

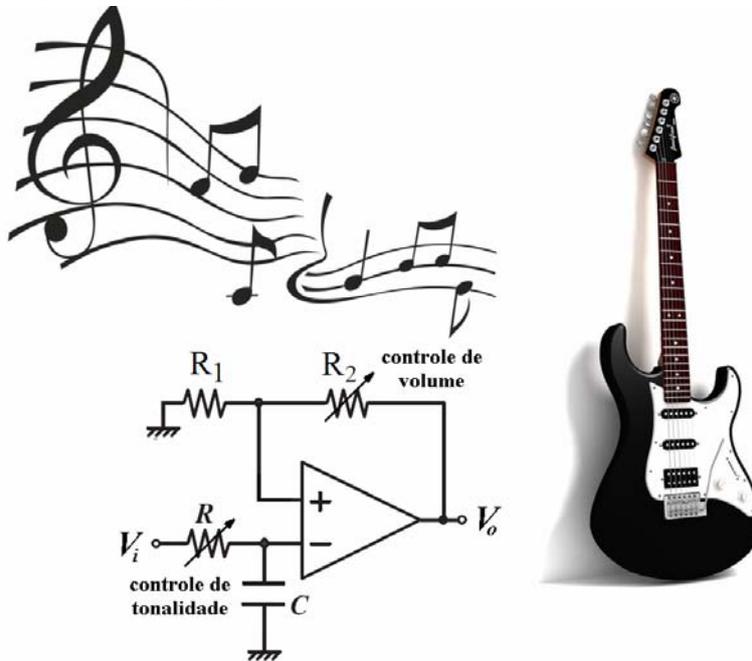


UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE ENGENHARIA ELÉTRICA E
INFORMÁTICA
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA ELÉTRICA
ELETRÔNICA

LISTA DE EXERCÍCIOS #11

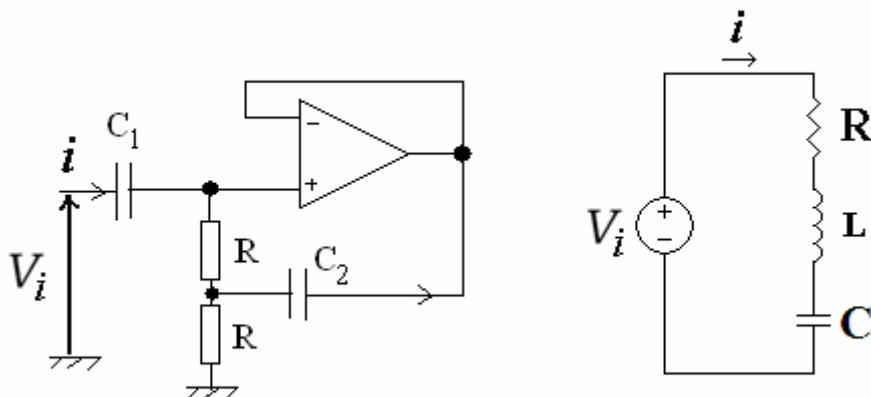
(1) O circuito a seguir é usado como *pré-amplificador e controle de tonalidade* para amplificar sinais gerados por um instrumento musical.

(A) Determine a **função de transferência $H(s)$** para o circuito amplificador, com controle de tonalidade, mostrado na figura a seguir, formado pela associação de um amplificador operacional com ganho não inversor e um filtro elétrico na entrada. (B) **Identifique o tipo e a ordem do filtro** (C) **Determine o ganho e a frequência de corte**. Observe que o ganho é determinado pelo potenciômetro R_2 do *controle de volume* e a *tonalidade* (grave & agudo) pelo potenciômetro R do filtro elétrico.



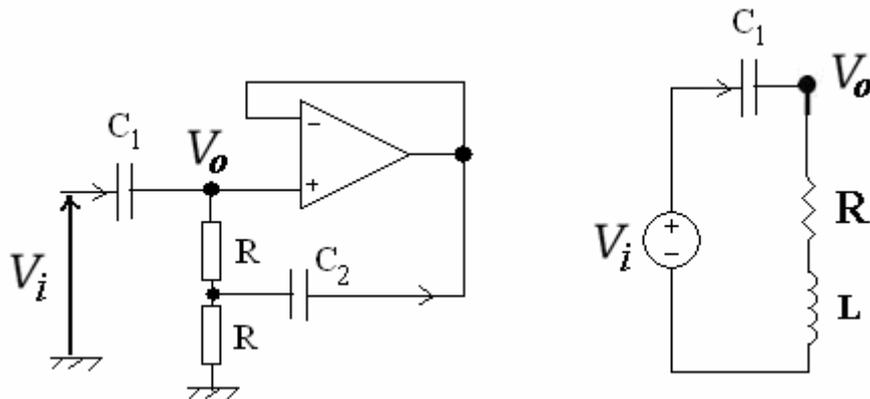
(2) **RLC SÉRIE**

Mostre que o circuito a seguir é equivalente a um circuito ressonante série RLC. Determine os valores de R , C e L equivalentes. Encontre a frequência de ressonância e o fator de qualidade Q .



(3) FILTRO

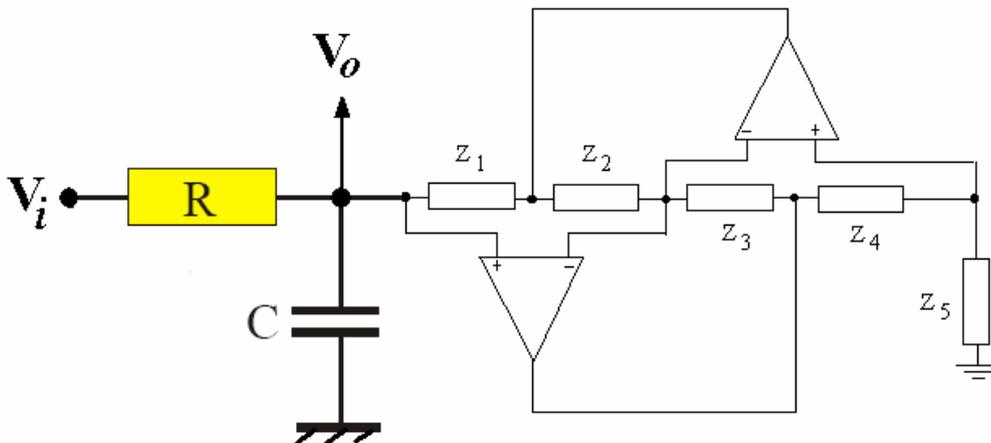
Encontre a função de transferência $H(s)$ para o circuito a seguir e classifique-o como filtro.



