

PARTE II - Circuitos Resistivos Não-Lineares

Problema 2.1 - Amplificador não inversor

Considere o amplificador da figura 2.1. A tensão, v_{in} , na entrada do amplificador operacional (A.O.), que se supõe ideal, é um sinal sinusoidal dado por $v_{in} = V_{im} \cos(\omega t - \phi)$ onde $V_{im} = 3V$, $\omega = 100\pi \text{ rad s}^{-1}$ e $\phi = \pi/8$.

- Trace o andamento de $v_{in}(t)$ e $v_{out}(t)$ entre 0 e 100ms para $R_2 = 4R_1$.
- Repita a alínea anterior para $R_1 = \infty$ e $R_2 = 0$.
- Qual o valor da resistência de entrada do amplificador nas condições das alíneas anteriores? Comente a utilidade do circuito nas condições da alínea b).

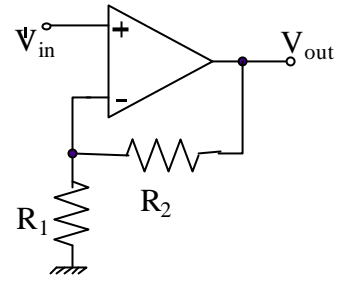


Figura 2.1 - Amplificador não inversor

Problema 2.2 - Amplificador inversor

Considerando que o Amplificador Operacional da figura 2.2 é ideal, e que satura para $v_o = \pm 12V$, qual o valor da tensão de entrada v_s por forma a ter-se uma tensão nula em v_o ? Considere $i_s = 1\text{mA}$ e $R = 1\text{k}\Omega$.

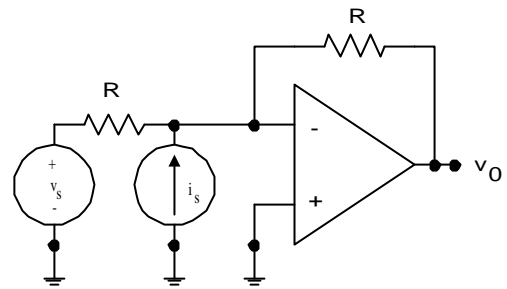


Figura 2.2 - Amplificador inversor

Problema 2.3 - Amplificador inversor

Usando um amplificador operacional ideal projecte um amplificador de baixa frequência com um ganho de tensão igual a -100 e uma resistência de entrada de $1\text{k}\Omega$. Trace o seu esquema eléctrico, indicando o valor dos componentes.

Problema 2.4 - Amplificador inversor

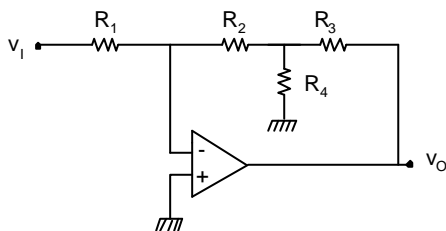


Figura 2.4 - Amplificador com realimentação em T

Calcule o ganho de tensão v_o/v_1 do circuito da figura 2.4, onde se considera o amplificador operacional ideal. Qual a vantagem desta configuração em relação à montagem inversora clássica (só uma resistência de realimentação)?

Problema 2.5 - Amplificador de corrente

Considere o circuito da figura 2.5, onde o amplificador operacional é suposto ideal.

- Análise-o e derive uma expressão para a corrente i_L em função das variáveis indicadas.
- Uma fonte $v_s = 2V$ em série com $R_s = 1\text{k}\Omega$ é ligada ao terminal v_1 . Se $R_1 = 100\text{k}\Omega$, $R_F = 1\text{M}\Omega$ e $R_2 = 10\text{k}\Omega$, determine i_L .
- Fazendo $i_1 = v_1/R_1$, verifique que o circuito funciona como amplificador de corrente (i_L é independente de R_L).

