

ANTONINO CUCINOTTA “FENOMENI TRANSITORI NEI CIRCUITI RC”

UNITA' DIDATTICA

SCHEDA GENERALE

Autore: Prof. ANTONINO CUCINOTTA

Istituto: I.T.I.S. "VERONA-TRENTO" - MESSINA

Data:14-5-1994

Titolo:"FENOMENI TRANSITORI NEI CIRCUITI RC"

Parola chiave:TRANSITORI

Disciplina: ELETTRONICA E TELECOMUNICAZIONI

Classe: III - PROGETTO “ABACUS” - SPECIALIZZAZIONE INFORMATICA

Prerequisiti:

Conoscenze di base concernenti le leggi ed i teoremi fondamentali dei circuiti elettrici.

Raccordi:

Con la disciplina "Sistemi di Elaborazione e Trasmissione dell'Informazione"

Obiettivi:

- Conoscenza dei parametri elettrici di un condensatore;**
- Saper individuare fenomeni di tipo capacitivo sia dovuti alla presenza di condensatori sia causati da capacità parassite;**
- Uso di applicativi standard o personalizzati rivolti alla simulazione di circuiti elettrici.**
- Approccio elementare alla costruzione di semplici modelli.**

Contenuti:

- Il condensatore:concetti fondamentali e caratteristiche tecnologiche;**
- Principali tipi di condensatori;**
- Modello incrementale ed analisi di un circuito RC in fase di carica;**
- Introduzione elementare alle funzioni esponenziali ed ai logaritmi;**
- Equazioni della legge di carica di un condensatore;**
- Esempio di applicazione della legge di carica di un condensatore;**
- Modello incrementale ed analisi di un circuito RC in fase di scarica;**
- Equazioni della legge di scarica di un condensatore;**
- Esempio di applicazione della legge di scarica di un condensatore;**
- Legge generale di carica di un condensatore con tensione iniziale diversa da zero;**
- Esempio di applicazione della legge generale di carica di un condensatore;**
- Parametri caratteristici dei segnali impulsivi;**

ANTONINO CUCINOTTA “FENOMENI TRANSITORI NEI CIRCUITI RC”

- Segnali a gradino ideale.
- Realizzazione di circuiti RC su piastre sperimentali;
- Visualizzazione all'oscilloscopio delle risposte $V^C(t)$ e $V^R(t)$ di un circuito RC all'onda quadra;
- Realizzazione e verifica del funzionamento di un partitore compensato, con osservazioni sperimentali degli effetti delle capacità parassite sulla propagazione di un segnale rettangolare attraverso una linea di trasmissione;
- Compensazione della capacità parassita associata ad uno spezzone di cavo schermato;
- Funzionamento di un circuito di inizializzazione.

Metodologie:

L'unità didattica si articola in 2 fasi:

Inizialmente (fase N°1) l'allievo affronta lo studio dei fenomeni transitori attraverso la costruzione di modelli incrementali, correlata allo studio dei relativi algoritmi di simulazione, e ad alcuni esempi concernenti l'applicazione delle leggi di carica e scarica del condensatore con diverse condizioni iniziali.

Successivamente (fase N°2) l'allievo effettua in laboratorio sia la verifica dei contenuti teorici acquisiti sia l'analisi di fenomeni fisici introdotti dall'uso di componenti elettrici.

Risorse necessarie:

- Personal computer e software didattico prodotto dal docente o di tipo standard commerciale;
- Strumentazione elettronica di base.

Tempo: 12 ore

SCHEDA DELLA FASE N°1

Titolo:

Modellizzazione ed analisi di circuiti RC sottoposti a segnali a gradino ideale.

Obiettivi della fase:

- Acquisizione di nozioni e concetti fondamentali;
- Acquisizione di capacità operative concernenti la costruzione di modelli incrementali e le relative simulazioni al computer.

Contenuti della fase:

- Il condensatore:concetti fondamentali e caratteristiche tecnologiche;
- Principali tipi di condensatori;
- Modello incrementale ed analisi di un circuito RC in fase di carica;
- Introduzione elementare alle funzioni esponenziali ed ai logaritmi;
- Equazioni della legge di carica di un condensatore;
- Esempio di applicazione della legge di carica di un condensatore;
- Modello incrementale ed analisi di un circuito RC in fase di scarica;
- Equazioni della legge di scarica di un condensatore;
- Esempio di applicazione della legge di scarica di un condensatore;
- Legge generale di carica di un condensatore con tensione iniziale diversa da zero;
- Esempio di applicazione della legge generale di carica di un condensatore;
- Parametri caratteristici dei segnali impulsivi;
- Segnali a gradino ideale.

Metodologie:

Consultare la scheda generale.

Risorse:

Personal computer e software didattico prodotto dal docente.

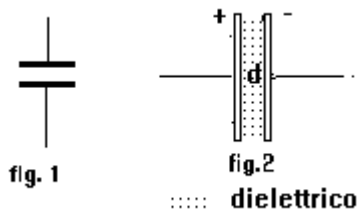
Tempo: 9 ore.

IL CONDENSATORE

concetti fondamentali e caratteristiche tecnologiche

Il condensatore è un componente elettronico lineare costituito da due lamine metalliche (armature) separate da un dielettrico (isolante o coibente) (figg.1 e 2).

Simbolo circuitale Struttura



Ogni condensatore è caratterizzato dalla capacità ,C,definita dal rapporto costante Q/V tra la carica elettrica Q accumulata su ciascuna armatura e la differenza di potenziale V tra le armature;pertanto Q è proporzionale a V .

Nel sistema MKSA la capacità si misura in Farad (F) e sottomultipli:

picofarad (pF) = 10^{-12} F = $1E-12$ F,

nanofarad (nF) = 10^{-9} F = $1E-9$ F,

microfarad (μ F)= 10^{-6} F= $1E-6$ F.

La capacità dei principali tipi di condensatori disponibili in commercio si può calcolare con buona approssimazione utilizzando la formula valida per il condensatore piano,

$$C = \epsilon_0 \epsilon_r S / d$$

dove ϵ_0 è la costante dielettrica del vuoto, pari a $8,85 \cdot 10^{-12}$ F/m, ϵ_r è la costante dielettrica relativa dell'isolante, di spessore d , che separa le armature, S è l'area di ciascuna armatura.

In particolare l'isolante tra le armature può essere costituito dal vuoto o dall'aria in condizioni normali; si pensi ai condensatori variabili impiegati nei circuiti di sintonia degli apparecchi radio.

Il campo elettrico E tra le armature si può calcolare come rapporto tra la d.d.p. V e la distanza d che le separa; è ovvio che il valore di E , espresso in V/m, non deve superare il massimo campo elettrico (rigidità dielettrica) sopportabile dall'isolante interposto, altrimenti si verifica la perforazione dell'isolante, con il conseguente danneggiamento permanente del condensatore a causa della scarica elettrica prodotta.

Pertanto ogni condensore è caratterizzato non soltanto dalla sua capacità, ma anche dalla massima tensione continua applicabile tra le armature, V_n (valore nominale della tensione di lavoro).

Principali tipi di condensatori

Consideriamo i seguenti tipi di condensatori disponibili in commercio:

1) Condensatori a film plastico (poliestere, polipropilene, policarbonato), con capacità compresa tra 1 nF ed 1 μ F e tensione nominale compresa tra 100 V a 2000 V a seconda del tipo, impieganti un sottilissimo strato (film) di materiale plastico. Possono essere di tipo assiale (fig.3) o di tipo adatto al montaggio verticale su scheda a circuito stampato (fig.4).

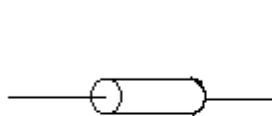


fig.3



fig.4

2) Condensatori ceramici, costituiti da numerosi strati di materiale ceramico ad alta costante dielettrica ϵ_r (da 100 a 10000), sui quali vengono depositati sottilissimi strati argentati che costituiscono le armature. Data l'elevata costante dielettrica del materiale ceramico, si ottengono condensatori di dimensioni molto piccole, con capacità compresa tra 1 pF e 100 nF e tensione nominale compresa tra 50 V e 500 V (condensatori ceramici a disco, fig.5).



.... strati di materiale
ceramico metalliz-
zati

fig.5



3) Condensatori elettrolitici, all'ossido di alluminio o all'ossido di tantalio, costituiti da due sottilissime lamine di alluminio o di tantalio, separate da uno strato di materiale assorbente impregnato di soluzione elettrolitica. In questi condensatori, che a differenza di tutti gli altri, sono di tipo polarizzato, il dielettrico è costituito da un sottilissimo strato di ossido di alluminio o di tantalio che si forma immediatamente, per elettrolisi, soltanto quando l'anodo è positivo rispetto al catodo; pertanto bisogna rispettare le polarità, altrimenti l'ossido isolante non si forma e si ha passaggio di corrente tra le armature, con conseguente danneggiamento del componente. Esistono d'altra parte condensatori elettrolitici di tipo non polarizzato, ottenuti collegando in opposizione due condensatori elettrolitici polarizzati; vengono impiegati in circuiti a corrente alternata (per es. nei filtri crossover che accoppiano l'uscita di un amplificatore HI-FI ai diffusori acustici).

ANTONINO CUCINOTTA “FENOMENI TRANSITORI NEI CIRCUITI RC”

Essendo sottilissimo lo strato dielettrico,(pochi decimi di micron),si ottengono,con ingombri molto limitati,capacità molto elevate comprese tra $1\ \mu\text{F}$ e $100000\ \mu\text{F}$,con tensione nominale compresa tra $16\ \text{V}$ e $350\ \text{V}$.

I condensatori elettrolitici al tantalio sono molto più piccoli di quelli ad alluminio,a parità di capacità,e presentano correnti di dispersione molto ridotte (condensatori a bassa perdita).

