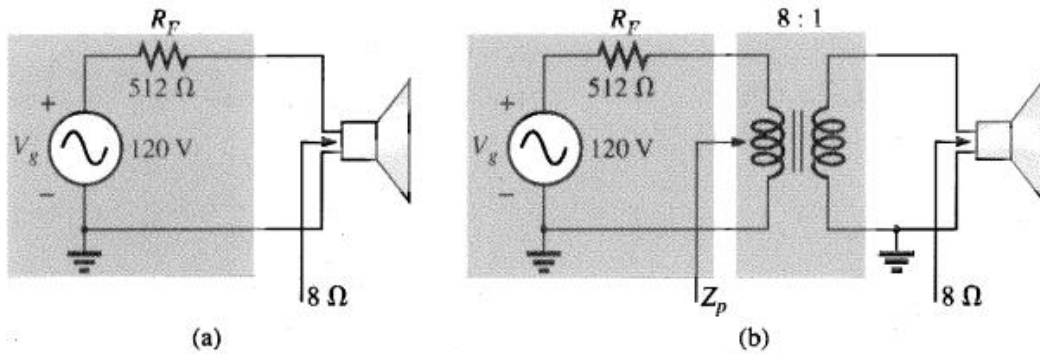


1.3.1 Lista de Exercícios – Transformadores

Aluno: Reinan Viana de Almeida Santos

Questão 1

Uma fonte de impedância interna de 512 ohms alimenta um alto-falante com uma impedância de apenas 8 ohms. Nestas condições é de se esperar que a potência fornecida ao alto-falante seja muito pequena, diante a divisão de tensão entre as cargas. Desta maneira, calcule:



a) Valor da potência fornecida a carga de acordo com a figura (a)

Primeiramente vamos calcular a corrente I_f :

$$I_f = \frac{E}{R_t} = \frac{120V}{(512\Omega + 8\Omega)} = \frac{120V}{520\Omega} = 230,77mA$$

Em seguida iremos calcular a potência no alto-falante:

$$P = I^2 R = (230,77mA)^2 * 8\Omega = 426,038mW \text{ ou } 0,426W$$

b) Na figura (b) é possível observar a introdução de um transformador para casamento de impedâncias. Calcule a nova potência fornecida ao alto-falante.

$$Z_p = a^2 Z_c$$

$$a = \frac{N_p}{N_s} = \frac{8}{1} = 8$$

$$Z_p = 8^2 * 8\Omega = 512\Omega$$

Encontrando a nova corrente:

$$I_p = \frac{E}{R_t} = \frac{120V}{(512\Omega + 512\Omega)} = \frac{120V}{1024\Omega} = 117,19mA$$

A potência com o transformador:

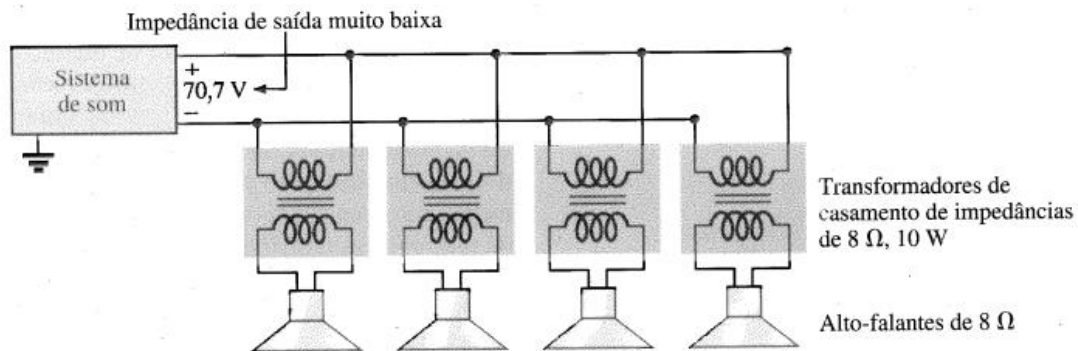
$$P = I^2 R = (117,19mA)^2 * 8\Omega = 10,92W$$

c) Compare as potências antes e depois de se introduzir o transformador

A potência após inserir o transformador é 16,35x maior em comparação a potência sem o transformador.

Questão 2

Calcule para o circuito abaixo:



a) Se cada um dos alto-falantes do circuito pode receber apenas 10 W, qual o valor máximo de potência fornecida pela fonte, desprezando-se as perdas?

A potência máxima fornecida pela fonte é de 40W, visto que a potência nos primários é igual á potencia fornecida as cargas.

b) Se todos alto-falantes estão operando em 10 W, calcule a impedância de entrada dos transformadores.

$$P_p = V_p I_p = (70,7V) I_p = 10W$$

$$I_p = \frac{10W}{70,7V} = 141,4mA$$

$$Z_p = \frac{V_p}{I_p} = \frac{70,7V}{141,4mA} = 500\Omega$$

c) Qual a relação de espiras?

$$Z_p = a^2 Z_l$$

$$a = \sqrt{\frac{Z_p}{Z_l}} = \sqrt{\frac{500\Omega}{8\Omega}} = \sqrt{62,5} = 7,91 \cong 8:1$$

d) Qual a tensão aplicada aos alto-falantes

$$V_s = V_l = \frac{V_p}{a} = \frac{70,7V}{7,91} \cong 9V$$

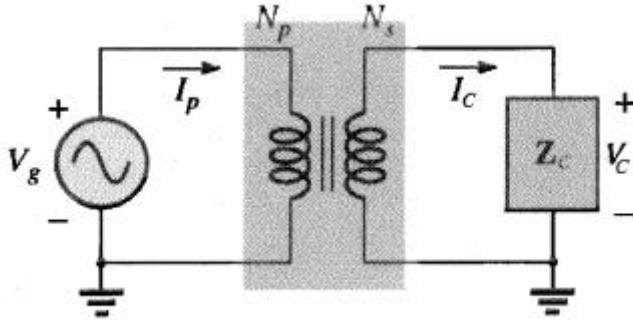
e) Qual é a carga, do ponto de vista da fonte, quando 1 alto-falante apenas está ligado? e com os 4?

