



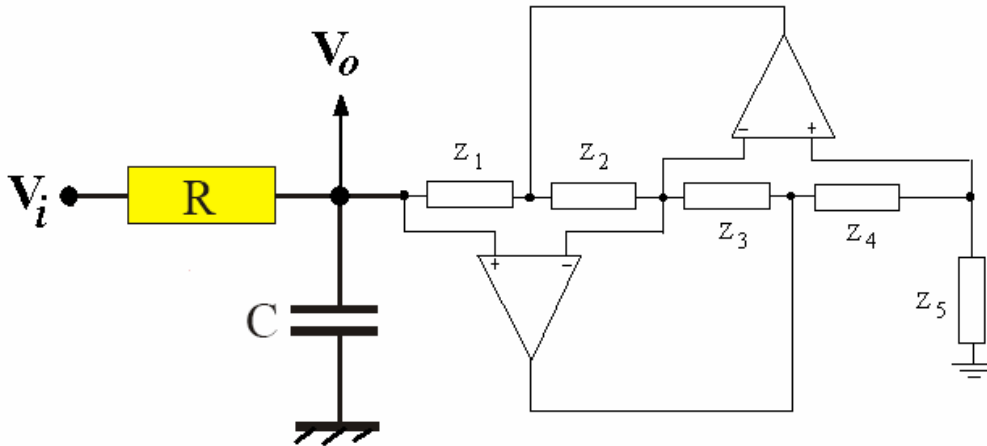
UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE ENGENHARIA ELÉTRICA E
INFORMÁTICA
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA ELÉTRICA
ELETRÔNICA

LISTA DE EXERCÍCIOS #12

(1) FILTRO PASSA-FAIXA

Mostre que o circuito apresentado na figura a seguir representa um filtro passa-faixa de segunda ordem.

- (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 .



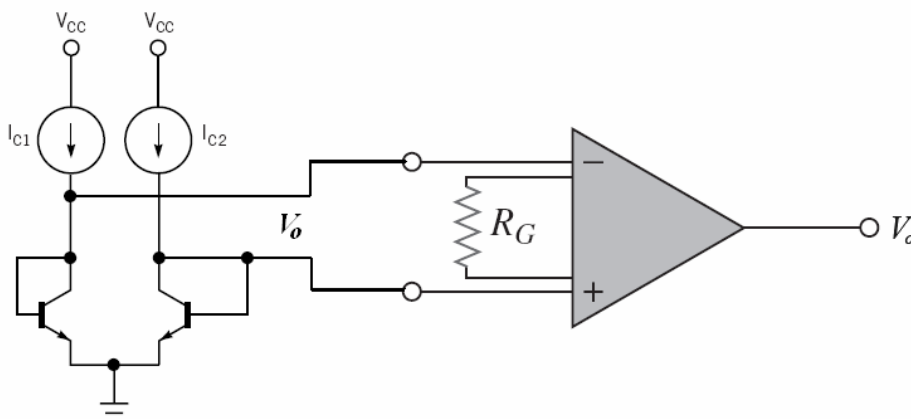
(2) FILTRO PASSA-BAIXA

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*

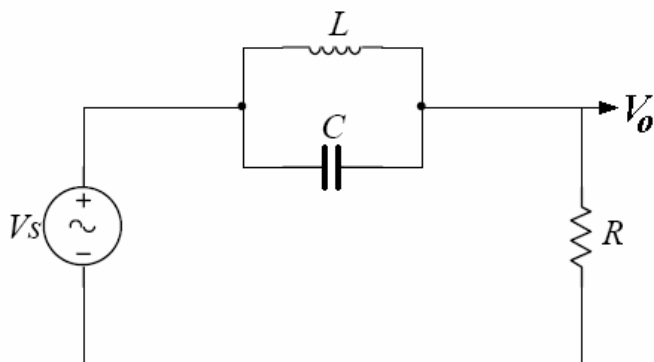
(3) TERMÔMETRO ELETRÔNICO

Mostre que o circuito a seguir pode ser usado na medição de temperatura sendo a saída V_o linearmente proporcional à temperatura T , ou seja, $V_o = \alpha T$. Determine o valor de α .



(4) 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

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

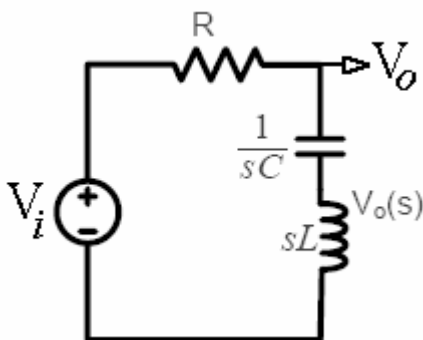
(5) FILTRO REJEITA-FAIXA (NOTCH)

