

CORSO ELEMENTARE DI ELETTRONICA



**PRIMI
PASSI**

TRANSISTOR CIRCUITI OSCILLATORI

Allo studio dei circuiti oscillatori, generatori di segnali con forme d'onda sinusoidali, fa seguito quello degli oscillatori che producono segnali multiformi, ovvero non sinusoidali e che costituiscono l'argomento trattato in questa sede.

Dalla vastissima gamma di apparati oscillanti non sinusoidali, facilmente riscontrabili nel mondo dell'elettronica, abbiamo estratto quattro circuiti alquanto significativi, la cui interpretazione teorica è da considerarsi fondamentale per definire il funzionamento di altri schemi, diversi da quelli presi in esame, ma ugualmente produttori di tensioni variabili, con espressioni triangolari, rettangolari, a dente di sega od impulsive, come quelle graficamente riportate in figura 1 e rilevate tramite oscilloscopio.

Più precisamente, allo scopo di rendere la materia maggiormente comprensibile, si è preferito pubblicare inizialmente il progetto di un oscillatore a due transistor complementari e poi quello, di grande contenuto didattico, rappresentato dal famosissimo multivibratore astabile, con il quale il lettore può costruire piccoli o grandi lampeggiatori, segnalatori stradali per uso privato, indicatori luminosi per modellisti e per chi vuol completare un giocattolo con un abbellimento particolare. I successivi due progetti, pur non potendosi definire esclusivamente dei veri e propri oscillatori, possono rientrare in questa categoria di circuiti perché, tramite opportuno sistema di pilotaggio, diventano certamente degli oscillatori non sinusoidali come i primi due.

OSCILLATORE CON ALTOPARLANTE

Quello pubblicato in figura 2 è il progetto di un oscillatore realizzato con due transistor complementari, uno di tipo PNP (TR1) e l'altro NPN (TR2).

Il circuito in esame può essere considerato come quello di un amplificatore a due transistor, accoppiati tramite la resistenza R2 ed entrambi reazionati tramite il condensatore C1, cui spetta il compito, unitamente alla bobina contenuta nell'altoparlante AP, di innescare le oscillazioni.

Dall'altoparlante esce un suono relativamente debole la cui frequenza, con i valori attribuiti ai componenti nell'apposito elenco, si aggira intorno ai 1.000 Hz.

Le espressioni grafiche dei segnali, presenti nei punti indicati con frecce nello schema di figura 2, sono riportate in A - B - C della stessa figura e sono rilevabili sulle due basi di TR1 e TR2, nonché sul collettore del primo transistor. Ovviamente, questi diagrammi possono essere osservati soltanto sullo schermo di un oscilloscopio.

Le ampiezze dei tre segnali sono le seguenti:

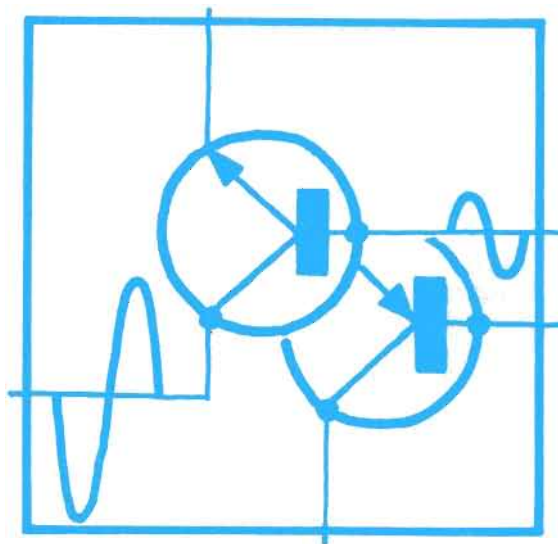
$$A = 0,7 \text{ V}$$

$$B = 0,2 \text{ V}$$

$$C = 6 \text{ V}$$

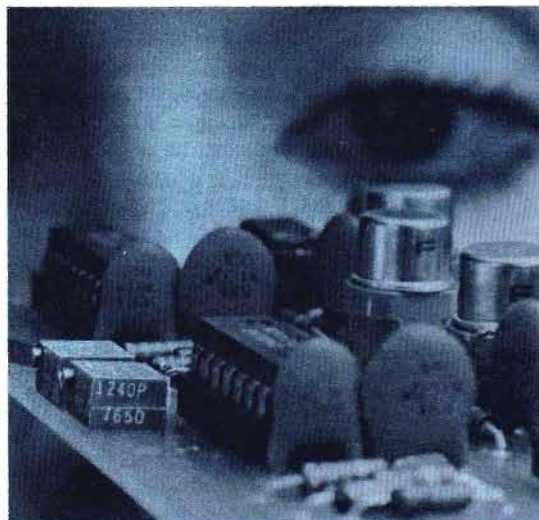
Considerata la sgradevolezza del suono emesso dall'altoparlante AP, la realizzazione pratica di questo circuito oscillatore è consigliata soltanto in pochi casi e questo è il motivo per cui non è stato presentato lo schema costruttivo. Tuttavia, chi vorrà costruirlo, dovrà impiegare un altoparlante da 8 ohm e con diametro di 10 centimetri, ricordando che il volume dell'audio aumenta cortocircuitando, con un ponticello, la resistenza R4. La frequenza delle oscillazioni del circuito di figura 2 dipende principalmente dal valore capacitivo attribuito al condensatore C1, ma dipende pure da quello della resistenza di base di TR2 (R1) e da tutti quei componenti che concorrono alla variazione della forma della frequenza generata, assieme alla stessa tensione di alimentazione.

Il funzionamento dell'oscillatore di figura 2 può così essere interpretato. Si immagini che, inizialmente, per effetto della carica di C1, la base di TR2 sia negativa rispetto all'emittore. Ebbene, in tal caso il transistor rimane interdetto dato che, trattandosi di un NPN, per il suo funzionamento serve una polarizzazione di base positiva. Non conducendo TR2, neppure TR1 è conduttore, perché privo di tensione di base. Tuttavia, per effetto della resistenza R1, il condensatore C1 si carica sino a raggiungere ad un certo istante la soglia di conduzione per TR2. Poi, a sua volta,



TR2 costringe TR1 a condurre, provocando un aumento della corrente e della tensione sul carico, che è rappresentato dall'altoparlante.

La variazione della tensione si riflette, attraverso il condensatore C1, sulla base di TR2, accelerando il processo di conduzione sino ad ottenere un vero e proprio scatto. L'aumento di corrente, tuttavia, rimane condizionato da R1, che non è in grado di mantenere in saturazione i due transistor. Conseguentemente C1, che si era caricato al massimo valore di tensione, si scarica leggermente. E la scarica, attraversando entrambi i semi-



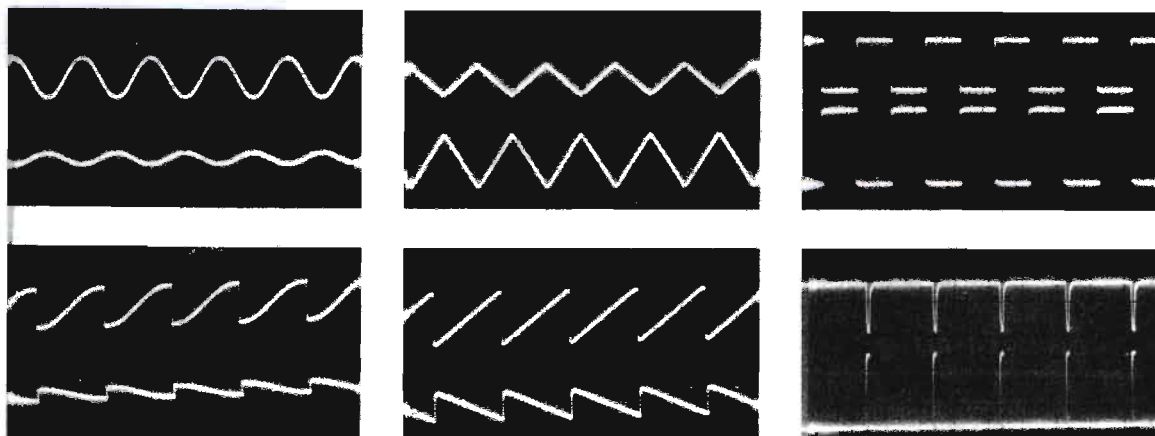


Fig. 1 - I circuiti oscillatori sono generatori di segnali di forme di ogni tipo. Le più comuni fra queste sono la sinusoidale, la triangolare, la rettangolare, quella a denti di sega e l'impulsiva.

conduttori, subisce una accelerazione, con l'effetto di uno scatto in senso opposto. A questo punto il circuito di figura 2 si trova nelle condizioni iniziali, pronto cioè a riprendere un nuovo ciclo.

MULTIVIBRATORE ASTABILE

Fino a qualche tempo fa, i circuiti elettronici potevano considerarsi come i rappresentanti di due precise e distinte famiglie: quella dei circuiti lineari e l'altra dei non lineari.

