I.T.I. “Modesto PANETTI” – B A R I

Via Re David, 186 - 70125 BARI ☎ 080-542.54.12 - Fax 080-542.64.32

Internet **http://www.itispanetti.it** **– email : BATF05000C@istruzione.it**

STUDIO DI UN GENERATORE DI ONDE QUADRE, TRIANGOLARI E PSEUDOSINUSOIDALI

Il circuito di figura 1 è un **convertitore tensione – frequenza**, in grado di **generare** sulle uscite V_2 V_3 V_4 , rispettivamente, **onde triangolari, quadre e sinusoidali con frequenza proporzionale alla tensione di ingresso positiva Vi.**

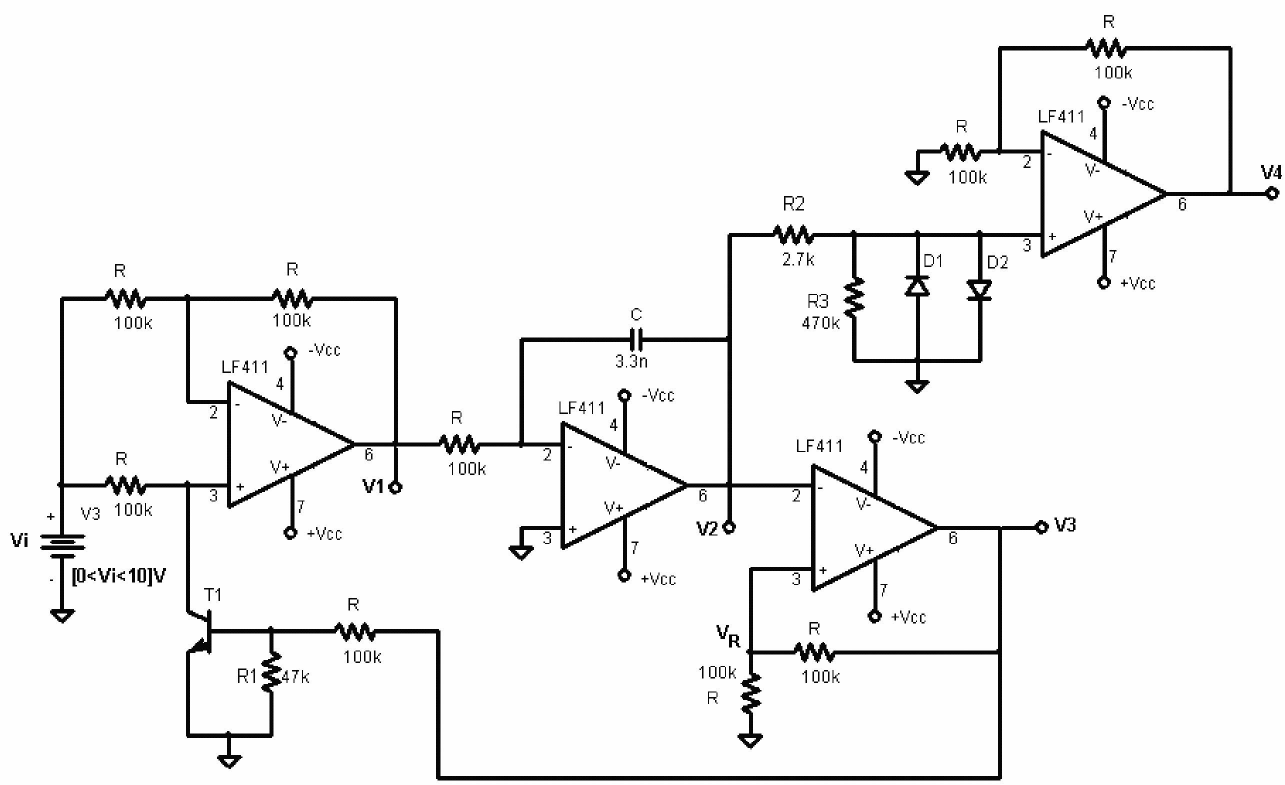

Fig. 1

PRINCIPIO DI FUNZIONAMENTO

Si spiega il principio di funzionamento partendo dalla tensione V_3 in uscita dal 3° stadio, che realizza un **comparatore invertente a trigger di Schmitt**.
Se la tensione V_3 = Vcc = 15V, consegue quanto di seguito:

- La tensione $\mathbf{V_R = V_{RH}}$ è pari a Vcc/2;
- Il transistor T1 lavora in condizioni di saturazione e quindi i morsetti collettore ed emettitore sono assimilabili ad un cortocircuito.

In tal modo il primo stadio del circuito realizza $\mathbf{V_1 = - V_i}$, perché il transistor collega a massa il morsetto non invertente dell'operazionale e quindi tale circuito è in configurazione di amplificatore invertente con guadagno unitario imposto dal pari valore delle resistenze R.
La tensione V_1 è l'ingresso del secondo stadio che costituisce un **integratore invertente.** Questo stadio ha la funzione di trasformare un segnale a gradino in ingresso, in un segnale a rampa in uscita.
Perciò se la tensione di ingresso è pari a – Vi, l'espressione della tensione di uscita vale:

$$V_2 = \frac{Vi}{R \cdot C} \cdot t + k$$

Con k = 0 perché si considera il condensatore C inizialmente scarico.
La tensione V_2 rappresenta una rampa ascendente entrante nel morsetto invertente dell'operazionale del terzo stadio,
Il valore dell'ampiezza di V_3 aumenta linearmente e quando raggiunge e supera il valore della tensione di riferimento $\mathbf{V_{RH}}$ fa commutare la tensione di uscita da +Vcc a –Vcc.

Se la tensione V_3 = -Vcc = -15V, consegue quanto di seguito:

- La tensione $\mathbf{V_R = V_{RL}}$ è pari a -Vcc/2;
- Il transistor T1 lavora in condizioni di interdizione perché la tensione $V_{BE} < 0$, e quindi i morsetti collettore ed emettitore costituiscono un circuito aperto.

In tal modo il primo stadio del circuito realizza $\mathbf{V_1 = V_i}$. Infatti la tensione Vp è pari a V_i, mentre la tensione V_N vale :

$$V_N = \frac{V_i + V_1}{2}$$

Eguagliando l'espressione di Vp con quella di V_N si ottiene il risultato sopraindicato.
La tensione V_1, cioè Vi, in ingresso all'integratore determina che l'espressione di V_2 è la seguente:

$$V_2 = -\frac{Vi}{C \cdot R} \cdot t + k$$

La tensione V_2 rappresenta una rampa discendente entrante nel morsetto invertente dell'operazionale del terzo stadio, Il valore dell'ampiezza di V_3 diminuisce linearmente e quando raggiunge e va al di sotto del valore della tensione di riferimento $\mathbf{V_{RL}}$, fa commutare la tensione di uscita da -Vcc a +Vcc.
Da questo punto in poi la sequenza di funzionamento si ripete finché il circuito viene alimentato.

Il segnale sinusoidale V_4 è ottenuto da quello triangolare mediante il quarto stadio del circuito, grazie all'effetto di tosatura dei picchi di tensione dovuto ai diodi presenti nello schema.

La tensione V_4 deve risultare approssimabile ad una sinusoidale di espressione:

$$V_4 = V_M \cdot \mathrm{sen}(\omega \cdot t)$$

Dove V_M = Vd = 0.7 V e $\omega = 2\pi f = 2\pi/T$, con T periodo sia dell'onda sinusoidale che triangolare come mostrato graficamente in figura 2.