Analisi di un circuito RC in fase di carica

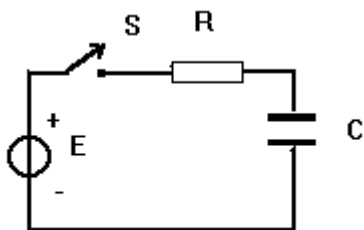


fig.6

Consideriamo il circuito RC di fig.6, costituito da un generatore di tensione avente f.e.m. E , collegato in serie con l'interruttore S , con il resistore R e con il condensatore C , che si suppone inizialmente scarico ($V_c = 0$).

Quando viene chiuso l'interruttore S , ha inizio un fenomeno transitorio durante il quale il condensatore si carica; la fase di carica ha termine quando la d.d.p. V_c ai capi del condensatore uguaglia la f.e.m. E .

Bisogna considerare che durante la fase di carica il circuito viene percorso da una corrente transitoria I , di valore iniziale $I^0 = E/R$ e di intensità decrescente, che si annulla al termine della fase di carica, in quanto il condensatore carico con $V_c = E$ si comporta come un generatore di tensione collegato in opposizione con il generatore E , la cui f.e.m. viene equilibrata esattamente; infatti, al termine della fase di carica, dalla II legge di Kirchhoff si ha:

$$E = V_c + RI,$$
$$I = (E - V_c)/R = (E - E)/R = 0.$$

ANTONINO CUCINOTTA “FENOMENI TRANSITORI NEI CIRCUITI RC”

Per ricavare la legge di carica del condensatore, cioè per determinare gli andamenti della corrente $I(t)$ e della tensione $V_c(t)$ in funzione del tempo, si può costruire un modello matematico che consenta di simulare al computer il fenomeno transitorio mediante un programma avente come input i valori di E , R e C e come output i valori di $I(t)$ e di $V_c(t)$, rappresentati, istante per istante, sia numericamente sia attraverso grafici.

Modello incrementale di un circuito RC in fase di carica

L'andamento temporale del fenomeno transitorio è determinato dal parametro τ , definito dal prodotto RC (costante di tempo) ed espresso in secondi.

In pratica si osserva che il fenomeno transitorio si esaurisce dopo un tempo pari a 5 volte la costante di tempo; pertanto è opportuno considerare per lo sviluppo del programma un intervallo di tempo sufficientemente maggiore di $5\tau = 5RC$, al fine di ottenere la simulazione completa del fenomeno, fino al raggiungimento del cosiddetto regime per-

manente, caratterizzato dai valori costanti $V_c = E$ ed $I = 0$.

Si fissa come durata del fenomeno un intervallo di tempo $t = 10\tau = 10RC$, che si suddivide in N intervalli, con N compreso tra 50 e 100 in funzione dell'approssimazione che si desidera.

Si considera come istante iniziale $t = 0$, al quale corrispondono $V_c(0) = 0$ ed $I(0) = E/R$; infatti il condensatore, essendo scarico, equivale ad un cortocircuito ($V_c = 0$).

Durante ogni intervallo elementare $dt = 10RC/N$, compreso tra gli istanti t^n e t^{n+1} , con n variabile da 1 a $N+1$, si assume che il condensatore si carichi con corrente costante di intensità I^n (intensità di corrente all'istante t^n): $V^{C_{n+1}} = V^{C_n} + dq^n/C = V^{C_n} + I^n dt/C$, dove V^{C_n} è la tensione ai capi del condensatore all'istante t^n , $V^{C_{n+1}}$ è la tensione ai capi del condensatore all'istante t^{n+1} , e $dq = I^n dt$ è la carica elettrica elementare acquisita dalle armature (cariche con segni opposti) dall'istante t^n all'istante t^{n+1} , per effetto della corrente costante I^n .

Pertanto, essendo $E = V^C + V^R$, dove $V^R = RI$ è la caduta di tensione ai capi di R , all'istante t^{n+1} si ha:

$$V^{R_{n+1}} = E - V^{C_{n+1}}.$$

L'intensità di corrente I^{n+1} relativa all'istante t^{n+1} si ottiene dal rapporto $V^{R_{n+1}}/R = (E - V^{C_{n+1}})/R$.

Nell'intervallo successivo si procede analogamente, assumendo come valori iniziali della tensione V^C e della corrente I i valori finali relativi all'intervallo precedente.

Si procede allo stesso modo negli intervalli successivi, fino all'istante t^{N+1} , essendo N il numero degli intervalli elementari.

Bisogna considerare che l'errore che si commette considerando costante, in prima approssimazione, la corrente I nell'intervallo compreso tra t^n e t^{n+1} , è tanto minore quanto maggiore è il numero N degli intervalli, e tende, al limite, ad annullarsi se N diventa molto grande.

ANTONINO CUCINOTTA “FENOMENI TRANSITORI NEI CIRCUITI RC”

Le figg. 7,8 e 9 mostrano rispettivamente i grafici della tensione $V^C(t)$, della tensione $V^R(t)$ e della corrente $I(t)$ durante la simulazione della fase di carica.

E' ovvio che la corrente di carica del condensatore passa soltanto nei tratti di circuito compresi tra le armature ed i poli del generatore, per effetto della d.d.p. che si manifesta ai capi di R e che decresce a seguito dei fenomeni di induzione elettrostatica che incrementano gradualmente la tensione V^C .

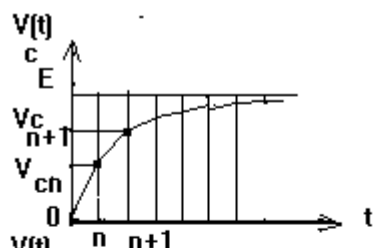


fig.7

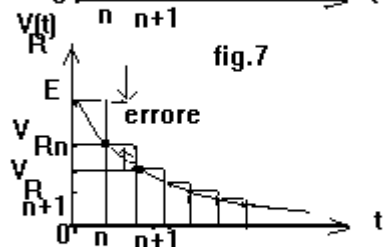


fig.8

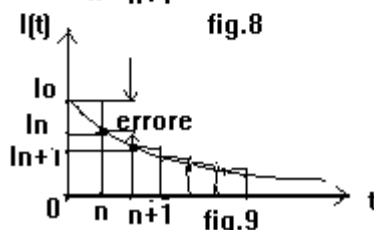


fig.9

Introduzione elementare alle funzioni esponenziali ed ai logaritmi

Consideriamo due numeri reali a ed x ed il termine esponenziale a^x (a elevato ad x); a^x è una funzione esponenziale, con base a , della variabile reale x , dove l'esponente x può assumere qualsiasi valore reale positivo o negativo, mentre a deve essere un numero reale positivo diverso da 1.

La funzione inversa della funzione esponenziale $y = a^x$ è la funzione logaritmica:

$x = \log^a y$ (si legge: logaritmo di y in base a).

Essendo la base a positiva, anche y deve essere positivo; pertanto si definisce logaritmo di un numero reale positivo y , preso nella base a positiva, diversa da 1, l'esponente x (reale positivo o negativo) da attribuire alla base a per ottenere y .

In sostanza il logaritmo di y in base a è la soluzione dell'equazione esponenziale $y = a^x$.

Teoricamente si potrebbero considerare infiniti sistemi di logaritmi, essendo infiniti i valori di a da assumere come base; in effetti in matematica si usano due soli sistemi di logaritmi, quelli neperiani (o naturali), per i quali si assume come base il numero di Nepero $e = 2,71828...$, che è un numero irrazionale, e quelli decimali (volgari o di Briggs),

ANTONINO CUCINOTTA “FENOMENI TRANSITORI NEI CIRCUITI RC”

per i quali si assume come base 10.

Equazioni della legge di carica di un condensatore

La legge di carica ottenuta con il modello incrementale è di tipo esponenziale e si esprime matematicamente attraverso le seguenti equazioni:

$$1) V^c(t) = E (1 - \exp [-t/(RC)]) \quad (\text{fig.7}) ;$$

$$2) V^R(t) = E - V^c(t) = E - E + E \exp [-t/(RC)] = E \exp [-t/(RC)] \quad (\text{fig.8});$$

$$3) I(t) = V^R(t)/R = (E/R) \exp [-t/(RC)] \quad (\text{fig.9}) .$$

L'andamento esponenziale è dovuto alla presenza del termine $\exp [-t/(RC)]$, che equivale ad e (numero di Nepero) elevato all'esponente $[-t/(RC)]$.

N.B.: Le equazioni 1),2) e 3) si ottengono, come casi particolari, dalle equazioni della legge generale di carica di un condensatore (vedi pag. 15), ponendo uguale a zero la tensione iniziale $V^c(0)$ ai capi del condensatore.

Esempio di applicazione della legge di carica di un condensatore

Consideriamo il circuito RC di fig.10, costituito da un generatore di tensione avente f.e.m. $E = 100 \text{ V}$, dai resistori $R1 = 10 \text{ k}\Omega$, $R2 = 5 \text{ k}\Omega$, dal condensatore $C = 0,1 \mu\text{F}$, inizialmente scarico, e dall'interruttore S .

Si richiede di determinare l'intensità di corrente I e la tensione $V^c(t)$ ai capi del condensatore all'istante $t = 2E \cdot 4 \text{ s} = 0,2 \text{ ms}$ ed inoltre l'istante t' in corrispondenza del quale la tensione $V^c(t')$ assume il valore di 25 V .

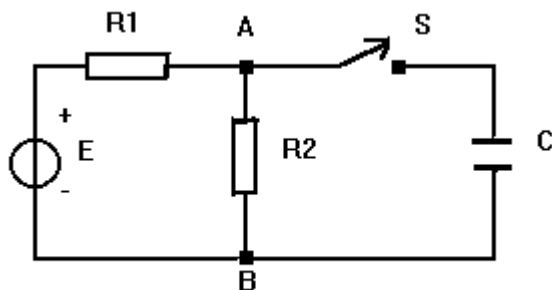


fig.10

Bisogna anzitutto semplificare il circuito applicando il teorema di Thevenin, che afferma che una qualsiasi rete lineare attiva, considerata tra due punti, equivale ad un generatore reale di tensione avente f.e.m. E_{eq} pari alla tensione esistente tra i due punti e resistenza interna R_{eq} (resistenza d'uscita della rete), determinata dopo avere cortocircuitato idealmente i generatori ideali di tensione ed avere interrotto i generatori ideali di corrente. Nel circuito assegnato bisogna pertanto, con l'interruttore S aperto, valutare E_{eq} ed R_{eq} tra i punti A e B .

