Lezione 13

Oscillatori sinusoidali

a) Elementi necessari per un oscillatore sinusoidale:

- Condizione di Barkhausen $\beta A = 1$ valida solo per una specifica frequenza e ampiezza
- Loop gain dipendente dalla frequenza con

$$\phi(\omega_0) = 0 \qquad \left.\frac{d\phi}{d\omega}\right|_{\omega=\omega_0} = \text{"grande"}$$

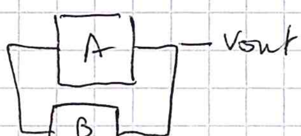
- Non linearità del guadagno per ampiezze elevate:

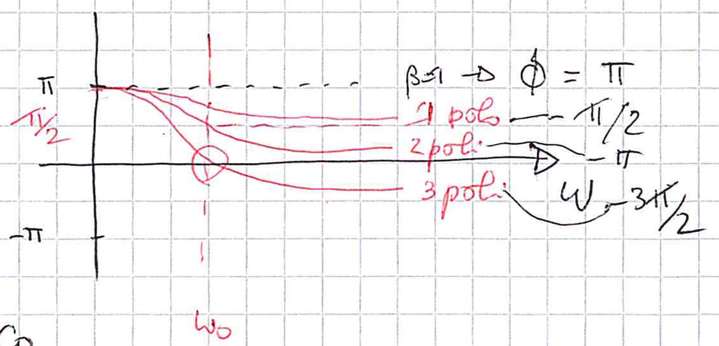
$$|L(x_0)| = 1 \qquad \left.\frac{d|L|}{dx}\right|_{x=x_0} = \text{"grande"}$$

b) Fase

Consideriamo A reale e β dipendente dalla frequenza. Ogni polo $\frac{1}{s+\omega_0}$ introduce uno sfasamento che varia da 0 @ $\omega=0$ a $-\pi/2$ @ $\omega \to \infty$

- Posso usare un ampli invertente: $A = -|A| \to$ fase π





Per passare dallo 0 in modo non asintotico ho bisogno di almeno 3 poli.

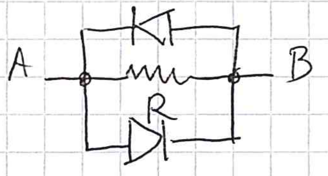
→ Oscillatore a sfasamento: introduzione di 3 stadi RC nel feedback β

- Oppure posso introdurre polo $\frac{1}{s+\omega_0}$ + zero $\frac{s+\omega_0}{1}$

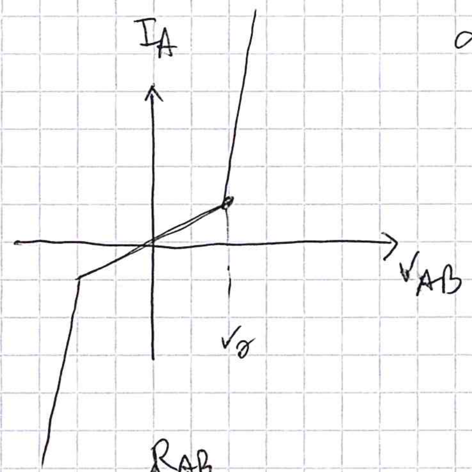
polo da 0 a $-\pi/2$ \
zero da 0 a $+\pi/2$ } in questo caso A deve avere fase 0

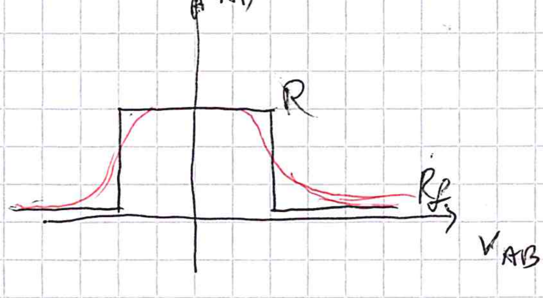
b) Non linearità nell'ampiezza

- Si vuole introdurre una riduzione del guadagno ad ampiezze elevate, ma SENZA raggiungere la saturazione
- Necessario elemento non lineare per cui R cambia con l'ampiezza del segnale
- Storicamente → filamento di lampade ad incandescenza. Temp. aumenta con potenza.
- Circuito con diodi:

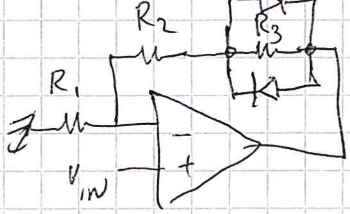


- Se l'ampiezza è piccola
  $R_{AB} \sim R$
- Se l'ampiezza supera la V_γ del diodo
  $R_{AB} \sim R \,//\, R_{forward}$





Se viene usato nel loop di feedback di un OpAmp:



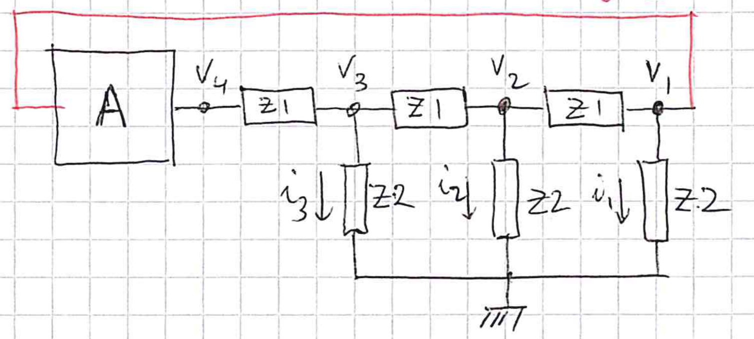
$$A(\text{small signal}) = 1 + \frac{R_3}{R_1} + \frac{R_2}{R_1}$$

trascurabile

$$A(\text{large signal}) = 1 + \frac{R_2}{R_1} + \cancel{\left(\frac{R_f}{R_1}\right)}$$

A) Oscillatore a sfasamento

$\leftarrow i=0 \rightarrow R_{IN}$ grande.



$y = Z_1/Z_2$

Risolviamo come sequenze di partitori

$$V_1 = V_2 \cdot \frac{1}{1+Z_1/Z_2} = \frac{V_2}{1+y} \rightarrow V_2 = V_1(1+y)$$

$$i_1 = \frac{V_1}{Z_2} \qquad i_2 = \frac{V_2}{Z_2} \qquad i_3 = \frac{V_3}{Z_2}$$

$$V_3 = V_2 + (i_1+i_2)\cdot Z_1 = V_1(1+y) + yV_1 + yV_2 =$$
$$= V_1(1+y+y+y+y^2) = V_1(1+3y+y^2)$$

$$V_4 = V_3 + (i_1+i_2+i_3) Z_1 = V_1\left[1+3y+y^2 + y + (1+y)y + y(1+3y+y^2)\right] =$$
$$= V_1\left[1+6y+5y^2+y^3\right] = \frac{V_1}{\beta}$$

$$A\beta = \frac{A}{1+6y+5y^2+y^3} = 1 \leftarrow \text{Condizione di Barkhausen}$$

$$A = 1+6y+5y^2+y^3 \qquad \text{(reale, negativo)}$$

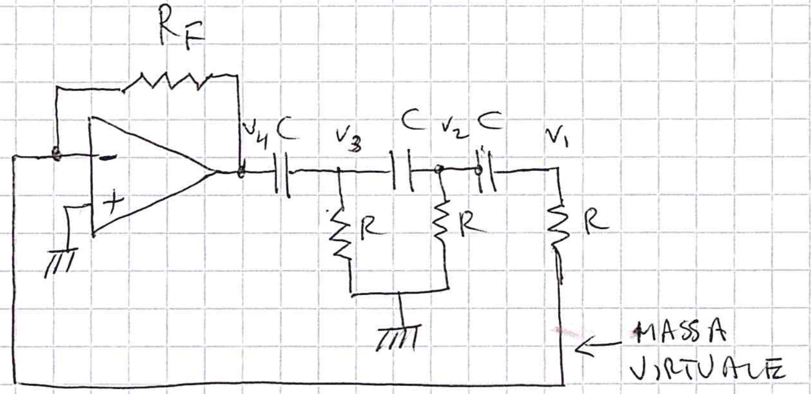
consideriamo y puramente immaginario. Ad $Z_1 = \frac{1}{j\omega C}$, $Z_2 = R$

Parte reale: $A = 1+5y^2 \rightarrow A = 1+5y^2 = -29$

Parte immag: $0 = 6y + y^3 \rightarrow y^2 = -6$

$$y = \frac{1}{j\omega RC} = \pm j\sqrt{6} \rightarrow \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{6}\,RC}$$

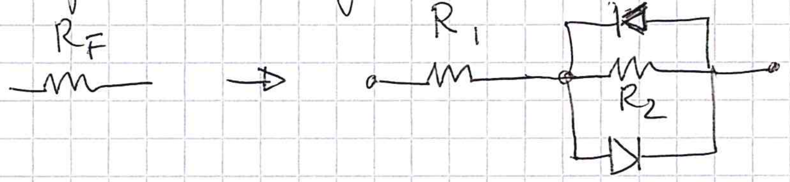
Circuito oscillatore a sfasamento



$$A = -\frac{R_F}{R} = -29$$

$$W_0 = \frac{1}{\sqrt{6}\,RC}$$

In pratica bisogna sostituire

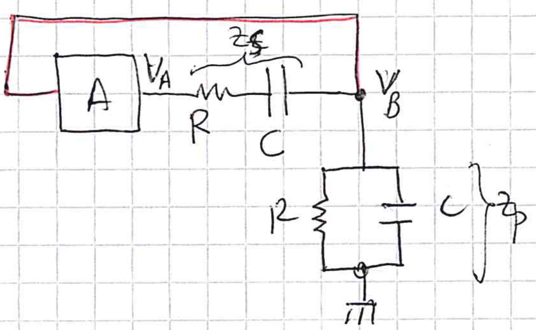


con $\frac{R_1 + R_2}{R} > 29$ e $\frac{R_1}{R} < 29$

B) Oscillatore a ponte di Wien

(polo + zero)

$$sCR = s/\omega_0$$



$$Z_S = R + \frac{1}{sC} = R\,\frac{s/\omega_0 + 1}{s/\omega_0}$$

$$Z_p = \frac{1}{sC + \frac{1}{R}} = R\,\frac{1}{s/\omega_0 + 1}$$

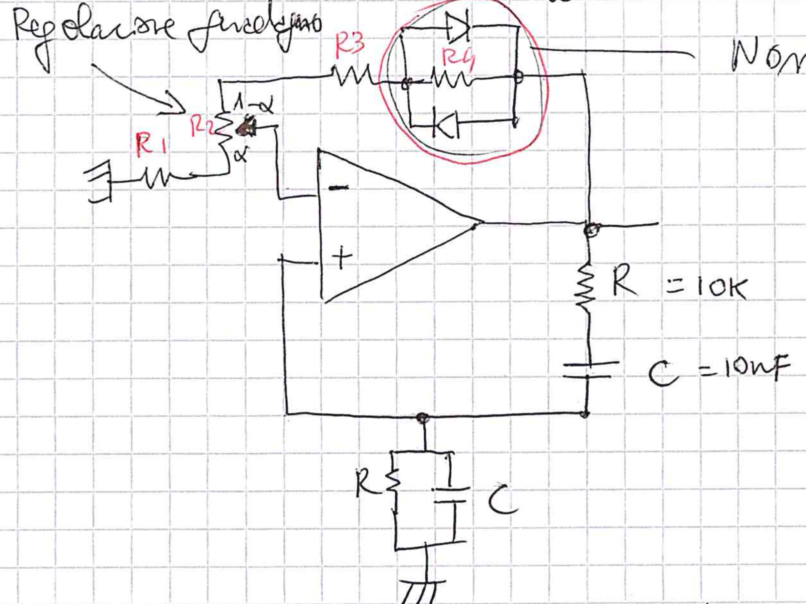
$$\beta = \frac{V_B}{V_A} = \frac{1}{1 + Z_S/Z_p} = \frac{1}{1 + \frac{(s/\omega_0 + 1)^2}{s/\omega_0}} = \frac{s/\omega_0}{s/\omega_0 + (s/\omega_0 + 1)^2} = \frac{s/\omega_0}{\left(\frac{s}{\omega_0}\right)^2 + 3\left(\frac{s}{\omega_0}\right) + 1}$$

$$A\beta = 1 \Rightarrow A = \frac{1}{\beta} = \frac{\left(s/\omega_0\right)^2 + 3\left(s/\omega_0\right) + 1}{s/\omega_0} = \frac{s}{\omega_0} + 3 + \frac{\omega_0}{s}$$

Con A reale:

Parte Reale : $A = 3$

Parte immag. : $0 = \frac{s}{\omega_0} + \frac{\omega_0}{s} \rightarrow \left(\frac{s}{\omega_0}\right)^2 = -1$ $s = j\omega$ $\omega^2 = \omega_0^2 = \frac{1}{(RC)^2}$



Non linearità

$$f_0 = \frac{1}{2\pi RC} = 1.6\ kHz$$

Se R_2 è divisa con una frazione α, il guadagno sarà:

$$A_0 = 1 + \frac{(1-\alpha)R_2 + R_3 + R_4}{\alpha R_2 + R_1} \quad \text{piccolo segnale}$$

$$A_1 = 1 + \frac{(1-\alpha)R_2 + R_3}{\alpha R_2 + R_1} \quad \text{grande segnale}$$