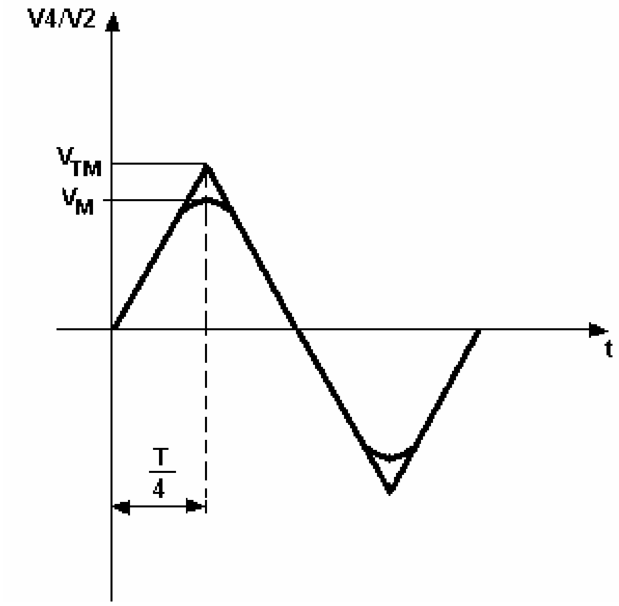

Fig. 2

L'onda triangolare nel primo quarto di periodo ha pendenza K ed assume l'espressione:

$$V_2 = K \cdot t$$

La pendenza dell'onda sinusoidale coincide con la derivata di V_4 e per t = 0 deve essere coincidente con quella dell'onda triangolare:

$$\left[\frac{dV_4}{dt}\right] = \omega \cdot V_M \cdot \cos(\omega \cdot 0) = \omega \cdot V_M = \frac{2 \cdot \pi \cdot V_M}{T}$$

Sostituendo tale valore nell'espressione di V_2 si ha:

$$V_2 = \frac{2 \cdot \pi \cdot V_M}{T} \cdot t$$

L'onda triangolare assume il massimo valore per t = T/4 per cui, sostituendo t nella precedente, si ricava:

$$V_{TM} = \frac{2 \cdot \pi \cdot V_M}{T} \cdot \frac{T}{4} = \frac{V_M \cdot \pi}{2}$$

Dalla precedente si ricava l'espressione dell'ampiezza del segnale sinusoidale V4:

$$V_M = \frac{V_{TM} \cdot 2}{\pi}.$$

Di seguito si riporta l'andamento temporale delle tensioni Vi, V_3, V_1 e V_2 tempificate tra loro.