Sono detti "lineari" quei circuiti nei quali, applicando un segnale in entrata, questo ricompare in uscita con una forma non discontinua, pur assumendo un andamento dipendente dalle particolari funzioni per cui è stato concepito il progetto. A questa famiglia, ad esempio, appartengono gli amplificatori e gli oscillatori, che sono quindi circuiti di tipo lineare e trovano largo impiego nell'elettronica analogica.

Alla famiglia dei non lineari appartengono quei circuiti nei quali i componenti vengono utilizzati in modo discontinuo, ovvero dove l'uscita e l'entrata non dipendono linearmente l'una dall'altra, ma presentano brusche variazioni fra stati ben determinati, come è il caso di tutti i circuiti logici, dei cosiddetti digitalizzati e di quella serie di dispositivi che generano o modificano impulsi e stati logici.

Attualmente queste due famiglie si stanno sempre più compenetrando, tanto che è difficile incontrare applicazioni puramente analogiche od

esclusivamente digitalizzate. Un esempio in tal senso è rappresentato dal televisore, un tempo appartenente al regno analogico, oggi sempre più coinvolto nelle tecniche digitali e interessato da circuiti logici, come microprocessori e memorie.

Il più noto fra tutti i circuiti non lineari è certamente quello del multivibratore, che interpreta il fenomeno per cui due transistor, spesso impiegati in applicazioni lineari e analogiche, possono generare un segnale digitale, ad esempio ad onda quadra, che rappresenta in pratica una sequenza ininterrotta di "alti" e "bassi", di "uni" e di "zeri".

La denominazione di multivibratore sta a ricordare che questo circuito altro non è che un preciso derivato del famoso, ma ormai scomparso, vibratore elettromeccanico, assai noto ai lettori meno giovani e nel quale due elettromagneti agivano su uno stesso contatto a scambio, collegato in modo che l'accensione di uno provocasse lo spegnimento dell'altro. In pratica, la lamina del contatto vibrava ad una frequenza stabilita dalle caratteristiche elettromeccaniche, per la verità più meccaniche che elettriche, del dispositivo. Il quale, come è risaputo ha trovato largo impiego nei survoltori e generatori di corrente alternata collegati a pile ed accumulatori.

Ma oggi, le funzioni del vibratore elettromeccanico vengono svolte da componenti elettronici moderni e, soprattutto, non soggetti ad usura, come inevitabilmente accadeva fra i contatti meccanici. E il circuito pubblicato in figura 3 interpreta l'attuale trasformazione del vecchio appa-

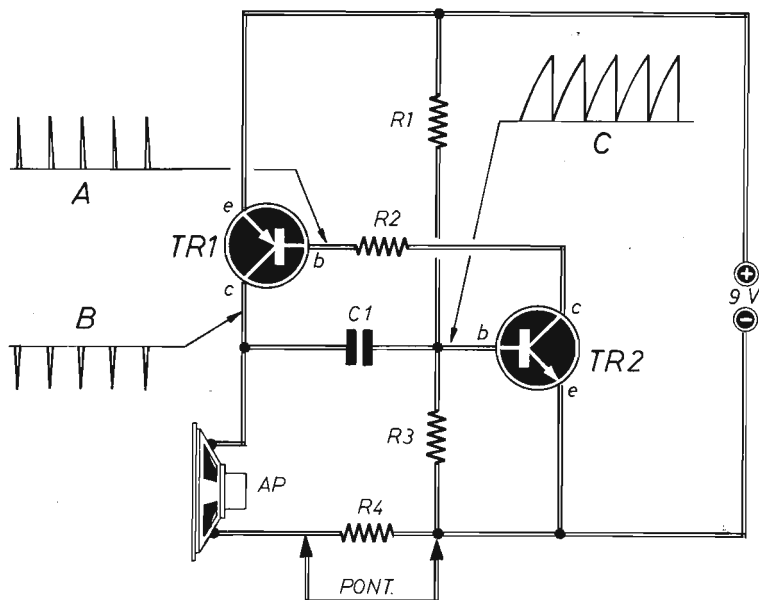


Fig. 2 - Progetto di oscillatore con due transistor complementari. Il suono uscente dall'altoparlante AP è poco gradevole e la sua frequenza, con i valori attribuiti ai componenti, si aggira intorno ai 1.000 Hz. Nei tre punti A - B - C sono riportate le corrispondenti forme dei segnali rilevabili tramite oscilloscopio.

