



Costanti di tempo e circuiti di carica



cortesia: Agilent Technologies

Completiamo l'analisi dei circuiti di carica e scarica RC in modo da poter vedere nei prossimi numeri alcuni dispositivi atti alla realizzazione di ulteriori strumentazioni elettroniche

a cura di Flavio Criseo - 2^a e ultima parte

Abbiamo detto, in precedenza, che quando si è sicuri che un certo guasto sia presente in una determinata zona del circuito, non serve sostituire a

caso i componenti con la speranza di trovare "il colpevole".

Continuando lo studio del nostro dispositivo RC, vediamo invece cosa deve visualizzare il nostro ipotetico

tester e come capire se la misura è corretta, oppure meno, anche se questa non è indicata nello schema. Ammettiamo che si voglia riparare un oscillatore ad 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 è quello giusto o no?

Vediamo come fare

Ammettiamo che il nostro condensatore C sia carico a 6,8V così come abbiamo detto nella prima parte.

Scriviamo l'equazione della maglia elettrica di Fig. 3a: $V_c = -RI$, come si può notare il condensatore è inizialmente carico alla tensione $V_c = 6,8V$ e, dato che SW è chiuso, si scarica attraverso la R verso massa.

La corrente I percorsa dalla resistenza R sarà sempre vincolata alla legge (2) vista precedentemente.

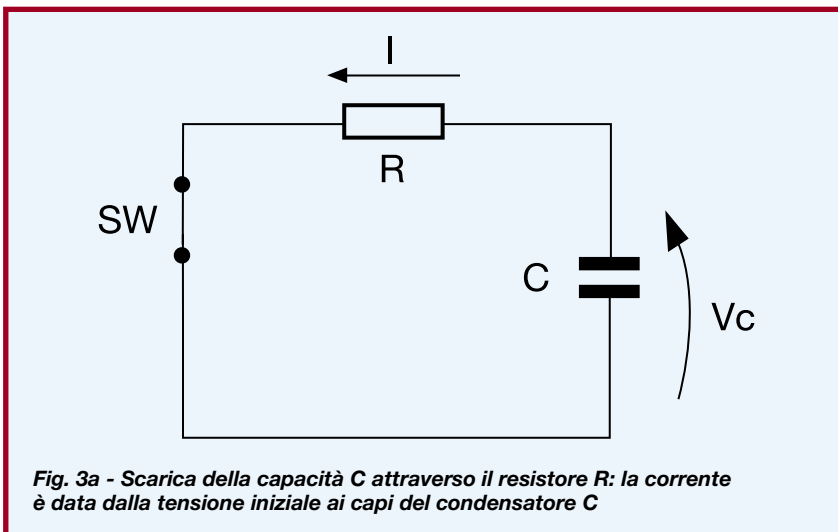


Fig. 3a - Scarica della capacità C attraverso il resistore R: la corrente è data dalla tensione iniziale ai capi del condensatore C

Possiamo dire quindi:

$$V_c = -RI \Rightarrow V_c = -RC \frac{dV_c}{dt} \Rightarrow \int_{V_c}^{V_{x2}} \frac{dV_c}{V_c} = - \int_0^{t_{x2}} \frac{dt}{RC}$$

Ovvero:

$$\ln \left(\frac{V_{x2}}{V_c} \right) = - \frac{t_{x2}}{RC} \Rightarrow t_{x2} = -RC \ln \left(\frac{V_{x2}}{V_c} \right) \quad (4)$$

Dato che V_{x2} è il 10% della nostra V_c iniziale, possiamo dire che $V_{x2} = 0,1 V_c$, quindi abbiamo

$$t_{x2} = -RC \ln \left(\frac{0,1 \cdot V_c}{V_c} \right) = -12 \cdot 10^3 \cdot 220 \cdot 10^{-6} \cdot \ln(0,1) \cong 6s$$

il nostro circuito RC, quindi, scaricherà la capacità fino al valore di 0,68 V in 6 secondi.

Se questo circuito dovesse essere impiegato per un timer, potremmo dire che il dispositivo si aziona dopo 6 secondi circa. Così come la Fig. 2b (pubblicata su Il Cinescopio di aprile pag. 68) mostrava un andamento di carica non istantaneo, anche la scarica non può che essere NON istantanea (del resto se fosse stata istantanea non sarebbero passati 6 secondi!).