(4) FILTRO PASSA-FAIXA

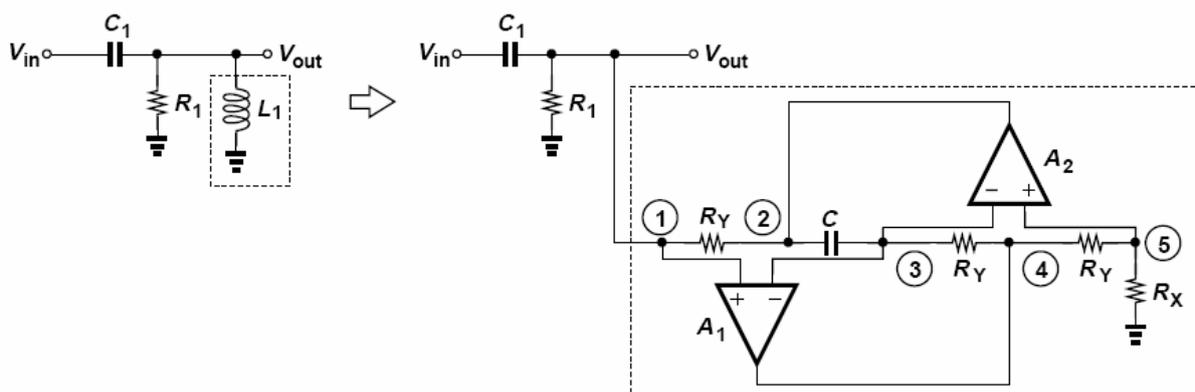
Mostre que o circuito apresentado na figura a seguir representa um filtro passa-faixa de segunda ordem. Considere $Z_1 = Z_2 = Z_3 = Z_5 = R$ e Z_4 um capacitor de valor C .

- (A) Encontre a função de transferência $H(s)$.
- (B) Determine o fator de qualidade Q e a frequência central do filtro f_o .
- (C) Determine as frequências de corte inferior f_1 e superior f_2 .
- (D) Determine a faixa de passagem Δf .



(5) FILTRO

Encontre a função de transferência $H(s)$. Classifique-o como filtro.



(6) FILTRO PASSA-BAIXA

Projete um *filtro ativo passa-baixa de segunda ordem com aproximação Chebyshev*, para uma frequência de corte de 1kHz e ondulação de 0,5dB, usando uma **topologia**:

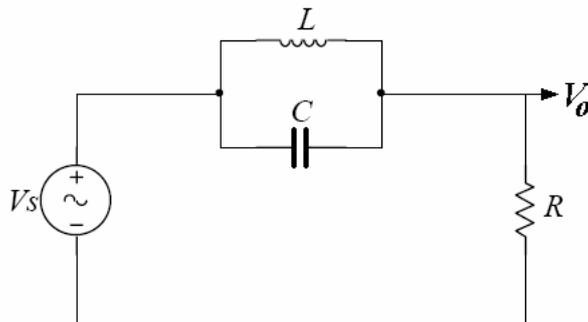
(A) *Multiple-Feedback Low-Pass Filter*

(B) *Sallen-Key (Voltage-Controlled Voltage-Source - VCVS)*

(C) *Filtro Ativo Universal - (State Variable Filter) - Kerwin-Huelsman-Newcomb (KHN) Biquad Filter*

(7) FILTRO REJEITA-FAIXA (NOTCH)

Um circuito muito útil para rejeitar o ruído em alguma frequência, tal como proveniente de uma interferência, é o *filtro de rejeição de faixa* mostrado na figura a seguir. Determine a *função de transferência H(s)* e a *frequência de rejeição* para o circuito projetado mostrado na figura a seguir. Considere $L=47mH$, $R=212\Omega$ e $C=150\mu F$.



Resposta: 60 Hz

$$|H(\omega)| = \frac{R(1 - \omega^2 LC)}{\sqrt{(R - R\omega^2 LC)^2 + (\omega L)^2}}$$

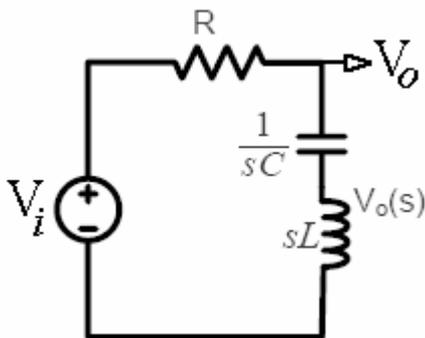
(8) FILTRO REJEITA-FAIXA (NOTCH)

Usando o circuito RLC mostrado na figura a seguir projete um *filtro rejeita-faixa* na frequência de 750 Hz e com faixa de passagem de 250 Hz.

(a) A partir de um capacitor de 100 nF determine os valores de R, L, o fator de qualidade Q, a faixa de passagem e as frequências de cortes inferior e superior.

(b) Substitua o indutor por um *Conversor Geral de Impedância (GIC – General Impedance Converter)* e apresente um circuito completo com os novos valores.

Respostas: $L = 450\mu H$, $R = 707\Omega$, $Q = 3$, $\omega_1 = 3992 rad / s$ e $\omega_2 = 5562,8 rad / s$.



(9) (a) Quantos *zeros* possui a *função de transferência H(s)* de um *filtro ativo passa-alta Butterworth de quinta ordem* e onde estão localizados no *plano-s* ?

(b) Quantos *zeros* possui a *função de transferência H(s)* de um *filtro ativo passa-faixa Chebyshev de sexta ordem* e onde estão localizados no *plano-s* ?

(10) FILTRO REJEITA FAIXA

Uma forma de obter um filtro rejeita-faixa através de um filtro passa-faixa e um amplificador é por meio da relação

$$\underbrace{H_o \cdot \frac{s^2 + \omega_c^2}{s^2 + s\frac{\omega_c}{Q} + \omega_c^2}}_{\text{Filtro rejeita-faixa}} = \underbrace{H_o}_{\text{Amplificador}} \cdot \underbrace{\frac{s\frac{\omega_c}{Q}}{s^2 + s\frac{\omega_c}{Q} + \omega_c^2}}_{\text{Filtro passa-faixa}}$$

Sugira um circuito capaz de implementar a função de transferência de um filtro rejeita-faixa segundo esta forma.

(11) Realizações práticas de filtros analógicos normalmente são baseadas na fatoração da função de transferência. Apresente um circuito capaz de implementar a função de transferência $H(s)$ a seguir. Classifique-o como filtro.

$$\rightarrow \left[\frac{s^3}{s^3 + 40s^2 + 800s + 8000} \right] \rightarrow$$

Observe que a função de transferência $H(s)$ pode ser fatorada como mostrada a seguir.

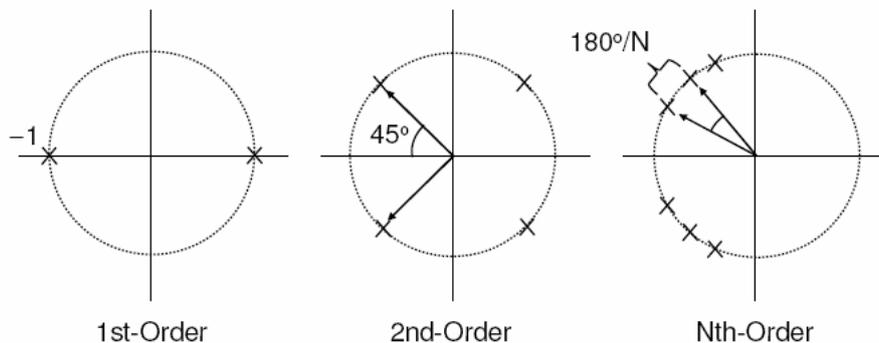
$$H(s) = \frac{s^2}{s^2 + 20s + 400} \times \frac{s}{s + 20}$$

(12) A função de transferência a seguir refere-se a um **filtro passa-baixa de segunda ordem Butterworth**. Determine a **frequência de corte** do filtro.

$$H(j\omega) = \frac{1}{\left(\frac{j\omega}{2\pi \times 10^6}\right)^2 + \sqrt{2}\left(\frac{j\omega}{2\pi \times 10^6}\right) + 1}$$

Resposta: $f_c = 1\text{MHz}$.

