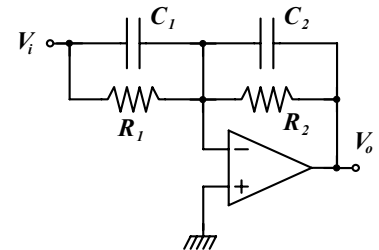


1. Considere o circuito representado.

- a) Admitindo que o amp op é ideal, determine a expressão do ganho $A_v(j\omega) = V_o / V_i$ e diga qual é a condição para que a saída seja independente da frequência.
- b) Esboce os traçados assintóticos de Bode da amplitude e da fase de $A_v(j\omega)$, para os três casos seguintes:
- $R_1 = 10 \text{ k}\Omega$, $C_1 = 1 \text{ }\mu\text{F}$, $R_2 = 100 \text{ k}\Omega$ e $C_2 = 0,1 \text{ }\mu\text{F}$.
 - idem, excepto $R_2 = 1 \text{ M}\Omega$.
 - idem, excepto $R_2 = 10 \text{ k}\Omega$.



2. Considere os circuitos a seguir representados.

Nas questões colocadas nas várias alíneas desta pergunta, sempre que lhe parecer adequado fazer simplificações, faça-as, justificando.

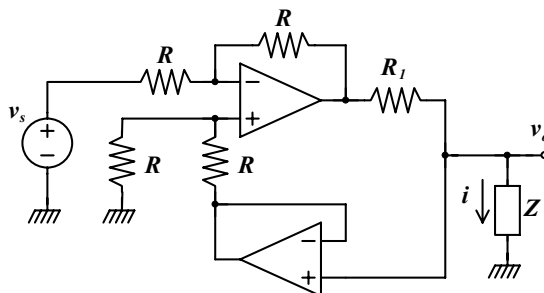


fig. 1

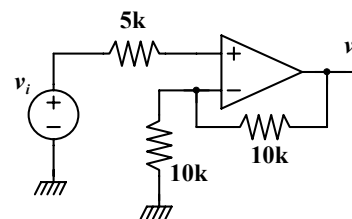
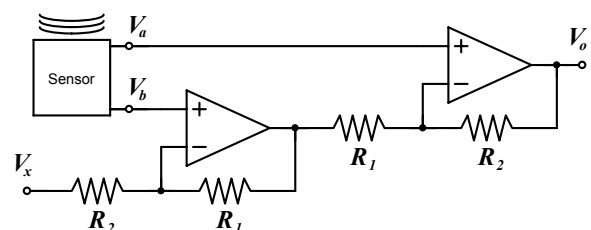


fig. 2

- a) Para o circuito da fig. 1, considerando os amplificadores ideais, determine a corrente i em função de v_s , e prove que é independente do valor de Z .
- b) Desenhe o equivalente Norton e o equivalente Thévenin do mesmo circuito visto entre a saída e a massa, e justifique os valores obtidos, se tomar $R = 5 \text{ k}\Omega$ e $R_1 = 2 \text{ k}\Omega$.
- c) Agora, para o circuito da fig. 2, se o amp op tiver um $CMRR = 60 \text{ dB}$, uma resistência de entrada diferencial $r_d = 10 \text{ k}\Omega$ e um ganho diferencial $A_d = 10^3$, calcule v_o / v_i .
3. O seguinte circuito amplifica a diferença de potencial $V_d = V_a - V_b$ existente aos terminais de um sensor de pressão atmosférica.

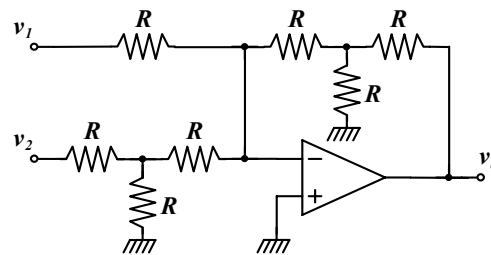
- a) Determine a função de transferência do circuito:
 $V_o = f(V_d, V_x)$.
- b) Supondo $R_1 = 100 \text{ k}\Omega$ e $R_2 = 1 \text{ k}\Omega$, determine o valor máximo do desvio de tensão à entrada dos amp ops (V_{OS}), por forma que o erro na saída do circuito não exceda 10 mV . Diga ainda como poderia minimizar o efeito das correntes de polarização no erro da saída. (Admita que a resistência de saída do sensor é nula.)



