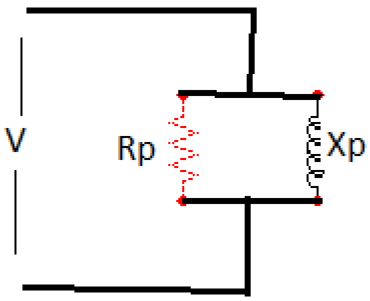
Questão 1

Uma indústria tem uma carga de 1000 kVA com fator de potência indutivo de 95% alimentada em 13800 V de acordo com medições efetuadas. A maneira mais fácil de representar a carga da indústria por um circuito equivalente é usar um resistor, representando a potência ativa, em paralelo com um reator, representando a potência reativa. Às vezes a carga de uma indústria não fica bem representada por um circuito paralelo, principalmente quando se deseja a resposta em frequência dessa carga. Ela ficaria melhor representada por um circuito com uma resistência em série, representando a potência ativa, com um reator, representando a potência reativa. Partindo dos valores de resistência e de reatância calculados pelo circuito paralelo, calcular os valores da resistência e da reatância do circuito série representativo da indústria.

Gabarito

Circuito em paralelo representativo da carga



Considere P a potência ativa da carga e Q a potência reativa.

P=1000*0,95=950 kW e Q=$\sqrt[2]{1000^2 - 950^2} \cong 312$ kVAr

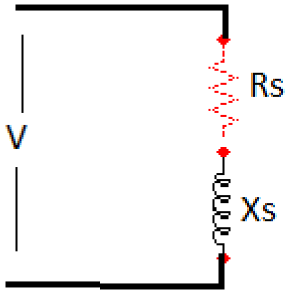
A resistência Rp e a reatância Xp são calculadas por

$$R_P = \frac{\left(\sqrt{3}V\right)^2}{P} = \frac{13800^2}{950.000} = 200{,}46\ \Omega \quad \text{e} \quad X_P = \frac{\left(\sqrt{3}V\right)^2}{Q} = \frac{13800^2}{312.000} = 610{,}38\ \Omega$$

A impedância do paralelismo de Rp com Xp da carga, Zp é calculada fazendo

$$Z_P = \frac{R_P.jX_P}{R_P + jX_P} = \frac{R_P.X_P^2}{R_P^2 + X_P^2} + j\frac{X_P.R_P^2}{R_P^2 + X_P^2}$$

Circuito em série representativo da carga



A impedância série representativa da carga é

Zs=Rs+jXs

Para que os dois circuitos representem a carga da indústria com as medições efetuadas, as impedância devem ser iguais, Zs=Zp, ou seja

Rs= $\frac{R_P.X_P^2}{R_P^2+X_P^2}$ e Xs= $\frac{X_P.R_P^2}{R_P^2+X_P^2}$

Assim sendo,

$$R_S = \frac{200{,}46x610{,}38^2}{200{,}46^2 + 610{,}38^2} \cong 181{,}0\ \Omega$$

$$X_S = \frac{200{,}46^2x610{,}38}{200{,}46^2 + 610{,}38^2} = 59{,}4\ \Omega$$

Questão 02

Uma linha de distribuição alimenta um banco de três transformadores monofásicos com os seus enrolamentos primários ligados em triângulo, com tensão de linha de 13.800 V. Seus secundários são ligados em estrela e cada um possui uma relação de transformação de 60:1, podendo ser considerados transformadores ideais.

A carga instalada na baixa tensão é constituída por: (i) um motor de indução trifásico de 80 kW de potência no eixo, fator de potência unitário e rendimento igual a 0,8; (ii) três motores monofásicos de potência de entrada (elétrica) de 10 kVA, fator de potencia de 0,8 indutivo, alimentados entre duas fases cada; e (iii) três circuitos de iluminação monofásicos de 12 kW cada, com fator de potência unitário, cada um deles ligado entre fase e neutro. Considera-se que o modelo da carga é de corrente constante, que a queda de tensão no lado de baixa tensão é desprezível, que os motores operam a plena carga e que todos as cargas são ligadas simultaneamente.

Calcule:

a) a carga total instalada no secundário do banco, em kVA;
b) a especificação da potência total do banco de transformadores, considerando que só há a disponibilidade de potências de cada transformador monofásico de 45, 75 e 100 kVA;
c) a corrente que circulará em cada condutor fase e no neutro na saída do secundário do banco;
d) a corrente de linha no lado de alta tensão (na linha de 13,8 kV);
e) a corrente absorvida pelo motor de indução trifásico;
f) O fator de potência do conjunto de cargas.

Justificativa para a questão: O candidato deverá saber diferenciar transformadores trifásicos de transformadores monofásicos, entender a ligação estrela-triângulo de transformadores e relação de transformação, as diferenças entre tensões e correntes de linha e de fase, os conceitos de potências ativa, reativa e aparente, as diferenças entre cargas monofásicas e trifásicas, a corrente de neutro com cargas trifásicas equilibradas e especificação de corrente motores elétricos.