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



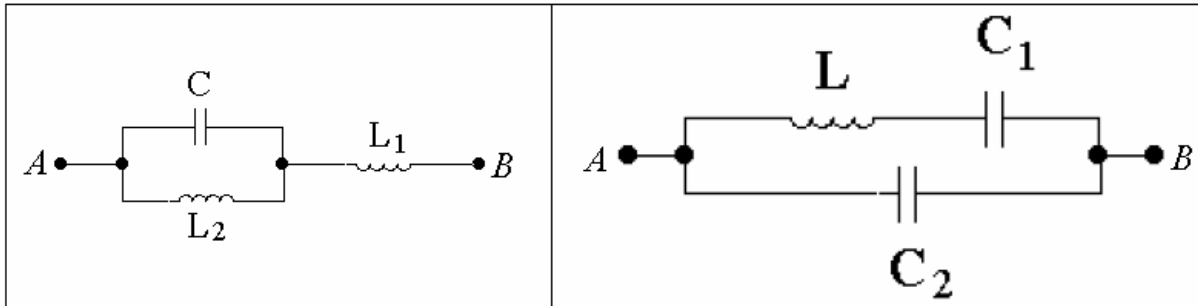
(6) FILTRO REJEITA FAIXA

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

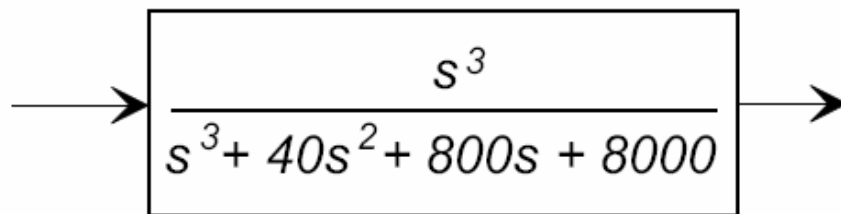
$$\underbrace{H_o \cdot \frac{s^2 + \omega_c^2}{s^2 + s\frac{\omega_c}{Q} + \omega_c^2}}_{\text{Filtro rejeita-faixa}} = \underbrace{H_o}_{\text{Amplificador}} \cdot \underbrace{\frac{s\frac{\omega_c}{Q}}{s^2 + s\frac{\omega_c}{Q} + \omega_c^2}}_{\text{Filtro passa-faixa}}$$

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

(7) **MÚLTIPLA RESSONÂNCIA** - É possível um circuito ser **ressonante** em uma frequência e **anti-ressonante** em outra. Os circuitos mostrados a seguir, conhecidos como “**wave trap**” [armadilha] podem ser usados para **permitir a passagem** [curto circuito] de um sinal em uma determinada frequência e **rejeitar** [circuito aberto] um sinal interferente em outra frequência. Encontre a impedância Z_{AB} entre os pontos A e B. Observe que existe uma frequência que torna $Z_{AB} = 0$ [curto circuito] e uma frequência que torna $Z_{AB} = \infty$ [circuito aberto]. Determine essas duas frequências para cada circuito a seguir.



(8) 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.



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

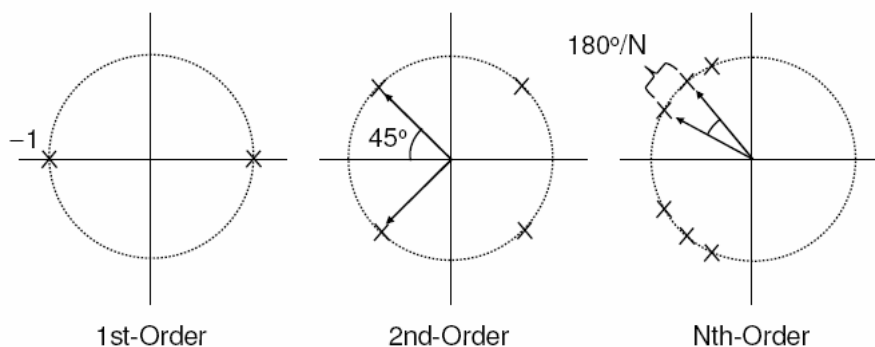
$$H(s) = \frac{s^2}{s^2 + 20s + 400} \times \frac{s}{s + 20}$$

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

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

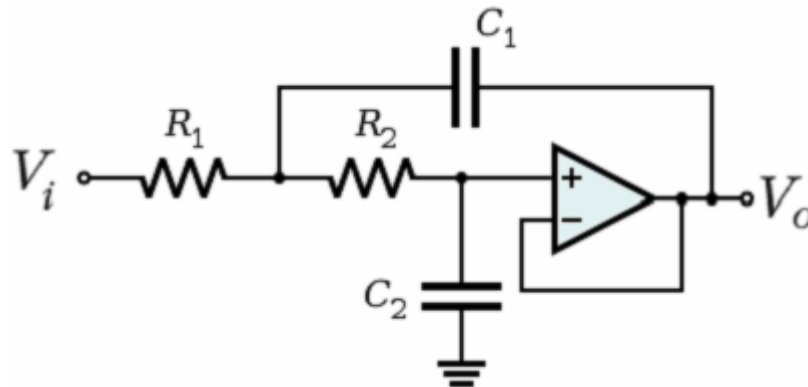
Resposta: $f_c = 1\text{MHz}$.

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



(11) FILTRO SALLEN-KEY

- (A) Determine a *função de transferência* $H(s)$ para o filtro Sallen-Key mostrado na figura a seguir.
(B) *Classifique o filtro* e determine a sua *frequência de corte*.
(C) Determine o *fator de qualidade* Q .