(13) Determine o **ângulo formado entre os polos** de um filtro passa-baixa de quinta ordem com aproximação Butterworth.



(12) CAPACITOR CHAVEADO

Um capacitor de 10pF é chaveado a uma taxa de 100 kHz. Determine o valor da resistência equivalente. **Resposta:** 1MΩ.

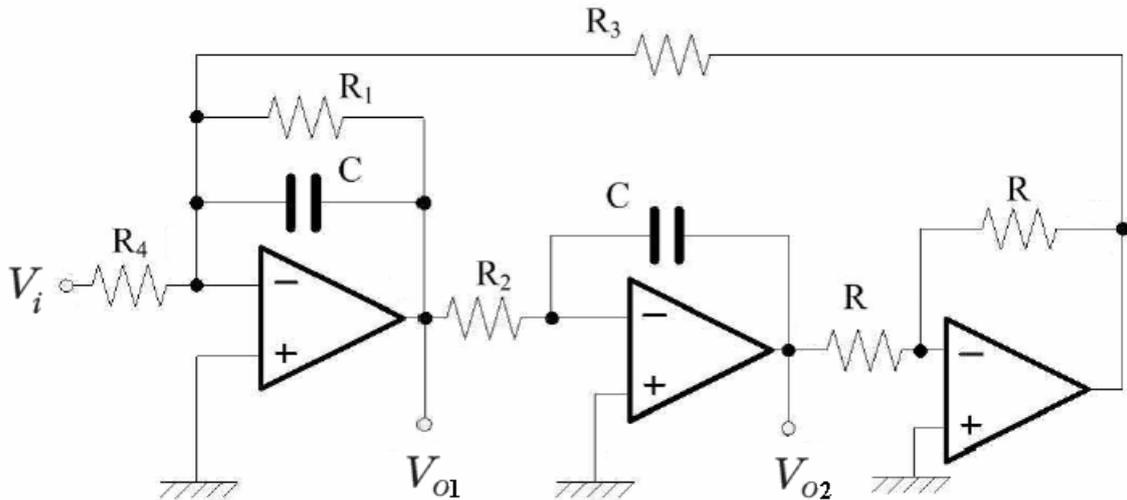
(13) Filtro Ativo de Segunda Ordem – Filtro biquad TOW-THOMAS

(A) A topologia de filtro mostrada na figura a seguir, conhecida como *biquad Tow-Thomas*, em referência a seus criadores, pode ser utilizada para operar como *dois filtros ativos simultaneamente*, ou seja, como *filtro passa-baixa e passa-faixa*, ao mesmo tempo. Determine as funções de transferências correspondentes a $H_1(s)$ e $H_2(s)$, com relação as saída V_{O1} e V_{O2} . A partir do diagrama do circuito mostre que:

$$H_1(s) = \frac{V_{o1}(s)}{V_i(s)} = - \frac{as}{s^2 + bs + c} \qquad H_2(s) = \frac{V_{o2}(s)}{V_i(s)} = - \frac{a_o}{s^2 + bs + c}$$

Observe que $H_1(s)$ representa a função de transferência para um *filtro passa-faixa* e $H_2(s)$ representa a função de transferência para *um filtro passa-baixa*.

Determine os valores de a, b, e c.



(B) Mostre que as saídas V_{O1} e V_{O2} estão relacionadas com a entrada V_i pelas relações a seguir.

$$\frac{V_{O1}}{V_i} = - \frac{\frac{1}{CR_4} s}{s^2 + \frac{1}{CR_1} s + \frac{1}{C^2 R_2 R_3}}$$

$$\frac{V_{O2}}{V_i} = \frac{\frac{1}{C^2 R_2 R_4}}{s^2 + \frac{1}{CR_1} s + \frac{1}{C^2 R_2 R_3}}$$

(C) Mostre que f_0 e Q são iguais para ambos os filtros e podem ser expressos pelas equações a seguir.

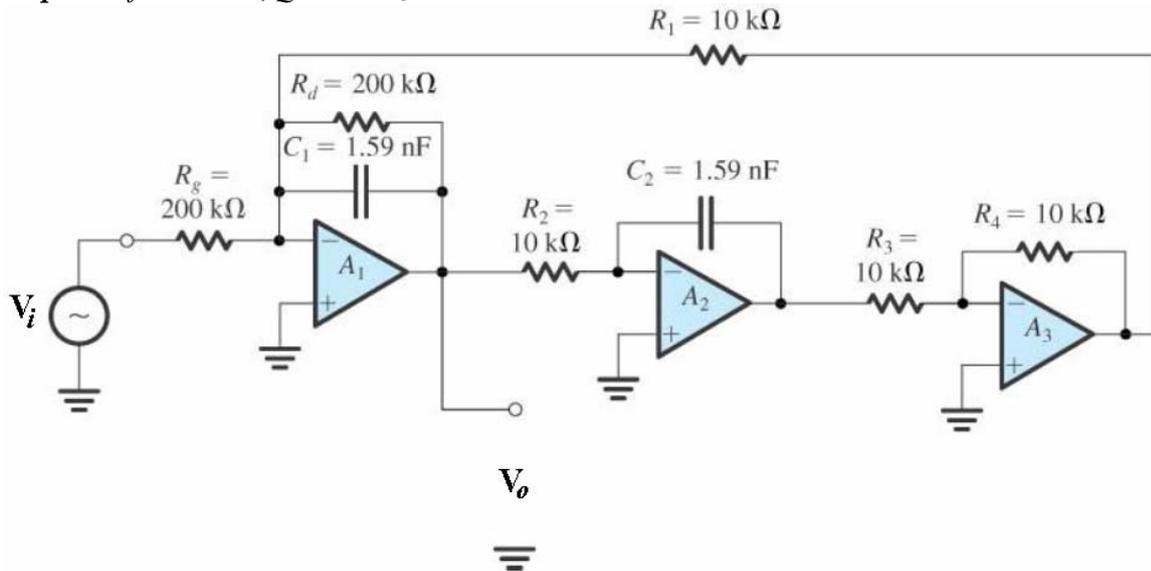
$f_0 = \frac{1}{2\pi C \sqrt{R_2 R_3}}$	$Q = \frac{R_1}{\sqrt{R_2 R_3}}$
---	----------------------------------

(D) Determine a faixa de passagem.

(14) FILTRO TOW-THOMAS

Determine a *frequência central* f_0 , o *fator de qualidade* Q , o *ganho* e a *faixa de passagem* para o filtro a seguir implementado com um circuito ativo biquad Tow-Thomas.