E_{eq} si calcola con la legge del partitore di tensione:

$$E_{eq} = E \cdot R2 / (R1 + R2) = 100 \cdot 5E3 / (1E4 + 5E3) = 33,333 \text{ V} .$$

ANTONINO CUCINOTTA “FENOMENI TRANSITORI NEI CIRCUITI RC”

Req si calcola dopo avere cortocircuitato idealmente E, ed è data dal parallelo di R1 e di R2: $R_{eq} = R1 * R2 / (R1 + R2) = 10 * 5 / (10 + 5) = 3,333 \text{ k}\Omega$.

Pertanto il circuito RC semplificato è quello di fig.11.

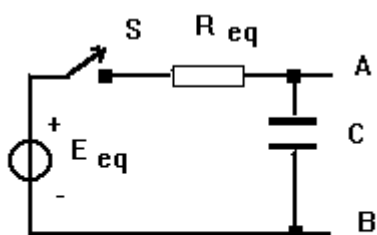


fig.11

E' evidente che il condensatore si carica alla tensione E_{eq} con una costante di tempo

$$\tau_{eq} = R_{eq}C = 3,333E3 * 0.1E-6 = 3,333E-4 \text{ s} = 0,3333 \text{ ms.}$$

Bisogna considerare che, mentre matematicamente il condensatore si carica alla tensione E soltanto quando si annulla il termine esponenziale $\exp[-t/(RC)]$, cioè per $t = \infty$, ai fini pratici la fase di carica si può ritenere completa dopo un tempo t pari a 5 volte la costante di tempo.

Infatti, per $t = 5 RC$, $\exp[-t/(RC)] = 6,738E-3 \ll 1$.

Calcoliamo adesso l'intensità di corrente I e la tensione $V_c(t)$ all'istante $t = 2E-4 \text{ s}$:

$$\begin{aligned} V_c(t) &= E_{eq}(1 - \exp[-t/(RC)]) = 33,333(1 - \exp(-2E-4/3,333E-4)) = \\ &= 33,333(1 - \exp(-0.6)) = 33,333(1 - 0,5488) = 33,333 * 0,4512 = 15,039 \text{ V.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I(t) &= (E_{eq}/R_{eq}) \exp[-t/(RC)] = (33,333/(3,333E3)) \exp(-2E-4/3,333E-4) = \\ &= 1E-2 * \exp(-0,6) = 1E-2 * 0,5488 = 5,488E-3 \text{ A} = 5.488 \text{ mA.} \end{aligned}$$

Per calcolare l'istante t' corrispondente a $V_c(t') = 25 \text{ V}$, bisogna usare la formula inversa:

Da $V_c(t') = E_{eq}(1 - \exp[-t'/(RC)])$ si ottiene: $V_c(t') = E_{eq} - E_{eq} \exp[-t'/(RC)]$;

$$E_{eq} - V_c(t') = E_{eq} \exp[-t'/(RC)];$$

$$(E_{eq} - V_c(t'))/E_{eq} = \exp[-t'/(RC)].$$

Pertanto $-t'/RC$ è il logaritmo neperiano (\ln) di $(E_{eq} - V_c(t'))/E_{eq}$.

$$\begin{aligned} -t'/RC &= \ln[(E_{eq} - V_c(t'))/E_{eq}]; \quad t' = -RC * \ln[(E_{eq} - V_c(t'))/E_{eq}] = \\ &= -3,333E-4 * \ln[(33,333 - 25)/33,333] = -3,333E-4 * \ln(8,333/33,333) = \\ &= -3,333E-4 * \ln 0,2499 = -3,333E-4 * (-1,3867) = 4,621E-4 \text{ s}; \quad t' = 4,621E-4 \text{ s} = 0,4621 \text{ ms.} \end{aligned}$$

Analisi di un circuito RC in fase di scarica

Consideriamo il circuito RC di fig.12, costituito da un generatore di tensione avente f.e.m. E , collegato in serie con il deviatore S , con il resistore R e con il condensatore C , che si suppone inizialmente carico alla tensione E ($V_c(0) = E$).

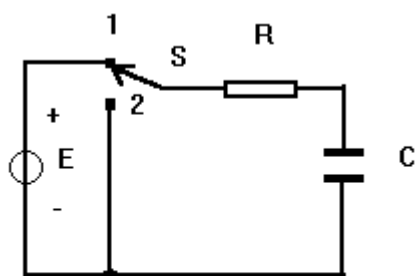


fig.12

Quando il deviatore S viene commutato nella posizione 2, ha inizio un fenomeno transitorio durante il quale il condensatore si scarica; la fase di scarica ha termine quando la d.d.p. V_c ai capi del condensatore si annulla.

Bisogna considerare che durante la fase di scarica il circuito viene percorso da una corrente transitoria I , di valore iniziale $I^0 = -E/R$ e di intensità decrescente, che si annulla al termine della fase di scarica; si assume negativa la corrente I^0 in quanto si tratta di una corrente di verso contrario a quella di carica.

Per ricavare la legge di scarica del condensatore, cioè per determinare gli andamenti della corrente $I(t)$ e della tensione $V_c(t)$ in funzione del tempo, si può costruire un modello matematico analogo a quello utilizzato per la fase di carica e che consenta di simulare la fase di scarica mediante un programma che abbia come input i valori di V_c^0 (tensione iniziale $V_c(0)$ ai capi di C), di R e di C e come output i valori di $I(t)$ di $V_c(t)$, rappresentati istante per istante, sia sotto forma numerica sia attraverso grafici.

Modello incrementale di un circuito RC in fase di scarica

L'andamento temporale del fenomeno transitorio è determinato dal parametro τ , definito dal prodotto RC ed espresso in secondi.

In pratica si osserva che il fenomeno transitorio si esaurisce dopo un tempo pari a 5 volte la costante di tempo; pertanto è opportuno considerare per lo sviluppo del programma un intervallo di tempo sufficientemente maggiore di $5\tau = 5RC$, al fine di ottenere la simulazione completa del fenomeno, fino al raggiungimento del cosiddetto regime permanente, caratterizzato dai valori costanti $V_c = 0$ ed $I = 0$.

Si fissa come durata del fenomeno un intervallo di tempo $t = 10 \tau = 10RC$, che si suddivide in N intervalli, con N compreso tra 50 e 100 in funzione dell'approssimazione che si desidera. Si considera come istante iniziale $t = 0$, al quale corrispondono $V_C(0) = E$ ed $I(0) = -E/R$; infatti il condensatore equivale ad un generatore ideale di tensione con f.e.m. $V_C(t)$.

Durante ogni intervallo elementare $dt = 10 RC/N$, compreso tra gli istanti t^n e t^{n+1} , con n variabile da 1 a $N+1$, si assume che il condensatore si scarichi con corrente costante di intensità I^n (intensità di corrente all'istante t^n):

$$V^{Cn+1} = V^{Cn} + dq^n/C = V^{Cn} + I^n dt/C \text{ (con } I \text{ negativa),}$$

dove V^{Cn} è la tensione ai capi del condensatore all'istante t^n , V^{Cn+1} è la tensione ai capi del condensatore all'istante t^{n+1} , e $dq^n = I^n dt$ è la carica elettrica elementare perduta dalle armature (cariche con segni opposti) dall'istante t^n all'istante t^{n+1} , per effetto della corrente costante I^n .

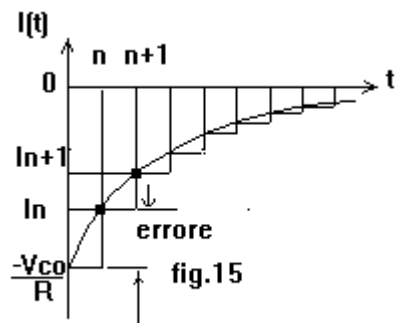
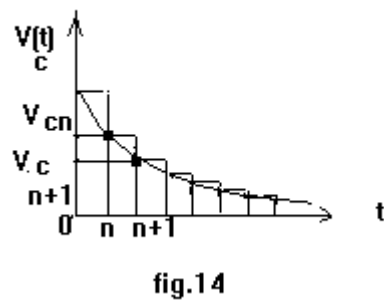
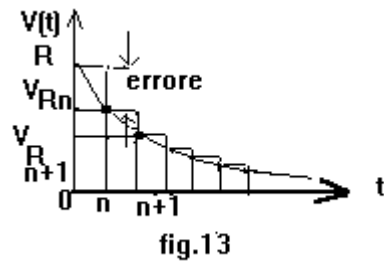
Pertanto, essendo sempre $V^C = V^R$, dove $V^R = RI$ è la caduta di tensione ai capi di R , all'istante t^{n+1} si ha: $V^{Rn+1} = V^{Cn+1}$.

L'intensità di corrente I^{n+1} relativa all'istante t^{n+1} si ottiene dal rapporto $-V^{Rn+1}/R = -V^{Cn+1}/R$.

Nell'intervallo successivo si procede analogamente, assumendo come valori iniziali della tensione V^C e della corrente I i valori finali relativi all'intervallo precedente. Si procede allo stesso modo negli intervalli successivi, fino all'istante t^{N+1} , essendo N il numero degli intervalli elementari.

Bisogna considerare che l'errore che si commette considerando costante, in prima approssimazione, la corrente I nell'intervallo compreso tra t^n e t^{n+1} , è tanto minore quanto maggiore è il numero N degli intervalli, e tende, al limite, ad annullarsi se N diventa molto grande.

Le figg. 13, 14 e 15 mostrano rispettivamente i grafici della tensione $V^R(t)$, della tensione $V^C(t)$ e della corrente $I(t)$ durante la simulazione della fase di scarica.



Equazioni della legge di scarica di un condensatore

La legge di scarica ottenuta con il modello incrementale è di tipo esponenziale e si esprime matematicamente attraverso le seguenti equazioni:

- 1) $V^C(t) = V^{Co} \exp [-t/(RC)]$, dove $V^{Co}=V^C(0)=E$ (fig.13);
- 2) $V^R(t) = V^C(t) = V^{Co} \exp [-t/(RC)]$ (fig.14) ;
- 3) $I(t) = -V^R(t)/R = -(V^{Co}/R)\exp [-t/(RC)]$ (fig.15) .

Esempio di applicazione della legge di scarica di un condensatore

Consideriamo il circuito RC di fig.16, costituito da un generatore di tensione avente f.e.m. $E = 40 \text{ V}$, dal resistore $R = 100 \text{ kohm}$, dal condensatore elettrolitico $C = 4,7 \mu\text{F}$, inizialmente carico alla tensione $V_c^0 = 40 \text{ V}$, e dal deviatore S , inizialmente predisposto nella posizione 1.

Si richiede di determinare l'intensità di corrente I e la tensione $V_c(t)$ ai capi del condensatore all'istante $t = 2 \text{ s}$ dopo la commutazione del deviatore S ed inoltre l'istante t' in corrispondenza del quale la tensione $V_c(t')$ assume il valore di 12 V .

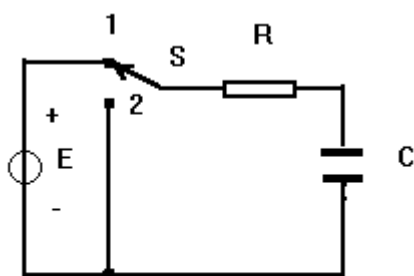


fig.16

Come per la fase di carica, anche per la fase di scarica bisogna considerare che, mentre matematicamente il condensatore si scarica completamente ($V_c = 0$) soltanto quando si annulla il termine esponenziale $\exp [-t/(RC)]$, cioè per $t = \infty$, ai fini pratici la fase di scarica si può ritenere completa dopo un tempo t pari a 5 volte la costante di tempo.

Calcoliamo adesso l'intensità di corrente I e la tensione $V_c(t)$ all'istante $t = 2 \text{ s}$:

La costante di tempo $\tau = RC$ è pari a $1\text{E}5 * 4,7\text{E}-6 = 0,47 \text{ s}$.

$$V_c(t) = V_c^0 \exp [-t/(RC)] = 40 \exp (-2/0,47) = 40 \exp (-4,255) = 40 * 1,4193\text{E}-2 = 0,5677 \text{ V} ;$$

$$I(t) = -(V_c^0/R) \exp [-t/(RC)] = -(40/1\text{E}5) \exp (-2/0,47) = -40 * 1,4193\text{E}-2 / 1\text{E}5 = -5,677\text{E}-6 \text{ A} = -5,677 \mu\text{A}.$$

Per calcolare l'istante t' in corrispondenza del quale $V_c(t') = 12 \text{ V}$, bisogna risolvere l'equazione esponenziale $V_c(t') = V_c^0 \exp [-t'/(RC)]$ rispetto a t' ; pertanto si ha:

$$V_c(t') = V_{co} \exp [-t'/(RC)]; \quad -t'/RC = \ln (V_c(t')/V_{co});$$

$$t' = -RC * \ln (V_c(t')/V_{co}) = -0,47 * \ln (12/40) = -0,47 * \ln 0,3 = -0,47 * (-1,2039) = 0,5658 \text{ s}.$$

Legge generale di carica di un condensatore con V_c^0 diversa da zero

Consideriamo il circuito RC di fig.17, con il deviatore S predisposto inizialmente nella posizione 1, e supponiamo che il condensatore C sia inizialmente carico alla tensione $V_c^0 = V_c(0) = E1$.

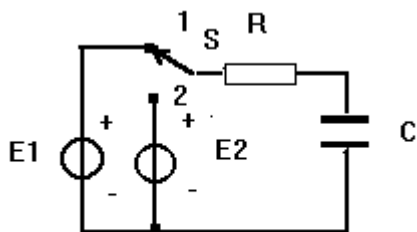


fig.17

Bisogna ricavare la legge generale di carica del condensatore C dopo la commutazione di S nella posizione 2, considerando che la f.e.m. E2 può essere maggiore o minore di E1. Tenendo conto del fatto che il circuito è costituito da componenti lineari, possiamo applicare il principio di sovrapposizione degli effetti, in base al quale la risposta data da una rete lineare a due o più eccitazioni agenti simultaneamente si ottiene sommando algebricamente le risposte date dalla rete alle singole eccitazioni.

In questo caso le eccitazioni sono due: la f.e.m. E1, che determina la tensione iniziale $V_c(0)$ e la f.e.m. E2 che determina la tensione finale ai capi del condensatore quando il circuito raggiunge la condizione di regime permanente.

La risposta all'eccitazione $V_c(0) = E1$ è rappresentata dal termine di scarica $V_c(0) \exp [-t/(RC)]$; infatti il condensatore, inizialmente carico alla tensione $V_c(0) = E1$, dopo la commutazione di S tende a scaricarsi nel circuito formato da S, R e C, considerando escluso il generatore E2, che rappresenta la seconda eccitazione. Simultaneamente si considera la risposta all'eccitazione E2, che è rappresentata dal termine di carica $E2(1 - \exp [-t/(RC)])$, assumendo che il condensatore sia inizialmente scarico, cioè che $V_c(0)$ sia nulla. La legge generale di carica si ottiene pertanto sovrapponendo le due risposte:

$$V_c(t) = V_c(0) \exp [-t/(RC)] + E2(1 - \exp [-t/(RC)]);$$

Le figg.18 e 19 mostrano i grafici di $V_c(t)$ rispettivamente nel caso in cui $E_1 < E_2$ e nel caso in cui $E_1 > E_2$, ottenuti sommando istante per istante le risposte $V_c(0)\exp[-t/(RC)]$ e $E_2(1 - \exp(-t/RC))$

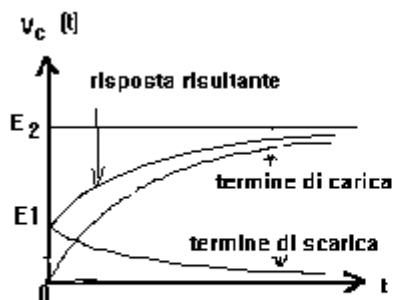


fig.18

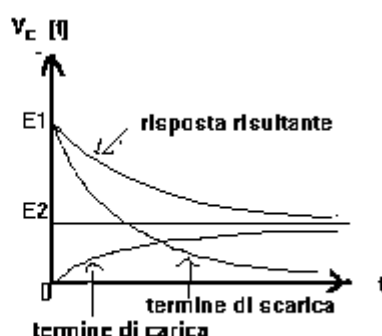


fig.19

La fig.20 mostra invece il grafico di $V_c(t)$ che si ottiene nel caso in cui $V_c(0)$ abbia polarità opposta rispetto a E_2 (circuito RC di fig 21).

In tal caso,sovrapponendo le risposte $V_c(0)\exp[-t/(RC)] = -E_1\exp[-t/(RC)]$ e $E_2(1 - \exp[-t/(RC)])$, si osserva che $V_c(t)$ inizialmente cresce dal valore $-E_1$ fino a 0, tendendo ad assumere in regime permanente il valore E_2 .

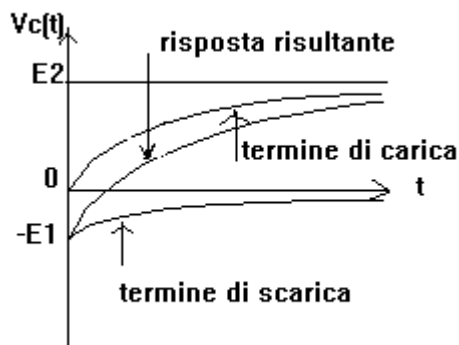


fig.20

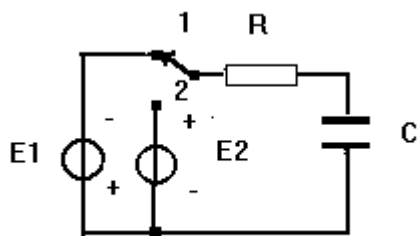


fig.21

Esempio di applicazione della legge generale di carica di un condensatore

Con riferimento al circuito di fig.17, si richiede di determinare il valore di V_c all'istante $t=2\text{ms}$, sapendo che $E_1=20\text{V}$, $E_2=50\text{ V}$, $R=10000\ \Omega$ e $C=0,22\ \mu\text{F}$.

Si ottiene:

$$RC = 1\text{E}4 * 2,2\text{E}-7 = 2,2\text{E}-3\ \text{s};$$

$$\begin{aligned} V_c(t) &= E_1 \exp[-t/(RC)] + E_2(1 - \exp[-t/(RC)]) = 20 \exp(-2\text{E}-3/2,2\text{E}-3) + \\ &+ 50(1 - \exp(-2\text{E}-3/2,2\text{E}-3)) = 20 \exp(-0,909) + 50(1 - \exp(-0,909)) = \\ &= 20 * 0,4029 + 50(1 - 0,4029) = 8,058 + 50 * 0,5971 = 8,058 + 29,855 = 37,913\ \text{V}. \end{aligned}$$

Supponendo invece di voler calcolare, per lo stesso circuito, l'istante t' in corrispondenza del quale la tensione V_c assume il valore $V_c(t')=30\ \text{V}$, dobbiamo usare la formula inversa.

