اگر زمان به اندازه‌ی بازه نوشته شود، توان به انرژی تبدیل می‌شود.

بازده شبانه روزی
all day long eff.

$$\eta_{24h} = \frac{W_{out}^{24h}}{W_{in}^{24h}} = \frac{\sum_{i=1}^{n} W_{out,i}}{\sum_{i=1}^{n} W_{out,i} + \sum_{i=1}^{n} P_{losses,i}} \quad *$$

i	Δt_i	x_i	PF_i	W_{out}	W_{cu}^{loss}	W_{core}^{loss}
1	Δt_1	x_1	PF_1	$x_1 S \cdot PF_1 \cdot \Delta t_1$	$x_1^2 \cdot P_{cu}^{F.L} \cdot \Delta t_1$	$P_{core} \cdot \Delta t_1$
2	Δt_2	x_2	PF_2	$x_2 \cdot S \cdot PF_2 \cdot \Delta t_2$	$x_2^2 P_{cu}^{F.L} \cdot \Delta t_2$	$P_{core} \cdot \Delta t_2$
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
n	Δt_n	x_n	PF_n			
$\sum$	24			$\sum_{i=1}^{n} W_{out,i}$ *	$\sum_{i=1}^{n} W_{cu,i}^{loss}$ *	$24\, P_{core}$ *

مثال: یک ترانسفورماتور $100\ KVA$، $50Hz$، $\frac{2400}{240}$، دارای بازده ماکزیمم برابر $98,5\%$ است که در 70% بارهای پخ می‌دهد، اگر ترانسفورماتور 10 ساعت در 50٪ بارهای با ضریب توان $0,65$ پس‌فاز، 4 ساعت در 90٪ بارهای با ضریب توان $0,9$، 6 ساعت در 30٪ بارهای با ضریب توان $0,8$ lag و 4 ساعت باقی مانده در 80٪ بارهای با ضریب توان واحد کار کند، η^{24h} را محاسبه کنید.

$P_{cu}^{F.L}$, P_{core} = ?

$$\eta_{max} = \frac{x.S}{x.S + 2P_{core}} \Rightarrow \frac{0.7 \times 100000}{0.7 \times 100000 + 2P_{core}} = 98,5\%$$

$$\Rightarrow P_{core} = 533\ watt$$

$$P_{core} = x^2 P_{cu}^{F.L} \longrightarrow P_{cu}^{F.L} = \frac{533}{0.7^2} = 1087,7\ watt$$

i	Δt	x	PF	W_{out}	W_{cu}	W_{core}
1	10	50٪	0,65	325 kJ	2719,25	
2	4	90٪	0,9	324 kJ	3524,15	
3	6	30٪	0,8	144 kJ	587,36	
4	4	80٪	1	320 kJ	2784,5	
				1113 kJ	9615,27	$24 \times 533 = 12792$

$$\eta_{24h} = \frac{1113000}{1113000 + 9615,27 + 12792} = 98\%$$

اگر ترانسفورماتور در یک بازه‌ی زمانی بار نداشته باشد $x = 0$

تنظیم ولتاژ Voltage Regulation

میزان افت ولتاژ خروجی ترانسفورماتور در حالت بارداری را نشان می‌دهد.

$$V.R\% = \frac{|V_{NL}| - |V_{FL}|}{|V_{FL}|} \times 100$$

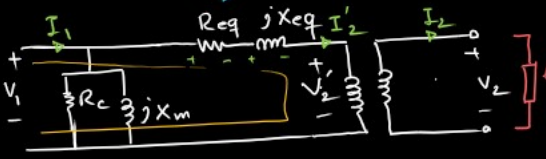
بررسی تنظیم ولتاژ در بارهای مختلف:
- مقاومتی خالص
- سلفی مقاومتی
- خازنی مقاومتی

$PF = \cos\varphi = 1$

$I \angle -\varphi$ پس فاز lag $\cos\varphi < 1$

$V_{ref} \Rightarrow$

$I \angle +\varphi$ پیش فاز lead $\cos\varphi < 1$



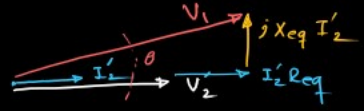
بی باری $I_2 = 0 \rightarrow I'_2 = 0 \Rightarrow V_{NL} = V'_2 = V_1$

در حالت بارداری مقاومتی خالص ①

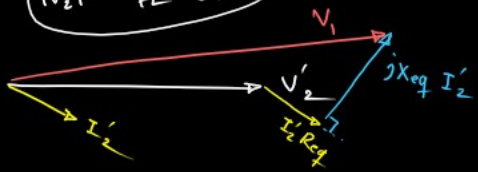
$$V_1 = R_{eq} I'_2 + jX_{eq} I'_2 + V'_2$$

$$|V_1| = V_{NL}$$

$|V'_2| = V_{FL}$ مقدار نامی



② سلفی مقاومتی



دیاگرام فازوری phasor Diag.

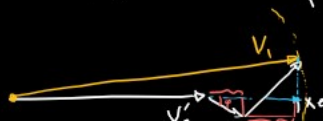
③ خازنی مقاومتی

در این حالت احتمال دارد ولتاژ V'_2 از V_1 بزرگتر باشد یعنی ولتاژ به جای افت افزایش یابد که در این وضعیت تنظیم ولتاژ منفی خواهد شد.

$$|V_1| = |V'_2 + I'_2 R_{eq} + jX_{eq} I'_2| = |V_{NL}|, \quad |V_{FL}| = \text{نامی}$$

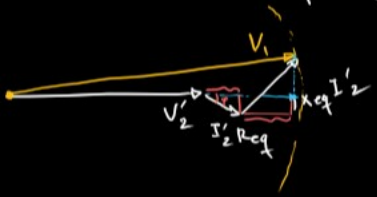
می‌بینی تنظیم ولتاژ

دقیق: تقریبی در روش تقریبی اندازه‌ی V_1 را با



$|V_1| = |V_2 + I_2 R_{eq} + j X_{eq} I_2| = |V_{NL}|$, $|V_{FL}| = ?$

می‌خواهیم تنظیم ولتاژ؟



دیس تقریبی درروش تقریبی اندازه‌ی V_1 را با مقدار تقریبی آن روی V_2' را با فرض می‌کنیم

$$\Rightarrow |V_1| = |V_2'| + |I_2'| R_{eq} \cos\varphi \pm |I_2'| X_{eq} \sin\varphi$$ (lag / lead)

$$V.R\% \simeq \frac{|V_2'| + |I_2'| R_{eq} \cos\varphi \pm |I_2'| X_{eq} \sin\varphi - |V_2'|}{|V_2'|}$$

در چه صورت تنظیم ولتاژ صفر خواهد شد؟

پیش فاز: ①

$$R_{eq} \cos\varphi = X_{eq} \sin\varphi \quad ②$$

$$\Rightarrow \tan\varphi = \frac{R_{eq}}{X_{eq}}$$

$$\Rightarrow \varphi = \tan^{-1}\left(R_{eq}/X_{eq}\right)$$

اگر φ در حالت پیش فازی از این مقدار بیشتر شود تنظیم ولتاژ منفی خواهد شد.

مثال:

A 1ϕ, 25 kVA, 2300/230 V transformer has the following parameters:

$$Z_{eq,H} = 4.0 + j5.0\ \Omega \quad (R_{eq} \quad X_{eq})$$

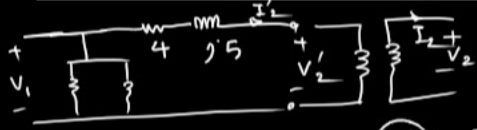
$$R_{c,L} = 450\ \Omega$$

$$X_{m,L} = 300\ \Omega$$

تنظیم ولتاژ در دو حالت زیر

الف) بارانی با P.F = 0,8 lag

ب) بارانی با P.F = 0,6 lead



الف) $I_2' = \frac{25000}{2300} \angle -\cos^{-1} 0,8$

$$V_1 = (4 + j5) \times \frac{250}{23} \angle -36,86 + 2300 = 2362,05 \angle 0,38°$$

$$V.R\% = \frac{2362,05 - 2300}{2300} \times 100 = 2,7\%$$

$$V.R\% \simeq \frac{\frac{250}{23} \times 0,8 \times 4 + \frac{250}{23} \times 0,6 \times 5}{2300} = 2,9\%$$

بهترین ادامه داده شود با هر دوروش دستی و تقریبی

V.R%

φ

(ب) به ازای به ضریب توان تنظیم ولتاژ صفر است؟

(ج) رسم V.R برحسب زاویه‌ی بار در ازای بار نامی

۹۸/۱/۲۱

سیستم پریونیت Per Unit System

تقسیم بر واحد و یا در واقع بیان کمیت به صورت نسبی یا درصدی

فوائد: ① گویا و مفهوم بودن اعداد چون به صورت درصدی یا نسبی بیان می‌شوند

② با اعداد کوچک در محدوده‌ی ۰ تا ۱ و کمی بیشتر از ۱ سروکار داریم

③ راحت شدن حل مسائل ← اولیه ولتاژ فرق ندارند ....

$$\text{مقدار پریونیتی کمیت} = \frac{\text{مقدار واقعی کمیت}}{\text{مقدار مبنای کمیت}}$$

Base

$$\text{مقدار جریان بار بر حسب پریونیت} = \frac{\text{مقدار جریان بار [A]}}{\text{مقدار مبنای جریان [A]}} \simeq 0.04-0.06 \text{ P.U}$$

کمیت‌های مبنا $V_{base,1}^{1,2}$, S_{base}

$$\Rightarrow I_{base,1} = \frac{S_{base}}{V_{base,1}} \quad , \quad I_{base,2} = \frac{S_{base}}{V_{base,2}}$$

$$Z_{base,1} = \frac{V_{base,1}}{I_{base,1}} = \frac{V_{base,1}^2}{S_{base}} \quad , \quad Z_{base,2} = \frac{V_{base,2}^2}{S_{base}}$$

یادآوری

$$\frac{V_{base,1}}{V_{base,2}} = a$$

$$\frac{I_{base,2}}{I_{base,1}} = a$$

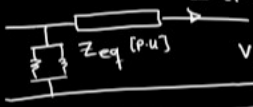
$$Z_{eq,1}(P.u) = \frac{Z_{eq,1}\ [\Omega]}{Z_{base,1}} = \frac{Z_{eq,1} \times S_{base}}{V_{base,1}^2} = \frac{Z_{eq,1} \times S_{base}}{a^2 \cdot V_{base,2}^2}$$

طولانی

در سیستم پریونیت امپدانس معادل ترانسفورماتور در سمت اولیه و ثانویه با هم برابر هستند. یعنی احتیاج به انتقال امپدانس وجود ندارد.

$$= \frac{Z_{eq,1}}{a^2 \cdot Z_{base,2}} = \frac{Z_{eq,2}}{Z_{base,2}} = Z_{eq,2}[P.u]$$

$$I_1[P.u] = \frac{I_1}{I_{base,1}} = \frac{a \cdot I_1}{I_{base,2}} = \frac{I_2}{I_{base,2}} = I_2[P.u]$$



مدار معادل در P.u
$V_1[P.u]$

$$P_{cu}^{F.L}[P.u] = \frac{P_{cu}^{F.L}}{S_{base}} = \frac{R_{eq} \cdot I_{F.L}^2}{S_{base}} = \frac{Z_{base} \cdot R_{eq}^{P.u} \cdot I_{base}^2}{S_{base}}$$

$$= \frac{V_{base} \cdot I_{base}^2}{I_{base} \cdot S_{base}} \cdot R_{eq}^{P.u} = R_{eq}^{P.u}$$

$$P_{cu}^{F.L}[P.u] = R_{eq}[P.u]$$

$$R_{eq}^{P.u} = \frac{R_{eq}}{Z_{base}}$$

* اگر مقادیر نامی ولتاژ و توان به عنوان مبنا انتخاب شوند جریان نامی یا بارگامل پریونیت خواهد شد.

$$I_{FL}^{P.u} = \frac{I_{FL}}{I_{base}} = \frac{I_{FL}}{\frac{S_{base}}{V_{base}}} = \frac{1}{1} = 1^{P.u}$$

$P_{core}[P.u] = ?$

$$P_{core}[P.u] = \frac{\frac{V_{base,1}^2}{R_{c,1}}}{S_{base}} = \frac{V_{base,1}^2}{S_{base}} \cdot \frac{1}{R_{c,1}[P.u] \cdot Z_{base}}$$

$$= \frac{V_{base,1}^2}{S_{base}} * \frac{S_{base}}{V_{base,1}^2} \cdot \frac{1}{R_c[P.u]} = \frac{1}{R_c[P.u]}$$

$$P_{core}[P.u] = \frac{1}{R_c[P.u]}$$

تنظیم ولتاژ پریونیت

مقادیر نامی مبنا

$I_1^{FL}[P.u] = 1$

$V_{FL}[P.u] = 1$

$$V.R\% \simeq \frac{I_1 R_{eq,1} \cdot \cos\varphi \pm I_1 \cdot X_{eq,1} \cdot \sin\varphi}{V_{F.L}}$$

در بار نامی

$$\simeq R_{eq}[P.u] \cdot \cos\varphi \pm X_{eq}[P.u] \sin\varphi$$

lag

تعریف ولتاژ اتصال کوتاه : ولتاژی در وضعیت اتصال کوتاه بودن سیم پیچ لازم است بیم دیگر اعمال شود تا از آن جریان نامی عبور کند

$$V_{sc}[P.u] = \frac{V_{sc}[V]}{V_{base}} = U_k\%$$

در ترانسفورماتورهای توزیع عمومی است بین 4 تا 14 ٪

$V_{sc} = I_N Z_{eq}$

$V_{sc} = I_{F.L} Z_{eq}$

$V_{sc}[P.u] = 1 \times Z_{eq}[P.u] = Z_{eq}[P.u]$

$$V_{sc}^{P.u} = \frac{I_{F.L} Z_{eq}}{V_{base}} = \frac{I_{base} Z_{eq}^{P.u} \times Z_{base}}{V_{base}} = Z_{eq}^{P.u}$$

اثبات

Z_{base}^{old} , V_{base}^{old} , S_{base}^{old} , $Z_{p.u}^{old} = \frac{Z[\Omega]}{Z_{base}^{old}}$ تعریف مبنا

می‌خواهیم مبنا را عوض کنیم

V_{base}^{new} , S_{base}^{new} $\rightarrow$ $Z_{base}^{new} = \frac{V_{base}^{new\,2}}{S_{base}^{new}}$ $\rightarrow$ $Z_{p.u}^{new} = \frac{Z[\Omega]}{Z_{base}^{new}}$

$$\frac{Z_{p.u}^{new}}{Z_{p.u}^{old}} = \frac{Z_{base}^{old}}{Z_{base}^{new}} = \frac{\frac{V_{base}^{old\,2}}{S_{base}^{old}}}{\frac{V_{base}^{new\,2}}{S_{base}^{new}}} = \left(\frac{V_{base}^{old}}{V_{base}^{new}}\right)^2 \cdot \frac{S_{base}^{new}}{S_{base}^{old}}$$

2.34 A 1ϕ, 10 kVA, 7500/250 V, 60 Hz transformer has $Z_{eq} = 0.015 + j0.06$ pu, $R_c = 60$ pu, and $X_m = 20$ pu.

(a) Determine the equivalent circuit in ohmic values referred to the low-voltage side.

(b) The high-voltage winding is connected to a 7500 V supply, and a load of $5\angle 90°$ is connected to the low-voltage side. Determine the load voltage and load current. Determine the voltage regulation.

