



INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

Teoria dos Circuitos e Fundamentos de Electrónica

Mestrado em Engenharia Física Tecnológica (MEFT)
Mestrado em Engenharia Biomédica (MEBiom)

Colectânea de Problemas

- 1 – Teoria dos Circuitos
- 2 – Circuitos com Amplificadores Operacionais
- 3 – Circuitos com Díodos
- 4 – Circuitos com Transístores de Junção Bipolar

**Fernando Gonçalves
Teresa Mendes de Almeida**

DEEC – Área Científica de Electrónica

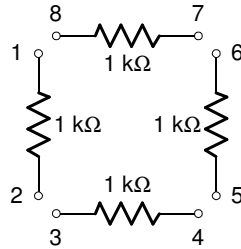
Dezembro de 2007

Parte 1

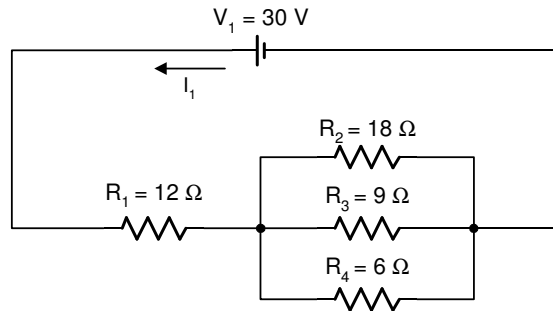
Teoria dos Circuitos

1.1 A figura representa 4 resistências iguais, de valor $1\text{ k}\Omega$, cujos terminais estão numerados de 1 a 8. Indique quais as ligações que se devem estabelecer entre todas as resistências para que se obtenham as seguintes resistências equivalentes:

- a) $4\text{ k}\Omega$ entre os terminais 1 e 8
- b) $1\text{ k}\Omega$ entre os terminais 1 e 5
- c) $750\ \Omega$ entre os terminais 1 e 2
- d) $250\ \Omega$ entre os terminais 1 e 4

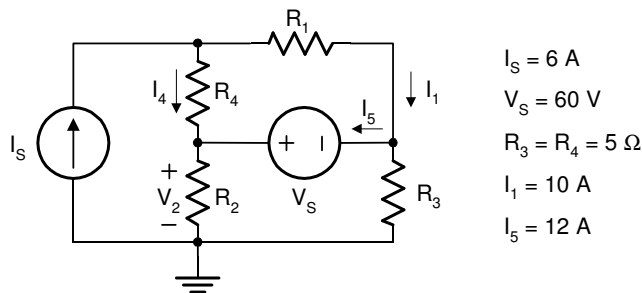


1.2 Para o circuito da figura, calcule a corrente fornecida pela fonte de tensão.



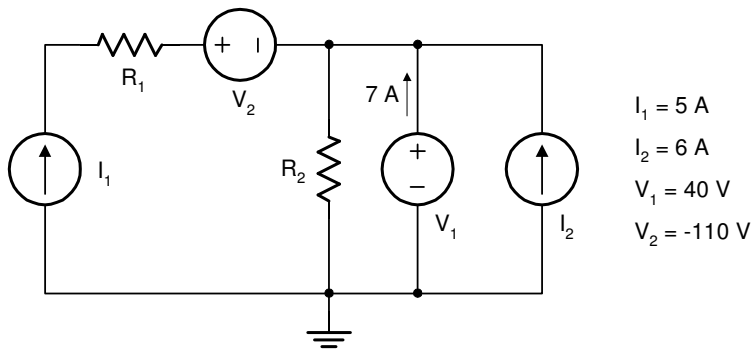
1.3 Considere o circuito da figura.

- a) Indique o número de ramos e de nós.
- b) Determine os valores da corrente I_4 e da tensão V_2 .
- c) Determine os valores das resistências R_1 e R_2 .



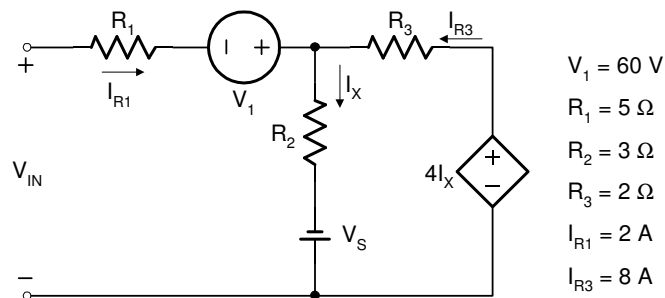
1.4 Considere o circuito da figura.

- a) Utilizando as leis de Kirchhoff obtenha os valores das resistências R_1 e R_2 , sabendo que a fonte de corrente I_1 fornece ao circuito 125 W .
- b) Qual a potência fornecida ao circuito pela fonte de tensão V_1 ?

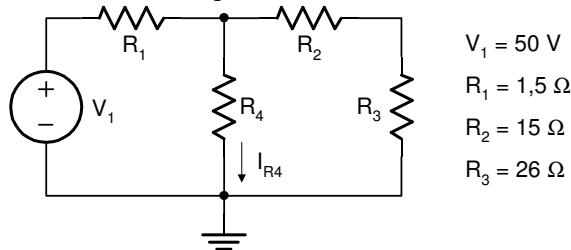


1.5 Use a lei de Ohm e as leis de Kirchhoff para calcular as seguintes grandezas indicadas no circuito da figura.

- Tensão de entrada V_{IN} e a tensão da fonte contínua independente V_S .
- Potência em jogo na fonte dependente $4I_X$.

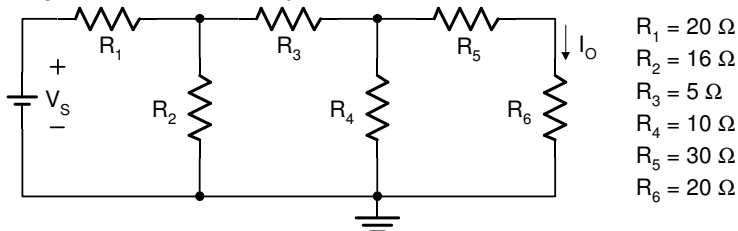


1.6 Quanto tem de valer a resistência R_4 para ser percorrida por uma corrente de 5 A com o sentido indicado na figura ?



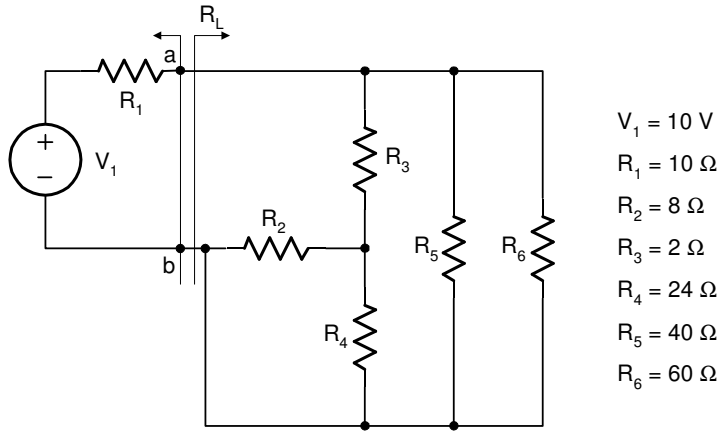
1.7 O circuito da figura tem 3 secções em escada.

- Para se ter $I_0 = 1 \text{ A}$, qual deve ser o valor de V_S ?
- Quanto deve valer V_S para se ter $I_0 = 0,4 \text{ A}$?
- Para $V_S = 100 \text{ V}$, obtenha I_0 .

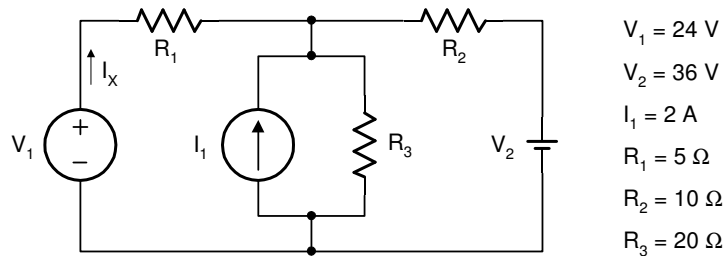


1.8 No circuito da figura, o sub-circuito à esquerda dos terminais a-b representa uma fonte de tensão real e o sub-circuito à direita a sua carga R_L .

- Calcule o valor da carga R_L .
- Determine a corrente fornecida pela fonte de tensão.

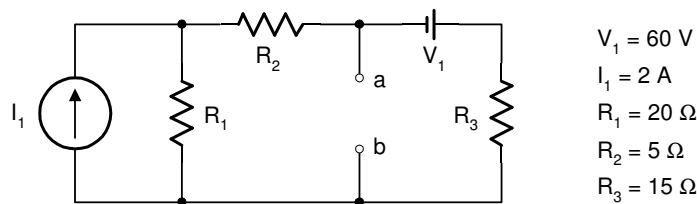


1.9 Para o circuito da figura, use o Teorema da Sobreposição para calcular a corrente I_X .

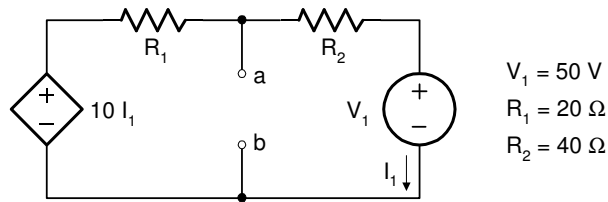


1.10 Considere o circuito da figura.

- Calcule a tensão em vazio, V_{OC} (*open circuit*), a corrente em curto-circuito, I_{SC} (*short circuit*) e a resistência equivalente de Thévenin, R_{TH} aos terminais a-b. Use métodos distintos para cada um dos cálculos: para V_{OC} o método dos nós, para I_{SC} o teorema da Sobreposição e para R_{TH} a sua definição.
- Desenhe os circuitos equivalentes de Thévenin e de Norton, vistos dos terminais a-b.

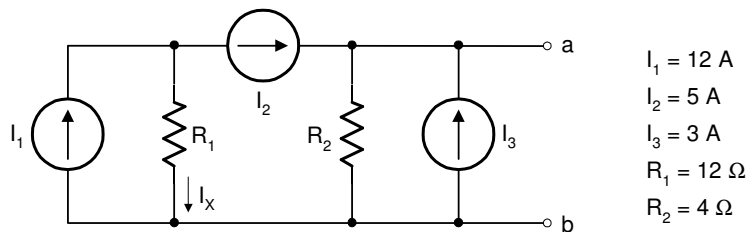


1.11 Obtenha o circuito equivalente de Thévenin aos terminais a-b do circuito da figura.



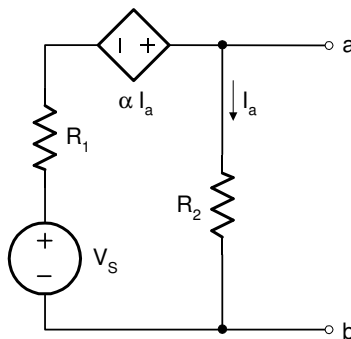
1.12 Considere o circuito da figura.

- Determine os equivalentes de Thévenin e de Norton do circuito da figura, vistos dos terminais a-b.
- Substitua a fonte I_2 por uma fonte de tensão dependente de valor $5I_x$ (com o terminal + à direita) e repita os cálculos para obter os equivalentes de Thévenin e de Norton.



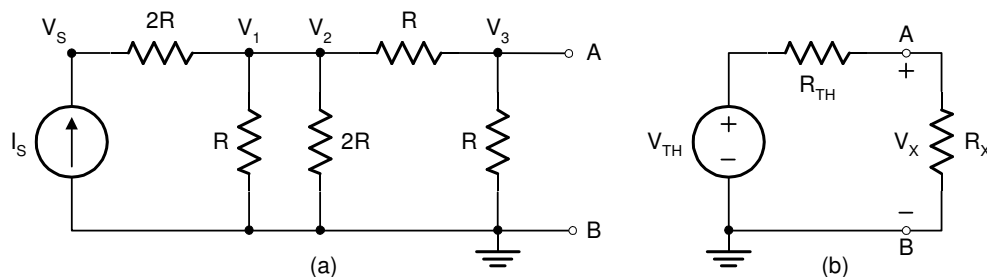
1.13 Considere o circuito da figura.

- Calcule os equivalentes de Thévenin e de Norton, vistos dos terminais a-b, em função do parâmetro α .
- Comente os valores obtidos para a resistência equivalente de Thévenin R_{TH} quando $\alpha > R_1 + R_2$.



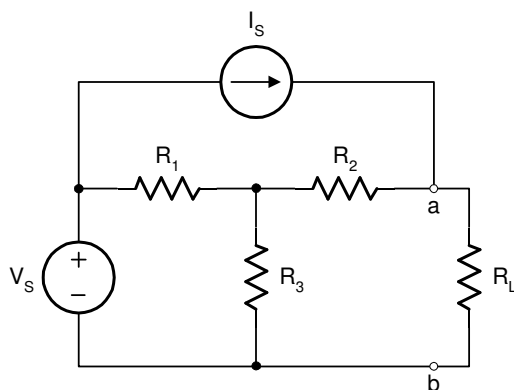
1.14 Considere o circuito da figura.