Dalla formula $V_c(t')=E_1 \exp[-t'/(RC)] + E_2(1 - \exp[-t'/(RC)])$ si ottiene:

$$V_c(t') = E_1 \exp[-t'/(RC)] + E_2 - E_2 \exp[-t'/(RC)] ; V_c(t') - E_2 = (E_1 - E_2) \exp[-t'/(RC)] ;$$

$$(V_c(t') - E_2) / (E_1 - E_2) = \exp[-t'/(RC)] ; -t'/RC = \ln [(V_c(t') - E_2) / (E_1 - E_2)] ;$$

$$\begin{aligned} t' &= -RC \ln [(V_c(t') - E_2) / (E_1 - E_2)] = - (2,2\ \text{E}-3) \ln [(30-50)/(20-50)] = \\ &= - (2,2\ \text{E}-3) \ln [-20/(-30)] = - (2,2\ \text{E}-3) \ln 0,6666 = - (2,2\text{E}-3) (- 0,4055) = 8,921\text{E}-4\ \text{s} = \\ &= 0,8921\ \text{ms}. \end{aligned}$$

Per ottenere l'andamento dell'intensità di corrente $I(t)$, bisogna applicare la II legge di Kirchhoff al circuito di figura 17, dopo aver commutato S nella posizione 2:

$$E_2 = V_c(t) + R I(t); E_2 = E_1 \exp[-t/(RC)] + E_2(1 - \exp[-t/(RC)]) + R I(t);$$

$$E_2 = E_1 \exp[-t/(RC)] + E_2 - E_2 \exp[-t/(RC)] + R I(t);$$

$$R I(t) = (E_2 - E_1) \exp[-t/(RC)] ; I(t) = [(E_2 - E_1)/R] \exp(-t/RC);$$

E' evidente che se $E_2 > E_1$, si ha una corrente positiva (di carica), in quanto C si carica verso una tensione E_2 maggiore della tensione iniziale (fig.22); nel caso opposto si ha invece una corrente negativa (di scarica), in quanto C è carico inizialmente ad una tensione E_1 maggiore della tensione E_2 (fig.23).

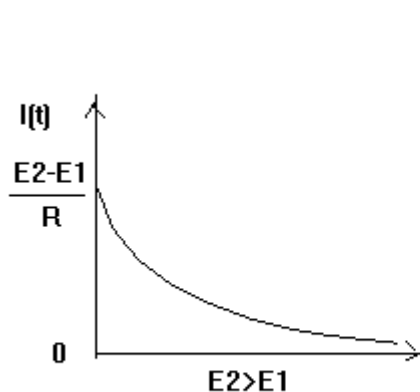


fig.22

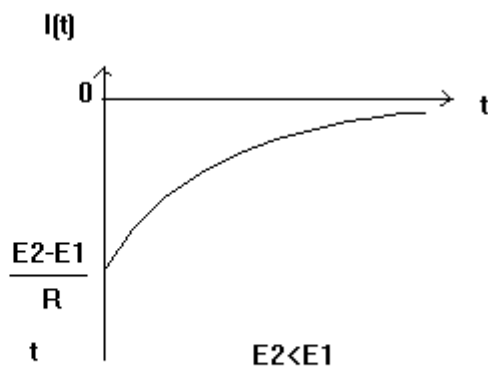


fig.23

E' ovvia la determinazione della corrente $I(t)$ nel caso in cui la polarità di E_1 sia opposta a quella di E_2 ; basta infatti considerare la tensione $-E_1$ per ottenere $I(t)$ dalla formula ricavata nel caso di una tensione iniziale E_1 positiva:

$$I(t) = [(E_2 - (-E_1))/R] \exp [-t/(RC)] = [(E_1 + E_2)/R] \exp [-t/(RC)].$$

Parametri caratteristici dei segnali impulsivi: tempo di salita, tempo di discesa e duty cycle

- Si definisce tempo di salita di un impulso l'intervallo di tempo necessario perchè l'impulso passi dal 10% al 90% della sua ampiezza, valutata dal livello positivo a quello negativo; se, per esempio, un impulso è compreso tra un livello negativo di -2 V ed un livello-

positivo di 3 V, l'ampiezza da considerare è $3 - (-2) = 5$ V e quindi il tempo di salita è quello necessario perchè l'impulso passi da $-2 + 10\%5 = -2 + 0,5 = -1,5$ V a $-2 + 90\%5 = -2 + 4,5 = 2,5$ V.

ANTONINO CUCINOTTA “FENOMENI TRANSITORI NEI CIRCUITI RC”

Se invece l'impulso è positivo ed è compreso, per es. tra 0 e 15 V, il tempo di salita è quello necessario perché l'impulso passi da 1,5 V a 13,5 V; analogamente si procede nel caso di un impulso negativo.

- Si definisce tempo di discesa di un impulso l'intervallo di tempo necessario perché l'impulso passi dal 90% al 10% della sua ampiezza, valutata dal livello positivo a quello negativo.

- Si definisce duty cycle o ciclo d'impiego di un segnale rettangolare di periodo T il rapporto, espresso in percentuale, tra la larghezza dell'impulso t_1 ed il periodo T:

$$\text{d.c.(\%)} = 100 \cdot t_1 / (t_1 + t_2) = 100 \cdot t_1 / T \quad (0 \leq \text{duty cycle} \leq 100\%) \quad (\text{fig.24}).$$

La fig.25 evidenzia i tempi di salita e di discesa per un impulso trapezoidale positivo.

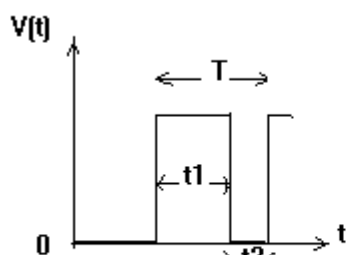


fig.24

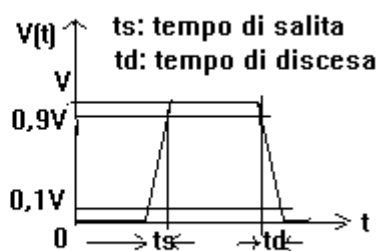


fig.25

Segnali a gradino

ideale

Si definisce segnale a gradino ideale un segnale costituito da due livelli di tensione (superiore ed inferiore) e da un fronte di salita con tempo di salita idealmente nullo (fig.26), oppure da due livelli di tensione e da un fronte di discesa con tempo di discesa idealmente nullo (fig.27).

Si suppone in particolare che l'origine dell'asse dei tempi corrisponda al fronte di salita (o a quello di discesa), ma è ovvio che, a seconda delle esigenze, il gradino può essere applicato in un istante qualsiasi $t > 0$.

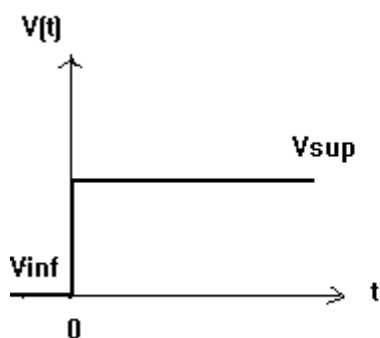


fig.26

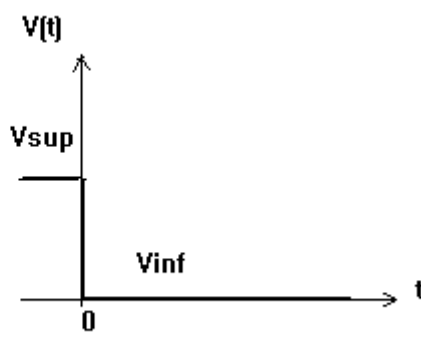


fig.27

In pratica il modo

più semplice per applicare ad un circuito RC dei segnali a gradino, non ideali, consiste nell'utilizzare i fronti di salita e di discesa di un segnale rettangolare, i cui tempi di salita e di discesa siano molto piccoli rispetto alla costante di tempo del circuito.

ANTONINO CUCINOTTA “FENOMENI TRANSITORI NEI CIRCUITI RC”

Si tenga presente che in pratica tutti i segnali rettangolari sono dei segnali trapezoidali, poichè i tempi di salita e di discesa, per quanto piccoli, non possono essere fisicamente nulli .

SCHEDA DELLA FASE N°.2

Titolo: Esperienze sui fenomeni transitori nei circuiti RC

Obiettivi della fase:

- Addestramento all'uso della strumentazione elettronica di base;
- Acquisizione di capacità operative connesse all'analisi sperimentale dei fenomeni transitori.

Contenuti della fase:

- Realizzazione di circuiti RC su piastre sperimentali;
- Visualizzazione all'oscilloscopio delle risposte $V^C(t)$ e $V^R(t)$ di un circuito RC all'onda quadra;
- Realizzazione e verifica del funzionamento di un partitore compensato, con osservazioni sperimentali degli effetti delle capacità parassite sulla propagazione di un segnale rettangolare attraverso una linea di trasmissione;
- Compensazione della capacità parassita associata ad uno spezzone di cavo schermato;
- Funzionamento di un circuito di inizializzazione.

Metodologie:

La verifica sperimentale del funzionamento dei circuiti realizzati consente agli studenti di approfondire concretamente i contenuti teorici acquisiti.

In particolare, le misure e le osservazioni sperimentali sul partitore compensato e sugli effetti delle capacità parassite, offrono significativi spunti didattici per quanto concerne gli aspetti applicativi dei fenomeni osservati.

Risorse:

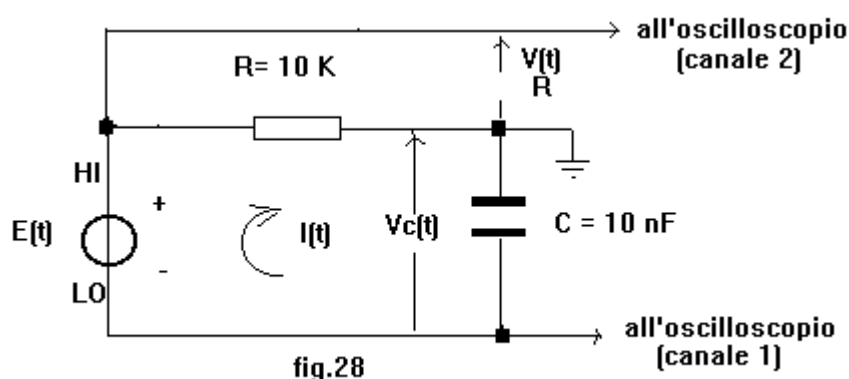
- Strumentazione elettronica di base

Tempo: 3 ore

Esperienza N.1

- Visualizzazione all'oscilloscopio delle risposte $V^C(t)$ e $V^R(t)$ di un circuito RC all'onda quadra;

L'esperienza consiste nel visualizzare contemporaneamente le risposte in tensione ed in corrente di un circuito RC, nelle fasi di carica e scarica, mediante l'oscilloscopio a doppia traccia, impiegando come segnale di eccitazione l'onda quadra fornita da un generatore di funzioni.



