

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA E ELETRÔNICA
CONVERSÃO ELETROMECAÂNICA DE ENERGIA A - TURMA 06213

DJONATHAN LUIZ DE OLIVEIRA QUADRAS (15200695)

AVALIAÇÃO 1

FLORIANÓPOLIS

15/03/2021

Introdução

O **presente** trabalho as respostas das questões 1.3, 1.4, 1.5 e 1.6 presentes na versão 6s da apostila desenvolvida pelo Professor Doutor Renato Lucas Pacheco. O trabalho foi inteiramente desenvolvido em linguagem RMarkdown. Os códigos fonte para a sua elaboração contam em anexo.

Questão 1

Questão dissertativa da lista 1 (Exemplos 1.3,1.4,1.5, e 1.6): explicar como o problema foi resolvido, suas dificuldades, pontos interessantes, comentar os resultados, outras informações que julgarem interessantes). A questão vale até oito (8) pontos, desde que o exercício esteja resolvido no trabalho. A entrega do trabalho vale outros dois (2) pontos (exercício completo. apresentação, clareza, ineditismo - não ser “cola” e aspectos assim).

Enunciado

Os seguintes resultados foram obtidos de ensaios realizados em um transformador de $2 \times 10^4 VA$, $2400/240V$, $60Hz$:

- Ensaio de curto-circuito: $P = 257W$; $I = 8.33A$; $V = 61.3V$ (medidas pelo lado 1);
- Ensaio de circuito aberto: $P = 122W$; $I = 1.04A$; $V = 240V$ (medidas pelo lado 2);

Pede-se:

- a. O circuito elétrico equivalente completo (modelo T) referido aos dois lados do transformador (dois circuitos). Colocar os valores diretamente nos circuitos elétricos equivalentes;
- b. A corrente de excitação, se for aplicada tensão nominal no lado de mais alta tensão, referida a este lado;
- c. Comparar e comentar os resultados obtidos nos itens anteriores, tomando como referência os resultados obtidos no item a e a corrente de excitação calculada no item b da questão 1.3, respectivamente;
- d. Refazer o cálculo do rendimento do item b da questão 1.4, incluindo as perdas no ferro em circuito aberto como perda do problema, desde que o ensaio tenha sido feito com tensão nominal;
- e. Comparar e comentar os resultados obtidos nos itens a e b da questão 1.4 e no item d deste exemplo.

Comentários sobre a questão

Toda a resolução, bem como a lógica utilizada para resolver estão descritas abaixo. É importante ressaltar que a resolução é exatamente a mesma utilizada no trabalho 1.

Essa questão foi uma questão muito interessante por englobar diversos conceitos referentes a máquinas e circuitos elétricos. As principais dificuldades encontradas foram

de compreender a qual lado os valores calculados pertenciam (como por exemplo, se os valores de r_1, r_2, x_1, x_2, g_m e b_m eram referentes ao lado primário ou secundário).

Outra dúvida que apareceu durante a realização foi de como seria incluída a perda de potência no ferro. Por tanto, foi decidido remover a potência perdida da potência de saída.

Os valores encontrados nessa questão (para I_ϕ e \Re) apontam que os resultados estão de acordo com o esperado e já calculado nos exemplos 1.3, 1.4 e 1.5, o que mostra que é possível utilizar qualquer um dos modelos e qualquer uma das abordagens sem perdas consideráveis no resultado final.

Resolução

Inicialmente, será calculado as correntes nominais do lado primário e secundário.

$$I_{nominal_1} = \frac{S_{nominal}}{V_{nominal_1}} = \frac{2 \times 10^4}{2400} \Rightarrow \boxed{I_{nominal_1} = 8.33A}$$

$$I_{nominal_2} = \frac{S_{nominal}}{V_{nominal_2}} = \frac{2 \times 10^4}{240} \Rightarrow \boxed{I_{nominal_2} = 83.33A}$$

A Tabela 1 compara os valores obtidos com os valores medidos.

Tabela 1: Comparação entre os valores medidos e calculados

Lado	Ensaio	Calculado
Primário	8.33 A	8.33 A
Secundário	83.33 A	1.04 A

Concluí-se, assim, que o ensaio foi feito pelo lado de alta tensão (primário), uma vez que os valores medido e calculado são muito próximos. Por meio dos valores obtidos no ensaio de curto circuito é possível calcular r_1, r_2, x_1 e x_2 referentes ao lado primário (de alta tensão). Assim,

$$r_1 = r_2 = \frac{P_{cc}}{2I_{cc}^2} = \frac{257}{2(8.33)^2} \Rightarrow \boxed{r_1 = r_2 = 1.852\Omega}$$

$$x_1 = x_2 = \frac{\sqrt{\left(\frac{V_{cc}}{I_{cc}}\right)^2 - \left(\frac{P_{cc}}{I_{cc}^2}\right)^2}}{2} = \frac{\sqrt{\left(\frac{61.3}{8.33}\right)^2 - \left(\frac{257}{69.3889}\right)^2}}{2} \Rightarrow \boxed{x_1 = x_2 = 3.1795\Omega}$$

Por meio dos valores obtidos no ensaio de curto aberto é possível calcular g_m e b_m referentes ao lado secundário (de baixa tensão). Assim,

$$g_m = \frac{P_{ca}}{2V_{ca}^2} = \frac{122}{240^2} \Rightarrow \boxed{g_m = 0.2118056mS}$$

$$b_m = \sqrt{\left(\frac{I_{ca}}{V_{ca}}\right)^2 - \left(\frac{P_{ca}}{V_{ca}^2}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{1.04}{240}\right)^2 - \left(\frac{122}{5.76 \times 10^4}\right)^2} \Rightarrow \boxed{b_m = 0.3780426mS}$$

Com os valores, é possível realizar as conversões para determinar os circuitos T referentes ao lado primário e secundário. Os que já estavam do lado primário serão divididos pela taxa $a = 10$ para irem para o lado secundário, enquanto os que estavam no lado secundário serão multiplicados pela mesma taxa para irem ao lado primário. Assim, a Tabela 2 apresenta os valores para ambos os lados.

Tabela 2: Variáveis para Primário e Secundário

Variável	Primário	Secundário
$r_1 = r_2$	185.1880000	1.8520000
$x_1 = x_2$	317.9470000	3.1790000
g_m	0.0021181	0.2118056
b_m	0.0037804	0.3780426

Com todos os valores é possível determinar os circuitos T para as duas referências.

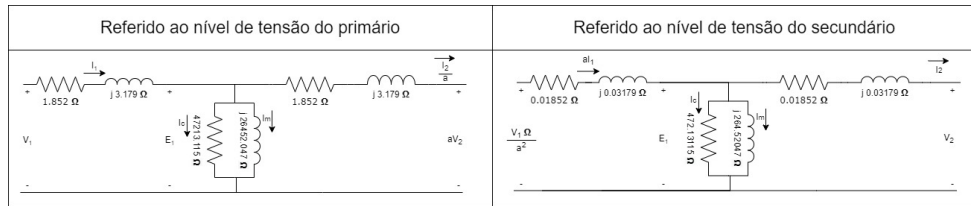


Figura 1: Circuito T

Como não há cargas no lado de baixa tensão, $I_2 = 0$ e $I_1 = I_\phi$. Assim, considerando o ramo em paralelo como sendo uma única impedância de valor $Z = g_m || b_m$ e aplicando uma análise de malhas, é possível encontrar o valor da corrente.

$$I_\phi = \frac{V_{cc}}{Z_{total}} = \frac{61.3}{297.98 + 519.27i} \Rightarrow \boxed{I_\phi = 0.05 - 0.09iA}.$$

E, como esperado, o módulo de $I_\phi = 0.102A$ é muito próximo da corrente medida em circuito aberto ($I_2 = 1.04A$). Ademais, os valores de I_ϕ foram iguais para as questões 1.3 e 1.6.

A potência perdida no metal é dada por

$$P_f = |Z||I_\phi|^2$$

Assim,

$$\boxed{P_f = 1.1824983W}$$

Para calcular o rendimento, será utilizada a equação

$$\eta = \frac{P_s - P_f}{P_e},$$

Assim, de acordo com os valores encontrados nas questões 1.4 e 1.6,

$$\eta_{IS} = \frac{(2 \times 10^4)(0.6) - 1.1824983}{(2.050766 \times 10^4)(\cos(0.17 - -53.13))} \implies \boxed{\eta_{IS} = 97.89\%}$$

A Tabela 3 mostra a comparação de rendimentos entre os modelos propostos na questão 1.4 e 1.6 (este considerando as perdas). Pode-se perceber que os resultados são bastante próximos, principalmente considerando as perdas no ferro. A consideração das perdas gerou um impacto mínimo, o que mostra que a sua utilização pouco impacta no resultado final.

Tabela 3: Comparação entre os modelos

Variável	Modelo T	Impedância em Série	Com as Perdas
Rendimento	96.89 %	97.9 %	97.89 %

Questão 2

A ser feita posteriormente, nos mesmos moldes da questão 1.

Questão 3

Enunciado

Resolver individualmente, passo a passo e explicando com detalhes cada passo, conforme a sua versão definida pelo professor.

- Calcular a tensão e o fator de potência na fonte e a potência aparente fornecida pela fonte, referidas ao primário (lado 1), se o transformador estiver alimentando carga nominal (potência e tensão nominais), fator de potência 0,6 capacitivo, usando o circuito equivalente impedância série;
- Nas condições do item a, calcular o rendimento e a regulação do transformador;
- Comparar e comentar os resultados obtidos, tomando como referências os resultados obtidos no item b do Exemplo 1.4!

Resolução

Considerando um $fp = 0.6$ capacitivo, temos

$$\theta = \arccos 0.6 \implies \boxed{\theta = 53.13}.$$

De acordo com o apresentado nos problemas 1.3 e 1.4 tem-se que

$$\boxed{I_1 = I_2 = 5 + 6.67iA}, \quad \boxed{V_2' = 2400V}.$$

Assim, aplicando uma análise de malhas, tem-se que

$$V_1 = (3.70388 + 6.35847i)I_1 + V_2 \implies \boxed{V_1 = 2376.13 + 56.48i}$$

A potência aparente fornecida pela fonte é

$$\boxed{S = |V_1||I_1| \implies S = 1.980667 \times 10^4 VA}.$$

E, finalmente, o fator de potência aparente fornecido pela fonte é

$$fp = \cos(\theta_V - \theta_i) = \cos(0.0237673 - 0.9272952) \implies \boxed{fp = 0.62}$$

Dessa forma, para o modelo proposto tem-se o rendimento

$$\eta = \frac{(2 \times 10^4)(0.6)}{(1.980667 \times 10^4)(\cos(1.36 - 53.13))} \Rightarrow \boxed{\eta_T = 97.9\%}$$

e a regulação

$$\Re = \frac{2376.8 - 2400}{2400} \Rightarrow \boxed{\Re_T = -0.97\%}$$

A Tabela 4 mostra a comparação entre os resultados dos modelos tendo fatores de potência distintos (capacitivo e indutivo). Pode-se perceber que para fatores de potência com o mesmo valor (0.6) mas com propriedades diferentes (um capacitivo e outro indutivo), o modelo apresenta o mesmo rendimento (97.9015305), havendo variação apenas na regulação. Para ambos os casos a regulação apresenta um valor bem próximo de zero, tendo valor maior que zero para propriedades indutivas e menor que zero para propriedades capacitivas.

Tabela 4: Comparação entre os modelos

Variável	Indutivo	Capacitivo
Rendimento	97.9 %	97.9 %
Regulação	2.54 %	-0.97 %