- Considere que $I_s = 2 \text{ mA}$ e $R = 1 \text{ k}\Omega$. Determine o valor das tensões V_s , V_1 , V_2 e V_3 .
- Determine o circuito equivalente de Thévenin visto dos terminais A-B.
- Considere que se liga uma resistência R_x ao circuito equivalente de Thévenin, como se ilustra na figura (b). Determine o valor que esta resistência deve ter de forma que a tensão aos seus terminais seja 250 mV .



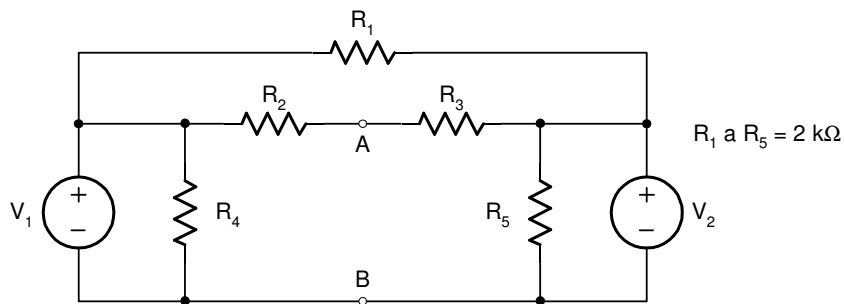
1.15 Determine o equivalente de Thévenin visto aos terminais a-b, nas duas situações seguintes:

- Com uma resistência de carga, R_L , infinita (circuito aberto).
- Com uma resistência de carga finita e não nula.



1.16 No circuito da figura considere que $V_1 = V_2 = 2 \text{ V}$.

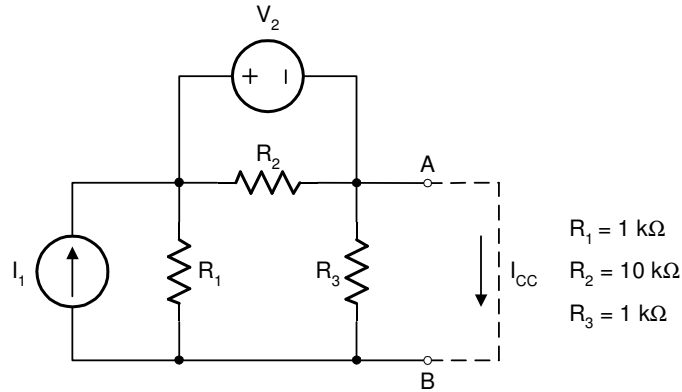
- Determine o circuito equivalente de Thévenin aos terminais A-B.
- Qual o valor da corrente que percorre uma resistência de $1 \text{ k}\Omega$ colocada entre os terminais A e B.



1.17 O circuito da figura representa uma rede resistiva ligada a duas fontes independentes I_1 e V_2 . Considere que $I_1 = 1 \text{ mA}$ e $V_2 = 2 \text{ V}$.

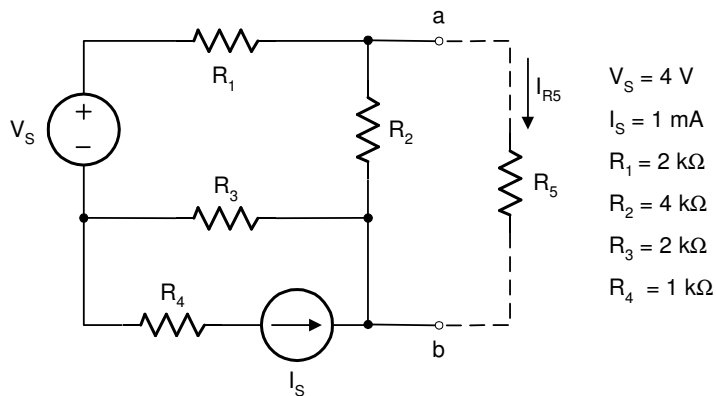
- Determine a tensão entre os terminais A e B, V_{AB} , em circuito aberto.
- Determine a corrente I_{CC} que percorre um curto-circuito colocado entre os terminais A e B.

- c) Com base nos resultados anteriores, desenhe o equivalente de Norton do circuito, indicando o valor dos elementos utilizados.

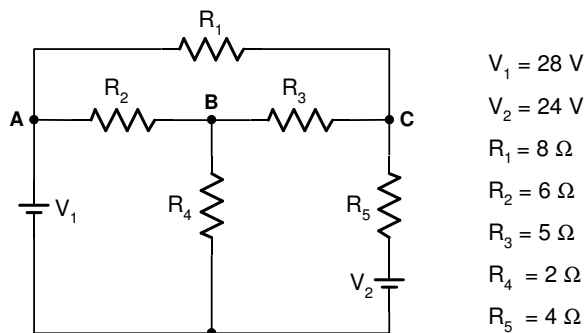


1.18 Considere o circuito da figura.

- Determine o circuito equivalente de Thévenin à esquerda dos terminais a-b.
- A partir do resultado anterior, determine o circuito equivalente de Norton à esquerda dos terminais a-b.
- Considere que se liga a resistência R_5 aos terminais a-b do circuito. Determine o valor desta resistência de forma que o valor da corrente que a percorre seja 0,25 mA.

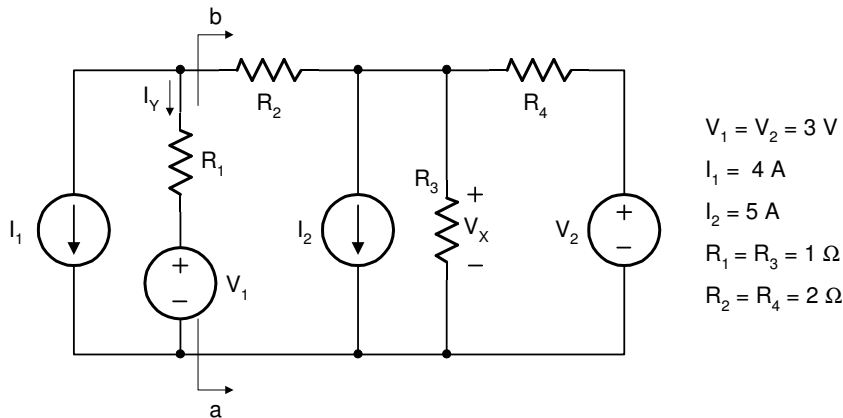


1.19 Calcular as correntes nos ramos e as tensões nos nós do circuito da figura, usando o método dos nós

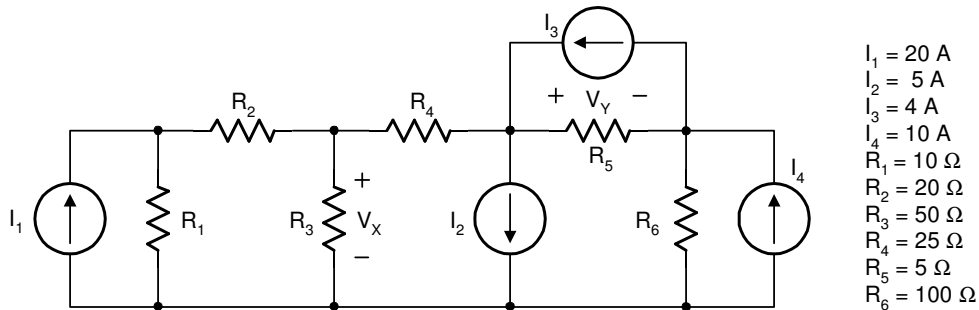


1.20 Considere o circuito da figura.

- Resolva o circuito pelo método dos nós, calculando os valores de V_X e I_Y .
- Obtenha os equivalentes de Thévenin e de Norton à direita dos terminais a-b.
- Substitua o sub-circuito à direita dos terminais a-b pelo equivalente de Norton calculado na alínea anterior. Usando o Teorema da Sobreposição, do modo que considerar mais conveniente, confirme o valor de I_Y calculado na alínea a).

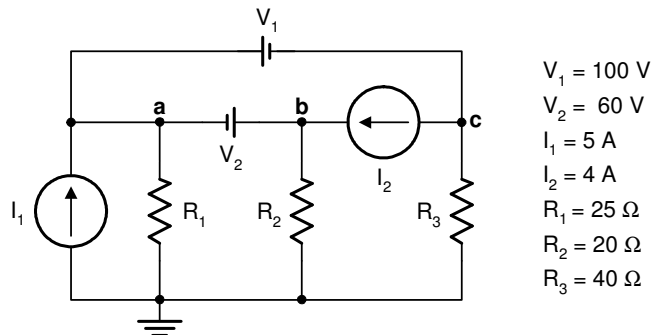


1.21 Determine as tensões V_X e V_Y do circuito da figura.



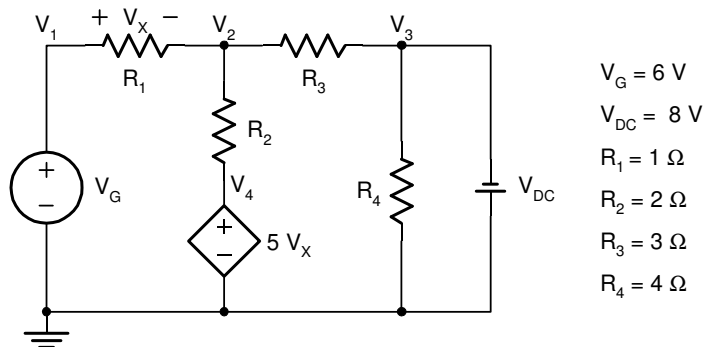
1.22 Utilizando o método dos nós, calcule as seguintes grandezas do circuito da figura:

- tensão no nó c, V_c
- potência fornecida pela fonte de corrente I_1 .



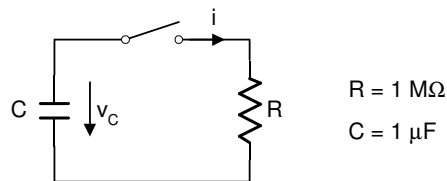
1.23 Pretende-se estudar o circuito da figura usando o método dos nós.

- calcule as tensões nodais V_1 a V_4
- calcule a potência fornecida pela fonte V_G .



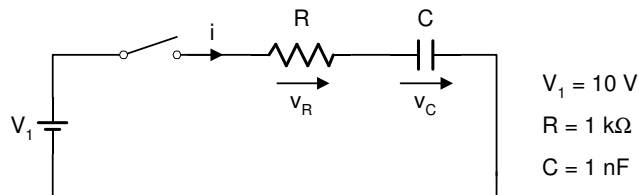
1.24 Considere o circuito da figura, em que o interruptor fecha sendo $v_C = 10 \text{ V}$.

- calcular os valores v_C e i nos instantes 1 s e 2 s após o fecho do interruptor. Representar graficamente $v_C(t)$ e $i(t)$.
- calcular o tempo necessário para que $v_C = 5 \text{ V}$.
- determinar o valor que deveria ter R para que $v_C = 2 \text{ V}$ ao fim de 1 s.

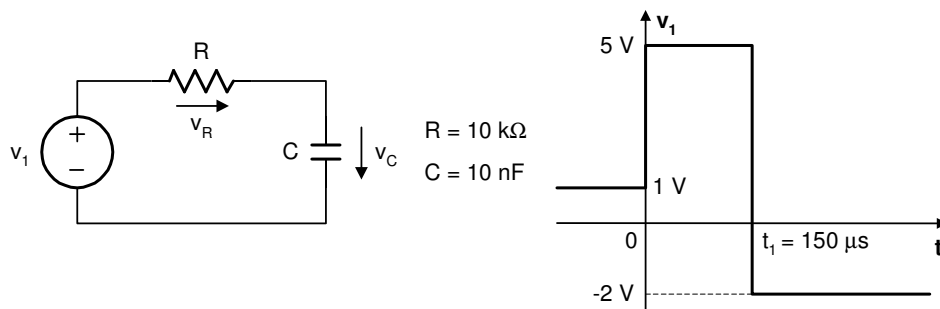


1.25 Considere o circuito representado na figura, em que o condensador está inicialmente descarregado.

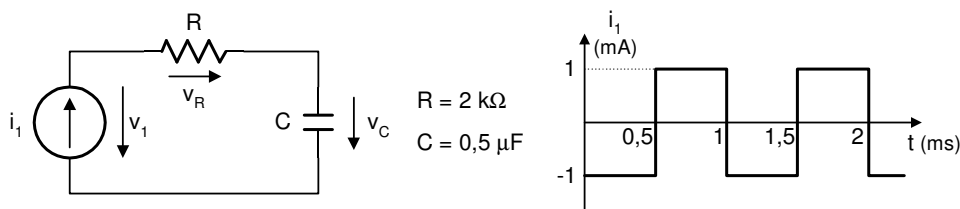
- calcular v_C , v_R e i nos seguintes instantes após o fecho do interruptor: $0,5\tau$, τ , 2τ , 3τ , 4τ e 5τ . Representar graficamente $v_C(t)$, $v_R(t)$ e $i(t)$.
- calcular o tempo de subida de v_C entre 10% e 90% do valor final.



