

## *Sommario*

<i>IL TRANSISTORE UNIGIUNZIONE UJT</i> .....	2
<i>PRINCIPIO DI FUNZIONAMENTO</i> .....	2
<i>OSCILLATORE A RILASSAMENTO</i> .....	4
<i>RETTA DI CARICO IN UN OSCILLATORE RILASSATO</i> .....	4
<i>GENERATORE DI ULTRASUONI</i> .....	5
<i>BIBLIOGRAFIA:</i> .....	7

## *Transistore UJT: Teoria e Applicazioni*

prof. Cleto Azzani  
IPSIA Moretto Brescia

Febbraio 1995

## Il Transistore Unigiunzione UJT

Il transistore unigiunzione (UJT) è un dispositivo a semiconduttore con tre terminali avente la struttura costruttiva riportata in figura. Esso è formato da una barretta di silicio con debole drogaggio di tipo N, con due terminali B2 e B1 (Base 2 e Base 1) connessi alle estremità attraverso un processo di metallizzazione; su di un lato della barretta è applicato un elettrodo di alluminio (drogante di tipo P), il quale, legandosi con il silicio drogato di tipo N, forma una giunzione PN. I due terminali sono detti rispettivamente basi B1 e B2, mentre l'elettrodo di alluminio, che forma la giunzione, rappresenta l'emettitore E. Nel suo normale funzionamento il dispositivo, deve essere polarizzato in modo che il potenziale di B2 sia maggiore di quello di B1. La giunzione PN facente capo all'emettitore potrà essere polarizzata direttamente oppure inversamente.

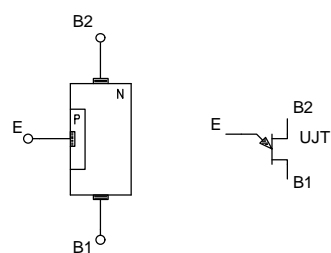


fig.1 Struttura costruttiva e simbolo elettrico di un transistore UJT

### Principio di funzionamento

Per descrivere il comportamento dell' UJT, si ricorre al circuito equivalente di fig. 2. È importante precisare che la resistenza RB1 è variabile al variare della intensità di corrente di emettitore Ie (grafico di fig. 3 e tabella). Essa varia da alcuni Kohm ad alcuni ohm, in corrispondenza di variazioni di Ie da 0 ad alcune decine di mA. la resistenza complessiva che il dispositivo presenta tra i morsetti B1 e B2, per Ie uguale a 0, è denominata resistenza di interbase Rbb e vale:

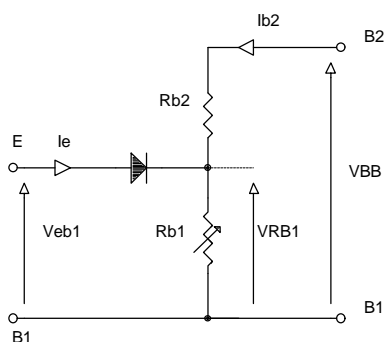


fig. 2 UJT : circuito equivalente

$$R_{BB} = (R_{B1} + R_{B2})_{I_E=0}$$

e può assumere valori che vanno da alcuni Kohm alle decine di Kohm. Variando RB1, per effetto di variazioni nella corrente Ie, si ha di conseguenza una variazione di RBB e quindi della corrente IB2:

$$I_{B2} = \frac{V_{BB}}{R_{BB}}$$

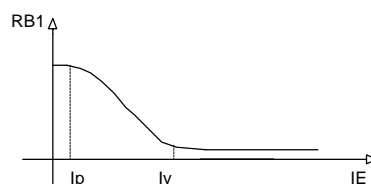


fig. 3 Andamento di Rb1 in funzione di Ie

la caduta ai capi di RB1, con Ie = 0, è espressa dal rapporto di partizione:

$$V_{RB1} = \frac{V_{BB} \cdot R_{B1}}{R_{BB}}$$

Si definisce il rapporto intrinseco il termine:

$$h = \left( \frac{R_{B1}}{R_{BB}} \right)_{I_E=0} \quad (0,4 \leq \eta \leq 0,8)$$