(12) CAPACITOR CHAVEADO

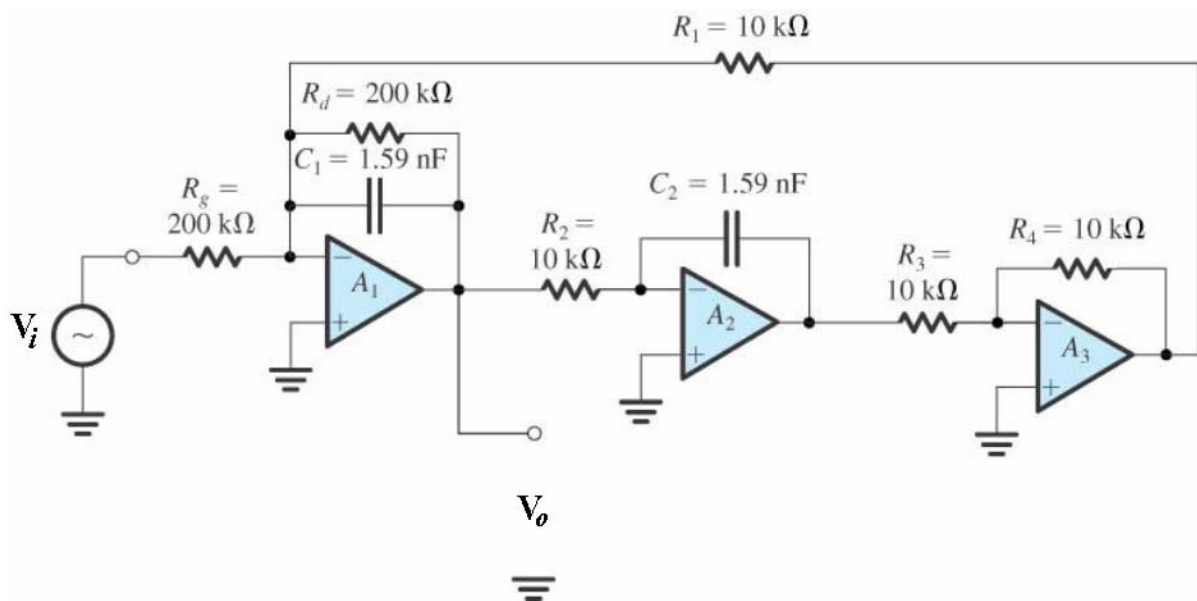
Um capacitor de 10pF é chaveado a uma taxa de 100 kHz. Determine o valor da resistência equivalente.

Resposta: 1MΩ .

(13) FILTRO 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.

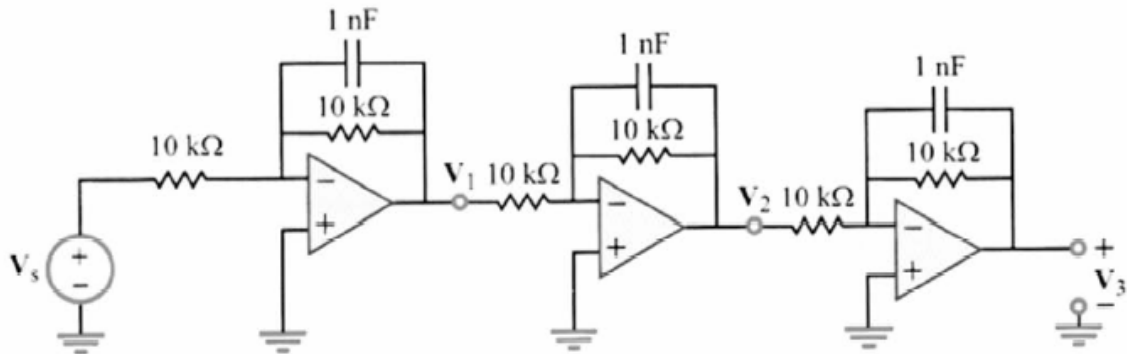
Resposta: $f_0= 10$ kHz, $Q= 20$ e $H_0=1$.



- (14) 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.

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

(15) 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 .



(16) 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.

(17) 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.

(18) 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.

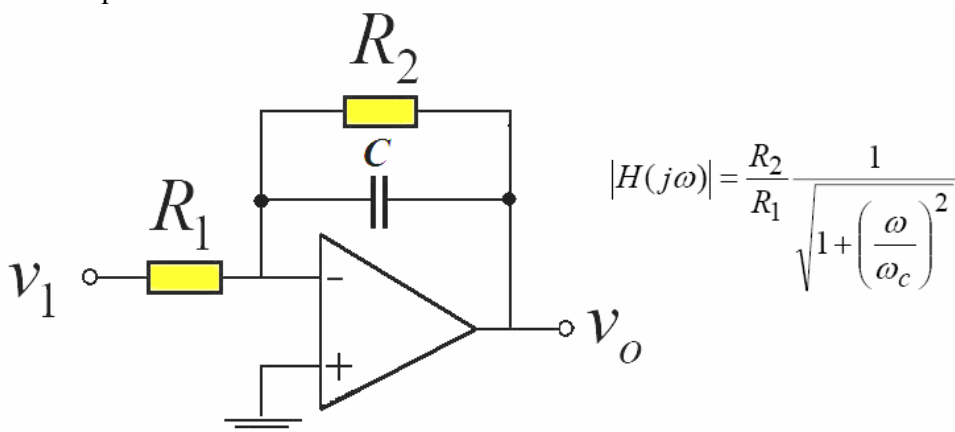
F (kHz)	1.85	1.9	1.95	2	2.05	2.1	2.15	2.25	2.3	2.35	2.4
V_o (V)	0.43	0.49	0.55	0.61	0.67	0.71	0.77	0.68	0.59	0.54	0.5

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.

