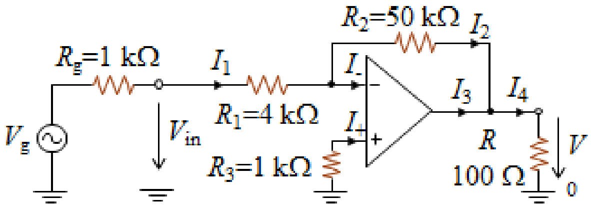
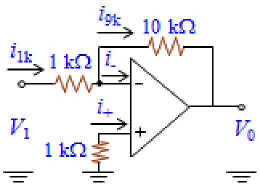
Teórico-práticas n.º 6 e n.º 7

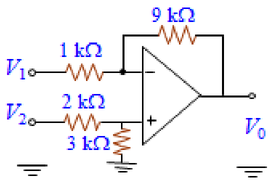
Amplificador operacional e aplicações

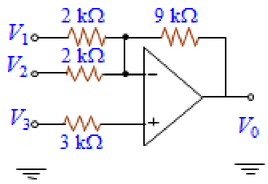
1. Considerando que o ganho e a resistência interna do AmpOp são muito elevados (i.e., que o AmpOp é ideal), determine as amplitudes da tensão de entrada V_{in}, da tensão aos terminais da resistência de carga R, V_0, e das correntes indicadas, assumindo que a amplitude de V_g é 100 mV. Repita o exercício considerando agora que a resistência do gerador R_g é zero. Justifique todas as aproximações que realizar.

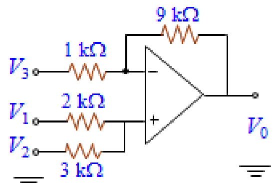


2. Considerando que o ganho e a resistência interna do amplificador operacional são muito elevados, determine a tensão de saída V_0 nos circuitos abaixo. Justifique todas as aproximações que realizar.



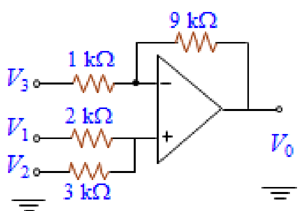






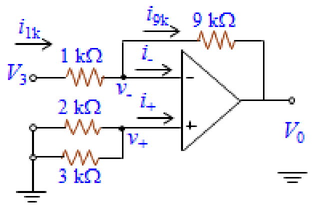
$V_0= -10V_1$ $V_0=+6V_2 - 9V_1$ $V_0= +10V_3 - 4.5V_1 - 4.5V_2$ $V_0= 6V_1 + 4V_2 - 9V_3$.

Resolução "tipo" aplicada ao quarto circuito da figura acima: devem transcrever sempre o esquema dos circuitos para a folha de teste/exame, e justificar todas as aproximações efetuadas na resolução. Nos exercícios com AmpOps considera-se que os valores do ganho e da resistência interna dos AmpOps em malha aberta são muito elevados (na prática infinitos), a menos que se diga algo em contrário. Resolução:



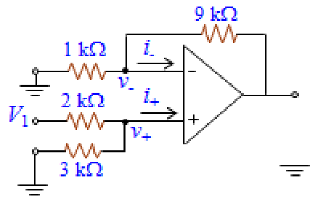
Como temos várias fontes a resolução fica muito simplificada se se aplicar o princípio da sobreposição. Tendo em conta que a resistência de entrada e o ganho em malha aberta são muito elevados e admitindo o funcionamento do amp-op no regime linear, verifica-se que $v_+ \cong v_-$ e $i_+ = i_- \cong 0$ (ver primeiro circuito da figura).

Comecemos por considerar primeiro o **efeito da tensão V_3** (curto-circuitando as outras duas fontes) - **desenhar o circuito na folha de respostas:**



Obtém-se a montagem amplificadora inversora simples. Portanto, $v_+=0$ V $\Rightarrow$ $v_-\approx 0$ V (terra virtual). Assim: $i_{1k}=I_3/1k$ e a tensão V_0 devida apenas à fonte V_3 é $V_{03}=v_- - 9ki_{1k} = -9V_3$, $V_{03}=-9V_3$.

