



### Instruções

1. Use caneta preta ou azul e preencha totalmente o gabarito de resposta.

Correto      Incorreto

Exemplos de preenchimento:

2. Preencha seu número USP no formulário ao lado. →

3. A tolerância das respostas numéricas é  $\pm 5\%$ .

4. As questões indicadas pelo símbolo admitem várias respostas, ou seja, marque todas as alternativas que julgar corretas e deixe em branco as que você julgar erradas. A marcação de opções erradas é penalizada.

5. Considere o separador decimal como ponto.

### PROBLEMA 1

O intertravamento de processos, usualmente empregado em sistemas de automação industrial, é utilizado quando se deseja condicionar o acionamento de algum processo à ocorrência de outros eventos. A Figura 1 ilustra um intertravamento típico.

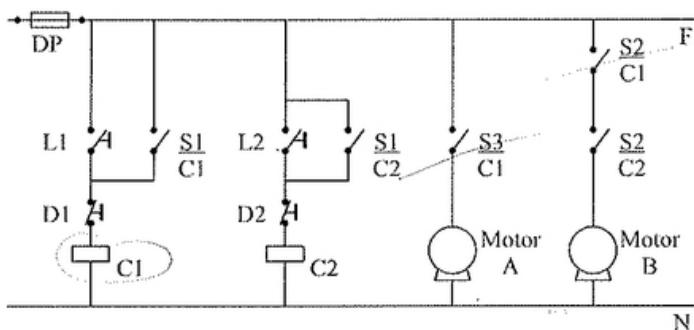


Figura 1: Intertravamento Típico

Questão 1 De acordo com o acionamento ilustrado, assinale a alternativa correta.

- (A) Quando a botoeira D1 é acionada, o contator C1 aciona o motor A. Quando a botoeira D2 é acionada e o contator C1 está energizado, o contator C2 aciona o motor B. Para desligar ambos os motores procede-se com o acionamento das botoeiras L1 e L2.
- (B) Quando a botoeira D1 é acionada, o contator C2 aciona o motor A. Quando a botoeira D2 é acionada e o contator C2 está energizado, o contator C1 aciona o motor B. Para desligar ambos os motores procede-se com o acionamento das botoeiras L1 e L2.
- 1/1 (C) Quando a botoeira L1 é acionada, o contator C2 aciona o motor A. Quando a botoeira L2 é acionada e o contator C2 está energizado, o contator C1 aciona o motor B. Para desligar ambos os motores procede-se com o acionamento das botoeiras D1 e D2.
- (D) Quando a botoeira L1 é acionada, o contator C1 aciona o motor A. Quando a botoeira L2 é acionada e o contator C1 está energizado, o contator C2 aciona o motor B. Para desligar ambos os motores procede-se com o acionamento da botoeira D1.
- (E) Quando a botoeira L1 é acionada, o contator C1 aciona o motor A. Quando a botoeira L2 é acionada, o contator C2 aciona o motor B. Quando a botoeira D1 é acionada, o contator C1 desliga o motor A. Quando a botoeira D2 é acionada e o contator C1 está desenergizado, o contator C2 desliga o motor B.

**PROBLEMA 2**

Uma bomba centrífuga é composta por um motor de indução trifásico com rotor tipo gaiola de esquilo, que possui seu eixo ligado a uma turbina hidráulica. Quando ligada diretamente a rede elétrica, essa bomba é capaz de realizar o recalque (bombeamento) de água, com uma determinada vazão, com uma determinada pressão. Um engenheiro selecionou um motor para uso em uma bomba centrífuga, para que a velocidade de operação no eixo da bomba seja a ideal para turbina, com 570.0 [RPM] e 5 pares de pólos. Sabendo também que:

$$N_c = 570 \text{ rpm}$$

$$\frac{N_c}{f} = \frac{60f}{P}$$

- A frequência da rede elétrica no local é de 50.0 [Hz];
- A tensão nominal da rede trifásica é de 440.0 [V];
- O motor de indução escolhido possui um circuito equivalente por fase, com todos os seus parâmetros já referidos ao estator, na frequência da rede, com os seguintes valores:
  - Resistência de perdas no cobre do estator de 0.40 [Ω]
  - Resistência de perdas no cobre do rotor de 0.90 [Ω]
  - Reatância de dispersão do estator de 1.50 [Ω]
  - Reatância de dispersão do rotor de 0.30 [Ω]
  - Reatância de magnetização de 32.00 [Ω]
- O motor escolhido apresenta seus enrolamentos ligados em estrela.
- As perdas no ferro e as perdas rotacionais são desprezíveis.

Responda às perguntas a seguir:

**Questão 2** Qual o escorregamento percentual [%] do motor de indução quando em operação na velocidade desejada?

9	9	9
8	8	8
7	7	7
6	6	6
5	5	5
4	4	4
3	3	3
2	2	2
1	1	1
0	0	0

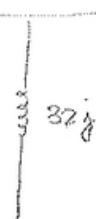
$$0,4 \Omega \quad 1,5 \Omega$$

1/1

**Questão 3** Qual o módulo da corrente do motor em [A] quando o conjunto estiver operando na velocidade ideal da turbina?

9	9	9	9
8	8	8	8
7	7	7	7
6	6	6	6
5	5	5	5
4	4	4	4
3	3	3	3
2	2	2	2
1	1	1	1
0	0	0	0

$$0,7 \Omega$$



**Questão 4** Qual o valor potência convertida em mecânica em [kW]?

9	9	9	X
8	8	X	8
7	7	7	7
6	6	6	6
5	5	5	5
4	4	4	4
3	3	3	X
2	2	X	2
1	1	1	1
0	X	0	0

$$0,3 \Omega$$



**Questão 5** Qual o módulo da corrente de partida do motor em [A]?

9	9	9	9
8	8	8	8
7	7	7	7
6	6	6	6
5	5	5	5
4	4	X	4
3	3	3	X
2	2	2	2
1	0	0	X

0/1

### PROBLEMA 3

Um transformador monofásico  $10 \text{ [kV]}/250 \text{ [V]}$  é alimentado pelo primário por um fonte de tensão alternada de  $10.00 \text{ [kV]}$  com frequência de  $60 \text{ [Hz]}$ . A potência absorvida pelo primário é  $17.57 + j39.65 \text{ [kVA]}$ . Os parâmetros elétricos desse transformador são:

- Resistência do enrolamento primário  $R_1 = 5\Omega$ ;
- Resistência do enrolamento secundário referido ao secundário  $R_2 = 0.005\Omega$ ;
- Reatância de dispersão do enrolamento primário  $X_1 = 40\Omega$
- Reatância de dispersão do enrolamento secundário referido ao secundário  $X_2 = 0.040\Omega$
- Reatância de magnetização  $X_m = 120k\Omega$
- Resistência de magnetização  $R_c = 50k\Omega$

Para esse circuito pede-se:

Questão 6 Qual a perda de potência ativa na bobina do primário em [W]?

9	9	9	9	9	9	9
8	8	8	8	8	8	8
7	7	7	7	7	7	7
6	6	6	6	6	6	6
5	5	5	5	5	5	5
4	4	4	4	4	4	4
3	3	3	3	3	3	3
2	2	2	2	2	2	2
1	1	1	1	1	1	1
-			0	0	0	0

1/1

Questão 7 Qual a perda de potência ativa no núcleo em [W]?

9	9	9	9	9	9	9
8	8	8	8	8	8	8
7	7	7	7	7	7	7
6	6	6	6	6	6	6
5	5	5	5	5	5	5
4	4	4	4	4	4	4
3	3	3	3	3	3	3
2	2	2	2	2	2	2
1	1	1	1	1	1	1
-			0	0	0	0

Questão 8 Qual a perda de potência ativa na bobina do secundário em [W]?

9	9	9	9	9	9	9
8	8	8	8	8	8	8
7	7	7	7	7	7	7
6	6	6	6	6	6	6
5	5	5	5	5	5	5
4	4	4	4	4	4	4
3	3	3	3	3	3	3
2	2	2	2	2	2	2
1	1	1	1	1	1	1
-			0	0	0	0

1/1

Questão 9 Qual a potência ativa absorvida pela carga em [kW]?

9	9	9	9	9	9	9
8	8	8	8	8	8	8
7	7	7	7	7	7	7
6	6	6	6	6	6	6
5	5	5	5	5	5	5
4	4	4	4	4	4	4
3	3	3	3	3	3	3
2	2	2	2	2	2	2
1	1	1	1	1	1	1
-			0	0	0	0

1/1

Questão 10 Qual o módulo da tensão nos terminais da carga, referido ao secundário em [V]?

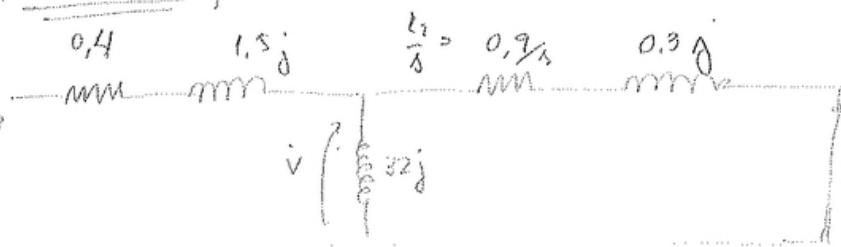
9	9	9	9	9	9	9
8	8	8	8	8	8	8
7	7	7	7	7	7	7
6	6	6	6	6	6	6
5	5	5	5	5	5	5
4	4	4	4	4	4	4
3	3	3	3	3	3	3
2	2	2	2	2	2	2
1	1	1	1	1	1	1
-			0	0	0	0

1/1

$$S = V, I^*$$

$$P = q \left( \frac{1-\lambda}{\lambda} \right) R_2 \cdot I_2^2$$

PROBLEMA 2



QUESTÃO 2:

$$\Rightarrow \frac{w_c - w_s}{w_c} \Rightarrow N_2 = N_1 (1-\lambda)$$

$$\frac{570}{50} = (1-\lambda) \Rightarrow$$

$$\lambda = 0,05 \text{ ou } 5\%$$

$$\Rightarrow \lambda = 0,05 \text{ ou } 5\%$$

QUESTÃO 3:

$$V_{IN} = \sqrt{3} \cdot Z_{eq} \cdot i \Rightarrow i = \frac{V_{IN}}{\sqrt{3} \cdot Z_{eq}} = \frac{440}{\sqrt{3} \cdot 15,58 \angle 30,05^\circ} \Rightarrow I_1 = 16,31 \angle -30,08^\circ$$

$$Z_{eq} = (0,4 + 1,5j) + \frac{(0,9 + 0,3j) \cdot 32j}{(0,9 + 32,3j)} \Rightarrow Z_{eq} = 15,58 \angle 30,05^\circ$$

QUESTÃO 4:

$$P = 3 \left( \frac{1-\lambda}{\lambda} \right) \cdot R_2 \cdot I_2^2$$

$$V_{IN} = \dot{V} + (0,4 + 1,5) I_1 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \dot{V} = 440 \angle 0^\circ - (0,4 + 1,5) \cdot (16,31 \angle -30,08^\circ) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \dot{V} = 422,47 \angle -2,43^\circ (\checkmark)$$

$$\dot{V} = \left( \frac{0,9}{3} + 0,3j \right) \cdot I_2$$

$$422,47 \angle -2,43^\circ$$

$$I_2 = \frac{\left( \frac{0,9}{3} + 0,3j \right)}{0,05}$$

$$\Rightarrow I_2 = 23,47 \angle -3,38^\circ \quad (A)$$

$$P = 3 \left( \frac{1-0,05}{0,05} \right) \cdot 0,9 \cdot 23,47^2 = 28258,14 \text{ W}$$

$$28,3 \text{ kW}$$

$$I_M = (16,31 \angle -30,08^\circ) - (23,47 \angle -3,38^\circ) = 11,55 \angle -143,75^\circ$$

CONTINUAÇÃO:

PROBLEMA 2

QUESTÃO 5

CONTINUAÇÃO PROBLEMA 3:

$$\dot{V}_2 = 239,31 \angle 179,286^\circ$$

$$S = \dot{V}_2 \cdot I_2^* = (239,31 \angle 179,286^\circ) \cdot (167,37 \angle 68,10^\circ) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow S = -15401,31 + 36973,88 j$$

15,40kW

QUESTÃO 10

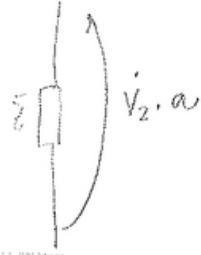
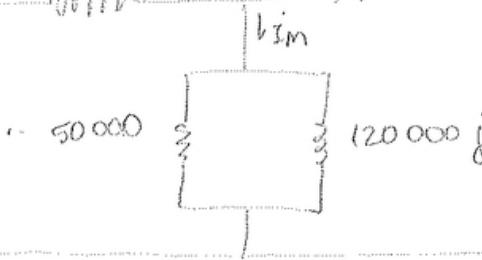
$$\dot{V}_2 = 239,3 V$$

PROBLEMA 3

$$\Rightarrow \frac{10000}{25\phi} = 40$$

$$\rightarrow \frac{I_2}{\alpha}$$

$$R_1 = 5 \Omega \quad jx_1 = 40 \Omega \quad i_1 \quad \alpha^2 R_2 = 8 \quad \alpha^2 x_2 = 64 \Omega$$



QUESTÃO 6

$$V_1 = 10.000 \text{ V} = 10 \text{ kV}$$

potência absorvida pelo primário:

$$S_1 = V_1 \cdot I_1^* < 0 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 17,37 + j39,65 = 1040 \cdot I_1^* \Rightarrow$$

$$\Rightarrow I_1 = 4,337 \angle -66,10^\circ (\text{A})$$

$$S = (Z_b - I_1) \cdot I_1^* = (5 + j40)(4,337 \angle -66,10^\circ)(4,337 \angle 66,10^\circ)$$

$$S = 94,05 + 752,38 j$$

$$Z_m = \frac{(50000)(120000)}{50000 + 120000 j} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow Z_m = 46153,846 \angle 22,62^\circ (\Omega)$$

QUESTÃO 8

$$I_1 = I_M + \frac{I_2}{\alpha}$$

$$4,337 \angle -66,10^\circ = 0,213 \angle -22,914 + \frac{I_2}{\alpha}$$

$$\Rightarrow I_2 = 167,37 \angle -68,10^\circ (\text{A})$$

QUESTÃO 7

$$E_1 = V_1 - i_1 \cdot (R_1 + jx_1) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow E_1 = 10000 \angle 0^\circ - (4,337 \angle -66,10^\circ) \cdot (5 + j40) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow E_1 = 9832,739 \angle -0,294^\circ (\text{V})$$

$$S = E_1 \cdot I_m^*$$

$$I_m^* = \frac{E_1}{Z_m} = \frac{9832,739 \angle -0,294}{46153,846 \angle 22,62^\circ} \Rightarrow 0,213 \angle -22,914 \text{ A}$$

$$I_m^* = 0,213 \angle +22,914 \text{ A}$$

$$S = E_1 \cdot I^* = 1933,66 + 805,69 j$$

$$S = (Z_2 \cdot I_2) \cdot I_2^* \Rightarrow$$

$$\Rightarrow S = (0,005 + 0,04j)(167,37 \angle 68,10^\circ) \cdot (167,37 \angle -68,10^\circ) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow S = 140,06 + 1120,51 j$$

QUESTÃO 9

$$E_1 = V_2 \cdot \alpha + \frac{I_2}{\alpha} \cdot (Z_2)$$

$$9832,739 \angle -0,294 = V_2 \cdot 40 + 167,37 \angle -68,10^\circ (8 + 64j)$$

$$V_2 = \left[ \frac{167,37 \angle -68,10^\circ (8 + 64j)}{40} - (9832,739 \angle -0,294) \right]$$