Consideriamo lo schema elettrico di fig.28:

Il generatore di funzioni deve essere fornito di uscita (poli HI (High) e LO (Low)) fluttuante rispetto a massa, cioè il polo LO non deve essere connesso alla massa dello strumento, collegata stabilmente alla massa dell'oscilloscopio, altrimenti il condensatore verrebbe cortocircuitato. All'ingresso Y di uno dei due canali dell'oscilloscopio, per es. al canale 1 viene applicato il segnale $V_c(t)$ presente ai capi del condensatore C da 10 nF, mentre all'ingresso Y dell'altro canale (canale 2) viene applicato il segnale $V_r(t)$ presente ai capi del resistore R da 10 k Ω .

La frequenza dell'onda quadra deve essere regolata, agendo sul verniero del generatore di funzioni, intorno a 1 KHz.

Infatti, per potere osservare completamente i transitori di carica e scarica, bisogna che il semiperiodo $T/2$ del segnale di eccitazione sia pari almeno a 5 volte la costante di tempo $\tau = RC$; cioè deve essere $T/2 = 5 \tau = 5RC$;

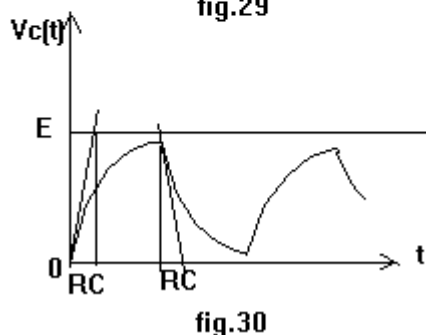
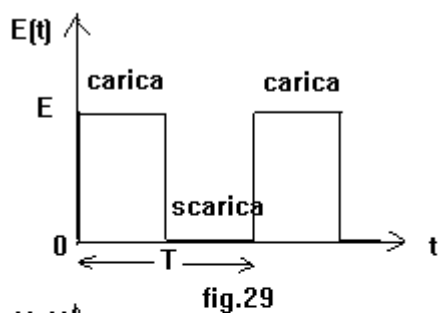
$$T = 10RC = 10 \cdot 10^4 \cdot 10^{-8} = 10^{-3} \text{ s};$$

$$f = 1/T = 1/10^{-3} = 10^3 \text{ Hz} = 1 \text{ KHz}.$$

Pertanto f deve essere minore o uguale a 1 KHz.

L'esperienza si può eseguire sia con un'onda quadra priva di componente continua, ottenibile regolando a zero il comando DC offset (controllo della componente continua del segnale fornito dal generatore di funzioni), sia con un'onda quadra formata soltanto da livelli positivi, ottenibile regolando il comando DC offset in modo da aggiungere una componente continua positiva di valore tale da rendere il segnale sempre positivo.

Consideriamo anzitutto un segnale di eccitazione con livelli sempre positivi.
 In questo caso le figg. 29,30 e 31 mostrano rispettivamente le forme d'onda del segnale di eccitazione $E(t)$, del segnale $V^C(t)$ e del segnale $V^R(t) = R I(t)$, che è proporzionale all'intensità di corrente. Si consideri altresì nelle figg.30 e 31 un semplice metodo geometrico che consente di ricavare graficamente il valore della costante di tempo, determinando l'ascissa del punto d'intersezione tra la tangente condotta al grafico nel punto iniziale e l'asintoto di equazione $V^C(t)=E$ in fig. 30 e $V^R(t)=0$ in fig.31.
 I successivi fenomeni di carica e scarica avvengono sempre tra i livelli 0 ed E.
 La forma d'onda del segnale $V^R(t)$, a seconda del tipo di oscilloscopio, può risultare invertita rispetto all'andamento rappresentato in fig.31; ciò dipende dal fatto che entrambe le pinzette di massa delle sonde dell'oscilloscopio devono essere collegate nello stesso punto, il che implica l'applicazione ai due canali di segnali con polarità contrarie. Si può ovviare al suddetto inconveniente invertendo la polarità del segnale $V^R(t)$, se l'oscilloscopio è fornito dell'apposito pulsante di inversione.



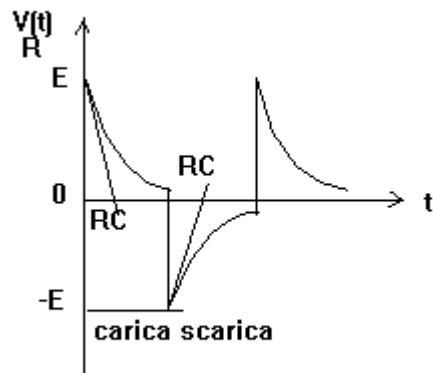
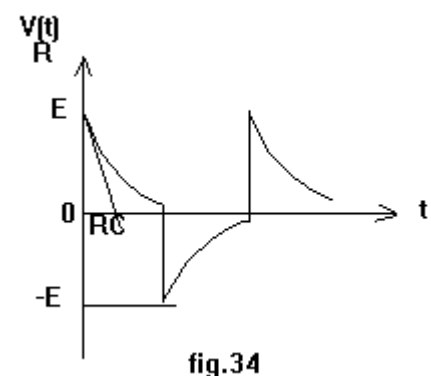
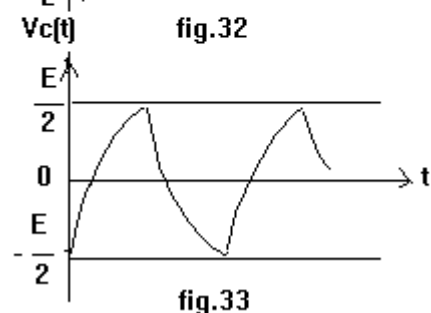
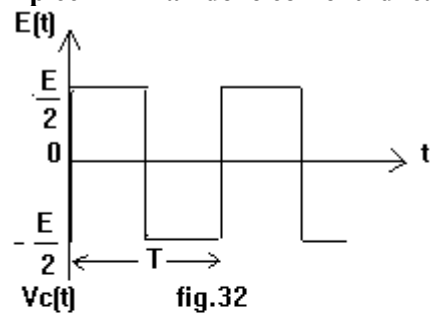


fig.31

Quando $E(t) = E$ si ha la fase di carica; quando $E(t) = 0$ si ha la fase di scarica, in quanto viene escluso il generatore di tensione.

Le figg.32,33 e 34 mostrano invece le forme d'onda relative ad un'onda quadra con componente continua nulla, che implica alternativi fenomeni di carica con tensioni iniziale e finale rispettivamente $-E/2$ ed $E/2$ ai capi del condensatore, e viceversa, in quanto l'eccitazione varia da $-E/2$ a $E/2$.

I picchi iniziali delle correnti di carica assumono alternativamente i valori E/R e $-E/R$.



Infine si può osservare che, facendo aumentare la frequenza del segnale di eccitazione, i fenomeni transitori di carica e scarica non si possono osservare completamente, in quanto il circuito non può raggiungere le condizioni di regime permanente, che si ottengono soltanto se $T/2$ è almeno uguale a $5 RC$.

Effetti delle capacità parassite

Capacità parassite associate ad un circuito elettronico

Un circuito elettronico può essere realizzato con diverse tecnologie,riguardanti l'assemblaggio ed i collegamenti dei singoli componenti,discreti ed integrati.

Attualmente la tecnologia più diffusa è quella dei circuiti stampati.

Un circuito stampato (scheda) consiste in una basetta di materiale isolante,generalmente vetronite,ricoperta su una o su entrambe le facce da un sottile strato di rame. A seconda del tipo di circuito stampato,a semplice o a doppia faccia,su una o su entrambe le facce vengono realizzate,mediante fotoincisione,le piste metalliche che collegano i vari componenti in base allo schema elettrico del circuito da realizzare.

Successivamente,con tecniche manuali o con macchine automatiche vengono montati e saldati sulla scheda i singoli componenti.

I circuiti stampati di tipo tecnologicamente più avanzato impiegano i cosiddetti componenti SMD (Surface Mounted Devices),cioè componenti a montaggio superficiale (condensatori,resistori,diodi),privi di terminali di collegamento,ed aventi la forma di minuscoli cubetti da saldare direttamente sulle piste di rame.

La fig.35 mostra un circuito stampato di tipo convenzionale,con le piste realizzate su una sola faccia ed i componenti montati sull'altra faccia attraverso forellini praticati nei punti di saldatura.

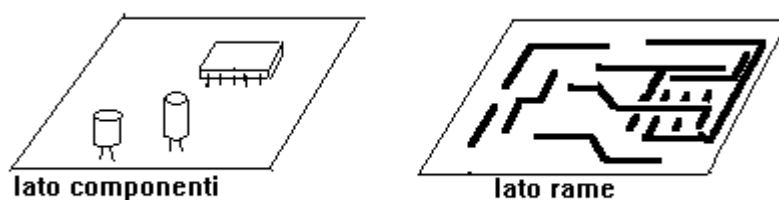


fig.35

Indipendentemente dalla tecnica di realizzazione (circuiti stampati, piastra sperimentale, piastra millefori), il funzionamento di un circuito elettronico viene influenzato sensibilmente, soprattutto alle alte frequenze, dalle cosiddette capacità parassite associate all'insieme dei collegamenti metallici tra i vari componenti, cioè al cablaggio.

La realizzazione del circuito implica infatti inevitabilmente l'inclusione di un insieme di condensatori indesiderati, le cui capacità, alterando il normale funzionamento del circuito, vengono definite parassite.

Consideriamo, per es., due piste metalliche vicine facenti parte di un circuito stampato (fig.36):

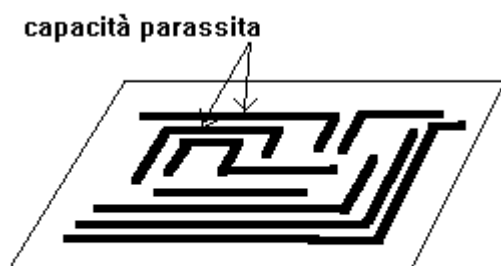


fig.36

Le due piste vicine formano un condensatore, la cui capacità (parassita), se la frequenza dei segnali è molto grande, altera il corretto funzionamento del circuito.