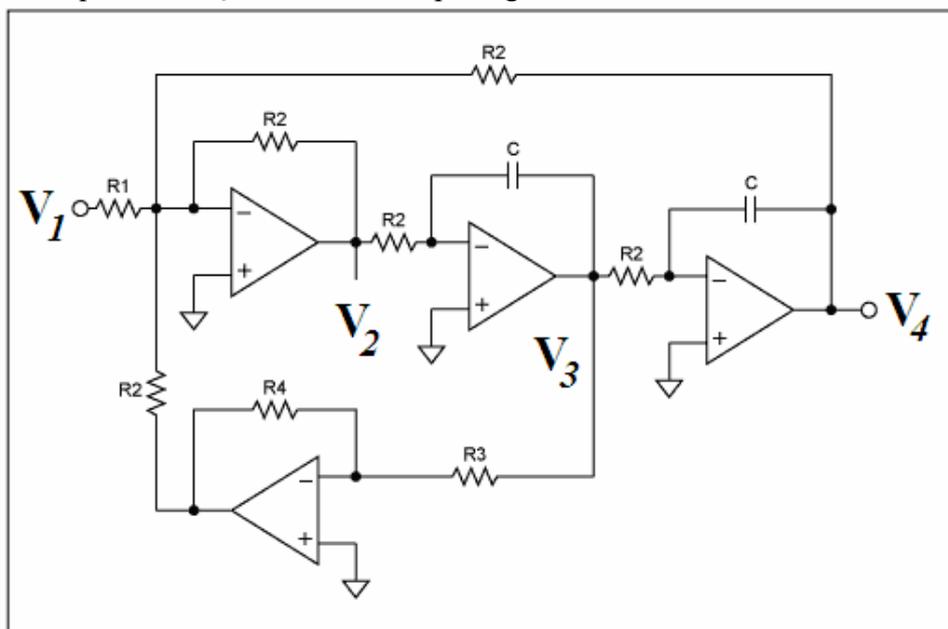
Resposta: $f_0 = 10$ kHz, $Q = 20$ e $H_0 = 1$.



(15) FILTRO UNIVERSAL

A realização de filtro com a topologia *Filtro Universal* oferece uma implementação precisa onde todos os três principais parâmetros de um filtro eletrônico (ganho, fator de qualidade Q e frequência central e de corte ω_0) podem ser *ajustados independentemente*, e as saídas *passa-baixa*, *passa-alta* e *passa-banda* estão *disponíveis simultaneamente*. O ganho de cada um das saídas do filtro é igualmente variável independentemente. Desde que todos os parâmetros do *Filtro Universal (Filtro Variável de Estado)* podem ser ajustados independentemente, esta configuração de circuito disponibiliza uma importante flexibilidade para projetistas de filtros.

Usando a topologia do *Filtro Universal* mostrado na figura a seguir projete um *filtro passa-baixa e passa-alta* com frequências de cortes iguais a 10 kHz e um *filtro passa-faixa* com fator de qualidade $Q = 20$ e faixa de passagem de 500 Hz.

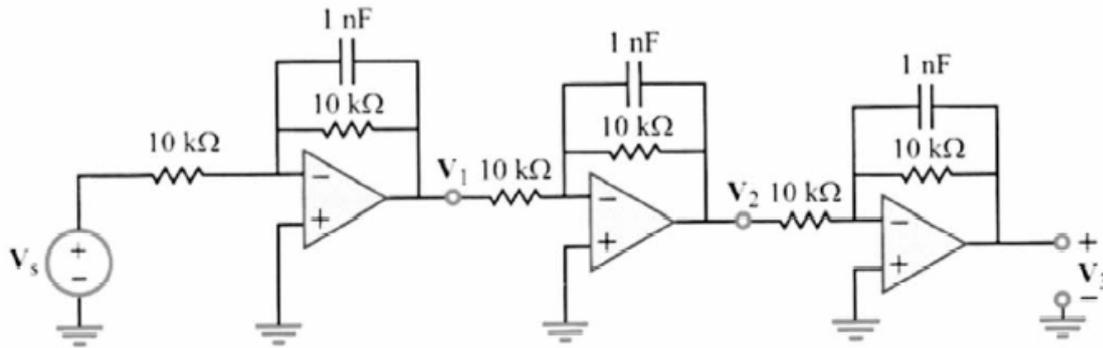


Encontre as funções de transferências $H_1(s) = \frac{V_2}{V_1}$, $H_2(s) = \frac{V_3}{V_1}$ e $H_3(s) = \frac{V_4}{V_1}$.

(16) Classifique e determine a *frequência central* f_0 , o *fator de qualidade* Q e a *faixa de passagem* para um filtro implementado com a *função de transferência* $H(s)$ mostrada a seguir. Sugira um circuito capaz de realizar esta função de transferência.

$$H(s) = \frac{60 \times 10^{12} s}{s^2 + 200 \times 10^3 s + 100 \times 10^{12}}$$

(17) Encontre a função de transferência $H(s)$ para o circuito a seguir. Determine as frequências de cortes nos pontos V_1 , V_2 e V_3 .



(18) Um engenheiro mediu as frequências -3dB de um seletor de frequências como 9.34 kHz e 10.21 kHz. Determine a frequência ressonante e o fator de qualidade do filtro Q .

Resposta: 9,77 kHz e 0,87 kHz.

(19) Determine a *ordem de um filtro com aproximação Butterworth* passa baixa capaz de proporcionar uma atenuação de 40dB, com relação a frequência de corte, na frequência de uma oitava da frequência de corte.

(20) Após ter projetado um seletor de frequências de faixa estreita, um engenheiro mediu a resposta em frequência em torno da frequência de ressonância alimentando o filtro com um sinal senoidal de 60 mV e medindo a tensão da saída. A seguinte tabela sumariza os resultados.

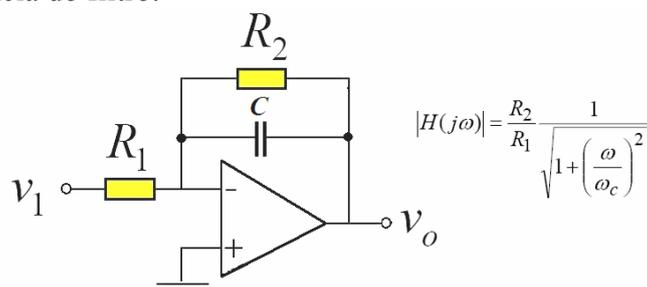
F (kHz)	1.85	1.9	1.95	2	2.05	2.1	2.15	2.25	2.3	2.35	2.4
V_o (V)	0.43	0.49	0.55	0.61	0.67	0.71	0.77	0.68	0.59	0.54	0.5

Use estas informações e determine o ganho, a frequência central, as frequências de corte inferior e superior, o fator de qualidade Q e a faixa de passagem do filtro projetado Δf .

Resposta: Ganho = 12,8.