Para um alto-falante: $R_t = 500\Omega$

Para quatro alto-falantes: $R_t = \frac{500\Omega}{4} = 125\Omega$

Questão 3

Para o transformador a seguir, calcule:



- a) Corrente I_c e a tensão V_c se $a = \frac{N_p}{N_s} = \frac{1}{5}$, $I_p = 2A$ e Z_c é um resistor de 2 ohms.

$$I_c = a I_p = \left(\frac{1}{5}\right) * 2A = 0,4A$$

$$V_c = I_c * Z_c = 0,4A * 2\Omega = 0,8V$$

- b) Determine a resistência de entrada para os dados especificados

$$Z_{en} = a^2 * Z_c = \left(\frac{1}{5}\right)^2 * 2\Omega = 0,08\Omega$$

Questão 4

Um transformador de 10 KVA, 4800/240 V é ensaiado a vazio e a curto-circuito:

Ensaio à Vazio (Lado de BT): 60 W; 240 V; 1,5 A

Ensaio em Curto-Circuito (lado de AT): 180 W; 180 V; corrente nominal.

- a) Determine o circuito equivalente referido para o primário e secundário

	Ensaio em vazio	Ensaio de curto-circuito
Voltímetro:	240 V	180 V
Amperímetro:	1,5 A	2,083 A
Wattímetro:	60 W	180 W

Primeiramente o ensaio em vazio foi realizado utilizando a tensão nominal no lado do primário.

Perdas no núcleo:

$$P_o = \frac{V_o^2}{R_c} \rightarrow R_c = \frac{V_o^2}{P_o} = \frac{(240V)^2}{60W} = 960\Omega$$

Corrente de perdas:

$$I_c = \frac{V_o}{R_c} = \frac{240V}{960\Omega} = 0,25 A$$

Corrente de magnetização:

$$I\phi = I_o = 1,5 A$$
$$I_m = \sqrt{I\phi^2 - I_c^2} = \sqrt{1,5^2 - 0,25^2} = 1,48 A$$

Reatância de magnetização:

$$X_m = \frac{V_o}{I_m} = \frac{240V}{1,48A} = 162,16\Omega$$

Para o lado do secundário

$$a = \frac{V_h}{V_l} = \frac{4800}{240} = 20$$
$$R_c' = a^2 R_c = 20^2 * 960 = 384k\Omega$$
$$X_m' = a^2 X_m = 20^2 * 162,16 = 64,86k\Omega$$

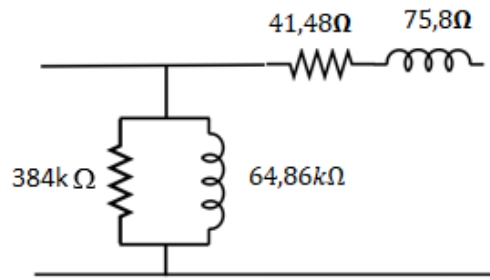
Para o ensaio de curto-circuito é aplicado tensão no lado de alta tensão até obter corrente nominal. (10kVA/4,8kV=2,083A). Com isso:

$$P_{cc} = R_{eq} * I_{cc}^2 \rightarrow R_{eq} = \frac{P_{cc}}{I_{cc}^2} = \frac{180W}{(2,083A)^2} = 41,48\Omega$$
$$Z_{eq} = \frac{V_{cc}}{I_{cc}} = \frac{180V}{2,083} = 86,41\Omega$$
$$X_{eq} = \sqrt{Z_{eq}^2 - R_{eq}^2} = \sqrt{86,41^2 - 41,48^2} = 75,8\Omega$$

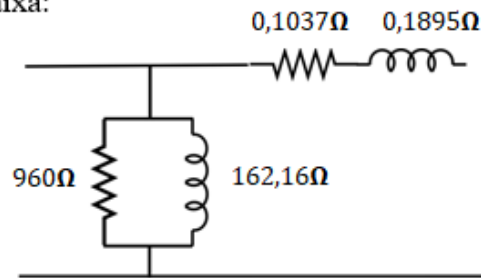
Para o lado de baixa:

$$a = \frac{V_l}{V_h} = \frac{240}{4800} = 0,05$$
$$R_{eq}' = 0,05^2 * 41,48 = 0,1037\Omega$$
$$X_{eq}' = 0,05^2 * 75,8 = 0,1895\Omega$$
$$Z_{eq} = R_{eq}' + jX_{eq}' = 0,1037\Omega + j0,1895\Omega$$

Referido ao lado de alta:



Referido ao lado de baixa:



- b) Determine a regulação de tensão do transformador à plena carga e fator de potência unitário.

Com $FP=1$, temos que $I_s = (10\text{kVA}/240\text{V} = 41,66\angle 0^\circ\text{A})$

$$V_{p'} = V_s + Z_{eq} * I_s = 240\angle 0^\circ \text{ V} + (0,1037 + j0,1895\Omega)(41,66\angle 0^\circ\text{A})$$

$$V_{p'} = 240\angle 0^\circ \text{ V} + 4,32\angle 0^\circ\text{V} + 7,89\angle 90^\circ\text{V}$$

$$V_{p'} = 240 + 4,32 + j7,89$$

$$V_{p'} = 244,32 + j7,89 \cong 244,42$$

$$RT = \frac{244,42 - 240}{240} = 1,85\%$$

Questão 5

Um transformador de 100 KVA, 60 Hz, 12000/240 V é ensaiado a vazio e a curto-circuito:

Ensaio à Vazio: 480 W; 240 V; 8,75 A

Ensaio de Curto-Circuito: 1200 W, 600 V, Corrente nominal

Determine a regulação de tensão para carga nominal com Fator de Potência 0.8 em atraso.

Ensaio em vazio	Ensaio de curto-circuito
Voltímetro: 240 V	600 V
Amperímetro: 8,75 A	8,33A
Wattímetro: 480 W	1200 W

Para o ensaio de curto-circuito é aplicada tensão no lado de alta tensão até obter corrente nominal. (10kVA/4,8kV=2,083A). Com isso:

$$P_{cc} = R_{eq} * I_{cc}^2 \rightarrow R_{eq} = \frac{P_{cc}}{I_{cc}^2} = \frac{1200W}{(8,33A)^2} = 17,29\Omega$$

$$Z_{eq} = \frac{V_{cc}}{I_{cc}} = \frac{600V}{8,33} = 72,02\Omega$$

$$X_{eq} = \sqrt{Z_{eq}^2 - R_{eq}^2} = \sqrt{72,02^2 - 17,29^2} = 69,91\Omega$$

Para o lado de baixa:

$$a = \frac{V_l}{V_h} = \frac{240}{12000} = 0,02$$

$$R_{eq}' = 0,02^2 * 17,29 = 0,007\Omega$$

$$X_{eq}' = 0,02^2 * 69,91 = 0,028\Omega$$

$$Z_{eq} = R_{eq}' + jX_{eq}' = 0,007\Omega + j0,028\Omega$$

Com FP=0,8, temos que $I_s = (100kVA/240V) = 416,66\angle -36,9^\circ A$

$$V_{p'} = V_s + Z_{eq} * I_s = 240\angle 0^\circ V + (0,007 + j0,028\Omega)(416,66\angle -36,9^\circ A)$$