COMPONENTI

Condensatore

C1 = 47.000 pF

Resistenze

R1 = 47.000 ohm - 1/4 W
R2 = 10 ohm - 1/4 W
R3 = 47.000 ohm - 1/4 W
R4 = 10 ohm - 1/4 W

Varie

TR1 = 2N2905
TR2 = 2N1711
AP = altoparlante (8 ohm)
ALIM. = 9 Vcc

rato. Il contatto a scambio, che un tempo spegneva la lampada LP2, per accendere la LP1 e viceversa, è ora sostituito con due transistor, che si comportano in maniera analoga a quella del deviatore: quando uno dei due va all'interdizione, l'altro raggiunge la saturazione e viceversa.

CIRCUITO DEL MULTIVIBRATORE

I tipi di multivibratori più noti sono tre: il "bistabile", comunemente conosciuto come "flip-flop" ed abbondantemente impiegato nei calcolatori

digitali, nonché in altre, moderne applicazioni elettroniche, il "monostabile", in grado di fornire, su opportuno comando, un singolo impulso quadro, di durata prestabilita e, infine, l'"astabile", il cui funzionamento è qui di seguito descritto e la cui denominazione discende proprio dalla sua non stabilità, ovvero dal fatto che il circuito commuta, alternativamente, dallo stato di conduzione a quello di interdizione, le proprie caratteristiche, fornendo in continuità un segnale ad onda quadra.

Osservando lo schema di figura 3, si nota subito come il circuito impieghi pochi elementi connessi

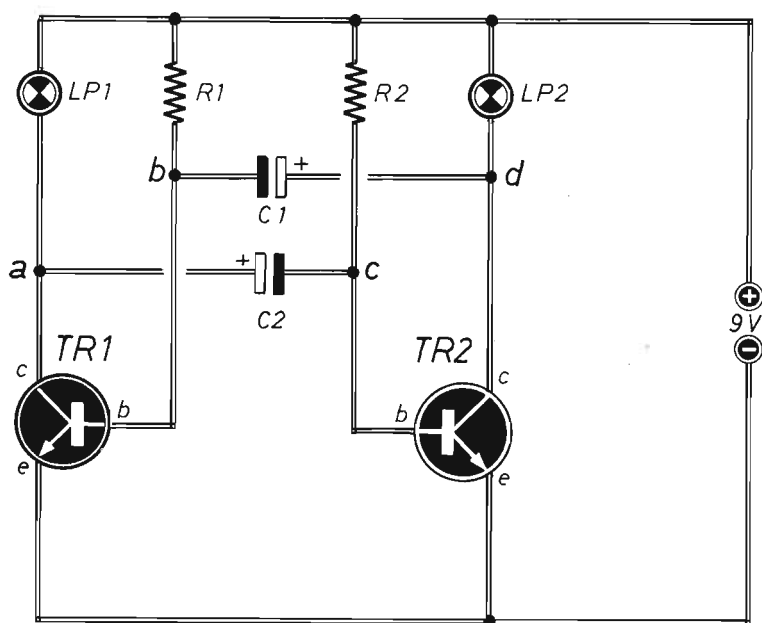


Fig. 3 - Circuito del multivibratore astabile. La descrizione del funzionamento, riportata nel testo, è sorretta dalle citazioni dei valori di tensione presenti nei punti "a - b - c - d". Il risultato complessivo consiste nell'accendere e spegnere alternativamente le due lampadine LP1 - LP2.

COMPONENTI

Condensatori

C1 = 100 μ F - 16 V (elettrolitico)
C2 = 100 μ F - 16 V (elettrolitico)

Resistenze

R1 = 10.000 ohm - 1/4 W
R2 = 10.000 ohm - 1/4 W

Varie

TR1 = 2N1711
TR2 = 2N1711
LP1 = lampada pisello (12 V - 100 mA)
LP2 = lampada pisello (12 V - 100 mA)
ALIM. = 9 Vcc

tra loro, sicché l'impiego del circuito stampato, per questa particolare realizzazione, si rivela del tutto inutile.

La stessa semplicità circuitale, tuttavia, non è riscontrabile nel funzionamento del dispositivo almeno nella misura in cui si potrebbe credere. E questo è il motivo per il quale l'interpretazione del comportamento del circuito di figura 3 ha richiesto l'aiuto portato dai due schemi ausiliari presentati in figura 4. I quali illustrano, separata-

mente, le due fasi in cui evolvono i comportamenti elettrici. Ma cominciamo col segnalare il fatto che, non inserendo i due condensatori C1 - C2, i transistor TR1 - TR2 rimangono entrambi in saturazione, ovvero conduttori e le due lampade LP1 - LP2 appaiono accese. Infatti, i due transistor, se le resistenze di polarizzazione di base R1 - R2 sono state ben calcolate, conducono corrente in continuazione, assorbendola dall'alimentatore a 9 Vcc. Se invece i due elettrolitici sono

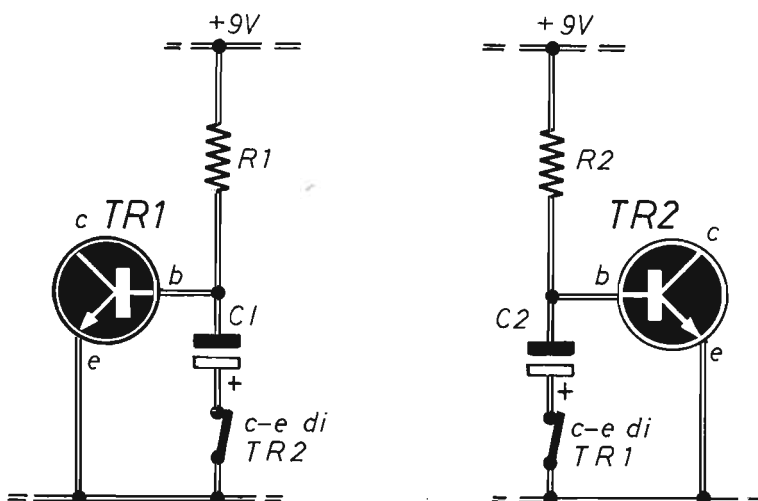


Fig. 4 - Questi due semplici schemi simboleggiano le due condizioni elettriche in cui viene a trovarsi, durante il suo funzionamento, il circuito del multivibratore astabile.

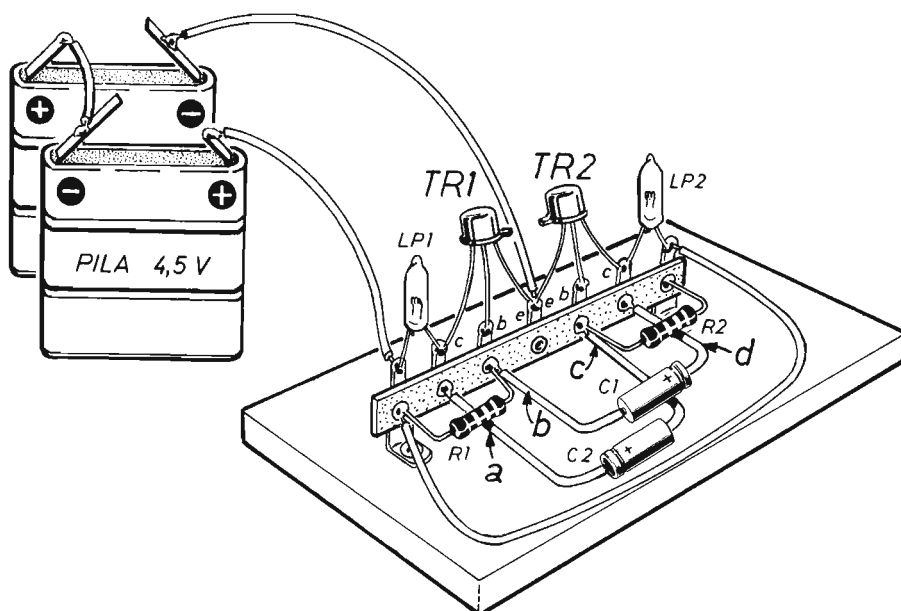


Fig. 5 - Piano costruttivo, realizzato su una tavoletta di legno, del multivibratore astabile. Gli emittori dei transistor TR1 - TR2 sono collegati assieme su uno stesso terminale della morsettiera. La loro posizione rimane individuata dalla presenza di una linguetta metallica, ricavata sul corpo esterno dei componenti.