(21) FILTRO ATIVO PASSA-BAIXA

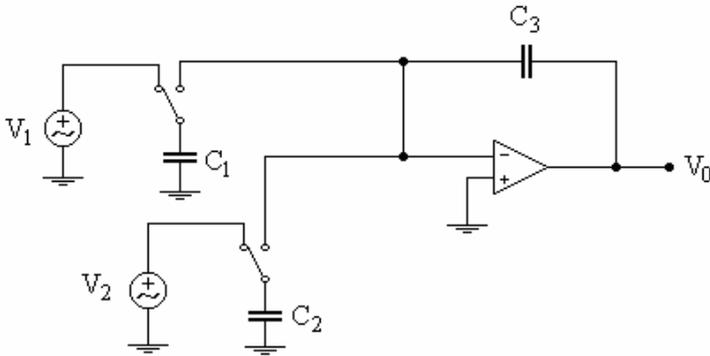
Use a estrutura de filtro a seguir e projete um filtro passa-baixa com - 3dB na frequência de 10 kHz, impedância de entrada de 10 kΩ e ganho DC igual a 10. Determine a resposta em frequência do filtro.



Respostas: $C=129\text{pF}$, $R_1=10\text{k}\Omega$ e $R_2=100\text{k}\Omega$.

(22) CIRCUITO A CAPACITOR CHAVEADO

Mostre que no circuito a capacitor chaveado da figura a seguir a tensão de saída pode ser determinada pela expressão V_o .



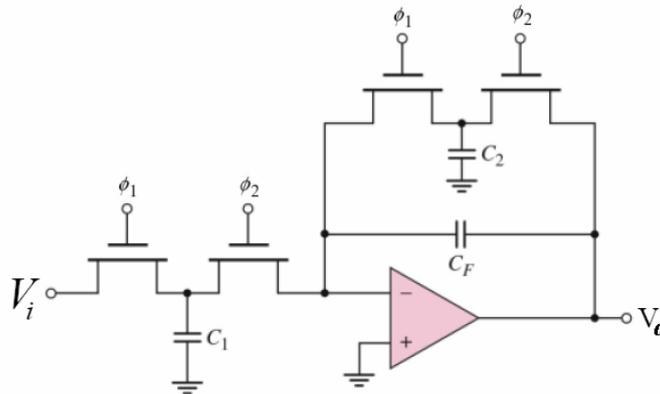
$$V_o = -\frac{1}{j\left(\frac{f}{f_1}\right)} V_1 - \frac{1}{j\left(\frac{f}{f_2}\right)} V_2$$

$$f_1 = \frac{1}{2\pi} \frac{C_1}{C_3} f_{CLK}$$

$$f_2 = \frac{1}{2\pi} \frac{C_2}{C_3} f_{CLK}$$

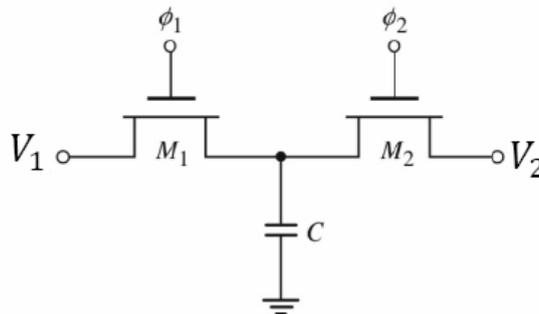
((23) FILTRO PASSA-BAIXA A CAPACITOR CHAVEADO

Considere o circuito a capacitor chaveado mostrado a seguir. Determine o **ganho DC** e a **freqüência de corte**. Considere $C_1=30\text{pF}$, $C_2=5\text{pF}$ e $C_F=12\text{pF}$. A freqüência de clock é de 100 kHz.



(24) CAPACITOR CHAVEADO

Considere o circuito a capacitor chaveado mostrado na figura a seguir, na qual $V_1=2\text{V}$, $V_2=1\text{V}$, $C=10\text{pF}$ e a freqüência de chaveamento (**clock**) vale 100 kHz.
 (A) Determine a **carga transferida** de V_1 para V_2 durante cada pulso do clock.
 (B) Determine o valor da **corrente média** fornecida pela fonte.



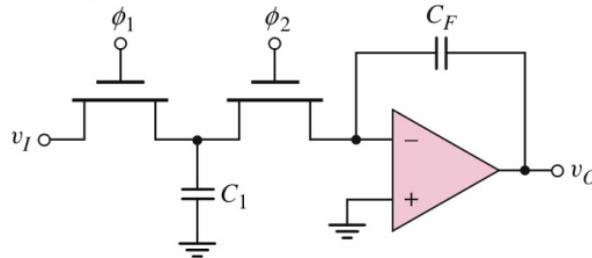
Respostas: $10 \times 10^{-12}\text{C}$ e $1\mu\text{A}$.

(25) INTEGRADOR A CAPACITOR CHAVEADO

O circuito a seguir representa um **integrador a capacitor chaveado**. Considere $C_F=30\text{pF}$, $C_1=5\text{pF}$, $V_1=1\text{V}$ e a freqüência do clock igual a 100 kHz.

- (A) Determine a **constante de tempo de integração RC**.
- (B) Determine a **mudança de tensão na saída** durante cada período do clock.

(C) Se o capacitor C_F encontra-se inicialmente descarregado, quantos *pulsos* do clock são necessários para que V_o mude para 13V?

