



**DEEC**

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA  
ELECTROTÉCNICA E DE COMPUTADORES

TÉCNICO LISBOA

# Electrónica Geral

José Gerald

Mestrado Integrado em Engenharia Física Tecnológica  
Mestrado Integrado em Engenharia Aeroespacial

Setembro 2020

## Coleção de Problemas Extras

## Problema 4.6

### Problema 4.6 (rectificadores de precisão)

Considerar o circuito representado na Fig. P4.6, em que  $v_1(t)$  é sinusoidal com amplitude 1 V. Admitir que a tensão nos díodos quando conduzem é 0.7 V.

Representar graficamente  $v_2(t)$  e  $v_3(t)$ .

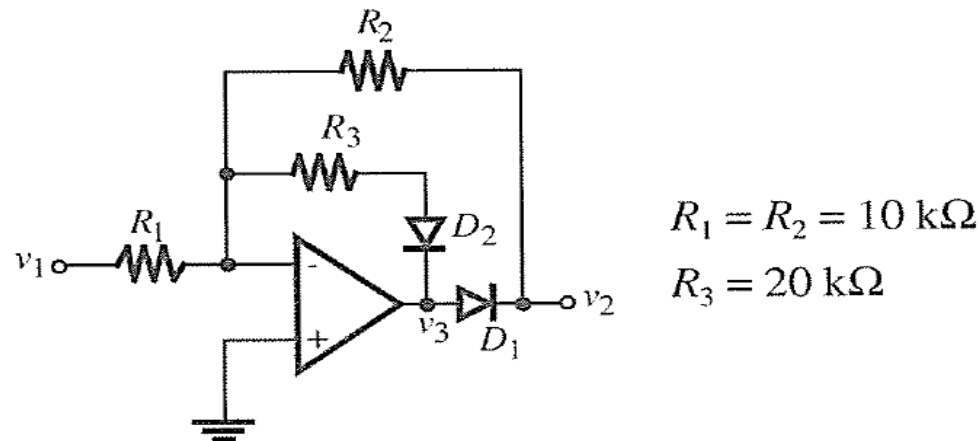


Fig. P4.6

## Problema 4.8

### Problema 4.8 (amplificador logarítmico)

Considerar o circuito representado na Fig. P4.8, em que o díodo se caracteriza por  $I_S = 10^{-14}$  A e  $n = 1$ .

Determinar  $v_2$  em função de  $v_1$  e representar graficamente a característica  $v_2(v_1)$  quando  $v_1$  varia entre 1 mV e 1 V (utilizar uma escala logarítmica para  $v_1$ ).

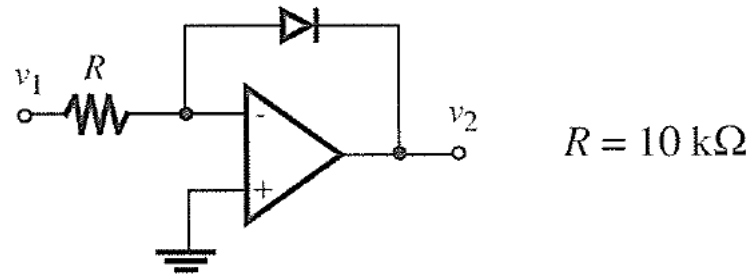


Fig. P4.8.

## Problema 3.1

### Problema 3.1 (características ideais)

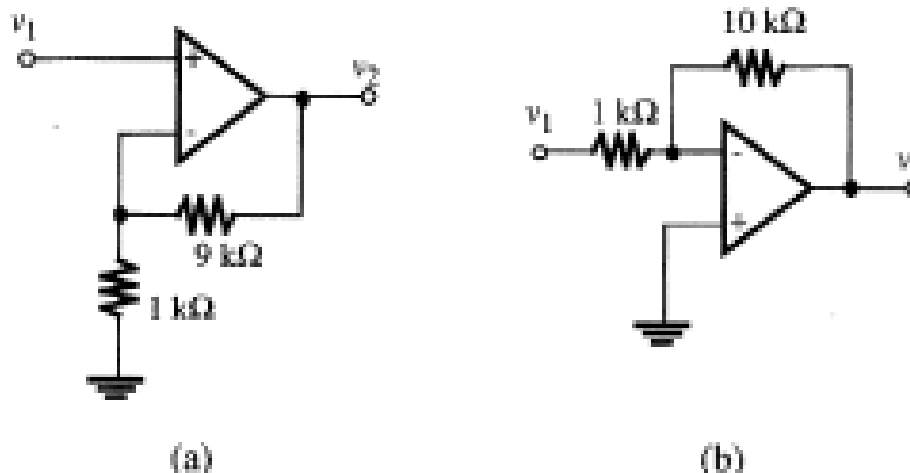


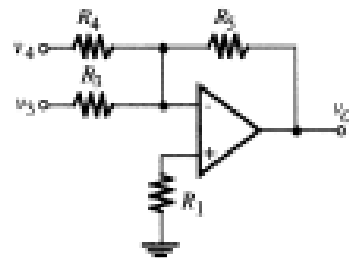
Fig. P3.1.

Considerar os circuitos representados na Fig. P3.1. Representar graficamente as suas características de transferência  $v_2(v_1)$ , admitindo que os amplificadores operacionais são ideais e têm tensões de saturação  $\pm 10\text{ V}$ . Calcular o ganho de tensão se o ganho diferencial do amplificador tiver os seguintes valores:  $A = 10^4, 10^3, 10^2$ .