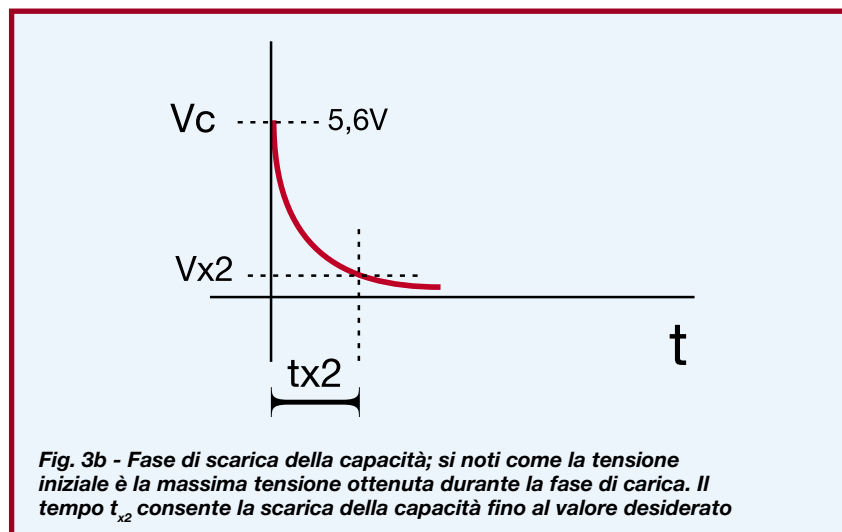
L'andamento è sempre esponenziale e la Fig. 3b ne mostra il grafico in dettaglio. Come si può notare, all'inizio il condensatore è carico alla tensione V_c pari a 6,8 V; appena SW si chiude inizia la scarica e, man mano che il tempo "t" passa, la tensione diminuisce.

Giunti all'istante t_{x2} (i nostri 6 secondi) il condensatore sarà ancora carico, ma la sua tensione sarà pari al nostro 10% di V_c .

Naturalmente, anche per la (4) appena vista, valgono gli stessi ragionamenti fatti in precedenza: dato un certo tempo t e volendo conoscere la tensione su C, basterà risolvere rispetto a V_{x2} anziché rispetto a t_{x2} per avere una tensione anziché un tempo.

Vediamo alcune applicazioni nei circuiti

Quando siamo di fronte a un circuito oscillatore impiegato in uno strumento elettronico (per



esempio un generatore di clock, oppure un generatore d'impulsi) e nello schema il costruttore ci dice com'è connesso, ma non fornisce indicazioni sulla frequenza, sulla tensione picco-picco, sul Duty-Cycle, come dobbiamo comportarci?

Avendo capito come funzionano i gruppi RC, le difficoltà non potranno che essere nulle.

Nella Fig. 4a è visibile un tipico oscillatore a onda quadra ottenuto con un Op-Amp.

Come si può vedere è presente la R_5 , la R_4 , il diodo D_1 , il condensatore C_1 e altri resistori connessi sul pin Non Invertente dell'operazionale.

Occupiamoci, per il momento, solamente dei resistori R_4 , R_5 , del diodo D_1 e di C_1 .

Il ramo elettrico in questione (se non consideriamo l'Op-Amp) può ridisegnarsi come nella Fig. 4b. Ammettiamo che, non appena SW verrà chiuso, sul polo "a" (vedi figura) si localizzi una tensione E pari a 10 V e che il condensatore sia inizialmente scarico.

Nel momento in cui SW si chiude, il diodo D_1 non può condurre perché il suo catodo è a una tensione maggiore rispetto al suo anodo (diodo in inversa).

La capacità C_1 dovrà caricarsi solamente attraverso la R_5 perché la R_4 non trasferisce corrente a causa del diodo.

Durante il periodo di carica quindi, la nostra costante di tempo τ sarà data da $R_5 C_1$.

Secondo quanto visto in precedenza, possiamo applicare la formula (3.3) e, se per esempio $C_1 = 100$ pF e $R_5 = 47$ k Ω e vogliamo sapere il tempo t_{x1} necessario affinché C_1 sia carico a 5,6 V avremo:

$$t_{x1} = RC \ln \left(\frac{E}{E - V_{x1}} \right) \cong 3,858 \mu s$$

ammettiamo adesso che, quando il condensatore sarà carico a 5,6 V, l'interruttore SW (in questo caso abbiamo un deviatore anziché un interruttore, il discorso comunque non cambia) si chiuda a massa nella posizione "c".

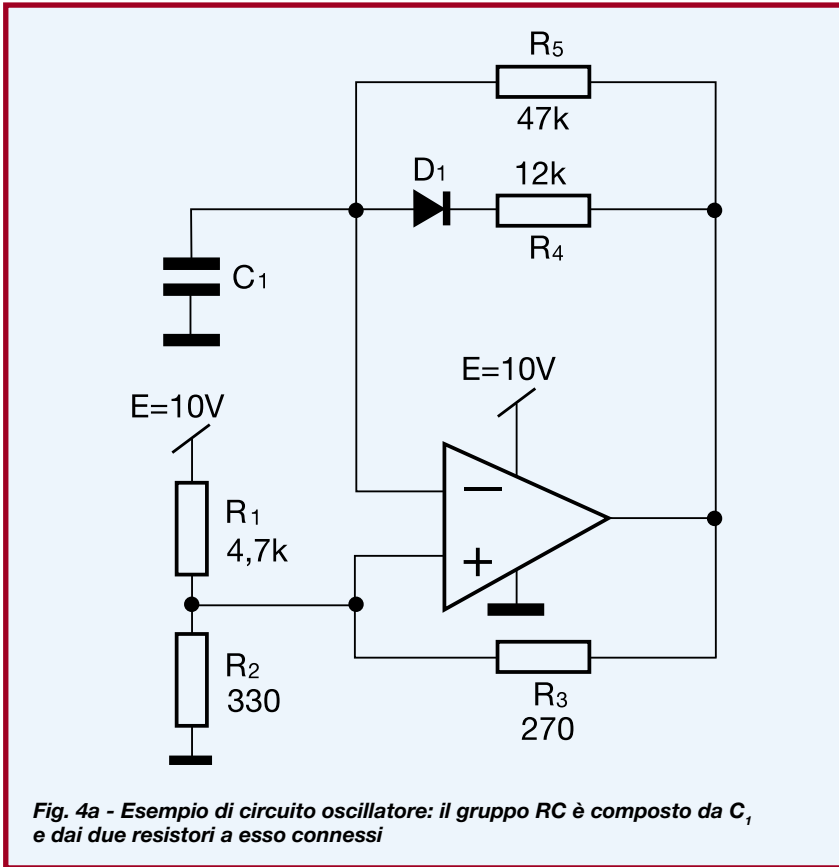


Fig. 4a - Esempio di circuito oscillatore: il gruppo RC è composto da C₁ e dai due resistori a esso connessi

In questo caso abbiamo connesso a massa, attraverso R₄, il catodo del diodo D₁.

Il nostro gruppo RC sarà composto quindi, dal parallelo dei due (perché

adesso D₁ è polarizzato in diretta) resistori e dalla capacità C₁.

Ammettiamo che R₄ sia uguale a 12 kΩ e che vogliamo sapere quanto tempo impiegano i due resistori a

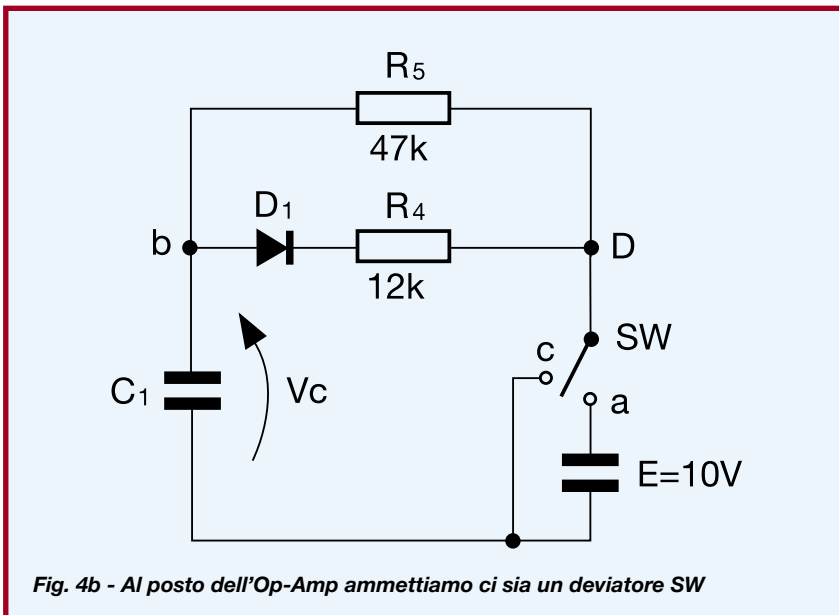


Fig. 4b - Al posto dell'Op-Amp ammettiamo ci sia un deviatore SW

scaricare la capacità fino a farla arrivare a una tensione di 0,3 V.

Per conoscere questo, applichiamo la (4) come in precedenza:

$$t_{x2} = -R_5 // R_4 C \ln \left(\frac{V_{x2}}{V_{c1}} \right) \approx 2,8 \mu s$$

dove si è tenuto conto che il resistore totale è dato dal parallelo delle due resistenze.

L'andamento della tensione sul condensatore, nei due tempi appena calcolati, è visibile in alto nel grafico della Fig. 4c.

Come si può notare, se l'interruttore SW non si connettesse mai a massa, l'andamento della tensione continuerebbe fino ad arrivare alla tensione E (grafico tratteggiato in rosso).

Quando arriviamo alla fine del tempo t_{x1}, il condensatore si scarica e, come si può vedere, la tensione parte dal valore da noi imposto (5,6 V).

Se volessimo visualizzare la tensione al nodo "D", avremmo che, per tutto il tempo di carica, D è collegato alla batteria (10 V), mentre durante la scarica D è a massa (0 V).

Se una volta arrivati alla fine del tempo t_{x2}, SW si connettesse nuovamente alla batteria, il ciclo ricomincerebbe, ma la tensione sulla capacità non sarebbe nulla (0 V), bensì 0,3 V.

Il nuovo tempo calcolato con la (3) dovrà partire quindi da una tensione che oscilla fra 5,6 V e 0,3 V (e non 0 V come in precedenza).

Se il ciclo si ripetesse molte volte, il t_{x1} corretto da tenere in considerazione sarà leggermente inferiore a quello da noi calcolato, ovvero 3,71 μs anziché 3,858 μs.

Considerando 3,858 μs, però, non commetteremmo un errore molto grande e per una prima analisi andrà bene. Il tempo t_{x2} è sempre lo stesso; affinché il ciclo possa ripetersi nuovamente occorrerà un tempo totale pari a:

$$t_{x1} + t_{x2} = 3,858 \mu s + 2,8 \mu s = 6,658 \mu s.$$

Dato che il periodo (ovvero il nostro tempo totale) è l'inverso della frequenza, allora possiamo dire che se SW riuscisse ad aprirsi

e chiudersi come stabilito, sul nodo "D" avremo un'onda quadra con una frequenza pari a:

$$f = \frac{1}{t_{x1} + t_{x2}} = 150,1 \text{ kHz}$$

(se avessimo considerato l'esatto tempo t_{x1} avremmo avuto una frequenza molto simile, infatti $f = 153,6 \text{ kHz}$).

Vediamo adesso che ruolo ha il nostro Op-Amp della Fig. 4a e cerchiamo di capire come si comporta il circuito in questione: i resistori R_1, R_2, R_3 servono affinché l'operazionale si comporti come un circuito a scatto.

Dallo studio dei convertitori abbiamo appreso come devono essere le tensioni al pin invertente e non invertente di un Op-Amp affinché possa passare dallo stato d'interdizione a quello di commutazione.

Se la tensione sul pin invertente dovesse essere maggiore del potenziale sul pin non invertente, allora avremo in ingresso una tensione differenziale negativa che porterebbe immediatamente a 0V l'uscita dell'Op-Amp.

Ammettiamo quindi che sul pin invertente vi siano i nostri 5,6V e che il non invertente abbia un potenziale più basso; l'Op-Amp si porterebbe subito a 0V.

Dire che l'uscita dell'Op-Amp è a 0V è come se dicessimo che R_3, R_4, R_5 sono connesse a massa. Se le resistenze R_5 e R_4 sono connesse a massa, allora la capacità C_1 si può scaricare attraverso le stesse.

Questo si verifica fintanto che il potenziale il pin invertente è maggiore del potenziale al pin non invertente (tensione differenziale V_d negativa).

A causa della scarica di C_1 , ad un certo punto, il potenziale sul pin invertente sarà uguale a quello non invertente; non appena la tensione su C_1 si abbassa ulteriormente la V_d diviene positiva e l'Op-Amp commuta subito alla sua tensione massima V_{cc} .

La tensione "limite", ovvero la tensione di soglia

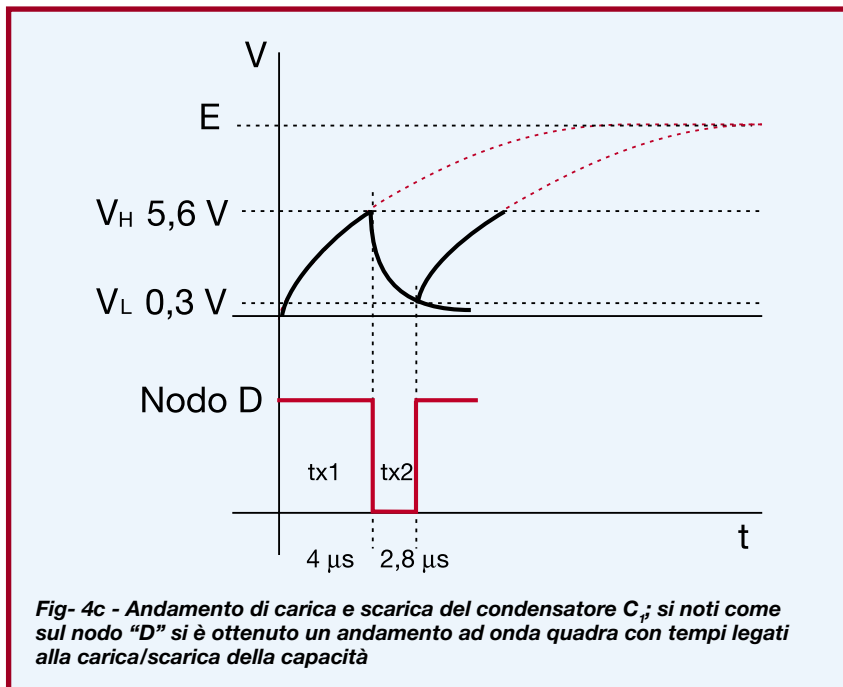


Fig- 4c - Andamento di carica e scarica del condensatore C_1 ; si noti come sul nodo "D" si è ottenuto un andamento ad onda quadra con tempi legati alla carica/scarica della capacità

che provoca lo scatto dell'Op-Amp, è pari a 0,3V. Possiamo dire, quindi che l'Op-Amp svolge a tutti gli effetti il compito del deviatore SW visto nella Fig. 4b.

Il circuito di Fig. 4a è, a tutti gli effetti, un oscillatore a onda quadra capace di generare una frequenza di circa $150 \text{ kHz} \div 153 \text{ kHz}$ (valore più preciso rispetto al precedente).

E quant'è il suo Duty-Cycle?

Il Duty-Cycle è il rapporto fra due tempi e, precisamente, il rapporto che c'è fra il tempo utile e il tempo totale.

Per tempo utile si intende il tempo durante il quale la tensione è a un valore alto; nel nostro caso, guardando la Fig. 5, questo tempo corrisponde a t_{x1} .

Abbiamo che t_{x1} è pari a $3,858 \mu\text{s}$, mentre il tempo totale è dato dalla somma dei due tempi $\rightarrow 6,658 \mu\text{s}$.

Il nostro "Duty" è quindi pari a:

$$\rho = \frac{t_{x1}}{t_{x1} + t_{x2}} = \frac{3,858}{6,658} = 0,579 \Rightarrow 58\%$$

ovvero, il nostro segnale d'onda sarà alto per circa il 58% di tutto il periodo.

Se nello schema elettrico dove è raffigurato il circuito, il costruttore dovesse farci vedere l'oscillogramma campione, ma non dovesse dare nessun riferimento elettrico, in base a quanto calcolato possiamo stimare con ottima approssimazione se la forma visualizzata sull'oscilloscopio sia corretta in frequenza e in "Duty", oppure no.

Riparare e analizzare correttamente i circuiti

Vediamo adesso alcuni esempi pratici utilizzati da costruttori di amplificatori operazionali.

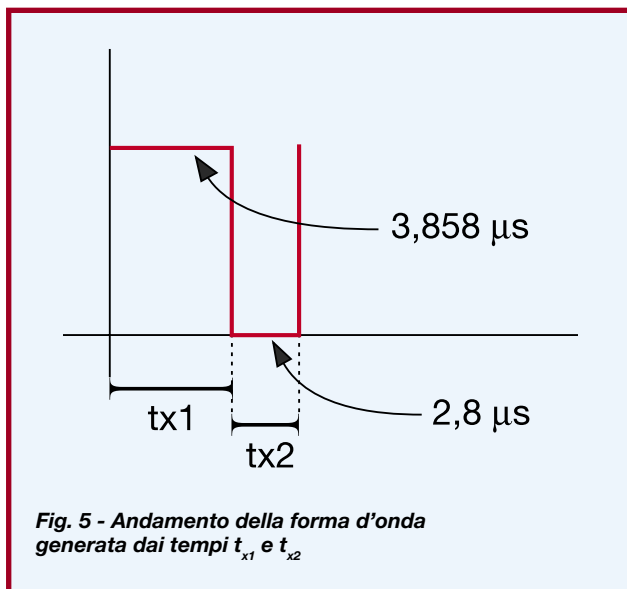


Fig. 5 - Andamento della forma d'onda generata dai tempi t_{x1} e t_{x2}

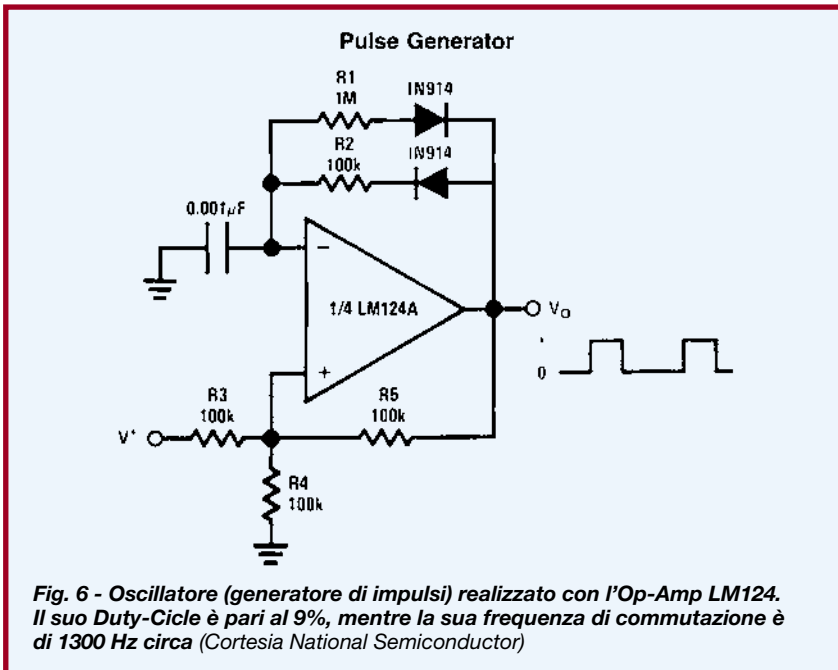


Fig. 6 - Oscillatore (generatore di impulsi) realizzato con l'Op-Amp LM124. Il suo Duty-Cycle è pari al 9%, mentre la sua frequenza di commutazione è di 1300 Hz circa (Cortesia National Semiconductor)

Vediamo la **Fig. 6**: l'integrato LM124, costruito da National Semiconductor, mostra un'applicazione leggermente differente rispetto all'oscillatore studiato poc'anzi, ma non per questo di difficile comprensione.

Il costruttore riporta nello schema i valori commerciali dei componenti impiegati e la relativa forma d'onda. Non dice nulla però riguardo il periodo e il Duty-Cycle.

Ammettiamo che rilevassimo un'onda con l'oscilloscopio simile

a quella riportata in figura, come facciamo a sapere se la frequenza è corretta e se il Duty è quello esatto?

Immaginate per un istante che questo oscillatore possa pilotare un transistor di potenza che comanda un trasformatore Switching fra la zona sat. e la zona off.

Se il duty fosse più piccolo o più grande avremmo una tensione errata sui secondari del nostro trasformatore (sempre che il finale non si guasti!).

La prima cosa da fare è ricercare i punti di intervento dell'Op-Amp (per "punti di intervento si intendono le tensioni di soglia superiore e inferiore necessarie allo scatto dello stesso").

Nel nostro caso abbiamo le tensioni di soglia dell'Op. Amp $V_H = 8V$, $V_L = 4V$ rispettivamente (ammesso che la V_{CC} sia pari 12 V).

Il duty cercato sarà quindi pari al 9% circa, mentre la frequenza di commutazione sarà di 1311 Hz.

Come si può vedere in Fig. 6, il grafico mostra che il tempo in cui il segnale è alto è molto più piccolo del tempo in cui il segnale rimane basso. Non a caso il segnale rimane alto per il 9% del periodo complessivo.

Chiaramente, la figura d'onda è indicativa e non precisa, ma realizzando il circuito potremmo leggere sull'oscilloscopio quanto detto (non a caso, infatti, il costruttore indica nello schema "Pulse Generator" e non "Squarewave").

Passiamo a un altro integrato (costruito sempre da National Semiconductor).

La sua sigla è LM358 ed è venduto dentro un case a 8 pin dove, al suo interno, sono presenti due operazionali.

Coloro che hanno letto la riparazione sul monitor Jean Company avranno notato che si tratta dello stesso integrato da noi impiegato per l'intervento.