Efeito da tensão V_1 (curto-circuitando as outras duas fontes - **desenhar o circuito na folha de respostas**):

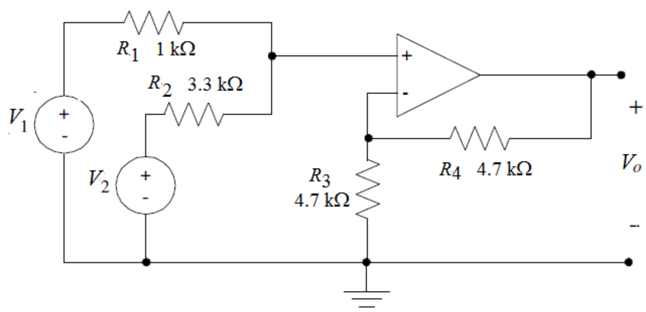


Tendo em conta as propriedades do amp-op referidas atrás, a tensão na entrada não-inversora é: $v_+=V_1\times 3k/(2k+3k)=3/5 \times V_1$ (divisor de tensão). Como $v_+=v_-$ e $v_-=V_{01}\times 1k/(1k+9k)$ [divisor de tensão], obtém-se $V_{01}=(1k+9k)/1k \times 3/5 \times V_1=6V_1$ (ver amplificador não-inversor).

Efeito da tensão V_2 (curto-circuitando as outras duas fontes - **representar o circuito na folha de respostas**): tendo em conta as propriedades do amp-op ideal, a tensão na entrada não-inversora é: $v_+=V_2\times 2k/(2k+3k)=2/5\times V_2$ (divisor de tensão), como $v_+=v_-$ e $v_-=V_{02}\times 1k/(1k+9k)$ [divisor de tensão], obtém-se $V_{02}=(1k+9k)/1k\times 2/5 \times V_2=4V_2$ (ver amplificador não-inversor). Da soma de todos os "efeitos" resulta $V_0= 6V_1+4V_2-9V_3$.

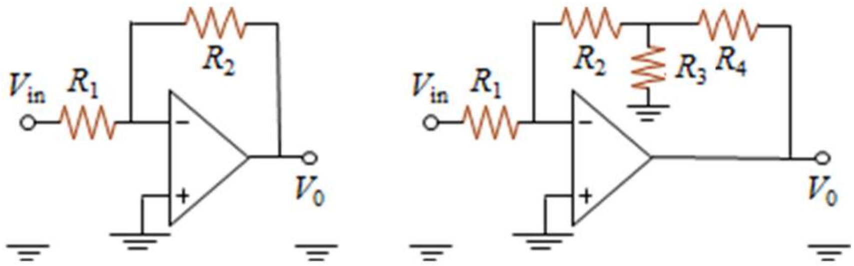
Sempre que no processo de resolução o circuito seja significativamente simplificado/alterado deve redesenhar o "novo" circuito na folha de respostas.

3. O circuito da figura é designado por circuito somador não-inversor. Considerando o operacional como ideal, exprima a tensão na saída V_0 em função das tensões das fontes V_1 e V_2. Determine a expressão das correntes debitadas por cada uma das fontes V_1 e V_2 e indique a impedância de saída do circuito.



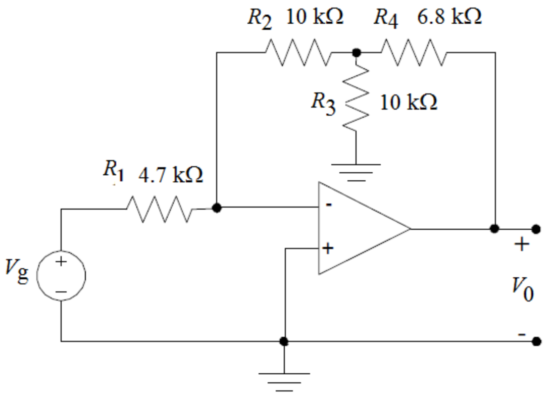
R: $V_0=1{,}5\ V_1 + 0{,}47\ V_2$; $i_1=(V_1 - V_2)/(R_1 + R_2)$; $i_2=(V_2 - V_1)/(R_1 + R_2)$; $R_{of}=0\ \Omega$.

4. Determine a tensão de saída para os dois circuitos seguintes. Indique as vantagens do segundo circuito em relação ao primeiro. Justifique todas as aproximações realizadas.