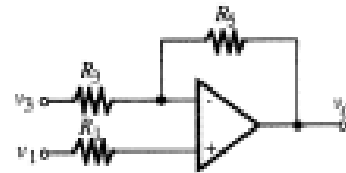
## Problema 3.3

### Problema 3.3 (funcionamento linear)

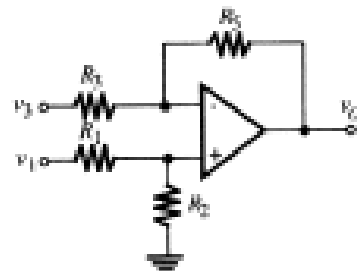
Obter a expressão que relaciona a tensão de saída com as tensões de entrada para os circuitos representados na Fig. P3.3.



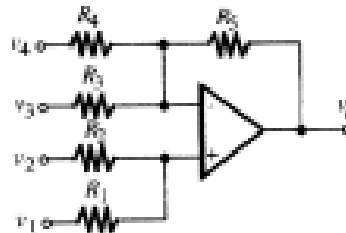
(a)



(b)



(c)



(d)

$$R_1 = R_2 = 10 \text{ k}\Omega \quad R_3 = 3 \text{ k}\Omega \quad R_4 = 2 \text{ k}\Omega \quad R_5 = 12 \text{ k}\Omega$$

Fig. P3.3.

## Problema 3.15

### Problema 3.15 (características não-ideais)

Considerar uma montagem inversora de ganho  $-2$  em que a taxa de inflexão do amplificador operacional é  $1 \text{ V}/\mu\text{s}$ .

- (a) Se a tensão de entrada for sinusoidal com frequência de  $1 \text{ MHz}$ , determinar o valor máximo da sua amplitude para que não haja distorção.
- (b) Se a tensão de entrada tiver a forma representada na figura P3.15, representar a tensão na saída em função do tempo.

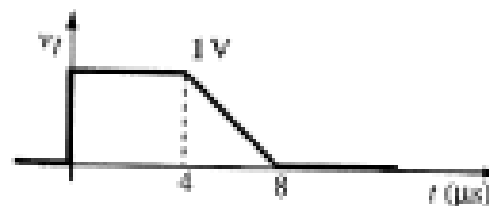


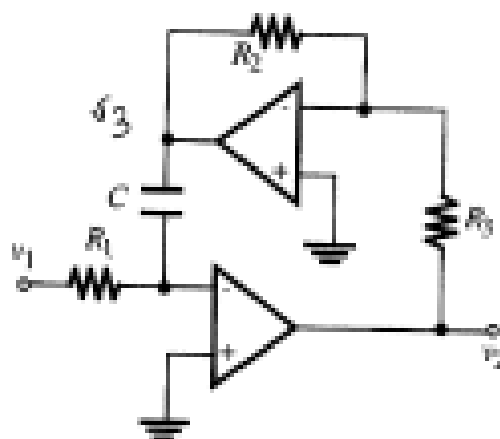
Fig. P3.15.

## Problema 3.16

### Problema 3.16 (elementos singulares)

Considerar o circuito representado na Fig. P3.16.

Mostrar que o circuito dado é equivalente à ligação em cadeia de um integrador negativo com uma montagem inversora e determinar a sua função de transferência.



$$R_1 = 100 \text{ k}\Omega$$

$$R_2 = R_3 = 10 \text{ k}\Omega$$

$$C = 1.59 \text{ nF}$$

Fig. P3.16.

## Problema Filtros 4

### Problema Filtros 4 – Filtro Passa-Banda de Butterworth

a) - Obter a função de transferência de um filtro passa-banda de Butterworth que obedeça às seguintes especificações: atenuação máxima na banda de passagem de 0,5 dB; banda de passagem de 800 Hz a 1200 Hz; atenuação superior a 30 dB para as frequências inferiores a 190 Hz e superiores a 5100 Hz.

b) - Se em a) for utilizada a aproximação de Cheyshev, calcular a atenuação suplementar que se obtém para as baixas e altas frequências

$$A_{\text{Butterworth}}(\Omega) = 10 \log(1 + \epsilon^2 \Omega^{2n}), \quad T(S) = 1 / H(S)$$

n	H(S)	
1	$S+1$	$S = s / \omega_p$
2	$S^2 + 1,414S + 1$	$S = \omega_p / s$
3	$(S+1)(S^2 + S + 1)$	$S = (s^2 + \omega_0) / Bs$
		$S = Bs / (s^2 + \omega_0)$



## Problema 12.12

**D12.12** Determine the order  $N$  of the Butterworth filter for which  $A_{\max} = 1$  dB,  $A_{\min} \geq 20$  dB, and the selectivity ratio  $\omega_s/\omega_p = 1.3$ . What is the actual value of minimum stopband attenuation realized? If  $A_{\min}$  is to be exactly 20 dB, to what value can  $A_{\max}$  be reduced?

## Problema 12.13

**12.13** Calculate the value of attenuation obtained at a frequency 1.6 times the 3-dB frequency of a seventh-order Butterworth filter.

## Problema 12.17

**12.17** Contrast the attenuation provided by a fifth-order Chebyshev filter at  $\omega_s = 2\omega_p$  to that provided by a Butterworth filter of equal order. For both,  $A_{\max} = 1$  dB. Sketch  $|T|$  for both filters on the same axes.