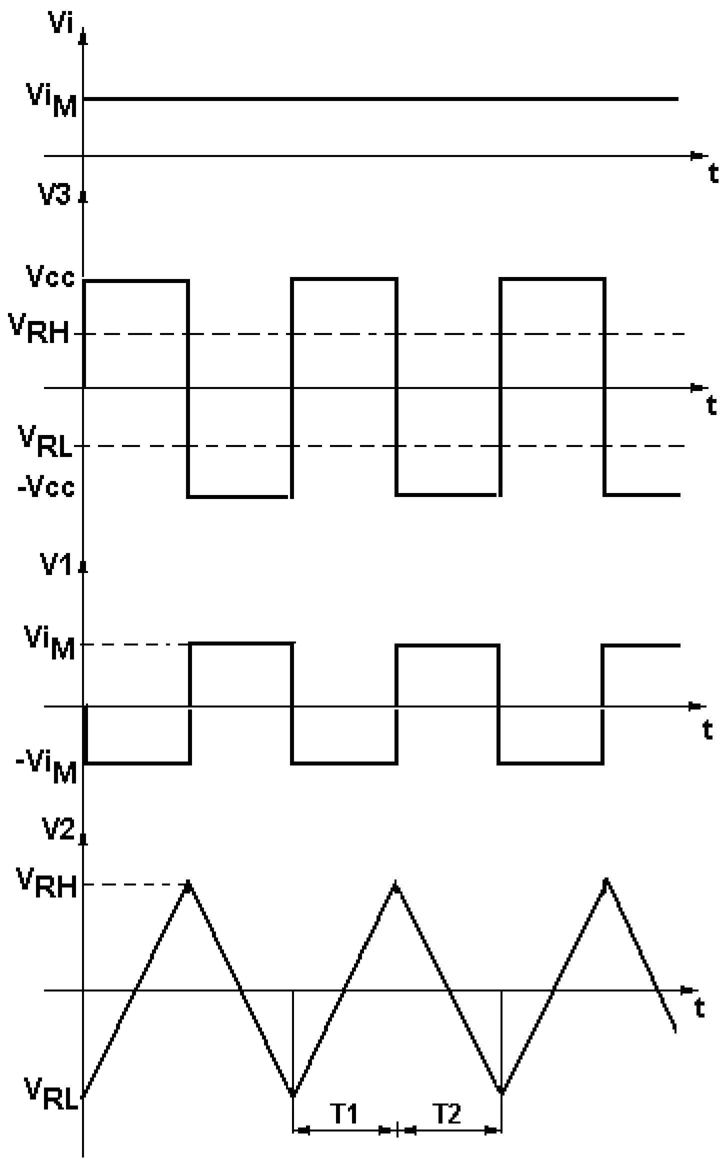

Fig. 3

CALCOLO DI T_1

L'espressione di V_2 è:

$$V_2 = \frac{Vi}{R \cdot C} \cdot t + k$$

Nell'istante in cui inizia T_1, V_2 vale:

$$V_2(0) = k = V_{RL}$$

Nell'istante $t = T_1$, V_2 è:

$$V_2(T_1) = V_{RH}$$

L'espressione di V_2 diventa:

$$V_2(T_1) = \frac{Vi}{R \cdot C} \cdot T_1 + k$$

Sostituendo i valori precedenti si ha:

$$V_{RH} = \frac{Vi}{R \cdot C} \cdot T_1 + V_{RL}$$

Sostituendo a V_{RH} = Vcc/2 e ad V_{RL} = -Vcc/2 e svolgendo alcuni passaggi si ottiene l'espressione di T_1:

$$T_1 = \frac{Vcc \cdot R \cdot C}{Vi}$$

CALCOLO DI T_2

Conoscendo l'espressione di V_2, nell'istante $t = 0$ in cui inizia T_2, V_2 vale:

$$V_2 = -\frac{Vi}{R \cdot C} \cdot t + k \,; \qquad V_2(0) = k = V_{RH}$$

Nell'istante $t = T_2$, V_2 è:

$$V_2(T_2) = V_{RL}$$

L'espressione di V_2 diventa:

$$V_2(T_2) = \frac{Vi}{R \cdot C} \cdot T_2 + k$$

Sostituendo i valori precedenti si evince che:

$$V_{RL} = -\frac{Vi}{R \cdot C} \cdot T_2 + V_{RH}$$

Effettuando le stesse sostituzioni precedenti e svolgendo alcuni passaggi si ottiene l'espressione di T_2:

$$T_1 = T_2 = \frac{Vcc \cdot R \cdot C}{Vi}$$

Per conoscere la costante di proporzionalità tra la frequenza dei segnali generati e l'ampiezza della tensione Vi, è necessario ricavare l'espressione della frequenza f dalla seguente:

$$f = \frac{1}{T_1 + T_2}$$

Sostituendo T_1 e T_2 con le espressioni trovate e svolgendo i vari passaggi si ottiene:

$$f = \frac{Vi}{2 \cdot Vcc \cdot R \cdot C} = KV_i$$

La costante K di proporzionalità vale:

$$K = \frac{1}{2 \cdot Vcc \cdot R \cdot C} \qquad [Hz/V].$$

Si riporta di seguito il risultato della simulazione del circuito in ambiente **ORCAD 9.2,** attribuendo a Vi l'ampiezza di 6V: