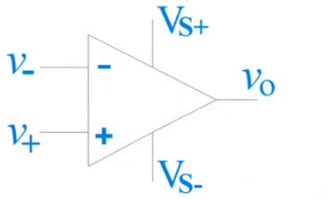
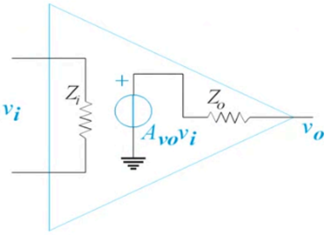
Amplificatori operazionali

giovedì 3 agosto 2023 15:04

Amplificatore realizzato come componente non lineare, è multi terminale con due ingressi differenziali ed ha un guadagno di tensione molto elevato (10^5/10^6). Viene considerato come un generatore di tensione controllato in tensione .



Uni-direzionale



Questo dispositivo si basa sul corto-circuito virtuale : in quanto opera con tensioni uguali tra loro e con correnti zero!!! Quindi contemporaneamente circuito chiuso e circuito aperto:

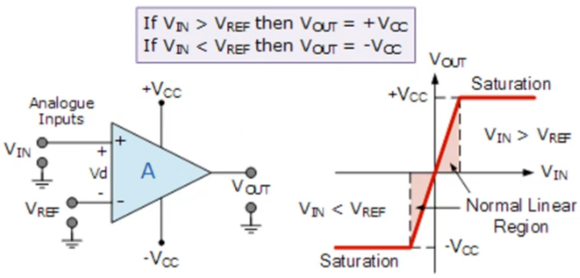
$$\boldsymbol{Z_i = \infty} \qquad \boldsymbol{Z_o = 0} \qquad \boldsymbol{A_{vo} = \infty}$$

$$v_o = A_{vo}(v_+ - v_-)$$

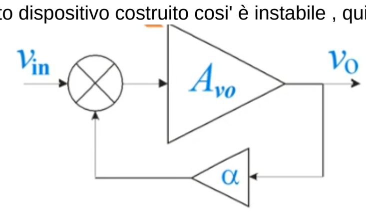
$$v_+ - v_- = \frac{v_o}{A_{vo}} \overset{A_{vo}=\infty}{\cong} 0$$

$$\boxed{i_+ = i_- = 0} \qquad \boxed{v_+ = v_-}$$

Nonostante l'amplificazione in catena aperta, e siccome è forma indeterminata (infinito *0), avrei in uscita un qualunque valore , ma in realtà l'uscita viene limitata da Vcc:



Questo dispositivo costruito cosi' è instabile , quindi per diminuire l'instabilità si fa :



$$v_o = A_{vo}(v_{in} + \alpha v_o) \Rightarrow v_o = \left(\frac{A_{vo}}{1 - \alpha A_{vo}}\right) v_{in}$$

$$A_v = \frac{A_{vo}}{1 - \alpha A_{vo}}$$

Quindi il valore di amplificazione è determinato dalla rete di retroazione, in quanto il limite per Av0-> infinito è 1/a: quindi :

$$\begin{cases} 1 - \alpha A_{vo} > 1 \;\rightarrow\; A_v < A_{vo}, retroazione\ negativa \\ 1 - \alpha A_{vo} < 1 \;\rightarrow\; A_v > A_{vo}, retroazione\ positiva \\ 1 - \alpha A_{vo} = 0 \;\rightarrow\; A_v \rightarrow \infty, auto-oscillazione \end{cases}$$

In generale studiamolo in base ad un parametro generico p:

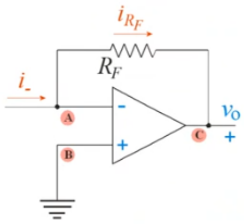
$$\frac{\partial A_v}{\partial p} = \frac{\partial}{\partial p}\left(\frac{A_{vo}}{1 - \alpha A_{vo}}\right) = \frac{\partial A_{vo}}{\partial p}\frac{1}{1 - \alpha A_{vo}} + \frac{\partial A_{vo}}{\partial p}\frac{\alpha A_{vo}}{(1 - \alpha A_{vo})^2} = \frac{\partial A_{vo}}{\partial p}\frac{1}{(1 - \alpha A_{vo})^2}$$

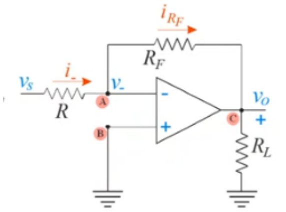
$$\left[\frac{1}{A_v}\frac{\partial A_v}{\partial p}\right] = \left(\frac{1}{1 - \alpha A_{vo}}\right)\left[\frac{1}{A_{vo}}\frac{\partial A_{vo}}{\partial p}\right]$$