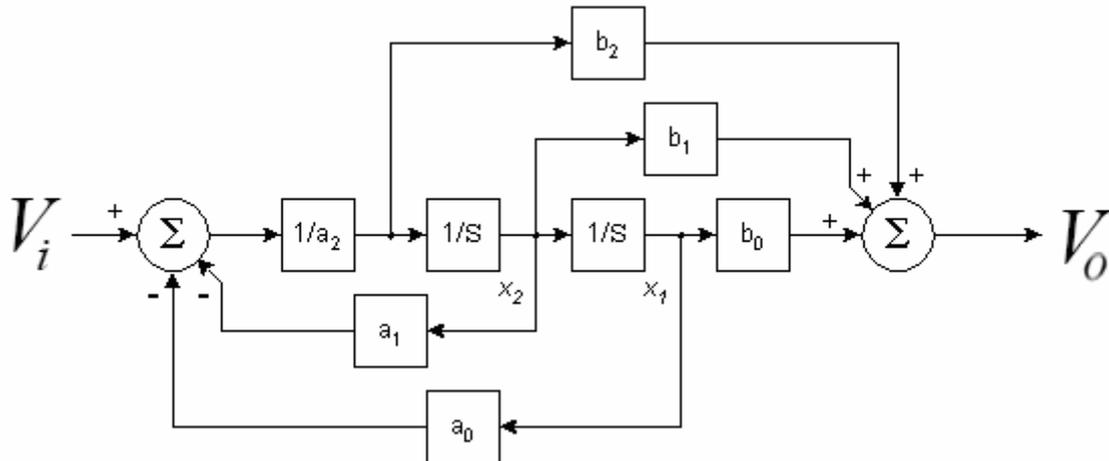


Respostas: (A) 60us (B) 167 mV (C) N = 78 pulsos do clock

(26) FUNÇÃO DE TRANSFERÊNCIA – DIAGRAMA DE BLOCOS

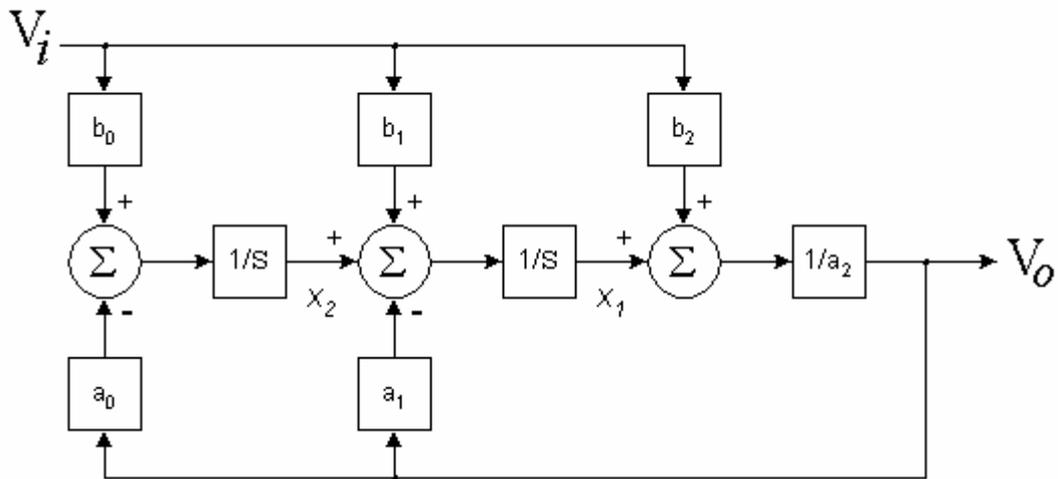
Encontre a função de transferência $H(s)$.

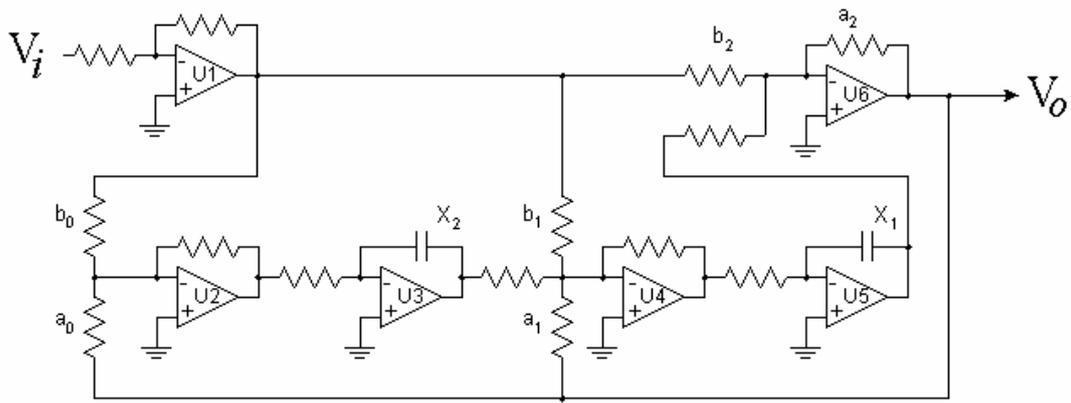
Apresente um circuito capaz de realizar a função de transferência $H(s)$.



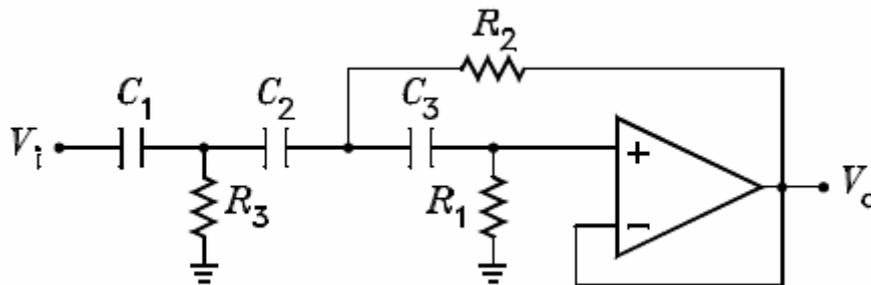
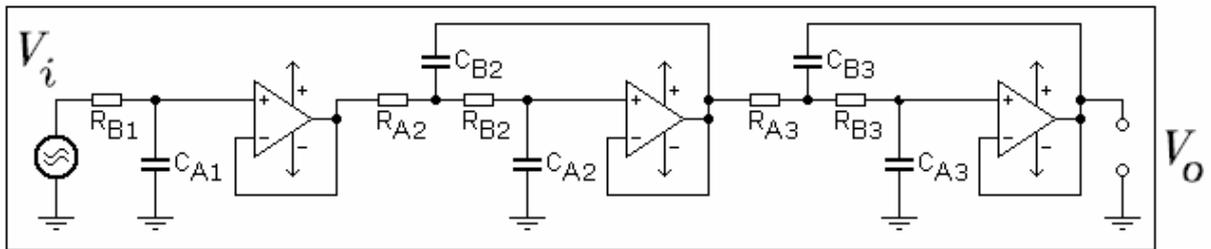
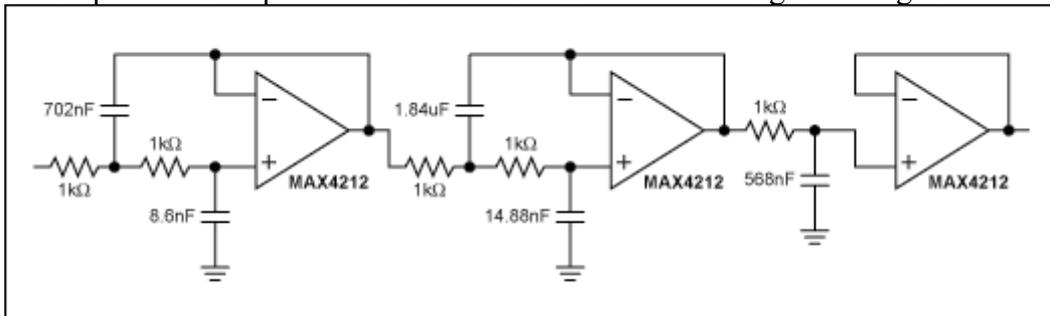
(27) Diagrama de blocos, circuito e função de transferência.

Verifique se o circuito a seguir implementa a função de transferência $H(s)$ do diagrama de blocos mostrado na figura a seguir.

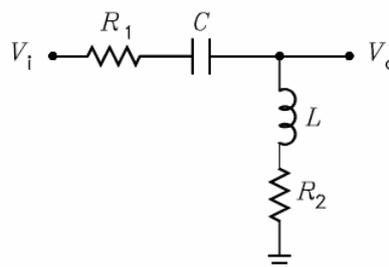




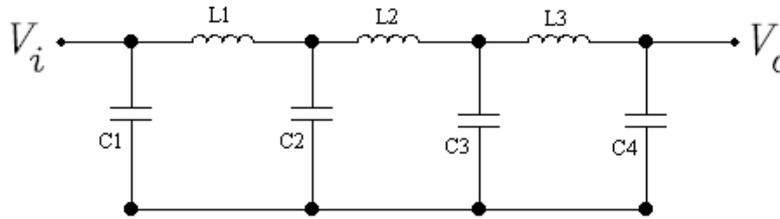
(28) Classifique e identifique a ordem dos filtros mostrados nas figuras a seguir.