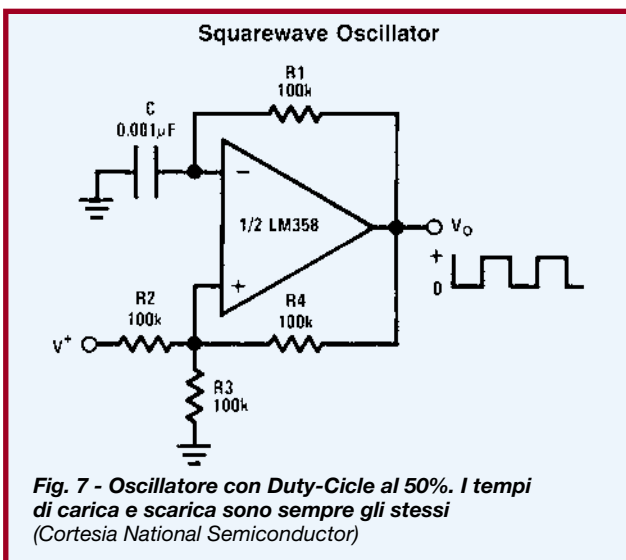


Fig. 7 - Oscillatore con Duty-Cycle al 50%. I tempi di carica e scarica sono sempre gli stessi (Cortesia National Semiconductor)

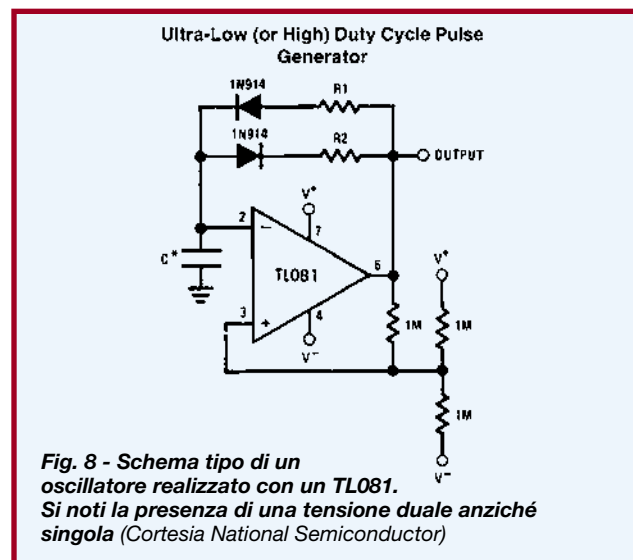
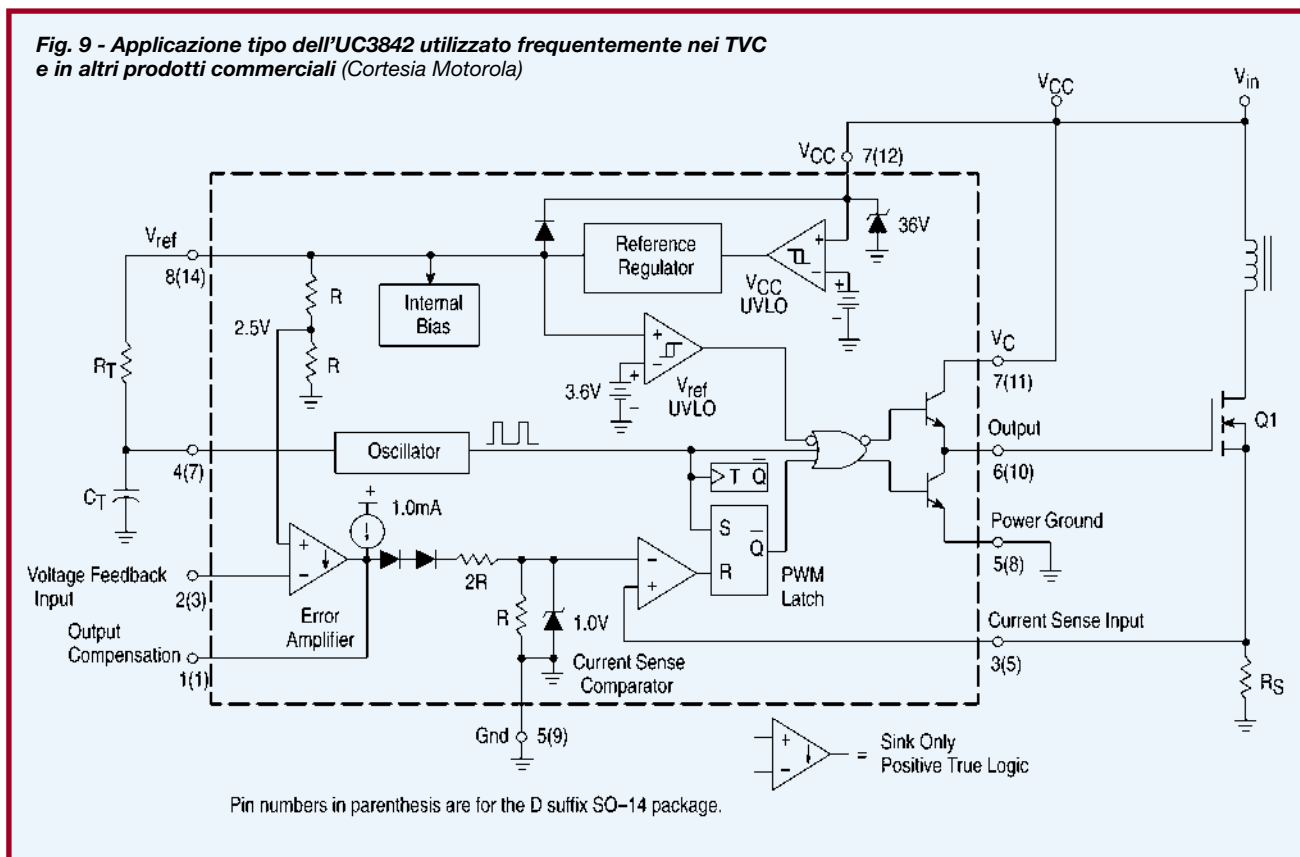