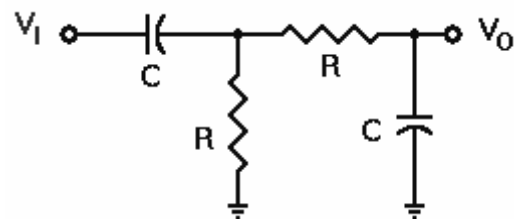
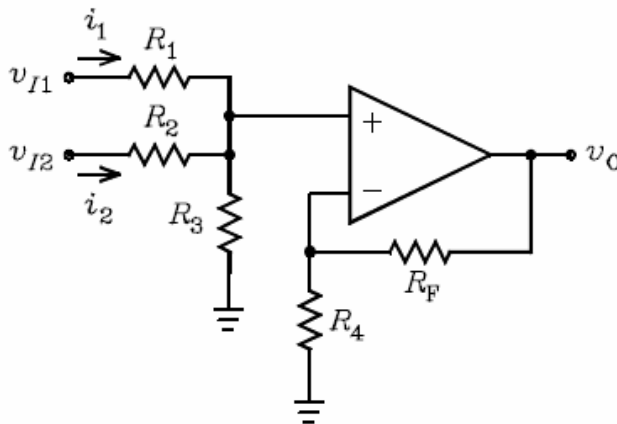
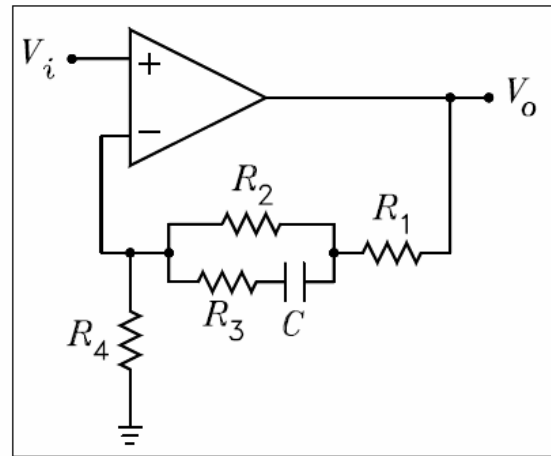
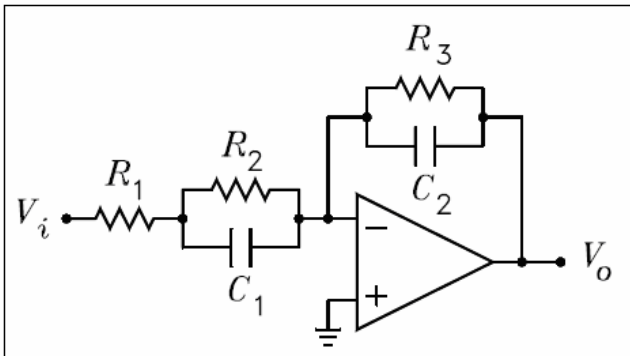
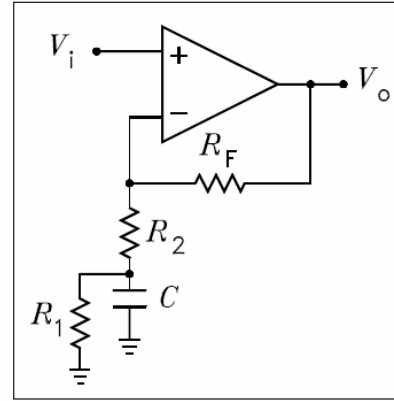
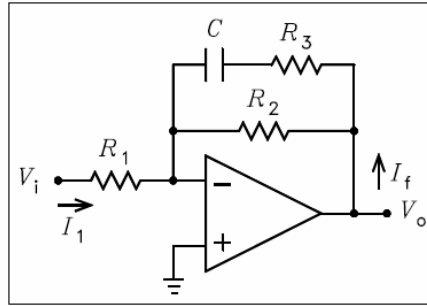
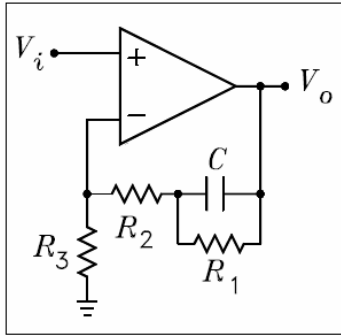
(19) FILTRO ATIVO PASSA-BAIXA

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.

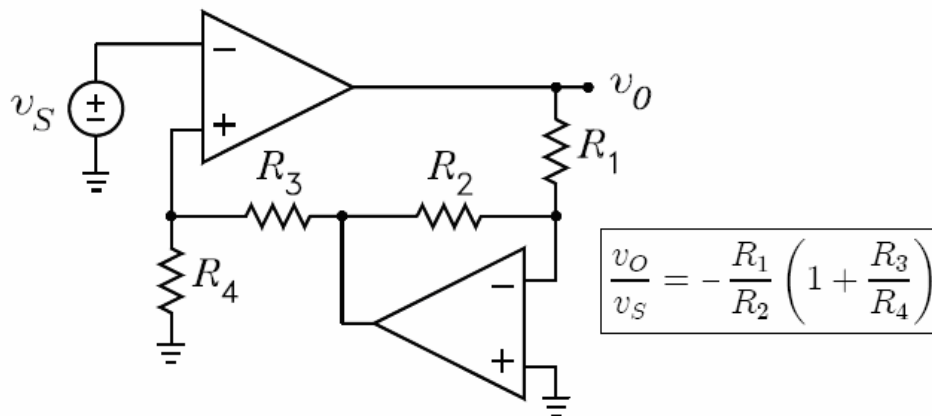


Respostas: C=129pF, $R_1=10k\Omega$ e $R_2=100k\Omega$. Resposta em frequência do filtro:

(20) Encontre a função de transferência $H(s)$ para cada circuito mostrado nas figuras a seguir.

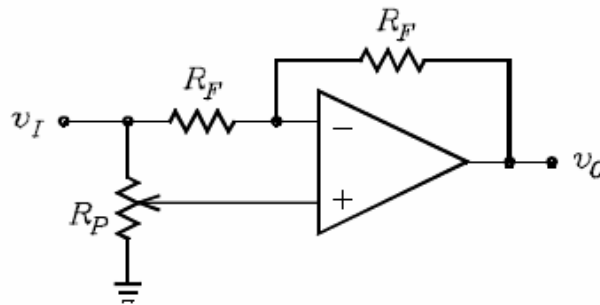


(21) Mostre que a saída V_o está relacionada com a entrada V_s pela relação a seguir.



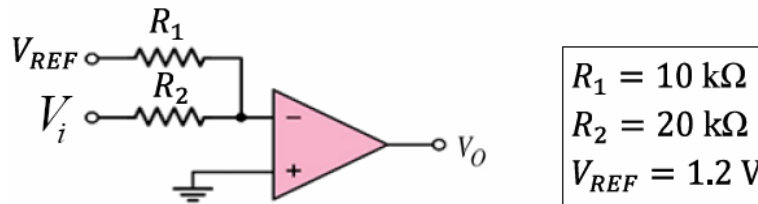
(22) **SWITCH HITTER** – Circuito usado para mudar a polaridade de um sinal na adição com outros sinais. Considere a resistência abaixo do potenciômetro como xR_p e a resistência acima do potenciômetro como $(1 - x)R_p$, onde $0 \leq x \leq 1$. Observe que $xR_p + (1 - x)R_p = R_p$.