- (29) (A) Encontre a função de transferência $\mathbf{H}(s)$ para o circuito mostrado na figura a seguir.
 (B) Determine sob que condições os pólos se tornam complexos.
 (C) Reescreva o circuito a seguir substituindo o indutor L por um simulador de indutância usando amplificador operacional.

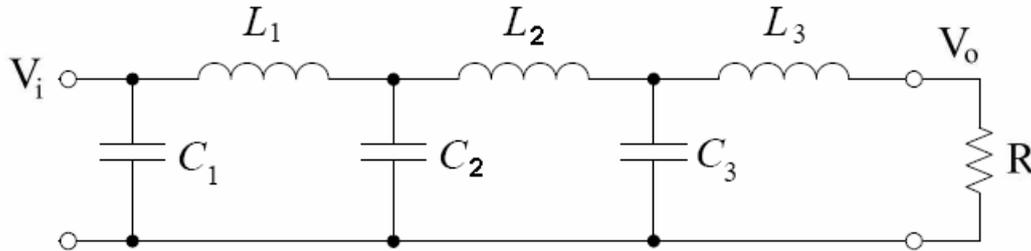


(30) A partir do *protótipo do filtro passivo* mostrado na figura a seguir sugira um circuito equivalente, sem a utilização de indutores, capaz de realizar a mesma função de transferência $H(s)$. Classifique o filtro (passa-baixa, passa-alta, passa-faixa, rejeita-faixa).

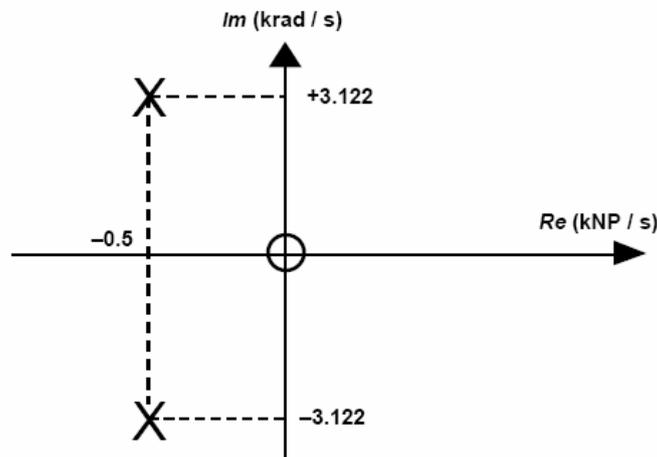


(31) PROTÓTIPO DE UM FILTRO PASSIVO

Use o protótipo do filtro passivo mostrado na figura a seguir para transformá-lo em um filtro sem o uso de indutores e com a utilização de amplificadores operacionais. Apresente o circuito equivalente. *Sugestão:* Desde que o filtro é um circuito linear podemos multiplicar todas as impedâncias por um fator constante sem alterar a sua função de transferência.



(32) Projete um filtro elétrico analógico cujo diagrama de pólos e zeros é mostrado no plano s da figura a seguir. Identifique o tipo e a ordem do filtro. Escreva a função de transferência $H(s)$ correspondente.



- (33) (A) O que você entende por **filtro elétrico**?
- (B) Cite algumas diferenças entre **filtros analógicos** e **filtros digitais**?
- (C) Cite algumas **aplicações** onde filtros elétricos são empregados.
- (D) Cite algumas diferenças entre um filtro com aproximação **Butterworth** e **Chebyshev** de mesma ordem.

(34) FUNÇÃO DE TRANSFERÊNCIA [Transformada de Laplace]

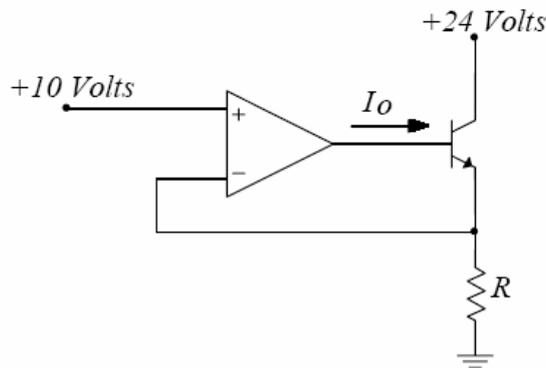
Um *filtro elétrico* possui a seguinte função de transferência:

$$H(s) = \frac{V_0(s)}{V_s(s)} = \frac{10s}{(s + 2)^2}$$

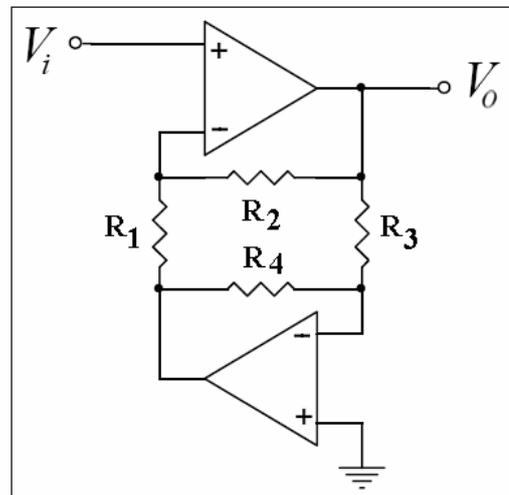
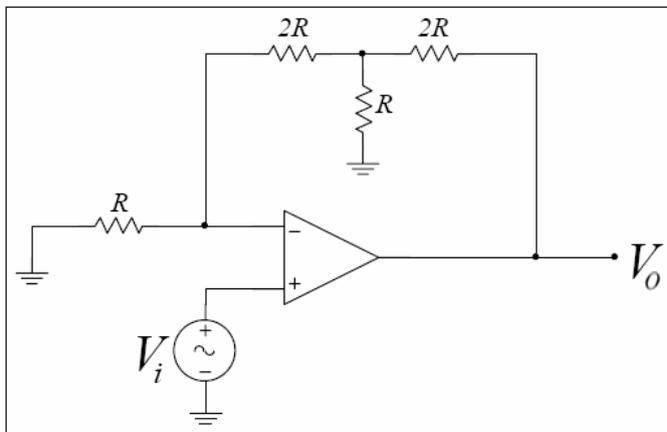
Na entrada do filtro é aplicada uma tensão: $v_s(t) = u(t)$

Determine $v_0(t)$

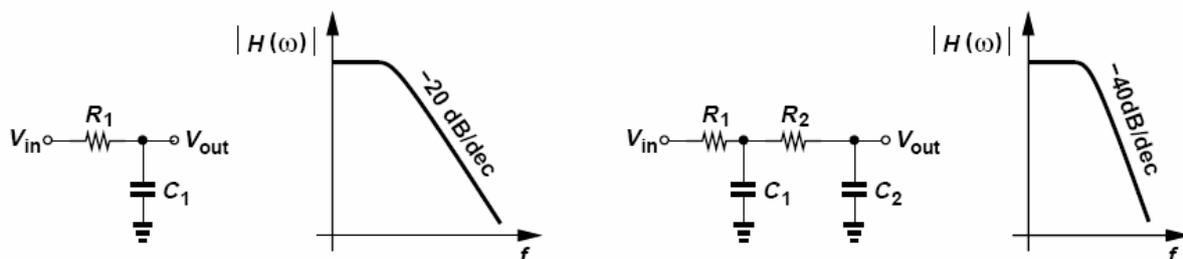
(35) A corrente de saída no amplificador operacional a seguir é igual a $I_0 = 5\text{mA}$. O transistor tem $\beta = 100$. Determine o valor do resistor R e a potência de dissipação no transistor.



