



Costanti di tempo e circuiti di carica



Non è possibile comprendere un qualsiasi circuito elettronico se non si conosce bene cosa accade durante la carica e la scarica di un condensatore

a cura di Flavio Criseo - 1ª parte

Spesso accade che alcuni argomenti essenziali siano tralasciati perché si pensa di conoscerli a fondo.

Abbiamo visto cosa può costituire un circuito a campionamento S&H e altri svariati dispositivi; non abbiamo mai parlato, però, dei circuiti di carica.

Nella pratica, conoscere a fondo cosa succede in una carica e in una scarica di un condensatore è molto importante.

Ciò non è utile solamente a chi si affaccia allo studio delle strumentazioni elettroniche, ma anche a chi vuole eseguire delle riparazioni su Hi-Fi, TVC e VCR, in modo consapevole e corretto.

Si ricordi il "convertitore ad approssimazioni successive". Abbiamo detto che nel suo S&H è presente la capacità C_H . Anche nel "convertitore a doppia rampa" era presente un circuito "Integratore",

quindi anche lì era presente una capacità C .

Ogni qualvolta abbiamo a che fare con delle capacità, troviamo sempre la presenza di resistori a esse collegate.

Questo aspetto, spesso tralasciato, può facilmente portare a equivoci sul corretto funzionamento di tutti quei circuiti che impiegano circuiti di carica.

Tutti, prima o poi, hanno sentito parlare delle "Costanti di tempo RC", quanti però saprebbero dire quanto tempo ci vuole affinché una certa capacità venga caricata a una ben precisa tensione?

Tanti misteri... poche difficoltà

Molti pensano, erroneamente, che dato che una costante di tempo (spesso indicata con τ) è data dal prodotto RC (Resistore per

Condensatore), per sapere quanto tempo trascorre affinché si verifichi un certo comportamento ogni volta che è impiegato un qualsiasi circuito RC in un TVC, essi moltiplicano solamente RC.

Ad esempio, un circuito RC è impiegato in un temporizzatore: molti si "convincono" che dopo il tempo $\tau = RC$ avviene il comando del dispositivo.

Vediamo di capirci meglio

Ammettiamo di avere un timer elettronico. Il costruttore ci informa che il tempo di attesa è di 2 minuti; dopodiché il timer comanderà (per esempio) un relè che azionerà un cancello automatico, oppure, nel caso di un TVC, l'apparato si porterà in ST-By dopo due minuti (la "famosa" funzione Sleep-Timer).

Aperto il timer, riusciamo facilmente a individuare il resistore principale che, per esempio, è di 10 k Ω .

Dato che $\tau = RC$ e siccome sappiamo che τ è espressa in secondi, si può essere indotti a pensare che la capacità necessaria dovrà essere

$$C = \frac{\tau}{R} = \frac{120}{10 \text{ k}\Omega} = 12000 \mu\text{F}$$

Chiunque abbia aperto un temporizzatore o un timer, chiaramente non ha mai trovato un condensatore così "grosso" come valore.

A questo punto, molti "entrano in crisi" e leggendo, invece, che la capacità impiegata è (per esempio) di 220 μF , pensano di aver sbagliato i calcoli, oppure che il loro timer non funzioni così come essi hanno pensato fino a pochi istanti prima.

Altri possono pensare, invece, che "forse il resistore individuato non è quello giusto".

Bene, nessuno di loro ha ragione... perché?

Vediamo perché

Innanzitutto è bene sottolineare che tutti i discorsi che faremo sono applicabili non soltanto ai timer, ma anche ai gruppi RC impiegati nei nostri convertitori e, quindi, anche a tutti i circuiti TV, ecc.

Comprendere il perché le moltiplicazioni $\tau = RC$ "non tornano mai" dipende da quanto si è compreso del funzionamento del condensatore C .

La capacità C è un elemento reattivo, quindi presenta una sua reattanza.

Il modo in cui il condensatore "reagisce" alle variazioni del potenziale applicato alle sue armature è fondamentale per comprendere l'andamento della sua carica (conseguentemente della sua scarica).

Chiaramente, non sarà possibile in queste pagine motivare e chiarire alcuni concetti matematici basilari qui di seguito impiegati.

Per coloro che volessero appro-

fondirli, basterà consultare un testo matematico idoneo; per coloro che invece vogliono sapere come calcolare correttamente delle costanti di tempo RC, basterà che impieghino le formule finali qui di seguito esposte e tutto sarà più semplice di quanto si pensi.

Guardiamo la Fig. 1: è presente un generico generatore di tensione (un'alimentazione qualsiasi), un resistore R e una capacità C .