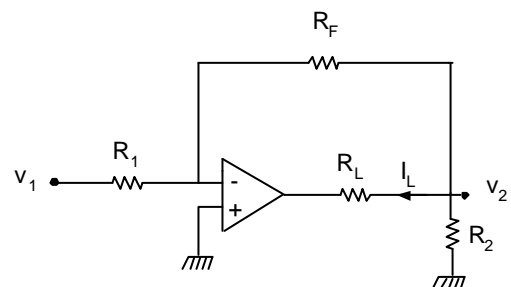
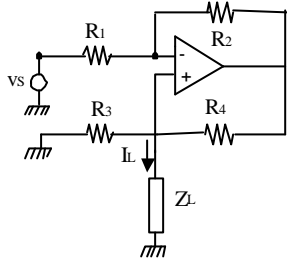


Figura 2.5 - Amplificador de corrente

Problema 2.6 - Fonte de corrente comandada por tensão



No circuito da figura 2.6, verifique que se $R_2/R_1=R_4/R_3$ o circuito é uma fonte de corrente (i_L) comandada por tensão (v_s) para uma carga Z_L com um dos terminais à massa. Considere o amplificador operacional ideal.

Figura 2.6 - Fonte de corrente comandada por tensão

Problema 2.7 - Amplificador somador com saturação

Sabe-se que o amplificador operacional da figura 2.7 satura para $v_0 = \pm 16V$.

- a) Se $v_2=1V$, $v_3=0$ e $v_1=V_{1m} \cos(\omega t)$, qual a amplitude máxima do sinal v_1 que leva o amplificador operacional ao limiar da saturação? Pode utilizar o princípio da sobreposição para a calcular? Justifique.
- b) Para $v_1=v_2=0$, trace a característica $v_0(v_3)$ do circuito.

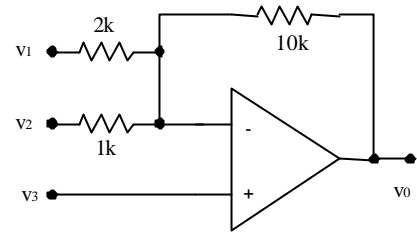
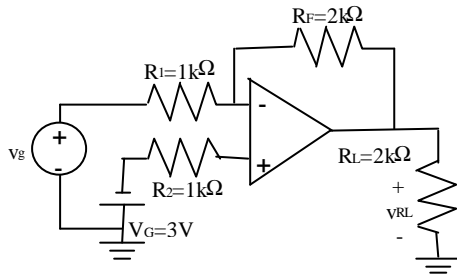


Figura 2.7 - Amplificador somador

Problema 2.8 - Amplificador somador com saturação



- a) Supondo que o AO da figura 2.8 é ideal, a menos das tensões de saturação que valem $\pm 10V$, represente graficamente a característica de transferência $v_{RL}(v_g)$.
- b) Explique o que significa a afirmação feita na alínea anterior "Supondo que o AO da figura 2 é ideal" tendo em conta os cálculos que efectuou na alínea anterior.

Figura 2.8 - Amplificador diferença

Problema 2.9 - Amplificador com dois AOs

Os dois amplificadores operacionais (A.Os.) da figura 2.9 estão polarizados com uma fonte dupla de $\pm 12V$. A tensão de entrada, v_{in} , tem uma amplitude de $1V$. Calcule a amplitude da tensão na saída de cada um dos amplificadores operacionais. Comente os valores obtidos.

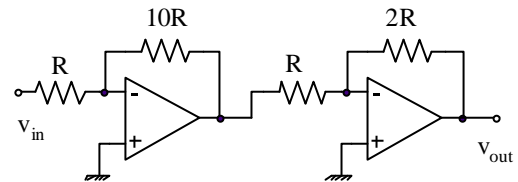


Figura 2.9 - Amplificador com dois A.Os.

