ELECTRÓNICA GERAL

Exame de 26/2/2022. Sem consulta. Em todas as questões explique os seus raciocínios. Duração 2h.

I – Amplificadores Operacionais

a) Para o circuito da Fig. 1, representar a curva $V_o(V_i)$. $V_{cc} = \pm 15$ V e $R_2=10R_1=50k\Omega$.

b) Explicar a utilidade do circuito e calcular a alteração de funcionamento se o ampop apresentar uma tensão de desvio (tensão diferencial de entrada para que a saída do ampop seja nula) V_{os}=10 mV. Sugerir como compensar o efeito de V_{os}.

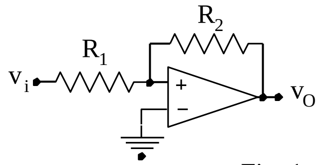


Fig. 1

II – Filtros Activos

a) Obter a função de transferência de um filtro passa-alto de Chebyshev que obedeça às seguintes especificações: Atenuação inferior a 0,5 dB (A_p) acima de 4 kHz e atenuação superior a 19 dB (A_s) abaixo de 1 kHz.

b) Se em (IIa) for utilizada a aproximação de Butterworth com a mesma ordem, calcular a diferença de atenuação que se obtém para as baixas frequências. Justifique.

c) Calcular a frequência (ou frequências) para a qual a atenuação é nula.

d) Responda às seguintes questões: 1) Referir como são desenhados os melhores filtros RC-activos Justifique; 2) Como proceder se nas secções biquadráticas de Sallen&Key se quiser introduzir uma constante de ganho G<1 mantendo os polos do filtro e adicionando um número mínimo de componentes.

Nota:

$A_{Cheby}(\Omega)=10\log[1+\varepsilon^2 C_n^2(\Omega)]$, $C_{n+1}(\Omega)=2\Omega C_n(\Omega)-C_{n-1}(\Omega)$ com $C_0(\Omega)=1$, $C_1(\Omega)=\Omega$ e $\Omega_s=\omega_p/\omega_s$. $H(S)=1/T(s)$

Ap=0,5 dB	n	Numerador de H(S)	Denominador de H(S)
	1	$S+2,86278$	2,86278
	2	$S^2+1,42562S+1,51620$	1,43138
	3	$(S+0,62646)(S^2+0,62646S+1,14245)$	0,71570

$S=s/\omega_p$
$S=\omega_p/s$
$S=(s^2+\omega_0^2)/Bs$
$S=Bs/(s^2+\omega_0^2)$

$A_{But}(\Omega)=10\log[1+\varepsilon^2\Omega^{2n}]$

III – Filtros Digitais

Considerar o filtro digital com frequência de amostragem f_s = 50 kHz e função de sistema

$$T(z) = \frac{2 + 4z^{-1} + 2z^{-2}}{1 - 0,3z^{-1} + 0,2z^{-2}}$$

a) Referir com se designa este tipo de filtro, se ele é estável ou instável, e calcular a sua equação de recorrência.

b) Para o filtro considerado em IIIa) desenhar dois diagramas de fluxo de sinal correspondentes a formas canónicas.

c) Obter as expressões no domínio Z do processamento de sinal relativo ao algoritmo LMS para a atualização dos coeficientes do filtro digital adaptativo em modo de identificação com entrada x_k, saída $\hat{e}_k$ e função de sistema:

$$T(z) = \frac{\hat{a}_0 + \hat{a}_1 z^{-1}}{1 + \hat{b}_1 z^{-1}}$$

IV – Conversores A/D e D/A

a) Considere o conversor D/A em escada R-2R da Fig. 2. Para uma entrada digital $[b_0b_1b_2b_3b_4b_5b_6b_7]$ = [11100000] e com R_f=2R e V_{ref}= -5 V calcule o valor da tensão de saída V_0. Comente as vantagens da estrutura R-2R nos conversores D/A.

b) Justifique a afirmação: "O conversor A/D de dupla rampa é imune a ruídos periódicos de média nula para certas frequências".

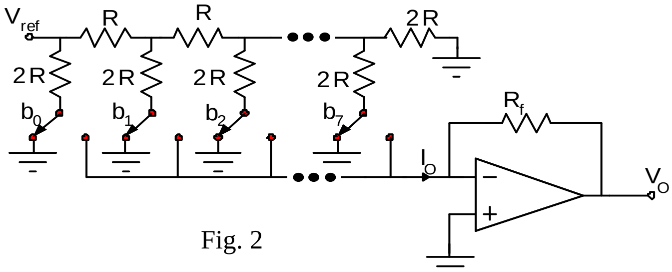


Fig. 2

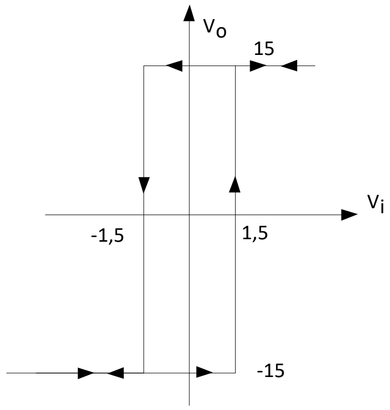
cotação: **I**- a)2 b)2 **II**- a)2 b)1 c)2 d)2 **III**- a)2 b)2 c)2 **IV**- a)2 b)1

Soluções

I – Amplificadores Operacionais

a) $V^+ = R_2/(R_1+R_2)\ V_i + R_1/(R_1+R_2)\ V_o$

Comutação *Low-High* em 1,5 V e *High-Low* em -1,5 V. Tensões de saída de ±15 V.



b) Comparador com histerese. Permite comparações de tensões com maior imunidade ao ruído nos sinais.

Com V_{os} toda a curva se desloca para a direita no valor de $(1+R_1/R_2)V_{os}$ e assim deixa de estar centrada em zero para estar centrada em $(1+R_1/R_2)V_{os}$=11mV.

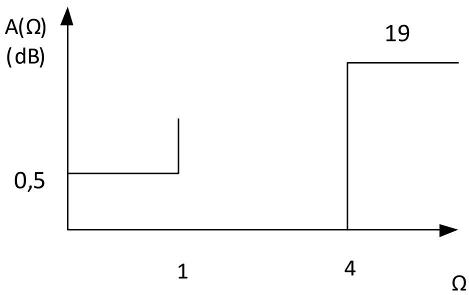
Sugestão: inserir uma tensão de referência de valor igual a $-V_{os}$ no terminal menos do ampop, em vez de o ligar à massa; assim este valor (V_{os}) será anulado no cálculo de $V_o= A(V^+-V^-)$.

II – Filtros Activos

a) $\omega_s= 2\pi x1kHz = 6{,}283x10^3$rad/s

$\omega_p= 2\pi x4kHz = 2{,}513x10^4$rad/s

$\Omega_s=\omega_p/\omega_s=4$



Chebyshev: $A(\Omega)=10\log[1+\varepsilon^2 C_n^2 (\Omega)]$

1) $\Omega=1$

$A(1)= 10\log(1+\varepsilon^2)=0{,}5 \;\rightarrow\; \varepsilon=0{,}349$

2) $\Omega= \Omega_s=4$

$A(\Omega_s)=10\log[1+\varepsilon^2 C_n^2 (\Omega_s)] \geq 19 \;\rightarrow\;$ n=2 (A(4)=20,72 dB)

3)

$$T(s) = 1/H(S)\Big|_{S=\frac{\omega_p}{s}} = \left.\frac{1{,}43138}{S^2+1{,}42562S+1{,}5162}\right|_{S=\frac{\omega_p}{s}} = \frac{0{,}944s^2}{s^2+2{,}363\text{x}10^4 s+4{,}165\text{x}10^8}$$

b) A assimptota de baixa frequência do filtro passa-alto é equivalente à assimptota de alta frequência do filtro passa-baixo normalizado que lhe deu origem. Assim, para os filtros passa-baixo normalizados, os filtros de Chebyshev apresentam uma atenuação suplementar, relativamente aos filtros Butterworth da mesma ordem, de 6(n-1)dB. Neste caso de n=2 vem uma atenuação suplementar para o filtro de Butterworth de -6dB.

c) $A(\omega)$ = 0 dB terá que corresponder a $A(\Omega)$ = 0 dB, ou seja $10\log[1+\varepsilon^2 C_2^2 (\Omega)] = 0$, que implica $C_2 (\Omega) = 0$. Mas $2\Omega^2-1 = 0$ implica $\Omega = \omega_p/\omega = 0{,}7071$, ou seja ω = 35543 rad/s = 2πx5657 rad/s.

d) 1) Os melhores filtros RC-activos são os filtros baseados nos melhores filtros passivos (sensibilidades mais baixas), que são os filtros LC em escada duplamente terminados. Estes filtros RC-activos podem ser obtidos por simulação direta (usando GICs) ou simulação operacional (usando integradores de Miller).

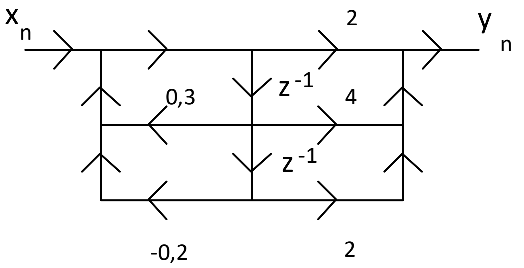
2) Para multiplicar a função de transferência por uma constante de ganho G<1 sem redimensionar o filtro todo, e portanto mantendo os polos, substitui-se o ramo flutuante de entrada das secções por um divisor potenciométrico de valor G, garantindo que a impedância do paralelo dos dois novos componentes é igual à original substituída.

III – Filtros Digitais

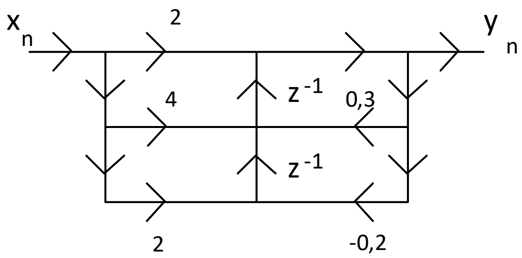
a) Filtro IIR. Equação de recorrência: $y_n=2x_n+4x_{n-1}+2x_{n-2}+0,3y_{n-1}-0,2y_{n-2}$
Os polos estão em pi=0,15±j0,421. É estável pois os polos (no plano **Z**) estão dentro do círculo unitário (|pi| = 0,447).

b) Forma canónica significa com número mínimo de atrasos.

Forma Direta II



Forma Direta II Transposta



c) Considerando X(z) a transformada Z do sinal de entrada x_k e Ê(z) a transformada Z da saída do filtro adaptativo, temos Ê(z)= X(z)T(z).
Considerando y_k o sinal de erro e μ o passo de adaptação, o algoritmo LMS vem (no tempo)

$$\hat{c}_i(k+1) = \hat{c}_i(k) + 2\mu y_k \frac{\partial \hat{e}_k}{\partial \hat{c}_i} = \hat{c}_i(k) + 2\mu y_k \alpha_{\hat{c}_i}(k) \quad \text{com} \quad \hat{c}_0 = \hat{a}_0,\ \ \hat{c}_1 = \hat{a}_1,\ \ \hat{c}_2 = \hat{b}_1$$

Como a Transformada Z é linear, vem $\alpha_{\hat{c}_i}(z) = Z\left\{\alpha_{\hat{c}_i}(k)\right\} = Z\left\{\frac{\partial \hat{e}_k}{\partial \hat{c}_i}\right\} = \frac{\partial Z\left\{\hat{e}_k\right\}}{\partial \hat{c}_i} = \frac{\partial \hat{E}(z)}{\partial \hat{c}_i} = X(z)\frac{\partial T(z)}{\partial \hat{c}_i}$

O processamento de sinal virá para os $\alpha_{\hat{c}_i}(z)$

$$\alpha_{\hat{a}_0}(z) = X(z)\frac{1}{1+\hat{b}_1 z^{-1}} \qquad \alpha_{\hat{a}_1}(z) = X(z)\frac{z^{-1}}{1+\hat{b}_1 z^{-1}} \qquad \alpha_{\hat{b}_1}(z) = -X(z)\frac{\hat{a}_0+\hat{a}_1 z^{-1}}{1+\hat{b}_1 z^{-1}}\frac{z^{-1}}{1+\hat{b}_1 z^{-1}} = -\hat{E}(z)\frac{z^{-1}}{1+\hat{b}_1 z^{-1}}$$

IV – Conversores A/D e D/A

a)
$V_o = -I_o R_f$

$$I_o = \frac{V_{ref}}{2R} + \frac{V_{ref}}{2x2R} + \frac{V_{ref}}{4x2R} = \frac{V_{ref}}{R}\left(\frac{1}{2}+\frac{1}{4}+\frac{1}{8}\right)$$

$$V_o = -\frac{R_f}{R}V_{ref}\left(\frac{7}{8}\right) = 8,75\ \text{V}$$

A estrutura R-2R nos conversores D/A evita que as resistências associadas aos ramos de cada bit, para poder haver um peso destes coerente com o código binário, teriam que ter uma dispersão de valores elevada. Desta forma só há 2 valores de resistência independentemente do número de bits.

b) No conversor de dupla rampa o sinal analógico a converter é integrado durante um período de tempo fixo T_1. Desta forma, o ruído associado ao sinal de entrada também será integrado durante o mesmo período. Ora a integração de um sinal de média nula periódico, se o tempo de integração for múltiplo do seu período dará um resultado nulo. Assim, o conversor será imune ao ruído de média nula de período T_1. O conversor (T_1) pode então ser desenhado por forma a rejeitar certos ruídos indesejados.