## Problema 12.42

**D\*12.42** It is required to design a fifth-order Butterworth filter having a 3-dB bandwidth of  $10^4$  rad/s and a unity dc gain. Use a cascade of two circuits of the type shown in Fig. 12.22(a) and a first-order op amp–RC circuit of the type shown in Fig. 12.13(a). Select appropriate component values.

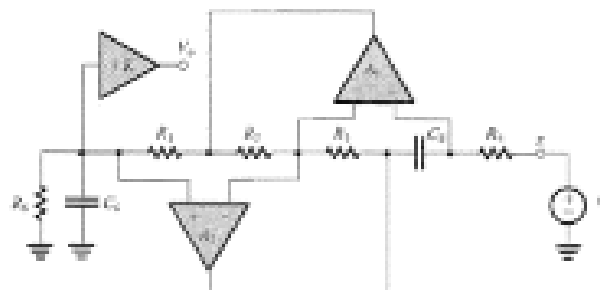


Fig. 12.22a)

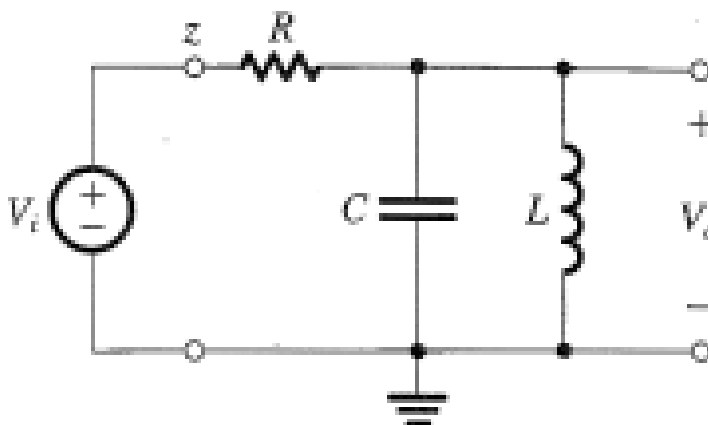
Filter Type and $T(s)$	$s$ -Plane Singularities	Bode Plot for $ T $	Passive Realization	Op Amp–RC Realization
(a) Low pass (LFP)  $T(s) = \frac{\omega_0}{s + \omega_0}$			$CR = \frac{1}{\omega_0}$ DC gain = 1	$CR_2 = \frac{1}{\omega_0}$ DC gain = $-\frac{R_2}{R_1}$

Fig. 12.13a)

## Problema 13.3

**D13.3** Sketch a circuit for a sinusoidal oscillator formed by an op amp connected in the noninverting configuration and a bandpass filter implemented by an RLC resonator (such as that in Fig. 12.18d). What should the amplifier gain be to obtain sustained oscillation? What is the frequency of oscillation? Find the percentage change in  $\omega_0$ , resulting from a change of +1% in the value of (a)  $L$ , (b)  $C$ , and (c)  $R$ .

Fig. 12.18d)

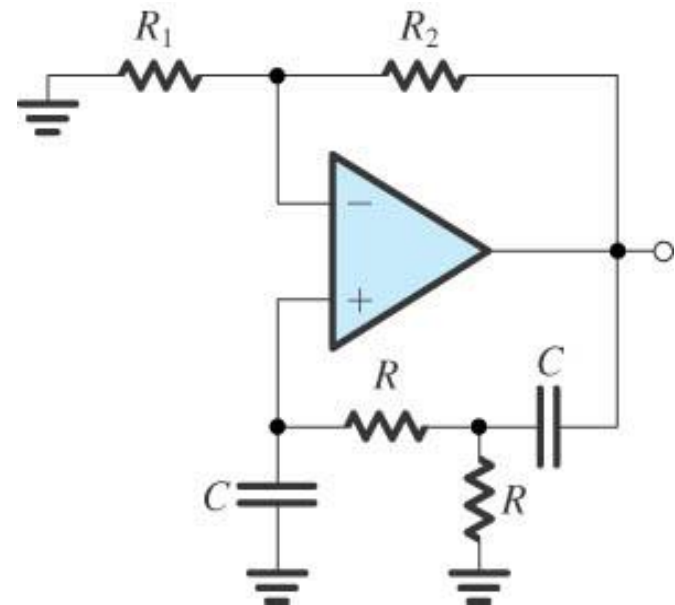


# Problema Osciladores 1

## Problema

### Osciladores 1 – Oscilador RC sinusoidal com amplificador operacional

Considere o circuito da figura. Determine  $A\beta(s)$ ,  $A\beta(j\omega)$ , a frequência de oscilação e qual o valor mínimo do ganho para que o circuito oscile.