- c) Diga o que entende por taxa máxima de variação (*slew rate* - SR) e desenhe a resposta de um amplificador de ganho unitário, largura de banda superior a 10 MHz e $SR = 10 \text{ V}/\mu\text{s}$ a um degrau de amplitude 5 V .

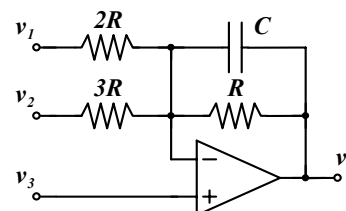
4. Considere o seguinte circuito amplificador em que o Amp Op é suposto ideal.

- Determine $v_o = f(v_1, v_2)$.
- Supondo agora que o Amp Op tem uma tensão de desvio (*offset*) à entrada $V_{OS} = \pm 5 \text{ mV}$, determine a tensão de desvio à saída.
- Diga o que se entende por coeficiente de rejeição de modo comum (*CMRR*) de um Amp Op. Comente a importância desta imperfeição na montagem da figura.



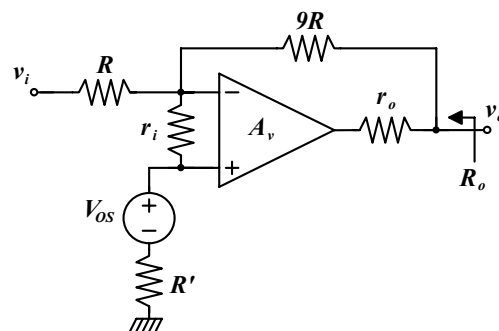
5. Considere o seguinte circuito amplificador supondo os Amp Ops ideais.

- Retirando o condensador ($C = 0$), determine $v_o = f(v_1, v_2, v_3)$.
- Considerando agora $v_1 = v_2 = 0$, e com $R = 1 \text{ k}\Omega$ e $C = 1 \mu\text{F}$, determine a função de transferência entre a entrada v_3 e a saída v_o : $T(j\omega) = V_o(j\omega) / V_3(j\omega)$. Trace também o diagrama de Bode do módulo de $T(j\omega)$.
- Os Amp Ops reais são caracterizados por diversos parâmetros tais como: *CMRR*, V_{OS} e *SR*. Defina sucintamente cada um destes parâmetros, indique as unidades em que se exprimem e diga quais os seus valores quando se consideram os Amp Ops ideais.



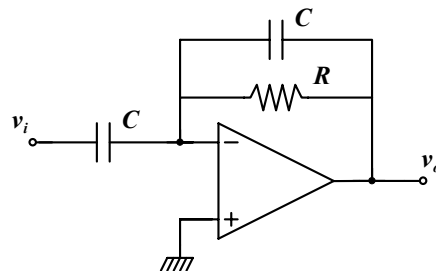
6. Considere o amplificador ao lado que usa um Amp Op com resistência de entrada r_i , ganho A_v , tensão de desvio (*offset*) à entrada V_{OS} e resistência de saída r_o .

- Considerando, inicialmente, $R' = r_o = 0$ e $V_{OS} = 0$, calcule a expressão de v_o / v_i em função de A_v , R e r_i .
- Considerando agora $r_i = \infty$ e $V_{OS} = 0$, $A_v = 1000$, $R = R' = 1 \text{ k}\Omega$ e $r_o = 100 \Omega$, determine a resistência R_o , vista da saída.
- Finalmente, admitindo agora que $r_o = 0$ e considerando $R = R' = 1 \text{ k}\Omega$, $r_i = 100 \text{ k}\Omega$, $A_v = 1000$ e $V_{OS} = 10 \text{ mV}$, prove que r_i e A_v são suficientemente elevados para poderem ser considerados infinitos. Determine o valor da tensão de desvio (*offset*) na saída, fazendo esta simplificação.