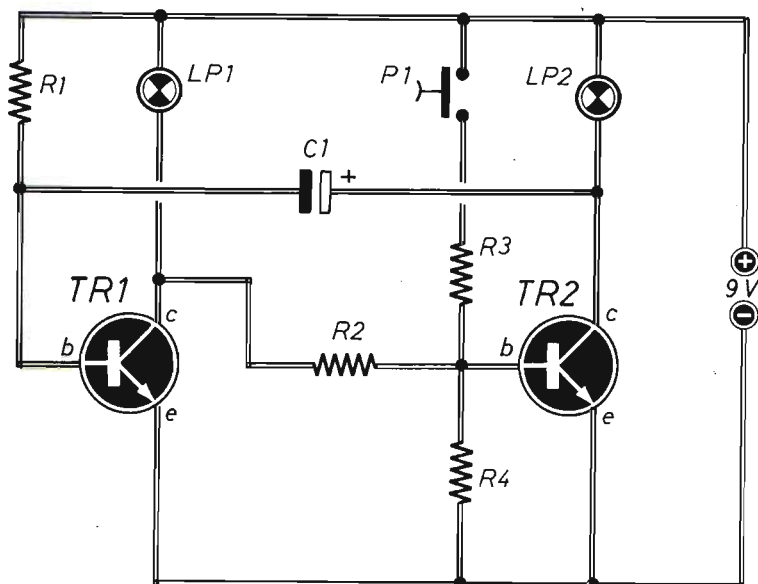


Fig. 6 - Circuito teorico di multivibratore monostabile. La lampada LP1 rimane normalmente accesa, mentre LP2 si accende soltanto premendo per un attimo il pulsante P1. La sua accensione perdura per un tempo determinato dai valori dei componenti circuitali, poi si spegne automaticamente e si riaccende LP1.

COMPONENTI

Condensatore

C1 = 100 μ F - 16 V (elettrolitico)

Resistenze

R1 = 10.000 ohm - 1/4 W

R2 = 2.200 ohm - 1/4 W

R3 = 1.800 ohm - 1/4 W

R4 = 1.800 ohm - 1/4 W

Varie

TR1 = 2N1711

TR2 = 2N1711

LP1 = lampada pisello (12 V - 100 mA)

LP2 = lampada pisello (12 V - 100 mA)

P1 = pulsante (normalmente aperto)

ALIM. = 9 V $\div$ 13,5 Vcc

presenti, la condizione ora rilevata cessa di esistere. Perché ciascuno di essi trasmette il fronte dell'impulso presente sul collettore di un transistor alla base dell'altro, creando una situazione dinamica.

Quando si alimenta il circuito del multivibratore per la prima volta, il transistor che va in conduzione per primo esclude contemporaneamente l'altro dal funzionamento e prende così avvio il ciclo. Ma quale dei due transistor è più veloce dell'altro nel cominciare a condurre? Ebbene, la risposta a tale domanda è semplice ed immediata:

quello che beneficia delle inevitabili dissimmetrie circuitali, che possono essere appositamente introdotte, per esempio diversificando leggermente i valori capacitivi dei due condensatori, ma che in pratica sono insite negli stessi transistor che, pur appartenendo alla medesima categoria, non sono mai perfettamente uguali nelle loro caratteristiche.

Detto ciò, immaginiamo ora che il transistor TR1 sia andato per primo in conduzione, identificando il suo stato elettrico con quello simboleggiato a destra di figura 4, nella quale TR1 è sostituito

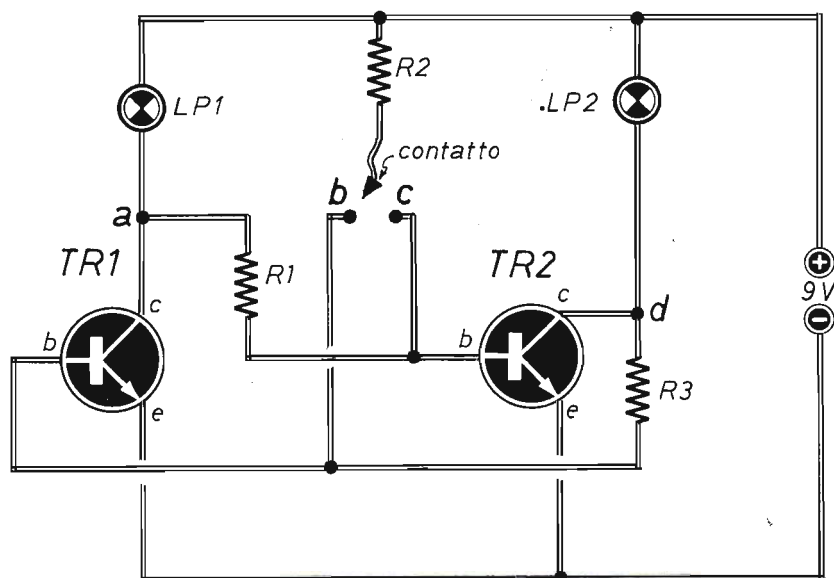


Fig. 7 - Schema elettrico di multivibratore bistabile, comunemente chiamato "flip-flop". Lo scambio del comportamento delle accensioni delle due lampade si verifica spostando sui punti "b - c" il terminale libero della resistenza R2.

COMPONENTI

Resistenze

R1 = 1.800 ohm - 1/4 W
R2 = 2.200 ohm - 1/4 W
R3 = 1.800 ohm - 1/4 W

Varie

TR1 = 2N1711
TR2 = 2N1711
LP1 = lampada pisello (12 V - 100 mA)
LP2 = lampada pisello (12 V - 100 mA)
ALIM. = 9 V ÷ 13,5 V

con un interruttore chiuso tra gli elettrodi di collettore ed emittore, mentre il condensatore elettrolitico C2 inizia a caricarsi, per raggiungere in breve tempo il valore della tensione di alimentazione. Dunque, quando TR1 diviene conduttore, il potenziale in "a" del circuito di figura 3, è più positivo di quello in "c". Il transistor TR2, quindi, avendo la base negativa, non può condurre e rimane all'interdizione. Ma una volta carico, C2 inizia il suo processo di scarica, finché la tensione in "c" diviene più positiva rispetto a quella in "a", con la conseguenza di polarizzare adeguata-

mente la base di TR2 e costringerlo alla conduzione, stabilendo la condizione elettrica riportata a sinistra di figura 4, nella quale TR2 è conduttore e TR1 si trova all'interdizione. E ciò avviene esattamente appena la base di TR2 raggiunge il valore di tensione di 0,65 V positivi. Questa volta il punto circuitale "d" è più positivo di quello in "b".

Successivamente, il condensatore C1 si carica, raggiungendo il valore della tensione di alimentazione, bloccando il funzionamento di TR2 ed avviando quello di TR1. Ossia, avviene il fenomeno

inverso di quello precedentemente descritto. I cicli di saturazione ed interdizione si ripetono all'infinito, finché perdura l'alimentazione del circuito.

Coloro che volessero montare il circuito del multivibratore, potranno seguire il piano costruttivo riportato in figura 5, con il quale si suggerisce una realizzazione cablata, senza l'impiego del circuito stampato.

L'alimentatore, qualora l'apparato dovesse funzionare in tempi molto prolungati, potrà essere rappresentato da due pile piatte da 4,5 V ciascuna, collegate in serie tra loro.

MULTIVIBRATORE MONOSTABILE

Il multivibratore monostabile si differenzia dall'astabile per avere sempre e soltanto un solo stadio in condizioni di stabilità.

Facendo riferimento al circuito di figura 6, rappresentativo di un multivibratore monostabile, si dice che il transistor TR2 si trova allo stato di interdizione e in questo stato rimane finché un impulso positivo non giunge alla sua base, onde saturarlo e provocare l'accensione della lampada LP2. Successivamente, il transistor TR2 si interdice di nuovo e il monostabile ritorna allo stato iniziale. Ma cerchiamo di descrivere in dettaglio le varie fasi.

Sia TR1 che TR2 hanno la possibilità di saturarsi, ma TR1 lo fa per primo e costringe TR2 all'interdizione. Il transistor TR1, per divenire saturo subito, necessita di una corrente di base inferiore a quella di TR2 e ciò si ottiene mediante l'inserimento nel circuito di figura 6 del partitore resistivo composto da R2 - R4.

Quando il transistor TR1 è saturo, sul suo collettore la tensione è quasi nulla, certamente insufficiente per avviare alla conduzione TR2. Tuttavia,

Raccolta PRIMI PASSI - L. 14.000

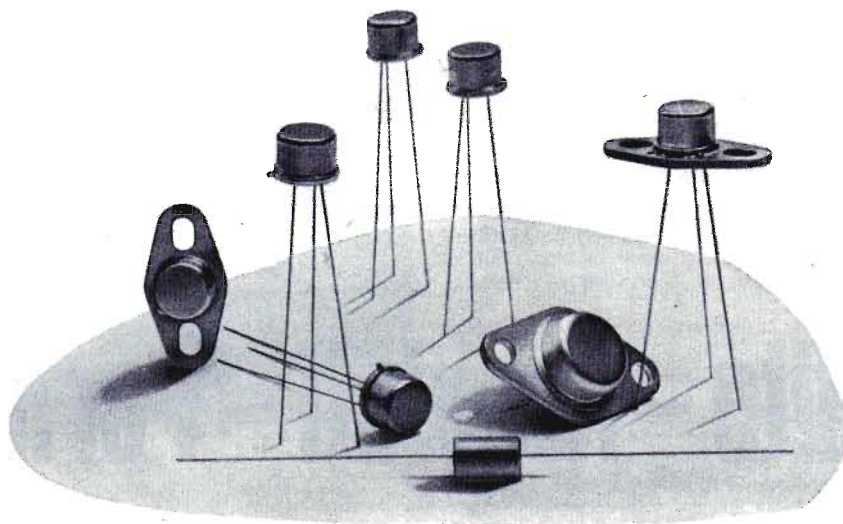
Nove fascicoli arretrati di maggiore rilevanza didattica per il principiante elettronico.