## Problema Osciladores 2

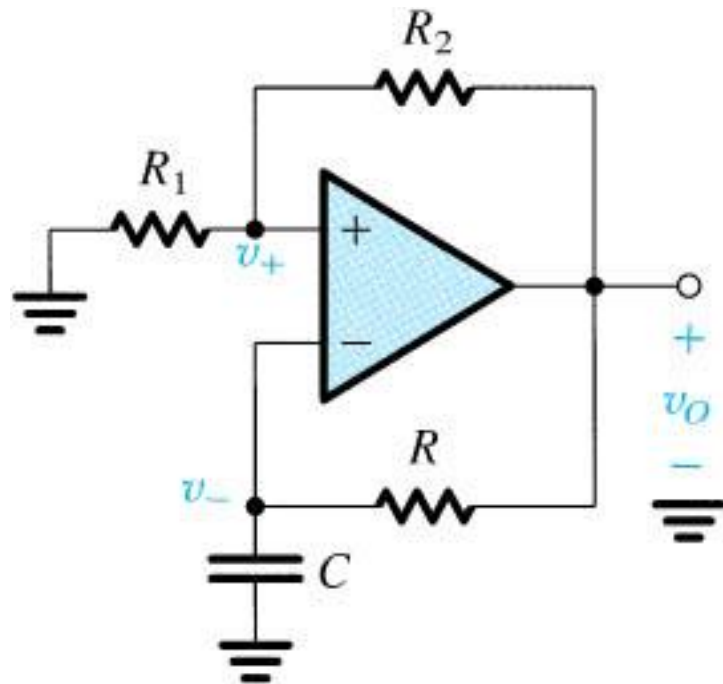
### Problema

#### Osciladores 2 – Multivibrador astável

Considere o circuito da figura, onde:

$V_+ = 10V$ ,  $V_- = -10V$ ,  $R_1 = 100k\Omega$ ,  $R_2 = 1M\Omega$ ,  $R = 1M\Omega$  e  $C = 1nF$ .

- Estude a resposta do circuito biestável e represente graficamente  $v_o(v_-)$ .
- Represente, graficamente, os sinais:  $v_o(t)$ ,  $v_-(t)$  e  $v_+(t)$ .
- Calcule o valor da frequência de oscilação do circuito,  $f_0$ .



## Osciladores 4 – Oscilador a cristal

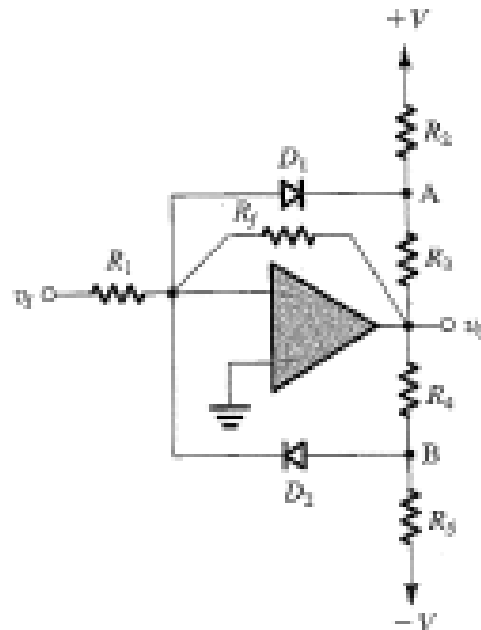
Considerar um cristal que apresenta uma frequência de ressonância série de 2,015 MHz, uma frequência de ressonância paralelo de 2,018 MHz, uma capacidade paralelo de  $C_p = 4\text{pF}$  e um factor de qualidade  $Q = 50000$ . Calcular os valores da indutância  $L$ , da capacidade série  $C_s$  e da resistência  $r$ .



## Problema 13.6

**D13.6** Consider the circuit of Fig. 13.3(a) with  $R_f$  removed to realize the comparator function. Find suitable values for all resistors so that the comparator output levels are  $\pm 6$  V and the slope of the limiting characteristic is 0.1. Use power supply voltages of  $\pm 10$  V and assume the voltage drop of a conducting diode to be 0.7 V.

Fig. 13.3(a)



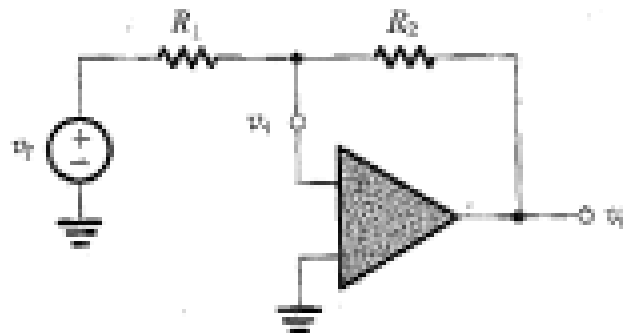
## Problema 13.25

**13.25** Consider the bistable circuit of Fig. 13.20(a) with the op amp's negative-input terminal disconnected from ground and connected to a reference voltage  $V_R$ .

(a) Derive expressions for the threshold voltages  $V_{TL}$  and  $V_{TH}$  in terms of the op amp's saturation levels  $L_+$  and  $L_-$ ,  $R_1$ ,  $R_2$ , and  $V_R$ .

(b) Let  $L_+ = -L_- = V$  and  $R_1 = 10 \text{ k}\Omega$ . Find  $R_2$  and  $V_R$  that result in threshold voltages of 0 and  $V/10$ .

Fig. 13.20(a)



## Problema Osciladores 3

### Osciladores 3 – Oscilador LC

Considere o oscilador representado ne Fig. 1.