Problema 2.10 - Amplificador inversor

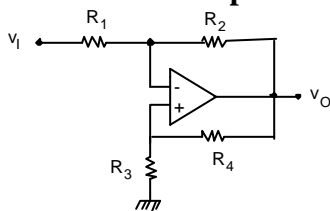


Figura 2.10 - Amplificador inversor

No circuito da figura 2.10 onde o amplificador operacional é ideal e:

$V_{CC}=\pm 15V$, $R_1=20k\Omega$, $R_3=10k\Omega$ e $R_2=R_4=100k\Omega$.

- a) Determine a curva de transferência do circuito $v_0(v_1)$.
- b) Com $R_2=R_4$ diga o que se altera na curva de transferência se:
 - i. - $R_1 = R_3$
 - ii.- $R_1 < R_3$

Problema 2.11 - Integrador positivo

Prove que o circuito da figura 2.11 é um integrador positivo. Para o efeito calcule a relação entre a variável de saída v_o e a de entrada v_i . Considere o amplificador operacional ideal.

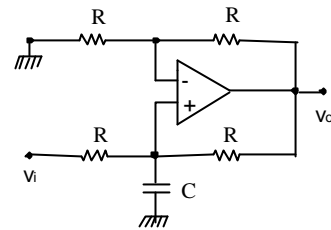
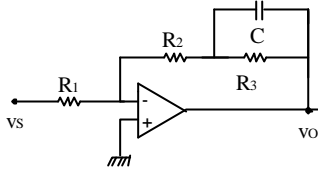


Figura 2.11 - Integrador positivo

Problema 2.12 - Equalizador de amplitude



No circuito da figura 2.12, considerando que o amplificador operacional é ideal, calcule a relação $v_o(v_s)$.

Figura 2.12 - Equalizador de amplitude

Problema 2.13 - Tensão residual

Sugira formas de compensar a tensão residual ou de desvio à entrada (“input offset voltage”) dos amplificadores operacionais. Esclareça em que situações esta característica pode ser prejudicial.

Problema 2.14 - Correntes de polarização

Para os circuitos da figura 2.14, esboce as formas de onda de $v_o(t)$ para $t > 0$ com $v_o(t=0^-) = 0$.

Tenha em conta as limitações do amplificador operacional, que está alimentado com $V_{CC} = \pm 12V$.

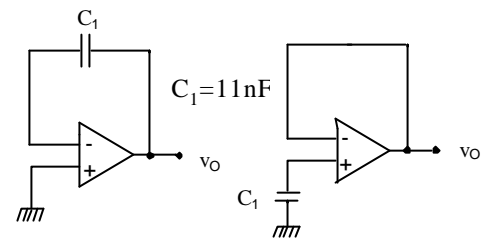
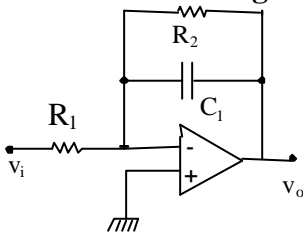


Figura 2.14 - Circuitos integradores

Problema 2.15 - Integrador com perdas



$C_1 = 11nF$
 $V_{CC} = \pm 12V$
 $R_1 = 1k\Omega$
 $R_2 = 1M\Omega$

Figura 2.15 - Integrador

- Calcule a relação $v_o(v_i)$ no circuito da figura 2.15 e estude a sua resposta a uma onda quadrada de 10mV pp (pico a pico).
- Qual a função do circuito e quais as vantagens relativamente a uma montagem sem R_2 ?

Problema 2.16 - Amplificador Operacional em regime não linear

Considere o circuito da figura 2.16.

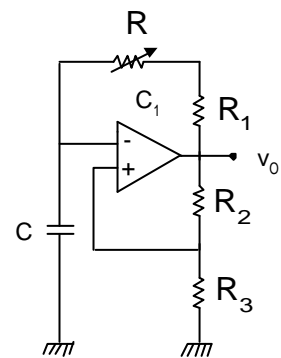
- Análise-o e diga qual a sua função. Esboce as formas de onda $v_o(t)$ e $v_c(t)$.