Le copie sono state attentamente selezionate fra quelle la cui rubrica "PRIMI PASSI" ha riscosso il massimo successo editoriale con i seguenti argomenti:

- 1° - Trasformatori di bassa frequenza
- 2° - Trasformatori per radiofrequenze
- 3° - La radio circuiti classici
- 4° - Antenne utilità adattamenti
- 5° - Dalla pila alla lampadina
- 6° - Energia tensione corrente
- 7° - Resistenze a valori costanti
- 8° - Resistenze a valori variabili
- 9° - Legge di OHM



Ogni richiesta della RACCOLTA PRIMI PASSI deve essere fatta inviando anticipatamente l'importo di L. 14.000 (nel prezzo sono comprese le spese di spedizione) a mezzo vaglia, assegno o conto corrente postale N.° 916205 e indirizzando a: ELETTRONICA PRATICA - 20125 MILANO - Via Zuretti, 52.



premendo per un attimo il pulsante P1, sulla base di TR2 giunge un impulso di tensione positiva, che consente la conduzione del semiconduttore. Ma ora sul collettore di TR2 la tensione è quasi nulla e tale è sul terminale positivo di C1, mentre su quello negativo la tensione dello stesso nome costringe TR1 all'interdizione. La situazione attuale, quindi, è la seguente: la lampada LP2 è accesa, la LP1 è spenta.

L'interdizione di TR1 provoca un aumento di tensione sul suo collettore e, conseguentemente, sulla base di TR2, che rimane ancora e per un certo tempo in conduzione, pur avendo abbandonato P1.

Successivamente, dopo che il condensatore C1 si è caricato tramite R1 ed LP2 e sulla base di TR1 è stato raggiunto il giusto valore di tensione di polarizzazione, questo transistor entra in conduzione e rimane saturo fino all'arrivo di un nuovo impulso. Infatti, la tensione di collettore di TR1 si annulla e sulla base di TR2 viene a mancare, conseguentemente, la necessaria polarizzazione, per cui TR2 ritorna allo stato di interdizione.

Per quanto riguarda le due lampadine, possiamo affermare che LP1 rimane accesa, ma appena si preme il pulsante P1, questa si spegne e si accende LP2 che, dopo un certo tempo, determinato dal valore capacitivo del condensatore elettrolitico C1 e da quello delle resistenze, si spegne, mentre si riaccende LP1.

MULTIVIBRATORE BISTABILE

L'interpretazione del comportamento del multivibratore bistabile, il cui schema è pubblicato in

figura 7, è facilmente intuibile dopo aver conosciuto i precedenti circuiti di multivibratori. Tuttavia, prima di analizzare il bistabile, ricordiamo che questo assume pure la denominazione di "flip-flop" e che è dotato di due stati di riposo. In questo circuito, inoltre, applicando un opportuno impulso, è possibile ottenere la commutazione degli stati.

In pratica, una delle due lampade del circuito di figura 7 si accende per prima, così come avviene per il corrispondente transistor che la pilota. Poi, inviando un impulso di tensione positiva, tramite il contatto rappresentato dal terminale libero della resistenza R2, alla base del transistor che si trova all'interdizione e che mantiene spenta la corrispondente lampadina, si ottiene lo scambio delle accensioni, il cui stato permane finché non si invia un successivo impulso alla base dell'altro transistor.

Il transistor TR1 riceve la necessaria corrente di polarizzazione di base tramite la resistenza R3 e la lampada LP1, TR2 la riceve per mezzo di R1 ed LP1. Entrambi i transistor sono in grado di saturarsi, ma uno lo farà prima dell'altro che, di conseguenza, rimarrà interdetto. Immaginiamo ora che TR1 sia saturo. Ebbene, in tal caso, la tensione sul punto "a" è quasi nulla e la resistenza R1 non può polarizzare la base di TR2, che rimane interdetto. Tuttavia, se tramite il contatto libero della resistenza R2 si tocca il punto "c", ovvero, se si applica un impulso positivo di tensione alla base di TR2, questo entra in conduzione e il potenziale sul punto "d" si annulla, così come si annulla la polarizzazione di base di TR1, che rimane bloccato. Il fenomeno inverso si verifica toccando con il terminale libero di R2 il punto "b".