7. Considere o seguinte circuito amplificador onde $R = 1 \text{ k}\Omega$ e $C = 10 \text{ nF}$.

- Supondo o Amp-Op ideal, determine a função de transferência $T(j\omega) = v_o(j\omega)/v_i(j\omega)$ e trace os respectivos diagramas de Bode de módulo e fase devidamente cotados.
- Considerando agora que $V_{OS} = 10 \text{ mV}$, $I_B = 10 \mu\text{A}$ e $I_{OS} = 1 \mu\text{A}$, determine o desvio de tensão na saída do amplificador. Indique ainda duas formas de minorar esse desvio sem alterar a função de transferência. Justifique.
- Diga o que entende por *Slew rate* e supondo-o igual a $20 \text{ V}/\mu\text{s}$ esboce os primeiros 1000 ns da forma de onda na saída do amplificador quando na sua entrada se aplica um degrau de 10 V de amplitude.



8. Considere o seguinte circuito amplificador:

- Supondo o AmpOp ideal, determine a função de transferência $T(j\omega) = V_o(j\omega) / V_i(j\omega)$ e esboce os respectivos diagramas de Bode da amplitude e da fase, devidamente cotados.
- Considerando agora que o AmpOp apresenta os seguintes desvios: $V_{OS} = \pm 5 \text{ mV}$, $I_B = 100 \text{ nA}$ e $I_{OS} = \pm 10 \text{ nA}$, determine o desvio de tensão na saída do amplificador. Determine ainda o valor de uma resistência a ligar entre a entrada não inversora e a massa por forma a minimizar o desvio à saída e indique o valor deste desvio assim reduzido.

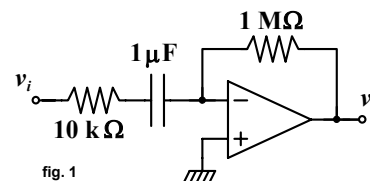


fig. 1

- c) Admita agora que substitua no circuito a resistência de $1\text{ M}\Omega$ por um condensador de $1\text{ }\mu\text{F}$. Supondo o AmpOp ideal, determine a função de transferência e explique por que é que, sendo o AmpOp real, o circuito não funciona.

9. Considere os seguintes circuitos.

- a) Determine o ganho do circuito da fig. 1, $A_v = v_o / (v_1 - v_2)$, aplicando o princípio da sobreposição, e determine a resistência diferencial vista entre as duas entradas. Justifique.

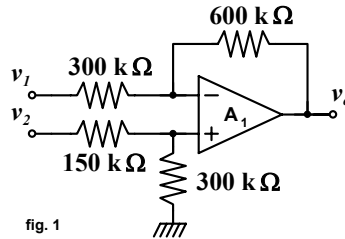


fig. 1

- b) Considerando que, no circuito da fig. 1, o AmpOp apresenta os seguintes desvios: $V_{OS} = \pm 5\text{ mV}$, $I_B = 500\text{ nA}$ e $I_{OS} = \pm 100\text{ nA}$, calcule, nas piores condições, a tensão de desvio (*offset*) na saída.

- c) Considerando agora a configuração da fig. 2, indique (através de um desenho devidamente cotado), justificando, a resposta obtida na saída para um sinal sinusoidal na entrada de frequência 1 kHz e amplitude de 5 V . Indique ainda porque é que, em sua opinião, se coloca a resistência de $200\text{ k}\Omega$ do terminal não inversor de A_3 à massa.

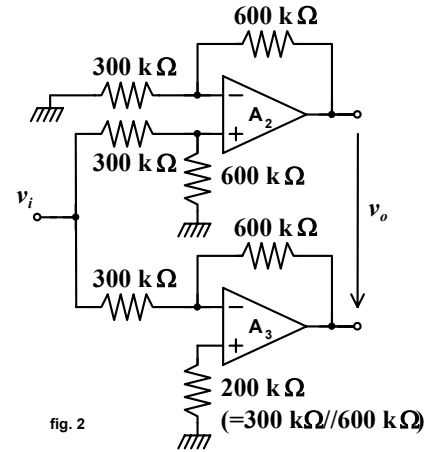


fig. 2