OSCILLATORE DI WIEN

Parte Teorica

L'oscillatore di Wien è formato da un amplificatore non invertente la cui rete di reazione è una rete di Wien.

L'oscillatore a ponte di Wien è detto così perché è basato sull'equilibrio di un ponte, detto appunto di Wien (Vedi *Figura 2*).
Il ponte è in equilibrio quando, per una data tensione d'ingresso V_i, a una data frequenza f_i , la tensione V_{AB} è uguale a 0.

Lo schema di principio dell'oscillatore di Wien è riportato nella *Figura 1*. La sua principale caratteristica è l'elevata stabilità della frequenza di oscillazione.

Prima di studiare il funzionamento dell'oscillatore, vediamo come funziona la rete di Wien rappresentata in *Figura 3*.

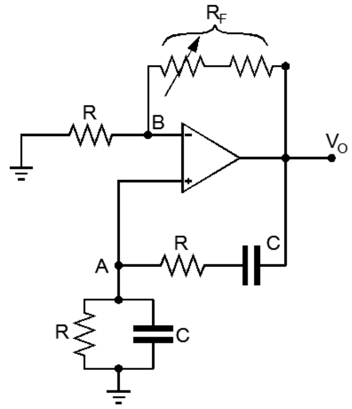

Figura 1

L'espressione della funzione di trasferimento si può calcolare prevedendo in primo luogo di sostituire alla serie e al parallelo (vedi *Figura 4*) rispettivamente:

$Z_{Serie} = R + \frac{1}{sC}$ $\qquad Z_{Parallelo} = \frac{R}{1+sRC}$ $\qquad$ Si ottiene:

$$\frac{V_O}{V_1} = \frac{\frac{R}{1+sRC}}{\frac{R}{1+sRC} + R + \frac{1}{SC}} = \frac{\frac{R}{1+sRC}}{\frac{sRC + sRC \cdot (1+sRC) + (1+sRC)}{sC \cdot (1+sRC)}}$$

$$\boxed{\frac{V_O}{V_i} = \frac{sRC}{s^2R^2C^2 + 3sRC + 1}} \qquad [1]$$

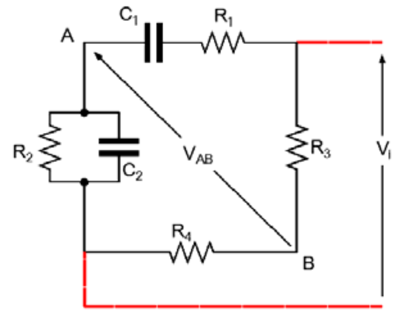

Figura 2

Dividendo numeratore e denominatore per sRC si ha:

$\frac{V_O}{V_i} = \frac{1}{sRC + \frac{1}{sRC} + 3}$ sostituendo $s = j\omega$ e ricordando che $\frac{1}{j} = -j$ si ottiene:

$$\boxed{\frac{V_O}{V_i} = \frac{1}{j\omega RC - \frac{j}{\omega RC} + 3} = \frac{1}{3 + j\left(\omega RC - \frac{1}{\omega RC}\right)}}$$

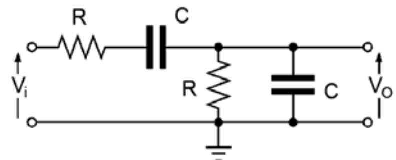

Figura 3

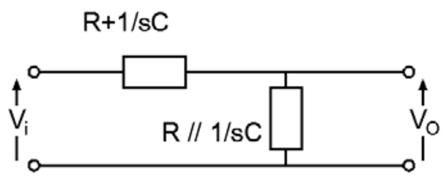

Figura 4

Affinché la funzione risulti reale dovrà essere nulla la parte immaginaria e dunque si deve avere: $\frac{V_O}{V_i} = \frac{1}{3}$ inoltre:

$$\omega RC - \frac{1}{\omega RC} = 0 \quad \Rightarrow \quad \omega RC = \frac{1}{\omega RC} \quad \Rightarrow \quad \omega^2 = \frac{1}{R^2C^2} \quad \Rightarrow \quad \omega = \frac{1}{RC}$$

Per quanto attiene alla fase si osserva che la f.d.t (Vedi equazione [1]) presenta uno zero nell'origine e due poli al denominatore:

$$s^2R^2C^2 + 3sRC + 1 = 0 \quad \Rightarrow \quad p_1, p_2 = \frac{-3 \pm \sqrt{5}}{2RC} = \left(\frac{-3 \pm \sqrt{5}}{2}\right) \cdot \omega$$

Ciò comporta che alle basse frequenze, a causa dello zero nell'origine la fase presenta un anticipo di 90°. All'aumentare della frequenza la fase decresce fino a raggiungere, a causa della presenza dei due poli -90°.

