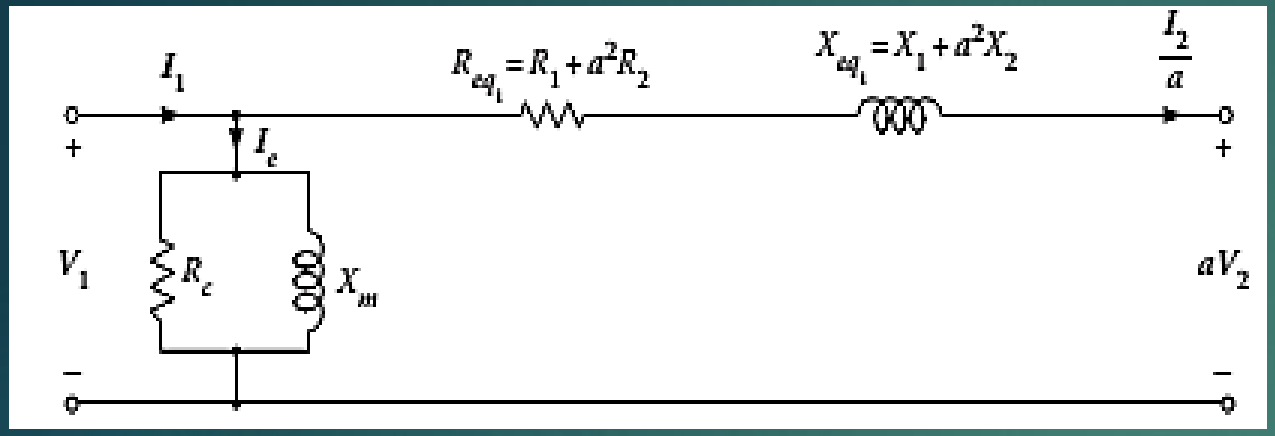


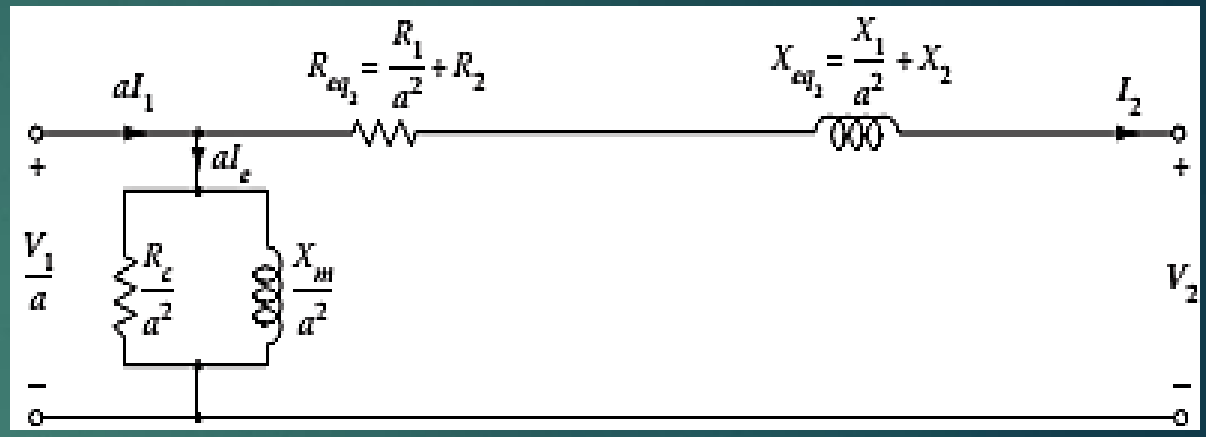
R1مقاومت اهمی سیم پیچ اولیه که تلفات مسی ایجاد می کند،
X1راکتانس پراکندگی سیم پیچ اولیه،
Rc مقاومت اهمی مدل کننده تلفات هسته (هیسترزیس و فوکو) ،
Xm راکتانس مغناطیس کننده هسته،
R2 مقاومت اهمی سیم پیچ ثانویه
و**X2** راکتانس پراکندگی سیم پیچ ثانویه است.

$$\begin{cases} \vec{V}_1 = R_1\vec{I}_1 + jX_1\vec{I}_1 + \vec{E}_1 \\ \vec{E}_2 = \vec{V}_2 + R_2\vec{I}_2 + jX_2\vec{I}_2 \end{cases}$$



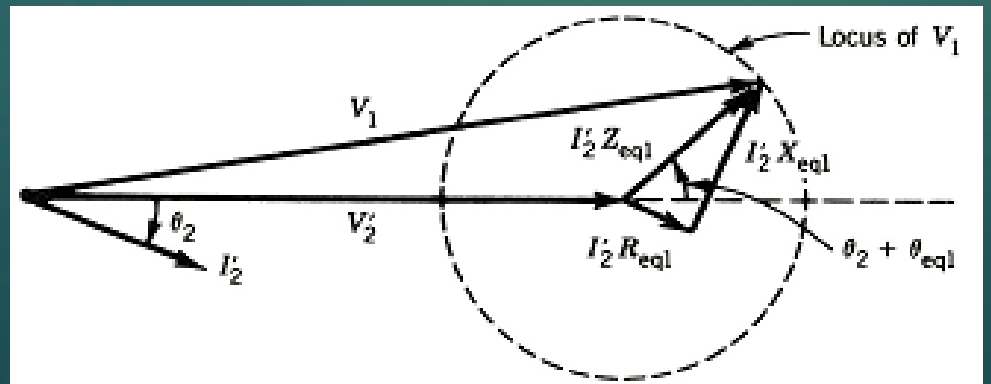
ترانسفورماتور واقعی(مدار معادل ۹۸٪)





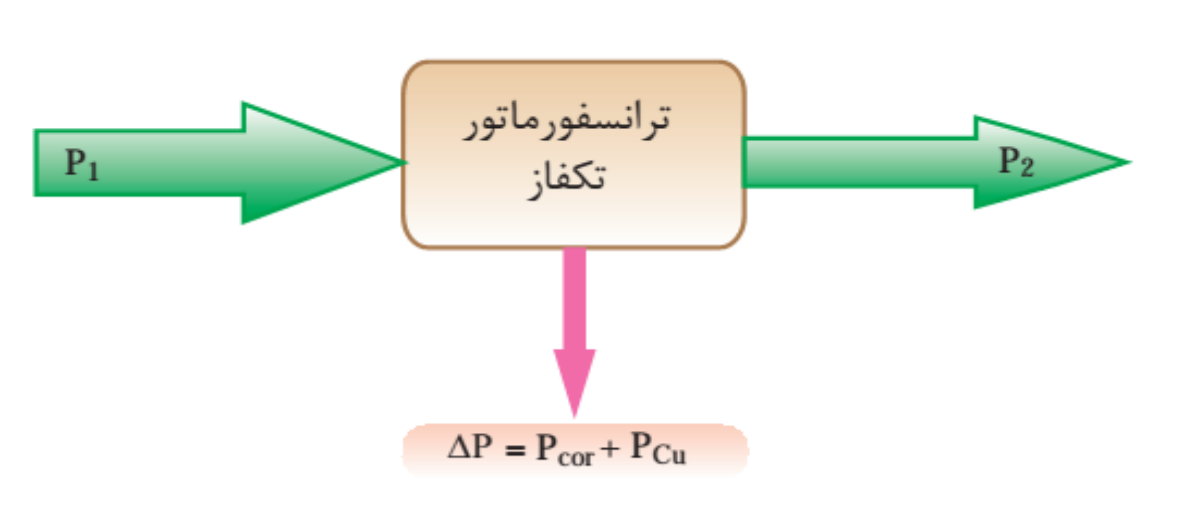
$$\begin{cases} \vec{V}_1 = R_{eq1}\vec{I}_1 + jX_{eq1}\vec{I}_1 + \vec{E}_1 \\ \vec{E}_2 = \dfrac{\vec{E}_1}{a} = \vec{V}_2 \end{cases}$$

$$\begin{cases} \vec{E}_2 = \vec{V}_2 + R_{eq2}\vec{I}_2 + jX_{eq2}\vec{I}_2 \\ \vec{E}_1 = a\vec{E}_2 = \vec{V}_1 \end{cases}$$



محاسبه راندمان

نسبت توان خروجی به توان ورودی را بازده یا راندمان می گویند.



$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_2}{P_2 + \Delta P} = \frac{P_2}{P_2 + P_{Fe} + P_{cu}}$$

ضریب بار

نسبت توان ظاهری مصرف کننده به توان ظاهری نامی در ولتاژ ثابت را ضریب بار(k) می گویند.

$$k = \frac{S}{S_n} = \frac{I}{I_n}$$

$$P_2 = V_2 I_2 \cos\phi = V_2 k I_{2n} \cos\phi = k S_n \cos\phi$$

$$P_{cu} = R_{eq2} I_2^2 = R_{eq2} (k I_{2n})^2 = k^2 R_{eq2} I_2^2 = k^2 P_{cun}$$

در نتیجه می توان فرمول محاسبه راندمان را به صورت زیر باز نویسی نمود:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{k S_n \cos\phi}{k S_n \cos\phi + k^2 P_{cun} + P_{Fe}}$$

راندمان ماکزیمم

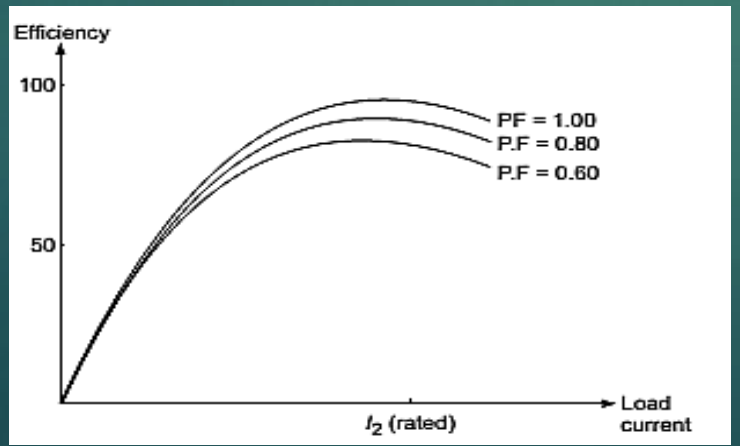
اگر بار متصل به یک ترانس را زیاد کنیم راندمان ابتدا به سرعت زیاد و سپس به آرامی کم می شود.همچنین اگر ضریب توان بار افزایش یابد، راندمان قطعا زیاد می شود چون جریان عبوری کم شده و تلفات کاهش می یابد.

$$\frac{d\eta}{dI_2}=0\Rightarrow P_{cu}=P_{Fe}\Rightarrow k^2P_{cun}=P_{Fe}\Rightarrow k_m=\sqrt{\frac{P_{Fe}}{P_{cun}}}$$

$$\frac{d\eta}{d\phi}=0\Rightarrow \cos\phi=1$$

پس دو شرط راندمان ماکزیمم به صورت زیر می باشد:

$$\begin{cases} k_m=\sqrt{\dfrac{P_{Fe}}{P_{cun}}} \\ \cos\phi=1 \end{cases}$$



$$\eta_{\max}=\frac{k_mS_n}{k_mS_n+k_m^2P_{cun}+P_{Fe}}=\frac{k_mS_n}{k_mS_n+2P_{Fe}}$$

پریونیت

با توجه به اینکه در شبکه قدرت، عددها بر حسب kv یا MW می باشد و با جابجایی از طرف اولیه به ثانویه ترانسفورماتورها یا بالعکس مقادیر پارامترهای مدار معادل به دلیل نسبت تبدیل ترانسها و اصل انتقال امپدانس تغییر می نماید، لذا سیستمی به نام پریونیت(در-واحد) پیشنهاد شده است که باعث سادگی محاسبات در سیستمهای قدرت می گردد. در این سیستم مقادیر در حد عددی کوچک(معمولا بین صفر و یک) تغییر می نمایند.

فرمول اساسی در محاسبات پریونیت برای هر پارامتری (توان، ولتاژ، جریان و امپدانس) به صورت زیر است:

$$\alpha_{P.U} = \frac{\alpha_{real}}{\alpha_{BASE}}$$

پریونیت

$$V_{P.U} = \frac{V}{V_{BASE}};\ I_{P.U} = \frac{I}{I_{BASE}}$$

$$Z_{P.U} = \frac{Z}{Z_{BASE}} = \frac{V_{P.U}}{I_{P.U}}$$

$$S_{P.U} = \frac{S}{S_{BASE}} = V_{P.U} I_{P.U}^{\ *} = P_{P.U} + jQ_{P.U}$$

برای پریونیت کردن روابط ماشینهای الکتریکی، باید S_n, V_n, I_n (توان ظاهری نامی، ولتاژ نامی و جریان نامی) را به عدد "یک" تبدیل نمود.

و بقیه پارامترهای دارای واحد، نیز پریونیت می شوند. و اندیس های طرف اولیه یا ثانویه از بین می روندچون در هر دو طرف مقادیر پریونیت برابر هستند.

$$P_{cu_n} = R_{eq} I_n^2 \Rightarrow P_{cu_{nP.U}} = R_{eq_{P.U}}$$

$$\eta = \frac{kS_n \cos\phi}{kS_n \cos\phi + P_{Fe} + k^2 P_{cu_n}} \Rightarrow \eta = \frac{k\cos\phi}{k\cos\phi + P_{Fe_{P.U}} + k^2 P_{cu_{nP.U}}} = \frac{k\cos\phi}{k\cos\phi + P_{Fe_{P.U}} + k^2 R_{eq_{P.U}}}$$

مثال

در یک ترانسفورماتور ۴۰۰ کیلوولت آمپر اگر باری با ضریب توان ۰.۸ پس فاز و ضریب بار ۱۰۰ درصد متصل شود و تلفات آهنی و مسی نامی به ترتیب ۵ و ۶ کیلووات باشد راندمان این ترانسفورماتور چقدر خواهد بود؟

$$\eta = \frac{kS_n\cos\phi}{kS_n\cos\phi + k^2P_{cun} + P_{Fe}} = \frac{1 \times 400000 \times 0.8}{1 \times 400000 \times 0.8 + 5000 + 6000} = 96.6\%$$

مثال

در یک ترانسفورماتور ۵ کیلوولت آمپر، تلفات ثبت شده در آزمایشهای بی باری و اتصال کوتاه به ترتیب ۳۰۰ و ۱۲۰۰ وات است.ماکزیمم راندمان این ترانسفورماتور چقدر است؟

$$k_m = \sqrt{\frac{P_{Fe}}{P_{cun}}} = \sqrt{\frac{P_{o.c}}{P_{s.c}}} = \sqrt{\frac{300}{1200}} = 0.5$$

$$\eta_{\max} = \frac{k_m S_n}{k_m S_n + 2P_{Fe}} = \frac{0.5 \times 5000}{0.5 \times 5000 + 2 \times 300} = \frac{2500}{3100} = 80.6\%$$

مثال

یک ترانس تکفاز ۳۳ کیلوولت آمپر و ۵۵۰/۲۲۰۰ ولت موجود است. اگر $R_{eq_{HV}} = 4.4\Omega, X_{eq_{HV}} = 17.6\Omega$ باشد:

الف)مقادیر بیس ولتاژ، جریان و امپدانس در طرف HV را بیابید.
ب)مقادیر بیس ولتاژ، جریان و امپدانس را در طرف LV بیابید.

ج) $R_{eq_{P.U}}, X_{eq_{P.U}}$ از دید LV و HV را پیدا کنید.

الف

$$V_{B_{HV}} = 2200V$$

$$I_{B_{HV}} = \frac{S_B}{V_{B_{HV}}} = \frac{33000}{2200} = 15A$$

$$Z_{B_{HV}} = \frac{V_{B_{HV}}^2}{S_{B_{HV}}} = \frac{(2200)^2}{33000} = 146.7\Omega$$

ب

$$V_{B_{LV}} = 550V$$

$$I_{B_{LV}} = \frac{S_B}{V_{B_{LV}}} = \frac{33000}{550} = 60A$$

$$Z_{B_{LV}} = \frac{V_{B_{LV}}^2}{S_B} = \frac{(550)^2}{33000} = 9.16\Omega$$

ج

$$\begin{cases} R_{eq_{PU_{HV}}} = \dfrac{R_{eq_{HV}}}{Z_{B_{HV}}} = \dfrac{4.4}{146.7} = 0.029 \\ R_{eq_{LV}} = \dfrac{R_{eq_{HV}}}{a^2} = \dfrac{4.4}{4^2} = 0.275\Omega \Rightarrow R_{eq_{PU_{LV}}} = \dfrac{R_{eq_{LV}}}{Z_{B_{LV}}} = \dfrac{0.275}{9.16} = 0.029 \end{cases}$$

ج

$$\begin{cases} X_{eq_{PU_{HV}}} = \dfrac{X_{eq_{HV}}}{Z_{B_{HV}}} = \dfrac{17.6}{146.7} = 0.12 \\ X_{eq_{LV}} = \dfrac{X_{eq_{HV}}}{a^2} = \dfrac{17.6}{4^2} = 1.1\Omega \Rightarrow X_{eq_{PU_{LV}}} = \dfrac{X_{eq_{LV}}}{Z_{B_{LV}}} = \dfrac{1.1}{9.16} = 0.12 \end{cases}$$

مثال

در یک ترانسفورماتور تلفات آهن ۰,۲ پریونیت می باشد و مقاومت معادل ۰,۱ پریونیت این ترانس در ضریب توان ۰,۸ پس فاز و ضریب بار ۵۰ درصد چه راندمانی دارد؟

$$\eta = \frac{kS_n\cos\phi}{kS_n\cos\phi + P_{Fe} + k^2P_{cu_n}} \Rightarrow \eta = \frac{k\cos\phi}{k\cos\phi + P_{Fe_{P.U}} + k^2P_{cu_{n_{P.U}}}} = \frac{k\cos\phi}{k\cos\phi + P_{Fe_{P.U}} + k^2R_{eq_{P.U}}}$$

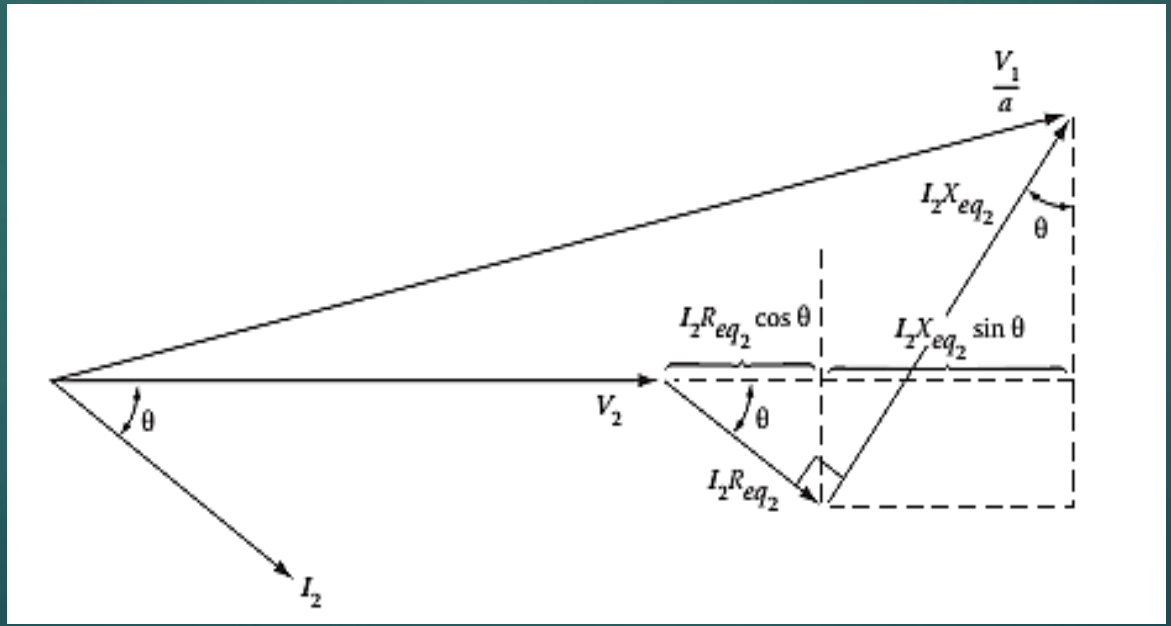
$$\eta = \frac{k\cos\phi}{k\cos\phi + P_{Fe_{P.U}} + k^2R_{eq_{P.U}}} = \frac{0.5\times0.8}{(0.5\times0.8) + 0.2 + (0.5^2\times0.1)} = 0.64$$

افت ولتاژ

$$\vec{E}_2 = \vec{V}_2 + R_{eq2}\vec{I}_2 + jX_{eq2}\vec{I}_2$$

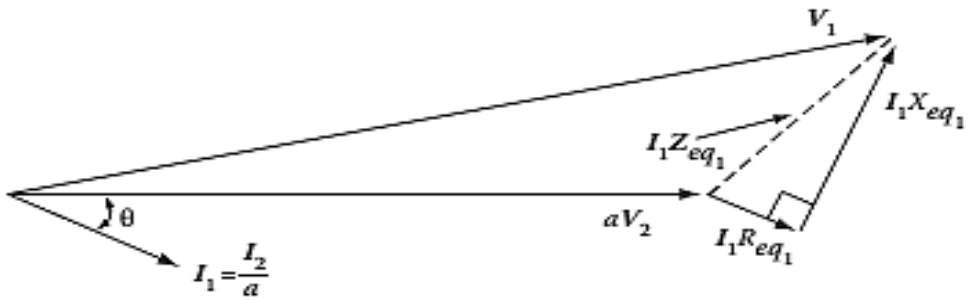
$$\Delta\vec{V}_2 = \vec{E}_2 - \vec{V}_2 = R_{eq2}\vec{I}_2 + jX_{eq2}\vec{I}_2 = \vec{Z}_{eq2}\vec{I}_2$$

$$|\Delta V_2| \simeq R_{eq2}I_2\cos\phi \pm X_{eq2}I_2\sin\phi$$



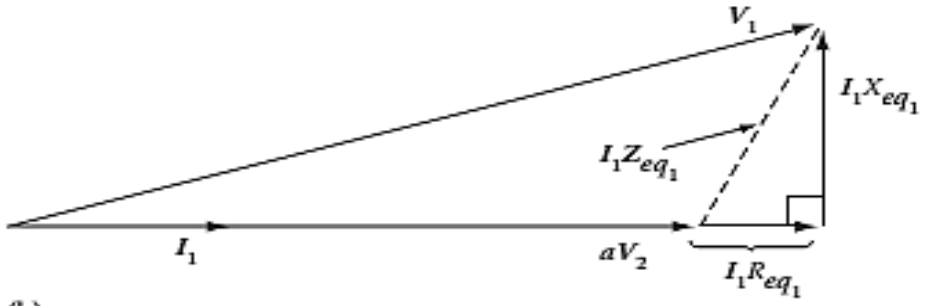
افت ولتاژ

$$|\Delta V_2| \simeq R_{eq2} I_2 \cos\phi \pm X_{eq2} I_2 \sin\phi$$



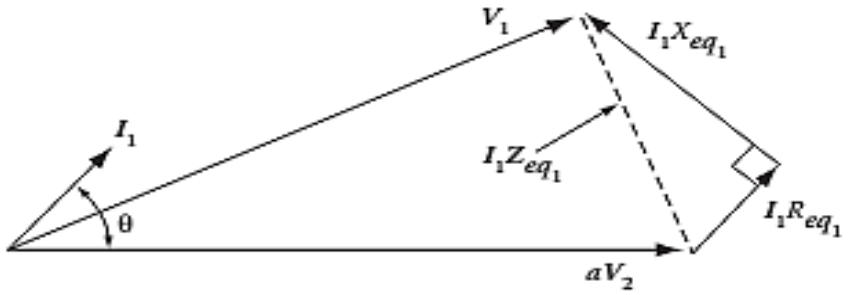
(a)

بار القایی(پسفاز)



(b)

بار اهمی(همفاز)



(c)