GABARITO

a) A potência ativa total P no secundário do banco, em kW, é de:

Potência ativa de entrada do motor de indução: 80 kW/0,8 =100 kW

Potência dos motores monofásicos: 3 X 10 X 0,8 = 24 kW

Potência das cargas de iluminação: 3 X 12 = 36 kW

P_T = 100 + 24 + 36 = 160 kW

Potência reativa total Q_T no secundário do banco, em kVAr, é de:

Potência reativa de entrada do motor de indução: 0 kVAr

Potência dos motores monofásicos: 3 X 10 X 0,6 (*sen Φ*) = 18 kVAr

Potência das cargas de iluminação: 0 kVAr

Q_T = 0 + 0 + 18 = 18 kVAr

A potência total $S_T = (160^2 + 18^2)^{1/2}$ = 161 kVA

b) A potência instalada total do banco é de 3 X 75 = 225 kVA

c) Para calcular a corrente, é necessário calcular a tensão de fase no secundário do banco, correspondente a

V_f = 13.800 / 60 = 230 V e, portanto, V_L = 400 V

A corrente será então de

$I_L = 161 \text{ X}1000 / (3^{1/2} \text{ X } 400) = 232{,}38$ A

Como a potência total é equilibrada, a corrente no neutro é:

$I_N = 0$

d) A corrente de linha de 13.800 V é de:

$I_L = 161 \text{ X } 1000\ /(\ 3^{1/2} \text{ X } 13.800) = 6{,}73$ A

e) A corrente absorvida pelo motor de indução trifásico é de:

$I_M = 100 \text{ X } 1000 / (3^{1/2} \text{ X } 440) = 131{,}22$ A

f) O fator de potencia do conjunto de cargas vale:

$cos\ \Phi = 160 / 161 = 0{,}99$

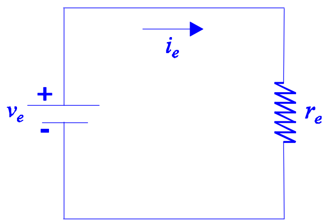
Para o motor em CC com excitação independente cujos parâmetros são apresentados a seguir

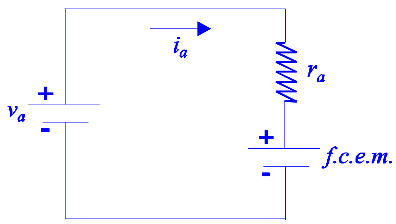
$v_{a\text{-}nominal}$ = 120 V; tensão nominal da armadura
$i_{a\text{-}nominal}$ = 12 A; corrente nominal da armadura
$\omega_{r\text{ - }nominal}$: 125 rad/s; velocidade nominal
$i_{e\text{-}nominal}$ = 2 A; corrente nominal do campo
k_e = 476,16; constante da máquina
r_a = 0,08 Ω; resistência da armadura
l_a = 0,0001 H; indutância da armadura
r_e = 0,5 Ω; resistência de campo
l_e = 0,001 H; indutância de campo
J_m = 1,0e-3 Kg.m^2; momento de inércia do motor
F_m = 1,0e-4 N.m.s/rad; coeficiente de atrito viscoso

a. calcule corrente de armadura e velocidade em vazio para uma excitação de campo de 3 volts.
b. Repita os cálculos para o caso de uma carga de 125% da nominal ser arrastada pelo motor.

Sol.:

a. De acordo com o circuito equivalente mostrado abaixo





Tem-se para a armadura:

$v_a = r_a i_a + f.c.e.m.$, em que a força contra-eletromotriz é dada por *f.c.e.m.* = $k_e.\lambda_e\,\omega_r$

E tem-se para o movimento mecânico:

$T_e - T_M = F_m\omega_r$, em que o torque eletromagnético é dado por $T_e = k_e.\lambda_e\, i_a$ e T_M é o torque de carga.

Sendo o fluxo de campo dado por $\lambda_e = l_e.i_e$

Uma vez que a excitação de campo é de 3 volts, tem-se:

$i_e = \frac{v_e}{r_e} = \frac{3}{0,5} = 6A$ e $\lambda_e = 0,001 * 6 = 0,006\ wb$

Para o motor em vazio (T_M = 0 Nm) tem-se o seguinte sistema de equações:

$0,08 i_a + 2,85\omega_r = 120$
$2,85 i_a - 0,0001\omega_r = 0$

Cuja solução é:

$i_a = 1,47\ mA$
$\omega_r = 42\ rad/s$

b. Calculando a carga nominal, tem-se da equação do movimento mecânico:

$$T_{M-nominal} = T_{e-nominal} - F_m\omega_{r-nominal}$$

Então: $T_{M-nom} = 11,41\ Nm$

Assim, para a máquina com 125% da carga nominal, tem-se o seguinte sistema de equações:

$0,08 i_a + 2,85\omega_r = 120$
$2,85 i_a - 0,0001\omega_r = 14,27$

Cuja solução é:

$i_a = 4,99\ A$
$\omega_r = 41,86\ rad/s$