



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA CELSO SUCKOW DA FONSECA
COORDENAÇÃO DE CONCURSOS – CCONC
Edital 04/2023 – Professor Efetivo
PERFIL: Engenharia Elétrica – Sistemas Elétricos de Potência
Campus Angra dos Reis



Questão 1) Seja um sistema radial composto por uma linha de transmissão trifásica de 650 km de comprimento, com impedância de $r + jx \Omega/\text{km}$ e susceptância $jy \text{ S}/\text{km}$ uniformemente distribuídas, dividido por 4 barras. O trecho **A** entre as barras 1 e 2 tem 230 km de comprimento. O trecho **B** entre as barras 2 e 3 tem 70 km. O trecho **C** entre as barras 3 e 4 tem 350 km. Sobre esse sistema, é pedido:

- a) Exponha quais seriam os modelos de quadripolos mais adequados para representar cada um dos trechos da linha de transmissão em questão e obtenha o quadripolo total da linha de transmissão, entre as barras 1 e 4.
- b) Comente sobre o que é o Efeito Ferranti e, especificamente, como calculá-lo em cada trecho da linha.
- c) Explique qual o princípio de funcionamento do relé de distância, definindo o que são as zonas de atuação e o conceito de retaguarda.
- d) Com base nos parâmetros dados, proponha um ajuste de alcance e temporização de primeira e segunda zonas para o relé de distância que protege o trecho **B** localizado na barra **2**.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA CELSO SUCKOW DA FONSECA
COORDENAÇÃO DE CONCURSOS – CCONC
Edital 04/2023 – Professor Efetivo
PERFIL: Engenharia Elétrica – Sistemas Elétricos de Potência
Campus Angra dos Reis



Questão 2) A Figura 1 ilustra o diagrama unifilar de um sistema elétrico que opera sem carga, com tensões trifásicas equilibradas e frequência nominal de 60 Hz, composto por um gerador, transformador elevador e linha de transmissão. Os dados do sistema são fornecidos na Figura 1 e o transformador é de núcleo envolvente. Quando necessário, adote os dados nominais do gerador como referência. Nessas condições, responda aos questionamentos que seguem:

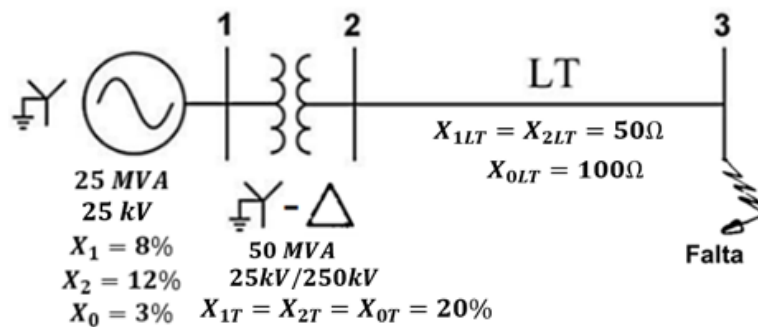
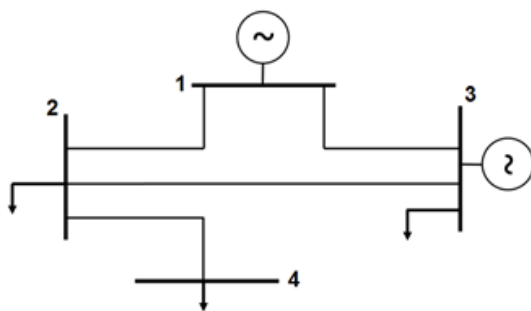


Figura 1 – Diagrama unifilar

- Represente os diagramas de sequência zero, positiva e negativa, com indicação dos valores das impedâncias dos elementos em valor por unidade (pu).
- Para um curto-circuito trifásico franco ocorrendo na barra 3, calcule os valores das correntes de curto nas fases do sistema. Forneça a resposta em valor por unidade (pu).
- Para um curto-circuito monofásico-terra franco ocorrendo na barra 3, calcule os valores das correntes de curto nas fases do sistema. Forneça a resposta em valor por unidade (pu).
- Para um curto-circuito bifásico franco ocorrendo na barra 3, calcule os valores das componentes de sequência da corrente de curto. Forneça a resposta em valor por unidade (pu).
- Para um curto-circuito bifásico-terra franco ocorrendo na barra 3, calcule os valores das componentes de sequência da corrente de curto. Forneça a resposta em valor por unidade (pu).
- Suponha que um esquema de proteção de sobrecorrente composto de: transformador de corrente, relé de sobrecorrente de fase, relé de sobrecorrente de neutro e disjuntor foi instalado para proteção da linha de transmissão que vai da barra 2 para a barra 3. As funções de proteção executadas pelos relés são: 50, 51, 50N e 51N. Descreva e comente como as calibrações das correntes de ajuste dessas funções de proteção são feitas, dando destaque especial em como as correntes de curto-circuito do sistema se relacionam e são importantes nessa calibração.



Questão 3) A Figura 2 apresenta o diagrama unifilar de um sistema elétrico de potência composto de quatro barras, dois geradores e quatro linhas de transmissão. As especificações dos tipos das barras desse sistema também são apresentadas. As linhas de transmissão são representadas pelos seus modelos π -nominais, onde a impedância série de uma linha é representada genericamente por $z_{km} = r_{km} + jx_{km}$ e a susceptância capacitiva shunt por jb_{km}^{sh} , sendo b_{km}^{sh} a susceptância alocada em cada extremo da linha, de acordo com o modelo π -nominal. A designação genérica de barras do sistema é feita pelas variáveis k e m . Todas as grandezas fornecidas já estão normalizadas em valor por unidade (pu). Nessas circunstâncias, responda aos questionamentos que seguem:



Tipos das barras:

Barra de Referência ($V\theta$) = {1};
Barra de Tensão Controlada (PV) = {3};
Barras de Carga (PQ) = {2, 4}.

Figura 2 – Diagrama unifilar da Questão 3.

- Explique sobre a montagem e apresente, de forma simbólica, a matriz de admitância nodal (Y_{barra}) deste sistema.
- Considere que as conexões entre as barras 2 e 4 e 2 e 3 agora são feitas, respectivamente, por um transformador em fase de tap variável com relação $1:a_{24}$ e um transformador defasador puro com relação de $1:e^{j\varphi_{23}}$. Os transformadores são modelados por suas impedâncias séries que são iguais as das linhas de transmissão. Nesse contexto, explique como a Y_{barra} montada na letra a) deve ser alterada para possibilitar a inclusão desses novos equipamentos.
- Para a rede original proposta (só com linhas de transmissão), escreva, de forma simbólica, o sistema matricial de equações a ser resolvido em cada iteração do método de Newton-Raphson para solução do fluxo de potência não linear 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.
- Discuta, conceitualmente, as simplificações que podem ser adotadas na formulação tradicional de cálculo de fluxo de potência para lidar de uma forma mais eficiente com as características dos Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica, levando em consideração, principalmente, a característica de radialidade desses sistemas. Inclua também na discussão (se houver), novas metodologias de fluxo de potência que podem ser aplicadas nesse contexto.



Questão 4) Em uma análise mais simplificada da estabilidade de sistemas elétricos de potência, costuma-se utilizar o modelo clássico de uma máquina síncrona acoplada a um barramento infinito por meio de uma reatância. A Figura 3 abaixo ilustra esse sistema. A reatância X da Figura 3 pode englobar a linha, o transformador e a reatância transitória da máquina. Nesse contexto, responda aos questionamentos que seguem:

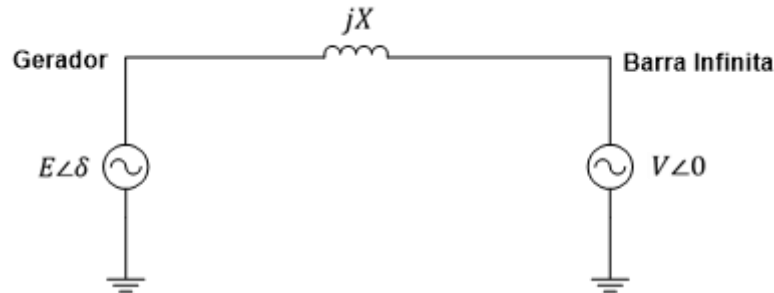


Figura 3 – Diagrama unifilar da Questão 4.

- Obtenha uma expressão para a potência ativa elétrica fornecida pelo gerador em função do ângulo de potência δ .
- Esboce a curva de potência ativa transmitida em função do ângulo de potência δ , indicando um ponto de equilíbrio operativo estável, um ponto de equilíbrio instável e um ponto que representa a condição limite de estabilidade. Considere que no eixo do gerador é aplicada uma potência mecânica constante igual a P_m .
- Suponha que no sistema ilustrado na Figura 3, ocorreu um curto-circuito no barramento infinito. Nessas condições, determine, pelo critério de estabilidade das áreas iguais, o ângulo crítico de abertura do curto, em radianos, para que o sistema permaneça estável. Considere que $X = 0,55$ pu, $E = 1,1$ pu, $V = 1$ pu e que a potência elétrica ativa fornecida pelo gerador ao barramento infinito antes do curto é de 1 pu.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA CELSO SUCKOW DA FONSECA
COORDENAÇÃO DE CONCURSOS – CCONC
Edital 04/2023 – Professor Efetivo
PERFIL: Engenharia Elétrica – Sistemas Elétricos de Potência
Campus Angra dos Reis



Questão 5) Baseada na característica estática do regulador de velocidade na operação do Sistema Elétrico de Potência (SEP), representado pela Figura 4, com a característica da operação do regulador de velocidade identificada através do equilíbrio de operação, em regime permanente, conforme apresentada na Tabela X. Adote como ponto inicial de operação, em regime permanente, a frequência de 60Hz (f_0) e a potência gerada de 100MW (P_{G0}), para responder os itens abaixo.



Figura 4 - Sistema Elétrico de Potência simplificado.

Tabela 1 - Dados do SEP perante a atuação do regulador de velocidade.

Frequência [Hz]	Potência gerada [MW]
60	100
60,05	99

- Determine estatismo da unidade geradora do sistema apresentado.
- Considerando um acréscimo instantâneo de 1MW na carga (P_D), defina o novo estado de operação, após findado os transitórios. Suponha que a carga não varie com a frequência.
- Assumindo que a carga varie com a frequência e que o acréscimo na carga tenha sido o mesmo do item b, obtenha o novo estado de operação. Adote o coeficiente de amortecimento igual a 5 MW/Hz.
- Construa a curva característica do regulador com base nos resultados dos itens b e c. Por fim, analise os resultados apresentados.
- Sobre as turbinas hidráulicas, diferencie os três tipos de turbinas mais utilizadas em relação à velocidade específica de operação, a altura de queda e sua classificação (ação ou reação).