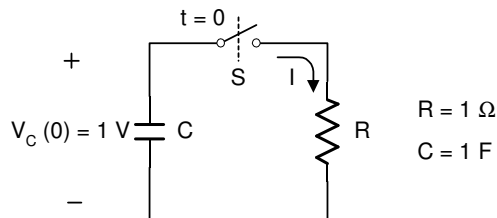
1.26 Considere o circuito representado na figura, em que $v_1(t)$ tem a forma indicada. Determinar as expressões de $v_C(t)$ e $v_R(t)$ e representá-las graficamente.



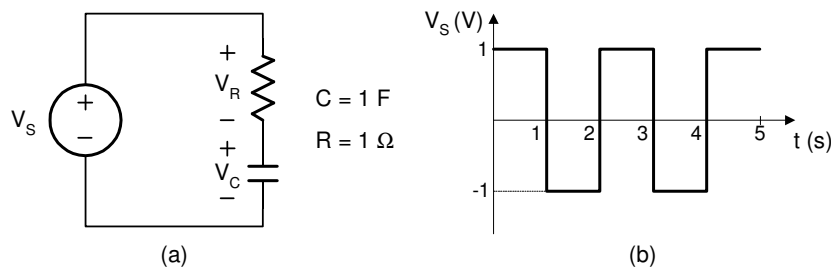
- 1.27** Considere o circuito representado na figura, em que $i_1(t)$ é periódica com frequência 1 kHz e tem a forma indicada. Se o valor médio de $v_C(t)$ for 2 V, calcule os seus valores máximo e mínimo e represente graficamente $v_C(t)$, $v_R(t)$ e $v_1(t)$.



- 1.28** No circuito da figura o condensador está inicialmente (isto é, para $t < 0$) carregado e dispõe de uma tensão de 1 V aos seus terminais. O interruptor S fecha-se no instante $t = 0$.
- Qual a constante de tempo do circuito ?
 - Determine a tensão aos terminais do condensador para $t > 0$.
 - Qual o valor da tensão no condensador ao fim de 1 s ? E ao fim de 4 s ?
 - Esboce graficamente a tensão aos terminais da resistência em função do tempo.
 - Admitindo que o valor da capacidade é constante, discuta a variação da curva esboçada em c) para valores $R \gg 1 \Omega$ e $R \ll 1 \Omega$.

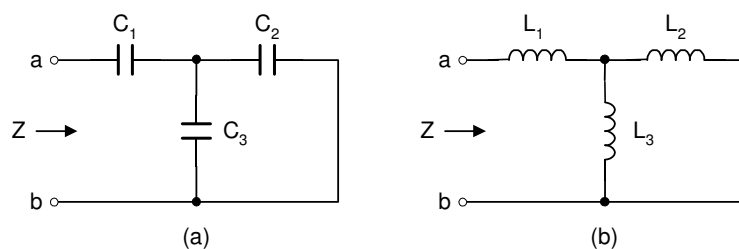


- 1.29** Considere o circuito representado em que V_s tem a forma de onda da figura (b). O condensador encontra-se inicialmente descarregado. Determine e esboce a evolução temporal das tensões aos terminais do condensador e da resistência e da corrente que percorre o circuito.

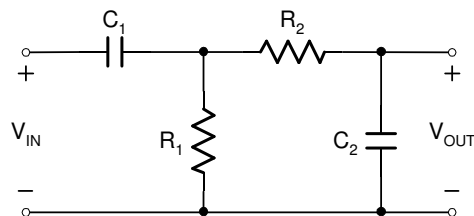


1.30 A figura representa dois circuitos reactivos. Determine a função da impedância equivalente aos terminais a-b, com base nas seguintes metodologias:

- Leis de Kirchhoff dos nós e das malhas.
- Regras de equivalência de associações de elementos.

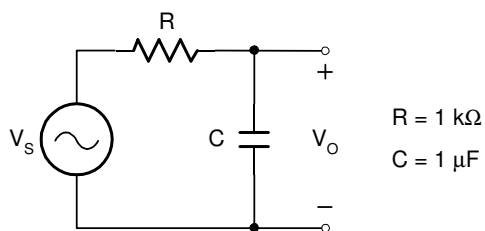


1.31 Considere o circuito representado e analise o seu comportamento como filtro, determinando $|V_{OUT}/V_{IN}|$.



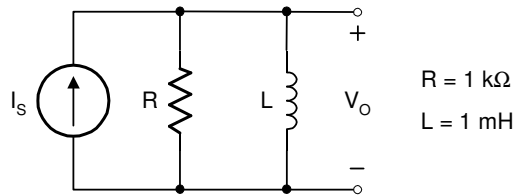
1.32 Considere agora que no circuito da figura o gerador de tensão V_S representa um sinal alternado sinusoidal com frequência f .

- Utilizando a definição de impedância generalizada do condensador, determine a função complexa da tensão aos terminais do condensador, V_O , em função da tensão de entrada, V_S .
- Obtenha a expressão do módulo de V_O/V_S e determine a frequência para a qual esta expressão toma o valor 0,707.



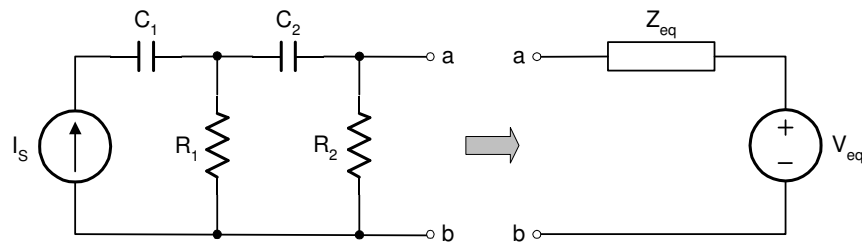
1.33 Considere que no circuito da figura o gerador de corrente I_S representa um sinal alternado sinusoidal com frequência f .

- Utilizando a definição de impedância generalizada da bobine, determine a função complexa da tensão aos terminais da bobine, V_O , em função da corrente de entrada I_S .
- Obtenha a expressão do módulo de V_O/I_S e determine a frequência para a qual esta expressão toma o valor $0,707 \Omega$.



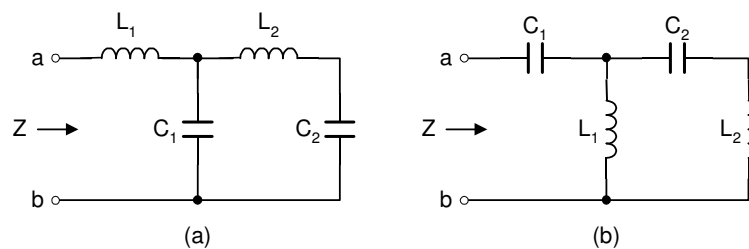
1.34 Para o circuito da figura determine a tensão e a impedância equivalente aos terminais a-b, utilizando as seguintes metodologias de análise:

- Leis de Kirchhoff das malhas e dos nós.
- Teorema de Thévenin.



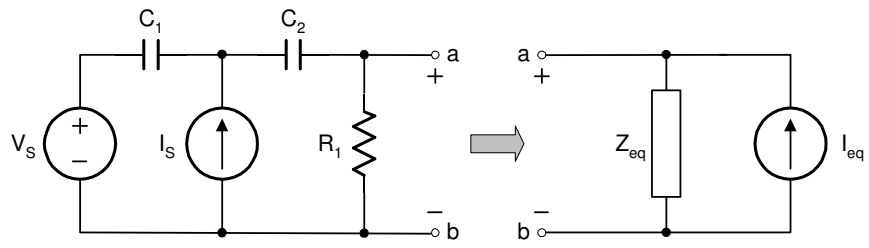
1.35 A figura representa dois circuitos reactivos. Determine a função da impedância equivalente aos terminais a-b, com base nas seguintes metodologias:

- Leis de Kirchhoff dos nós e das malhas.
- Regras de equivalência de associações de elementos.



1.36 Para o circuito da figura determine a tensão e a impedância equivalente aos terminais a-b, utilizando as seguintes metodologias de análise:

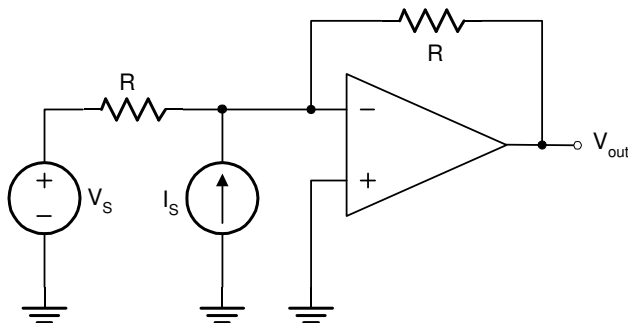
- Leis de Kirchhoff das malhas e dos nós.
- Teorema de Norton.



Parte 2

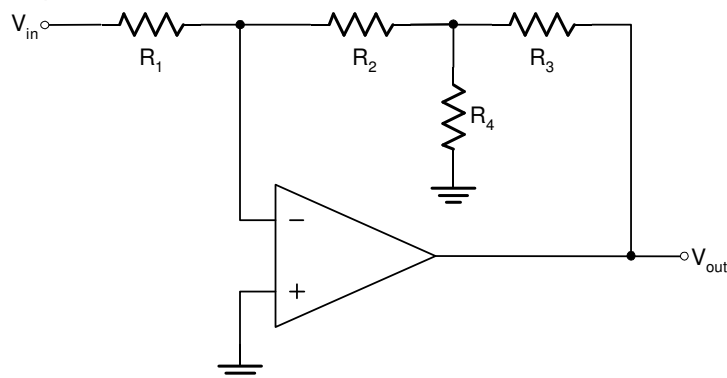
Circuitos com Amplificadores Operacionais

- 2.1 Considerando que o amplificador operacional da figura é ideal, qual o valor da tensão de entrada V_S por forma a ter-se uma tensão nula em V_{out} ? Considere $I_S = 1 \text{ mA}$ e $R = 1 \text{ k}\Omega$.

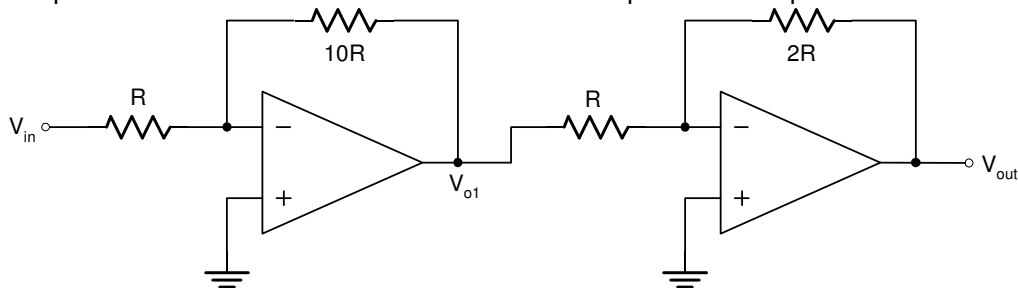


- 2.2 Usando um amplificador operacional ideal, projecte um amplificador com um ganho de tensão igual a -100 e uma resistência de entrada de $1 \text{ k}\Omega$. Desenhe o seu esquema eléctrico, indicando o valor dos componentes.

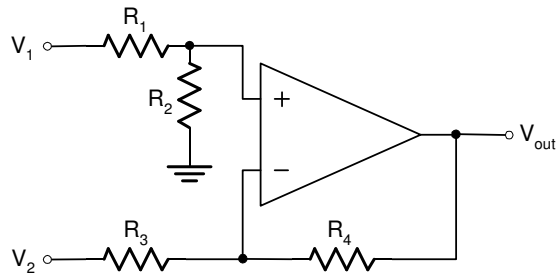
- 2.3 Calcule o ganho de tensão V_{out} / V_{in} do circuito da figura, onde se considera o amplificador operacional ideal.



- 2.4 Os dois amplificadores operacionais ideais da figura estão polarizados com uma fonte dupla de $\pm 12 \text{ V}$. A tensão de entrada, V_{in} , tem uma amplitude de 1 V . Calcule a amplitude da tensão de saída de cada um dos amplificadores operacionais.