Sugestão: Considere que no instante $t=0$ o amplificador operacional está saturado e $R=11k\Omega$ (valor médio).

- O que acontece às características dos sinais $v_o(t)$ e $v_c(t)$ quando se varia R ?

$C = 11nF$
 $V_{CC} = \pm 12V$
 $R_1 = 10k\Omega$
 $R_2 = R_3 = 33k\Omega$
 $R = \text{Potenciômetro de } 22k\Omega$

Figura 2.16 - Oscilador de relaxação



Nota: problemas 2.11, 12 e 14 a 16, só resolver após o capítulo 3.

Problema 2.17 - Díodo de junção

O circuito da figura 2.17 é um carregador de baterias de 9V elementar onde a tensão de alimentação v_{in} é sinusoidal de amplitude máxima 20V e frequência 50Hz, $v_{in}=20\text{sen}(2\pi 50t)$. Admita que o díodo D é ideal.

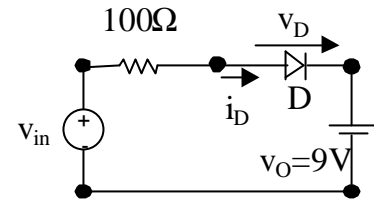


Figura 2.17 - Carregador de baterias

- Represente graficamente as tensões v_{in} e v_D , e corrente i_D , indicando os respectivos valores máximos.
- Que implica, nas especificações dum díodo real, os valores calculados na alínea anterior?

Problema 2.18 - Díodo de junção

O circuito da figura 2.18 é excitado por uma tensão v_{in} triangular, de amplitude máxima 20V e período 20ms ($v_{in}>0$ de $t=0$ a 10ms). Admita que o díodo D é ideal.

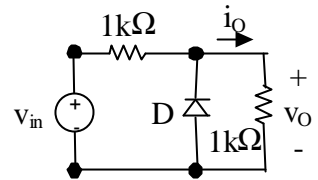


Figura 2.18 - Carregador de baterias

- Represente graficamente a tensão de entrada v_{in} e a tensão v_O e a corrente i_O , na carga de $1k\Omega$.
- Qual é o valor máximo da tensão e corrente suportada pelo díodo.

Problema 2.19 - Lógica DR

Assumindo para os díodos do circuito da figura 2.19 que $r_d=0$, $V_\gamma=0.7V$ e $r_r=\infty$, calcular a tensão de saída v_O nas seguintes condições de entrada:

- $v_1 = v_2 = 5V$
- $v_1 = 5V, v_2 = 0V$
- $v_1 = v_2 = 0V$

Justificar o estado dos díodos em cada situação.

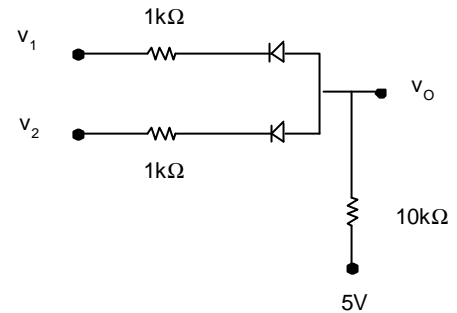


Figura 2.19 - Circuito E lógico (AND)

Problema 2.20 - Lógica DR

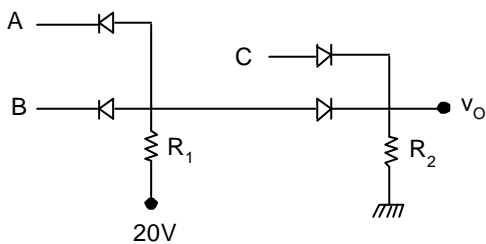


Figura 20 - Função lógica em tecnologia DR

Os valores binários das tensões de entrada do circuito da figura 2.20 são $V(0)=0V$ e $V(1)=10V$. Assuma os díodos como ideais.