Le capacità parassite introdotte sono tanto maggiori quanto più vicini sono i conduttori e quanto maggiori sono le lunghezze dei collegamenti, in quanto si tratta di capacità distribuite (capacità/per unità di lunghezza), che praticamente sono direttamente proporzionali alla lunghezza dei collegamenti.

Capacità parassite associate alle linee di trasmissione

Consideriamo adesso la capacità parassita introdotta da una linea bifilare di tipo coassiale (per es. cavo coassiale TV, cavo schermato per impieghi audio), costituita (fig.37)

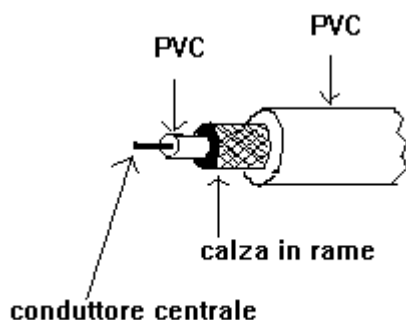


fig.37

da un conduttore centrale in rame e da uno schermo coassiale (calza) in treccia di rame, separati da un dielettrico di tipo plastico (PVC).

Se, per es., il cavo viene impiegato per trasferire un segnale elettrico da un generatore di funzioni ad un circuito in prova, il segnale fornito dal generatore, soprattutto se è un segnale rettangolare (ricco di armoniche) viene notevolmente deformato (distorto) per effetto della capacità parassita introdotta dal cavo, la cui capacità per unità di lunghezza può variare, a seconda del tipo, da alcune decine di pF/m ad un centinaio di pF/m (fig.38).

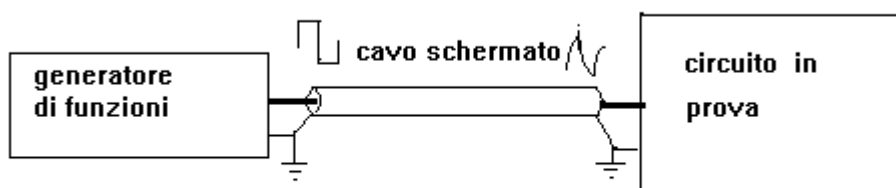


fig.38

Partitori compensati

Un'importante applicazione pratica delle acquisizioni teoriche concernenti i circuiti RC e le capacità parassite riguarda i partitori compensati, largamente utilizzati nella strumentazione elettronica ed in particolare negli attenuatori d'ingresso e nelle sonde degli oscilloscopi.

Ogni canale di un oscilloscopio è dotato di un bocchettone BNC d'ingresso per l'inserimento della sonda, che consente di prelevare, da un punto qualsiasi del circuito in prova, il segnale da visualizzare sullo schermo del CRT.

Una sonda per oscilloscopio è dotata di un deviatore che consente, nella posizione $\times 1$, di applicare allo strumento il segnale da visualizzare senza ridurne l'ampiezza; nella posizione $\times 10$, invece, il segnale, qualora sia necessario ridurne l'ampiezza, viene attenuato di 10 volte prima di essere applicato allo strumento.

In tal caso, tenuto conto che la sonda è collegata all'ingresso dell'oscilloscopio attraverso uno spezzone di cavo schermato caratterizzato da una capacità dell'ordine di alcune decine di pF per metro, è necessario inserire all'interno della sonda il resistore R_s ed il condensatore variabile C_s (compensatore), secondo lo schema di fig.39, in modo da costituire, unitamente alla resistenza d'ingresso R_i ed alla capacità d'ingresso C_i dell'oscilloscopio, un partitore compensato.

Il partitore compensato R_s, C_s, R_i, C_i serve ad impedire che il segnale attenuato, soprattutto se si tratta di un segnale rettangolare con frequenza superiore ad alcuni KHz, venga sensibilmente distorto per effetto della capacità d'ingresso C_i , che si comporta da capacità parassita.

Ci si ottiene sommando alla capacità effettiva d'ingresso dell'oscilloscopio, intorno ai 25 pF, la capacità parassita del cavo schermato della sonda, intorno ai 95 pF/m; pertanto, supponendo che il cavo sia lungo 1 m, C_i assume il valore di $(25 + 95) \text{ pF} = 120 \text{ pF}$. La capacità d'ingresso C_{is} della sonda (tra puntale e massa) si riduce invece al valore $C_{is} = C_s C_i / (C_s + C_i)$, inferiore a C_s .

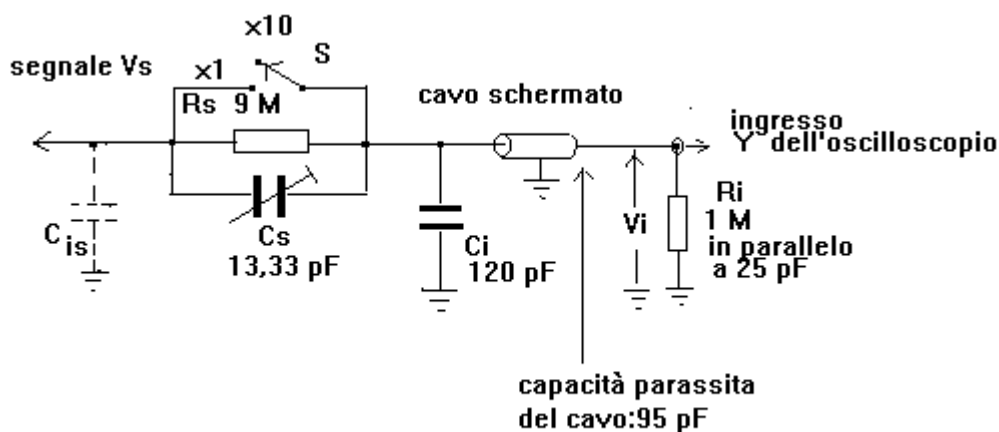


fig.39

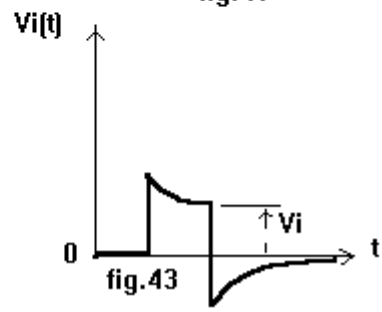
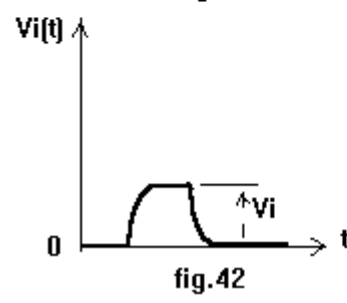
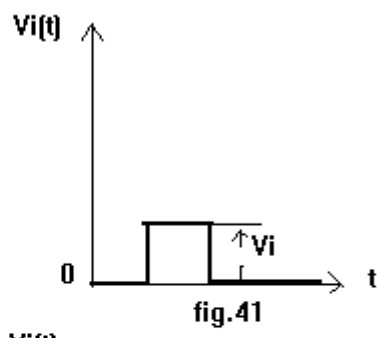
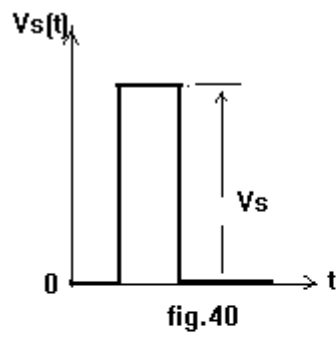
In questo caso, considerando che l'attenuazione del partitore di tensione formato dai resistori R_s ed R_i deve essere pari a 10, che la resistenza d'ingresso della sonda, cioè la resistenza tra il puntale e massa, deve essere pari a $10 \text{ M}\Omega$, e che la resistenza d'ingresso R_i dell'oscilloscopio ha il valore di $1 \text{ M}\Omega$, si ottiene per R_s il valore di $9 \text{ M}\Omega$; infatti dalla legge del partitore di tensione si ha:

$$V_i = V_s R_i / (R_i + R_s); \quad V_i/V_s = 1/10 = R_i / (R_i + R_s);$$

$$R_i + R_s = 10 R_i; \quad R_s = 9 R_i = 9 \text{ M}\Omega;$$

Consideriamo adesso le costanti di tempo $\tau = R_s C_s$ e $\tau = R_i C_i$ e supponiamo che il segnale applicato al partitore sia un impulso rettangolare positivo (fig.40).

A seconda dei valori di τ e di τ si verifica quanto segue:



1) Se $\tau^s = \tau^i$, il partitore è compensato ed attenua il segnale d'ingresso di 10 volte senza distorcerlo (fig.41);

2) Se $\tau^s < \tau^i$, il partitore è sottocompensato ed attenua il segnale d'ingresso in modo non uniforme, determinando un arrotondamento dei fronti di salita e di discesa (fig.42);

3) Se $\tau^s > \tau^i$, il partitore è sovracompensato ed attenua il segnale d'ingresso in modo non uniforme, deformando i livelli superiore ed inferiore (fig.43).

La corretta compensazione (I caso) si ottiene regolando il compensatore C_s fino ad ottenere un segnale attenuato esente da distorsione.

In questo caso, essendo $R_s = 9 \text{ M}\Omega$ ed $R_i = 1 \text{ M}\Omega$, se C_i assume il valore di 120 pF, C_s deve essere regolato intorno al valore $C_s = R_i C_i / R_s = 1 \cdot 120 / 9 = 13,33 \text{ pF}$.

La necessità di rendere uguali le costanti di tempo $R_i C_i$ ed $R_s C_s$ nasce dal fatto che, quando viene applicato al partitore il fronte di salita dell'impulso rettangolare V_s , di ampiezza V_s , il partitore si comporta inizialmente come un partitore puramente capacitivo (fig.44), costituito cioè dai condensatori C_s e C_i collegati in serie e caricati quasi istantaneamente, con la stessa intensità di corrente, dal generatore che fornisce il segnale V_s .