$$V_{p'} = 240\angle 0^\circ V + 2,91\angle -36,9^\circ V + 11,66\angle 53,1^\circ V$$

$$V_{p'} = 240 + 2,32 - j1,74 + 9,33 + j3,36$$

$$V_{p'} = 251,65 + j1,62 = 251,65$$

$$RT = \frac{251,65 - 240}{240} * 100 = 4,85\%$$

Questão 6

Um transformador de 25 KVA, 2400/240 V consome 254 W, com FP = 0.15, quando 240 V são aplicados no lado de baixa tensão, com o lado de alta tensão em aberto. Calcule a corrente que é fornecida pela linha quando 2400 V forem aplicados do lado de alta tensão, com o lado da baixa tensão em aberto.

$$V_1=240 \text{ V} \quad V_2=2400 \text{ V} \quad P=254W \quad FP=0,15$$

Encontrando a relação de tensão

$$a = \frac{V_1}{V_2} = \frac{240}{2400} = 0,1$$

Em seguida R_c

$$R_c = \frac{V_1^2}{P} = \frac{240^2}{254} = 226,7\Omega$$

Potência aparente dispersa no ramo de magnetização

$$S_c = \frac{P}{FP} = \frac{254}{0,15} = 1693,3W$$

Potência reativa

$$Q_c = \sqrt{S_c^2 - P^2} = 1674,14W$$

Encontrando X_m a partir do ensaio

$$X_m = \frac{V_1^2}{Q_c} = \frac{240^2}{1674,14} = 34,4\Omega$$

Impedância total do lado de baixo

$$Z_c = R_c + j * X_m = 261,1\Omega$$

$$\%P1 = \frac{V_1^2}{Z_1} = \frac{V_2^2}{Z_2} = P_2$$

$$\frac{V_1^2}{Z_1} = a^2 \frac{V_1^2}{Z_2}$$

$$Z_1 = \frac{Z_2}{a^2} \rightarrow Z_2 = Z_1 * a^2$$

$$Z_{c2} = Z_c * a^2 = 2,61\Omega$$

Corrente de circuito com lado de baixa tensão aberto

$$I_{c2} = \frac{2400}{Z_{c2}} = \frac{2400}{2,61} = 919,5A$$

Questão 7

Um transformador monofásico 250 KVA, 24200/220 V fora ensaiado apresentando os seguintes dados:

Ensaio a vazio (BT): 1200W, Tensão nominal, 16 A

Ensaio de curto-circuito (AT): 1700 W, 600 V, Corrente nominal

Determine o circuito equivalente e a regulação de tensão do transformador quando ele opera com uma carga 85% da nominal e fator de potência de 0.92 indutivo.

Questão 8

Um transformador de distribuição de 100 kVA, 8000/277 V tem as seguintes resistências e reatâncias:

$$R_p = 5 \Omega$$

$$R_s = 0,005 \Omega$$

$$X_p = 6 \Omega$$

$$X_s = 0,006 \Omega$$

$$R_c = 50 \text{ k}\Omega$$

$$X_M = 10 \text{ k}\Omega$$

a) Encontre o circuito equivalente do equipamento referente ao lado de baixa

A relação de espiras do transformador é $a=8000/277=28,88$. Logo, as impedâncias primárias do lado de baixa tensão são:

$$R_{p'} = \frac{R_p}{a^2} = \frac{5\Omega}{(28,88)^2} = 0,006\Omega$$

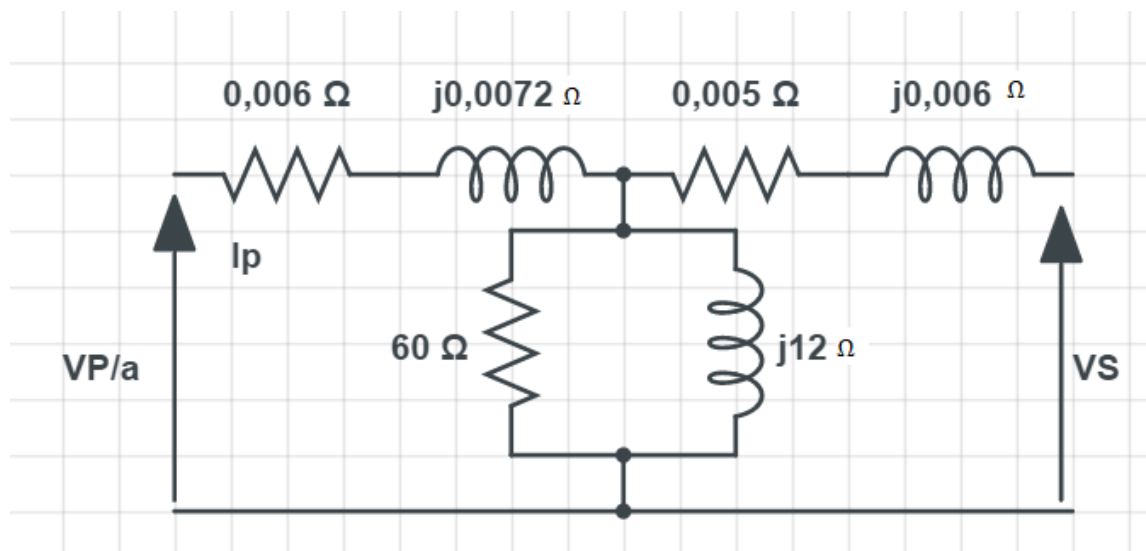
$$X_{p'} = \frac{X_p}{a^2} = \frac{6\Omega}{(28,88)^2} = 0,0072\Omega$$

Os elementos de ramificação de excitação do lado secundário são:

$$R_{c'} = \frac{R_c}{a^2} = \frac{50k\Omega}{(28,88)^2} = 60\Omega$$

$$X_{m'} = \frac{X_m}{a^2} = \frac{10\Omega}{(28,88)^2} = 12\Omega$$

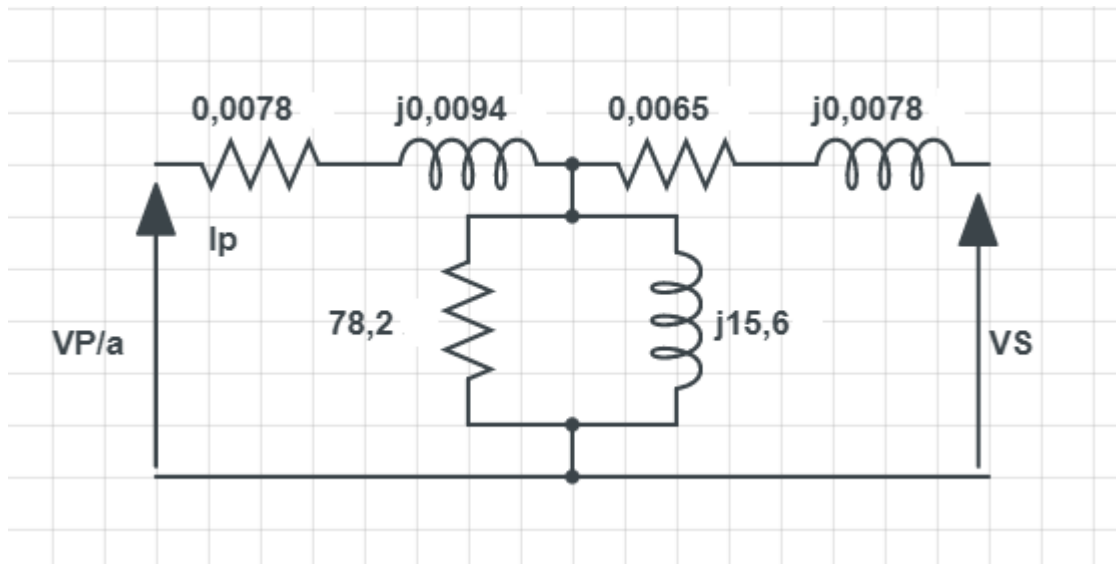
O circuito equivalente é:



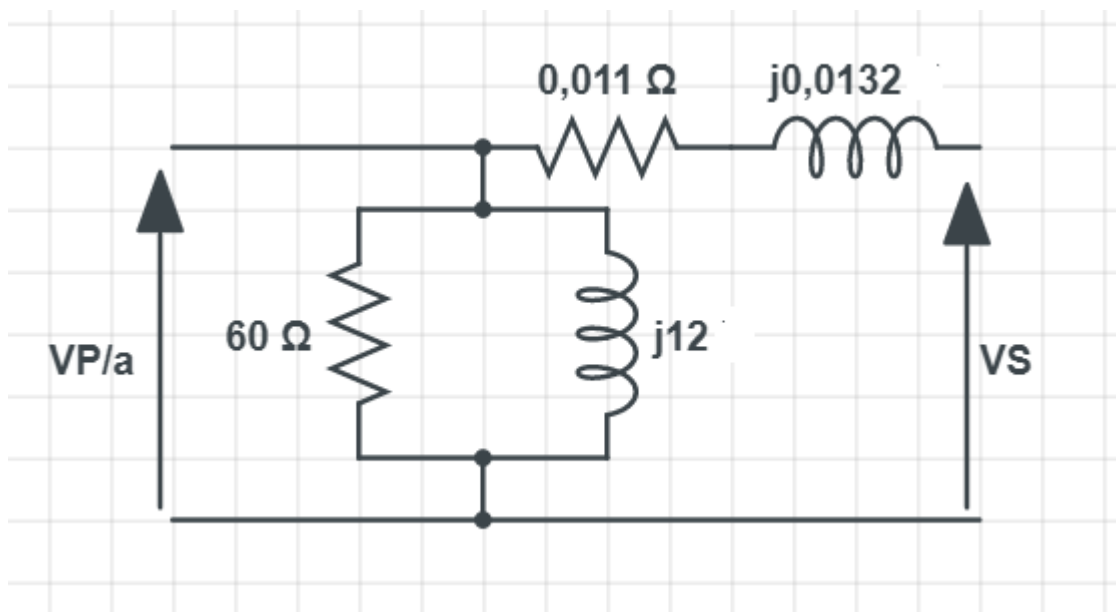
- b) Encontrando o circuito equivalente por unidade desse transformador
A impedância no lado primário é:

$$Z_{base} = \frac{V_{base}}{I_{base}} = \frac{277V}{361A} = 0,767\Omega$$

Como $Z_{pu} = Z_{atual} / Z_{base}$ o circuito equivalente por unidade é:



- c) Assume que o transformador alimente uma carga nominal em 277 V e FP 0,85 atrasado. Qual é sua tensão de entrada? Qual é sua regulação de tensão?



A corrente secundária no transformador é:

$$I_s = \frac{100kVA}{277V} \angle -31,8^\circ A = 361 \angle -31,8^\circ A$$

Logo a tensão primária nesse transformador do lado secundário é:

$$V_{p'} = V_s + (R_{eq} + jX_{eq})I_s$$

$$V_{p'} = 277 \angle 0^\circ V + (0,011 + j0,0132)(361 \angle -31,8^\circ A) = 283 \angle 0,4^\circ$$

A voltagem de regulação para o transformador nessas condições é:

$$VR = \frac{283 - 277}{277} * 100 = 2,2\%$$

- d) Quais são as perdas no cobre e no núcleo desse transformador nas condições do item (c)
Com as condições do item c, as perdas de cobre de potência de saída do transformador e as perdas de núcleo são:

$$P_{perdida} = S \cos \theta = (100kVA)(0,85) = 85kW$$

$$P_{\text{cobre}} = (I_s)^2 R_{eq} = (361)^2 (0.11) = 1430W$$

$$P_{\text{núcleo}} = \frac{V_p'^2}{R_c} = \frac{283^2}{50} = 1602W$$

e) Determine a eficiência do transformador nas mesmas condições

$$n = \frac{P_{\text{perdida}}}{P_{\text{perdida}} + P_{\text{cobre}} + P_{\text{núcleo}}} * 100 = \frac{85000}{85000 + 1430 + 1602} * 100 = 96,6\%$$

Questão 9

O enrolamento secundário de um transformador real tem uma tensão de terminal de $v_s(t) = 282,8 \sin 377t$ V. A relação de espiras do transformador é 100:200 ($a=0,50$). Se a corrente do secundário no transformador for $i_s(t) = 7,07 \sin (377t - 36,87^\circ)$ A , qual será a corrente do primário desse transformador? Quais são sua regulação de tensão e sua eficiência? As impedâncias do transformador, referidas ao lado do primário, são

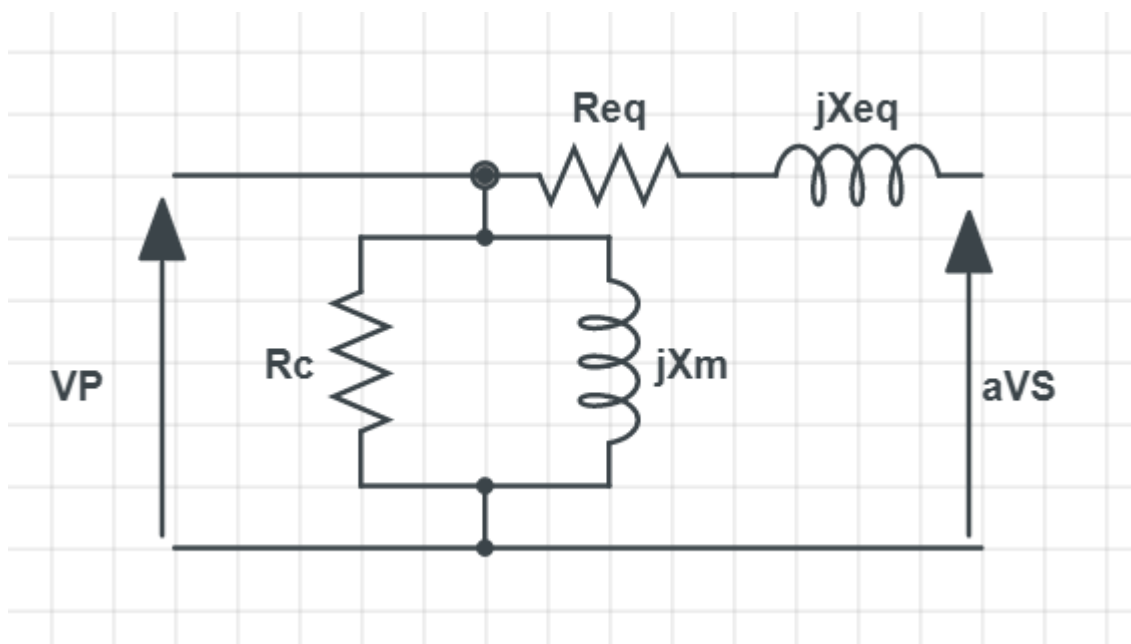
$$R_{eq} = 0,20 \, \Omega$$

$$R_C = 300 \, \Omega$$

$$X_{eq} = 0,80 \, \Omega$$

$$X_M = 100 \, \Omega$$

O circuito equivalente é mostrado abaixo:



A tensão secundária e a corrente são:

$$V_s = \frac{282,8}{\sqrt{2}} \angle 0^\circ V = 200 \angle 0^\circ V$$

$$I_s = \frac{7,07}{\sqrt{2}} \angle -36,87^\circ A = 5 \angle -36,87^\circ A$$

A tensão secundária referente ao lado primário é:

$$V_s' = aV_s = 0,5 * 200 \angle 0^\circ V = 100 \angle 0^\circ V$$

A corrente secundária referente ao lado primário é:

$$I_{s'} = \frac{I_s}{a} = \frac{5\angle -36,87^\circ A}{0,5} = 10\angle -36,87^\circ A$$

A tensão do circuito primário é dada por:

$$V_p = V_{s'} + I_{s'}(R_{eq} + jX_{eq})$$

$$V_p = 100\angle 0^\circ V + (10\angle -36,87^\circ A)(0,20 + j0,80) = 106,5\angle 2,8^\circ V$$

A corrente de excitação do transformador é:

$$I_{ex} = I_c + I_m = \frac{106,5\angle 2,8^\circ V}{300\Omega} + \frac{106,5\angle 2,8^\circ V}{j100\Omega} = \mathbf{0,355\angle 2,8^\circ V} + 106,5\angle -87,2^\circ$$

$$I_{ex} = 1,12\angle -68,8^\circ A$$

A corrente primária total é:

$$I_p = I_{s'} + I_{ex} = 10\angle -36,87^\circ + 1,12\angle -68,8^\circ = 11\angle -40^\circ A$$

Assim, a tensão de regulação na carga:

$$RT = \frac{V_p - aV_s}{aV_s} * 100 = \frac{106,5 - 100}{100} * 100 = 6,5\%$$

A potência de entrada desse transformador é:

$$P_{entrada} = V_p * I_p * \cos\theta = 106,5V * 11A * \cos(42,8^\circ) = 860W$$

A potência de saída desse transformador é:

$$P_{saída} = V_s * I_s * \cos\theta = 200V * 5A * \cos(36,87^\circ) = 800W$$

Assim, a eficiência do transformador é:

$$n = \frac{P_{saída}}{P_{entrada}} * 100 = \frac{800W}{860W} * 100 = 93\%$$

Questão 10

Um transformador com especificações nominais de 1000 VA e 230/115 V foi submetido a ensaios para determinar seu circuito equivalente. Os resultados dos ensaios estão mostrados abaixo.

Ensaio a vazio (no lado do secundário)	Ensaio de curto-circuito (no lado do primário)
$V_{VZ} = 115 \text{ V}$	$V_{CC} = 17,1 \text{ V}$
$I_{VZ} = 0,11 \text{ A}$	$I_{CC} = 8,7 \text{ A}$
$P_{VZ} = 3,9 \text{ W}$	$P_{CC} = 38,1 \text{ W}$

- a) Encontre o circuito equivalente desse transformador, referido ao lado de baixa tensão do transformador.

Para o ensaio a vazio no lado secundário temos:

$$|Y_{ex}| = |G_c - jB_m| = \frac{0,11 \text{ A}}{115 \text{ V}} = 0,0009565 \text{ S}$$

$$\theta = \cos^{-1} * \frac{P_{VZ}}{V_{VZ} * I_{VZ}} = \cos^{-1} * \frac{3,9 \text{ W}}{(115 \text{ V})(0,11 \text{ A})} = 72^\circ$$

$$Y_{ex} = G_c - jB_m = 0,0009565 \angle -72^\circ \text{ S} = 0,0002956 - j0,0009096 \text{ S}$$

$$R_c = \frac{1}{G_c} = 3383 \Omega$$

$$X_m = \frac{1}{B_m} = 1099 \Omega$$

Para o ensaio em curto circuito

$$|Z_{eq}| = |R_{eq} - jX_{eq}| = \frac{17,1 \text{ V}}{8,7 \text{ A}} = 1,97 \Omega$$

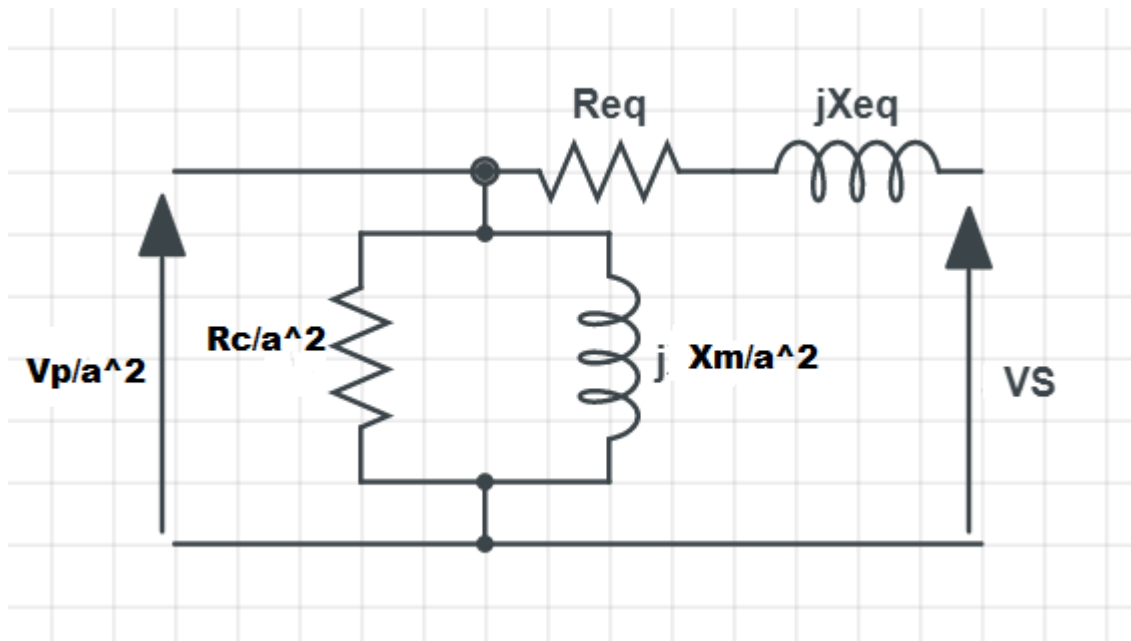
$$\theta = \cos^{-1} * \frac{P_{CC}}{V_{CC} * I_{CC}} = \cos^{-1} * \frac{38,1 \text{ W}}{(17,1 \text{ V})(8,7 \text{ A})} = 75,2^\circ$$

$$Z_{eq} = R_{eq} - jX_{eq} = 1,97 \angle -75,2^\circ \Omega = 0,503 - j1,905 \Omega$$

$$R_{eq} = 0,503 \Omega$$

$$X_{eq} = j1,905 \Omega$$

Para converter o circuito equivalente para o lado secundário foi necessário dividir cada impedância em série pelo quadrado da proporção de voltagens $a=230/115=2$. Os elementos de excitação já estão no lado secundário, assim o circuito equivalente fica como mostrado abaixo:



$$Reqs = 0,126\Omega$$

$$Xeqs = j0,476\Omega$$

$$Rcs = 3383\Omega$$

$$Xms = 1099\Omega$$

- b) Encontre a regulação de tensão do transformador, em condições nominais com (1) FP 0,8 atrasado, (2) FP 1,0 e (3) FP 0,8 adiantado.

Usaremos o circuito equivalente do transformador do lado secundário para encontrar a regulação de tensão, assim a corrente secundária nominal é:

$$Is = \frac{1000VA}{115V} = 8,7A$$

Agora é necessário calcular a tensão primária referida ao lado secundário para encontrar a regulação de tensão para cada fator de potência:

Para FP=0,8 atrasado

$$Vp' = Vs + Zeq * Is = 115\angle 0^\circ V + (0,126 + j0,476\Omega)(8,7\angle -36,9^\circ A)$$

$$Vp' = 118,4\angle 1,3^\circ V$$

$$RT = \frac{118,4 - 115}{115} * 100 = 2,96\%$$

Para FP=1

$$Vp' = Vs + Zeq * Is = 115\angle 0^\circ V + (0,126 + j0,476\Omega)(8,7\angle 0^\circ A)$$

$$Vp' = 116,2\angle 2,04^\circ V$$

$$RT = \frac{116,2 - 115}{115} * 100 = 1,04\%$$

Para FP=0,8 adiantado

$$Vp' = Vs + Zeq * Is = 115\angle 0^\circ V + (0,126 + j0,476\Omega)(8,7\angle 36,9^\circ A)$$

$$Vp' = 113,5 \angle 2,0^\circ V$$

$$RT = \frac{113,5 - 115}{115} * 100 = -1,3\%$$

c) Determine a eficiência do transformador, em condições nominais com FP 0,8 atrasado

$$Psaída = Vs * Is * \cos\theta = 115V * 8,7A * 0,8 = 800W$$

$$Pcobre = Is^2 * Reqs = (8,7A)^2 (0,126\Omega) = 9,5W$$

$$Pnúcleo = \frac{(VP')^2}{Rc} = \frac{(118,4V)^2}{3383\Omega} = 4,1W$$

Calculando a eficiência

$$n = \frac{Psaída}{Psaída + Pcobre + Pnúcleo} * 100 = \frac{800W}{800W + 9,5W + 4,1W} = 98,3\%$$

Questão 11

Um transformador de distribuição de 30 kVA e 8000/230 V tem uma impedância referida ao primário $20 + j100\Omega$. As componentes do ramo de excitação, referidas ao lado primário, são $Rc=100k\Omega$ e $20k\Omega$

- a) Se a tensão do primário for 7967V e impedância de carga for $Zl=2,0+j0,7$ ohms, qual será a tensão do secundário do transformador? Qual é a relação de tensão do transformador?

Tendo uma relação de espiras igual à $8000/230=34,78$. Podemos calcular a impedância de carga referente ao lado primário.

$$Zl' = a^2 * Zl = (34,78)^2 * (2,0 + j0,7\Omega) = 2419 + j847\Omega$$

Assim, a corrente secundária é:

$$Is' = \frac{7967 \angle 0^\circ V}{(20 + j100\Omega)(2419 + j847\Omega)} = \frac{7967 \angle 0^\circ V}{2616 \angle 21,2^\circ \Omega} = 3,045 \angle -21,2^\circ A$$

E a tensão no secundário é:

$$Vs' = Is' * Zl' = (3,045 \angle -21,2^\circ A)(2419 + j847\Omega) = 7804 \angle -1,9^\circ V$$

Portanto, a tensão real é:

$$Vs = \frac{Vs'}{a} = \frac{7804 \angle -1,9^\circ V}{34,78} = 224,4 \angle -1,9^\circ V$$

Assim podemos encontrar a regulação de tensão:

$$RT = \frac{7967 - 7804}{7804} * 100 = 2,09\%$$

- b) Se a carga for desconectada e um capacitor de $-j3,0$ ohms for ligado em seu lugar, qual será a tensão no secundário do transformador? Qual é a regulação de tensão nessas condições?

$$Zl' = a^2 * Zl = (34,78)^2 * (-j3,0\Omega) = -j3629\Omega$$

Assim, a corrente secundária é:

$$Is' = \frac{7967 \angle 0^\circ V}{(20 + j100\Omega)(-j3629\Omega)} = \frac{7967 \angle 0^\circ V}{3529 \angle -89,7^\circ \Omega} = 2,258 \angle 89,7^\circ A$$

E a tensão no secundário é:

$$Vs' = Is' * Zl' = (2,258\angle -89,7^\circ A)(-j3629\Omega) = 8194\angle -0,3^\circ V$$

Portanto, a tensão real é:

$$Vs = \frac{Vs'}{a} = \frac{8194\angle -0,3^\circ V}{34,78} = 256,3\angle -0,3^\circ V$$

Assim podemos encontrar a regulação de tensão:

$$RT = \frac{7967 - 8194}{8194} * 100 = -10,6\%$$

Questão 12

Um transformador monofásico de potência de 5000 kVA e 230/13,8 kV tem uma resistência por unidade de 1% e uma reatância por unidade de 5% (dados tomados da placa do transformador). O ensaio a vazio foi realizado no lado de baixa tensão do transformador, produzindo os seguintes dados: $V_{vz}=13,8\text{kV}$; $I_{vz}=21,1\text{A}$; $P_{vz}=90,8\text{kW}$

- a) Encontre o circuito equivalente, referido ao lado de baixa tensão do transformador.

O ensaio em vazio foi realizado no lado de baixa tensão do transformador, então iremos encontrar os componentes do ramo de excitação em relação ao lado de baixa tensão:

$$|Y_{ex}| = |G_c - jB_m| = \frac{21,1\text{A}}{13,8\text{kV}} = 0,001529$$

$$\theta = \cos^{-1} * \frac{P_{vz}}{V_{vz} * I_{vz}} = \cos^{-1} * \frac{90,8\text{kW}}{(13,8\text{kV})(21,1\text{A})} = 71,83^\circ$$

$$Y_{ex} = G_c - jB_m = 0,001529\angle -71,83^\circ S = 0,0004456 - j0,0013577S$$

$$R_c = \frac{1}{G_c} = 2244\Omega$$

$$X_m = \frac{1}{B_m} = 737\Omega$$

A impedância de base desse transformador referida ao lado secundário:

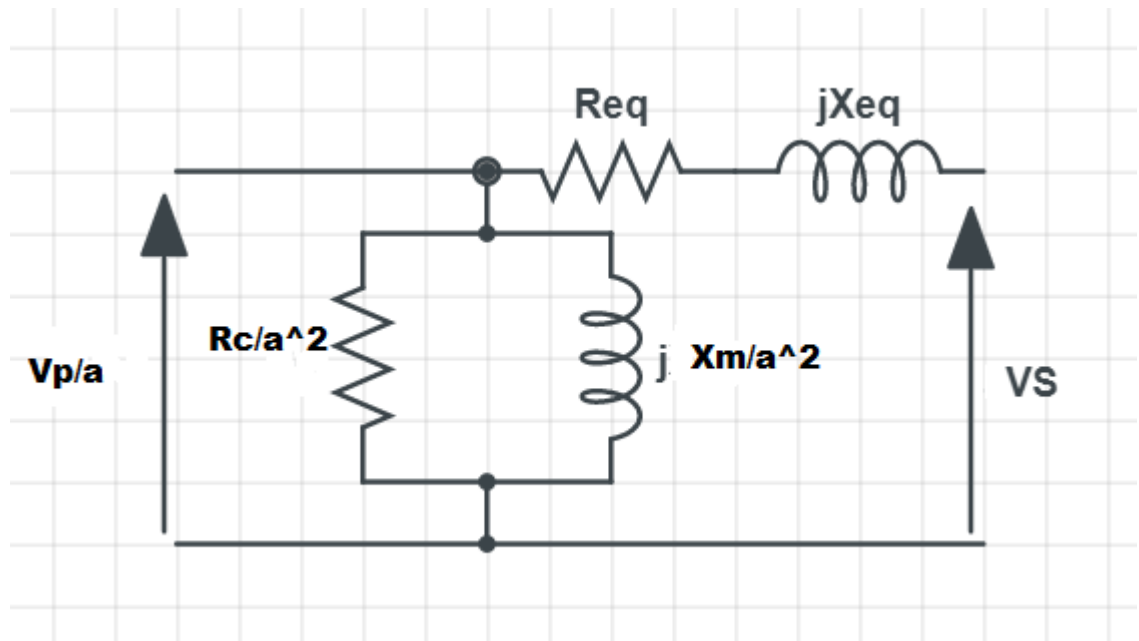
$$Z_{base} = \frac{V_{base}^2}{S_{base}} = \frac{13,8\text{kV}^2}{5000\text{kVA}} = 38,09\Omega$$

Então

$$R_{eq} = 0,01 * 38,09 = 0,38\Omega$$

$$X_{eq} = 0,05 * 38,09 = 1,9\Omega$$

Logo, o circuito equivalente fica como a figura abaixo:



$$Reqs = 0,38\Omega$$

$$Rcs = 2244\Omega$$

$$Xeqs = j1,9\Omega$$

$$Xms = 737\Omega$$

- b) Se a tensão no lado do secundário for 13,8 kV e a potência fornecida for 4000 kW com FP 0,8 atrasado, encontre a regulação de tensão do transformador. Qual é sua eficiência?

$$Is = \frac{P}{VsPF} = \frac{4000kW}{(13,8kV)(0,8)} = 362,3A$$

$$Is = 362,3\angle -36,87^\circ A$$

A tensão no lado primário do transformador referente ao lado secundário é:

$$Vp' = Vs + Is * Zeq$$

$$Vp' = 13800\angle 0^\circ + (362,3\angle -36,87^\circ A)(0,38 + j1,9\Omega) = 14330\angle 1,9^\circ V$$