- Análise o circuito e obtenha a função lógica $f, v_O=f(A, B, C)$.
- Qual o valor mínimo de R_2 (em função de R_1) para que operação do circuito seja a prevista na alínea anterior?

Problema 2. 21 - Díodos limitadores de tensão

Considere o circuito da figura 2.21a em que os díodos D_1, D_2 e D_3 têm a característica apresentada na figura 2.21b .

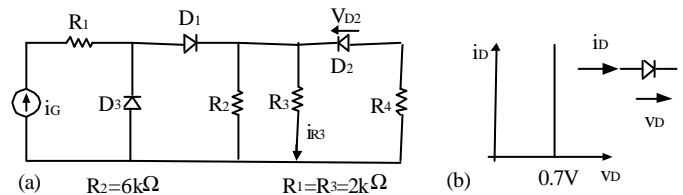


Figura 2.21 - (a) Circuito DR; (b) Característica $i(v)$ dos díodos

- Admita que a fonte i_G fornece 5mA ao circuito. Determine o valor da corrente i_{R3} .
- Nas condições da alínea a), determine a tensão v_{D2} .
- Com $i_G=10\text{sen}\omega t$ (mA), $\omega=2\pi f$, $f=100\text{Hz}$, represente graficamente um período de i_G , de v_{D2} e de i_{R3} .

Problema 2.22 - Díodo de Zener

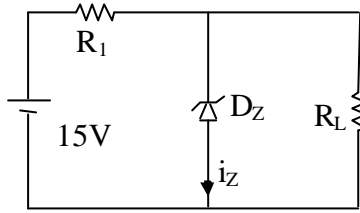


Figura 2.22 - Regulador de tensão a zener

Considere o circuito da figura 2.22 que inclui um díodo de Zener caracterizado na zona inversa por: $V_Z=53V$ e $r_Z=2\Omega$.

- Admita $R_1=40\Omega$. Se a potência máxima dissipada no díodo de Zener é $P_{smax}=800mW$, quais os valores de R_L que garantem um funcionamento seguro?
- Admita agora que a carga $R_L \in [30, 60]\Omega$. Determine um valor de R_1 que garanta que P_{smax} não é excedida em qualquer das condições de carga.

Problema 2.23 - Limitador a díodos

No circuito da figura 2.23 os díodos são ideais e $R_1=R_2=1k\Omega$.

- Calcular e esboçar a curva de transferência $v_o(v_i)$.
- Repita a alínea a) para a corrente em R_1 $i_{R1}(v_i)$ para $0 < v_i < 15V$.
- Repita a alínea a) supondo agora que os díodos têm uma resistência directa $r_f = 0\Omega$, uma tensão de condução $V_\gamma = 0,7V$ e uma resistência inversa $r_r = \infty$.

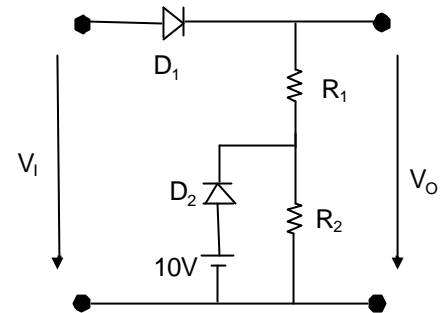


Figura 2.23 - Circuito limitador a díodos

Problema 2.24 - Limitador com Zener

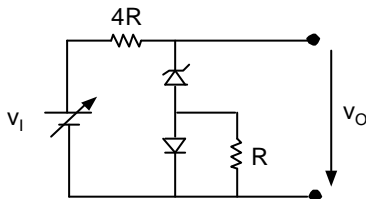


Figura 2.24 - Limitador com um Zener e um díodo de rectificação

No circuito da figura 2.24 os díodos são caracterizados por: $V_{DON}=0,7V$, $V_Z=10V$, $P_{zmax}=2W$.