Fig. 8 - Schema tipo di un oscillatore realizzato con un TL081. Si noti la presenza di una tensione duale anziché singola (Cortesia National Semiconductor)

Fig. 9 - Applicazione tipo dell'UC3842 utilizzato frequentemente nei TVC e in altri prodotti commerciali (Cortesia Motorola)



L'oscillatore a onda quadra, visibile in Fig. 7, non presenta i diodi che connettono l'ingresso con l'uscita.

Questo ci fa comprendere che il duty dovrà essere del 50%, così come evidenzia la forma d'onda riportata dal costruttore.

A causa dell'assenza dei diodi, i tempi di carica e scarica del nostro Op-Amp saranno differenti da quelli visti per l'oscillatore di Fig. 6.

Abbiamo, infatti, che la frequenza sarà pari a 7200 Hz circa, mentre il duty è del 50%, quindi il segnale sarà alto per lo stesso tempo in cui il segnale rimarrà basso.

Si ricordi che, per chi volesse provare a verificare con l'oscilloscopio quanto detto, si deve alimentare con tensione stabile di 12 V.

In entrambi i circuiti appena visti, l'onda quadra oscilla intorno alla:

$$\frac{V_{cc}}{2}$$

e non intorno allo zero; questo perché i circuiti sono polarizzati con tensione singola.

Vediamo adesso un tipico caso con alimentazione duale: il funzionamento non si distacca molto dai casi precedenti, l'oscillazione av-

viene intorno allo zero quindi l'onda quadra generata sarà realizzata con la stessa logica precedente, ma il segnale avrà un picco positivo e uno negativo.

Nella Fig. 8 possiamo vedere un altro importante Op-Amp costruito da molte aziende, tra le quali la ST.

Nello schema qui presentato è stato ommesso il valore del condensatore e dei resistori R_1 e R_2 perché il circuito può generare tutte le frequenze a noi necessarie inserendo i valori desiderati.

Per noi ormai ottenere la frequenza voluta con alimentazione duale è semplice, basta applicare quanto detto in precedenza.

Un'applicazione importante dei circuiti di carica e scarica

Dato che i discorsi fatti fino a ora sono sempre rivolti a delle applicazioni pratiche, e siccome ci troviamo spesso alle prese con dei TVC e dei VCR, non può mancare un esempio applicativo. A tal proposito, si guardi ora lo schema di Fig. 9.

L'integrato UC3842 è un controllore, costruito da Motorola, per applicazioni Switching nei TVC, nei

VCR, nei carica batterie, negli UPS, nei monitor e altro ancora.

Si vedano R_t e C_t connessi esternamente all'integrato. È facile capire che questo gruppo RC è posto in ingresso al circuito oscillatore così come negli Op-Amp appena visti, sicuramente il principio di funzionamento di questo oscillatore è lo stesso.

Le differenze principali sono date dal fatto che le soglie di scatto vengono stabilite all'interno dell'integrato stesso, mentre noi che operiamo esternamente possiamo stabilire la frequenza di commutazione cambiando C_t ed R_t .

Come si può notare, i circuiti RC sono importanti per comprendere cosa avviene nella capacità C_H del circuito a campionamento S&H (questo ci permette di capire meglio come funziona il convertitore ad approssimazioni successive).

Sono altresì importanti per capire in che si comporta un circuito integratore impiegato per un convertitore a doppia rampa, ma sono importanti per tutti i circuiti timer e per gli oscillatori.

Infine, ma non per questo di secondaria importanza, abbiamo visto che una rete RC può determinare il comando corretto di un modulatore PWM impiegato in un TVC (il nostro UC3842 per l'appunto). □