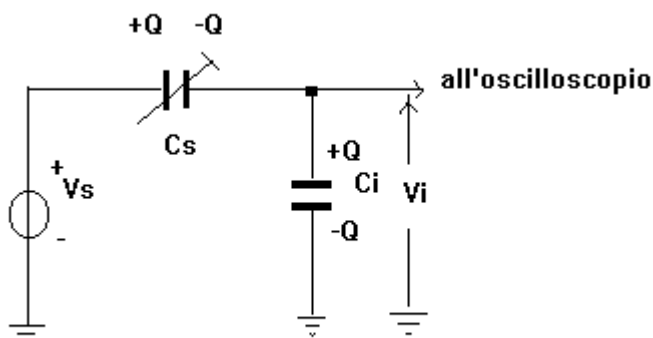


fig.44

Pertanto, inizialmente, i resistori non influiscono sull'ampiezza del segnale attenuato V_i , la cui ampiezza iniziale, in corrispondenza del fronte di salita, si ottiene secondo quanto segue (legge del partitore di tensione capacitivo):

$V_i = Q / C_i$, essendo Q la carica acquisita dai condensatori C_i e C_s collegati in serie e caricati alla tensione V_s ;

ANTONINO CUCINOTTA “FENOMENI TRANSITORI NEI CIRCUITI RC”

$$C_{eq} \text{ (capacità equivalente)} = 1 / (1/C_s + 1/C_i) = C_s C_i / (C_s + C_i);$$

$$Q = C_{eq} V_s = V_s (C_s C_i / (C_s + C_i)); \quad V_i = Q / C_i = C_s V_s / (C_s + C_i).$$

Affinchè il segnale V_s venga attenuato senza subire distorsione, devono risultare uguali i rapporti di partizione (attenuazioni) iniziale (del partitore capacitivo) ed a regime (del partitore resistivo); pertanto si ottiene:

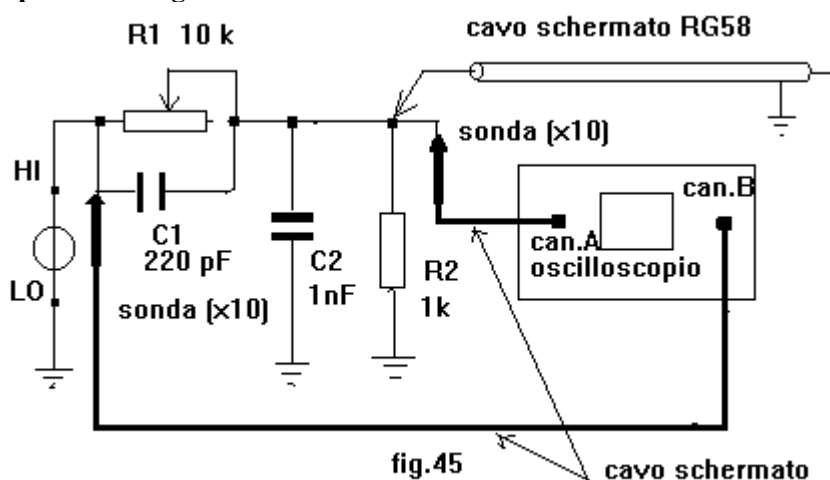
$$R_i / (R_i + R_s) = C_s / (C_s + C_i); \quad R_i (C_s + C_i) = (R_i + R_s) C_s;$$

$$R_i C_s + R_i C_i = R_i C_s + R_s C_s; \quad R_i C_i = R_s C_s.$$

Esperienza N.2

Realizzazione e verifica del funzionamento di un partitore compensato, con osservazioni sperimentali degli effetti delle capacità parassite sulla propagazione di un segnale rettangolare attraverso una linea di trasmissione: compensazione della capacità parassita associata ad uno spezzone di cavo schermato.

L'esperienza consiste nel realizzare e verificare il funzionamento del partitore compensato di fig. 45.



All'ingresso del partitore di tensione si applica l'onda quadra, con frequenza compresa tra 10 KHz e 100 KHz, fornita dal generatore di funzioni, e si visualizza il segnale d'uscita, attenuato in base al rapporto $R_2 / (R_1 + R_2)$, mediante l'oscilloscopio a doppia traccia.

La compensazione del partitore si ottiene regolando il trimmer R_1 , da $10 \text{ k}\Omega$, fino ad ottenere all'uscita un'onda quadra esente da distorsione. La condizione di compensazione corrisponde all'uguaglianza delle costanti di tempo $\tau^1 = R_1' C_1$ e $\tau^2 = R_2' C_2'$,

dove $R1' < R1$ è il valore resistivo ottenuto regolando il trimmer $R1$, $R2'$ è data dal parallelo di $R2$ e della resistenza d'ingresso, $R_i = 1 \text{ M } \Omega$, dell'oscilloscopio, mentre la capacità $C2'$ è data dal parallelo di $C2$ e della capacità d'ingresso della sonda (att. x 10) dell'oscilloscopio. Normalmente per compensare il partitore si varia la capacità $C1$, costituita da un piccolo condensatore variabile (compensatore); in questo caso invece, per semplificare lo svolgimento dell'esperienza, si varia il valore resistivo di $R1$.

Effettuata la compensazione del partitore, si può misurare l'attenuazione facendo il rapporto tra l'ampiezza dell'onda quadra d'uscita e quella dell'onda quadra d'ingresso e si può inoltre verificare, variando la frequenza da 100 Hz fino a 100 KHz, che l'attenuazione è indipendente da essa.

Per sperimentare infine l'influenza delle capacità parassite sulla forma del segnale attenuato, una volta effettuata la compensazione, si può caricare l'uscita del partitore collegando ai capi di $R2$ e di $C2$ uno spezzone di cavo schermato (coassiale) del tipo RG 58, della lunghezza di 4 m, in modo da aggiungere una capacità parassita di circa 380 pF ($95 \text{ pF/m} \times 4$), che scompensa il partitore e distorce l'onda quadra.

Per riottenere la compensazione bisogna regolare di nuovo il trimmer $R1$ fino ad ottenere un'onda quadra esente da distorsione; in tal modo però, poiché la compensazione si ottiene variando $R1$ invece di $C1$, si altera contemporaneamente, sia pure lievemente, il rapporto di partizione (attenuazione).

Circuito di inizializzazione (di RESET) di un microprocessore

Durante il normale funzionamento dei microcomputer e dei personal computer spesso è necessario riportare il sistema nello stato iniziale, corrispondente alla fase di avviamento (inizializzazione); si determina in tal modo il cosiddetto RESET del sistema.

Per ottenere il RESET del sistema bisogna premere per un istante l'apposito pulsante di cui sono dotati tutti i computer (RESET HARDWARE).

Il pulsante di RESET fa parte del cosiddetto circuito di inizializzazione (o di RESET), che agisce direttamente sull'apposito pin (piedino) di RESET, presente in tutti i microprocessori.

Per ottenere l'inizializzazione del microprocessore e conseguentemente quella di tutto il sistema, bisogna mantenere al livello logico basso il pin di RESET per un intervallo di tempo corrispondente in genere ad alcune decine di cicli di clock.

Pertanto occorre impiegare un circuito RC (fig.46) che fornisca al microprocessore il segnale di inizializzazione.

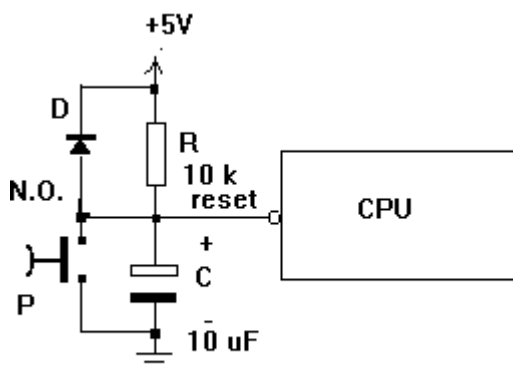


fig.46

Si osservi il pulsante P di RESET, del tipo normalmente aperto (N.O. normally open), la cui chiusura determina la scarica, quasi istantanea, del condensatore elettrolitico C ed il conseguente transitorio di carica verso la tensione di alimentazione di +5 V, attraverso il resistore R. Il pin di RESET del microprocessore risulta attivato (fase di inizializzazione) fin quando la tensione V_c ai capi del condensatore si mantiene inferiore ad un certo valore di soglia (circa 1 V); non appena V_c supera il suddetto valore di soglia, il microprocessore pone termine alla fase di inizializzazione per dare inizio al funzionamento normale.

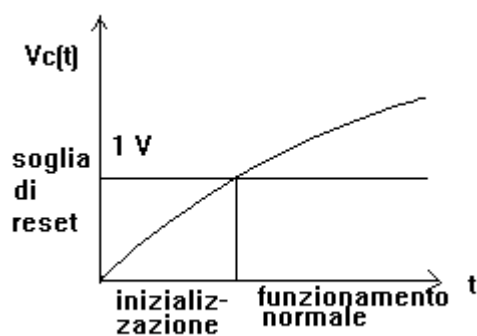


fig.47

La fig. 47 mostra l'andamento del transitorio di carica conseguente all'azionamento del pulsante di RESET. Il diodo collegato in parallelo al resistore R serve a scaricare rapidamente il condensatore C e ad assicurare così la corretta formazione degli impulsi di RESET anche nel caso di frequenti cadute della tensione di alimentazione, dovute, per es., a fenomeni transitori provenienti dalla linea a corrente alternata.

Il circuito di inizializzazione interviene pertanto nei seguenti casi:

- 1) Automaticamente, al momento dell'attivazione del sistema;
- 2) Manualmente, mediante l'apposito pulsante, ogni qual volta, durante il normale funzionamento, l'utente abbia la necessità di reinizializzare il sistema.

I valori $R = 10 \text{ Kohm}$ e $C = 10 \mu\text{F}$ sono sufficienti a garantire il corretto funzionamento del circuito in entrambe le situazioni.