- Calcule a relação saída- entrada $v_o(v_i)$ para $v_i \in [-3V, +3V]$.
- Quais os limites de v_i para não se exceder a potência máxima no Zener (P_{zmax}), se $R=20\Omega \pm 10\%$?
- Quais os valores extremos que v_o pode assumir?

Problema 2.25 - Limitador

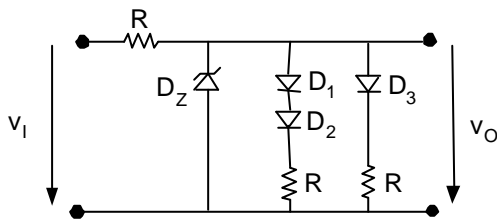


Figura 2.25 - Limitador por troços

É dado o circuito da figura 2.25 onde $V_{DON}=0.7V$, $V_Z=6V$ e $R=1k\Omega$. Considera-se as restantes características dos díodos como ideais.

- Determine a curva $v_o(v_i)$ para $-10V \leq v_i \leq 40V$. Indique as coordenadas dos pontos de quebra e as inclinações dos vários troços, bem como o estado dos díodos em cada um deles.
- Determine a potência máxima dissipada no díodo Zener, nas condições referidas na alínea a).

Problema 2.26 - Limitadores com tensão de desvio

Estude a classe de circuitos que se apresentam na figura 2.26 e que se caracterizam por limitar o máximo (pico) positivo ou negativo do sinal de entrada a um nível de referência, a partir da inserção duma componente contínua. Para o efeito calcule a relação $v_o(v_i)$. Considere os díodos ideais.

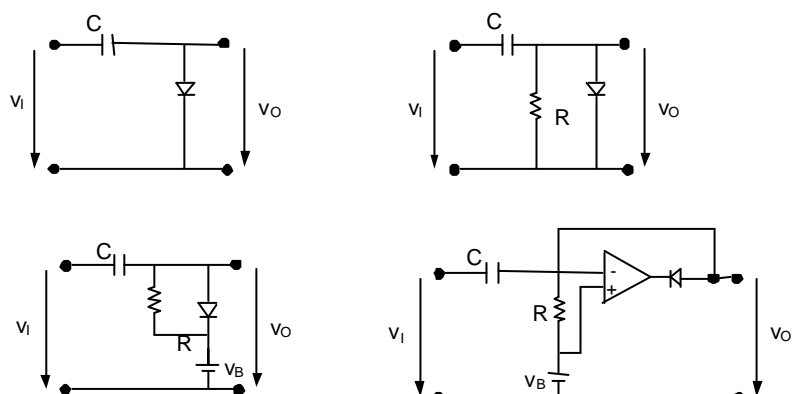


Figura 2.26 - Limitadores com tensão de desvio

Problema 2.27 - Rectificador com filtragem

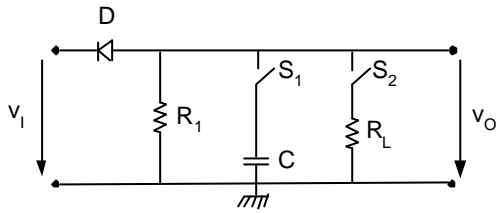


Figura 2.27 - Rectificador de meia onda

Na figura 2.27, o diodo D tem $r_d=0,7V$ e $r_r=\infty$, os componentes valem $R_1=15k\Omega$, $C=22\mu F$ e $R_L=2.2k\Omega$ e o sinal de entrada é caracterizado por $V_{im}=20V$ e $f=50Hz$.
 a) Analise o circuito para S1 e S2 abertos.
 b) Repita a) para S1 fechado e S2 aberto.

c) Comente qualitativamente o funcionamento do circuito para S1 e S2 fechados.

Problema 2.28 - Duplicador de tensão

O circuito da figura 2.28 é excitado por $v_i = V_{Imax} \cos(2\pi ft)$ com $V_{Imax}=10V$ e $f=1kHz$. Os componentes valem: $C_1=C_2=22\mu F$ e $R=15k\Omega$. Considere que os diodos são ideais.

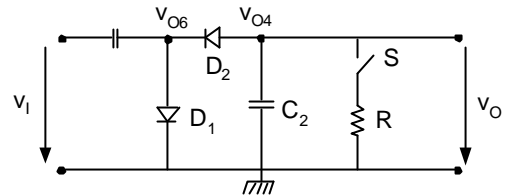


Figura 2.28 - Rectificador com desvio

a) Trace o andamento das formas de onda v_{O6} e v_{O4} quando o interruptor S está aberto.

b) Quais as alterações que se verificam quando S está fechado?

Problema 2.29 - Limitador simétrico

Obtenha a característica de transferência $v_o(v_i)$ do circuito da figura 2.29 onde $V_B=5V$, $R=15k\Omega$ e $v_i = V_{Imax} \cos(2\pi ft)$ com $V_{i max}=10V$ e $f=1kHz$. Assuma que os diodos são ideais.

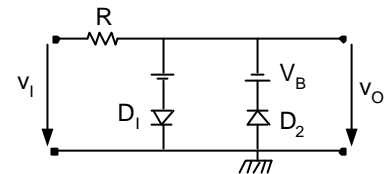
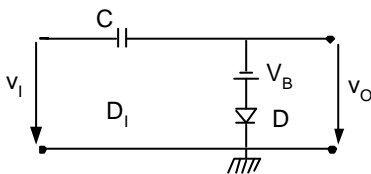


Figura 2.29 - Limitador simétrico

Problema 2.30 - Limitador simples



Obtenha a característica de transferência $v_o(v_i)$ do circuito da figura 2.30 onde $V_B=5V$, $C=22\mu F$ e $v_i = V_{Imax} \cos(2\pi ft)$ com $f=1kHz$ e $V_{i max}=10V$. Assuma que os diodos são ideais.

Figura 2.30 - Limitador simples

Problema 2.31 - Rectificador simples de precisão

Considere o circuito da figura 2.31 onde $v_i=10\cos\omega t$ (V) e o amplificador operacional é ideal. Considere $R_3 \gg R_1+R_2$ e $V_{CC}=\pm 15V$.

a) Determine $v_o(t)$ e $v'_o(t)$.

b) Qual a função do circuito?

c) Como poderia limitar o efeito do valor de R_3 no desempenho do circuito?

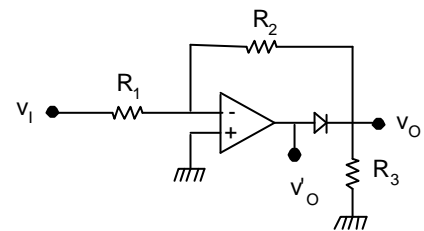


Figura 2.31 - Rectificador de precisão

Problema 2.32 - Porta Lógica com AOs

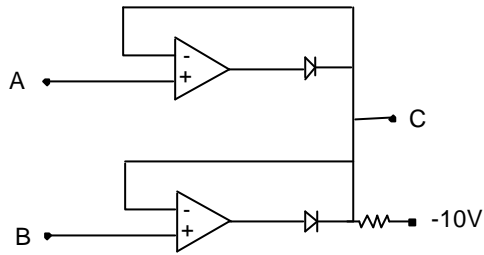


Figura 2.32 - Porta lógica com AOs

No circuito da figura 2.32 os amplificadores operacionais são ideais e alimentados por $V_{CC}=\pm 15V$, os diodos são caracterizados por uma tensão de condução $V_{DON}=0,7V$, e as tensões de entrada podem valer $V_A, V_B = \pm 1V$.

- a) Determine a tensão na saída C (V_C) para as 4 combinações possíveis de V_A e V_B . Qual a função executada pelo circuito?
 b) Qual a tensão máxima de polarização inversa (V_R) aos terminais dos diodos?