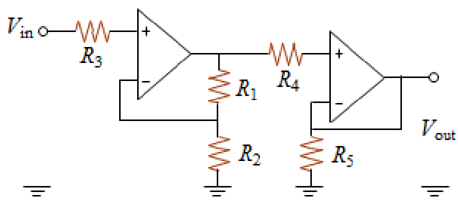
Ver *Microelectronic Circuits*, 6th Edition, Sedra, Smith. R(2º): V_0=-$R_2/R_1(1+R_4/R_2+R_4/R_3)V_{in}$.

5. O circuito da figura é um amplificador de tensão inversor baseado num amplificador de transimpedância. Assuma o operacional ideal. Calcule, justificando o procedimento, o ganho do amplificador A_{uf} e as respetivas impedâncias de entrada R_{if} e de saída R_{of}.

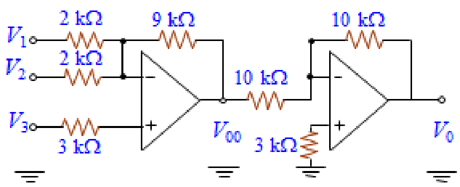


R: A_{uf} = -5; R_{if} = 4,7 kΩ; R_{of} = 0 Ω.

6. Determine a tensão de saída para o circuito abaixo. Justifique as aproximações que realizar.

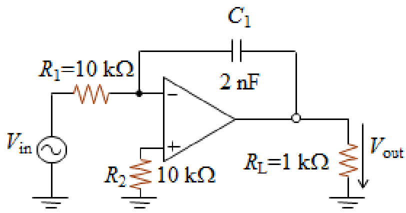


7. Determine a tensão de saída para o circuito que se segue. Justifique as aproximações que realizar.



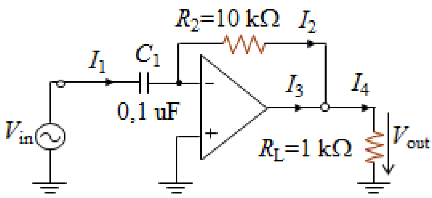
R: V_0= -V_{00}= -10V_3 + 4.5V_1 + 4.5V_2.

8. No circuito da figura seguinte o sinal sinusoidal do gerador tem valor eficaz 100 mV e frequência 10 kHz. a) Calcule a tensão V_{out}. b) Esboce, com algum rigor, as tensões de saída e de entrada em função do tempo. Justifique as aproximações que realizar.



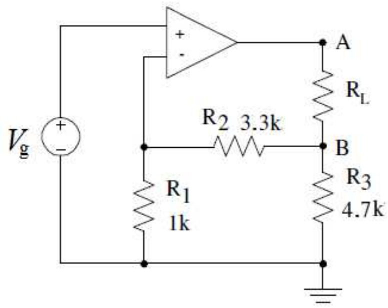
(complementarmente implemente o circuito no PSPICE e verifique o seu funcionamento)

9. No circuito da figura seguinte o sinal sinusoidal do gerador tem amplitude 100 mV e frequência 10 kHz. a) Calcule a tensão V_{out}. b) Determine as correntes I_1, I_2, I_3, e I_4. c) Qual será a tensão diferencial se o ganho em malha aberta do amp-op for A=100 000?



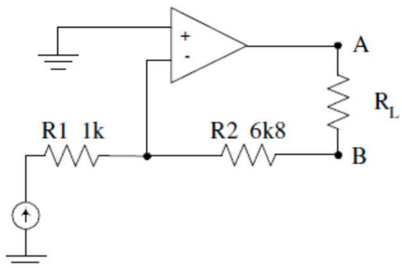
(complementarmente implemente o circuito no PSPICE e verifique o seu funcionamento)

10. No amplificador de transcondutância da figura seguinte os terminais de saída são os pontos A e B. Calcule o ganho de transcondutância, A_{cf}, e as impedâncias de entrada R_{if} e de saída R_{of} da montagem amplificadora. Considere o modelo do amplificar operacional ideal.