Ammettiamo che l'interruttore SW si chiuda e che il condensatore C sia inizialmente totalmente scarico.

La tensione "E" inizia a trasferire corrente sulla capacità attraverso il resistore R ; il suo verso è indicato in figura.

L'elettrotecnica dice che, per il circuito in questione, $E = RI + V_C$, dove con V_C si è indicata la generica tensione ai capi del condensatore C .

Sappiamo che, quando il condensatore sarà carico, la sua V_C sarà uguale alla batteria "E" perché durante la carica il condensatore permette il passaggio di corrente. A carica ultimata la corrente cessa; in questo caso avremo che $E = V_C$.

A questo punto, la resistenza R non è più percorsa dalla corrente I .

Quanto tempo occorre affinché V_C sia uguale a E ?

Il tempo (espresso in secondi) τ è dato dalla "famosa" costante $\tau = RC$.

È evidente quindi che questa costante indica il tempo necessa-

rio affinché C si sia caricata, attraverso R , alla tensione massima disponibile (tecnicamente si dice che il tempo di carica è cessato e che siamo in una condizione di regime).

In qualsiasi circuito elettronico (che sia un timer o un temporizzatore o un qualsiasi altro circuito), per ottenere un certo funzionamento, non si attende mai che questo tempo sia completamente esaurito. Ecco perché calcolando solo $\tau = RC$ "i conti non torneranno mai".

Tutti i dispositivi vengono realizzati in modo da sfruttare una parziale carica e scarica del condensatore C e mai la carica e scarica totale dello stesso.

A questo punto ci si chiede: come si fa quindi a conoscere l'esatto tempo e/o l'esatta tensione di funzionamento del dispositivo? O, meglio, se la tensione di innesco del nostro relè (per esempio) non è la $V_C = E$ vista in precedenza e volendo controllare con un tester elettronico il nostro timer, che tensione corretta si dovrà leggere? Cosa dovremmo visualizzare ai capi di un circuito RC per essere sicuri che tutto funzioni a dovere?

In molti VCR o TVC sono presenti delle forme d'onda che servono al tecnico riparatore da paragone con un eventuale rilevamento all'oscilloscopio.

Spesso capita che gli oscillogrammi raffigurati negli schemi non riportino i valori della base/tempi e

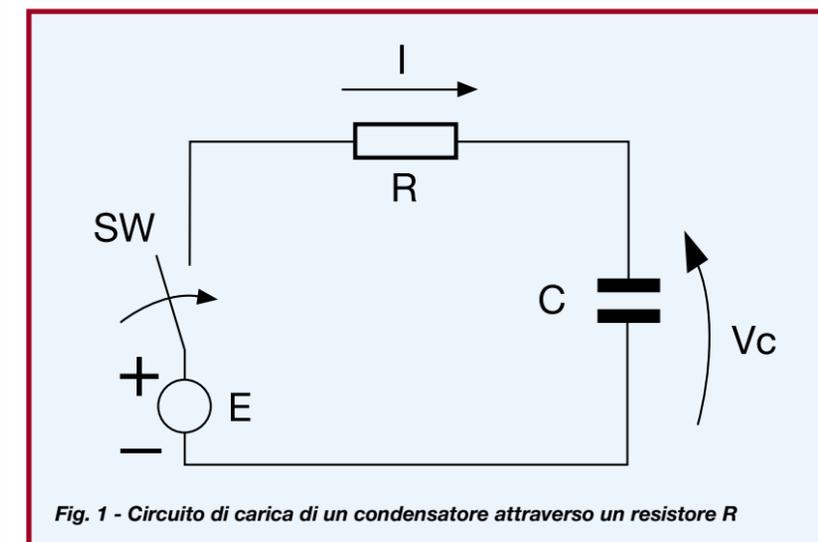


Fig. 1 - Circuito di carica di un condensatore attraverso un resistore R



dei Volt/Div. È facile quindi che se un segnale simile, ma non uguale, venisse visualizzato all'oscilloscopio si possa cadere in errore.

Per esempio, se avessimo un oscillogramma come raffigurato in alto nella Fig. 2a, mentre il nostro schema elettronico indica un segnale come quello visibile in basso, potremmo cadere in errore.

Se il grafico dello schema non riportasse nessun dato sulla base/tempi e sui Volt/Div., molti potrebbero pensare che il loro oscilloscopio sia regolato in modo leggermente diverso e, quindi, l'onda vista sullo schermo, essendo molto simile, sia da ritenersi corretta.

