

SFRUTTARE LE CAPACITÀ

In questo Workshop incontriamo un nuovo componente elettronico: il condensatore. Vedremo le sue principali proprietà e, all'interno dello StepbyStep, ne sperimenteremo l'uso per realizzare un semplice generatore di impulsi basato sul diffusissimo circuito integrato NE555.

I condensatori sono dispositivi in grado di **'accumulare' energia elettrica** quando ai loro capi è imposta una tensione. Nel caso più generico possiamo immaginare un condensatore come un sistema fisico formato da **due piastre conduttrici parallele** (dette **armature**), poste a distanza ravvicinata e **separate da uno strato di materiale isolante (dielettrico)**. In basso a destra è mostrato lo schema della struttura, mentre al di sopra di esso puoi vedere i simboli elettrici di questi dispositivi. Vediamo ora, in maniera molto elementare, come operano. Immaginiamo di porre ai capi del condensatore una d.d.p. costante: poiché le due armature sono isolate dalla presenza del dielettrico, **non si verifica un passaggio di corrente all'interno del dispositivo**; tuttavia, la presenza della tensione dà origine a un campo elettrico che porta gli elettroni (indicati con il simbolo $-$ nello schema) ad accumularsi sull'armatura collegata al polo negativo del g.d.t. Allo stesso modo, gli elettroni sull'armatura collegata

al polo positivo vengono respinti, producendo una maggioranza di cariche positive (+ nello schema). Ora immaginiamo di scollegare istantaneamente il condensatore dal circuito e di misurare la differenza di potenziale ai suoi capi con un voltmetro. Noteremo la presenza di una tensione uguale a quella imposta dal generatore di tensione. In pratica, **il dispositivo ha continuato a immagazzinare cariche sugli elettrodi fino al raggiungimento della differenza di potenziale del generatore**, in modo concettualmente simile a quanto avviene ponendo in carica le comuni batterie ricaricabili. Inoltre, proprio come avviene per le batterie, se collegassimo il condensatore a un carico (ad esempio un resistore), osserveremmo un flusso di corrente, prodotto dalla d.d.p. del dispositivo, che proseguirebbe fino al suo completo scaricamento. I condensatori, quindi, sono paragonabili a **'serbatoi elettrici'**, in grado di **accumulare e rilasciare cariche**. La quantità di cariche immagazzinabili dipende da un parametro fisico

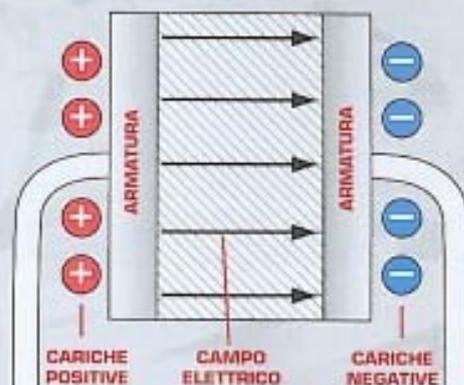
detto **'capacità'** (si misura in **farad**, simbolo F), che è legato alla struttura del condensatore.

CARICA E SCARICA DI UN CONDENSATORE

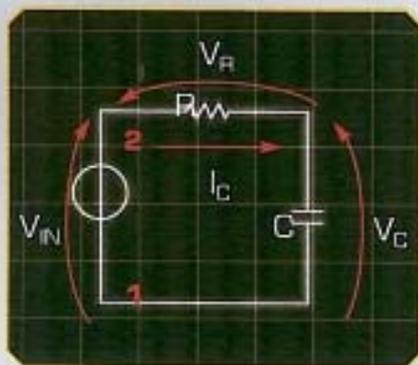
Nel paragrafo precedente abbiamo ipotizzato di collegare un condensatore direttamente a un g.d.t. continua; vediamo



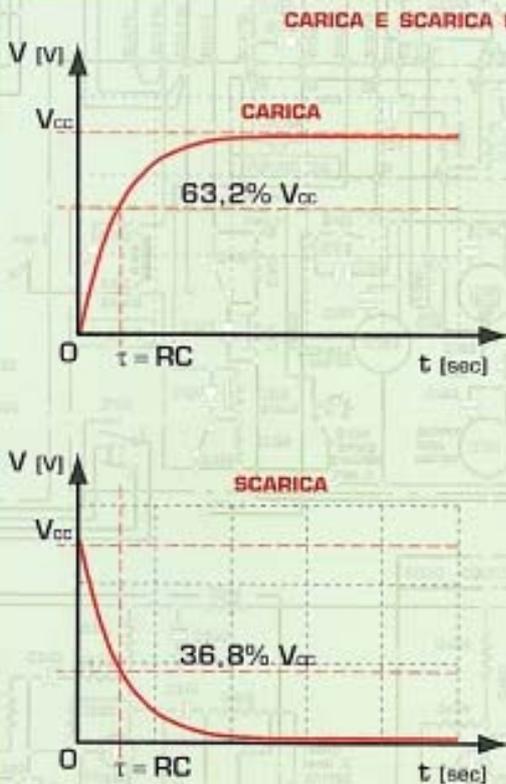
Sopra i simboli elettrici dei condensatori (a destra polarizzato, a sinistra non polarizzato). Sotto, lo schema di un condensatore piano formato da due armature separate da un materiale isolante.



ora cosa accade **inserendo in questo circuito un carico resistivo**, rappresentato nell'immagine a fondo pagina dal **resistore R**. Ipotizziamo, prima di tutto, una condizione di partenza nella quale il **condensatore è completamente scarico** (ha, quindi, una tensione nulla ai suoi capi: $V_C = 0\text{ V}$). Vediamo cosa accade. Il g.d.t. impone una differenza di potenziale costante V_{IN} tra i nodi 1 e 2 del circuito, che viene ripartita su C e R. Poiché abbiamo ipotizzato il condensatore inizialmente scarico ($V_C(0) = 0\text{ V}$), **l'intera tensione V_{IN} cade su R** (abbiamo, quindi, $V_R(0) = V_{IN}(0)$). Poiché sul resistore è presente una d.d.p., per la legge di Ohm si verifica un **flusso di corrente I_C che inizia a caricare C**, aumentando, di conseguenza, **la differenza di potenziale ai suoi capi**. Ma con l'aumento della d.d.p. agli estremi del condensatore, **diminuisce anche la caduta di tensione ai capi del resistore R e con essa la corrente passante nel circuito**. Questo processo prende il nome di **'transitorio di carica'** e **prosegue fino alla completa**



Un 'circuito RC' formato da un resistore e un condensatore posti in serie.



CARICA E SCARICA DI UN CONDENSATORE

Nelle immagini a lato possiamo osservare l'andamento della tensione ai capi di un condensatore durante i **processi di carica e scarica all'interno di un circuito RC**, analogo a quello dello schema a fondo pagina. Si osserva che entrambi i processi non procedono in maniera costante nel tempo, ma al contrario, dopo una **variazione iniziale molto rapida della tensione**, la **velocità di carica (o scarica) diminuisce sempre più**, fino al raggiungimento del **voltaggio finale**. Un ruolo importantissimo è rivestito dal **parametro $\tau = R \cdot C$** , che ci permette di stimare i tempi di carica e scarica dei condensatori (**i condensatori esauriscono il transitorio dopo circa $3 \cdot \tau$ secondi**). **Quindi, variando il valore del resistore o del condensatore è possibile modificare il tempo di carica e di scarica**. Proprio questa proprietà è alla base di molti dei circuiti di temporizzazione più utilizzati.

carica del condensatore. In questa condizione, infatti, ai capi del dispositivo abbiamo lo stesso potenziale del generatore di tensione ($V_C(t_f) = V_{IN}(t_f)$), mentre sul resistore vi è una tensione nulla ($V_R(t_f) = 0\text{ V}$) e non vi è ulteriore passaggio di corrente. **La scarica è concettualmente analoga, ma ovviamente inversa.** Nei diagrammi in alto è mostrato l'andamento della tensione V_C nei transienti di carica e scarica.