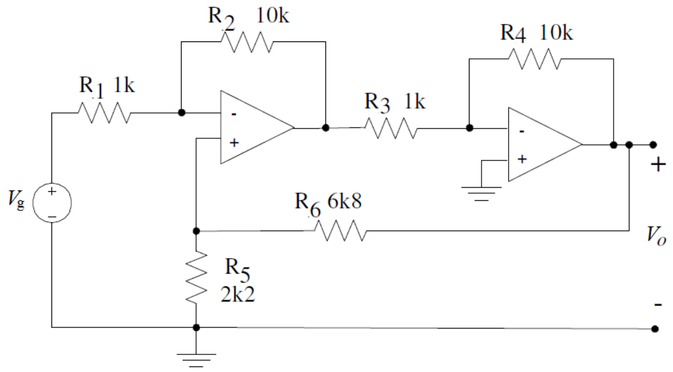
R: $A_{c,f}$=1,9 mS; $R_{if} = \infty$, $R_{of} = \infty$

11. Na montagem amplificador de corrente da figura abaixo os terminais de saída são os pontos A e B. Calcule o ganho e as impedâncias de entrada e de saída do amplificador. Considere o AmpOp ideal.



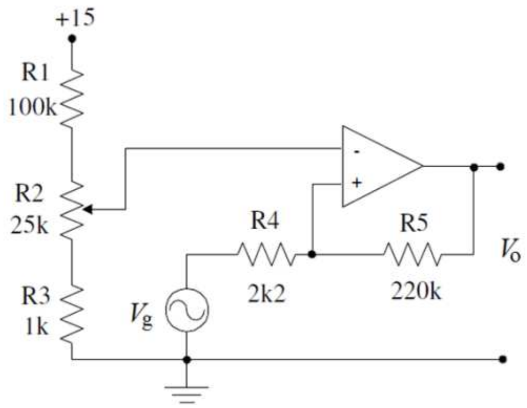
Resp: $A_{c,f}$ =-1; R_{if} = 1 kΩ, $R_{of} = \infty$

12. Uma montagem amplificadora pode conter anéis de retroação local e de retroação global. Um exemplo está indicado na figura seguinte. Identifique os anéis de retroação local e global. Calcule o ganho e as impedâncias de entrada e de saída do amplificador com retroação. Considere o modelo do AmpOp ideal.



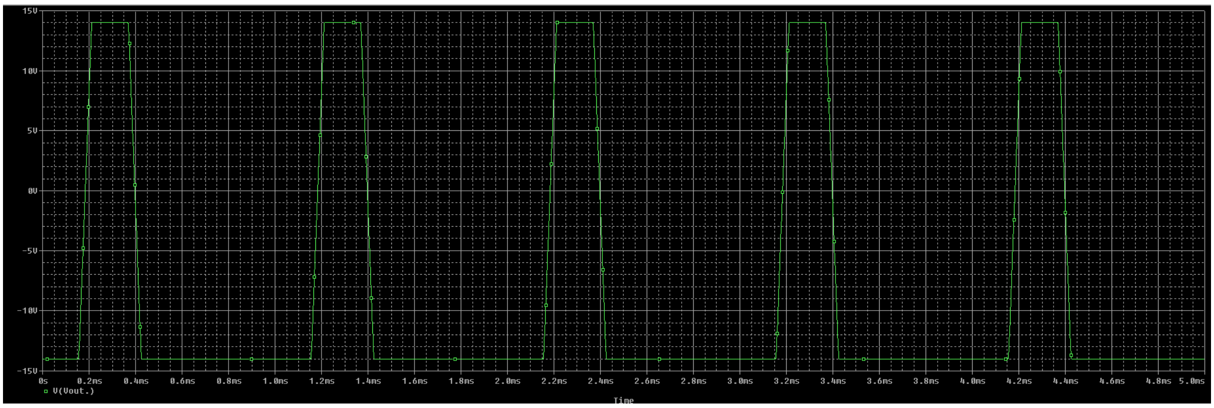
Resp: $A_{v,f}$ = 3,6; R_{if} = 8,3 kΩ; R_{of} = 0.

13. Determine a largura da janela de histerese do comparador (não-inversor) da figura seguinte, admitindo que as tensões de saturação do operacional são +14 V e −14 V. Trace gráfico do que espera observar se tensão de entrada for um sinal sinusoidal centrado em 0 V e com 4 V de amplitude.



R: *LJH*=0,28 V

V+-=-Vcsat×R2/(R4+R5); V++=+Vcsat×R2/(R4+R5); LJH=V++ - V+- =2×Vcsat×R2/(R4+R5).