In effetti le due forme d'onda appena viste sono simili anche se hanno:

1. Frequenza diversa;
2. Duty-cycle totalmente diverso.

L'unica cosa sicura che lo schema fornisce è il valore dei componenti.

Avendo a disposizione il circuito sul banco service, è possibile riscontrare eventuali valori differenti dei componenti rispetto allo schema, ma, a meno di quest'ultima ipotesi, sappiamo com'è fatto lo schema. Ciò è già sufficiente.

È questa "l'arma vincente" per il tecnico elettronico, tutto il resto

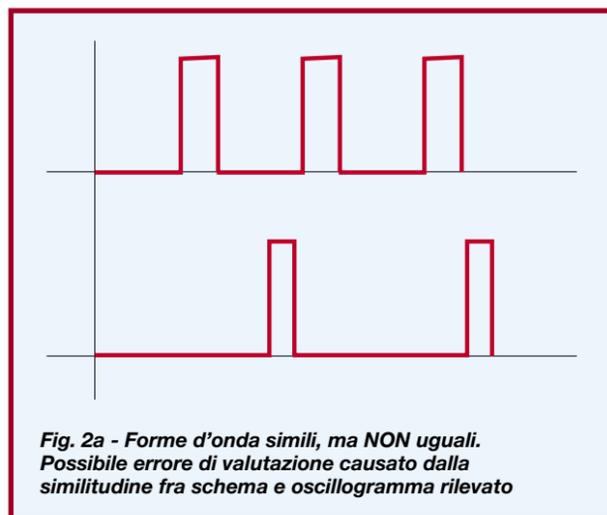


Fig. 2a - Forme d'onda simili, ma NON uguali. Possibile errore di valutazione causato dalla similitudine fra schema e oscillogramma rilevato

deve servire solamente come indicazione e/o riferimento e mai come se fosse una legge! Molti tecnici si trovano "disarmati" quando, dovendo riparare un amplificatore, un TVC o altro, non sanno cosa leggere con l'oscilloscopio perché "sullo schema non sono presenti le forme d'onda". Altri dispongono, invece, delle forme d'onda di riferimento, ma cadono in errore per i motivi visti in precedenza. Purtroppo, il voler rifiutare o il voler ostinatamente "scappare" da quelli che possono sembrare "calcoli difficilissimi" non aiuta nelle riparazioni.

Più si andrà avanti con la complessità dei circuiti, maggiori dovranno essere le conoscenze di un tecnico che vuole affrontare una riparazione o lo studio elettronico di un circuito qualsiasi.

I calcoli non sono poi così complicati

Affrontare un'analisi di funzionamento di un circuito anche attraverso l'ausilio di una semplice calcolatrice scientifica, deve essere un divertimento e non un sacrificio. Per certi versi, è come se noi tecnici fossimo dei "medici" del TVC o del VCR, oppure delle strumentazioni elettroniche.

Dobbiamo quindi conoscerne bene l'anatomia. Per esempio, torniamo alla nostra Fig. 1 e vediamo cosa manca al nostro sapere.

L'elettrotecnica dice che:

$$E = RI + V_c \quad (1)$$

Ora, un qualsiasi condensatore permette il passaggio di corrente attraverso le sue armature, secondo la relazione:

$$i = C \frac{dV_c}{dt} \quad (2)$$

dove il termine:

$$\frac{dV_c}{dt}$$

ci dice che la tensione sul condensatore varia al variare del tempo trascorso.

Nella relazione (1) abbiamo che la resistenza R è percorsa dalla corrente I; essendoci il condensatore, sappiamo che la corrente avrà l'andamento della relazione (2), quindi dobbiamo sostituirla nella (1).

$$E = RC \frac{dV_c}{dt} + V_c$$

Risolvendo otterremo che:

$$\int_0^{V_{x1}} \frac{dV_c}{E - V_c} = \int_0^{t_{x1}} \frac{dt}{RC} \quad (3)$$

i termini V_{x1} e t_{x1} rappresentano la tensione che sarà presente ai capi del condensatore quando sarà trascorso il tempo t_{x1} . Chiamando $E - V_c = \alpha$ possiamo scrivere il primo termine dell'equazione in questo modo:

$E - V_c = \alpha \rightarrow -dV_c = d\alpha$
ottenendo quindi che:

$$-\ln \alpha \Rightarrow -\ln(E - V_c) \Big|_0^{V_{x1}}$$

Risolvendo il calcolo abbiamo:

$$\ln \left(\frac{E}{E - V_{x1}} \right) \quad (3.1)$$

Il termine a destra della (3) viene invece:

$$\frac{t_{x1}}{RC} \quad (3.2)$$

Eguagliando avremo quindi che:

$$\frac{t_{x1}}{RC} = \ln \left(\frac{E}{E - V_{x1}} \right) \quad (3.3)$$

Sul termine "ln" abbiamo discusso in passato a cosa serve e cosa sia.