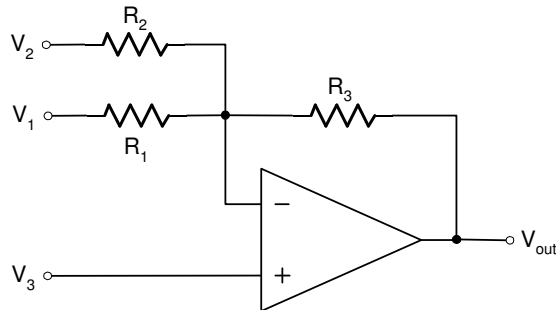


- 2.5 Considere o circuito da figura, na qual o amplificador operacional se considera ideal.
- Determine a expressão de V_{out} em função de V_1 , quando $V_2 = 0$.
 - Determine a expressão de V_{out} em função de V_2 , quando $V_1 = 0$.
 - Utilizando os resultados anteriores, determine a expressão de V_{out} em função de V_1 e V_2 .
 - Dimensione as resistências de forma a realizar a expressão $V_{out} = 2 (V_1 - V_2)$



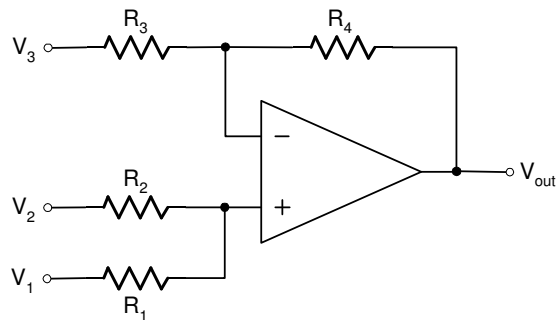
2.6 Considere o circuito da figura, na qual o amplificador operacional se considera ideal.

- Determine a expressão de V_{out} em função de V_1 e V_2 , quando $V_3 = 0$.
- Determine a expressão de V_{out} em função de V_3 , quando $V_1 = V_2 = 0$.
- Utilizando os resultados anteriores, determine a expressão de V_{out} em função de V_1 , V_2 e V_3 .
- Dimensione as resistências de forma a realizar a expressão $V_{out} = 3V_3 - (V_1 + V_2)$



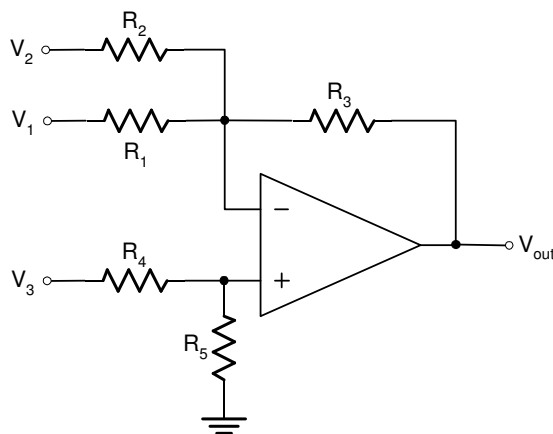
2.7 O circuito da figura representa um operador aritmético de 3 entradas realizado com um amplificador operacional. Para análise do circuito considere que o ganho e a resistência de entrada do amplificador operacional são infinitos.

- Determine a expressão da tensão de saída, V_{out} , em função das tensões de entrada V_1 , V_2 e V_3 .
- Considerando que $R_1 = 10 \text{ k}\Omega$ e $R_3 = 20 \text{ k}\Omega$, determine o valor das restantes resistências do circuito, R_2 e R_4 , de forma a implementar a expressão $V_{out} = V_1 + 2(V_2 - V_3)$
- Determine as relações que se deveriam verificar entre as resistências do circuito de forma a obter-se a expressão $V_{out} = 2(V_1 + V_2) - 3V_3$



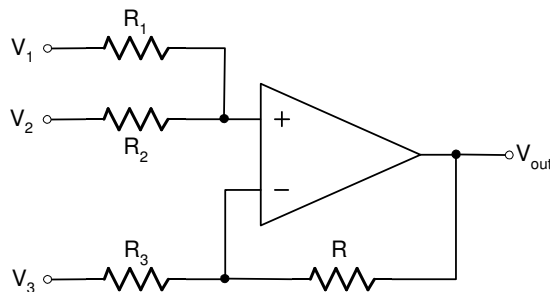
2.8 O circuito da figura representa um amplificador de diferença, com duas entradas inversoras, V_1 e V_2 , e uma entrada não inversora. Para análise do circuito considere que o amplificador operacional pode ser representado pelo seu modelo ideal.

- Determine a expressão da tensão de saída, V_{out} , em função das tensões de entrada V_1 , V_2 e V_3 .
- Determine as relações entre as resistências do circuito de forma a realizar a expressão $V_{out} = \frac{1}{3}V_3 - (V_1 + V_2)$



2.9 O circuito da figura realiza operações aritméticas entre 3 variáveis independentes que correspondem aos sinais de entrada V_1 , V_2 e V_3 . Para a análise do circuito considere que o amplificador operacional tem um ganho infinito e que as tensões de saturação do sinal de saída são +12 V e -12 V.

- Indique quais são as operações aritméticas que afectam cada uma das variáveis independentes à entrada do circuito, consideradas individualmente. Enuncie o princípio da teoria dos circuitos em que baseou a resposta e indique em que condições a sua aplicação é válida.
- Determine a expressão de V_{out} em função de V_1 , V_2 e V_3 .
- Supondo que $R_1 = 4 \text{ k}\Omega$ e $R = 2 \text{ k}\Omega$, determine o valor das restantes resistências, R_2 e R_3 , de forma a realizar a expressão $V_{out} = 2(V_2 - V_3) + V_1$
- Nas condições da alínea anterior considere que $V_1 = V_2 = V_3 = V \sin(2\pi ft)$. Determine o valor máximo da amplitude V de forma que nunca se verifique a saturação da saída do amplificador operacional.



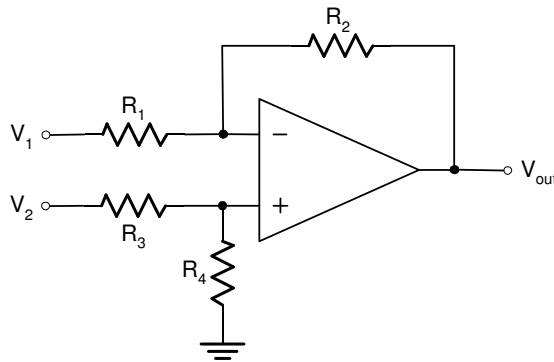
2.10 Considere o circuito de diferença representado na figura, em que as resistências têm os seguintes valores: $R_1 = R_2 = 10 \text{ k}\Omega$ e $R_3 = R_4 = 20 \text{ k}\Omega$.

- a) Calcule o ganho de tensão de modo comum (G_c) e o ganho de tensão de modo diferencial (G_d). A partir destes ganhos, obtenha a Relação de Rejeição de Modo Comum ($RRMC = G_d / G_c$).
- b) Repita a alínea anterior supondo que R_1 sofre um desvio de +1% e que R_2 sobre um desvio de -1%.
- c) Sugira uma solução para compensar os erros das resistências definidos na alínea anterior de forma a eliminar a componente de modo comum da saída.

NOTA 1: As tensões V_1 e V_2 podem ser expressas em função das tensões de entrada de modo diferencial, V_d , e de modo comum, V_c , da seguinte forma:

$$V_1 = -\frac{1}{2}V_d + V_c \quad \text{e} \quad V_2 = \frac{1}{2}V_d + V_c$$

NOTA 2: O desvio relativo é definido como $\Delta(\%) = 100 \times \frac{R_{\text{real}} - R_{\text{ideal}}}{R_{\text{ideal}}}$

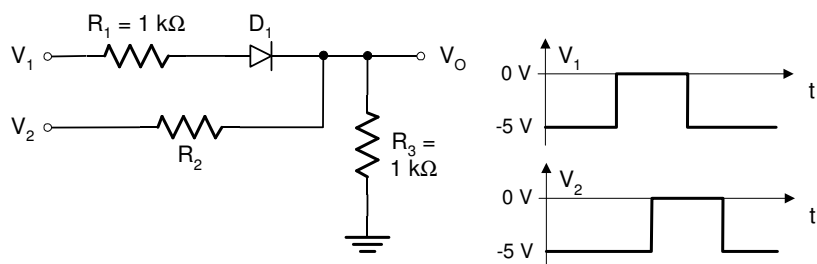


Parte 3

Circuitos com Díodos

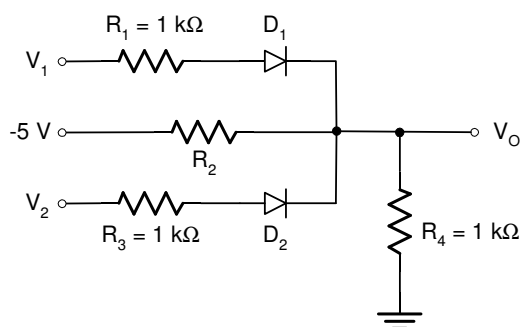
3.1 Considere que no circuito da figura o diodo pode ser representado por um modelo com $V_{ON} = 0,6 \text{ V}$ e $R_D = 0 \Omega$.

- Determine o valor da resistência R_2 para que o valor da tensão de saída seja $V_O = -1 \text{ V}$ quando $V_1 = V_2 = -5 \text{ V}$.
- Considerando o valor de R_2 obtido na alínea anterior, determine a tensão de saída quando $V_1 = 0 \text{ V}$ e $V_2 = -5 \text{ V}$.
- Repita a alínea anterior para o caso em que $V_2 = 0 \text{ V}$ e $V_1 = -5 \text{ V}$.
- Considere agora que as tensões de entrada do circuito, V_1 e V_2 , variam no tempo segundo as formas de onda indicadas. Esboce graficamente a forma de onda da tensão de saída V_O .



3.2 Considere que no circuito da figura os diodos podem ser descritos por um modelo em que $V_{ON} = 0,6 \text{ V}$ e $R_D = 0 \Omega$.

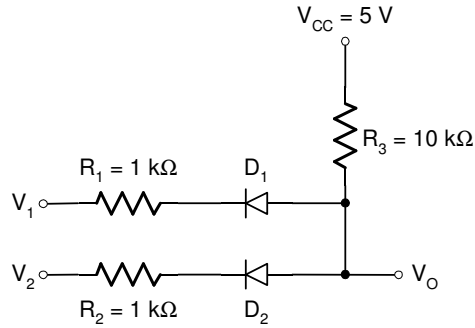
- Para $R_2 = 10 \text{ k}\Omega$, determine o valor da tensão V_O quando $V_1 = V_2 = -5 \text{ V}$.
- Nas condições da alínea anterior determine o circuito equivalente de Thévenin nos terminais de saída (tensão V_O).
- Considere que $V_1 = V_2$. Determine o valor de R_2 para o qual os diodos estão sempre em condução, qualquer que seja o valor das tensões de entrada no intervalo entre $-2,5 \text{ V}$ e 0 V .



3.3 Assumindo para os diodos do circuito que $R_D = 0$ e $V_{ON} = 0,6 \text{ V}$, calcular a tensão de saída V_O nas seguintes condições de entrada:

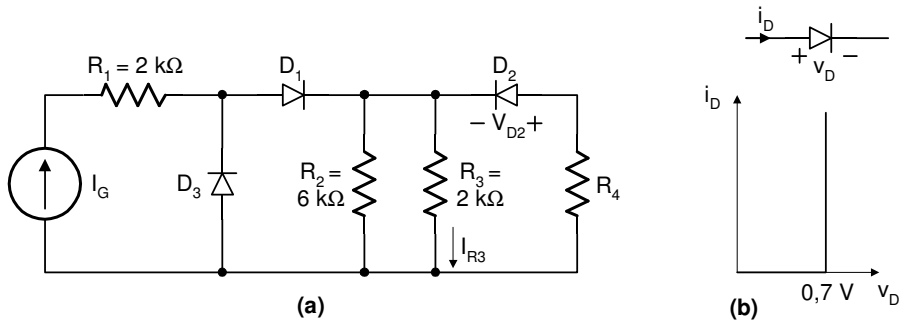
- $V_1 = V_2 = 5 \text{ V}$
- $V_1 = 5 \text{ V}$, $V_2 = 0 \text{ V}$
- $V_1 = V_2 = 0 \text{ V}$

Justificar o estado dos diodos em cada situação.



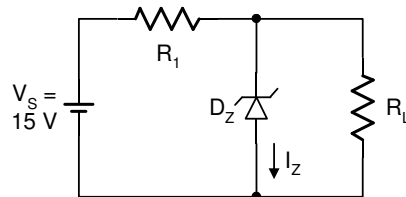
3.4 Considere o circuito da figura em que os díodos D_1 , D_2 e D_3 têm a característica apresentada na figura (b).

- Admita que a fonte I_G fornece 5 mA ao circuito. Determine o valor da corrente I_{R3} .
- Nas condições da alínea a), determine a tensão V_{D2} .



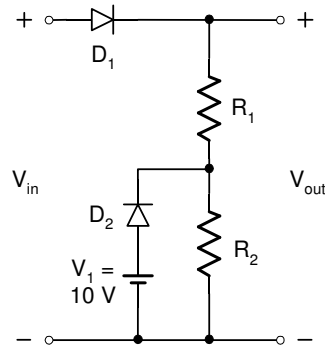
3.5 Considere o circuito da figura que inclui um díodo Zener caracterizado na zona inversa por: $V_Z = 5,3 \text{ V}$ e $R_Z = 2 \Omega$.

- Admita $R_1 = 40 \Omega$. Se a potência máxima dissipada no díodo Zener é $P_{Z\max} = 800 \text{ mW}$, 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 $P_{Z\max}$ não é excedida em qualquer das condições de carga.