Encontre a relação entre V_o e V_i e mostre que o ganho pode variar entre **+1 (não inversor de polaridade)** e **-1 (inversor de polaridade)**.



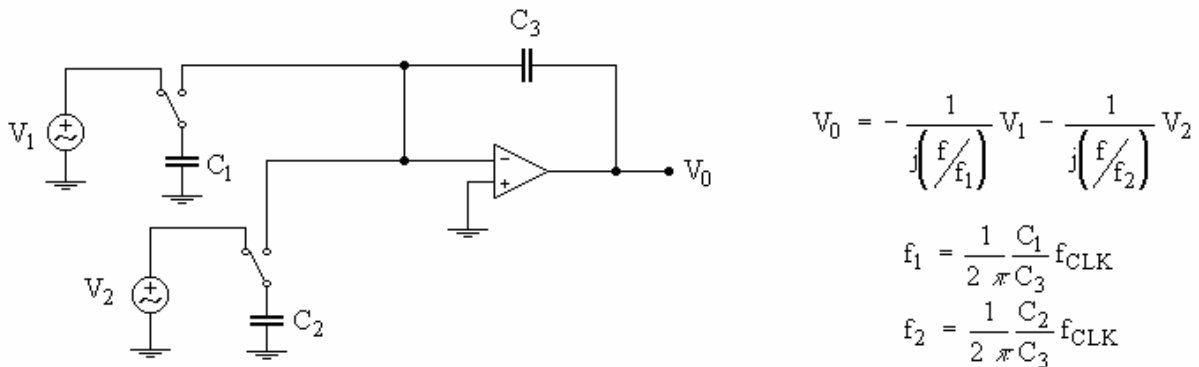
(23) COMPARADOR DE TENSÃO

Considere o circuito comparador de tensão a seguir. Determine o valor da **tensão de threshold [limiar]**, isto é, a **tensão limiar V_i na qual faz a saída V_o mudar de estado**.



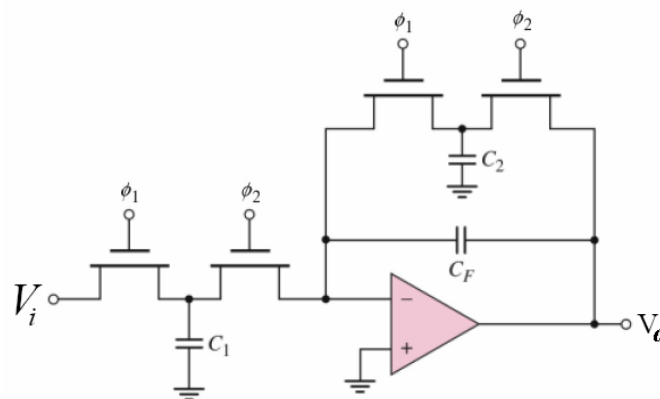
(24) CIRCUITO A CAPACITOR CHAVEADO

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



(25) FILTRO PASSA-BAIXA A CAPACITOR CHAVEADO

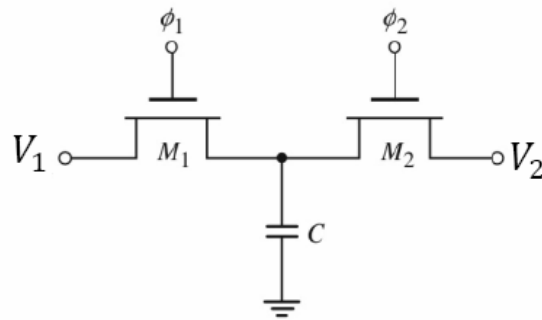
Considere o circuito a capacitor chaveado mostrado a seguir. Determine o **ganho DC** e a **freqüência de corte**. Considere $C_1=30\text{pF}$, $C_2=5\text{pF}$ e $C_F=12\text{pF}$. A freqüência de clock é de 100 kHz.



(26) 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.

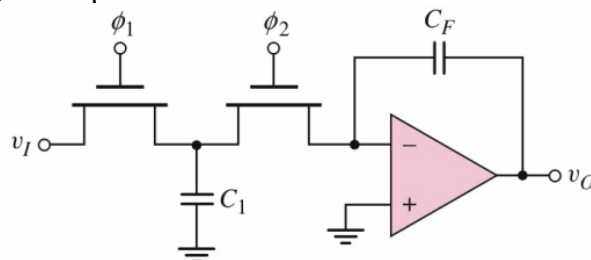


Respostas: $10 \times 10^{-12} C$ e $1 \mu A$.

(27) INTEGRADOR A CAPACITOR CHAVEADO

O circuito a seguir representa um *integrador a capacitor chaveado*. Considere $C_F=30pF$, $C_I=5pF$, $V_I=1V$ e a frequência do clock igual a 100 kHz.