Riassumendo :

se $1 - \alpha A_{vo} > 1$ ➡ A_v è $1 - \alpha A_{vo}$ volte *meno* sensibile rispetto alle variazioni di p di quanto lo è A_{vo}

Vediamo ora i circuiti che possiamo realizzare :

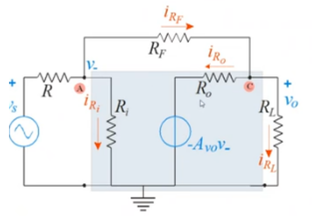
1. Convertitore corrente-tensione (amplificatore trans-resistenza):
   a. Permette di svincolarsi dalla resistenza di carico, mentre se generatori di tensione ,il discorso non vale più se aggiungo il carico!!
   b. 

   c. $i_- = i_F = \dfrac{0 - v_o}{R_F}$ ➡ $\boxed{v_o = -R_F i_-}$
2. Invertente:
   a. 

   b. Idealmente:

      $i_- = i_{R_F}$

      $\dfrac{v_s - 0}{R} = \dfrac{0 - v_0}{R_F}$

      $v_o = -\dfrac{R_F}{R} v_s$
   c. Il circuito equivalente diventa questo:
      i. 

      ii. KCL al nodo "A"

      $R_i R_F v_s + R R_i v_o = (R R_i + R R_F + R_i R_F) v_-$

      KCL al nodo "C"

      $(R_o R_L - R_F R_L A_{vo}) v_- = (R_F R_L + R_F R_o + R_o R_L) v_o$

      iii. $$\frac{v_o}{v_s} = \frac{\dfrac{1}{A_{vo}}\dfrac{R_o}{R} - \dfrac{R_F}{R_s}}{1 + \dfrac{1}{A_{vo}}\left[1 + \dfrac{R_F}{R_i} + \dfrac{R_F}{R} + \dfrac{R_o}{R_i} + \dfrac{R_o}{R} + \dfrac{R_o}{R_L}\left(1 + \dfrac{R_F}{R_i} + \dfrac{R_F}{R}\right)\right]}$$

      iv. Se $A_{vo} = \infty$

      $$\Downarrow$$

      $$\left.\frac{v_o}{v_s}\right|_{A_{vo}=\infty} = \left.A_v\right|_{A_{vo}=\infty} = -\frac{R_F}{R}$$

      v. Se $R_i = \infty$

      $$\Downarrow$$

      $$\left.\frac{v_o}{v_s}\right|_{R_i=\infty} = \frac{\dfrac{1}{A_{vo}}\dfrac{R_o}{R} - \dfrac{R_F}{R}}{1 + \dfrac{1}{A_{vo}}\left[1 + \dfrac{R_F}{R} + \dfrac{R_o}{R} + \dfrac{R_o}{R_L}\left(1 + \dfrac{R_F}{R}\right)\right]}$$

Se $R_o = 0$

$\Downarrow$

vi.

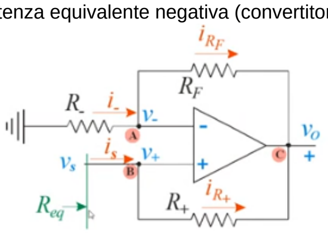
$$\left.\frac{v_o}{v_s}\right|_{R_o=0} = \frac{-\frac{R_F}{R}}{1 + \frac{1}{A_{vo}}\left[1 + \frac{R_F}{R_i} + \frac{R_F}{R}\right]}$$

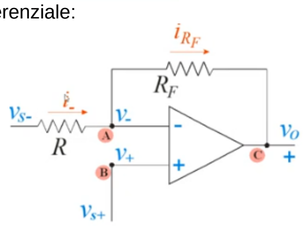
Se $R_i = \infty$ e $R_o = 0$

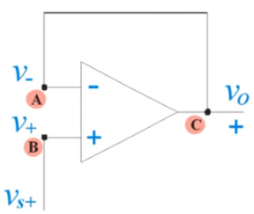
$\Downarrow$

vii.

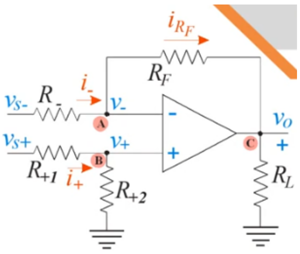
$$\left.\frac{v_o}{v_s}\right|_{R_i=\infty,\, R_o=0} = \frac{-\frac{R_F}{R}}{1 + \frac{1}{A_{vo}}\left(1 + \frac{R_F}{R}\right)}$$

