



CEFET-MG

CENTRO FEDERAL DE
EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA
DE MINAS GERAIS



CONCURSO PÚBLICO 2023

DOCENTE EBTT CAMPUS BELO HORIZONTE

EDITAL Nº 31/2023

ETAPA DA PROVA ESCRITA

ENGENHARIA ELÉTRICA

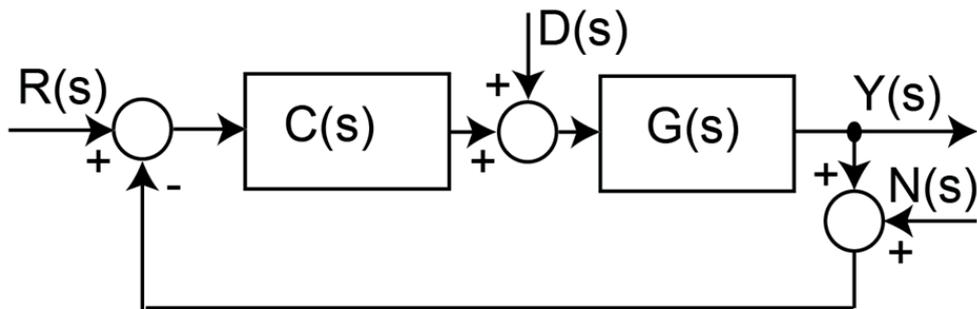


Número de inscrição do Candidato

ABRA SOMENTE QUANDO AUTORIZADO

QUESTÃO 01 (10,0 pontos)

Considere o sistema de controle em malha-fechada com realimentação unitária apresentado abaixo.



Sendo $R(s)$ o sinal de referência, $D(s)$ um distúrbio na entrada da planta, $C(s)$ a variável controlada ou variável de processo e $N(s)$ o ruído de medição.

A função de transferência do processo a ser controlado é dada por:

$$G(s) = \frac{k}{(s + a)^2}.$$

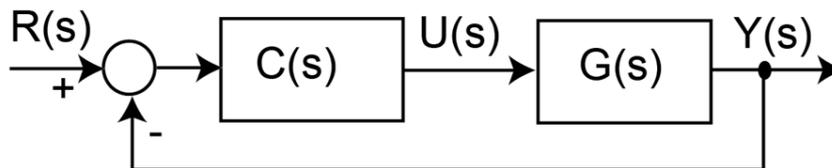
Considere um controlador Proporcional-Integral (PI):

$$C(s) = k_p \frac{s + \frac{1}{T_i}}{s},$$

- Através do método de projeto baseado no lugar das raízes, apresente as condições de ângulo e de módulo e determine os parâmetros do controlador, K_p e T_i , em função dos parâmetros do processo, k e a , de modo que os polos em malha fechada incluam os polos $-\frac{a}{2} \pm j\frac{a}{2}$. Esboce o lugar das raízes indicando no mesmo os ângulos e módulo que aparecem nas condições de ângulo e de módulo.
- Demonstre que o controlador PI garante erro de regime estacionário, e_{ss} , nulo para uma entrada de distúrbio tipo degrau unitário: $D(s) = \frac{1}{s}$.

QUESTÃO 02 (10,0 pontos)

Considere o sistema de controle em malha-fechada com realimentação unitária apresentado abaixo.



A função de transferência da planta a ser controlada dada por

$$G(s) = \frac{2}{s(0,5s + 1)(0,2s + 1)}$$

Considere um controlador por atraso de fase cuja função de transferência é dada por:

$$C(s) = k_c \beta \frac{T_s + 1}{\beta T_s + 1}$$

- a) Determine o valor do ganho $k = k_c \beta$ para que o sistema em malha-fechada apresente um erro de regime estacionário igual a 0,1, $e_{ss} = 0,1$, para uma entrada de referência tipo rampa unitária.
- b) A resposta em frequência do sistema com o ganho aumentado, $G_1(s) = kG(s)$, é apresentada na tabela abaixo, sendo a última linha o valor da fase de $G_1(s)$. Determine a margem de ganho e a margem de fase do sistema com ganho aumentado. O sistema em malha-fechada resultante é estável? Justifique a sua resposta.

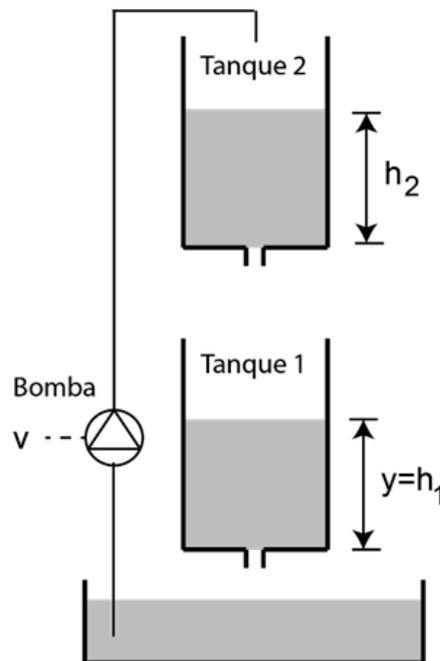
ω (rad/s)	1,06	1,22	1,39	1,55	1,75	2,12	3,15
$X = G_1(s) $ (dB)	18,3	16,6	15,1	13,8	12,2	9,49	3,15
$10^{X/20}$	8,22	6,76	5,69	4,90	4,07	2,98	1,44
$\angle G_1(s)$ (graus)	-130	-135	-140	-145	-150	-160	-180

- c) Projete o controlador por atraso de fase, apresentando a sequência de cálculo para determinação dos valores de k_c , β e T , para que o sistema em malha-fechada tenha uma margem de fase de aproximadamente 40° . Considere no projeto uma margem de segurança de 5° para levar em conta o efeito do compensador por atraso de fase. Escolha $1/T$ uma década abaixo da nova frequência de cruzamento de ganho.
- d) Cite uma vantagem e uma desvantagem em utilizar um compensador por avanço de fase ao invés de um compensador por atraso de fase para atender as mesmas especificações de erro de regime estacionário e margem de fase.

QUESTÃO 03 (10,0 pontos)

Considere o sistema de controle de nível apresentado na figura abaixo e representado pelo seguinte modelo linear invariante no tempo no espaço de estados:

$$\frac{dx(t)}{dt} = \begin{bmatrix} -a & a \\ 0 & -a \end{bmatrix} x(t) + \begin{bmatrix} 0 \\ b \end{bmatrix} u(t),$$
$$y(t) = [1 \quad 0]x(t).$$



Seja $x(t) = [h_1(t) \quad h_2(t)]^T$, $u(t) = v(t)$, $h_1(t)$, $h_2(t)$ as variações dos níveis dos tanques em torno do ponto de operação, $v(t)$ a variação da tensão da bomba em torno do ponto de operação, $a > 0$ e $b > 0$ parâmetros do sistema.

- a) Determine se o sistema é totalmente controlável e observável. Justifique as respostas.
- b) Determine o ganho k na ação de controle $u(t) = r(t) - kx(t)$, $r(t)$ a variação do sinal de referência do nível do tanque 1, de modo que os autovalores (polos) em malha-fechada sejam $\lambda = \{-2a, -5a\}$.

QUESTÃO 04 (10,0 pontos)

Considere a seguinte situação:

Um motor elétrico trifásico de indução precisa ser acionado de forma local, por meio de um botão liga e um botão desliga, e à distância, por meio de um outro botão liga e um outro botão desliga.

O acionamento será realizado por um CLP e os elementos para o comando e a proteção do motor serão assim denominados:

- BL1: Botão intermitente liga motor local (Tipo Normalmente Aberto).
- BL2: Botão intermitente liga motor à distância (Tipo Normalmente Aberto).
- BD1: Botão intermitente desliga motor local (Tipo Normalmente Fechado).
- BD2: Botão intermitente desliga motor à distância (Tipo Normalmente Fechado).
- FT1: Contato do relé de sobrecarga (Tipo Normalmente Fechado).
- BOB_KM: Bobina do contator para o acionamento do motor.
- AUX_KM: Contato do contator para o acionamento do motor (Tipo Normalmente Aberto).

As condições de funcionamento são:

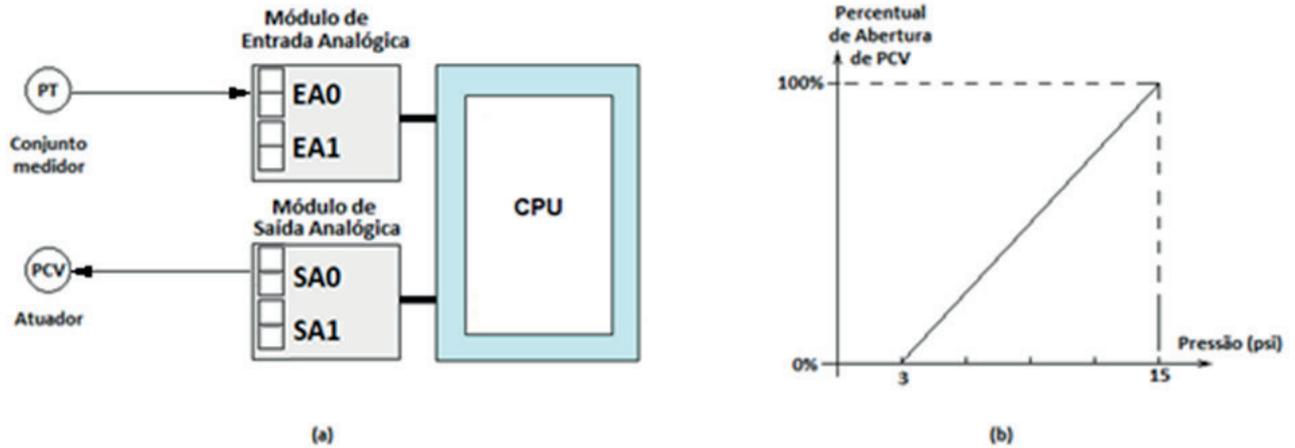
- O motor pode ser ligado pelos botões BL1 ou BL2.
- O motor pode ser desligado pelos botões BD1 ou BD2.
- O motor também será desligado pela ação do relé de sobrecarga, pelo contato FT1.

Dadas as condições de funcionamento e a lista de elementos de campo para o comando e a proteção do motor, APRESENTE uma solução para o acionamento requerido utilizando a linguagem LADDER IEC-61131-3, nas seguintes variações:

- a) Utilizar como elementos de saída digital, as bobinas convencionais (*OUTPUT COIL*).
- b) Utilizar como elementos de saída digital, as bobinas Set-Reset ou Latch-Unlatch (*LATCH OUTPUT COIL* e *UNLATCH OUTPUT COIL*).

QUESTÃO 05 (10,0 pontos)

Considere a figura abaixo que apresenta o diagrama de conexões elétricas, no CLP, para um sistema de controle de processo de pressão (parte a) e a relação entre a Pressão medida e o percentual de abertura da válvula PCV (parte b):



As condições da aplicação são as seguintes:

- A grandeza a ser medida é a Pressão, na faixa de 3 a 15 psi. O conjunto medidor envia um sinal de 1 a 5 V à entrada analógica EA0.
- O módulo de entrada analógica está configurado para receber sinais na faixa de 0 a 10 V e o conversor A/D possui resolução de 16 bits.
- A atuação é feita por meio de uma válvula que possui abertura de 0 a 100% proporcional à faixa de sinal de 4 a 20 mA. O sinal para a atuação é enviado pela saída analógica SA0.
- O módulo de saída analógica está configurado para sinais na faixa de 0 a 20 mA e o conversor D/A possui resolução de 10 bits.

a) APRESENTE uma solução, utilizando a linguagem LADDER IEC-61131-3, para a exibição do valor da Pressão, em psi, medida por EA0. A exibição da Pressão será feita em uma memória.

b) APRESENTE uma solução, utilizando a linguagem LADDER IEC-61131-3, para o controle do percentual de abertura da válvula, conforme mostrado na parte (b) da figura anterior.

QUESTÃO 06 (10,0 pontos)

Considere um sistema de controle, implementado em um CLP, que recebe a variável de processo proveniente de um transmissor com saída em tensão, na faixa de 0 a 10 V. Este sinal é enviado à entrada analógica, do CLP, por meio de um cabo elétrico de interligação.

Dadas as condições de funcionamento:

a) APRESENTE as principais características construtivas do cabo elétrico de interligação.

b) APRESENTE os principais aspectos elétricos relacionados à conexão do cabo elétrico de interligação.

QUESTÃO 07 (10,0 pontos)

Um transformador trifásico, 300 kVA, 60 Hz, 13800 – 220/127 V, deve ser submetido ao ensaio a vazio em um laboratório de uma instituição de ensino. O enrolamento de tensão superior do transformador está conectado em delta e o de tensão inferior, em estrela.

Os seguintes equipamentos e instrumentos estão disponíveis no laboratório:

Quantidade	Descrição	Símbolo	
3	transformador de potencial (TP) 1150-115 V		Terminais: 1,2 - entrada 3,4 - saída
3	transformador de potencial (TP) 2300-230 V		
3	transformador de corrente (TC) 10/5 A		Terminais: 1,2 - entrada 3,4 - saída
3	transformador de corrente (TC) 25/5 A		
3	wattímetro eletrodinâmico monofásico com bobina de potencial de 300 V e bobina de corrente de 6 A		Terminais: 1,2 - corrente 3,4 - potencial
3	amperímetro analógico de corrente alternada com campo de medição igual a 5 A		
3	voltímetro analógico de corrente alternada, com campo de medição de 300 V		
1	fonte de tensão variável, trifásica, 0 – 1000 V, 60 Hz, 500 kVA		

A corrente de excitação do transformador, no lado de tensão inferior, vale 20 A e as perdas magnéticas foram estimadas em 1100 W.

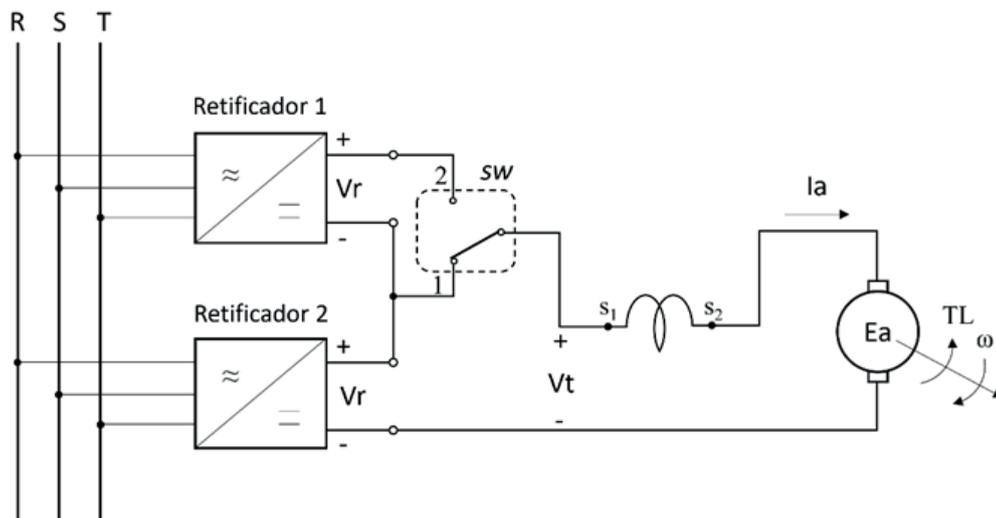
Utilizando as simbologias apresentadas na tabela anterior, representar, no espaço reservado para a solução desta questão, as conexões da fonte trifásica ao transformador, incluindo a instrumentação necessária para a realização do ensaio a vazio. Indique as relações dos transformadores para instrumentos, quando utilizados.

QUESTÃO 08 (10,0 pontos)

Dois retificadores industriais idênticos são conectados a um barramento elétrico trifásico, com tensão e frequência constantes, como ilustrado na figura seguinte. Cada retificador provê uma tensão regulada na saída com valor V_r , em volts.

A chave **SW**, inicialmente manobrada para a posição 1, foi utilizada para se conectar o motor de corrente contínua aos retificadores.

O motor encontra-se em regime permanente, acionando uma carga mecânica **TL** de conjugado resistente constante, com velocidade mecânica ω_1 . A corrente de armadura nessas condições vale I_{a1} .



Admitindo que o motor opere na porção linear de sua curva de saturação, com perdas elétricas, mecânicas e rotacionais desprezíveis, determine:

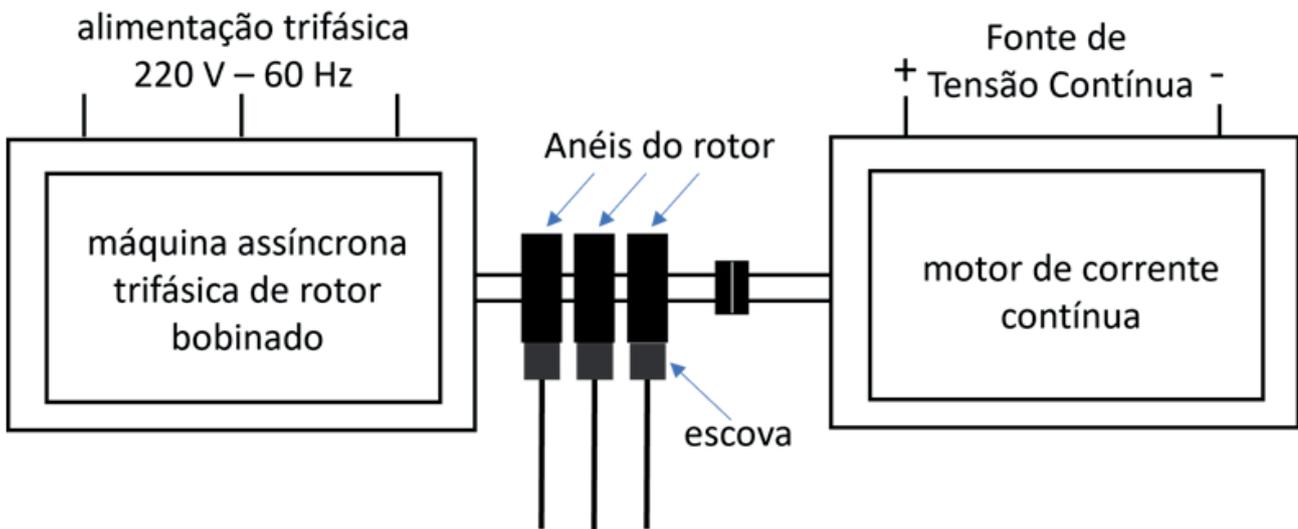
- a) a corrente de armadura I_{a2} , em relação ao valor inicial I_{a1} , em regime permanente, após a manobra da chave **SW** para a posição 2.
- b) a velocidade ω_2 do motor, em relação ao valor inicial ω_1 , em regime permanente, após a manobra da chave **SW** para a posição 2.

QUESTÃO 09 (10,0 pontos)

Em um laboratório de máquinas elétricas, um estudante acoplou mecanicamente o eixo de uma máquina assíncrona trifásica de rotor bobinado ao eixo de um motor de corrente contínua de velocidade variável e duplo sentido de rotação, conforme ilustrado na figura seguinte. O professor pediu que o estudante medisse a tensão e a frequência a vazio entre dois anéis do rotor da máquina assíncrona, com o conjunto em rotação.

A máquina assíncrona utilizada era de 6 polos, 60 Hz, trifásica, 220 V entre fases do estator, ligado em triângulo. O rotor, ligado em estrela, tinha enrolamento por fase idêntico ao do estator.

Determine os valores possíveis da tensão e da frequência entre dois anéis do rotor da máquina assíncrona, quando o motor de corrente contínua for acionado a uma velocidade de 600 rpm.



QUESTÃO 10 (10,0 pontos)

Um alternador síncrono trifásico de rotor cilíndrico tem uma tensão terminal (V_t), por fase, igual a 1 pu e uma tensão gerada (E_f), por fase, igual a $\sqrt{2}$ pu. Considere que a impedância síncrona (Z_s) desse alternador vale 1 pu e que a resistência do enrolamento de armadura pode ser desprezada. Nessas condições pede-se representar, no espaço reservado para a solução desta questão, as curvas da potência ativa P e da potência reativa Q do gerador, por fase, em função do ângulo de carga δ .