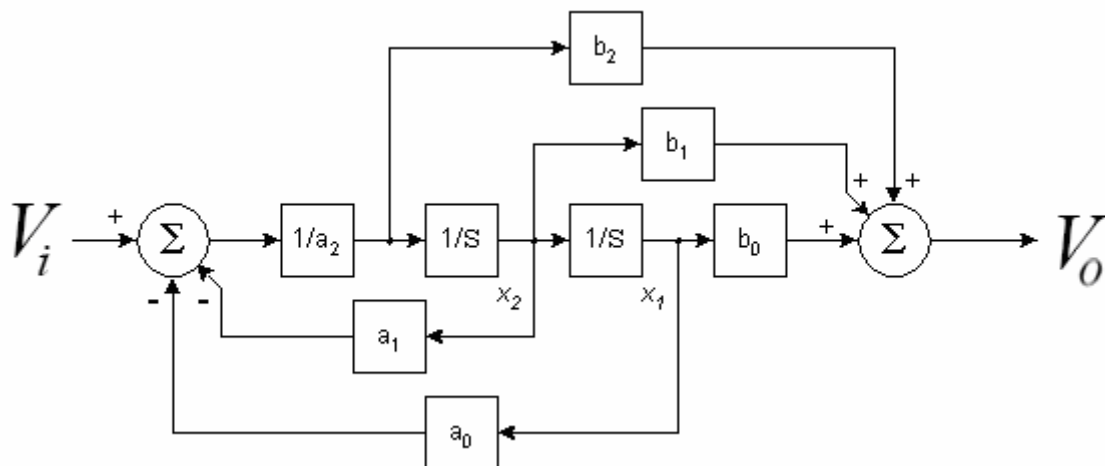
- (A) Determine a *constante de tempo de integração RC*.
 (B) Determine a *mudança de tensão na saída* durante cada período do clock.
 (C) Se o capacitor C_F encontra-se inicialmente descarregado, quantos *pulsos* do clock são necessários para que V_o mude para 13V?



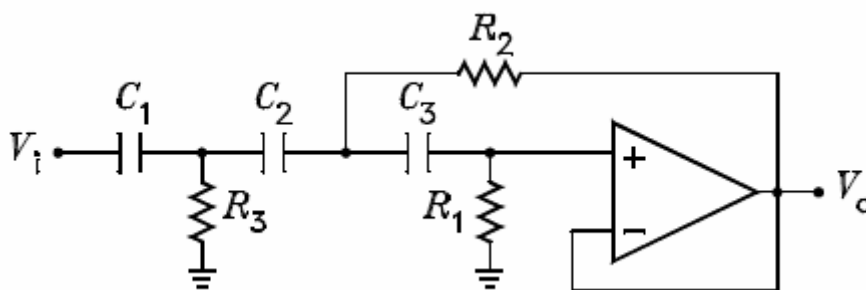
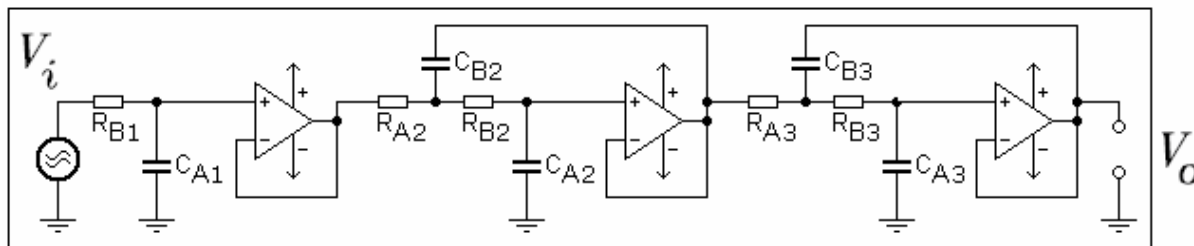
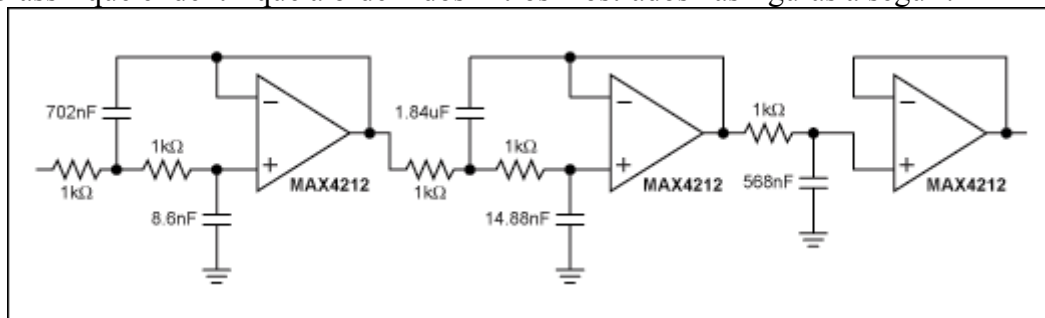
Respostas: (A) 60us (B) 167 mV (C) N = 78 pulsos do clock

(28) FUNÇÃO DE TRANSFERÊNCIA – DIAGRAMA DE BLOCOS

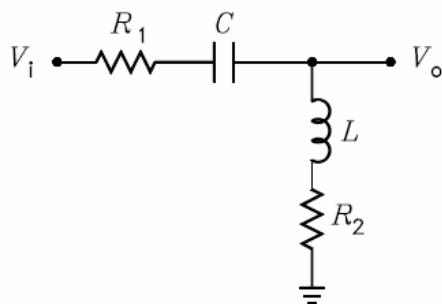
Encontre a função de transferência $H(s)$.



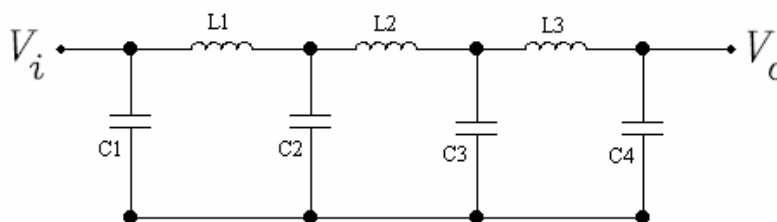
(29) Classifique e identifique a ordem dos filtros mostrados nas figuras a seguir.



- (30) (A) Encontre a função de transferência $H(s)$ 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.