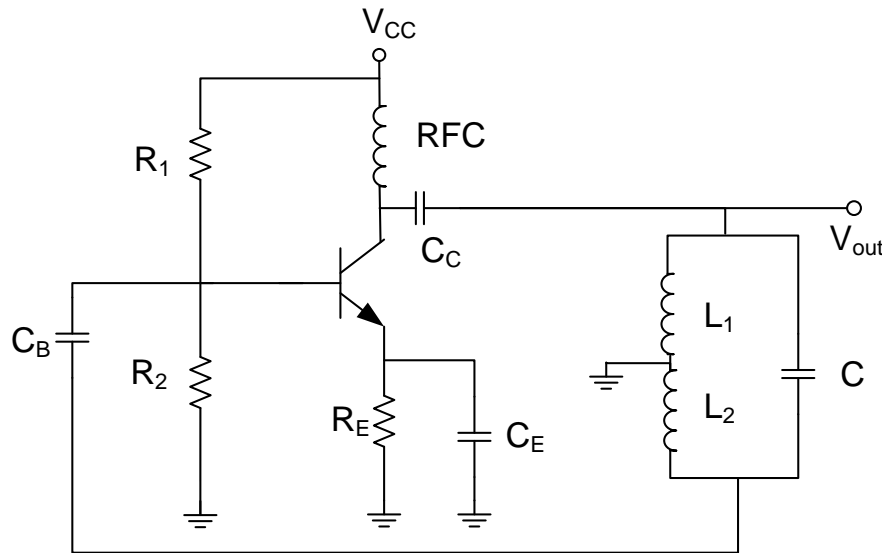


Fig. 1

$$\begin{aligned} C &= 1\text{nF} \\ L_1 &= 47\text{ mH} \\ L_2 &= 47\text{ }\mu\text{H} \\ C_C &= C_B = C_E \rightarrow \infty \end{aligned}$$

- Identifique o tipo de oscilador.
- Explique a função de cada componente e determine a frequência de oscilação.
- Determine a condição de oscilação, admitindo que as resistências  $R_1$  e  $R_2$  têm valores elevados.

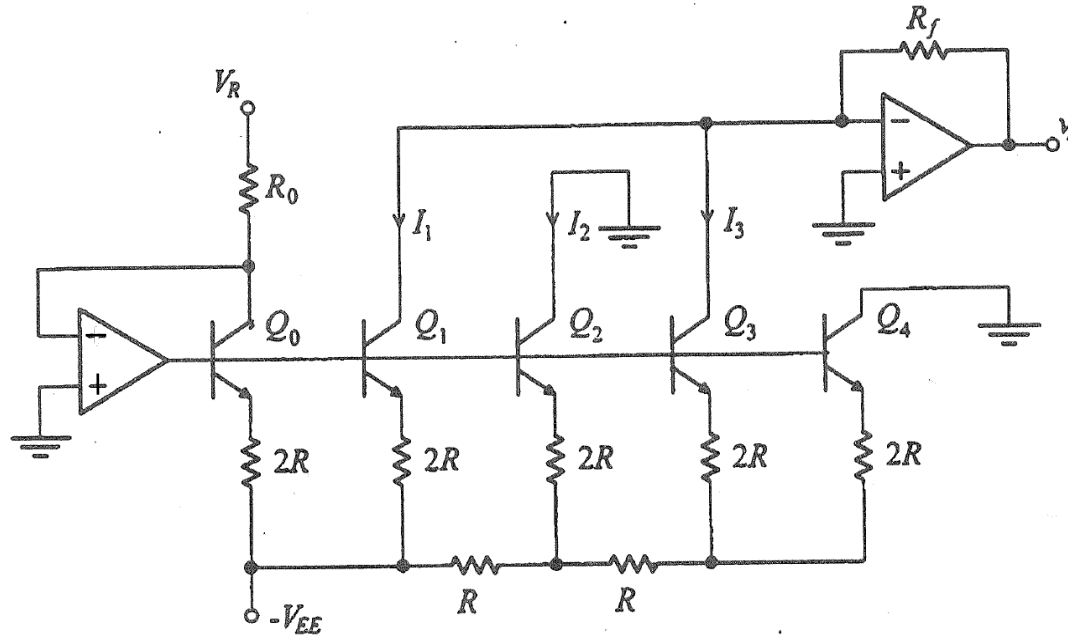


# Problema Conversores A/D e D/A 1

## Conversores A/D e D/A 1 – Conversor D/A utilizando rede R-2R em escada

Considere o circuito representado na figura, em que as áreas da junção base-emissor dos transístores estão relacionadas da seguinte forma:

$$A_0 = A_1 = 2A_2 = 4A_3 = 4A_4$$



$$\begin{aligned} V_R &= 5 \text{ V} \\ R_0 &= 10 \text{ K}\Omega \\ R_f &= 4 \text{ K}\Omega \end{aligned}$$

- Determine o valor de  $V_A$ .
- Considerando que os colectores de  $Q_1$ ,  $Q_2$  e  $Q_3$  estão ligados à massa ou ao terminal – de  $AMP_2$ , conforme o valor da palavra binária a codificar  $b_1$ ,  $b_2$  e  $b_3$ 

$$b_i = 0 \Rightarrow \text{Colector de } Q_i \text{ ligado à massa}$$

$$b_i = 1 \Rightarrow \text{Colector de } Q_i \text{ ligado ao terminal – de } AMP_2$$

Determine  $v_A$  em função de  $b_1$ ,  $b_2$  e  $b_3$ .

## Conversor A/D

Considerar um circuito S&H a operar com uma frequência de amostragem de  $f_s=100$  kHz e com um interruptor que fecha 10 ns durante cada ciclo.

- a) Calcular a frequência máxima de uma onda quadrada para a qual a saída do S&H ainda representa adequadamente a entrada.
- b) Sendo  $f$  a frequência calculada em a) desenhar a forma de onda do sinal de saída do S&H quando a entrada é uma onda quadrada com frequência  $f$ ,  $0,5f$ ,  $1,1f$  e  $2f$ .
- c) Sendo o condensador do S&H  $C=100$  pF, calcular o valor máximo total da resistência (resistência do gerador mais a resistência do interruptor no estado “ON”) para que a amostragem seja feita com 1% de precisão.

# Problema Conversores A/D e D/A 4

## Conversor A/D

Pretende-se amostrar e converter para digital um sinal com gama dinâmica de  $\pm 5$  V. Calcular, para uma resolução superior a 0,1 V, qual o número mínimo de bits que é necessário utilizar no conversor. Se for usado um conversor de 10 bits, calcular qual a resolução obtida.

## Conversor A/D Flash

- a) Calcular as tensões de referência dos comparadores de um conversor “flash” de 2 bits, para um sinal de entrada com uma gama dinâmica de  $\pm 1$  V, usando amplificadores operacionais (ampops) como comparadores.
- b) Considerar uma topologia com 2 ampops alimentados a  $\pm 10$  V, o primeiro para detetar a polaridade do sinal e fornecer a tensão de referência ao segundo, e o segundo para detetar a amplitude do sinal. Para um sinal analógico ligado a ambas as entradas não inversoras dos amplificadores, calcular, para ambas as topologias (esta – 2 ampops, e da alínea anterior – 3 ampops), os códigos de saída correspondentes a  $\pm 0,75$  V e  $\pm 0,25$  V, considerando +10 V o estado lógico “1” e -10 V o estado lógico “0”.



## Sistema de Conversão A/D e D/A

Considerar um sistema de processamento digital de sinal com um conversor A/D na entrada e um conversor D/A na saída. O conversor A/D é de 8 bits e está alimentado a 0 V e 5 V, sendo a sua tensão de referência  $V_{\text{refAD}} = +5$  V. O conversor D/A é também de 8 bits, está alimentado a 0 V e 10 V e a sua tensão de referência é  $V_{\text{refDA}} = +10$  V.

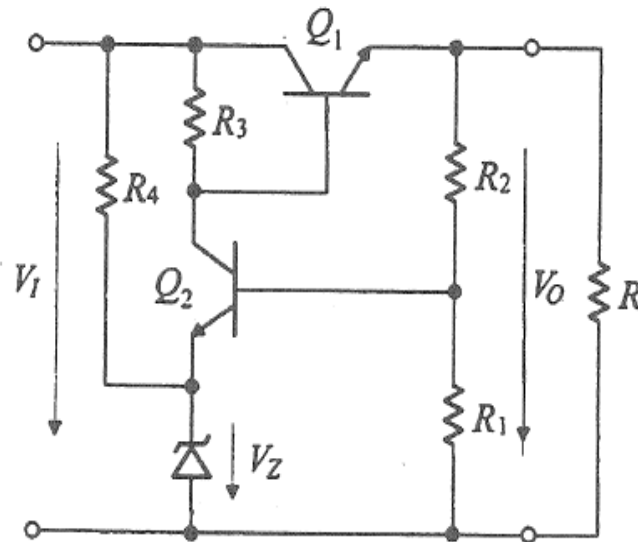
- Calcular a resolução de cada conversor.
- Calcular o valor máximo de sinal à saída de cada conversor.
- Calcular (em dB) o aumento de precisão dos conversores por cada bit adicional.
- Dimensionar dois circuitos de interface para o sistema com vista à adaptação da gama de sinais: i) na entrada, para um sinal de entrada pertencente ao intervalo  $[-2,5 \text{ V}; +2,5 \text{ V}]$ ; ii) na saída, para um sinal de saída que se pretende pertencer ao intervalo  $[-5 \text{ V}; +5 \text{ V}]$ .

# Problema Conversores Electrónicos de Potência 1

## Conversores Electrónicos de Potência 1 – Regulador série

Considerar o circuito representado na Fig. P11.1, em que os transistores têm  $\beta = 100$ .

- Determinar o valor de  $V_O$ .
- Calcular o rendimento.



$$\begin{aligned} V_I &= 15 \text{ V} \\ V_Z &= 5.3 \text{ V} \\ R_1 &= 2 \text{ k}\Omega \\ R_2 &= 1 \text{ k}\Omega \\ R_3 &= 500 \Omega \\ R_4 &= 10 \text{ k}\Omega \\ R &= 10 \Omega \end{aligned}$$

Fig. P11.1

## Conversores Electrónicos de Potência 2 – Conversor redutor

Considerar o circuito representado Fig. P11.2, em que a frequência de comutação é  $f_s = 25$  kHz e o factor de ciclo é  $D = 0.6$ .

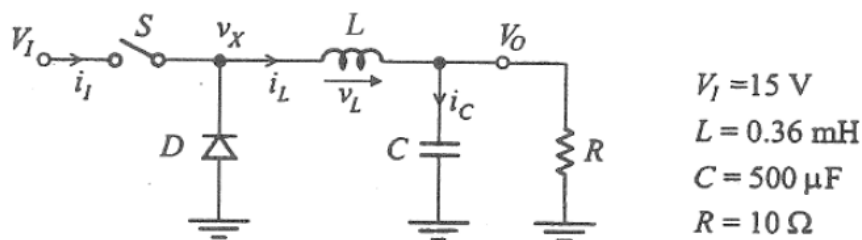


Fig. P11.2

- Considerando o interruptor e o diodo ideais, determinar  $V_O$  e os valores máximo e mínimo de  $i_L$ . Representar graficamente  $v_L(t)$ ,  $i_L(t)$ ,  $v_X(t)$ ,  $i_I(t)$  e  $i_C(t)$ .
- Calcular o rendimento se as tensões no interruptor e no diodo quando conduzem forem  $V_S = V_D = 0.8$  V.
- Calcular a amplitude do tremor da tensão de saída.
- Determinar o valor de  $R$  acima do qual o conversor funciona em regime de condução descontínua.
- Se  $R = 100$   $\Omega$ , calcular  $V_O$  e o valor máximo de  $i_L$ . Representar graficamente  $v_L(t)$ ,  $i_L(t)$  e  $v_X(t)$ .

## Problema 11.3

### Problema 11.3 – Conversor amplificador

Considerar o circuito representado na Fig. P11.3, em que a frequência de comutação é  $f_s = 100$  kHz.

- Determinar o factor de ciclo para que  $V_O = 12$  V, e calcular os valores mínimo e máximo de  $i_L$ . Representar graficamente  $v_L(t)$ ,  $i_L(t)$ ,  $i_S(t)$ ,  $i_D(t)$  e  $i_C(t)$ .
- Calcular o rendimento se as tensões no interruptor e no diodo quando conduzem forem  $V_S = 0.5$  V e  $V_D = 0.7$  V.
- Calcular o tremor da tensão de saída expresso em percentagem.
- Determinar o valor  $R$  acima do qual o conversor funciona em regime de condução descontínua.
- Se  $R = 100 \Omega$ , determinar o factor de ciclo para que  $V_O = 12$  V. Representar graficamente  $v_L(t)$  e  $i_L(t)$ .

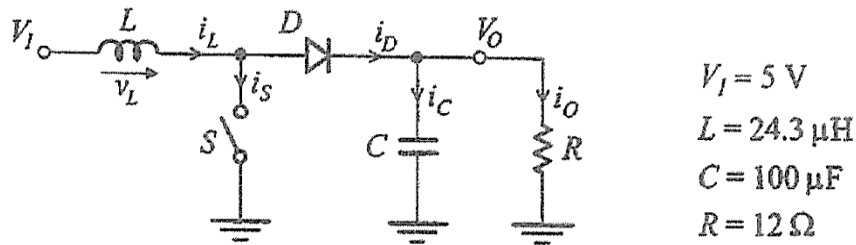


Fig. P11.3

## Problema 11.4

### Problema 11.4 – Conversor redutor-amplificador

Considerar o conversor comutado representado na Fig. P11.4, em que a frequência de comutação é 100 kHz e o factor de ciclo é 0.6.

- Calcular  $V_O$  e os valores médio, máximo e mínimo de  $i_L$ . Representar graficamente  $v_L(t)$ ,  $i_L(t)$ ,  $i_I(t)$ ,  $i_D(t)$  e  $i_C(t)$ .
- Determinar o rendimento se as tensões no interruptor e no diodo quando conduzem forem 0.5 V.
- Calcular o tremor  $\Delta V_O/V_O$ .
- Determinar o valor limite de  $R$  para que o conversor funcione em regime de condução contínua.
- Se  $R = 50 \Omega$ , calcular  $V_O$  e representar graficamente  $v_L(t)$  e  $i_L(t)$ .

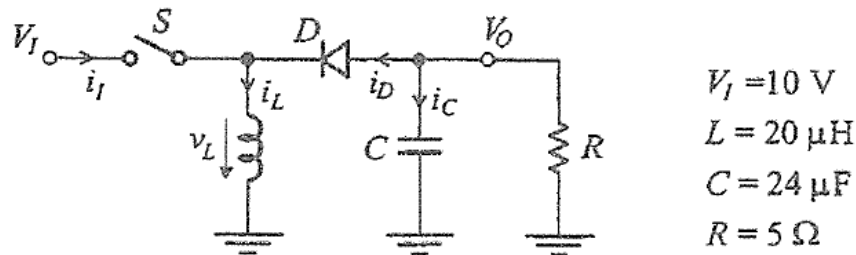


Fig. P11.4

# Problema Filtros Digitais IIR

## Problema Filtros Digitais IIR

- a) Obter a função de sistema do filtro digital obtido pela transformação bilinear aplicada ao filtro cuja função de transferência se indica abaixo, para uma frequência de amostragem de  $f_s=40$  kHz.

$$T(s) = \frac{s^2}{s^2 + 7,1 \times 10^4 s + 2,53 \times 10^9}$$

- b) Obter a atenuação do filtro digital considerado na alínea anterior, para a frequência de 20 kHz.
- c) Determinar a equação de recorrência do filtro digital. Verificar a estabilidade do filtro a partir da função de sistema.
- d) Representar dois diagramas de fluxo de sinal com número mínimo de atrasos para este filtro digital.

# Problema Filtros Digitais FIR

## Problema Filtros Digitais FIR

- a) A partir de um filtro passa-baixo ideal com frequência de corte de 2,5 kHz, obter, por truncatura da resposta impulsiva usando uma janela triangular, a função de sistema de um filtro FIR com atraso constante de 0,15 ms e frequência de amostragem de 20 kHz.
- b) Indicar as modificações da resposta em frequência se for utilizada uma janela rectangular.
- c) Determinar a equação de recorrência, a resposta impulsiva e indicar se o filtro é estável ou instável.
- d) Calcular a atenuação em dB e o atraso em  $\mu$ s, às frequências de 5 kHz e 15 kHz.
- e) Representar dois diagramas de fluxo de sinal correspondentes a formas directas com número mínimo de multiplicações.

## Problema Filtros Digitais Extra 2

### Problema Filtros Digitais Extra 2

Determinar a resposta em frequência dos sistemas caracterizados por:

a)  $T(z) = 1 + 2z^{-1} + z^{-2}$

b)  $T(z) = 1 - z^{-1} - z^{-2} + z^{-3}$



## Filtros Digitais – Transformação Bilinear

Considerar a Transformação Bilinear.

- a) Demonstrar que um afixo no plano  $s$  só apresenta uma única imagem no plano  $z$ .
- b) Demonstrar que com esta transformação o SPCE  $s$  é mapeado no círculo unitário do plano  $z$ .
- c) Estabelecer a relação entre o eixo das frequências da resposta de frequência do filtro analógico inicial e o eixo das frequências da resposta de frequência do filtro digital resultante.

## Problema Filtros Digitais Extra 4

Considerar o filtro com função de sistema

$$T(z) = 0,278 \frac{1 + 2z^{-1} + z^{-2}}{1 + 0,334z^{-1} + 0,222z^{-2}}$$

- a) Determinar a equação de recorrência correspondente. Verificar a estabilidade do filtro a partir da função de sistema.
- b) Representar dois diagramas de fluxo de sinal para o filtro considerado.

## Problema Filtros Digitais Extra 5

### Problema Filtros Digitais Extra 5

Considerar o filtro analógico com função de transferência

$$T(s) = \frac{62832}{s + 62832}$$

- a) Obter a função de sistema do filtro digital que se obtém a partir deste filtro pelo método da transformação bilinear, utilizando uma frequência de amostragem de  $f_s=50$  kHz. Calcular a atenuação apresentada pelo filtro à frequência de 25 kHz.
- b) Calcular as primeiras cinco amostras da resposta impulsional do filtro digital da alínea anterior.

## Problema Filtros Digitais Extra 6

### Problema Filtros Digitais Extra 6

- a) A partir de um filtro passa-baixo ideal com frequência de corte de 5 kHz, obter, por truncatura da resposta impulsiva usando uma janela triangular, a função de sistema de um filtro FIR com atraso constante de 0,1 ms e frequência de amostragem de 20 kHz.
- b) Comparar as vantagens e desvantagens dos filtros FIR face aos filtros IIR.

## Problema Filtros Digitais Extra 7

Exemplificar a realização pelo método da aritmética distribuída e calcular a tabela que é necessário dispor em memória para o filtro digital com equação de recorrência

$$y_n = 0,5x_n - 0,75x_{n-1} + 0,25y_{n-1}$$

Admitir que se utilizam palavras de 4 bits.

## Problema Filtros Digitais Extra 8

### Problema Filtros Digitais Extra 8

Derivar as expressões do processamento de sinal relativo ao algoritmo LMS para os coeficientes do filtro digital adaptativo em modo de identificação com entrada  $x_k$ , saída  $\hat{e}_k$  e função de sistema dada por:

$$T(z) = \hat{a}_0 + \sum_{i=1}^2 \frac{1 + \hat{a}_{i1} z^{-1} + \hat{a}_{i2} z^{-2}}{1 + \hat{b}_{i1} z^{-1} + \hat{b}_{i2} z^{-2}}$$

# Problema Filtros Digitais Extra 9

## Problema Filtros Digitais Extra 9

Se a resposta impulsional de um caminho do eco for de  $\tau=26$  ms e o ritmo de transmissão for de 1200 baud, utilizando um cancelador de eco com estrutura transversal implementado em processador de sinal com ciclo de instrução de 100 ns, calcular o tempo total de processamento e a frequência máxima de amostragem se forem utilizados os algoritmos LMS e Rápido de Kalman.

## Problema Filtros Digitais Extra 9

### Problema Conversor Pseudo-NMOS(2)

Considerar o circuito da Fig. 1,

- Referir como se designa este circuito e atualmente qual a sua principal área de aplicação.
- Explicar as diferenças de dimensionamento entre os dois transístores.
- Enunciar as vantagens e desvantagens deste circuito face ao inversor CMOS.

**Nota:**

$$k_{n,p} = \frac{1}{2} \mu_{n,p} C_{ox} \frac{W}{L}$$

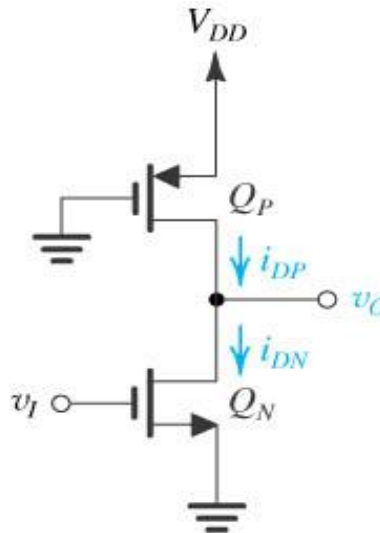


Fig. 1