اگر فقط ترانس مصنوعی ۷۵۰۰ ولتی به بار ۵∠۹۰ وصل بشه مقدار جریان و تنظیم ولتاژ چقدر میشه؟

$$Z_{eq}^{L.V}[\Omega] = Z_{eq}[P.u] \times Z_{base}^{L.V} = (0.015 + j0.06) * \frac{V_{base}^{L.V\,2}}{S_{base}} = (0.015 + j0.06) \times \frac{250^2}{10\,000}$$

$$R_c^{L.V} = R_c(P.u) \times Z_{base}^{L.V} = 60 \times \frac{250^2}{10\,000} \quad , \quad X_m^{L.V} = 20 \times \frac{250^2}{10\,000} =$$

$X_m = 20$ pu.

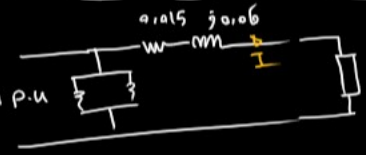
(a) Determine the equivalent circuit in ohmic values referred to the low-voltage side.

(b) The high-voltage winding is connected to a 7500 V supply, and a load of $5\angle 90°$ is connected to the low-voltage side. Determine the load voltage and load current. Determine the voltage regulation.

اگر ولتاژ ورودی ترانس 7500 ولت باشد، با توجه به اطلاعات مسئله، ولتاژ و جریان خروجی را محاسبه کنید.

$$Z_{eq}^{L.V}\ [\Omega] = Z_{eq}\ [p.u] \times Z_{base}^{L.V} = (0{,}015 + j0{,}06) * \frac{V_{base}^{L.V\ 2}}{S_{base}} = (0{,}015+j0{,}06) \times \frac{250^2}{10\,000}$$

$$R_c^{L.V}\ \Omega = R_{c\,(p.u)} \times Z_{base}^{L.V} = 60 \times \frac{250^2}{10\,000}, \quad X_m^{L.V}\ \Omega = 20 \times \frac{250^2}{10000} =$$



$$\frac{5\angle 90}{Z_{base}^{L.V}} = \frac{j5}{6{,}25} = j0{,}8$$

$$I = \frac{1}{0{,}015 + j0{,}06 + j0{,}8} = ? \quad 1{,}163\angle -89$$

$$V.R = I^{P.u} \cdot R_{eq}^{P.u} \cdot \cos\varphi + I^{P.u} \cdot X_{eq}^{P.u} \cdot \sin\varphi \qquad \varphi = \theta_v - \theta_i = +89$$

$$= 1{,}163 \times 0{,}015 \times \cos(+89) + 1{,}163 \times 0{,}06 \times \sin(+89)$$

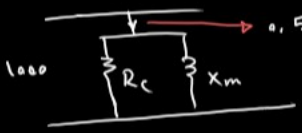
یک ترانسفورماتور 10 KVA و $\frac{1000}{100}\ v$ در بی باری جریان 0.5 A را در ضریب توان 0.3 پس فاز دریافت می کند. اگر ولتاژ اتصال کوتاه این ترانسفورماتور 5% بوده و بازده ماکزیمم ترانسفورماتور در 70% بار نامی باشد.

$P.F = \cos\varphi = 0{,}3$

الف) مدار معادل ترانسفورماتور را نسبت به سمت فشار قوی بدست آورید.

ب) بازده و تنظیم ولتاژ را در بار نامی و ضریب توان 0.8 پس فاز محاسبه کنید.

$$|Z_{eq}^{p.u}| = V_{sc}^{p.u} = 0{,}05 = \sqrt{R_{eq}^2 + X_{eq}^2} \qquad \eta_{max}\ @\ 70\% \rightarrow 0{,}7^2\ P_{cu}^{F.L} = P_{core}$$



$$0{,}5\angle -\cos^{-1}0{,}3 = 0{,}5 \times 0{,}3 - j0{,}5 \times 0{,}95$$

$$= 0{,}15 - j0{,}475$$

$$= \frac{1000}{R_c} + -j\frac{1000}{X_m} \qquad R_c, X_m$$

$$P_{core} = \frac{1000^2}{R_c} = 0{,}7^2\ P_{cu}^{F.L}$$

$$P_{cu}^{F.L} = R_{eq}^{P.u} = ?$$