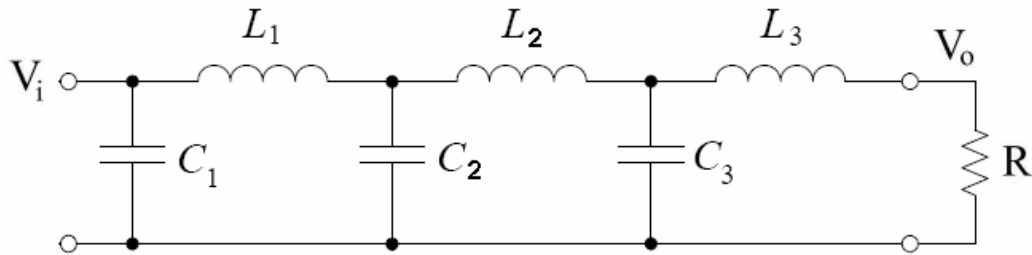


- (31) A partir do *protótipo do filtro passivo* mostrado na figura a seguir sugira um circuito equivalente, sem a utilização de indutores, capaz de realizar a mesma função de transferência $H(s)$. Classifique o filtro (passa-baixa, passa-alta, passa-faixa, rejeita-faixa).

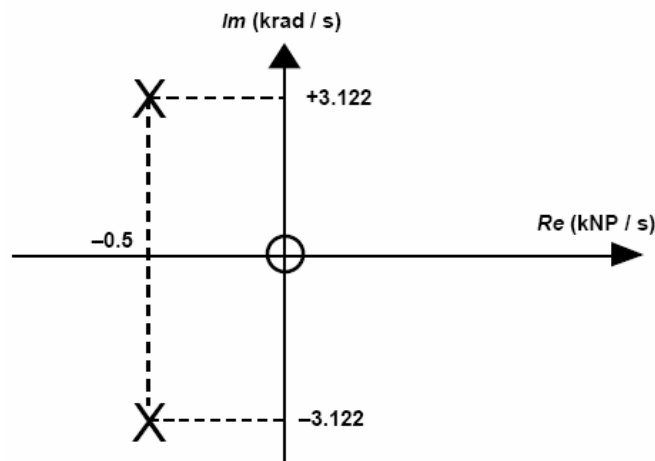


(32) PROTÓTIPO DE UM FILTRO PASSIVO

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 sem alterar a sua função de transferência.

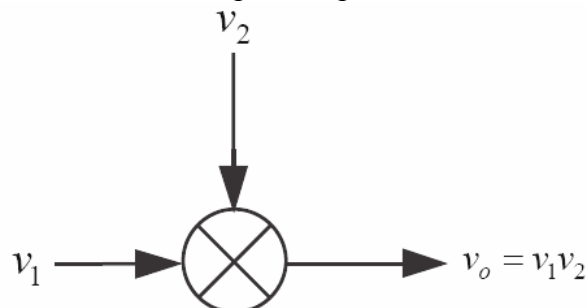


(33) Projete um filtro elétrico analógico cujo diagrama de pólos e zeros é mostrado no plano s da figura a seguir. Identifique o tipo e a ordem do filtro. Escreva a função de transferência $H(s)$ correspondente.



(34) Misturadores de sinais são circuitos largamente aplicados em equipamentos de comunicações para translação (*deslocamento de frequência*) de sinais modulados de uma frequência para outra. Normalmente emprega-se um multiplicador analógico funcionando como misturador (*mixer*) para a realização desta tarefa. O diagrama a seguir ilustra a utilização de um *mixer*.

Considerando $v_1 = \text{Re}[Ae^{j2\pi 10^4 t}]$ e $v_2 = \text{Re}[e^{j2\pi 10^6 t}]$ determine as frequências presentes na saída do *mixer*? Escreva a expressão para o sinal na saída v_o .



(35) (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 uma maneira para conversão de um **filtro analógico $H(s)$** em um **filtro digital $H(z)$** . (E) Cite algumas diferenças entre um filtro com aproximação **Butterworth** e **Chebyshev** de mesma ordem.

(36) FUNÇÃO DE TRANSFERÊNCIA [Transformada de Laplace]

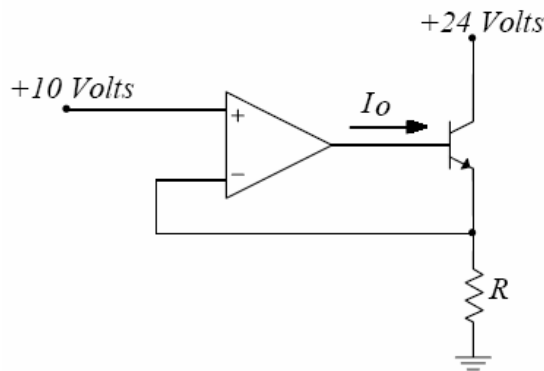
Um *filtro elétrico* possui a seguinte função de transferência:

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

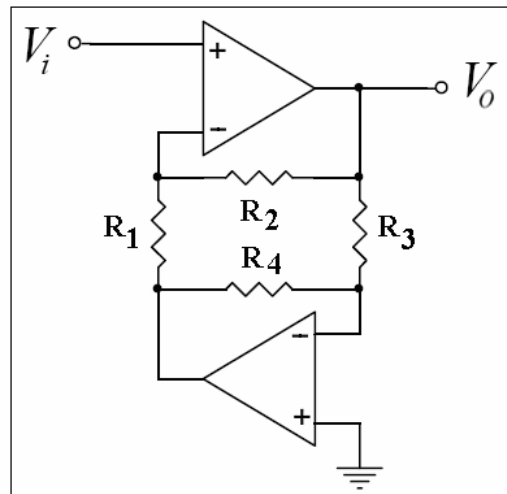
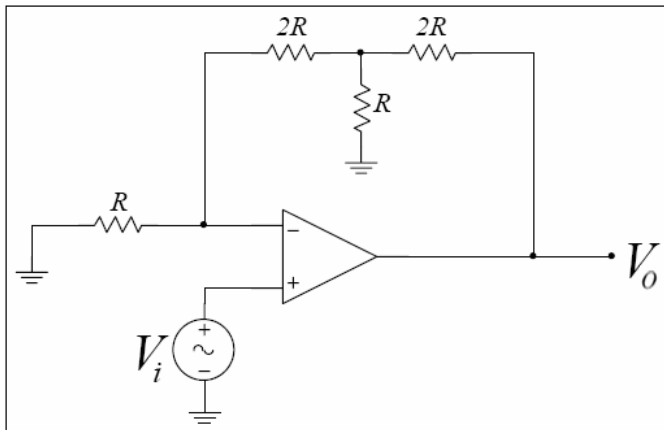
Na entrada do filtro é aplicada uma tensão: $v_s(t) = u(t)$

Determine $v_0(t)$

(37) 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.



(38) Determine o **ganho** V_0/V_i .

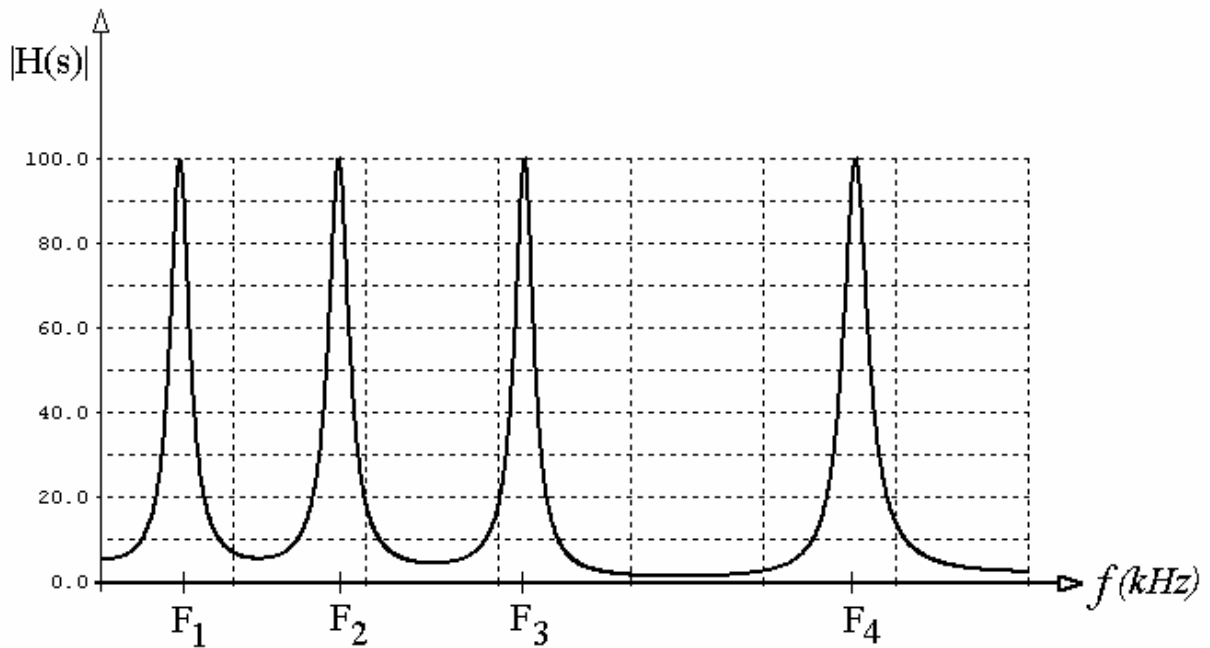


(39) FILTRO PASSA-FAIXA MULTI-BANDA

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.

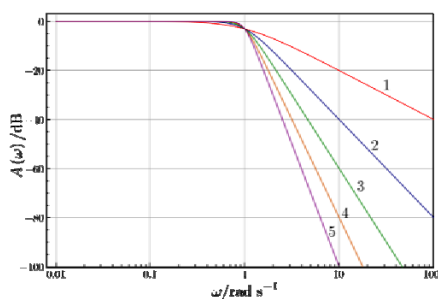
Considere $F_1 = 6\text{kHz}$, $F_2 = 18\text{kHz}$, $F_3 = 32\text{kHz}$ e $F_4 = 57\text{kHz}$.



4. Polinomiais Butterworth normalizados

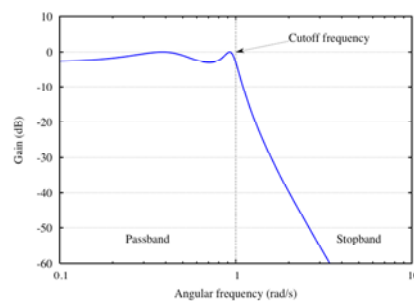
n	Fatores de polinomiais $B_n(s)$
1	$(s + 1)$
2	$s^2 + 1.414s + 1$
3	$(s + 1)(s^2 + s + 1)$
4	$(s^2 + 0.7654s + 1)(s^2 + 1.8478s + 1)$
5	$(s + 1)(s^2 + 0.6180s + 1)(s^2 + 1.6180s + 1)$
6	$(s^2 + 0.5176s + 1)(s^2 + 1.414s + 1)(s^2 + 1.9318s + 1)$
7	$(s + 1)(s^2 + 0.4450s + 1)(s^2 + 1.247s + 1)(s^2 + 1.8022s + 1)$
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	$(s^2 + 0.07s + 0.9942)(s^2 + 0.1994s + 0.7236)(s^2 + 0.2994s + 0.3408)(s^2 + 0.3518s + 0.00702)$

(40) 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.

