

PROCESSO SELETIVO – 04/2024

Área de Conhecimento: Máquinas Elétricas

PROVA ESCRITA – PADRÃO DE RESPOSTA

QUESTÃO 1: \_\_\_\_\_

Os dados do enunciado são:

$$f_{rede} = 50 \text{ Hz}, \quad P_{motor} = 2 \text{ polos}, \quad P_{gerador} = 8 \text{ polos}, \quad f_{gerador} = 192 \text{ Hz}.$$

Primeiro, determina-se a velocidade síncrona do gerador síncrono ( $n_{gerador}$ ) através da seguinte relação:

$$n_{gerador} = \frac{120 \cdot f_{gerador}}{P_{gerador}} = \frac{120 \cdot 192}{8} = 2880 \text{ rpm}.$$

O motor de indução está acionando o gerador síncrono, portanto, a velocidade do motor de indução é igual à do gerador síncrono:

$$n_{motor} = 2880 \text{ rpm}.$$

A velocidade síncrona do motor de indução ( $n_s$ ) é dada pela relação:

$$n_s = \frac{120 \cdot f_{rede}}{P_{motor}} = \frac{120 \cdot 50}{2} = 3000 \text{ rpm}.$$

Agora, é possível calcular o escorregamento ( $s$ ) do motor de indução, definido como:

$$s = \frac{n_s - n_{motor}}{n_s} = \frac{3000 - 2880}{3000} = 0,04 = 4\%.$$

Obs.: as relações utilizadas para cálculo das velocidades síncronas e do escorregamento podem ser encontradas nos Capítulos 5 e 6 da seguinte referência: FITZGERALD, A. E., KINGSLEY JR, C., UMANS, S. D. Máquinas Elétricas: Com Introdução à Eletrônica de Potência. Artmed Editora. 6a Edição. Porto Alegre. 2006.

**Membros da Banca:**

Assinado digitalmente via SGPe

**Avaliador 1: Tiago Jackson May Dezuo**

Assinado digitalmente via SGPe

**Avaliador 2: Ademir Nied**

Assinado digitalmente via SGPe

**Avaliador 3: Joselito Anastácio Heerd**

Assinado digitalmente via SGPe

**Presidente da Banca: Tiago Jackson May Dezuo**

PROCESSO SELETIVO – 04/2024

Área de Conhecimento: Máquinas Elétricas

PROVA ESCRITA – PADRÃO DE RESPOSTA

QUESTÃO 2: \_\_\_\_\_

Os dados do enunciado são:

$$f_{rede} = 60 \text{ Hz}, \quad P_{indução} = 6 \text{ polos}, \quad P_{síncrona} = 4 \text{ polos}.$$

- (a) A velocidade de rotação do eixo de uma máquina síncrona é a própria velocidade síncrona ( $n_{síncrona}$ ) dessa máquina, dada por

$$n_{síncrona} = \frac{120 \cdot f_{rede}}{P_{síncrona}} = \frac{120 \cdot 60}{4} = 1800 \text{ rpm}.$$

- (b) Primeiro, determina-se a velocidade síncrona da máquina de indução ( $n_{indução}$ ), dada por

$$n_{indução} = \frac{120 \cdot f_{rede}}{P_{indução}} = \frac{120 \cdot 60}{6} = 1200 \text{ rpm}.$$

O motor síncrono aciona o eixo no sentido horário, enquanto o campo girante do motor de indução gira a 1200 rpm no sentido contrário (anti-horário). Portanto o escorregamento visto pelo motor de indução é:

$$s = \frac{n_{indução} - (-n_{síncrona})}{n_{indução}} = \frac{1200 - (-1800)}{1200} = \frac{5}{2}.$$