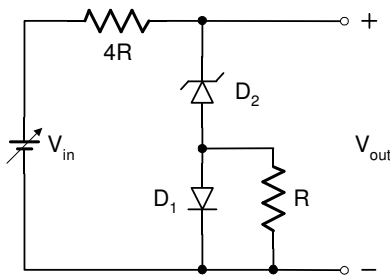


3.6 No circuito da figura os díodos são ideais e $R_1 = R_2 = 1 \text{ k}\Omega$.

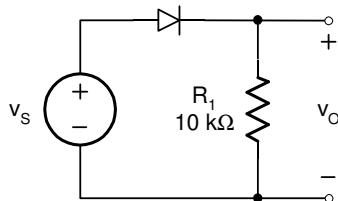
- Calcular e esboçar a curva de transferência $V_{\text{out}}(V_{\text{in}})$.
- Repita a alínea anterior para a corrente em R_1 , $I_{R1}(V_{\text{in}})$, para $0 \text{ V} < V_{\text{in}} < 15 \text{ V}$.
- Repita a alínea a) supondo agora que os díodos têm uma resistência directa $R_D = 0 \Omega$ e uma tensão de condução $V_{\text{ON}} = 0,7 \text{ V}$.



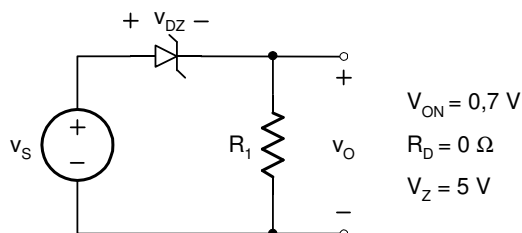
- 3.7** No circuito da figura os díodos são caracterizados por $V_{ON} = 0,7 \text{ V}$, $V_Z = 10 \text{ V}$, $P_{Zmax} = 2 \text{ W}$.
- Calcule a relação saída-entrada $V_{out}(V_{in})$ para $V_{in} \in [-3 \text{ V}, +3 \text{ V}]$.
 - Quais os limites de V_{in} para não se exceder a potência máxima no Zener (P_{Zmax}), se $R = 20 \Omega$?



- 3.8** O circuito da figura representa um circuito retificador positivo de meia-onda. Suponha que $v_S(t) = 5 \sin(\omega t) \text{ [V]}$, com $f = 1 \text{ kHz}$. Determine o valor máximo da corrente na malha e esboce a variação no tempo da tensão de saída v_O para cada uma das seguintes características do díodo:
- $V_{ON} = 0 \text{ V}$ e $R_D = 0 \Omega$.
 - $V_{ON} = 0,5 \text{ V}$ e $R_D = 0 \Omega$.
 - $V_{ON} = 0,5 \text{ V}$ e $R_D = 500 \Omega$.

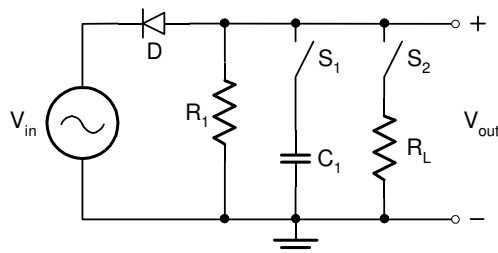


- 3.9** Atente no circuito da figura que inclui um díodo de Zener. Suponha que $v_S(t) = 10 \sin(\omega t) \text{ [V]}$ e $f = 1 \text{ kHz}$. Esboce a variação no tempo das tensões v_O e v_{DZ} .

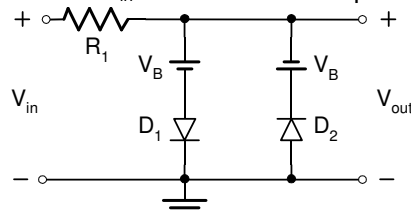


3.10 Na figura, o díodo D tem $V_{ON} = 0,7 \text{ V}$, os componentes valem $R_1 = 15 \text{ k}\Omega$, $C_1 = 22 \text{ }\mu\text{F}$ e $R_L = 2,2 \text{ k}\Omega$ e o sinal de entrada é caracterizado por $V_{in} = 20 \text{ V}$ e $f = 50 \text{ Hz}$.

- Analise o circuito para S_1 e S_2 abertos.
- Repita a alínea anterior para S_1 fechado e S_2 aberto.
- Comente qualitativamente o funcionamento do circuito para S_1 e S_2 fechados.

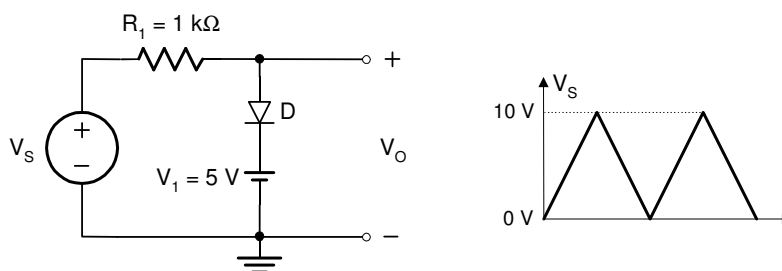


3.11 Obtenha a característica de transferência $V_{out}(V_{in})$ do circuito da figura onde $V_B = 5 \text{ V}$, $R_1 = 15 \text{ k}\Omega$ e $-10 \text{ V} < V_{in} < 10 \text{ V}$. Assuma que os díodos são ideais.



3.12 A figura representa um circuito limitador com um díodo. O gerador de sinal gera uma tensão em forma de onda triangular simétrica, com amplitude entre 0 V e 10 V , tal como se ilustra na figura. Considere que o díodo tem as seguintes características: $V_{ON} = 0 \text{ V}$ e $R_D = 0 \Omega$.

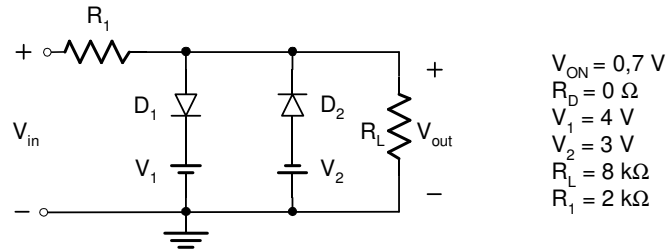
- Esboce a forma de onda da tensão V_O de saída do circuito.
- Esboce a forma de onda da corrente através da resistência R_1 . Comente, justificando, a função desta resistência no circuito.
- Supondo que se ligava uma resistência de $1 \text{ k}\Omega$ à saída do circuito, discuta a alteração dos resultados obtidos nas alíneas anteriores e esboce as formas de onda relevantes.



3.13 Na figura representa-se um circuito limitador de tensão.

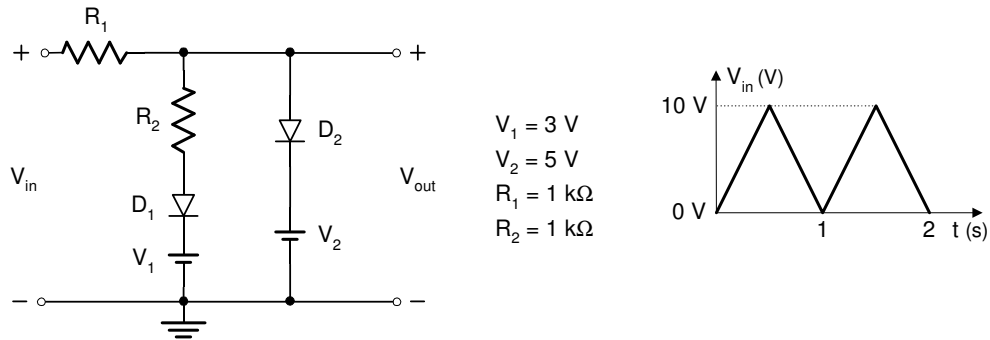
- Determine as tensões V_{in1} e V_{in2} para as quais os díodos D_1 e D_2 , respectivamente, entram em condução.

- b) Supondo que $V_{in} \in [-10 \text{ V}, +10 \text{ V}]$, determine a característica de transferência $V_{out}(V_{in})$ e esboce-a graficamente.
- c) Determine o valor da corrente máxima em cada um dos díodos quando $V_{in} \in [-10 \text{ V}, +10 \text{ V}]$.



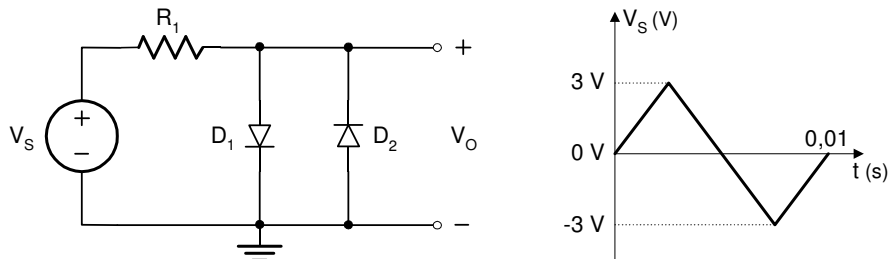
3.14 Considere o circuito da figura na qual se utilizam díodos iguais com as seguintes características: $V_{ON} = 0,7 \text{ V}$ e $R_D = 0 \Omega$.

- a) Determine a característica de transferência $V_{out}(V_{in})$ do circuito.
- b) Esboce a forma de onda da tensão de saída quando o sinal de entrada tem a forma indicada.
- c) Calcule a corrente máxima fornecida pelo gerador de tensão do sinal de entrada considerado.



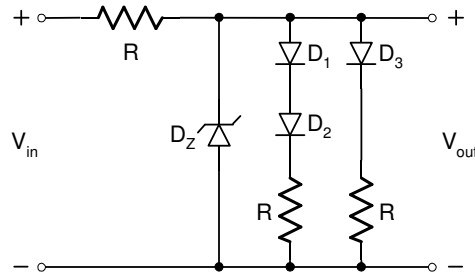
3.15 O circuito da figura representa um limitador de sinal. Considere que o sinal de entrada V_S é descrito por uma função triangular do tipo descrito no gráfico (amplitude entre -3 V e 3 V , frequência: 100 Hz). Considere ainda que $R_1 = 2 \text{ k}\Omega$ e que a característica V-I dos díodos também pode ser aproximada por um modelo em que $V_{ON} = 0,7 \text{ V}$ e $R_D = 0 \Omega$.

- a) Esboce a evolução no tempo de V_O .
- b) Determine o valor da corrente máxima na resistência.

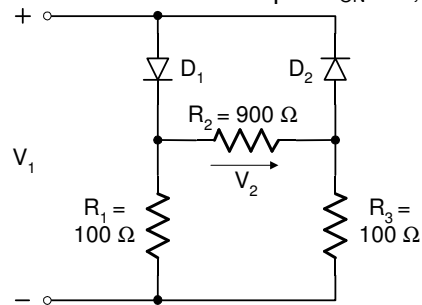


3.16 É dado o circuito da figura onde $V_{ON} = 0,7 \text{ V}$, $V_Z = 6 \text{ V}$ e $R = 1 \text{ k}\Omega$. Considere as restantes características dos díodos como ideais.

- a) Determine a curva $V_{out}(V_{in})$ para $-10\text{ V} < V_{in} < 40\text{ V}$. Indique as coordenadas dos pontos de quebra e as inclinações dos vários troços, bem como o estado dos díodos em cada um deles.
- b) Determine a potência máxima dissipada no díodo Zener, nas condições referidas na alínea anterior.

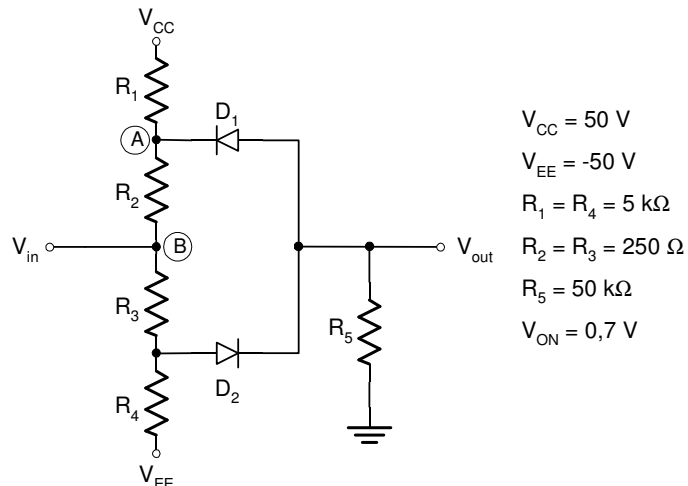


- 3.17** Para o circuito da figura trace graficamente a característica de transferência $V_2(V_1)$. Considere que os díodos são caracterizados por $V_{ON} = 0,7\text{ V}$ e $R_D = 0\ \Omega$.



- 3.18** Dado o circuito da figura

- a) Determine e esboce a característica de transferência $V_{out}(V_{in})$.
- b) Como se modificaria a característica se o terminal de cátodo de D_1 fosse transferido de A para B ?