Resolução do exercício 4:
Tenha em atenção que, por vezes, a ordem/numeração das resistências aparece trocada. Abaixo resolução da versão do exercício no "Microelectronic Circuits", K. C. A. Smith e Adel S. Sedra, OXFORD UNIVERSITY PRESS INC

Example 2.2

Assuming the op amp to be ideal, derive an expression for the closed-loop gain v_O/v_I of the circuit shown in Fig. 2.8. Use this circuit to design an inverting amplifier with a gain of 100 and an input resistance of 1 MΩ. Assume that for practical reasons it is required not to use resistors greater than 1 MΩ. Compare your design with that based on the inverting configuration of Fig. 2.5.

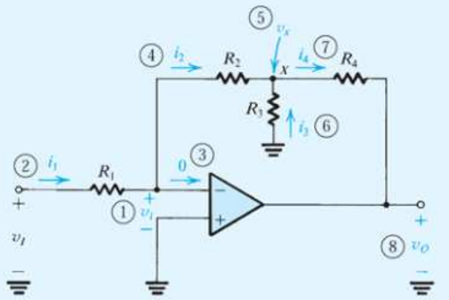


Figure 2.8 Circuit for Example 2.2. The circled numbers indicate the sequence of the steps in the analysis.

Solution

The analysis begins at the inverting input terminal of the op amp, where the voltage is

$$v_1 = \frac{-v_O}{A} = \frac{-v_O}{\infty} = 0$$

Here we have assumed that the circuit is "working" and producing a finite output voltage v_O. Knowing v_1, we can determine the current i_1 as follows:

$$i_1 = \frac{v_I - v_1}{R_1} = \frac{v_I - 0}{R_1} = \frac{v_I}{R_1}$$

Since zero current flows into the inverting input terminal, all of i_1 will flow through R_2, and thus

$$i_2 = i_1 = \frac{v_I}{R_1}$$

Now we can determine the voltage at node x:

$$v_x = v_1 - i_2 R_2 = 0 - \frac{v_I}{R_1} R_2 = -\frac{R_2}{R_1} v_I$$

.

Example 2.2 *continued*

This in turn enables us to find the current i_3:

$$i_3 = \frac{0 - v_x}{R_3} = \frac{R_2}{R_1 R_3} v_I$$

Next, a node equation at x yields i_4:

$$i_4 = i_2 + i_3 = \frac{v_I}{R_1} + \frac{R_2}{R_1 R_3} v_I$$

Finally, we can determine v_O from

$$\begin{aligned} v_O &= v_x - i_4 R_4 \\ &= -\frac{R_2}{R_1} v_I - \left(\frac{v_I}{R_1} + \frac{R_2}{R_1 R_3} v_I\right) R_4 \end{aligned}$$

Thus the voltage gain is given by

$$\frac{v_O}{v_I} = -\left[\frac{R_2}{R_1} + \frac{R_4}{R_1}\left(1 + \frac{R_2}{R_3}\right)\right]$$

which can be written in the form

$$\frac{v_O}{v_I} = -\frac{R_2}{R_1}\left(1 + \frac{R_4}{R_2} + \frac{R_4}{R_3}\right)$$

Now, since an input resistance of 1 MΩ is required, we select R_1 = 1 MΩ. Then, with the limitation of using resistors no greater than 1 MΩ, the maximum value possible for the first factor in the gain expression is 1 and is obtained by selecting R_2 = 1 MΩ. To obtain a gain of −100, R_3 and R_4 must be selected so that the second factor in the gain expression is 100. If we select the maximum allowed (in this example) value of 1 MΩ for R_4, then the required value of R_3 can be calculated to be 10.2 kΩ. Thus this circuit utilizes three 1-MΩ resistors and a 10.2-kΩ resistor. In comparison, if the inverting configuration were used with R_1 = 1 MΩ we would have required a feedback resistor of 100 MΩ, an impractically large value!

Before leaving this example it is insightful to inquire into the mechanism by which the circuit is able to realize a large voltage gain without using large resistances in the feedback path. Toward that end, observe that because of the virtual ground at the inverting input terminal of the op amp, R_2 and R_3 are in effect in parallel. Thus, by making R_3 lower than R_2 by, say, a factor k (i.e., where $k > 1$), R_3 is forced to carry a current k-times that in R_2. Thus, while $i_2 = i_1$, $i_3 = k i_1$ and $i_4 = (k+1) i_1$. It is the current multiplication by a factor of $(k+1)$ that enables a large voltage drop to develop across R_4 and hence a large v_O without using a large value for R_4. Notice also that the current through R_4 is independent of the value of R_4. It follows that the circuit can be used as a current amplifier as shown in Fig. 2.9.