Problema 2.33 - Oscilador

Considere o circuito da figura 2.33, onde o amplificador operacional, alimentado com $V_{CC} = \pm 15V$, é ideal e os diodos têm uma tensão de condução $V_\gamma=0.7V$. Determine a variação ao longo do tempo das tensões de saída do AO (v_O) e aos terminais do condensador de $1\mu F$ (v_C). Considere $v_O(0)=0V$ e $v_C(0)=15V$. As resistências valem $R_1=100\Omega$ e $R_2=R=1k\Omega$.

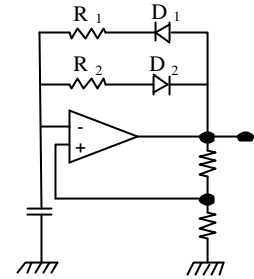


Figura 2.33 - Oscilador de relaxação

Problema 2.34 - Amplificador Limitador

O circuito da figura 2.34 utiliza um amplificador operacional alimentado com $V_{CC}=\pm 10V$ que se supõe ideal. Os componentes valem: $R_1=R_2=R_3=10k\Omega$ e $V_R = 2V$.

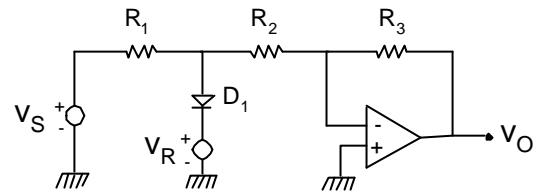


Figura 2.34 - Amplificador Limitador

- a) Trace a curva de transferência $v_O(v_S)$ para $-10V \leq v_S \leq 10V$, supondo o diodo ideal. Qual a função deste circuito?
 b) Repita a alínea anterior para um diodo com $V_{Don}=0.7V$ e $-30V \leq v_S \leq 40V$.

Problema 2.35 - Amplificador com desvio e limitação

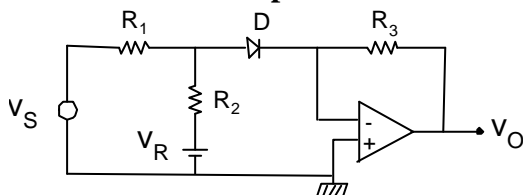


Figura 2.35 - Amplificador com desvio e limitação

O circuito da figura 2.35 utiliza um amplificador operacional ideal alimentado com $V_{CC}=\pm 15V$. Sabe-se que $R_1=10k\Omega$, $R_2=5k\Omega$, $R_3=33k\Omega$ e $V_R=3V$.

- a) Trace a curva de transferência $v_O(v_S)$ para $-20V \leq v_S \leq 20V$, supondo o diodo ideal. Qual a função deste circuito?
 b) Repita a alínea anterior para um diodo com $V_{Don} = 0.7V$.

Problema 2.36 - E Lógico com isolador

Trace a curva de transferência $v_O(v_A)$ da porta lógica AND com isolador (*buffer*) representada na figura 2.36 sabendo que $v_A \in [0,5]V$. Justifique os resultados que obtiver.

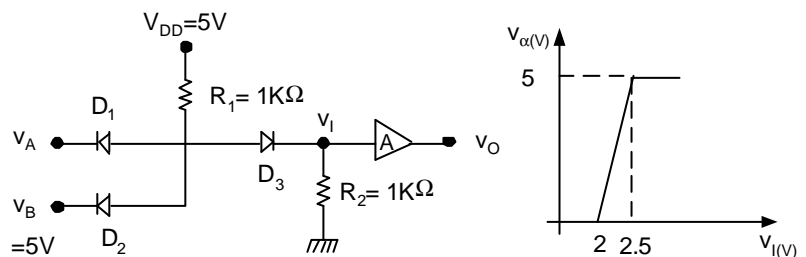


Figura 2.36 - Porta Lógica E com andar isolador na saída

Nota: problemas 2.26 a 28, 30 e 33, só resolver após o capítulo 4.