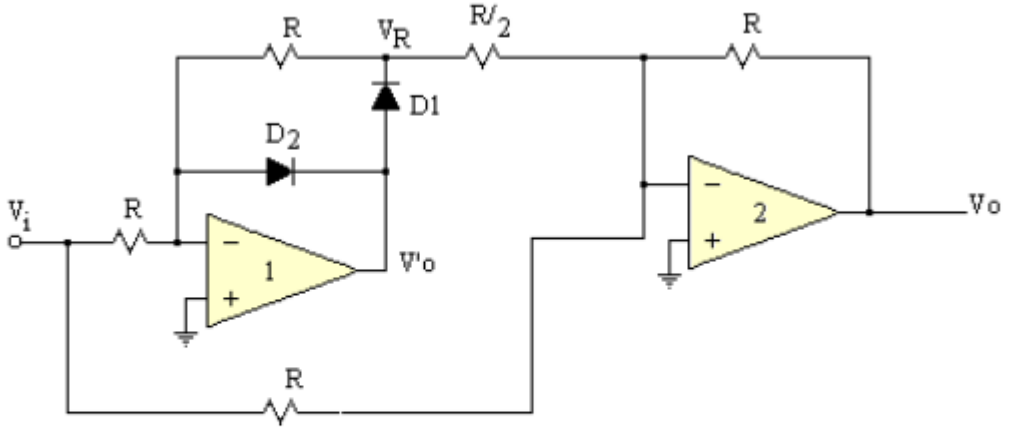
PROCESSO SELETIVO –04/2026

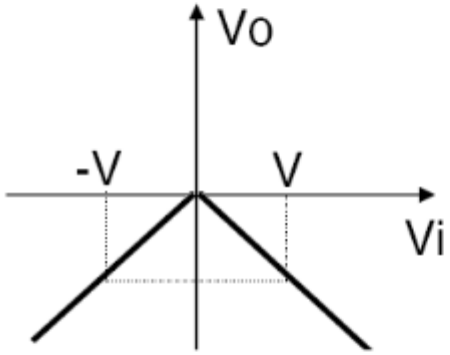
Área de Conhecimento: *Processamento de Energia Elétrica e Eletrônica e Instrumentação*

PROVA ESCRITA – PADRÃO DE RESPOSTA

QUESTÃO 1:

Solução: Alternativa:¶



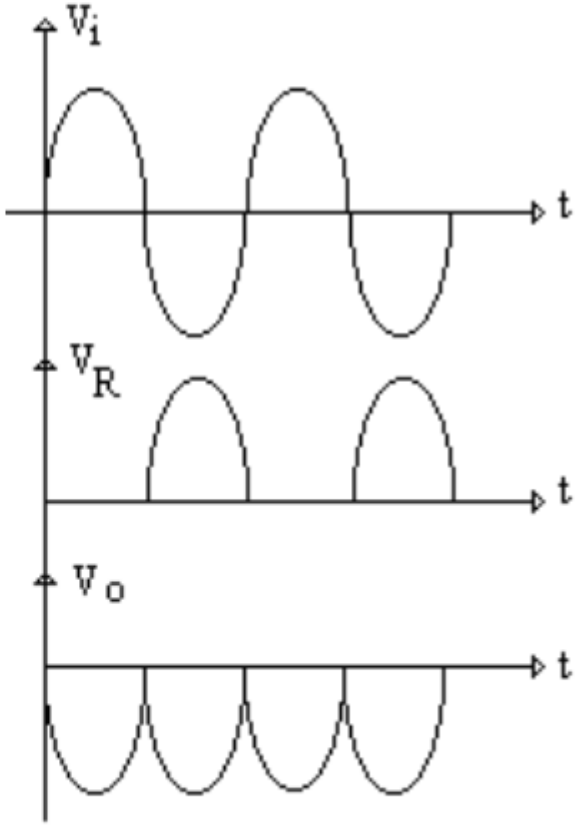


¶

A tensão é referência indicando a inclinação igual, mostrando a retificação de onda completa negativa.¶

Ampop considerado ideal¶

Diodos ideais, porém mesmo que considerado ideal, o ganho do ampop reduz a tensão direta no diodo, caso Vd = 0,7 V, com retificação de precisão Vd/A, onde A é o ganho do ampop. 741 A = 10^5 V/V, ou seja, tensão direta de aproximadamente 7 μV¤



¶

Análise:¶

Pág. 01 de 08 - Documento assinado digitalmente. Para conferência, acesse o site https://portal.sgpe.sea.sc.gov.br/portal-externo e informe o processo UDESC 00023041/2026 e o código 492YUN2V.

1) $V_i > 0 \rightarrow V_o' < 0 \Rightarrow D_2$ conduz e D_1 bloqueia $(V_o' \approx 0)$

$V_i > 0 \rightarrow V_o = -V_i$

2) $V_i < 0 \rightarrow V_o' > 0 \Rightarrow D_2$ bloqueia e D_1 conduz $(V_R \approx V_i)$

$V_i < 0 \rightarrow V_o = -(2V_R + V_i)$

Pág. 02 de 08 - Documento assinado digitalmente. Para conferência, acesse o site https://portal.sgpe.sea.sc.gov.br/portal-externo e informe o processo UDESC 00023041/2026 e o código 492YUN2V.

PROCESSO SELETIVO –04/2026

Área de Conhecimento: *Processamento de Energia Elétrica e Eletrônica e Instrumentação*

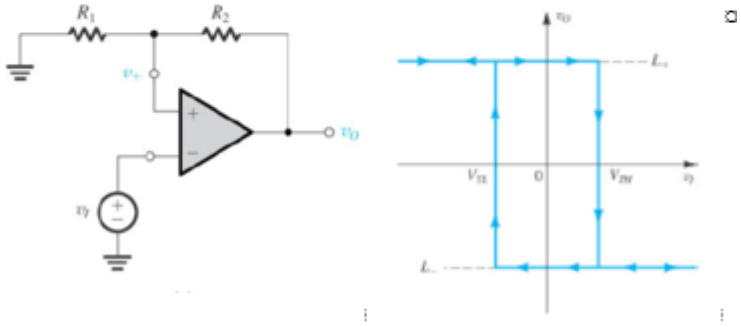
PROVA ESCRITA – PADRÃO DE RESPOSTA

QUESTÃO 2:

Solução:

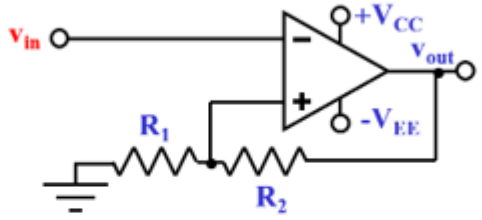
a) Em função da sensibilidade à luz do circuito fotodetector (que poderia ser uma fotocélula), é gerado um nível de tensão comparável ao sinal de referência na entrada não inversora do AMPOP. Quando o sinal ultrapassa a referência, a saída do AMPOP satura positivamente, pois o AMPOP está em malha aberta como comparador, acionando o transistor Q, que fornece corrente elétrica ao relé que aciona a carga.

b) De forma a reduzir sinais espúrios e ruidosos, tal como transição luminosa, é conveniente utilizar o biestável, ou o AMPOP como comparador de histerese, de forma a garantir que em uma determinada faixa ruidosa o acionamento se mantenha.



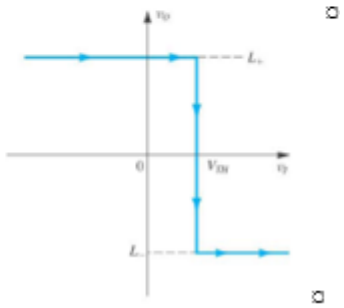
Exemplo de um biestável ou comparador de histerese e a característica de transferência vo x vi

c) Descrição do funcionamento e equacionamento:



$$v+ = \left(\frac{R_1}{R_1 + R_2}\right) v_o$$

$$V_{TH} = \left(\frac{R_1}{R_1 + R_2}\right) v_H$$

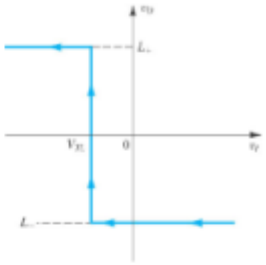


Limite superior, $v_{TH} = +V_{sat} = v_H$

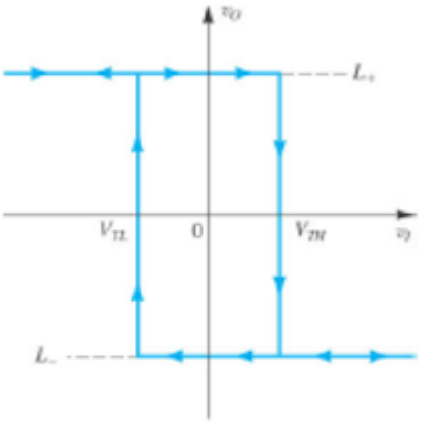
Pág. 03 de 08 - Documento assinado digitalmente. Para conferência, acesse o site https://portal.sgpe.sea.sc.gov.br/portal-externo e informe o processo UDESC 00023041/2026 e o código 492YUN2V.

$$v+ = \left(\frac{R_1}{R_1 + R_2}\right) v_H$$

$$V_{TL} = \left(\frac{R_1}{R_1 + R_2}\right) v_L$$



Limite inferior, vTL = +Vsat = vL



Característica de transferência

Para os dados sugeridos:

$$vTH = \frac{R_1}{R_1 + R_2}(+V_{sat}) = \frac{R_1}{R_1 + R_2} 10 = 1$$

$$vTL = \frac{R_1}{R_1 + R_2}(-V_{sat}) = \frac{R_1}{R_1 + R_2}(-10) = -1$$

Com R1 = 10 kΩ e R2 = 90 kΩ, e a histerese vTH-vTL = 1-(-1) = 2 V

*

Pág. 04 de 08 - Documento assinado digitalmente. Para conferência, acesse o site https://portal.sgpe.sea.sc.gov.br/portal-externo e informe o processo UDESC 00023041/2026 e o código 492YUN2V.

PROCESSO SELETIVO –04/2026

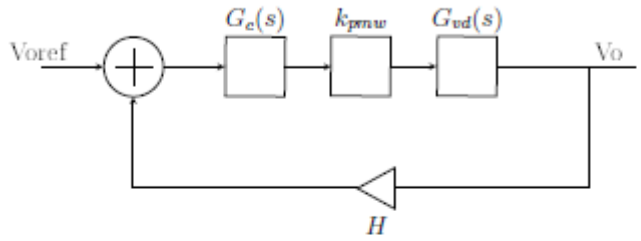
Área de Conhecimento: *Processamento de Energia Elétrica e Eletrônica e Instrumentação*

PROVA ESCRITA – PADRÃO DE RESPOSTA

QUESTÃO 3:

a) Diagrama de blocos de controle (tensão de saída × razão cíclica)

Na ilustração realizada pelo candidato, a malha de controle de tensão do conversor Forward pode ser representada, em termos de funções de transferência em cascata, pelos seguintes blocos:



1) **Planta (conversor):** relaciona a variação da tensão de saída com a variação da razão cíclica,

$$G_{vd}(s) = \frac{\hat{v}_o(s)}{\hat{d}(s)}$$

2) **Sensor de tensão de saída:** realiza o condicionamento da tensão de saída para a faixa de referência do controlador, com ganho

$$H = \frac{V_{sensor}}{V_o} = \frac{R_2}{R_1 + R_2},$$

sendo R_1 e R_2 os resistores do divisor resistivo de realimentação.

3) **Modulador PWM:** converte o sinal de erro (saída do compensador) em razão cíclica, com ganho

$$F_m = k_{pwm} = \frac{\hat{d}(s)}{\hat{v}_c(s)} = \frac{1}{V_{pp}},$$

em que V_{pp} é a amplitude pico a pico da portadora triangular ou dente de serra do PWM.

4) **Compensador:** bloco $G_c(s)$, a ser projetado, que processa o erro entre a referência V_{ref} e o sinal sensoreado $H\,v_o$.

A função de transferência de laço aberto resulta em

$$T(s) = G_c(s)\,F_m\,G_{vd}(s)\,H$$

Pág. 05 de 08 - Documento assinado digitalmente. Para conferência, acesse o site https://portal.sgpe.sea.sc.gov.br/portal-externo e informe o processo UDESC 00023041/2026 e o código 492YUN2V.

b) Dimensionamento numérico

Dados: $V_{in} = 300$ V, $V_o = 12$ V, $P_o = 60$ W, $f_s = 100$ kHz, $N_p : N_d = 1 : 1$, $D = 0{,}4$, $\Delta I_{Lo} = 20\%$ de I_o, $\Delta V_o = 1\%$ de V_o.

i) Relação de transformação $N_p : N_s$ Para o conversor Forward em condução contínua (desprezando quedas nos semicondutores):

$$V_o = D\frac{N_s}{N_p}V_{in}$$

$$\frac{N_s}{N_p} = \frac{V_o}{D\,V_{in}} = \frac{12}{0{,}4 \times 300} = \frac{12}{120} = 0{,}10$$

$$\boxed{\frac{N_p}{N_s} = 10 : 1}$$

ii) Indutância do filtro de saída L_o Corrente média de saída:

$$I_o = \frac{P_o}{V_o} = \frac{60}{12} = 5 \text{ A}$$

Ondulação de corrente especificada:

$$\Delta I_{Lo} = 0{,}20 \times I_o = 0{,}20 \times 5 = 1{,}0 \text{ A}$$

A indutância do filtro de saída do conversor Forward, da segunda etapa de operação, é dada por:

$$L_o = \frac{V_o\,(1-D)}{\Delta I_{Lo}\,f_s}$$

$$L_o = \frac{12 \times (1-0{,}4)}{1{,}0 \times 100 \times 10^3} = \frac{12 \times 0{,}6}{100\,000} = \frac{7{,}2}{100\,000}$$

$$\boxed{L_o = 72\ \mu\text{H}}$$

Observação para a banca: pequenas variações no resultado numérico (até aproximadamente 10%), decorrentes de arredondamentos ou da consideração de quedas de tensão em semicondutores, devem ser aceitas, desde que o desenvolvimento esteja correto.

*

Pág. 06 de 08 - Documento assinado digitalmente. Para conferência, acesse o site https://portal.sgpe.sea.sc.gov.br/portal-externo e informe o processo UDESC 00023041/2026 e o código 492YUN2V.

PROCESSO SELETIVO –04/2026

Área de Conhecimento: *Processamento de Energia Elétrica e Eletrônica e Instrumentação*

PROVA ESCRITA – PADRÃO DE RESPOSTA

QUESTÃO 4:

Em regime permanente, a integral de tensão (volt-segundo) aplicada ao enrolamento primário do transformador, ao longo de um período de comutação completo, deve ser nula. Essa condição exige fluxo médio nulo ao final de cada período, sob pena de saturação progressiva do núcleo.

Etapa de magnetização (0 a DT): o interruptor está fechado e o enrolamento primário fica submetido à tensão de entrada,

$$v_{Np} = +V_{in}, \qquad \text{duração } DT.$$

Etapa de desmagnetização (DT a T): o interruptor está aberto e o enrolamento de desmagnetização N_d conduz através do diodo D_d, impondo ao primário (refletida pela relação de espiras N_p/N_d) uma tensão negativa,

$$v_{Np} = -V_{in}\frac{N_p}{N_d}, \qquad \text{duração } D'T = (1-D)T.$$

Igualando os volt-segundo das duas etapas (balanço volt-segundo):

$$V_{in}\,D\,T = V_{in}\frac{N_p}{N_d}(1-D)\,T$$

$$D = \frac{N_p}{N_d}(1-D)$$

$$D\left(1+\frac{N_p}{N_d}\right) = \frac{N_p}{N_d}$$

$$\boxed{D = \frac{N_p/N_d}{1+N_p/N_d} = \frac{N_p}{N_p+N_d}}$$

Outra forma de apresentação da equação:

$$D \leq \frac{N_p}{N_d+N_p}$$

Para o caso particular $N_p = N_d$:

$$D_{max} = \frac{N_p}{N_p+N_p} = \frac{1}{2} = 50\%.$$

Esse resultado mostra que a razão cíclica máxima depende exclusivamente da relação de espiras $N_p : N_d$. Quanto maior a relação N_p/N_d, maior a razão cíclica máxima admissível; em contrapartida, maior será a tensão reversa imposta ao interruptor durante a etapa de desmagnetização (a tensão no interrruptor não obrigatória na resposta mas pode complementar a resposta do candidato),

$$V_{S,max} = V_{in}\left(1+\frac{N_p}{N_d}\right),$$

de modo que o aumento de D_{max} é obtido às custas de maior esforço de tensão sobre o semicondutor.

Pág. 07 de 08 - Documento assinado digitalmente. Para conferência, acesse o site https://portal.sgpe.sea.sc.gov.br/portal-externo e informe o processo UDESC 00023041/2026 e o código 492YUN2V.

PROCESSO SELETIVO –04/2026

Área de Conhecimento: *Processamento de Energia Elétrica e Eletrônica e Instrumentação*

PROVA ESCRITA – PADRÃO DE RESPOSTA

QUESTÃO 5:

Resposta de caráter aberto; deve-se avaliar a clareza didática e a correção técnica da analogia proposta.

Um eixo de resposta esperado é o seguinte: no conversor *Flyback*, o transformador opera efetivamente como um indutor acoplado. Durante a condução do interruptor, energia é armazenada no campo magnético do núcleo (que possui entreferro); durante o bloqueio, essa energia é transferida para a carga através do enrolamento secundário. Como o ciclo de armazenamento e entrega de energia ocorre dentro da própria operação normal do conversor, o núcleo é desmagnetizado naturalmente a cada período, sem necessidade de um enrolamento adicional.

Já no conversor Forward, o transformador opera de forma semelhante a um transformador convencional: a energia é transferida diretamente do primário para o secundário enquanto o interruptor conduz, sem a intenção de armazenamento energético no núcleo. Entretanto, mesmo nesse modo de operação, existe uma corrente de magnetização (decorrente da indutância de magnetização finita do núcleo), que cresce durante a condução do interruptor. Se essa energia de magnetização não for removida do núcleo antes do início do próximo período, o fluxo magnético se acumula ciclo após ciclo, levando à saturação do núcleo. O enrolamento (ou circuito) de desmagnetização existe justamente para fornecer um caminho de retorno dessa energia residual à fonte de entrada, garantindo fluxo médio nulo ao final de cada período.

Como estratégia pedagógica, podem-se utilizar analogias multifísicas.

Tecnicamente, a diferença central a ser destacada é: no Flyback, o armazenamento de energia no núcleo é parte do princípio de funcionamento do conversor; no Forward, esse armazenamento é um efeito decorrente da magnetização do transformador mas que precisa ser ativamente eliminado por um circuito auxiliar, sob risco de saturação do núcleo e falha do conversor.

Pág. 08 de 08 - Documento assinado digitalmente. Para conferência, acesse o site https://portal.sgpe.sea.sc.gov.br/portal-externo e informe o processo UDESC 00023041/2026 e o código 492YUN2V.

Assinaturas do documento

Código para verificação: **492YUN2V**

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

FERNANDO BUZZULINI PRIOSTE (CPF: 148.XXX.318-XX) em 22/06/2026 às 16:21:03
Emitido por: "SGP-e", emitido em 30/03/2018 - 12:43:02 e válido até 30/03/2118 - 12:43:02.
(Assinatura do sistema)

YALES ROMULO DE NOVAES (CPF: 895.XXX.479-XX) em 22/06/2026 às 16:26:30
Emitido por: "SGP-e", emitido em 30/03/2018 - 12:40:05 e válido até 30/03/2118 - 12:40:05.
(Assinatura do sistema)

RAIMUNDO NONATO GONCALVES ROBERT (CPF: 157.XXX.772-XX) em 22/06/2026 às 16:30:52
Emitido por: "SGP-e", emitido em 30/03/2018 - 12:38:42 e válido até 30/03/2118 - 12:38:42.
(Assinatura do sistema)

Para verificar a autenticidade desta cópia, acesse o link https://portal.sgpe.sea.sc.gov.br/portal-externo/conferencia-documento/VURFU0NfMTIwMjJfMDAwMjMwNDFfMjMwNDZfMjAyNl80OTJZVU4yVg== ou o site https://portal.sgpe.sea.sc.gov.br/portal-externo e informe o processo **UDESC 00023041/2026** e o código **492YUN2V** ou aponte a câmera para o QR Code presente nesta página para realizar a conferência.