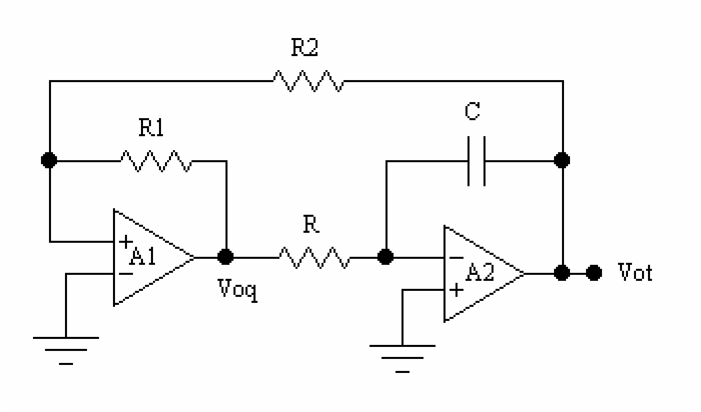
Generatore d'onda triangolare e d'onda quadra

Un generatore di onda triangolare può essere realizzato tenendo conto che un integratore, sollecitato in ingresso con un'onda quadra, fornisce in uscita un'onda triangolare le cui rampe possono essere utilizzate per generare l'onda quadra di partenza tramite un comparatore (trigger di Schmitt non invertente).



La tensione del morsetto non invertente $\mathbf{V_+}$, per il principio di sovrapposizione degli effetti, risulta:

$$\mathbf{V_+(t) = \frac{R_2}{R_1+R_2} V_{oq} + \frac{R_1}{R_1+R_2} V_{ot}(t)}$$

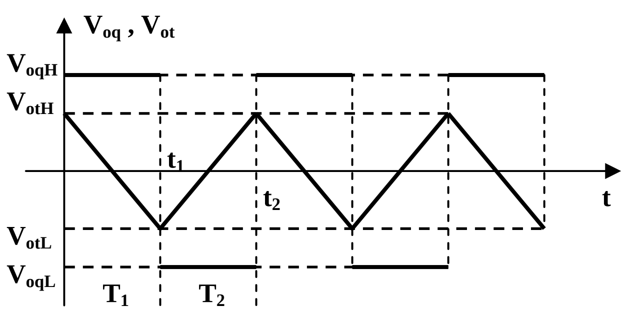
$$- \ \mathbf{se} \quad \mathbf{V_{oq} = V_{oqH}} \quad \Rightarrow \quad \mathbf{V_+(t) = \frac{R_2}{R_1+R_2} V_{oqH} + \frac{R_1}{R_1+R_2} V_{ot}(t) > 0} \quad \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \quad \mathbf{V_{ot}} \quad \textbf{rampa decrescente che parte da} \quad \mathbf{V_{ot}(t) = V_{otH}}$$

$$- \ \mathbf{se} \quad \mathbf{V_{oq} = V_{oqL}} \quad \Rightarrow \quad \mathbf{V_+(t) = \frac{R_2}{R_1+R_2} V_{oqL} + \frac{R_1}{R_1+R_2} V_{ot}(t) < 0} \quad \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \quad \mathbf{V_{ot}} \quad \textbf{rampa crescente che parte da} \quad \mathbf{V_{ot}(t) = V_{otL}}$$

Le commutazioni, che devono verificarsi prima che $\mathbf{V_{ot}}$ raggiunga il valore di saturazione dell'uscita (cioè la massima tensione possibile), si hanno quando le rampi crescente e decrescente raggiungono rispettivamente i valori $\mathbf{V_{otH}}$ e $\mathbf{V_{otL}}$, in corrispondenza dei quali la tensione $\mathbf{V_+(t)}$ uguaglia lo zero.



Se al tempo $\mathbf{t = 0}$ la tensione $\mathbf{V_{oq} = V_{oqH}}$, la tensione $\mathbf{V_{ot}(t)}$ risulta una rampa decrescente (l'integratore è invertente), la cui equazione è:

$$\mathbf{V_{ot}(t) = -\frac{1}{RC}\int_0^t V_i(t)dt + V_o(0) = -\frac{1}{RC}\int_0^t V_{oqH}dt + V_{otH} = -\frac{V_{oqH}}{RC}t + V_{otH}}$$

che raggiunge il valore minimo $\mathbf{V_{otL}}$ all'istante $\mathbf{t = t_1}$. In corrispondenza di tale valore la tensione $\mathbf{V_+}$ uguaglia e tende a scendere al di sotto dello zero, provocando la commutazione del comparatore da $\mathbf{V_{oqH}}$ a $\mathbf{V_{oqL}}$. Uguagliando l'espressione $\mathbf{V_+(t_1)}$ a zero, si ha:

$$\mathbf{V_+(t_1) = \frac{R_1}{R_1 + R_2}V_{oqH} + \frac{R_2}{R_1 + R_2}V_{otL} = 0 \quad \Rightarrow \quad V_{otL} = -\frac{R_1}{R_2}V_{oqH}}$$

In tale istante, commutando l'uscita del comparatore da $\mathbf{V_{oqH}}$ a $\mathbf{V_{oqL}}$, si interrompe la rampa decrescente e inizia la rampa crescente con valore iniziale $\mathbf{V_{otL}}$, la cui equazione è:

$$\mathbf{V_{ot}(t) = -\frac{1}{RC}\int_{t_1}^t V_{oqL}dt + V_{otL} = -\frac{V_{oqL}}{RC}(t - t_1) + V_{otL}}$$

che raggiunge il valore massimo $\mathbf{V_{otH}}$ all'istante $\mathbf{t = t_2}$. In corrispondenza di tale valore la tensione $\mathbf{V_+}$ uguaglia e tende a salire al di sopra dello zero, provocando la commutazione del comparatore da $\mathbf{V_{oqL}}$ a $\mathbf{V_{oqH}}$. Uguagliando l'espressione $\mathbf{V_+(t_2)}$ a zero, si ha:

$$\mathbf{V_+(t_2) = \frac{R_1}{R_1 + R_2}V_{oqL} + \frac{R_2}{R_1 + R_2}V_{otH} = 0 \quad \Rightarrow \quad V_{otH} = -\frac{R_1}{R_2}V_{oqL}}$$

In tale istante, commutando l'uscita del comparatore da $\mathbf{V_{oqL}}$ a $\mathbf{V_{oqH}}$, si interrompe la rampa crescente e inizia la rampa decrescente con valore iniziale $\mathbf{V_{otH}}$ e il ciclo si ripete.

Supponendo $\mathbf{V_{oqH} = -V_{oqL} \Rightarrow V_{otH} = -\frac{R_1}{R_2}V_{oqL} = \frac{R_1}{R_2}V_{oqH} = -V_{otL} \Rightarrow V_{otH} = -V_{otL}}$

Pertanto, le due rampe hanno uguale pendenza e uguali ampiezze positiva e negativa, per cui, per simmetria, devono risultare uguali i due semiperiodi. Per ottenere il periodo è sufficiente calcolare uno dei semiperiodi e raddoppiarlo. Si calcola $\mathbf{T_1}$, imponendo, nell'equazione della rampa decrescente, che al tempo $\mathbf{t = t_1 = T_1}$ la tensione $\mathbf{V_{ot}(t_1)}$ assuma il valore $\mathbf{V_{otL}}$:

$$\mathbf{V_{ot}(t_1) = -\frac{V_{oqH}}{RC}t_1 + V_{otH} = V_{otL} = -V_{otH} \quad \Rightarrow \quad T_1 = \frac{2RCV_{otH}}{V_{oqH}} = \frac{2RCR_1}{R_2}}$$

Raddoppiando si ottiene il periodo **T**: $\mathbf{T = 2T_1 = \frac{4RCR_1}{R_2}}$

La durata del semiperiodo $\mathbf{T_1}$ si può calcolare ricordando che la capacità si sta caricando a corrente costante e che, non assorbendo corrente gli ingressi, $\mathbf{I_R = I_C}$, quindi, per la rampa decrescente si ha:

$$\mathbf{I_R = \frac{V_{oqH}}{R} = I_C = -C\cdot\frac{\Delta V_{ot}}{\Delta t} \quad \Rightarrow \quad \Delta t = -RC\cdot\frac{\Delta V_{ot}}{V_{oqH}}}$$

Essendo $\mathbf{\Delta V_{ot} = V_{otL} - V_{otH} = -2V_{otH} = \frac{R_1}{R_2}2V_{oqL}}$ e $\mathbf{\Delta t = T_1}$, si ottiene

$$\mathbf{T_1 = \frac{R_1}{R_2}RC\frac{2V_{oqL}}{V_{oqL}} = \frac{2RCR_1}{R_2}}$$