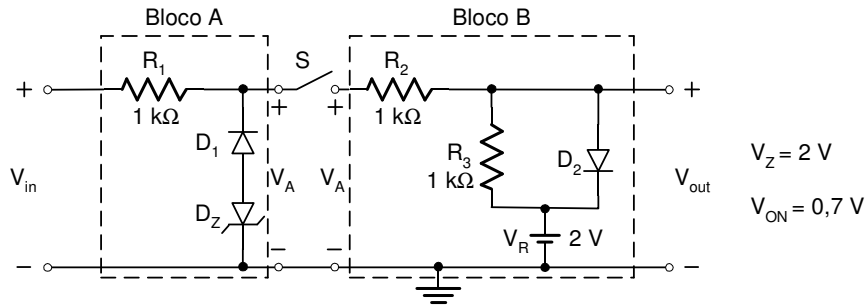


- 3.19** Para o circuito da figura

- a) Determine e esboce a curva de transferência do bloco A, $V_A(V_{in})$ para $-10\text{ V} \leq V_{in} \leq 10\text{ V}$, supondo S aberto.
- b) Determine e esboce a curva de transferência do bloco B, $V_{out}(V_A)$ para $-10\text{ V} \leq V_A \leq 10\text{ V}$.

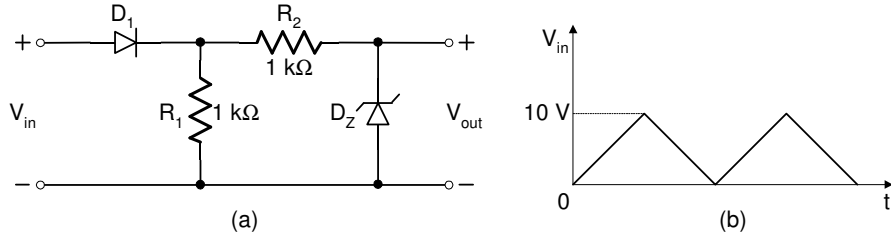
Supondo S fechado,

- Determine V_{out} para $V_{in} = 0$ V.
- Determine e esboce a curva de transferência $V_{out}(V_{in})$ para $-10 \text{ V} \leq V_{in} \leq 10 \text{ V}$.
- Determine a potência máxima dissipada no diodo Zener para $-10 \text{ V} \leq V_{in} \leq 10 \text{ V}$.



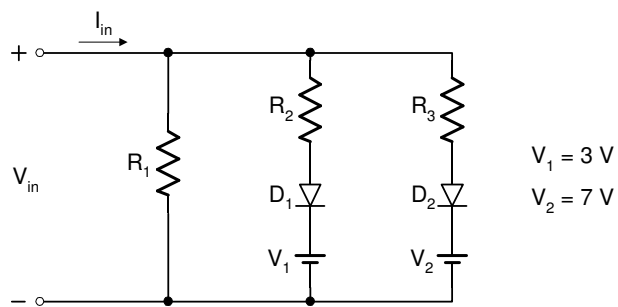
3.20 Considere o circuito da figura e admita $V_Z = 5 \text{ V}$, $R_Z = 0 \Omega$, $V_{ON} = 0,7 \text{ V}$ e $R_D = 10 \Omega$.

- Trace a característica $V_{out}(V_{in})$, indicando as regiões de funcionamento dos díodos para $-20 \text{ V} \leq V_{in} \leq 20 \text{ V}$.
- Desenhe $V_{out}(t)$ quando $V_{in}(t)$ corresponde ao sinal representado na figura (b).
- Diga qual a função de R_1 e R_2 .



3.21 Pretende-se com o circuito da figura obter uma aproximação por segmentos da relação $I_{in} = 0,1V_{in}^2$ entre a corrente e a tensão de entrada do circuito, sendo a corrente dada em mA e a tensão em V. Admitindo os díodos ideais:

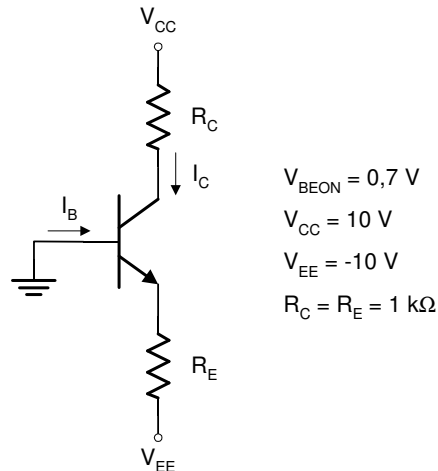
- Dimensione as resistências R_1 , R_2 e R_3 por forma que a corrente I_{in} seja determinada com exactidão pela relação quadrática para $V_{in} = 2; 4; 8 \text{ V}$.
- Calcule o erro na determinação da corrente para $V_{in} = 3; 7 \text{ V}$.
- Trace o gráfico de $I_{in}(V_{in})$ desejado e o gráfico linear por troços da aproximação obtida com o circuito, para $V_{in} \in [0 \text{ V}, 12 \text{ V}]$.
- Verifique se existem outros valores de V_{in} para os quais a corrente é determinada com exactidão pela função quadrática dada.



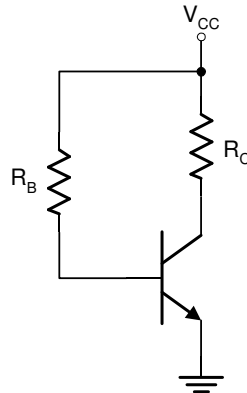
Parte 4

Circuitos com Transístores de Junção Bipolar

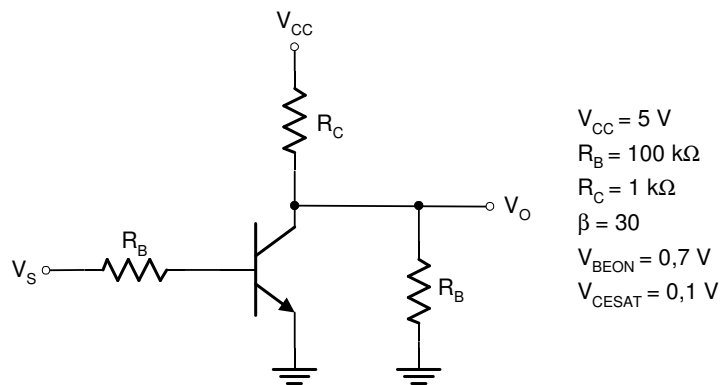
- 4.1** No circuito da figura considere que o transístor possui um ganho de corrente $\beta = 100$. Determine:
- A corrente de colectador, I_C .
 - A tensão colectador-emissor, V_{CE} .



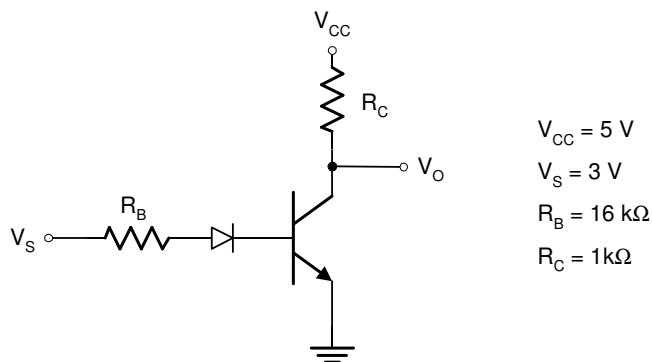
- 4.2** O transístor da figura tem $\beta = 100$ e $V_{BEON} = 0,7 \text{ V}$. Pretende-se um funcionamento com $I_C = 2 \text{ mA}$ e $V_{CE} = 6 \text{ V}$.
- Dimensione R_C e R_B para $V_{CC} = 12 \text{ V}$.
 - Considerando o dimensionamento efectuado na alínea anterior, mas assumindo que β é 40, calcule os novos valores de I_C e V_{CE} .



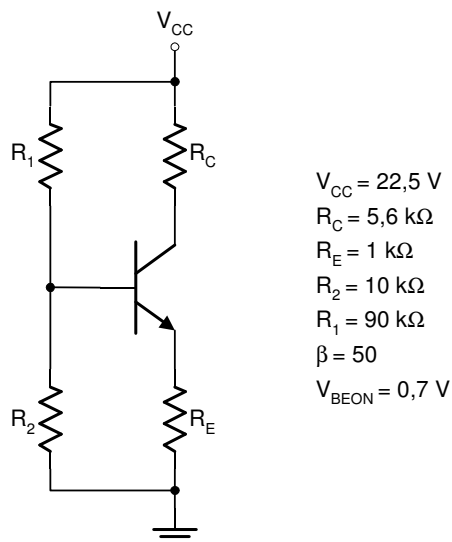
- 4.3** No circuito da figura calcule os valores de V_S para os quais se dá a passagem do transístor do corte para a zona activa e da zona activa para a saturação. Esboce a característica $V_O(V_S)$ por troços lineares.



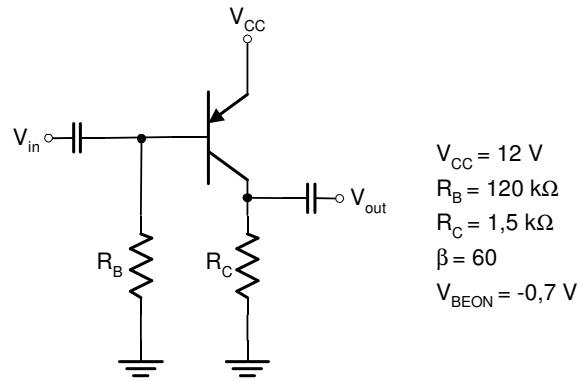
- 4.4** Suponha $\beta = 30$ e $V_{BEON} = 0,7 \text{ V}$ para o transistor da figura e que $V_{ON} = 0,7 \text{ V}$ para o díodo. Calcule as correntes de base e coletor do transistor e a tensão na saída para os valores indicados.



- 4.5** Calcule o ponto de funcionamento em repouso do transistor. Que acontece se R_2 se desligar?

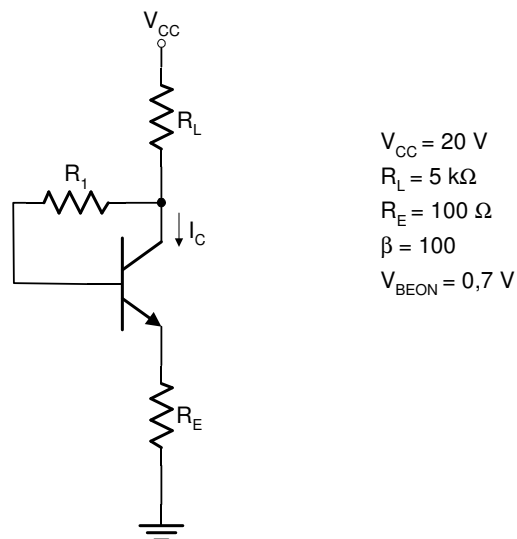


- 4.6** O circuito da figura é constituído por um transistor bipolar do tipo PNP. Determine o ponto de funcionamento em repouso desse circuito.

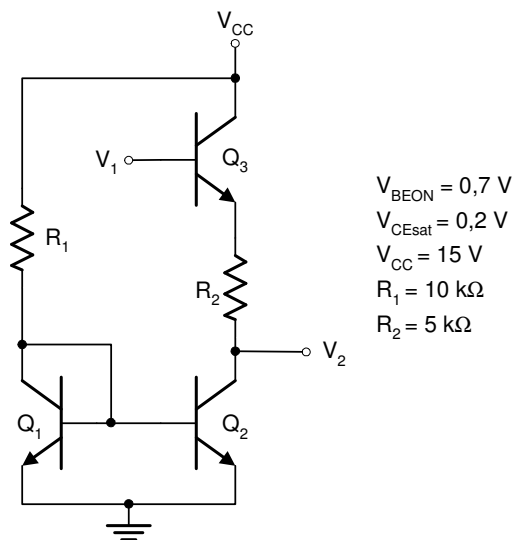


4.7 No circuito da figura:

- Calcule R_1 para se ter $V_{CE} = 4\text{ V}$.
- Determine I_C (β , elementos do circuito).
- Mostre que para $V_{CC} > 0,7\text{ V}$ o circuito exterior garante o transístor a funcionar na região activa.

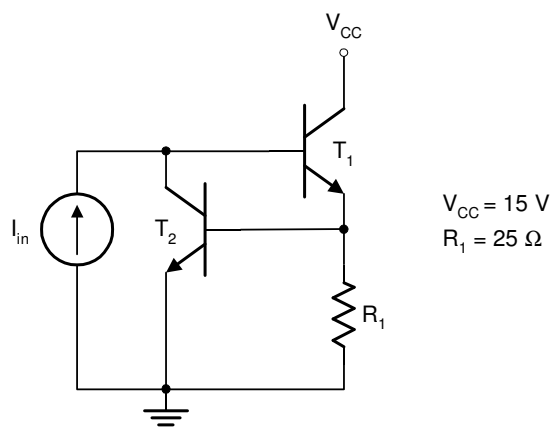


4.8 No circuito da figura com transístores idênticos e com β muito grande, calcule $V_2 - V_1$, determinando ainda os limites de validade do cálculo.



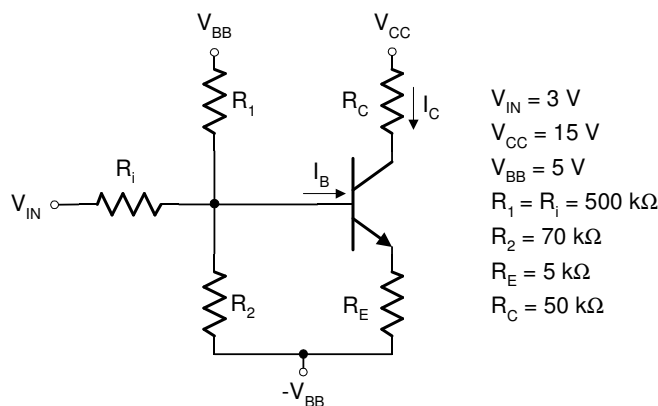
4.9 No circuito da figura $T_1 = T_2$ com $\beta = 500$ e $V_{BEON} = 0,6$ V.

- Retirando T_2 do circuito, determine o ponto de funcionamento em repouso de T_1 para $I_{in} = 1$ mA.
- Determine $I_{C1}(I_{in})$ do circuito completo para $0 \leq I_{in} \leq 0,22$ mA.
- Dimensione R_1 por forma a $I_{C1max} = 30$ mA.



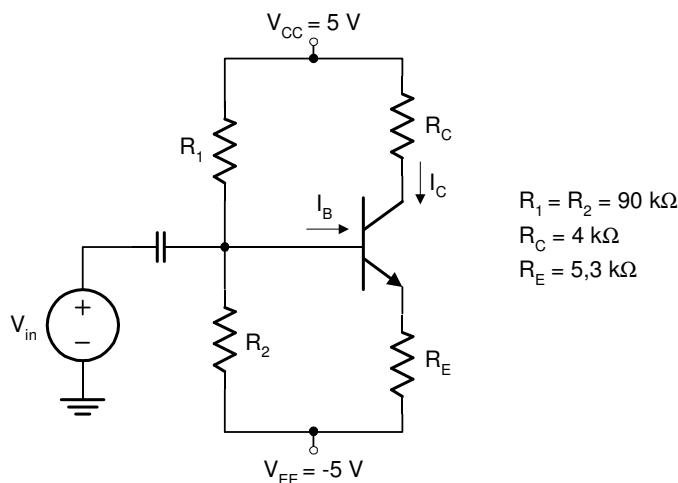
4.10 No circuito da figura considere que o transistor possui um ganho de corrente $\beta = 100$ e $V_{BEON} = 600$ mV. Determine:

- A corrente de colector, I_C .
- A tensão colector-emissor, V_{CE} .



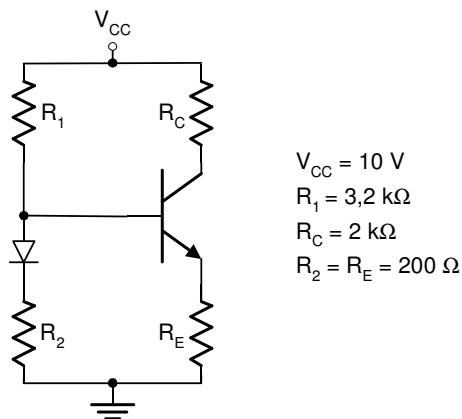
4.11 No circuito da figura considere que o transistor possui um ganho de corrente $\beta = 100$ e $V_{BEON} = 600 \text{ mV}$. Determine:

- A corrente de coletor, I_C .
- A tensão coletor-emissor, V_{CE} .
- A tensão de emissor, V_E .
- A tensão base-coletor, V_{BC} .
- Indique o papel do condensador de acoplamento no circuito.



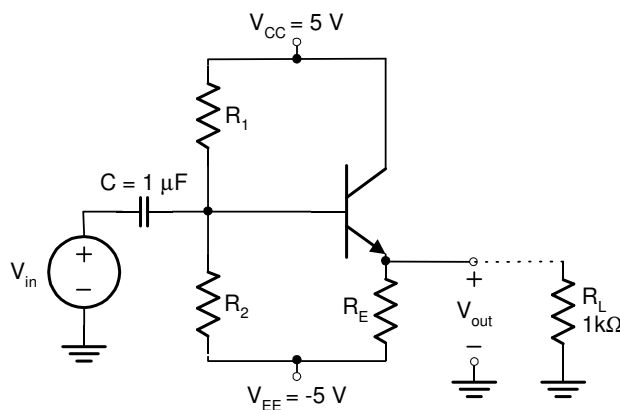
4.12 Considere o circuito da figura.

- Calcule os valores de I_C e V_{CE} supondo que o transistor apresenta um ganho de corrente de $\beta = 100$. Considere que $V_{BEON} = V_{ON} = 0,7 \text{ V}$.
- Repita o cálculo anterior supondo que o transistor apresenta agora um ganho de corrente de $\beta = 50$.
- Comente os resultados obtidos nas alíneas anteriores do ponto de vista da estabilidade da polarização do transistor face a variações dos seus parâmetros.



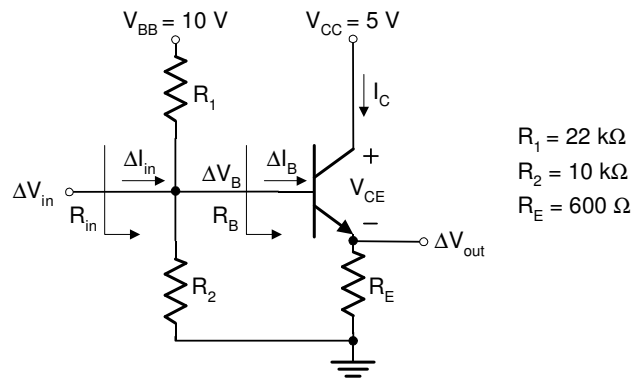
4.13 O circuito da figura representa um transístor bipolar em configuração de seguidor de emissor. Suponha que o transístor possui um ganho de corrente $\beta = 100$ e que $V_{BEON} = 0,7 \text{ V}$.

- Para uma corrente de colector $I_C = 1 \text{ mA}$, dimensione a resistência de emissor para que a corrente de saída em repouso seja nula, isto é, a corrente estática que percorre a resistência R_L .
- Nas condições da alínea anterior, determine o valor da resistência de entrada do transístor ("vista" do terminal da base), com e sem efeito da resistência de carga, R_L .



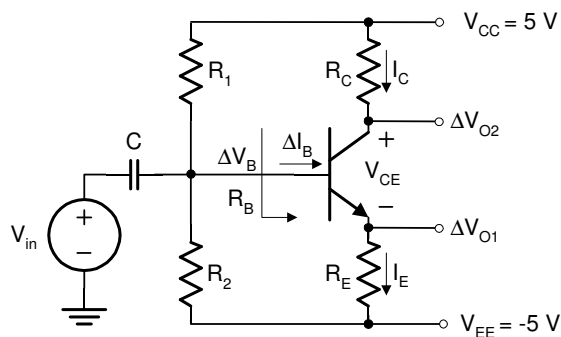
4.14 O circuito da figura junta representa um seguidor de emissor. V_{BB} e V_{CC} são tensões contínuas de alimentação do circuito. Considere que o transístor tem as seguintes características: $V_{BEON} = 0,7 \text{ V}$ e $\beta = 250$.

- Determine os valores contínuos da corrente de colector, I_C , e da tensão colector-emissor, V_{CE} .
- Supondo variações incrementais dos sinais, determine a resistência equivalente de entrada do circuito: $R_{in} = \Delta V_{in} / \Delta I_{in}$.
- Determine o ganho incremental: $G = \Delta V_{out} / \Delta V_{in}$.



4.15 Considere o amplificador da figura em que o transistor tem as seguintes características: $V_{BEON} = 0,7 \text{ V}$ e $\beta = 99$.

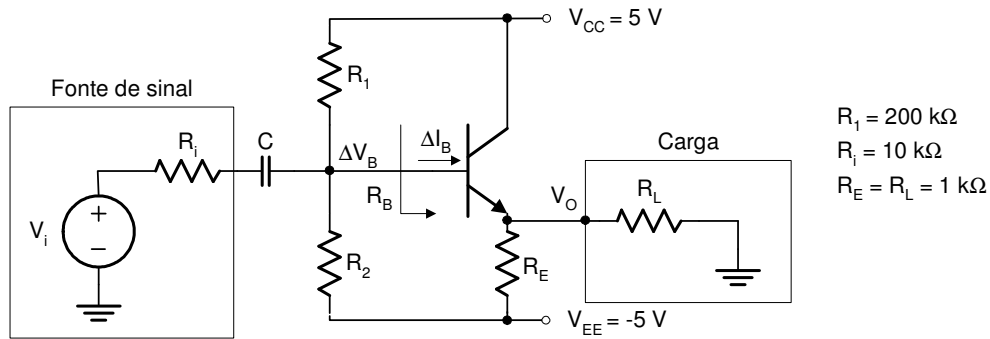
- Para uma corrente $I_E = 2,5 \text{ mA}$, dimensione R_E por forma que a tensão V_{O1} estática seja nula.
- Sabendo que $R_2 = 30 \text{ k}\Omega$, dimensione R_1 para garantir o ponto de funcionamento anterior. **Nota:** não despreze I_B .
- Dimensione R_C para que o ganho $G = \frac{\Delta(V_{O1} - V_{O2})}{\Delta V_B}$ seja 1,5.
- Dimensione a capacidade do condensador de modo que a malha de acoplamento de entrada tenha uma constante de tempo de 1 ms. **Nota:** entre em consideração com a resistência equivalente de base, R_B .



4.16 O circuito da figura junta representa um seguidor de emissor. Considere $V_i = 0,5 \sin(2\pi ft)$ com $f = 1 \text{ kHz}$. Para o transistor considere $V_{BEON} = 0,6 \text{ V}$ e $\beta = 150$.

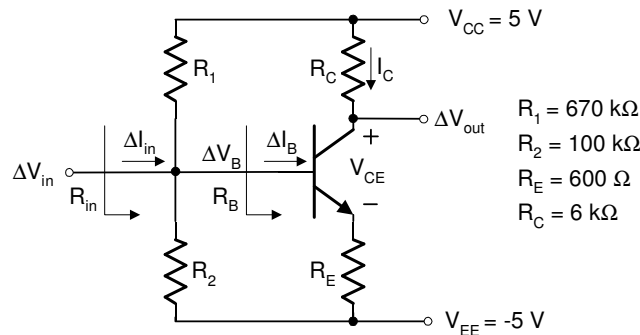
- Calcule o valor da corrente de emissor que garante uma corrente estática nula na resistência de carga R_L .
- Calcule o valor de R_2 que impõe a correcta polarização do transistor para o ponto de funcionamento considerado na alínea anterior. Para este efeito, considere desprezável a corrente de base.
- Calcule a resistência vista da base do transistor, $R_B = \Delta V_B / \Delta I_B$.

- d) Dimensione o condensador de acoplamento de modo que a constante de tempo associada à malha de entrada seja cerca de 10 vezes inferior ao período do sinal de entrada.



4.17 O circuito da figura representa um amplificador com um transistor de junção bipolar com $\beta = 100$ e $V_{BEON} = 0,7 \text{ V}$.

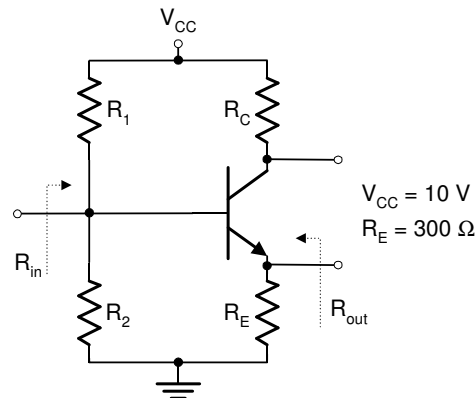
- Determine o valor da corrente de coletor, I_C , e da tensão coletor-emissor, V_{CE} .
- Supondo variações incrementais, determine $R_B = \Delta V_B / \Delta I_B$.
- Com base no resultado anterior determine $R_{in} = \Delta V_{in} / \Delta I_{in}$.
- Determine o ganho incremental: $G = \Delta V_{out} / \Delta V_{in}$.



4.18 Considere o circuito da figura em que o transistor tem as seguintes características: $V_{BEON} = 700 \text{ mV}$ e $\beta = 75$. O ponto de funcionamento em repouso do transistor deve ser: $I_C = 2 \text{ mA}$ e $V_{CE} = 5 \text{ V}$.

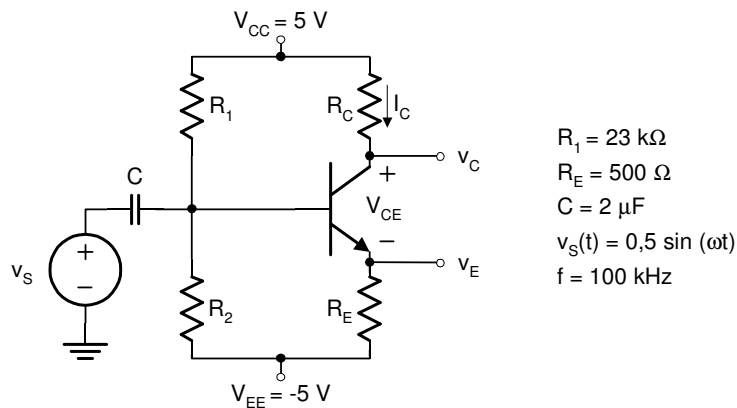
- Determine o valor das resistências de polarização, R_1 e R_2 , e da resistência de coletor, R_C por forma que se obtenha o ponto de funcionamento em repouso indicado. Considere que $R_1 + R_2 = 100 \text{ k}\Omega$.
- Supondo variações incrementais das tensões e correntes na base e emissor do transistor, respectivamente, ΔV_B e ΔI_B , e ΔV_E e ΔI_E , determine as resistências equivalentes indicadas no circuito.
- Determine o ganho de tensão do circuito quando considera o terminal de saída no coletor do transistor.

- d) Redimensione as resistências de polarização e de colector de forma que o circuito funcione como um desfasador de 180° quando se consideram simultaneamente os terminais de saída do emissor e do colector.

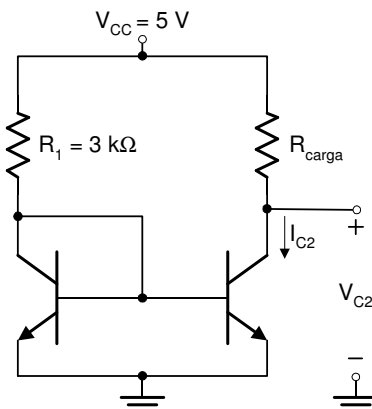


4.19 A figura representa um circuito com um transístor bipolar em que se considera $V_{BEON} = 700 \text{ mV}$ e $\beta = 100$.

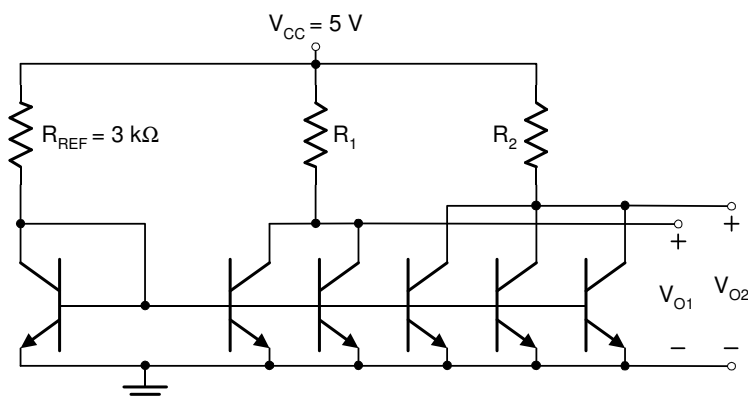
- a) Determine os valores de R_2 e R_C de forma que $I_C = 2 \text{ mA}$ e $V_{CE} = 4 \text{ V}$.
b) Determine e esboce graficamente o valor instantâneo das tensões $v_C(t)$ e $v_E(t)$. Indique o valor da diferença de fase entre os dois sinais.



4.20 Considere o circuito da figura. Calcule o valor da corrente I_{C2} no espelho de corrente da figura. Considere $V_{BEON} = 700 \text{ mV}$ e $\beta = 20$.

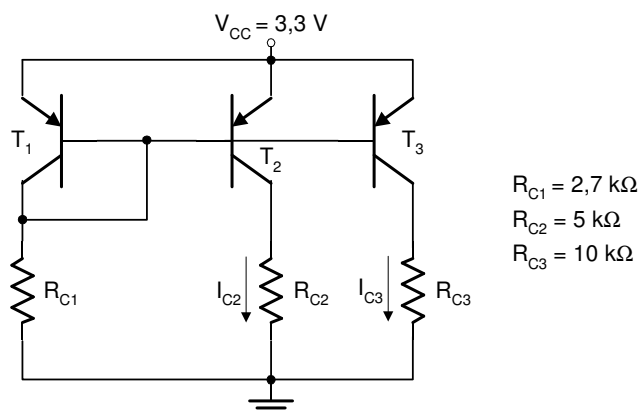


- 4.21** A figura seguinte representa um espelho de corrente. Admita que os transístores são todos iguais e que $V_{BEON} = 0,65 \text{ V}$. Determine o valor das resistências R_1 e R_2 de forma que as tensões de saída V_{O1} e V_{O2} sejam iguais a 1 V .



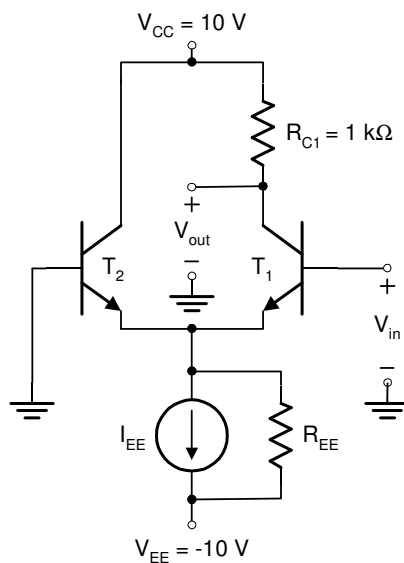
- 4.22** O circuito da figura representa um espelho de corrente múltiplo em que se utilizam transístores PNP com $V_{EBON} = 0,6 \text{ V}$ e $\beta = 250$.

- Determine os valores das correntes I_{C2} e I_{C3} .
- Determine a potência dissipada nas resistências R_{C1} , R_{C2} e R_{C3} .



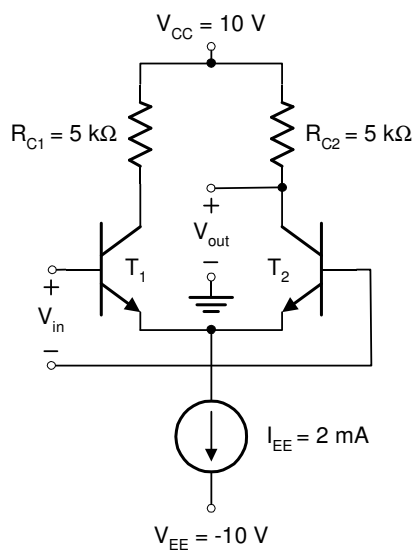
- 4.23** O circuito da figura representa um par diferencial com saída pelo colector do transístor T_1 . A fonte de corrente de polarização é representada por uma fonte de corrente ideal, de valor $I_{EE} = 2 \text{ mA}$, em paralelo com uma resistência de valor $R_{EE} = 1 \text{ M}\Omega$. Suponha que para $V_T = 25 \text{ mV}$ (tensão térmica à temperatura ambiente) e com $V_{BE} = 0,6 \text{ V}$, a corrente de colector dos transístores é $I_C = 1 \text{ mA}$.

- Determine a expressão da característica de transferência do circuito, $V_{out}(V_{in})$. Esboce graficamente esta característica para uma variação da tensão de entrada entre -1 V e $+1 \text{ V}$.
- Determine o ganho de modo diferencial.
- Determine o ganho de modo comum.
- Determine a relação de rejeição de modo comum (RRMC).



4.24 Considere o amplificador diferencial da figura em que os transístores são iguais e têm as seguintes características: $V_{BEON} = 0,7 \text{ V}$, $\beta = 100$, $r_E = V_T/I_C$ ($V_T = 25 \text{ mV}$ para a temperatura ambiente).

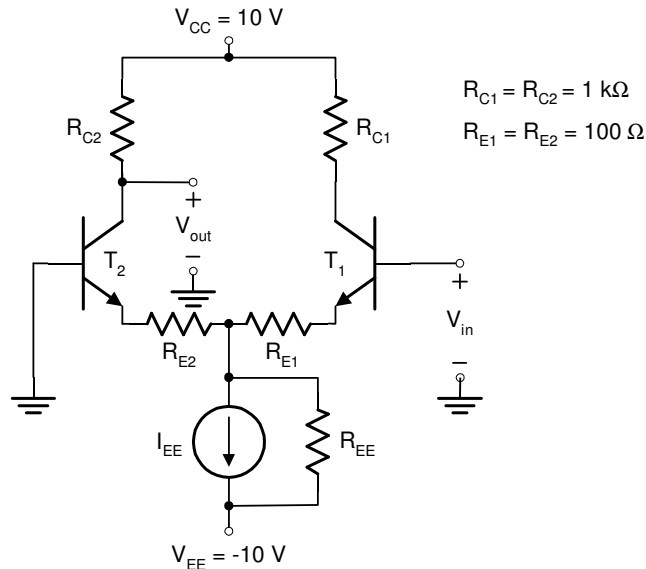
- Calcule as correntes de colector, I_{C1} e I_{C2} , e a resistência intrínseca de emissor r_E quando a entrada diferencial é nula ($V_{in} = 0 \text{ V}$).
- Determine, justificando, o ganho de modo comum (G_c) do amplificador.
- Determine, justificando, o ganho de modo diferencial (G_d) do amplificador.
- Determine e esboce a característica de transferência do circuito $V_{out}(V_{in})$ quando V_{in} varia entre -1 V e $+1 \text{ V}$. Em que gama de V_{in} se aplica o resultado obtido na alínea c) ?



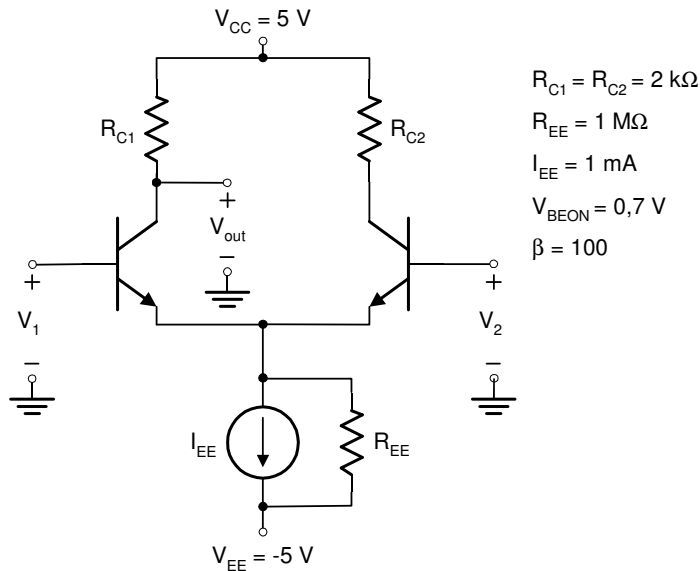
4.25 O circuito da figura representa um par diferencial. Suponha que para $V_T = 25 \text{ mV}$ (tensão térmica à temperatura ambiente) e com $V_{BEON} = 0,6 \text{ V}$, a corrente de colector dos transístores é $I_C = 1 \text{ mA}$. Note ainda que a fonte de corrente de polarização é

representada por uma fonte de corrente ideal, de valor $I_{EE} = 2 \text{ mA}$, em paralelo com uma resistência de valor $R_{EE} = 1 \text{ M}\Omega$.

- Determine a expressão da característica de transferência do circuito, $V_{out}(V_{in})$. Esboce graficamente esta característica para uma variação da tensão de entrada entre -1 V e $+1 \text{ V}$.
- Determine o ganho de modo diferencial.
- Determine o ganho de modo comum.
- Suponha agora que $R_{E1} = R_{E2} = 0$. Discuta qualitativamente a alteração resultante na característica de transferência obtida na alínea a).



- 4.26** Considere o par diferencial representado na figura. Para efeitos de determinação da resistência intrínseca da junção base-emissor, considere ainda $V_T = 25 \text{ mV}$. Nestas condições, calcule:
- O ganho de modo comum.
 - O ganho de modo diferencial.
 - A relação de rejeição de modo comum.



4.27 O circuito da figura representa um par diferencial. Suponha que os transístores são idênticos, caracterizados por uma corrente de saturação $I_S = 2 \times 10^{-15} \text{ A}$ e por um ganho de corrente, β , muito grande. Assuma que $V_T = 25 \text{ mV}$ (tensão térmica para a temperatura ambiente). Note ainda que a fonte de corrente de polarização é representada por uma fonte de corrente ideal, de valor $I_{EE} = 1 \text{ mA}$.

a) Considerando que $V_1 = V_2 = 0 \text{ V}$, determine o valor da tensão V_X .

Nas alíneas seguintes admita que $V_2 = 0 \text{ V}$.

b) Determine a expressão da característica de transferência do circuito, $V_{O12}(V_1)$. Esboce graficamente essa característica para uma variação da tensão de entrada, V_1 , entre -10 V e $+10 \text{ V}$.

c) Determine o ganho de modo diferencial.

d) Considerando que o ganho de modo comum é nulo, $G_C = 0$, esboce $V_{O2}(t)$ quando V_1 é uma onda sinusoidal com 2 V de amplitude (ou 4 V , pico a pico). Justifique a forma de onda obtida.