IL MODELLO MATEMATICO DEL CONDENSATORE

Abbiamo visto che il passaggio di corrente nel circuito dipende dal fatto che il condensatore si trovi o meno alla stessa tensione imposta ai capi del circuito dal generatore. Tale comportamento è descritto matematicamente attraverso

Una schema riassuntivo dei processi di carica e scarica dei condensatori.

l'equazione sottostante:

$$I_C = C \cdot \frac{dV_C}{dt}$$

Dato che la comprensione completa di questa equazione richiede basi di analisi matematica (è una cosiddetta equazione differenziale), non ci soffermeremo a spiegarla nel dettaglio, ma cercheremo di comprenderne il significato in modo 'pratico'. **L'equazione quantifica, in pratica, la corrente I_C passante nel ramo del condensatore in funzione dei due termini C e dV_C/dt** (poiché le armature del condensatore sono isolate tra loro, **la corrente non attraversa fisicamente il condensatore**, ma è dovuta allo

spostamento delle cariche che si accumulano sui suoi elettrodi). Vediamo cosa rappresentano i termini appena citati. 'C' è semplicemente la capacità del condensatore, espressa in farad. Il secondo termine, invece, è più complesso da comprendere, proprio per via della sua natura matematica. In parole molto semplici, esso è descrivibile come la velocità di variazione della tensione ai capi del condensatore. Vediamo cosa implica. Riconsideriamo il caso precedente: quando il condensatore è carico, la tensione ai suoi capi rimane costante e pari quella del g.d.t. [la sua velocità di variazione è nulla, $dV_C/dt = 0 \text{ V/sec}$], con la conseguenza che il prodotto $C \cdot dV_C/dt$ è nullo: a basse frequenze il condensatore si comporta come un circuito

aperto. Ora immaginiamo il caso opposto: un condensatore sottoposto a una tensione che varia molto rapidamente (un segnale ad alta frequenza). In questo caso il fattore dV_C/dt è generalmente elevato e, con esso, è elevata anche la corrente I_C che 'scorre' quasi senza impedimenti. In tale caso il condensatore è paragonabile, quindi, a un cortocircuito [circuito chiuso].

CONDENSATORI IN SERIE E PARALLELO

Come per i resistori, anche i condensatori possono essere utilizzati all'interno dei circuiti

Un esempio di filtraggio per mezzo di un condensatore e un resistore (circuiti RC e CR). Oltre ai due presentati, vi è una gran quantità di tipologie di filtri.

secondo configurazioni 'in serie' e 'in parallelo'. Quando più condensatori vengono posti in parallelo otteniamo un sistema equivalente a un unico dispositivo con capacità pari a:

$$C_{TOT} = C_1 + C_2 + C_3 \dots$$

Con dispositivi in parallelo, quindi, le capacità si sommano. Al contrario, nel caso di condensatori in serie, vale la relazione:

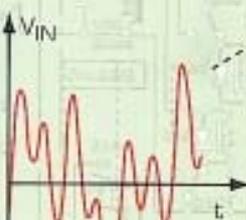
$$C_{TOT} = \left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots \right)^{-1}$$

APPLICAZIONI DEI CONDENSATORI

La capacità dei condensatori di comportarsi come circuiti aperti e/o chiusi in base alla velocità di variazione della tensione ai loro capi è alla base del funzionamento di alcune delle loro applicazioni più note: i filtri. Nel box a lato ne vediamo due molto elementari: i passa-basso 'RC' e i passa-alto 'CR'. Vediamo in cosa consistano. I filtri passa-basso sono circuiti in grado di eliminare i segnali ad alta frequenza lasciando passare solo le componenti inferiori alla cosiddetta 'frequenza di taglio'. I filtri passa alto, al contrario, 'smorzano' le componenti di segnale in bassa frequenza, facendo passare quelle superiori alla frequenza di taglio. Vediamo nel box a lato l'effetto dei due filtri su un segnale di ingresso. Oltre che per le operazioni di filtraggio, i condensatori sono spesso impiegati per stabilizzare le tensioni.

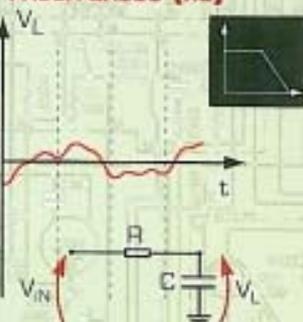
I FILTRI PASSA BASSO E PASSA ALTO

Osserviamo come operano i filtri introdotti (un passa-basso 'RC' e un passa-alto 'CR') in risposta al segnale V_{IN} rappresentato nel diagramma sottostante.



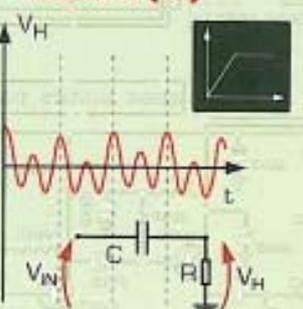
I filtri si rivelano utili ogniqualvolta si vogliono isolare componenti di segnale aventi determinati 'range' di frequenza.

PASSA-BASSO (RC)



Il filtro passa-basso (lo indicheremo con il simbolo nel riquadro) ha attenuato dal segnale originale i 'picchi' di tensione causati dalle componenti ad alta frequenza. Il risultato è il segnale 'smorzato' a lato.

PASSA-ALTO (CR)



Il filtro passa-alto (simbolo nel riquadro a lato) ha attenuato le componenti di bassa frequenza con il risultato di ottenere un nuovo segnale caratterizzato da variazioni di tensione molto rapide.

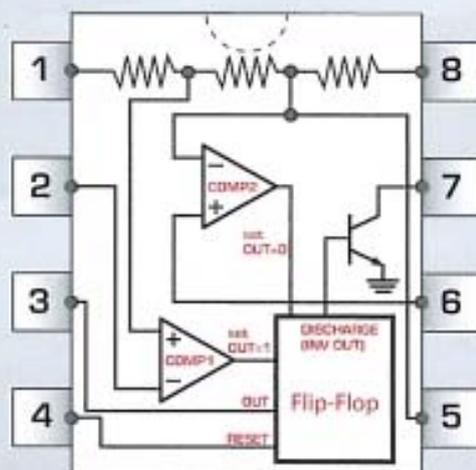
F O C U S O N



Punto che indica il Pin 1

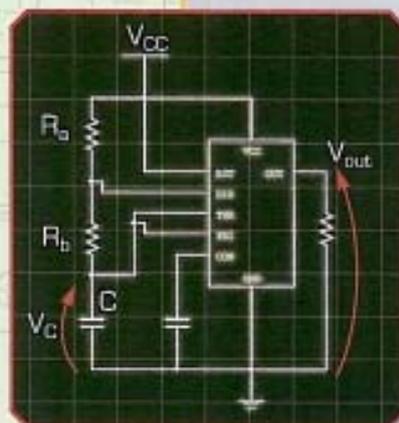
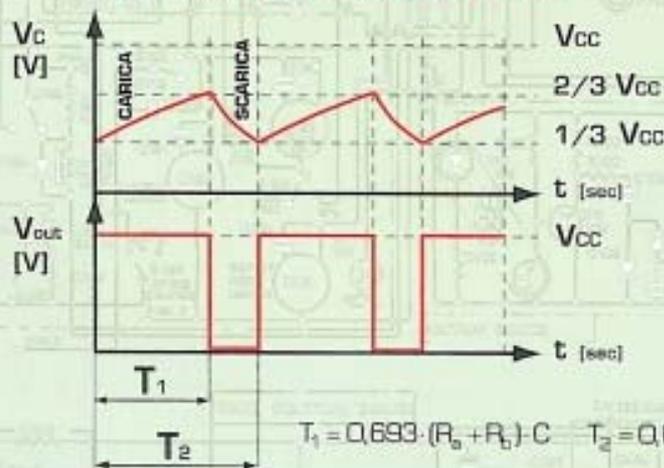
IL CIRCUITO INTEGRATO 555

In questo FOCUS ON incontriamo un nuovo componente elettronico, il timer 555 (a destra una schema della sua struttura interna) Si tratta di un **circuito integrato**, ossia di un dispositivo che racchiude in un chip microscopico un circuito elettronico molto complesso. Ovviamente, dato il poco spazio a disposizione, non potremo descrivere tutte le caratteristiche di funzionamento di questo integrato, per le quali suggeriamo di far riferimento ai datasheet, liberamente disponibili in Internet. Ci concentreremo, invece, su una particolare configurazione che ci permetterà di produrre un segnale periodico 'a onda quadra', che esploreremo all'interno dello StepbyStep. Vediamo prima di tutto la sua **pedinatura (pinout)**. Esso è dotato di 8 pin, numerati in senso antiorario (da 1 a 8), il primo dei quali si trova alla sinistra della 'tacca' presente sull'involucro dell'integrato (spesso il pin 1 degli integrati viene indicato anche con un 'pallino', come mostrato nella foto in alto). Nella tabella a destra riportiamo nomi e funzioni degli 8 pin.



| NUMERO | NOME |
|--------|--|
| 1 | Ground (massa) |
| 2 | Trigger (tensione attivazione) |
| 3 | Out (pin di uscita del circuito) |
| 4 | Reset (per riavviare il timer) |
| 5 | Control (tensione di controllo) |
| 6 | Threshold (tensione di soglia per la scarica) |
| 7 | Discharge (pin di scarica) |
| 8 | V _{CC} (alimentazione, dai +4,5 ai +15 V) |

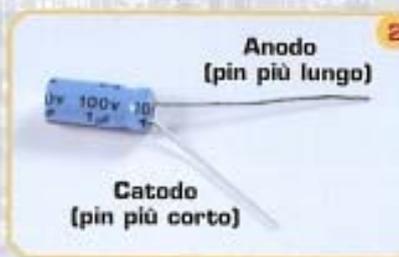
IL PROCESSO DI FUNZIONAMENTO DEL 555



I pin 1 e 8 servono, ovviamente, per l'alimentazione del circuito integrato. Il pin 3, invece, è il pin di output del 555, ossia il piedino che emetterà il segnale periodico prodotto. Il pin 4 (Reset) permette di riavviare il timer. Poiché il reset avviene portando il pin 4 a massa, nei nostri esperimenti esso verrà collegato costantemente a V_{CC} , in modo da mantenerlo in condizioni operative normali. Per commentare la funzione dei pin rimanenti, facciamo riferimento al circuito e allo schema semplificato del 555 entrambi mostrati nella pagina precedente. Nel circuito notiamo la presenza del condensatore C, la cui tensione varia durante il processo di funzionamento del 555 (il suo andamento è mostrato nel grafico V_C della pagina precedente). I pin Threshold (6) e Trigger (2) sono collegati internamente all'integrato a due particolari circuiti detti 'comparatori' (nello schema in alto della pagina precedente indicati con COMP1 e COMP2), il cui scopo è quello di effettuare confronti tra due livelli di tensione. In particolare, la tensione presente sul pin Trigger viene confrontata con $1/3 V_{CC}$, mentre la tensione presente su Threshold con $2/3 V_{CC}$ (le tensioni di riferimento a V_{CC} sono ottenute con un partitore di tensione interno, vedi fascicolo 6). Immaginiamo di avere C scarico: alimentando l'integrato, il condensatore inizia a caricarsi per effetto della tensione V_{CC} e dei resistori R_a e R_b . Come visto, l'accumulo di cariche da parte di un condensatore corrisponde a un aumento della sua tensione, che cresce fino a essere 'appena superiore' al valore $2/3 V_{CC}$. Il superamento di tale soglia è rilevato da COMP2, la cui attivazione dà il via al processo di scarica di C, effettuato attraverso un transistor che preleva corrente dal pin Discharge (7). La tensione su C, a questo punto, decresce gradualmente fino a scendere sotto la soglia del valore $1/3 V_{CC}$, evento che viene rilevato da COMP1. L'attivazione di questo comparatore, infatti, riporta il sistema in stato di carica. Ricomincia, così, il funzionamento ciclico del 555. L'uscita Out (3), infine, viene portata 'alta' (tensione pari a V_{CC}) in fase di carica e 'bassa' (tensione pari a 0 V) in fase di scarica (l'andamento è mostrato nel grafico V_{out} della pagina precedente) La regolazione della frequenza e del rapporto tra uscita alta e uscita bassa (duty cycle) avviene dimensionando i componenti, secondo le equazioni (T_1 e T_2) mostrate nello schema della pagina precedente.

LE DIVERSE TIPOLOGIE DI CONDENSATORI»»

Sebbene a livello ideale il funzionamento dei condensatori sia per tutti lo stesso, in termini più pratici esistono numerose tipologie di componenti, differenti per struttura e caratteristiche elettriche. Ogni condensatore reale, infatti, è caratterizzato non solo da una capacità, come visto in precedenza, ma anche da una tensione massima di lavoro (oltre la quale non deve essere sottoposto per evitarne la distruzione) e da una tolleranza, che ne descrive la 'precisione' attesa rispetto al valore di capacità nominale. Tutti questi parametri dipendono strettamente dalla struttura fisica dei componenti che, nel caso dei condensatori, possono essere suddivisi in numerose tipologie. I condensatori al poliestere (figura 1), ad esempio, sono reperibili con capacità generalmente comprese tra i 500 pF e i 10 μ F e non sono dotati di verso di polarizzazione. I condensatori ceramici (figura 3) hanno caratteristiche simili e possono raggiungere valori dell'ordine della decina di picofarad. I dispositivi elettrolitici



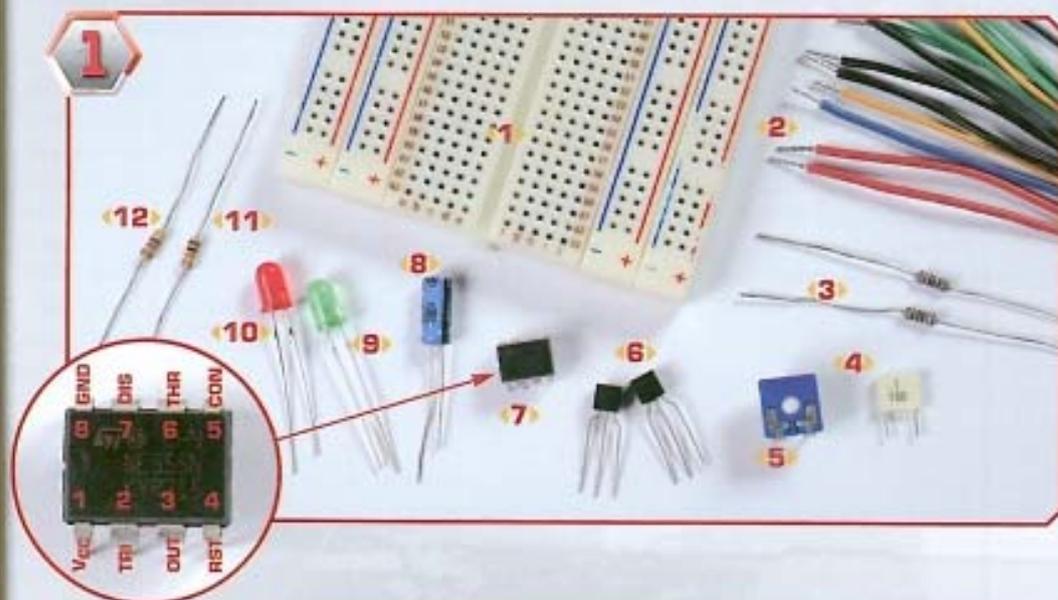
(figura 2), invece, sono dotati di un preciso verso di polarizzazione (indicato sulla guaina del package tramite i simboli '+' o '-' e da pin di lunghezza differente) e sono presenti sul mercato anche con capacità molto elevate (ordine del farad).

STEPbySTEP

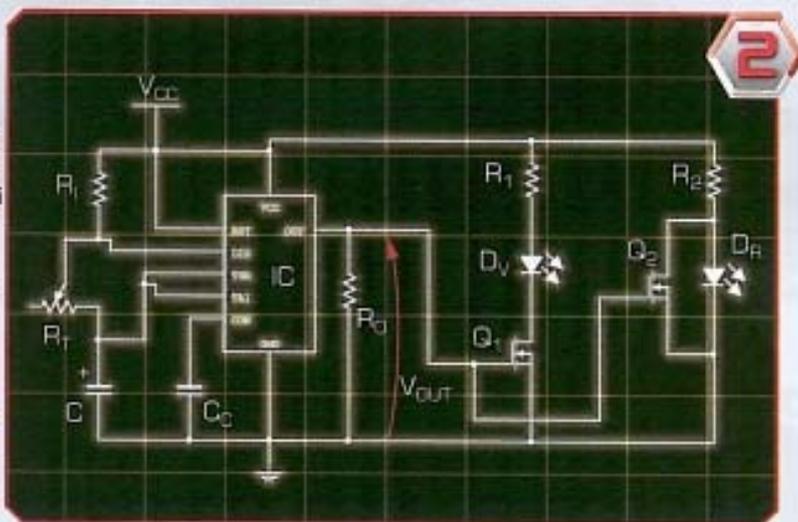
PROVIAMO IL TIMER 555

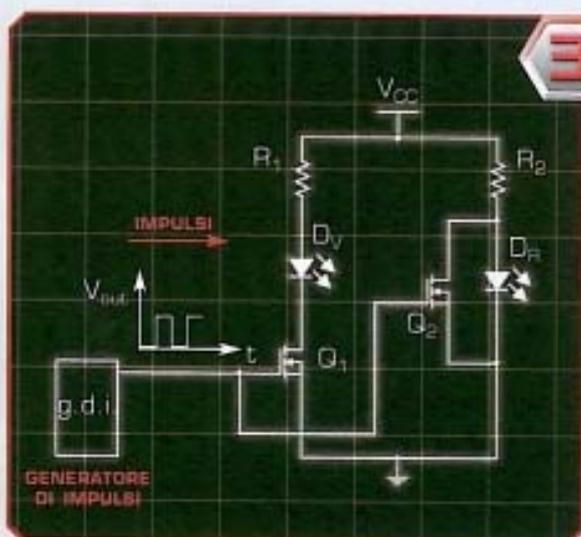
Prima di procedere, procuriamoci gli elementi necessari:

- 1 una breadboard
- 2 fili per breadboard
- 3 due resistori da 200 ohm (R_1, R_2)
- 4 un condensatore da 100 nF (C_C)
- 5 un trimmer da 470 kohm (R_T)
- 6 due transistor BS170 (Q_1, Q_2)
- 7 un integrato 555 (IC)
- 8 un condensatore 1 μ F (C)
- 9 un LED verde (D_V)
- 10 un LED rosso (D_R)
- 11 un resistore da 10 kohm (R_D)
- 12 un resistore da 4,7 kohm (R_I)

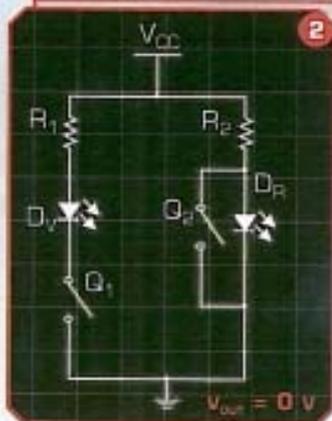
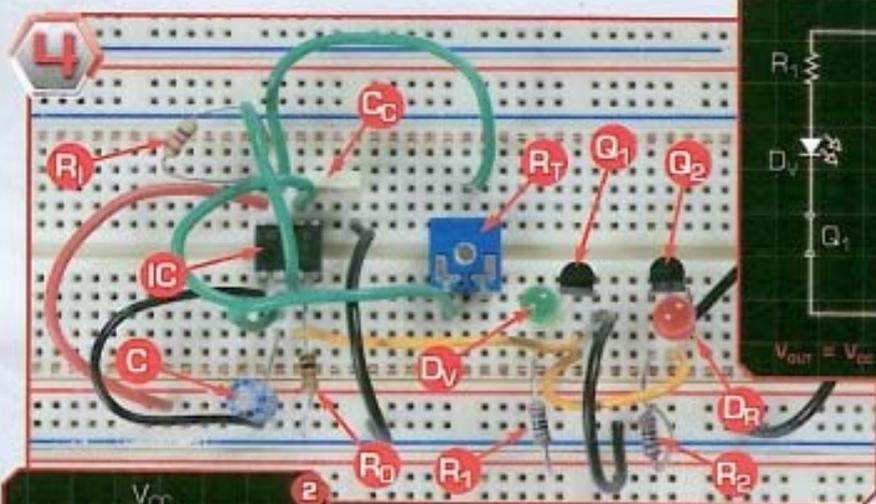


L'esperimento consiste nella realizzazione del circuito mostrato a lato, basato sul timer 555 che hai visto all'interno del FOCUS ON. La configurazione che adatterai ti permetterà di ottenere in uscita un segnale a impulsi (ossia una sequenza periodica di livelli alti e bassi) che potrai modificare variando il cursore del trimmer R_T . Non considerando l'uso di un oscilloscopio o altri dispositivi analoghi che possono permetterti di analizzare il segnale uscente dal pin 'OUT', potrai visualizzare lo 'stato logico' di tale pin attraverso una coppia di LED colorati pilotati dai transistor Q_1 e Q_2 , che vedrai accendersi in modo intermittente.





3 Per comprendere meglio il funzionamento del circuito eseguiamo una semplificazione, sostituendo l'integrato 555 e i componenti a esso collegati con un unico blocco, che possiamo chiamare 'generatore di impulsi' (immagine a lato). Dal pin di uscita di questo blocco (pin 3 del 555) viene emesso un segnale in tensione (rappresentato nell'immagine dalla sequenza di impulsi) che viene inviato sui pin di gate dei due n-MOS (Q_1 e Q_2), portandoli in conduzione ogni volta che la tensione di uscita assume il valore alto.



Ora assembli il circuito e alimentalo utilizzando un portabatterie da quattro stilo, in modo avere circa 6 volt di tensione. Se avrai montato tutto in maniera corretta, vedrai i LED che inizieranno a lampeggiare in modo intermittente. Il 555, infatti, inizia il suo ciclo di lavoro emettendo impulsi (hai potuto vederne il funzionamento all'interno del FOCUS ON). Ora analizziamo cosa accade al resto del circuito che 'riceve' il segnale impulsivo in ingresso. Con V_{OUT} 'alta' (ossia circa 6 V) avrai sui transistor una tensione V_{GS} tale da portare i n-MOS in conduzione (schema 1, sopra). La corrente, quindi, scorrerà all'interno di D_v accendendolo, mentre D_n rimarrà in condizioni di interdizione (in pratica Q_2 è configurato come porta NOT, come visto nel fascicolo 15). Al contrario, quando il segnale di uscita dal 555 è basso i due transistor si portano in stato di interdizione (schema 2, a sinistra) facendo illuminare il diodo D_n . Prova ora a variare la posizione del cursore del trimmer: vedrai modificarsi tempi e frequenze di accensione dei LED. Utilizzeremo più avanti il 555 come generatore di impulsi e di clock, ogniqualvolta ne avremo bisogno.