



**EDITAL 02/2026 – PROVA ESCRITA**

*CAMPUS:* Angra dos Reis

Área de Conhecimento: Engenharia Elétrica – Eletrotécnica e Sistemas Elétricos de Potência

**QUESTÃO 1:** As linhas de transmissão são o elo vital do sistema elétrico, conectando grandes centros de geração ao consumo em longas distâncias. Sua modelagem precisa é fundamental para garantir a estabilidade operativa, a qualidade da tensão e a eficiência no transporte da energia.

- A) Defina matematicamente a Impedância Característica ( $Z_c$ ) e a Constante de Propagação ( $\gamma$ ) em termos dos parâmetros primários da linha (resistência, indutância, capacitância e condutância).
- B) Explique como a adoção de compensação série e derivação (shunt) altera os parâmetros equivalentes da linha e, conseqüentemente, sua estabilidade angular e perfil de tensão.
- C) Justifique, sob o ponto de vista de projeto, por que linhas de transmissão de longa distância são frequentemente limitadas pela estabilidade, enquanto linhas curtas são limitadas pela capacidade térmica dos condutores.
- D) Discuta sobre como uma alta resistência de falta durante um curto-circuito na linha de transmissão pode afetar os diferentes tipos de relés de distância. Qual tipo de relé de distância seria o mais indicado nesta situação? Justifique.



**QUESTÃO 2:** Considere que a Figura 1 ilustra um sistema de potência dotado de um compensador estático que é capaz de injetar ou consumir reativo na barra 2. O compensador foi projetado para evitar que ocorram subtensões na barra 2 quando ocorrer curto-circuito na barra 1 ou na barra 3. Esse equipamento opera numa faixa que vai de indutivo a capacitivo, de modo que a reatância  $X$  do seu circuito equivalente varia entre um limite indutivo e um limite capacitivo. Considerando a rede operando a vazio, responda aos questionamentos que seguem. Todas as respostas devem ser dadas em pu.

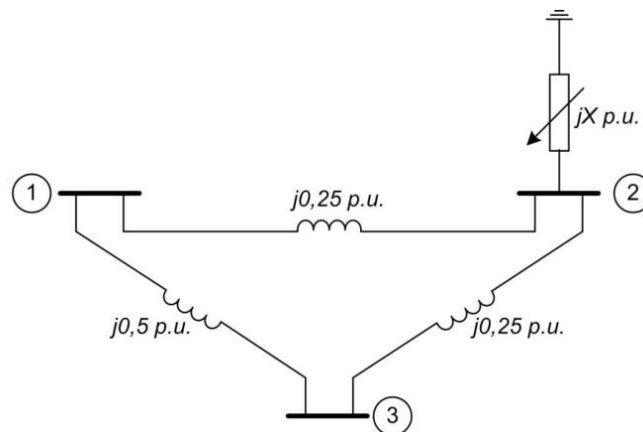


Figura 1 - Sistema Elétrico de Potência para a Questão 2.

A) Determine a reatância  $X$  do compensador que faz com que a corrente de curto-circuito trifásica na barra 3 seja igual a  $5\angle -90^\circ$  pu. Nessa condição de operação, o compensador está operando em modo indutivo ou capacitivo? Justifique sua resposta.

B) A modelagem matricial de Sistemas Elétricos de Potência por meio da matriz de admitância nodal ( $Y_{bus}$ ) constitui uma etapa fundamental para a análise de redes elétricas. Considerando isso, monte a matriz de admitância nodal ( $Y_{bus}$ ) do sistema em estudo:

- i) desconsiderando o compensador estático;
- ii) considerando o compensador representado por sua reatância equivalente  $X$ , obtida anteriormente, conectada à barra 2.

C) Escreva, de forma simbólica, o sistema matricial de equações a ser resolvido em cada iteração do método de Newton-Raphson convencional para solução do fluxo de potência do sistema em questão. Deve-se indicar como calcular os elementos da matriz Jacobiana, indicando inclusive os elementos nulos (se houver). Mostre também como se calcula os resíduos de potência e como são atualizadas as variáveis de estado. Para tanto, considere a barra 1 como barra de referência, a barra 2 como barra do tipo PQ e a barra 3 como barra do tipo PV.



**QUESTÃO 3:** Seja o Sistema Elétrico de Potência (SEP) simplificado apresentado na Figura 2, onde 2 geradores conectados em paralelo alimentam uma carga de 630 MW. Os dados dos geradores estão presentes na Tabela 1.

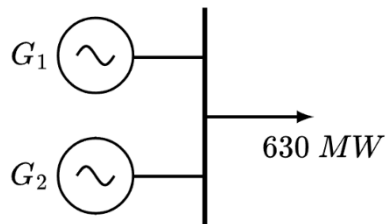


Tabela 1 - Dados dos geradores do SEP.