3. Resistenza equivalente negativa (convertitore di impedenza):
   a. 

   b. $$\frac{v_- - 0}{R_-} = \frac{v_0 - v_-}{R_F}$$
   $$v_0 = \frac{R_- + R_F}{R_-} v_s$$
   c. $$i_s = i_{R_+} = -\frac{v_o - v_s}{R_+} = -\frac{\frac{R_- + R_F}{R_-} v_s - v_s}{R_+} = -\frac{R_F}{R_+ R_-} v_s$$
   $\Downarrow$
   $$R_{eq} = \frac{v_s}{i_s} = -\frac{R_+ R_-}{R_F}$$
   d. Questo circuito amplifica
   se $R_- = R_F$
   e. $\Downarrow$
   $$\boxed{R_{eq} = -R_+}$$
4. Differenziale:
   a. 

   b. $$\frac{v_{s-} - v_-}{R} = \frac{v_- - v_0}{R_F} \overset{v_- = v_+ = v_{s+}}{\Longrightarrow} \frac{v_{s+} - v_0}{R_F}$$
   $\Downarrow$
   $$v_o = \left(1 + \frac{R_F}{R}\right) v_{s+} - \frac{R_F}{R} v_{s-}$$
   c. Questo è un differenziale ma non in senso stretto: c'è 1 come fattore
5. Inseguitore di tensione :
   a. 

   $$v_o = v_{s+}$$

6. Differenziale (migliorato):
   a. Realmente differenziale
   b. 

   c. *sovrapposizione effetti (1)* v_{s+} con $v_{s-} \overset{!}{=} 0$

$$v_- = v_+ = \frac{R_-}{R_F + R_-} v_O^{(v_{s-}=0)}$$

$$v_+ = \frac{R_{+2}}{R_{+1} + R_{+2}} v_{s+}$$

$$v_O^{(v_{s-}=0)} = \frac{R_F + R_-}{R_-} \frac{R_{+2}}{R_{+1} + R_{+2}} v_{s+}$$

   d. *sovrapposizione effetti (2)* v_{s-} con $v_{s+} \overset{!}{=} 0$

$$v_+ = \frac{R_{+2}}{R_{+1} + R_{+2}} v_{s+}$$

$$\frac{v_{s-} - 0}{R_-} = \frac{0 - v_O^{(v_{s+}=0)}}{R_F}$$

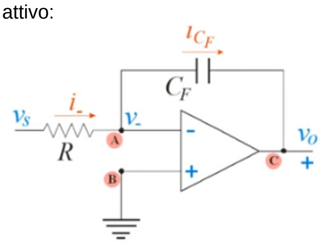
$$v_O^{(v_{s+}=0)} = -\frac{R_F}{R_-} v_{s-}$$

   e. *sovrapposizione effetti (1+2)*

$$v_O = v_O^{(v_{s-}=0)} + v_O^{(v_{s+}=0)} = \frac{R_F + R_-}{R_-} \frac{R_{+2}}{R_{+1} + R_{+2}} v_{s+} - \frac{R_F}{R_-} v_{s-}$$

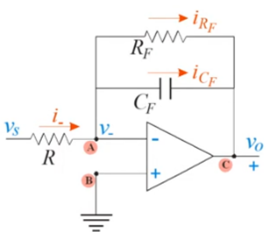
Ponendo $R_- = R_{+1}$ e $R_F = R_{2+}$ si ha

$$v_O = \frac{R_F}{R_-}(v_{s+} - v_{s-})$$

7. Filtro attivo:
   a. 

   b. La maggior differenza e vantaggio che offrono i filtri attivi rispetto ai passivi, è che la loro funzione di trasferimento *non* dipende dall'impedenza di carico

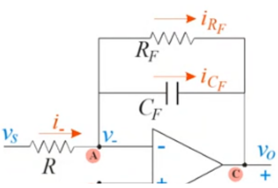
$$v_O = -\frac{\frac{1}{j\omega C_F}}{R} v_S = j \frac{1}{\omega R C_F} v_S$$

   c. *Non si comporta bene (instabilità) se reattanza capacitiva =0. Viene risolto aggiungendo in parallelo una resistenza*
   d. 

$$Z_F(\omega) = \frac{\frac{R_F}{j\omega C_F}}{R_F + \frac{1}{j\omega C_F}} = \frac{R_F}{1 + j\omega R_F C_F}$$

$$\frac{v_O}{v_S} = -\frac{Z_F(\omega)}{R} = -\frac{R_F}{R} \frac{1}{1 + j\omega R_F C_F}$$

Filtro attivo passa-basso

   e. *Invertendo resistenza e condensatore :*
      i. 

$$Z_F(\omega) = \frac{\frac{R_F}{j\omega C_F}}{R_F + \frac{1}{j\omega C_F}} = \frac{R_F}{1 + j\omega R_F C_F}$$

$$\frac{v_O}{v_S} = -\frac{Z_F(\omega)}{R} = -\frac{R_F}{R} \frac{1}{1 + j\omega R_F C_F}$$

Filtro attivo passa-basso

boh forse forse