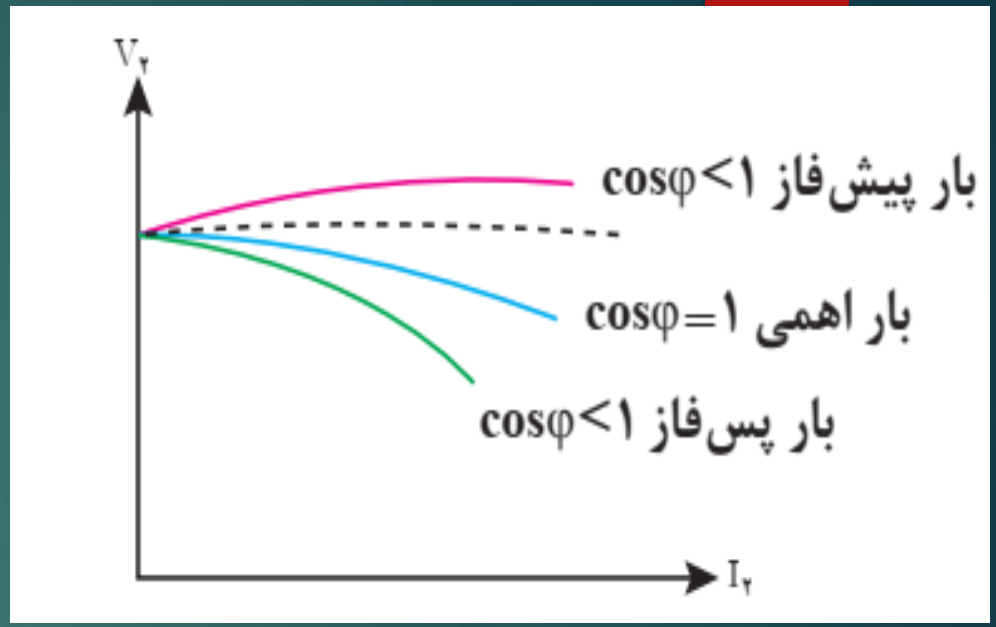
بار خازنی(پیشفاز)

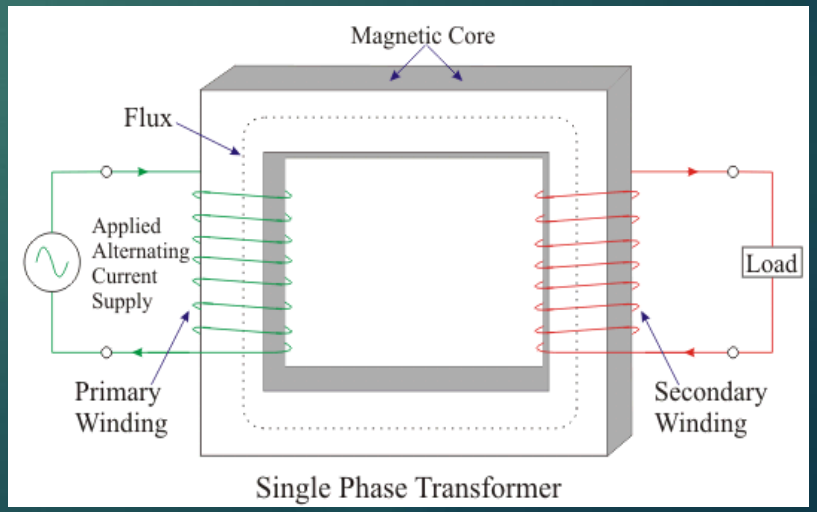
رگولاسیون

$$|\Delta V_2| \simeq R_{eq2} I_2 \cos\phi \pm X_{eq2} I_2 \sin\phi$$

$$V.R = \frac{|\Delta V_2|}{|V_{2n}|} = \frac{|E_2 - V_2|}{|V_{2n}|} = \frac{R_{eq2} I_2 \cos\phi \pm X_{eq2} I_2 \sin\phi}{|V_{2n}|}$$

$$V.R = k(R_{eqP.U} \cos\phi \pm X_{eqP.U} \sin\phi)$$





ALIBOUBEHREZH.BLOGFA.COM

رگولاسیون صفر و مینیمم و ماکزیمم

$$V.R = k(R_{eqP.U}\cos\phi \pm X_{eqP.U}\sin\phi)$$

رگولاسیون ولتاژ صفر در باری پیش فاز(خازنی) با ضریب توان روبرو رخ می دهد:

$$V.R = 0 \Leftrightarrow \cos\phi_{cr} = \frac{X_{eq}}{Z_{eq}}$$

رگولاسیون حداکثر در باری پس فاز(سلفی) با ضریب توان روبرو رخ می دهد:

$$V.R = \max \Leftrightarrow \cos\phi_m = \frac{R_{eq}}{Z_{eq}}$$

$$V.R_{\max} = Z_{eqP.U}$$

رگولاسیون مینیمم در بار خازن خالص اتفاق می افتد.

$$V.R_{\min} = -X_{eqP.U}$$