(36) Determine o ganho V_o/V_i .



Atenuação Filtro Passa Baixa

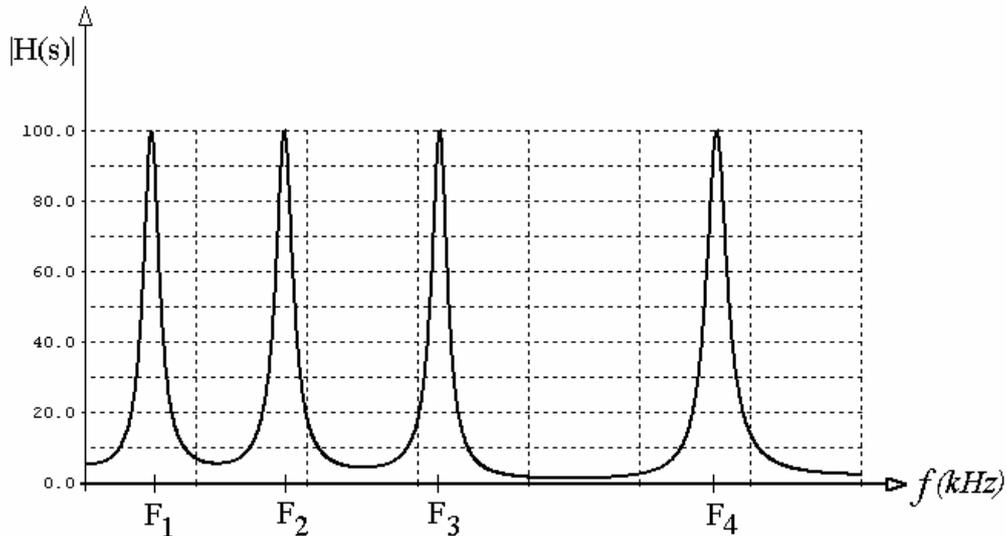


(37) FILTRO PASSA-FAIXA MULTI-BANDA

Suponha que você é contratado como engenheiro eletrônico projetista de uma empresa de equipamentos eletrônicos e é o responsável direto pelo desenvolvimento de uma aplicação que exige um **filtro passa-faixa multi-banda** (*multi-band filter*) com uma configuração da função de transferência $H(s)$ esboçada conforme a figura a seguir.

Apresente um circuito capaz de realizar tal função de transferência.

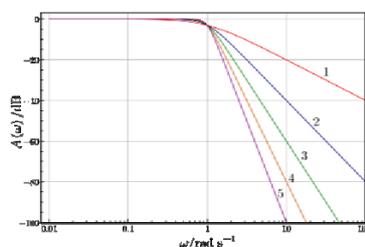
Considere $F_1 = 6\text{kHz}$, $F_2 = 18\text{kHz}$, $F_3 = 32\text{kHz}$ e $F_4 = 57\text{kHz}$.



4. Polinomiais Butterworth normalizados

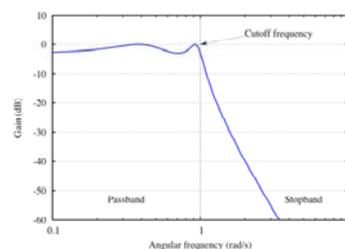
n	Fatores de polinomiais $B_n(s)$
1	$(s + 1)$
2	$s^2 + 1.414s + 1$
3	$(s + 1)(s^2 + s + 1)$
4	$(s^2 + 0.7654s + 1)(s^2 + 1.8478s + 1)$
5	$(s + 1)(s^2 + 0.6180s + 1)(s^2 + 1.6180s + 1)$
6	$(s^2 + 0.5176s + 1)(s^2 + 1.414s + 1)(s^2 + 1.9318s + 1)$
7	$(s + 1)(s^2 + 0.4450s + 1)(s^2 + 1.247s + 1)(s^2 + 1.8022s + 1)$
8	$(s^2 + 0.3986s + 1)(s^2 + 1.111s + 1)(s^2 + 1.6630s + 1)(s^2 + 1.9622s + 1)$

Butterworth



$$|H(\omega)| = \frac{1}{\sqrt{1 + (\omega/\omega_c)^{2n}}}$$

Chebyshev



$$|H(\omega)| = \frac{1}{\sqrt{1 + \epsilon^2 T_n^2\left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)}}$$

N	Fatores de Polinômios Normalizados
Ondulação de 0,5 dB ($\epsilon = 0.3493$)	
1	$s + 2.863$
2	$s^2 + 1.425s + 1.516$
3	$(s + 0.626)(s^2 + 0.626s + 1.142)$
4	$(s^2 + 0.351s + 1.064)(s^2 + 0.845s + 0.356)$
5	$(s + 0.362)(s^2 + 0.224s + 1.036)(s^2 + 0.586s + 0.477)$
6	$(s^2 + 0.1554s + 1.024)(s^2 + 0.4142s + 0.5475)(s^2 + 0.5796s + 0.157)$
7	$(s + 0.2562)(s^2 + 0.1014s + 1.015)(s^2 + 0.3194s + 0.6657)(s^2 + 0.4616s + 0.2539)$
8	$(s^2 + 0.0872s + 1.012)(s^2 + 0.2484s + 0.7413)(s^2 + 0.3718s + 0.3872)(s^2 + 0.4386s + 0.08805)$
Ondulação de 1.0 dB ($\epsilon = 0.5089$)	
1	$s + 1.965$
2	$s^2 + 1.098s + 1.103$
3	$(s + 0.494)(s^2 + 0.494s + 0.994)$
4	$(s^2 + 0.279s + 0.987)(s^2 + 0.674s + 0.279)$
5	$(s + 0.289)(s^2 + 0.179s + 0.988)(s^2 + 0.468s + 0.429)$
6	$(s^2 + 0.1244s + 0.9907)(s^2 + 0.3398s + 0.5577)(s^2 + 0.4642s + 0.1247)$
7	$(s + 0.2054)(s^2 + 0.0914s + 0.9927)(s^2 + 0.2562s + 0.6535)(s^2 + 0.3702s + 0.2304)$
8	$(s^2 + 0.07s + 0.9942)(s^2 + 0.1994s + 0.7236)(s^2 + 0.2994s + 0.3408)(s^2 + 0.3518s + 0.00702)$

(38) Descreva, de forma resumida em poucas sentenças, os esquemas de modulação digital que você conhece e classifique o diagrama com a constelação representada na figura a seguir. Sugira um circuito capaz de implementar este esquema de modulação.