Há uma queda de tensão de 14V nessas condições de carga. Logo, a regulação de tensão do transformador é:

$$RT = \frac{14330 - 13800}{13800} * 100 = 3,84\%$$

As perdas de cobre e núcleo do transformador são:

$$Pcobre = Is^2 * Reqs = (362,3A)^2(0,38\Omega) = 49,9kW$$

$$P_{\text{núcleo}} = \frac{(VP')^2}{R_c} = \frac{(14330V)^2}{2244\Omega} = 91,5kW$$

Calculando a eficiência

$$n = \frac{P_{\text{saída}}}{P_{\text{saída}} + P_{\text{cobre}} + P_{\text{núcleo}}} * 100 = \frac{4000kW}{4000kW + 49,9kW + 91,5kW} = 96,6\%$$

Questão 13

Para o transformador da figura a seguir, determine:

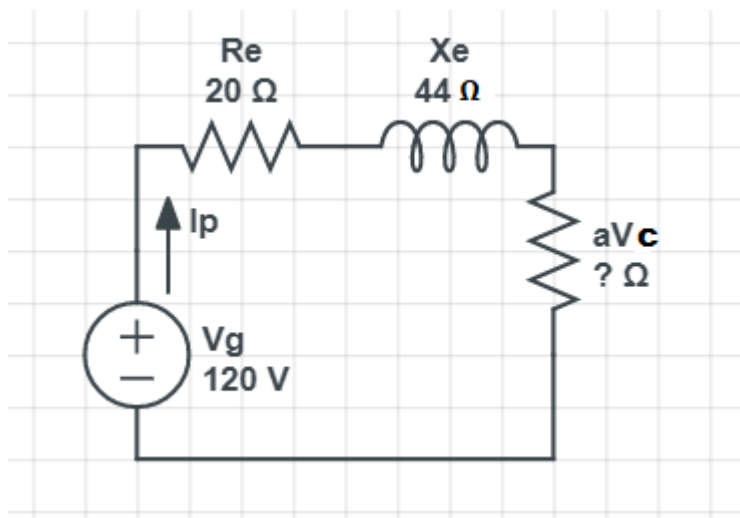
a) R_{eq}

$$R_{eq} = R_p + a^2 R_s = 4\Omega + 4^2 * 1\Omega = 20\Omega$$

b) X_{eq}

$$X_{eq} = X_p + a^2 X_s = 12\Omega + 4^2 * 2\Omega = 44\Omega$$

c) O circuito equivalente refletido para o primário



$$a^2 R_c = 4^2 * 12\Omega = 192\Omega$$

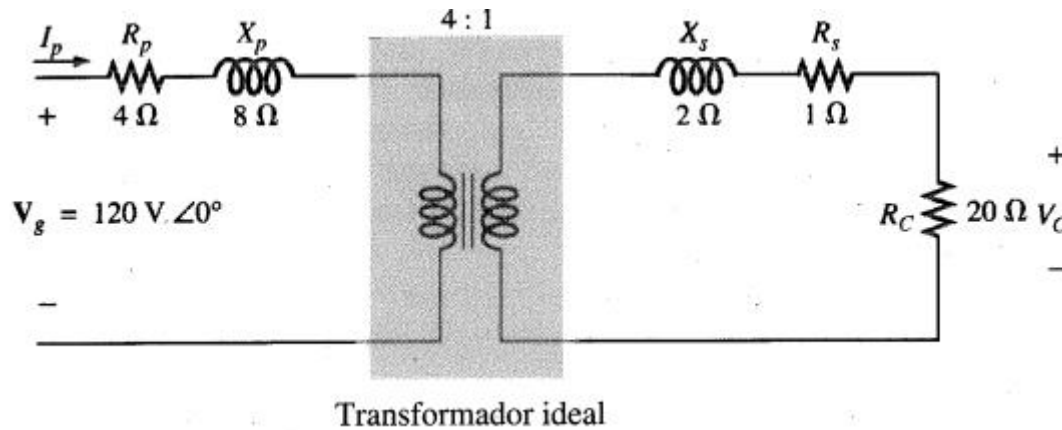
d) A corrente no primário para um $V_g = 50V$

$$I_p = \frac{V_g}{Z_p} = \frac{(120\angle 0^\circ)}{20\Omega + 192\Omega + j44\Omega} = \frac{(120\angle 0^\circ)}{212\Omega + j44\Omega} = 0,554A\angle -11,73^\circ$$

e) a tensão na carga V_c

$$aV_c = \frac{a^2 R_c V_g}{(R_{eq} + a^2 R_c) + jX_{eq}} = I_p * a^2 * R_c$$

$$V_c = I_p * a * R_c \angle 0^\circ = 4 * 0,554A \angle -11,73^\circ * 20\Omega \angle 0^\circ = 26,59V \angle -11,73^\circ$$



Questão 14

Supondo que a carga resistiva seja substituída por uma reatância indutiva de 20 ohms, calcule

- a) A impedância total refletida do primário

$$a = \frac{N_p}{N_s} = \frac{4t}{1t} = 4$$

$$R_{eq} = R_p + a^2 R_s = 4\Omega + 4^2 * 1\Omega = 20\Omega$$

$$X_{eq} = X_p + a^2 X_s = 8\Omega + 4^2 * 2\Omega = 44\Omega$$

$$Z_p = R_{eq} + jX_{eq} = 20\Omega + j44\Omega$$

$$Z_p = 20\Omega + j44\Omega = 276,7\Omega \angle 85,86^\circ$$

- b) corrente no primário

$$I_p = \frac{V_g}{Z_p} = \frac{120V \angle 0^\circ}{276,7\Omega \angle 85,86^\circ} = 0,43A \angle -85,86^\circ$$

- c) tensões em R_{eq} , X_{eq} e na carga refletida

$$V_{Req} = (I_p \angle \theta)(R_{eq} \angle 0^\circ) = (0,43A \angle -85,86^\circ)(20\Omega \angle 0^\circ) = 8,6V \angle -85,86^\circ$$

$$V_{Xeq} = (I_p \angle \theta)(X_{eq} \angle 90^\circ) = (0,43A \angle -85,86^\circ)(44\Omega \angle 90^\circ) = 18,92V \angle 4,14^\circ$$

$$V_{Xc} = (I_p \angle \theta)(a^2 X_c \angle -90^\circ) = (0,43A \angle -85,86^\circ)(320\Omega \angle -90^\circ) = 137,6V \angle -4,14^\circ$$