UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE ENGENHARIA ELÉTRICA E INFORMÁTICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA
ELETRÔNICA

Engenharia Elétrica

III EXERCÍCIO ESCOLAR 2019

PARTE I (*Série de Exercício*) **PARTE II (*Projeto-Relatório descritivo*)**

Justifique todas as respostas

Nas questões a seguir substitua N pelo seu número na lista de presença da turma.

Identifique a região de operação para cada amplificador operacional nas questões a seguir.

NOME _____Matrícula _____ NOTA _____

(1) COMPARADORES DE TENSAO (*SIMPLES, JANELA, HISTERESE*)

Frequentemente, em muitas aplicações na eletrônica, necessita-se comparar uma tensão, representando uma grandeza física (*temperatura, luminosidade, aceleração, umidade, etc*) com outra tensão para determinar qual delas é a maior ou menor com o objetivo de atuar sobre um sistema acionando alguma carga. Um comparador de tensão simples, com apenas uma tensão de referência, indica quando uma tensão na entrada excede certo limite ou limiar, enquanto que um comparador de janela, com duas tensões de referências, detecta quando uma tensão de entrada situa-se entre os dois limites dessas tensões de referências. Um comparador Janela é composto por um circuito com duas tensões de referências (tensões limites), uma entrada e uma saída. O sinal de entrada é então comparado com as duas tensões de referências (janela de tensões limites) a fim de produzir uma saída. Por outro lado, os *comparadores com Histerese* (*Schmitt-trigger*) fazem uso de realimentação positiva para rejeitar ruídos na faixa de transisção. O benefício de um comparador *Schmitt* sobre um circuito com somente um ponto limiar de entrada é uma estabilidade maior (*imunidade ao ruído*). Com somente um ponto de limiar de entrada, um sinal ruidoso operando próximo a esse ponto, poderia fazer com que a saída ficasse comutando rapidamente, acima e abaixo do nível do ruído. O *disparador de Schmitt* foi inventado pelo cientista Otto Herbert Schmitt nos Estados Unidos em 1934, quando era apenas um estudante de graduação. Seria descrito mais tarde em sua tese de doutorado como um disparador. Projete um

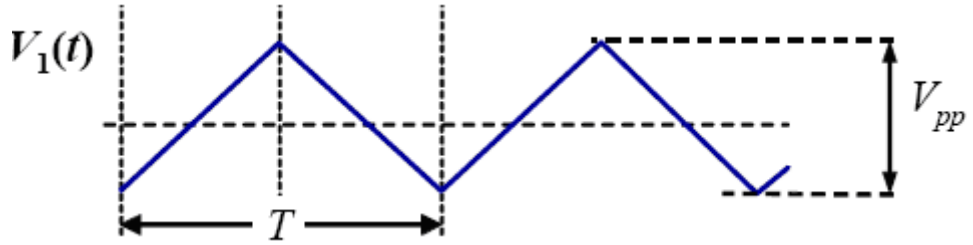
I) **Comparador Simples** (Tensão de referência 2V).
II) **Comparador Janela** (Tensões de referências -2V e 2V)
III) **Comparador com Histerese** (*Schimth Trigger*) (Tensões limiares -2V e 2V)

(2) INTEGRADOR DE DIFERENÇAS

Projete um ***Integrador de Diferenças***, ou seja, a partir de duas tensões V_2 e V_1 apresente um circuito, usando **apenas um amplificador operacional**, capaz de produzir na sua saída uma tensão igual a $V_0 = K\int(V_2 - V_1)dt$, no qual K = Ganho.

(3) GERADOR DE ONDA TRIANGULAR

Projete um *gerador de onda triangular* com período igual a **N** ms.



(4) FILTRO ATIVO PASSA BAIXA COM APROXIMAÇÃO BUTTERWORTH
Projete um circuito para um ***filtro ativo passa baixa de segunda ordem, com ganho de 36dB, aproximação Butterworth*** com ***frequência de corte*** de **20 kHz**, para ser usado como filtro *anti-aliasing*, evitando sobreposição espectral, na entrada de um conversor analógico-digital de um equipamento de áudio digital.