Se qualcuno ci chiedesse: "il mio dispositivo si aziona quando la tensione V_c è di 7,5 V.

Il circuito RC è come quello in Fig. 1 e la mia alimentazione è di 12 V.

La mia R è di 12 kΩ, mentre il mio condensatore è di 220 μF.

Quanto tempo occorre affinché il mio condensatore raggiunga i 7,5 V necessari?

Questa non è altro che la stessa domanda che ci eravamo posti all'inizio!

Noi tecnici, sapendo come si comporta un condensatore e conoscendo la formula (3.3), possiamo dire che il tempo cercato è il nostro t_{x1} , mentre la nostra V_c è in verità la V_{x1} , mentre la tensione di alimentazione di 12 V è la nostra "E".

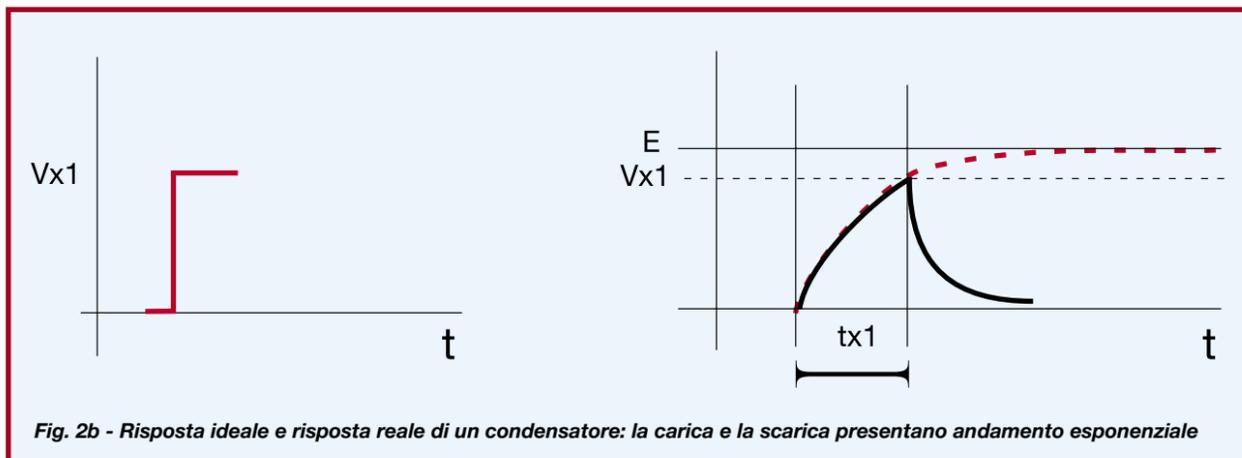


Fig. 2b - Risposta ideale e risposta reale di un condensatore: la carica e la scarica presentano andamento esponenziale



Allora abbiamo:

$$t_{x1} = RC \ln \left(\frac{E}{E - V_{x1}} \right) = 12 \cdot 10^3 \cdot 220 \cdot 10^{-6} \ln \left(\frac{12 \text{ V}}{12 \text{ V} - 7,5 \text{ V}} \right) = 2,59 \text{ s}$$

Ai capi della nostra C, si avranno 7,5 V dopo circa 2,6 secondi.

Se ci si chiedesse, invece, "quanta tensione misurerò ai capi del condensatore C dopo 4,5 secondi"?

Basterà utilizzare sempre la (3.3) risolvendola rispetto alla tensione, quindi:

$$V_{x1} = E \left(1 - e^{-\frac{t_{x1}}{RC}} \right) \Rightarrow V_{x1} = 12 \text{ V} \left(1 - e^{-\frac{4,5\text{s}}{12 \cdot 10^3 \cdot 220 \cdot 10^{-6}}} \right) = 9,81 \text{ V}$$