Alla frequenza $f = \frac{1}{2\pi \cdot RC}$ la fase è nulla.

Passando ora ad analizzare l'oscillatore di Wien, lo schema a blocchi può essere rappresentato come in *Figura 5*.
Occorre determinare il prodotto $\beta \cdot A$ nell'ipotesi che la resistenza d'ingresso dell'amplificatore sia molto maggiore di R.

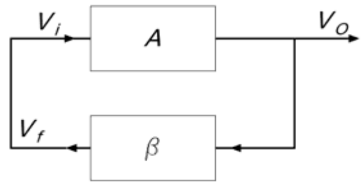

Figura 5

Poiché si tratta di un amplificatore non invertente, si ricava:
$A = \frac{V_O}{V_i} = 1 + \frac{R_f}{R}$ e dunque, considerando le condizioni di Barkausen $|\beta \cdot A| = 1$ e $\angle \beta \cdot A = 0$ si ha:

$$\beta \cdot A = \frac{V_f}{V_O} \cdot \frac{V_O}{V_i} = \frac{V_f}{V_i} = \frac{V_O}{V_i} = \left(\frac{1}{sRC + \frac{1}{sRC} + 3} \right) \cdot \left(1 + \frac{R_f}{R} \right) = 1$$

Ora poiché come visto in precedenza la rete di reazione attenua di 3 volte $\left(\frac{V_O}{V_i} = \frac{1}{3} \right)$ vuol dire che l'amplificatore dovrà amplificare 3 volte. Ciò vuol dire che:

$$\boxed{1 + \frac{R_f}{R} = 3 \quad \Rightarrow \quad \frac{R_f}{R} = 2 \quad \Rightarrow \quad R_f = 2 \cdot R}$$

Affinché il segnale incrementi inizialmente la sua ampiezza, dovrà aversi una leggera reazione positiva, cioè sara meglio porre: $\beta \cdot A = \frac{1}{3} \cdot \left(1 + \frac{R_f}{R} \right) > 1$ che porterà ad avere: $R_f > 2 \cdot R$

L'innesco è possibile se inizialmente $R_f > 2 \cdot R$. Per garantire questa condizione generalmente R_f viene sostituita da un termistore NTC (Negative Temperature Coefficient) oppure *R* da un termistore PTC (Positive Temperature Coefficient).
Inoltre, essendo nullo lo sfasamento della rete di reazione alla frequenza $f = \frac{1}{2\pi \cdot RC}$ e poiché l'amplificatore non inverte la fase, è soddisfatta la seconda condizione di Barkausen.

CRITERI DI PROGETTO
Problema fondamentale è l'innesco delle oscillazioni e, quindi, la necessità di un controllo automatico del guadagno o dell'attenuazione introdotta dalla rete di retroazione.

Oscillatore a ponte di Wien con controllo dell'ampiezza con diodi.
Per l'elevata stabilità, quest'oscillatore viene impiegato per frequenze che vanno dagli Hz a diverse centinaia di KHz.
La limitazione alle frequenze superiori è dovuta allo slew-rate S_r dell'amplificatore operazionale usato.

Un segnale sinusoidale, avente valore di picco V_{OP} in uscita, non risulta distorto se risulta: $S_r > 2\pi f V_{OP}$.

Gli oscillatori a ponte di Wien generano una forma d'onda con distorsione sicuramente inferiore a quella degli oscillatori a rete di sfasamento.
Per ottenere un'oscillazione di ampiezza costante, è necessario un dispositivo di controllo automatico che riporti gradualmente ad 1 guadagno d'anello ad innesco avvenuto.

Per ottenere ciò, in genere, s'interviene sulla rete di retroazione negativa, il cui tasso, reso variabile, cresce all'aumentare dell'ampiezza del segnale, con conseguente riduzione del guadagno dell'amplificatore.

Per essere sicuri che s'inneschi l'oscillazione, dobbiamo rendere Aβ >1, cosa che si realizza aumentando l'amplificazione A, cioè rendendo $R_f > 2 \cdot R$, per poi riportarne il valore a $R_f = 2 \cdot R$ una volta raggiunta la voluta ampiezza d'uscita.

Il controllo dell'ampiezza è ottenuto inserendo sull'uscita due diodi in antiparallelo come in figura.