O filtro com aproximação *Butterworth* ganha o seu nome por ter sido o primeiro a desenvolver uma teoria sobre filtros. *Stephen Butterworth*, do Laboratório de Pesquisa do Almirantado no Reino Unido (*Admiralty Research Laboratory*), publicou seu trabalho em outubro de 1930, intitulado: "*On the Theory of Filter Amplifiers*" na qual desenvolveu as equações básicas para um filtro maximamente plano para uso em amplificadores valvulados RF (**R***adio* **F***requency*). O artigo foi publicado na revista intitulada "*Experimental Wireless and Wireless Engineer*".

(**5**) ***FONTE DE ALIMENTAÇÃO LINEAR REGULADA***

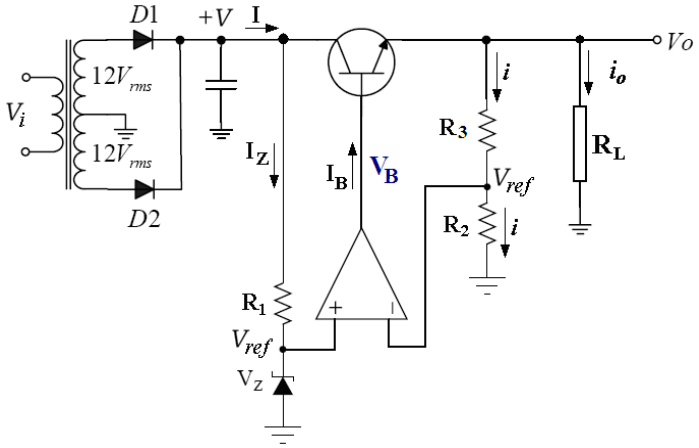
Projeto de uma fonte linear de $220V_{RMS}$ para $V_O = 9V$.

$R_3 = 100k\Omega,\ V_Z = 3V,\ V_i = 220V_{RMS},\ \beta = 100,\ R_L = 9\Omega,\ V_{BE} = 0{,}7V.$

(A) Determine a ***potência de dissipação no transistor***. (B) Determine R_2.

(C) Determine ***a corrente e a tensão na saída do amplificador operacional*** I_B *e* V_B.

Observe que I_B *e* V_B corresponde ***a corrente e a tensão de base do transistor***.



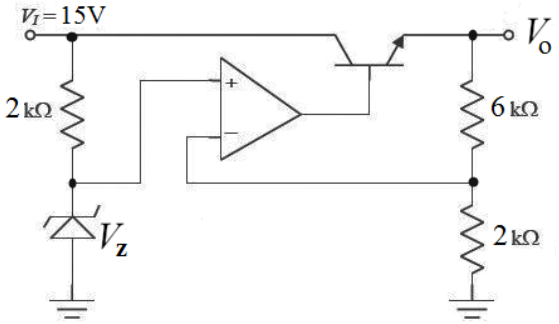
(6) FONTE DE ALIMENTAÇÃO LINEAR - CONVERSOR DE TENSÃO DC-DC

O circuito a seguir é usado para converter uma tensão de 15V para 12V.

(I) Determine o valor de V_Z e a potência dissipada no diodo zener.

(II) Determine o novo valor de V_Z para converter a tensão de 15V para 9V.

(III) Identifique a *região de operação* do amplificador operacional e a *funcionalidade do transistor*. (IV) Determine a eficiência da fonte η.

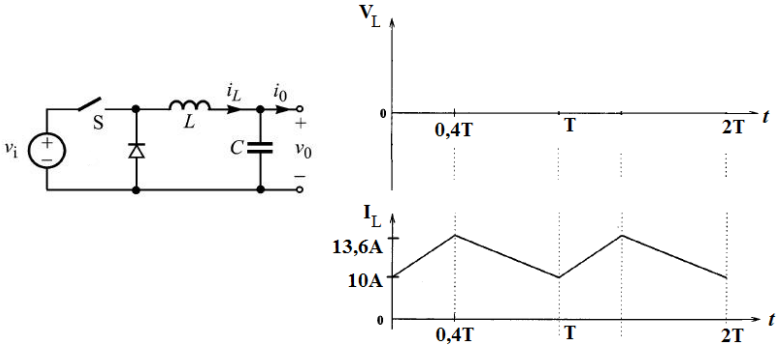


(**7**) Escreva as 5 primeira componentes da ***série de Fourier*** para um sinal ***PWM*** com ***duty cycle de 40%*** e amplitude variando entre 0 e 5V. (B) Para que valor de ***duty cycle*** um sinal ***PWM*** não apresenta ***componente de quinta harmômica***? (C) Determine o ***duty cycle*** correspondente para que um sinal ***PWM não contenha nenhuma componente harmônica par***

(8) FONTE CHAVEADA (SMPS – *Switched Mode Power Supply*)
Projete uma *fonte chaveada* capaz de alimentar uma carga de 5W@5V a partir de uma bateria de automóvel com frequência de chaveamento de **N** kHz.

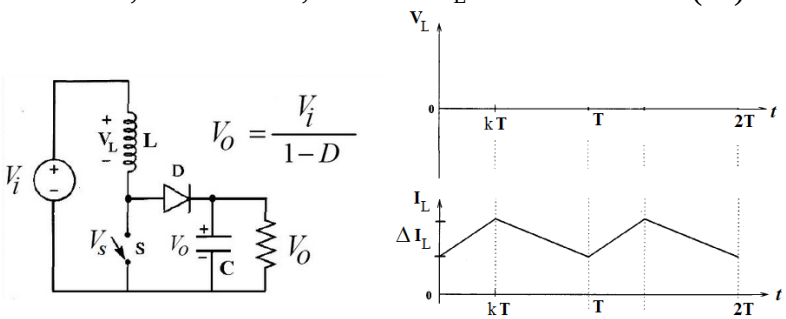
(9) FONTE CHAVEADA (SMPS – Switched Mode Power Supply) – PROJETO

A fonte chaveada mostrada na figura a seguir é usada para fornecer 6V a uma determinada carga. Considere que foi escolhida uma frequência de chaveamento de 100 kHz.
(I) Identifique o **tipo de conversor** e determine o **valor da tensão aplicada na entrada** V_i.
(II) Determine os valores **da indutância L** e do **capacitor C**. Considere um *ripple* sobre o capacitor de $\Delta V_0 = 100mV$ na saída V_o.
(III) Determine a **potência máxima** na carga.
(IV) Expresse **graficamente**, com valores, a **tensão V_L** sobre o indutor.



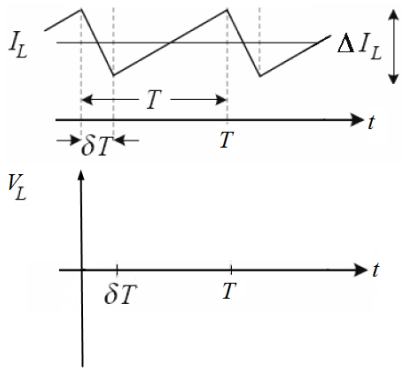
(10) FONTE CHAVEADA (SMPS – *Switched Mode Power Supply*)

A fonte chaveada mostrada na figura a seguir é usada para fornecer 12V para uma carga a partir de uma pilha de 1,5V. Considere a frequência de chaveamento de 20 kHz e L=10μH.
(I) Identifique o *tipo de conversor* e determine o valor do *duty cycle* necessário.
(II) Expresse graficamente, com valores, a tensão V_L sobre o indutor. (III) Determine ΔI_L.

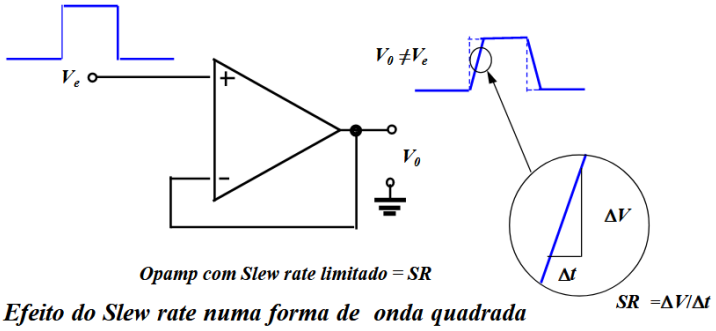


(11) FONTE CHAVEADA – ENERGIA NO INDUTOR

A corrente mostrada a seguir circula em um ***indutor*** de uma ***fonte chaveada*** com frequência de 20 kHz e I_L=40A.
(**A**) Represente ***graficamente***, ***com valores***, ***a tensão*** $\mathbf{V_L}$ sobre o indutor L.
(**B**) Determine a ***energia armazenada no indutor*** durante o ***ciclo de carga***.
(C) Determine o ***duty cycle*** **D**.
$\delta = 0{,}2 \quad \Delta I_L = 16A \quad L = 100\mu H$

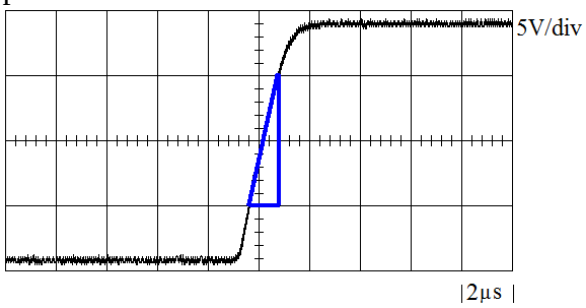


(12) SLEW-RATE

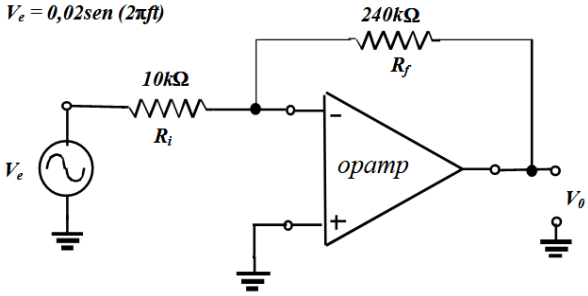


Efeito do Slew rate numa forma de onda quadrada

Deseja-se obter o sinal a seguir na saída de um amplificador operacional. Determine o *Slew Rate* mínimo necessário para tal.



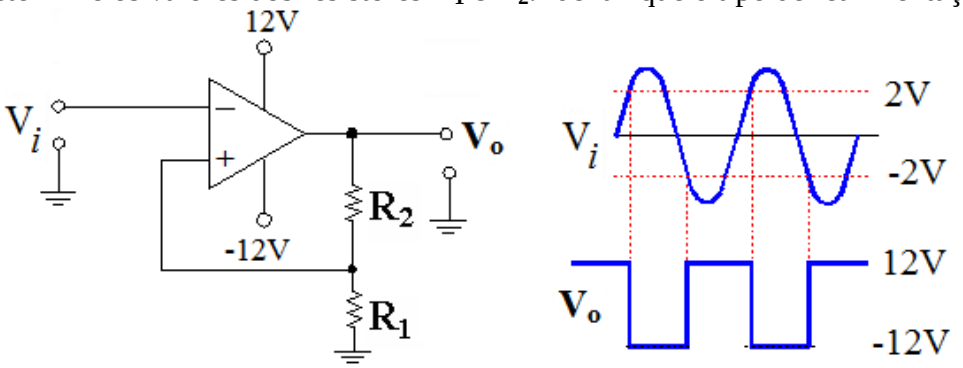
(13) Para o sinal e circuito da figura abaixo, determine a máxima frequência que pode ser usada, a fim de evitar distorções. O SR do amplificador operacional é igual a 0,5V/µs.



(14) Para um amplificador operacional com *Slew Rate* de 2V/µs, qual é o máximo ganho de tensão de malha fechada que pode ser usado quando o sinal de entrada varia 0,5V em 10µs? Observe que a máxima frequência de sinal que um amplificador operacional pode operar depende da banda passante e também do *Slew Rate*.

(15) SCHMITT TRIGGER – COMPARADOR COM HISTERESE

Determine os valores dos resistores **R_1 e R_2.** Identifique o tipo de realimentação.

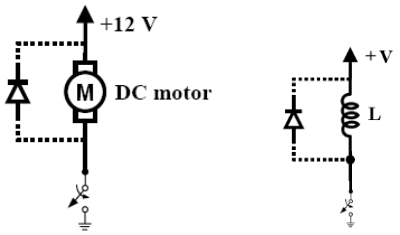


(16) CONVERSOR A/D TIPO SAR (*Sucessive Approximation Register*)

Explique o **princípio de funcionamento** de um *conversor analógico-digital* por *aproximação sucessiva* (**SAR**). Em que dispositivos eletrônicos são largamente empregados esses conversores?

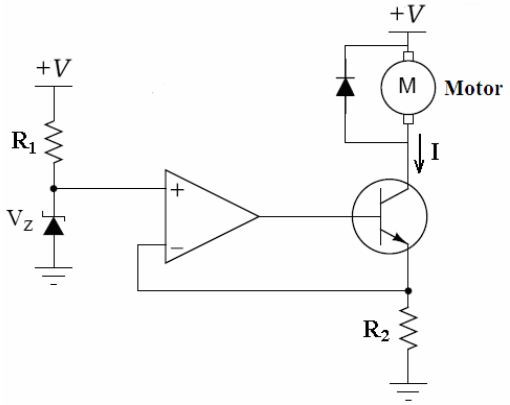
(17) CARGAS INDUTIVAS – Motores e Relés

Frequentemente a indutância não é uma parte intencional do circuito, mas um pouco da consequência do tipo da carga que está sendo ligada ou desligada sobre ele. Os motores e os relés são exemplos de dispositivos que são indutivos. O circuito simples do motor DC mostrado na figura a seguir apresenta comportamento de circuito indutivo. Estes circuitos (motores, relés) normalmente aparecem com a ligação de um diodo em paralelo. Qual a função do diodo em paralelo com o motor DC mostrado no circuito da figura a seguir?

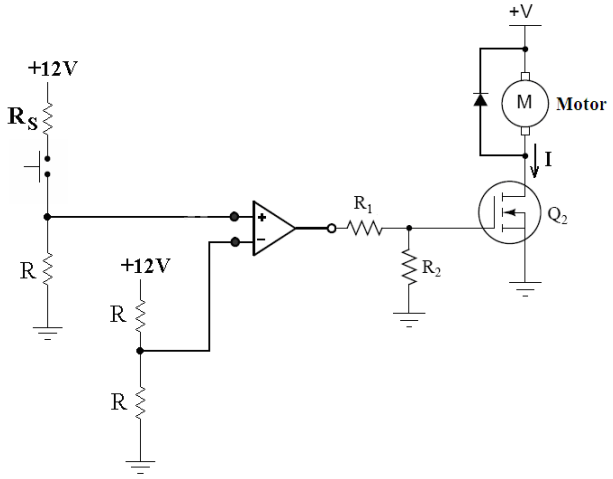


(18) FONTE DE CORRENTE CONSTANTE – Carga flutuante.

Determine os valores dos resistores R_1 e R_2 para que circule uma corrente de 10 mA pelo diodo zener e uma corrente *i*=500 mA pelo motor DC. Considere que o transistor possui um β=200 e V_Z=3V. Determine a potência de dissipação no transistor, no diodo zener, no resistor R_2 e a corrente de saída no amplificador operacional. Considere V_C=15V e o motor operando em ***500mA@9V***. Justifique a funcionalidade do diodo em paralelo com o motor.



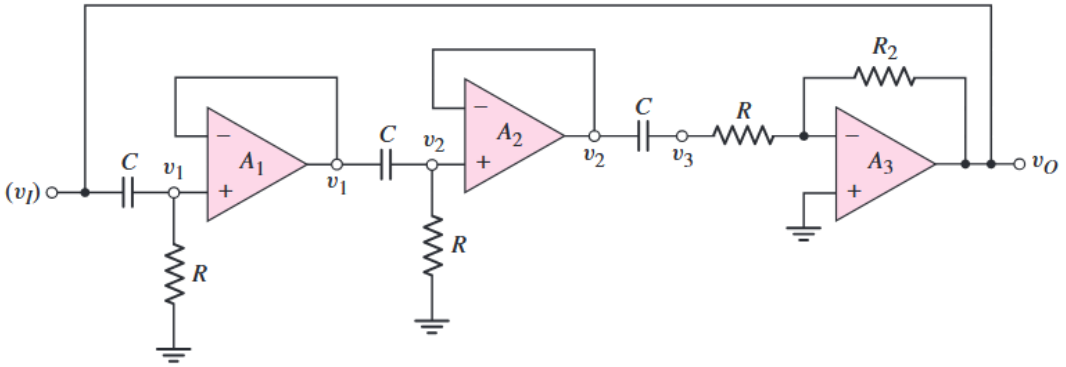
(19) ***<u>ACIONAMENTO DE MOTOR</u>*** - Determine os valores dos resistores $\mathbf{R_S}$, $\mathbf{R_1}$ e $\mathbf{R_2}$ no circuito a seguir para que, ao se pressionar o botão na entrada do amplificador operacional, circule uma corrente de **1A** pelo motor **M** de uma máquina elétrica. Determine a potência de dissipação sobre o transistor MOSFET. Explique o funcionamento deste circuito. Qual a função do transistor e do diodo neste circuito? Identifique a região de operação do amplificador operacional no esquemático a seguir. Considere o amplificador operacional ideal e alimentado com + 12V. Considere o transistor MOSFET canal N com **K=0,25A/V^2 e V_t = 3V. R=10kΩ, V=24Volts.** *Equação do transistor* $I_D = K(V_{GS} - V_T)^2$.



(20) O que você entende por: (A) ***Skin effect*** (*Efeito pelicular*) (B) ***DTMF*** (C) ***Aliasing*** (D) ***ASK, PSK e FSK*** (E) ***SAR*** (F) ***Aproximação Butterworth*** (G) ***Slew Rate*** (H) ***Sample&Hold*** (I) ***Filtro anti-aliasing*** (J) ***Schmitt trigger (Comparador com Histerese)*** (K) ***Duty Cycle*** (L) ***Conversor Buck-Boost***

(21) OSCILADOR SENOIDAL

Aplique as *condições de Barkhausen* ao circuitos oscilador senoidal mostrado na figura a seguir, determine a *frequência de oscilação correspondente* e os valor da *relação* **R_2/R.** Sugira algumas aplicações.

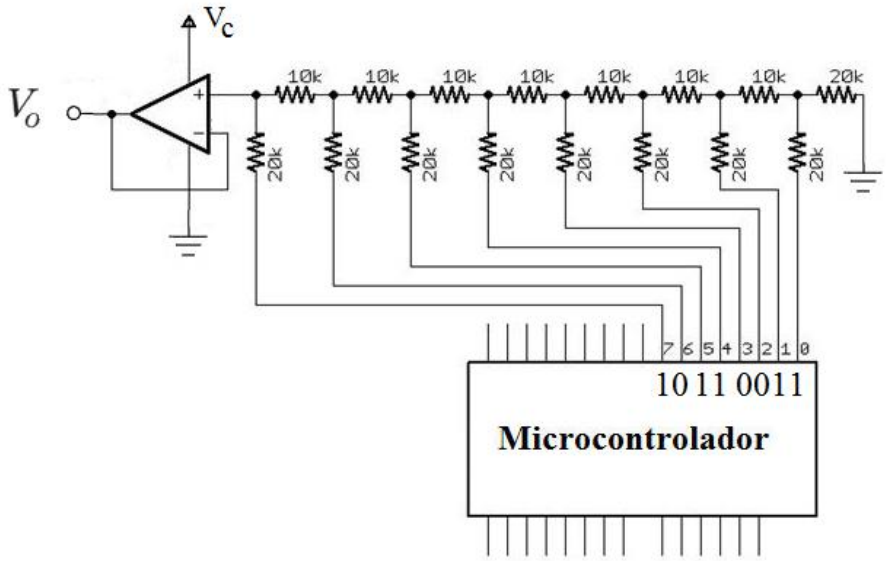


.**(22) CONVERSOR GIGITAL/ANALÓGICO D/A TIPO R-2R**

Considere que o bit "1" é representado por uma tensão V_R=5V.

(A) Determine o valor da tensão na saída V_o. $V_0 =$ _____ mV

(B) Determine o valor da ***palavra binária*** correspondente na saída do *microcontrolador* [entrada do conversor D/A] quando a tensão na saída do conversor D/A for igual $V_0 = 3{,}3203125V$.



(**23**) A expressão a seguir representa a função de transferência H(s) de um filtro ativo passa baixa com aproximação ***Butterworth***. (A) Determine o **ganho H_o**, a **frequência de corte ω_c** e o **fator de qualidade Q**. (B) Apresente um circuito capaz de realizar esse filtro.

$$H(s) = \frac{2.10^8}{s^2 + \sqrt{2}10^3 s + 10^6}$$

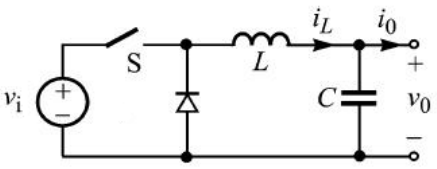
(24) Apresente um circuito capaz de realizar a seguinte função de transferência:

$$H(s) = \frac{V_o(s)}{V_i(s)} = \frac{10}{s^2}$$

Qual a relação, no domínio do tempo, entre a tensão da saída com relação à entrada?

(25) FONTE CHAVEADA (SMPS – *S*witched *M*ode *P*ower *S*upply)

(**I**) Identifique o tipo de fonte chaveada mostrada a seguir e demonstre que, a partir das equações de chaveamento, a **indutância L** e o **capacitor C** podem ser calculados pelas respectivas expressões $L = \frac{V_i - V_o}{\Delta I}\left(\frac{V_o}{fV_i}\right) = \frac{V_i - V_o}{\Delta I}\left(\frac{D}{f}\right)$ e $C = \frac{\Delta I}{8 f \Delta V}$.



$$L = \frac{(V_i - V_o)}{\Delta I_L}\frac{D}{f}$$

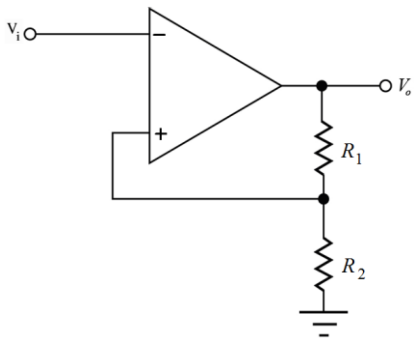
$$C = \frac{\Delta I_L}{8 f \Delta V_o}$$

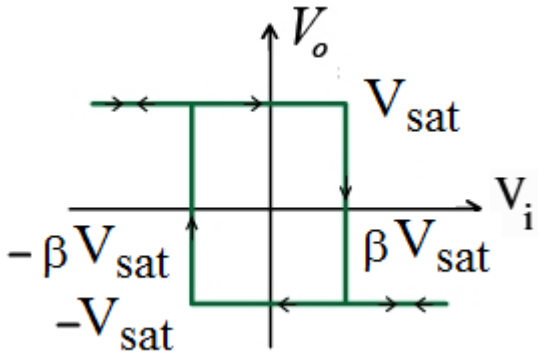
(26) COMPARADOR COM HISTERESE (*Schmitt trigger*)

O circuito *Schmitt Trigger* foi inventado pelo cientista americano *Otto Schmitt* em 1934 quando ainda era um estudante de graduação e descrito mais tarde em sua dissertação de doutorado em 1937.

O comparador *Schmitt-trigger*, comparador com Histerese, também conhecido como circuito **BIESTÁVEL** (dois estados estáveis), difere de um comparador normal pelo fato da sua função de transferência $V_o x V_i$ incluir uma zona não unívoca na região da tensão de comutação (*Threshold*-Limiar), referida como *zona de histerese*.

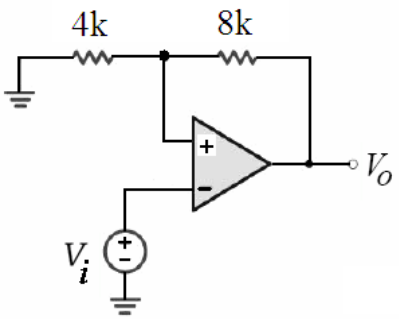
Um amplificador com *histerese* pode ser implementado aplicando-se ***realimentação positiva*** a um amplificador operacional, conforme diagrama a seguir. (A) Explique a sua funcionalidade e sugira uma aplicação. (B) Qual a diferença funcional entre o *comparador janela* e o *comparador com histerese*? (C) Determine β. (D) Sugira uma aplicação.

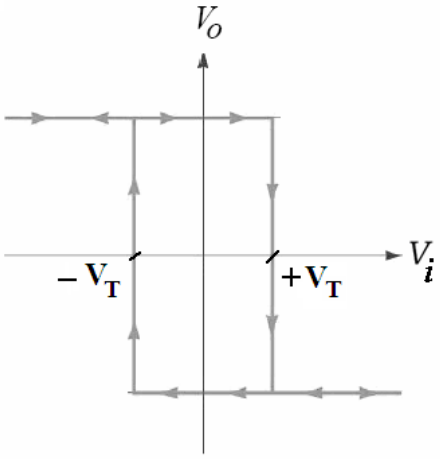




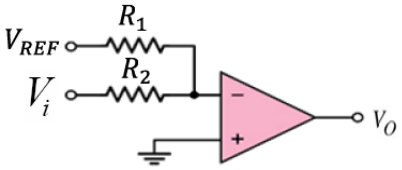
(27) *COMPARADOR POR HISTERESE* (Schmitt Trigger)

Determine o valores das tensões de *threshold* (limiar) $+V_T$ e $-V_T$ para que o circuito a seguir funcione como um ***comparador por histerese*** obedecendo a ***curva característica V_o x V_i*** mostrada. Por que este comparador é considerado um comparador com memória?