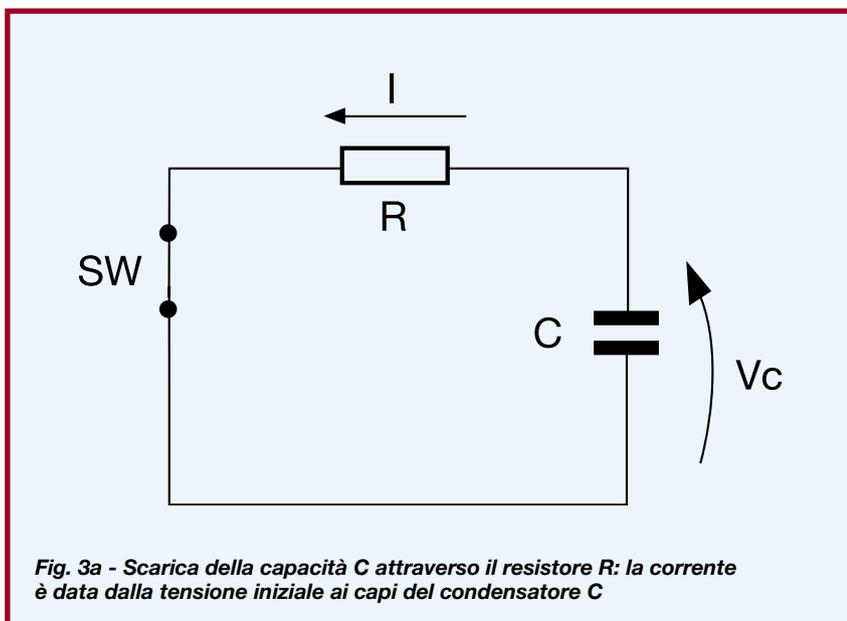


Fig. 3a - Scarica della capacità C attraverso il resistore R: la corrente è data dalla tensione iniziale ai capi del condensatore C

come si può notare, il condensatore si carica con un andamento chiamato "esponenziale"; la capacità C, infatti, non si carica mai in modo istantaneo, ma secondo l'andamento appena scritto per il calcolo della nostra V_{x1} .

Guardiamo la Fig. 2b e vediamo di capire cosa si intende per "andamento esponenziale".

Se il condensatore si potesse caricare in modo istantaneo, avremmo un andamento a gradino, così come è raffigurato nel primo grafico della Fig. 2b.

Dato che la corrente deve "obbedire" alla legge data dalla (2), la carica non può essere a "gradino".

Il reale andamento di carica lo si può vedere nel grafico in basso alla Fig. 2b.

Questo particolare andamento tende a far raggiungere la carica massima (corrispondente alla tensione di alimentazione "E") dopo un certo periodo (il nostro famoso τ).

L'andamento visibile in figura è chiamato esponenziale.

Come si può vedere al tempo $t = t_{x1}$ il condensatore sarà carico alla tensione V_{x1} , mentre dopo un tempo abbastanza lungo la carica fra le armature di C sarà pari a E.

Com'era facile prevedere, se volessimo sapere la capacità necessaria per il circuito RC affinché la carica dello stesso sia di 9 V (ad esempio) in un tempo di 4 secondi basterà utilizzare ancora la (3.3) e il "gioco sarà fatto".

Scarica di C

Abbiamo parlato sempre della carica di C, ma mai della sua scarica.

Ammettiamo che il circuito di Fig. 1 non abbia l'alimentazione "E" e, anziché avere SW inizialmente aperto sia invece chiuso.

Se il condensatore è carico a una generica tensione V_{x2} , quanto tempo ci vuole affinché la scarica di C scenda fino al 10% della sua carica iniziale?

Nel nostro laboratorio un cliente potrebbe chiederci: "Ho il mio circuito RC così come visibile in Fig. 3a, se C e R sono da 220 μF e 12 k Ω rispettivamente, avendo C carico a 6,8 V, quanto tempo ci vuole affinché la carica di C scenda fino a 0,68 V?".

Molti di voi, invece di rispondere, indicherebbero "gentilmente" la porta d'uscita del proprio laboratorio (confesso, anch'io sarei fra questi).

La domanda, però, è identica alla precedente.

Non a caso il 10% di 6,8 V sono appunto 0,68 V!

È importante saper dare una risposta a tutto questo perché si pensi ad esempio a un convertitore a doppia rampa impiegato come voltmetro; il circuito integratore RC (si rivedano gli schemi su Il Cinescopio n. 11, novembre 2003, pag. 70) posto in ingresso funziona allo stesso modo e la nostra costante di tempo RC è sempre la stessa costante τ discussa in queste pagine.

Ammettiamo che si voglia riparare un oscillatore a onda quadra presente in un TVC, sicuramente sarà presente una rete RC.

Se non si è sicuri che l'oscillatore funzioni correttamente, il tempo di scarica sarà quello giusto oppure no?

Non ha senso cominciare a sostituire a caso i componenti seguendo la filosofia del "tanto prima o poi lo trovo!" Più che tecnici ci trasformeremmo in veri e propri dilettanti dell'elettronica.

- continua -