Agora a frequência das tensões produzidas nos anéis deslizantes do rotor do motor de indução é proporcional ao módulo do escorregamento, dada por

$$f_{rotor} = s \cdot f_{rede} = \frac{5}{2} \cdot 60 = 150 \text{ Hz}$$

- (c) A diferença aqui é que o campo girante do motor de indução e a rotação do motor síncrono estão agora no mesmo sentido. Então o escorregamento entre eles passa a ser

$$s = \frac{n_{indução} - n_{síncrona}}{n_{indução}} = \frac{1200 - 1800}{1200} = -\frac{1}{2}.$$

O sinal apenas indica que o escorregamento visto pelo rotor está no sentido contrário. A frequência induzida no rotor, por sua vez, será novamente proporcional ao módulo do escorregamento, dada por

$$f_{rotor} = s \cdot f_{rede} = \frac{1}{2} \cdot 60 = 30 \text{ Hz}.$$

Obs.: as relações utilizadas para cálculo das velocidades síncronas e do escorregamento podem ser encontradas nos Capítulos 5 e 6 da seguinte referência: FITZGERALD, A. E., KINGSLEY JR, C., UMANS, S. D. Máquinas Elétricas: Com Introdução à Eletrônica de Potência. Artmed Editora. 6a Edição. Porto Alegre. 2006.

**Membros da Banca:**

Assinado digitalmente via SGPe

**Avaliador 1: Tiago Jackson May Dezuo**

Assinado digitalmente via SGPe

**Avaliador 2: Ademir Nied**

Assinado digitalmente via SGPe

**Avaliador 3: Joselito Anastácio Heerd**

Assinado digitalmente via SGPe

**Presidente da Banca: Tiago Jackson May Dezuo**

PROCESSO SELETIVO – 04/2024

Área de Conhecimento: Máquinas Elétricas

PROVA ESCRITA – PADRÃO DE RESPOSTA

QUESTÃO 3: \_\_\_\_\_

(a) Primeiramente, pode se eliminar o motor 1 por não atender ao requisito de torque mínimo de partida de  $170 \text{ N.m}$ . Os demais motores atendem a esse requisito.

O próximo critério a ser atendido é a velocidade do motor dentro da faixa  $1500 \leq n_{motor} \leq 2000$ . Então, é necessário saber a velocidade de operação em regime permanente de cada motor, que é dada por

$$n_{motor} = n_s (1 - s) = \frac{120 \cdot f_{rede}}{P_{motor}} (1 - s).$$

Sabendo do enunciado que  $f_{rede} = 60 \text{ Hz}$  e usando os valores do escorregamento ( $s$ ) e número de polos ( $P_{motor}$ ) de cada motor na fórmula anterior, tem-se que

$$n_{motor_2} = \frac{120 \cdot 60}{6} (1 - 0,02) = 1176 \text{ rpm},$$

$$n_{motor_3} = \frac{120 \cdot 60}{4} (1 - 0,03) = 1746 \text{ rpm},$$

$$n_{motor_4} = \frac{120 \cdot 60}{2} (1 - 0,01) = 3564 \text{ rpm},$$

$$n_{motor_5} = \frac{120 \cdot 60}{4} (1 - 0,05) = 1710 \text{ rpm}.$$

Observa-se que apenas os motores 3 e 5 atendem ao requisito de velocidade. Dentre esses, o motor 5 tem um escorregamento maior. Sabendo que as perdas por aquecimento no rotor são proporcionais ao escorregamento, **o motor 3 deve ser o escolhido** para se obter uma maior eficiência.

(b) A potência que atravessa o entreferro ( $P_{gap}$ ) da máquina de indução é dividida em duas parcelas: a potência útil ( $P_{mec}$ ) entregue à carga e as perdas no rotor ( $P_{rotor}$ ). Sabendo que a parcela das perdas no rotor é diretamente proporcional ao escorregamento  $e$ , portanto, o restante se torna potência útil, temos as seguintes relações:

$$P_{rotor} = s \cdot P_{gap},$$

$$P_{mec} = (1 - s)P_{gap}.$$

Além disso, desconsiderando perdas na armadura e no núcleo,  $P_{gap}$  é igual à potência de entrada da máquina. Portanto, a eficiência ( $\eta$ ) do motor 3, que tem escorregamento de 3%, é dada por

$$\eta = \frac{P_{saída}}{P_{entrada}} = \frac{P_{mec}}{P_{gap}} = \frac{(1 - s)P_{gap}}{P_{gap}} = 1 - s = 1 - 0,03 = 0,97 = 97\%.$$

Obs.: as relações utilizadas para cálculo das velocidades síncronas, do escorregamento e da eficiência podem ser encontradas no Capítulo 6 da seguinte referência: FITZGERALD, A. E., KINGSLEY JR, C., UMANS, S. D. Máquinas Elétricas: Com Introdução à Eletrônica de Potência. Artmed Editora. 6a Edição. Porto Alegre. 2006.

Membros da Banca:

Assinado digitalmente via SGPe

Avaliador 1: Tiago Jackson May Dezuo

Assinado digitalmente via SGPe

Avaliador 2: Ademir Nied

Assinado digitalmente via SGPe

Avaliador 3: Joselito Anastácio Heerd

Assinado digitalmente via SGPe

Presidente da Banca: Tiago Jackson May Dezuo

**PROCESSO SELETIVO – 04/2024**

**Área de Conhecimento: Máquinas Elétricas**

**PROVA ESCRITA – PADRÃO DE RESPOSTA**

**QUESTÃO 4: \_\_\_\_\_**

- (a) As máquinas de corrente contínua (CC) são compostas por diversos componentes que trabalham em conjunto para converter energia elétrica em energia mecânica (motor) ou vice-versa (gerador). Os principais componentes construtivos de uma máquina CC são apresentados a seguir.

**Armadura:** é a parte rotativa da máquina, geralmente constituída por um enrolamento de condutores que, quando percorridos por corrente elétrica, interagem com o campo magnético para produzir movimento. No caso de motores, a armadura recebe energia elétrica para gerar movimento; em geradores, a armadura converte movimento em energia elétrica.

**Polos de campo:** são estruturas magnéticas que criam o campo magnético necessário para a operação da máquina. Eles podem ser eletromagnéticos (enrolamentos de campo) ou permanentes (ímãs permanentes). Nos motores, eles fornecem o campo necessário para que a armadura desenvolva torque; nos geradores, eles induzem a tensão nas bobinas da armadura.

**Comutador:** é um dispositivo mecânico que inverte a direção da corrente nas bobinas da armadura conforme a rotação ocorre. Ele é composto por segmentos condutores montados em um cilindro, que está conectado aos enrolamentos da armadura. A comutação correta é essencial para manter o torque na mesma direção e para a correta conversão de energia.

**Escovas:** são componentes fixos que fazem contato elétrico com o comutador. Geralmente feitas de grafite ou materiais metálicos, as escovas conduzem a corrente entre a fonte de alimentação e a armadura, ou da armadura para a carga externa, dependendo se a máquina opera como motor ou gerador.

**Núcleo magnético:** geralmente composto de ferro ou aço laminado, concentra e direciona o fluxo magnético produzido pelos polos de campo, aumentando a eficiência da máquina. Ele também reduz as perdas por correntes parasitas e histerese, melhorando o desempenho geral.

- (b) As principais formas de interconexão das bobinas são descritas a seguir.

**Conexão Série:** os enrolamentos de campo são conectados em série com a armadura. A corrente que passa pela armadura também passa pelas bobinas de campo. Vantagens: alto torque de partida, ideal para aplicações que exigem grande força inicial, como locomotivas e guindastes. Simplicidade na construção e no controle. Desvantagens: a velocidade varia significativamente com a carga, o que pode dificultar o controle preciso. Pode ser instável em condições de carga leve, resultando em velocidade excessiva.

**Conexão Shunt (Paralelo):** os enrolamentos de campo são conectados em paralelo com a armadura. A corrente no campo é independente da corrente na armadura. Vantagens: velocidade mais constante sob diferentes cargas, permitindo melhor controle. Melhor para aplicações que requerem velocidade uniforme. Desvantagens: menor torque de partida comparado às máquinas série. Complexidade maior no controle de tensão e corrente.

**Conexão Composta:** há dois conjuntos de enrolamentos de campo, um em série e outro em paralelo com a armadura, combinando as características das conexões série e shunt. Vantagens: combina bom torque de partida e controle de velocidade. Maior estabilidade e capacidade de ajustar características de desempenho. Desvantagens: construção mais

complexa e custo mais alto. Ajuste mais complexo dos parâmetros operacionais.

- (c) Os enrolamentos de interpolo, também conhecidos como polos auxiliares, são pequenos polos magnéticos colocados entre os polos principais de uma máquina de corrente contínua. Eles possuem enrolamentos de fio que são percorridos pela corrente da armadura. As funções principais dos interpolos são descritas a seguir.

**Melhoria da comutação:** durante a comutação, a corrente nos enrolamentos da armadura inverte a direção. Esta inversão pode causar faíscas entre as escovas e o comutador devido às correntes induzidas indesejadas. Os interpolos geram um campo magnético que se opõe a essas correntes induzidas, reduzindo as faíscas e melhorando a vida útil das escovas e do comutador.

**Neutralização da reação da armadura:** a reação da armadura é o efeito do campo magnético gerado pela corrente na armadura, que pode distorcer o campo principal e reduzir o desempenho da máquina. Os interpolos ajudam a neutralizar esse efeito, mantendo o campo magnético principal estável e uniforme.

Como desvantagens, adiciona complexidade e custo à construção da máquina; necessitam de ajuste cuidadoso para funcionarem corretamente, aumentando a complexidade de manutenção.

Obs.: as todas as descrições das partes da máquina, das interconexões e do enrolamento de interpolo podem ser encontradas no Capítulo 7 da seguinte referência: FITZGERALD, A. E., KINGSLEY JR, C., UMANS, S. D. Máquinas Elétricas: Com Introdução à Eletrônica de Potência. Artmed Editora. 6a Edição. Porto Alegre. 2006.

**Membros da Banca:**

Assinado digitalmente via SGPe

**Avaliador 1: Tiago Jackson May Dezuo**

Assinado digitalmente via SGPe

**Avaliador 2: Ademir Nied**

Assinado digitalmente via SGPe

**Avaliador 3: Joselito Anastácio Heerdt**

Assinado digitalmente via SGPe

**Presidente da Banca: Tiago Jackson May Dezuo**



# Assinaturas do documento



Código para verificação: **S3X4MR26**

Este documento foi assinado digitalmente pelos seguintes signatários nas datas indicadas:

✓ **TIAGO JACKSON MAY DEZUO** (CPF: 009.XXX.609-XX) em 24/06/2024 às 12:34:06  
Emitido por: "SGP-e", emitido em 30/03/2018 - 12:46:57 e válido até 30/03/2118 - 12:46:57.  
(Assinatura do sistema)

✓ **ADEMIR NIED** em 24/06/2024 às 13:03:14  
Emitido por: "SGP-e", emitido em 30/03/2018 - 12:46:16 e válido até 30/03/2118 - 12:46:16.  
(Assinatura do sistema)

✓ **JOSELITO ANASTACIO HEERDT** em 24/06/2024 às 14:32:31  
Emitido por: "SGP-e", emitido em 30/03/2018 - 12:36:09 e válido até 30/03/2118 - 12:36:09.  
(Assinatura do sistema)

Para verificar a autenticidade desta cópia, acesse o link <https://portal.sgpe.sea.sc.gov.br/portal-externo/conferencia-documento/VURFU0NfMTlwMjJfMDAwMjU1NzNfMjU2MTBfMjAyNF9TM1g0TVlyNg==> ou o site <https://portal.sgpe.sea.sc.gov.br/portal-externo> e informe o processo **UDESC 00025573/2024** e o código **S3X4MR26** ou aponte a câmera para o QR Code presente nesta página para realizar a conferência.