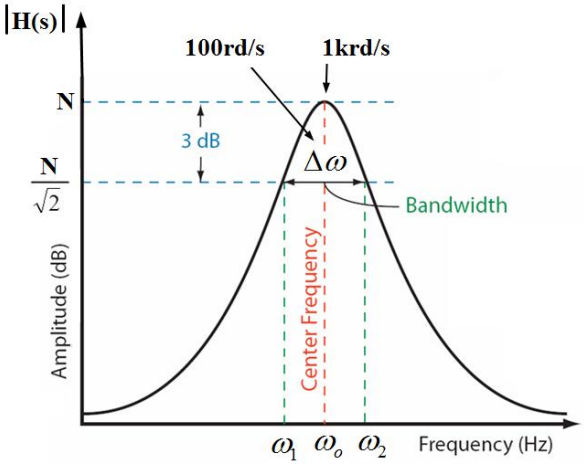
(28) Considere o circuito comparador de tensão a seguir. Determine a ***tensão de threshold***, isto é, ***a tensão V_i na qual a saída muda de estado***.



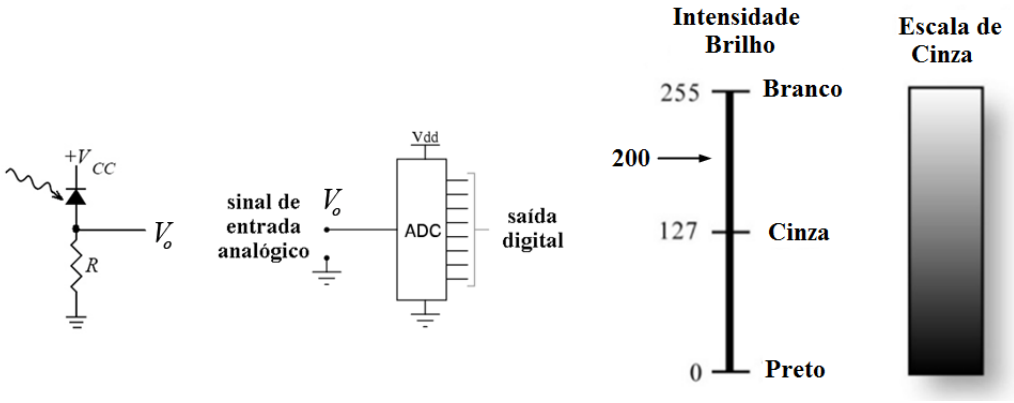
$R_1 = 10\ k\Omega$
$R_2 = 20\ k\Omega$
$V_{REF} = 1.2\ V$

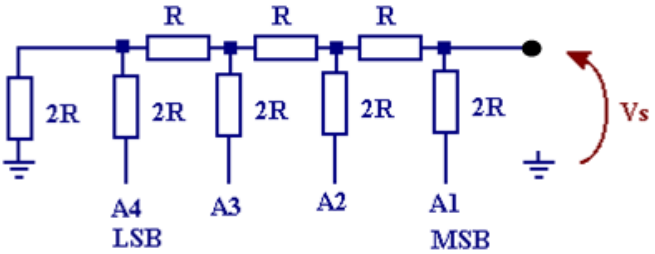
(29) PROJETO DE UM FILTRO ATIVO PASSA FAIXA

(**I**) Escreva a *função de transferência* **H(s)** correspondente ao *Diagrama de Bode* mostrado na figura a seguir. (**II**) Projete um circuito capaz de realizar a correspondente *função de transferência* **H(s)**. (**III**) Determine as *frequências de corte inferior e superior* ω_1 **e** ω_2.
(**IV**) Determine a *localização dos pólos e zeros* de H(s). (**V**) Sugira algumas aplicações.



(30A) CONVERSÃO ANALÓGICA-DIGITAL Considere um conversor A/D de 8 bits operando entre 0-5V usado para conversão de uma intensidade luminosa. **(A)** Determine o valor da ***tensão analógica*** na entrada do conversor A/D e a respectiva ***saída digital*** (*palavra binária*) correspondente a intensidade 200 na escala de intensidade de brilho. (**B)** Determine a ***saída binaria*** e a ***intensidade de brilho*** correspondente para uma entrada analógica igual a 1V.



(30B) CONVERSOR D/A COM REDE R-2R

O circuito seguinte faz a conversão digital-analógica com a vantagem de utilizar apenas dois valores de resistores R e 2R. Determine o valor da entrada binária $A_1A_2A_3A_4$ quando a tensão analógica na saída for igual a V_s**=4,0625V**. Considere a tensão de referência V_R**=5V (bit "1").**