Poiché i diodi presentano una tensione di soglia di circa 0,65V, nella fase iniziale, e ogni volta che l'uscita attraversa lo zero, la rete di retroazione risulta aperta rendendo molto elevato il guadagno.
Quando invece è superata, si chiude la rete di retroazione limitando automaticamente l'ampiezza. Il trimmer R_P serve per regolare il livello del segnale d'uscita.

Unica accortezza è di far circolare nei diodi una corrente media abbastanza alta, tale da tenere il punto di lavoro lontano dal ginocchio, per evitare distorsioni del segnale d'uscita.

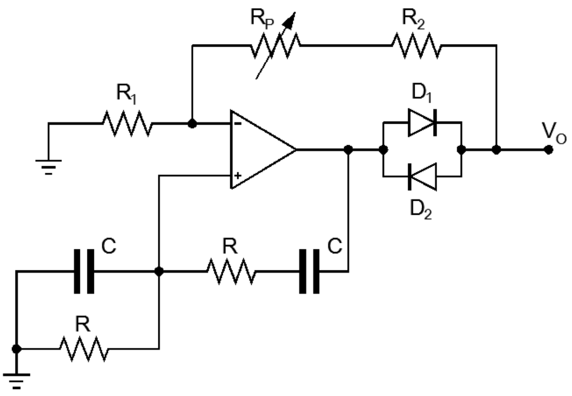

Figura 6

Per quanto riguarda il dimensionamento dei componenti e facendo riferimento alla *Figura 6* , si sfruttano le due relazioni:

$$(R_P + R_2) = 2 \cdot R_1 \qquad f_O = \frac{1}{2\pi \cdot RC}$$

Una volta fissata la frequenza f_O e l'ampiezza V_{OM} dell'oscillazione, si procede nel seguente modo:

a. Si calcola il valore di RC $\quad RC = \frac{1}{2\pi \cdot f_0}$

b. Si assegna un valore a C (essendo i valori commerciali di capacità in numero più limitato di quelli di resistenza) e si calcola R: $R = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot C}$ (il valore di R non deve risultare piccolo per non caricare l'uscita).

Si fissa un opportuno valore di R_1 e si calcola R_2 e R_P: $R_2 + \frac{R_P}{2} = 2R_1$, in modo da poter controllare, entro certi limiti, un l'ampiezza dell'oscillazione.

<u>Esempio applicativo:</u>

<u>Progetto di un oscillatore a ponte di Wien con frequenza f_o = 4 KHz</u>

Si utilizza schema di *Figura 6* dove l'amplificatore operazionale è il solito uA741.
Si pone l'alimentazione a $\pm$ 12V.
Si scelgono come diodi due comuni 1N4148.

Seguendo il procedimento appena descritto:

- Si ricavano *R* e *C*:

$RC = \frac{1}{2\pi \cdot f_0} = \frac{1}{2\pi \cdot 4000} = 39{,}789\ \mu s$ Ponendo: $\boxed{C = 10\ nF}$ si ricava: $\boxed{R = \frac{39{,}789 \cdot 10^{-6}}{10 \cdot 10^{-9}} = 3{,}979\ k\Omega}$.

Utilizziamo per R il valore commerciale di 3,9 kΩ.

- Si calcolano R_1, R_2 ed R_P:

Dovendo risultare: $\left(\frac{R_P}{2} + R_2\right) = 2 \cdot R_1$, si pongono: $\boxed{R_1 = 120\ k\Omega}$ e $\boxed{R_P = 100\ k\Omega}$ e si ricava R_2:

$R_2 = 2R_1 - \frac{R_P}{2} = 290\,k\Omega - 50\,k\Omega = 190\,k\Omega$. Si sceglie il valore commerciale: $\boxed{R_2 = 180\ k\Omega}$

- Risultati sperimentali verificati con Multisim 12:
  Le forme d'onda d'uscita sono state rilevate mediante oscilloscopio; la frequenza e l'ampiezza dell'oscillazione sono misurate con l'oscilloscopio.

Si è regolato il potenziometro R_P fino ad avere in uscita un segnale senza distorsione.

Di tale segnale si misura l'ampiezza e il periodo: $V_{OM} \approx 5{,}2\,V \quad T \approx 253{,}8\,\mu s \quad \Rightarrow \quad f_O = 3{,}94\,kHz$

La diversità dal valore teorico è dovuta essenzialmente alla tolleranza dei resistori e dei due condensatori utilizzati.

Le figure seguenti mostrano lo schema elettrico e il segnale di uscita visto sull'oscilloscopio.