Gerador	Capacidade	E
G1	300 MW	5%
G2	400 MW	0

Figura 2 - Sistema Elétrico de Potência simplificado.

- A) Determine a regulação de cada um dos geradores em MW/Hz.
- B) Considere que os dois geradores atendam a carga, operando com 90% de suas capacidades em 60 Hz. Supondo que haja um acréscimo de carga de 50 MW, qual a contribuição em MW de cada gerador? Qual a frequência de estabilização do sistema, em Hz? Considere que os geradores operam apenas com regulação primária de frequência e que não há regulação secundária.
- C) Comente e demonstre porque a utilização somente de reguladores isócronos no controle primário de frequência não é apropriado em sistemas com vários geradores conectados em paralelo.
- D) Considere os seguintes tipos de usinas: hidrelétrica (turbina Francis ou Kaplan), termelétrica a vapor (carvão ou nuclear), termelétrica a gás (ciclo simples ou ciclo combinado). Qual tipo de usina é mais adequada para atuar no controle primário de frequência? Qual tipo de usina é menos adequada para o controle primário de frequência e deveria operar, preferencialmente, em carga base constante? Justifique com base no tempo de resposta do regulador e na tolerância a variações rápidas de potência.



**QUESTÃO 4:** O planejamento e a operação de sistemas de potência e instalações industriais exigem modelos matemáticos que simplifiquem a análise de redes complexas, especialmente no que tange à integração de transformadores e máquinas elétricas. Com base nos conceitos de modelagem de equipamentos e sistemas, responda aos itens a seguir:

- A) Explique a fundamentação teórica e a importância da utilização do Sistema por Unidade (pu) na representação de máquinas elétricas e transformadores. Em sua resposta, detalhe o protocolo para a escolha dos valores de referência (bases) no SEP.
- B) A partir do conceito de um transformador monofásico ideal, descreva quais fenômenos físicos levam à necessidade de parâmetros adicionais para a construção do modelo de um transformador real. Desenhe o circuito e associe cada elemento do circuito à perda ou característica física correspondente no equipamento.
- C) No contexto de instalações industriais, compare técnica e economicamente a utilização de um banco trifásico versus um transformador trifásico único. Aborde especificamente a condição de operação em Delta Aberto (V-V): o que acontece com a capacidade de carga do conjunto se uma unidade do banco Delta-Delta falhar?
- D) Considere que testes foram realizados no transformador monofásico 50 KVA, 1000:100 V e foram obtidos os seguintes resultados:

	<b>Ensaio 1</b>	<b>Ensaio 2</b>
Voltímetro	não medido	50 V
Amperímetro	5 A	não medido
Wattímetro	200 W	1500 W

Calcule a impedância equivalente total em pu. Demonstre, através do cálculo, como a impedância em pu se mantém constante independentemente do lado do transformador em que o cálculo é realizado.



**QUESTÃO 5:** As máquinas de indução são amplamente utilizadas devido à sua robustez e versatilidade. No entanto, o desempenho dessas máquinas depende intrinsecamente das características construtivas do rotor e das condições de operação. Com base nessa premissa, responda aos itens a seguir:

- A) Compare as curvas torque x velocidade dos motores de indução tipo gaiola de esquilo e de rotor bobinado. Discorra sobre como a resistência do rotor influencia o escorregamento de torque máximo e associe cada perfil de curva a uma aplicação industrial específica (ex: ventiladores, elevadores e guindastes).
- B) Analise a constituição da gaiola de esquilo. Explique se a alteração do número de polos no estator exige mudanças físicas na construção da gaiola e como o motor tipo Dahlander lida com essa variação. Além disso, justifique tecnicamente a prática de inclinação das barras do rotor em relação ao eixo da máquina.
- C) Explique a operação da máquina de indução como gerador, diferenciando o comportamento quando conectada a um sistema de potência (rede infinita) versus a operação em modo isolado (ilhado). Quais são os requisitos para a manutenção da tensão no caso ilhado?
- D) Utilizando as Leis Fundamentais do Eletromagnetismo (Maxwell), fundamente porque o motor de indução não pode atingir a velocidade síncrona em regime motor. Discorra sobre o que ocorreria com o torque e a corrente se o material dos condutores do rotor fosse substituído por supercondutores.
- E) Construa e resolva o modelo de um motor de indução trifásico de rotor bobinado e determine escorregamento no torque máximo e a resistência externa a ser inserida para que o motor apresente torque máximo na partida. esboce qualitativamente as duas curvas de torque (com e sem a resistência externa) e aponte qual dessas configurações seria ideal para a partida de um guindaste sob carga.