



La risposta all'onda quadra per un circuito RC

Il comportamento di un circuito RC sottoposto ad una tensione quadra si può analizzare con un esempio pratico.

Si consideri il circuito in **fig. 1**: un generatore di onda quadra con dinamica 0, +10 V e frequenza 1 kHz, sollecita un circuito RC, composto da una resistenza fissa di 10 k Ω in serie ad un potenziometro da 100 k Ω e da un condensatore da 2,2 nF. La resistenza del circuito ha la possibilità di essere variata da un minimo di 10 k Ω ad un massimo di 110 k Ω .

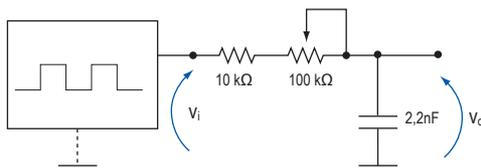


Fig. 1. Circuito RC sottoposto ad onda quadra.

Dalla frequenza della quadra, si può ricavare il valore del periodo, $T = 1$ ms, e dei due semiperiodi simmetrici, 500 μ s ciascuno. Il generatore quindi, periodicamente, carica il circuito per un intervallo di tempo pari a 500 μ s e lo scarica per un tempo identico.

Il circuito risponde con andamenti esponenziali, la cui rapidità dipende dalla costante di tempo del circuito stesso. Per questo motivo si analizzerà il comportamento del circuito in tre casi tra loro molto differenti, corrispondenti ad altrettanti valori della costante di tempo: con $\tau \ll T/2$, con $\tau \approx T/2$ e con $\tau \gg T/2$.

Utilizzando per esempio $R = 10$ k Ω (con il potenziometro completamente escluso), essendo $C = 2,2$ nF, risulta $\tau = 22$ μ s, un valore molto inferiore rispetto al semiperiodo della quadra (22 μ s \ll 500 μ s).

In tal caso ($\tau \ll T/2$), i tempi disponibili per la carica e la scarica sono circa ventitré volte superiori alla costante di tempo del circuito, perciò il condensatore ha un tempo più che sufficiente per caricarsi completamente a 10 V e scaricarsi a 0 V.

La risposta (V_c) è riportata in **fig. 2b**.

Inserendo, invece, tutta la resistenza del potenziometro, la resistenza complessiva passa a 110 k Ω , e la costante di tempo diventa $\tau = 242$ μ s, un valore circa uguale alla metà della durata degli intervalli di

carica e scarica ($\tau \approx T/4$). Il condensatore, quindi, non ha un tempo sufficiente per caricarsi e scaricarsi completamente, difatti la sua tensione (**fig. 2c**) risulta costituita dal valor medio (5 V), con sovrapposta un'ondulazione residua di ampiezza simmetrica.

Se oltre ad inserire tutta la resistenza del potenziometro, si sostituisce il condensatore con uno da 100 nF, la costante di tempo diventa $\tau = 11.000$ μ s, un valore ventidue volte superiore al semiperiodo di carica ($\tau \gg T/2$). In queste condizioni, il condensatore si muove di poco e la sua tensione rimbalza di poco attorno al valor medio di 5 V (**fig. 2d**).

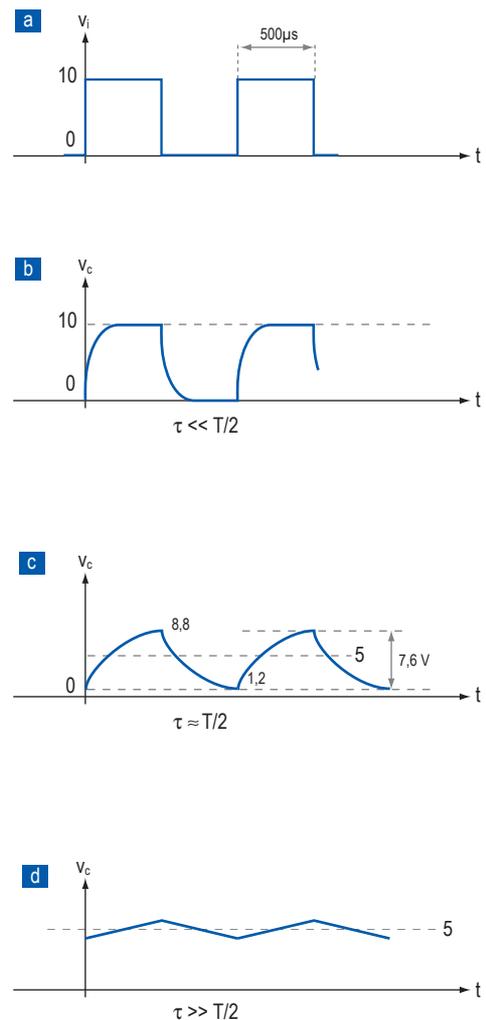


Fig. 2. Grafici dei segnali di ingresso e di uscita.

Sarebbe interessante in questo terzo caso analizzare ciò che succede durante il transitorio iniziale, cioè appena dopo che è stata applicata la forma d'onda (fig. 3).

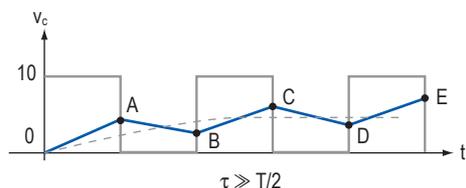


Fig. 3. Transitorio iniziale per $\tau \gg T/2$.

Poiché $\tau \gg T/2$, il condensatore non fa in tempo a caricarsi completamente nel primo semiperiodo. Dopo il primo impulso, la tensione raggiunge il punto (A), poi diminuisce sino al punto (B); nel ciclo successivo il fenomeno si ripete, con i punti C e D, e così via sino a quando non arriva a regime.



ESERCIZIO A

In ingresso al circuito di fig. 4, è applicata una quadra 0 V, 10 V, con frequenza 500 kHz. Determinare la risposta del circuito nelle due posizioni estreme del potenziometro.

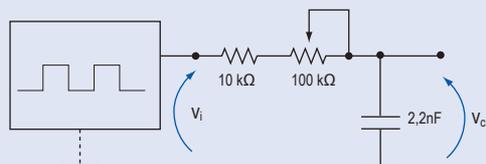


Fig. 4. Circuito RC sottoposto ad onda quadra.

SOLUZIONE

Il segnale applicato, di frequenza $f = 500$ kHz, ha un periodo $T = 2 \mu\text{s}$. I processi di carica e di scarica sono simmetrici e di durata $1 \mu\text{s}$.

Con il potenziometro disinserito, $R = 10$ k Ω , $C = 2,2$ nF, $\tau = 22 \mu\text{s}$, un valore molto superiore rispetto alla durata dei processi di carica e scarica, perciò l'uscita presenterà un valor medio di 5 V, con sovrapposta una pendolazione.

Con il potenziometro completamente inserito, $R = 110$ k Ω , $C = 2,2$ nF, $\tau = 242 \mu\text{s}$. Il circuito si presenta ancora più lento di prima, perciò il residuo, presente in uscita attorno al valor medio di 5 V, avrà un'ampiezza ancora minore.

ESERCIZIO 1

In ingresso al circuito di fig. 3, è applicata una quadra 0 V, 5 V, con frequenza 100 kHz. Determinare il valore medio della risposta del circuito nelle due posizioni estreme del potenziometro.

[Ris.: valore medio 2,5 V]