

# ESCOLA POLITÉCNICA DA USP

DISCIPLINA:  
CONVERSÃO ELETROMECÂNICA DE ENERGIA

AULA:  
TRANSFORMADORES

EXERCÍCIO 07:  
TRANSFORMADOR REAL

PROFESSOR:  
JOSÉ ROBERTO CARDOSO



Este exercício visa consolidar os conhecimentos da operação e funcionamento de transformadores reais. São discutidos aspectos do circuito equivalente, os conceitos de regulação e eficiência.

Um transformador de distribuição de 10 kVA – 2300/230-V, 60 Hz apresenta os seguintes parâmetros:

### Lado da Baixa Tensão

Resistência de Perdas no Ferro: 756  $\Omega$

Reatância de Magnetização: 694  $\Omega$

Resistência do enrolamento: 0,0605  $\Omega$

Reatância de dispersão: 0,12  $\Omega$

### Lado da Alta Tensão

Resistência do enrolamento: 5,8  $\Omega$

Reatância de dispersão: 12  $\Omega$

Este transformador alimenta no lado da alta tensão uma carga que absorve sua potência nominal, sob tensão nominal e fator de potência 0,8 indutivo.

**Para este transformador determine:**

- a) O circuito equivalente referido ao lado da baixa tensão;
- b) A corrente na carga;
- c) A corrente na carga refletida para o primário;
- d) A tensão que deve ser aplicada ao primário (BT) para atender esta demanda;
- e) A regulação do transformador nesta condição de operação;
- f) O rendimento do transformador nesta condição de operação.

## Solução:

a) Circuito equivalente

Como a carga está conectada no lado da alta tensão, o primário deste transformador é o lado da baixa tensão, de modo que a relação de transformação é dada por:

$$a = \frac{N_1}{N_2} = \frac{230}{2300} = 0,1$$

Então os parâmetros do transformador referidos ao primário (BT) resultam:

$$r_1 = 0,0605 \Omega$$

$$x_1 = 0,12 \Omega$$

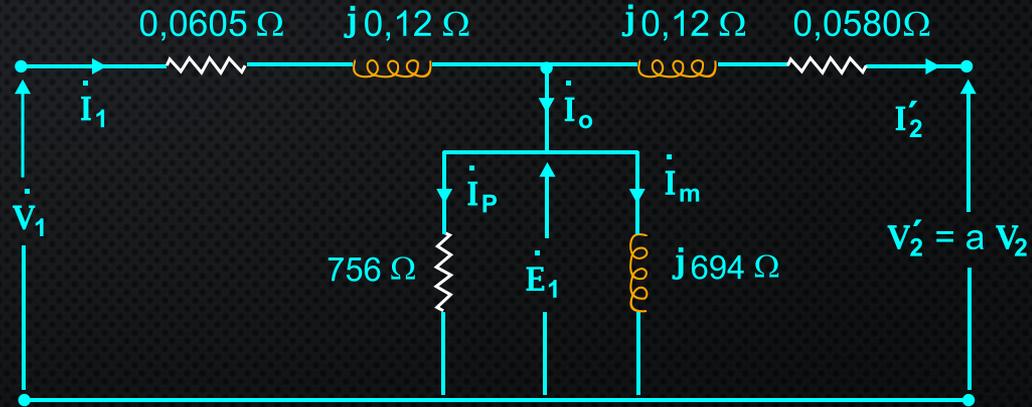
$$R_p = 756 \Omega$$

$$X_m = 694 \Omega$$

$$r_2' = (0,1)^2 \times 5,8 = 0,0580 \Omega$$

$$x_2' = (0,1)^2 \times 12 = 0,12 \Omega$$

Assim, o circuito equivalente será tal que:



**b) Corrente na carga**

**Nas condições nominais temos:**

$$S = 10kVA$$
$$V_2 = 2300 V$$

**Logo:**

$$I_2 = \frac{S}{V_2} = \frac{10.000}{2300} = 4,35 A$$

Sendo o fator de potência =  $\cos \varphi = 0,8$ , resulta  $\varphi = 36,87^\circ$ .  
Adotando-se:

$$\dot{V}_2 = 2300 \angle 0^\circ (V)$$

**Resulta:**

$$\dot{I}_2 = 4,35 \angle -36,87^\circ (A)$$

*“O sinal negativo é devido a carga indutiva, cuja corrente está atrasada em relação a tensão”.*

c) Corrente da carga refletida para o primário

A corrente da carga refletida para o primário é obtida dividindo-se a corrente da carga pela relação de transformação, resultando:

$$\dot{I}'_2 = \frac{4,35 / -36,87^\circ}{0,1} = 43,5 / -36,87^\circ \text{ (A)}$$

d) Tensão no primário (BT)

O primeiro passo para calcularmos a tensão do primário consiste em determinar a tensão induzida  $\dot{E}'_1$ , que é a tensão induzida pelo fluxo mútuo.

A tensão da carga refletida para o primário é dada por:

$$\dot{V}'_2 = 0,1 \times 2300 \angle 0^\circ = 230 \angle 0^\circ \text{ (V)}$$

**De modo que:**

$$\dot{E}'_1 = (0,058 + j0,12) \times 43,5 \angle -36,87^\circ + 230 \angle 0^\circ$$

$$\dot{E}'_1 = 235,15 + j2,66 \text{ (V)}$$

$$\dot{E}'_1 = 235,2 \angle 0,65^\circ$$

De posse de  $\dot{E}'_1$  calculamos:

Corrente de Perdas

$$\dot{I}_p = \frac{\dot{E}'_1}{R_p} = \frac{235,2 \angle 0,65^\circ}{756} = 0,31 \angle 0,65^\circ \text{ (A)}$$

Corrente de Magnetização

$$\dot{I}_m = \frac{\dot{E}'_1}{jX_m} = \frac{235,2 \angle 0,65^\circ}{j694} = 0,34 \angle -89,35^\circ \text{ (A)}$$

Conhecendo-se corrente de perdas, a corrente de magnetização e a corrente do secundário refletida ao primário, podemos determinar a corrente no primário como segue:

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_m + \dot{I}_p + \dot{I}'_2$$

Que resulta:

$$\dot{I}_1 = 44 \angle -37^\circ \text{ (A)}$$

Por fim, a tensão no primário é extraída da relação:

$$\dot{V}_1 = \dot{E}'_1 + r_1 \dot{I}_1 + jx_1 \dot{I}_1 = 240,5 \angle 1,51^\circ \text{ (V)}$$

e) A regulação é calculada através da relação:

$$R = \frac{V_{20} - V_2}{V_2}$$

Esta relação traduz a variação percentual da tensão nos terminais do secundário, da condição em vazio, na qual a corrente é nula, para a condição de carga.

Se multiplicarmos por (a) o numerador e o denominador, a regulação também pode ser expressa por:

$$R = \frac{V'_{20} - V'_2}{V'_2}$$

De modo que para o nosso exercício, resulta:

$$R = \frac{240,5 - 220}{220} = 0,093 \text{ (9,3\%)}$$

Note que  $V'_{20} \cong V_1$  quando  $I'_2=0$ .

f) Cálculo do rendimento:

O rendimento é avaliado a partir do conhecimento das perdas presentes no transformador. No nosso modelo, dois tipos de perdas se apresentam:

Perdas no ferro: Representada pela potência dissipada na Resistência de Perdas no Ferro, isto é:

$$P_f = \frac{E_1'^2}{R_p} = \frac{235,2^2}{756} = 73,2 \text{ (W)}$$

Perdas Joule nos enrolamentos:

$$P_j = r_1 I_1^2 + r_2' I_2'^2 = 0,0605 \times 44^2 + 0,058 \times 43,5^2 = 227 \text{ (W)}$$

De posse das perdas obtém-se o rendimento pela relação:

$$\eta = \frac{\text{Potência Útil}}{\text{Potência Útil} + \text{Perdas}} = \frac{8.000}{8.000 + 227 + 73,2} = 0,96 \text{ (96\%)}$$