Valore tipico di  $\eta$  è 0,6.

risulta che:

$$V_{RB1} = h \cdot V_{BB}$$

Allorché la tensione applicata all'emettitore, Ve, diviene maggiore della somma tra la caduta ai capi del diodo (Vd = 0,6 V) e la VRB1, si ha la circolazione della corrente Ie, che porta ad un immediato

Ie(mA)	Rb1(Ω)
0	4600
1	2000
5	900
10	150
20	90
50	40
100	40

abbassamento di  $R_{B1}$ , e quindi di  $R_{BB}$ . La tensione di ingresso che permette la circolazione di  $I_e$ , viene definita tensione di picco:

$$V_p = h \cdot V_{BB} + V_d$$

La caratteristica di un UJT è riportata in fig. 4. In essa si può osservare che finché  $V_e$  si mantiene al di sotto del valore di picco  $V_p$  (regione di interdizione) la corrente  $I_e$  coincide con la corrente di polarizzazione inversa della giunzione di Elettrodo (nA trattandosi di Silicio).

Quando  $V_e = V_p$  (punto di picco P), comincia a circolare la corrente  $I_e$  dall'emettitore verso la base B1, ed a ciò consegue, come già noto, una diminuzione di  $R_{B1}$ , aumento di  $I_e$  e diminuzione di  $V_e$ . La zona in cui si verifica ciò è detta *a resistenza differenziale negativa*. La  $I_e$ , nella regione a resistenza differenziale negativa, aumenta fino a che la zona di barretta di silicio compresa tra emettitore e B1 non raggiunge la saturazione. In tale condizione si ha un punto della caratteristica definito punto di valle (V). Quando la  $I_e$  supera il valore  $I_v$  (cioè nella zona di saturazione), il comportamento del transistor è paragonabile a quello di un normale diodo.

*Si noti che ad un determinato valore di  $I_e$  corrisponde uno ed un sol valore di  $V_e$  ma non viceversa.*

Le zone in cui può essere suddivisa la curva caratteristica dell'UJT (vedi fig. 4B) sono tre:

- Zona di Interdizione: a sinistra del punto di picco P in tale zona la  $I_e \approx 0$ .*
- Zona di Saturazione: a destra del punto di valle V, in tale zona al crescere di  $I_e$  cresce pure  $V_e$ .*
- Zona a Resistenza differenziale negativa: è la zona compresa fra i punti di picco e di valle; in tale zona al crescere di  $I_e$  si ha una diminuzione di  $V_e$  e viceversa.*

Per rilevare in laboratorio la caratteristica  $V_e = f(I_e)$  di un UJT bisogna costruire un generatore di corrente pilotato da un segnale variabile nel tempo in modo da passare in rivista i vari punti della caratteristica

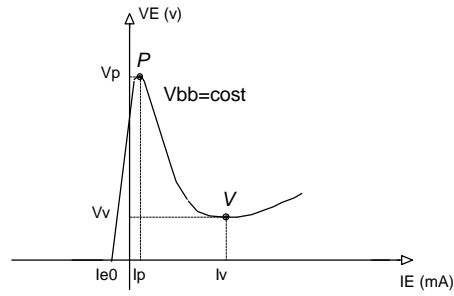


fig. 4 UJT: Caratteristica  $V_e = f(I_e)$

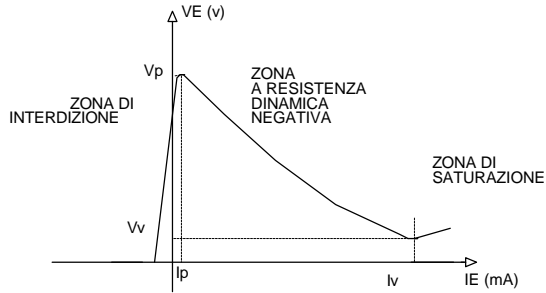


fig. 4B UJT Zone della Caratteristica  $V_e = f(I_e)$

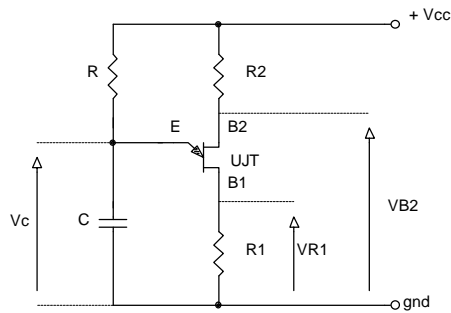


fig. 5 UJT: oscillatore rilassato

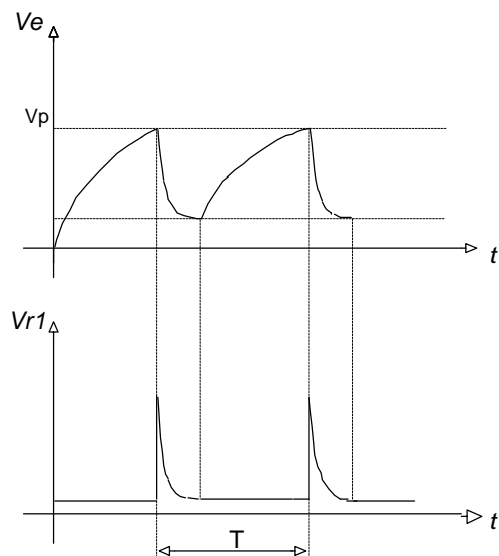


fig. 6 Andamenti di  $V_e$  e  $V_{r1}$  (circuitto fig.5)

partendo dalla zona di interdizione fino alla zona di saturazione.

### Oscillatore a rilassamento

Sono detti a rilassamento quei circuiti che generano forme d'onda di tipo non sinusoidale e basati sull'impiego di dispositivi a resistenza differenziale negativa (UJT, PUT, DIAC, diodo tunnel, etc). Un campo tipico di applicazioni dell'UJT è la realizzazione di circuiti per la generazione di impulsi di breve durata e segnali a dente di sega (cariche e scariche di condensatori con legge esponenziale). Il circuito capace di produrre queste forme d'onda viene denominato oscillatore a rilassamento ed è riportato in fig. 5. Alimentando questo circuito, il condensatore C inizia a caricarsi attraverso la resistenza R. Quando la tensione  $V_e$ , ai capi del condensatore raggiunge il valore di picco  $V_p$ , si ha circolazione di corrente nella regione E-B1 dell'UJT, ne segue una diminuzione di  $R_{B1}$  e quindi una rapida scarica del condensatore attraverso la serie costituita da  $R_{B1}$  e dalla  $R_1$  esterna. In tal modo ai capi di  $R_1$  si ha un impulso di tensione che tende rapidamente a zero con legge esponenziale. Esaurita la scarica del condensatore, la corrente di emettitore scende al di sotto del valore  $I_v$ ,  $R_{B1}$  cresce rapidamente e provoca l'interdizione dell'UJT; si ritorna quindi alla situazione iniziale, cioè il condensatore ricomincia a caricarsi. La tensione  $V_{B2}$  non è riportata nei grafici di fig.6 tuttavia merita alcune semplici considerazioni. Nella fase di carica del condensatore C, l'UJT risulta interdetto per cui  $V_{B2}$  assumerà un valore determinato dal partitore  $R_2$ ,  $R_{BB}$  ed  $R_1$  alimentato dalla tensione  $V_{cc}$ . Tale potenziale si aggira attorno al valore  $V_{cc}$  poichè  $R_2$  è di solito trascurabile rispetto a  $R_{BB}$ . Nell'istante in cui l'UJT inizia a condurre,  $R_{BB}$  si riduce praticamente al valore  $R_{B2}$  ( $R_{B1}$  minima è trascurabile rispetto a  $R_{B2}$ ) di conseguenza  $V_{B2}$  sarà ora determinato dal partitore  $R_2$ ,  $R_{B2}$  ed  $R_1$  e risulterà certamente inferiore al valore assunto in precedenza. Nella fase di passaggio dell'UJT dalla zona di saturazione a quella di interdizione  $V_{B2}$  riacquista il valore precedente in quanto  $R_{B1}$  assume nuovamente il suo valore massimo. Nell'oscillatore rilassato di fig. 5  $R_2$  stabilizza termicamente la tensione di picco  $V_p$  di solito essa viene scelta attorno al valore ricavabile dalla seguente relazione:

$$R_2 = 0,15 \cdot R_{BB}$$

Il valore di  $R_1$  viene scelto fra 20 e 70 Ohm.

### Retta di carico in un oscillatore rilassato

Sarà opportuno osservare che per funzionare correttamente un oscillatore rilassato deve essere polarizzato nella regione a resistenza differenziale negativa. Pertanto il punto di lavoro deve essere caratterizzato da una corrente superiore ad  $I_p$  ma inferiore ad  $I_v$ . Una corrente inferiore ad  $I_p$  non consente a C di caricarsi e di raggiungere  $V_p$  (UJT funziona in zona di interdizione); una corrente superiore ad  $I_v$  impedisce al condensatore di ricaricarsi da capo (UJT funziona in zona di saturazione).

La resistenza R attraverso cui si carica il condensatore C deve soddisfare pertanto la condizione di seguito riportata :

$$\frac{V_{CC} - V_v}{I_v} < R < \frac{V_{CC} - V_p}{I_p}$$

Ordini di grandezza delle resistenze nel circuito di fig. 5:

$$R_1 = 27 \div 47\Omega$$

$$R_2 = 220 \div 680\Omega$$

i valori di R e C stabiliscono il periodo il quale è dato dalla formula:

$$T = RC \cdot \ln \frac{1}{1-h} = 2,3 \cdot RC \cdot \log \frac{1}{1-h}$$

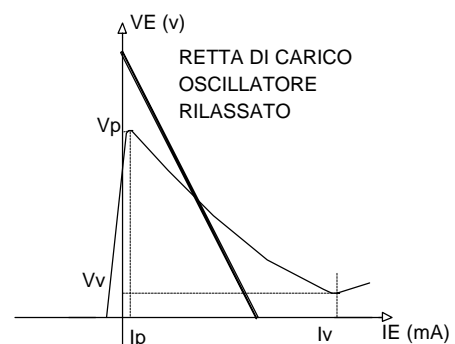


fig. 7 Retta di carico nell'oscillatore rilassato

assumendo per il rapporto intrinseco il valore tipico di 0,63 e svolgendo i calcoli risulta:

$$T = RC$$

Il valore di R varia tra  $1M\Omega$  e alcuni  $K\Omega$ . Il valore di C si calcola dalla formula precedente a seconda della frequenza desiderata.

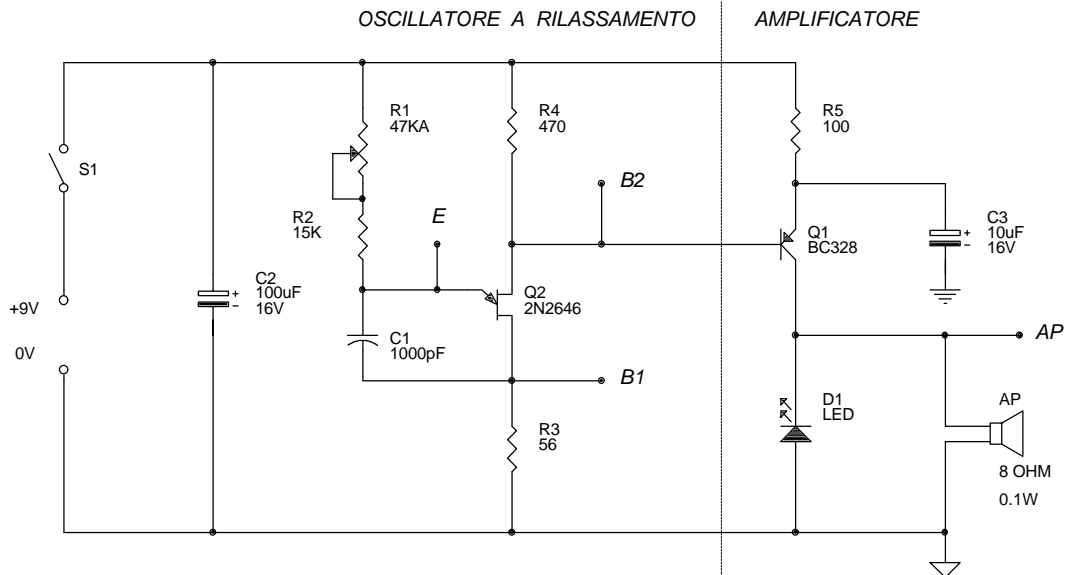


fig. 8 Scacciazanzare ad ultrasuoni: schema elettrico LX769 Nuova Elettronica

### Generatore di ultrasuoni

In fig. 8 è riportato lo schema elettronico di un generatore di ultrasuoni (kit LX769 Nuova Elettronica). Il circuito viene alimentato tramite una batteria da 9V ed è possibile suddividerlo in due parti:

- a) oscillatore rilassato ad UJT,
- b) stadio amplificatore a BJT (PNP)

Nel circuito è presente un trimmer R1 (47K) attraverso il quale è possibile modificare il valore della costante di tempo di carica data dall'espressione:

$$t = (R_1 + R_2 + R_3) \cdot C_1 \approx (R_1 + R_2) \cdot C_1$$

fra i valori limite di seguito indicati :

$$t_{MAX} = (R_1 + R_2) \cdot C_1 = 62ms \quad t_{min} = R_2 \cdot C_1 = 15ms$$

Nell'oscillatore rilassato di fig. 8, al variare del trimmer R1 varia la posizione della retta di carico (vedi fig. 7); è evidente che per un corretto funzionamento del circuito la retta deve sempre intersecare la caratteristica dell'UJT nel tratto a resistenza differenziale negativa ossia ad un valore di corrente compreso come si è detto fra  $I_p$  ed  $I_v$ .

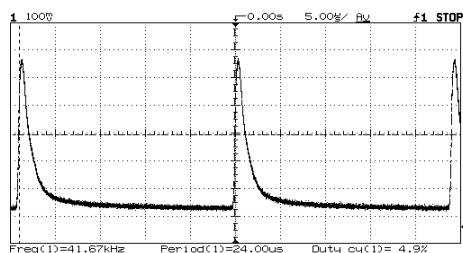
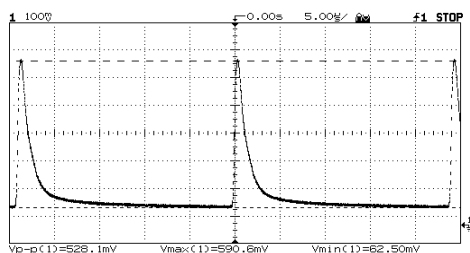
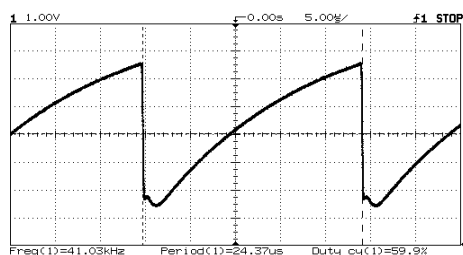
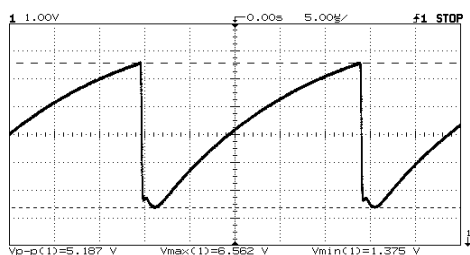
La legge di carica del condensatore risulta essere di tipo esponenziale; procedendo per via analitica si ricava che il periodo T del segnale presente ai capi di C1, è dato dalla seguente relazione:

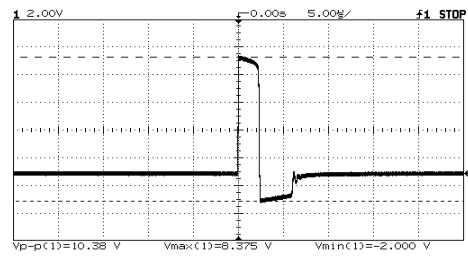
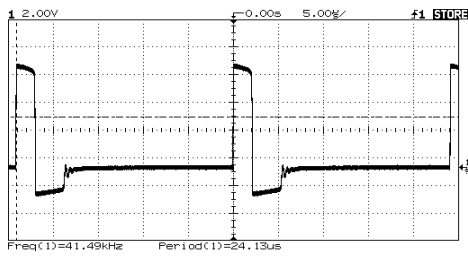
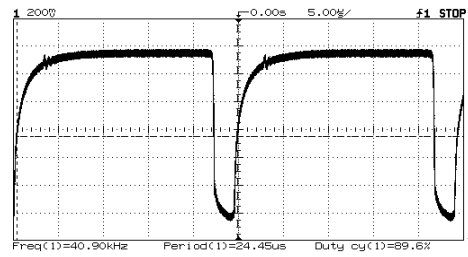
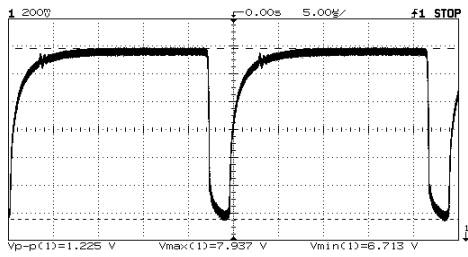
$$T = t \cdot \ln \frac{V_{CC}}{V_{CC} - V_P} = t \cdot \ln \frac{V_{CC}}{V_{CC} - hV_{CC} + V_D} \cong t \cdot \ln \frac{1}{1 - h}$$

utilizzando il valore  $\eta_{\min}$  dell'UJT 2N2646 risulta che  $V_p=6,04\text{ V}$  e che  $T = 1,09 \tau$ .

Per quanto concerne lo stadio amplificatore a BJT sarà opportuno osservare che il transistor Q1 (BC328), amplifica il segnale presente ai capi di R4 ed invia la sua uscita ad un piccolo altoparlante ( $8\ \Omega$  100 mW); durante la carica di C1 il BJT Q1 è OFF e non fornisce alcun segnale all'altoparlante AP, durante la scarica di C1, Q1 passa in stato ON ed alimenta AP. Il diodo DL1 posto in parallelo all'altoparlante, fornisce una indicazione visiva sul funzionamento del circuito ma soprattutto sul effettivo collegamento di AP al circuito. DL1 risulta normalmente polarizzato inversamente ma la natura induttiva dell'altoparlante mantiene in circolazione una corrente che permette a DL1 di accendersi. Tutto ciò si verifica quando il BJT Q1 si interdice, in tal modo l'energia magnetica accumulata nell'altoparlante, grazie all'induttanza presente in esso, tende a mantenere la circolazione di corrente la quale chiudendosi nel diodo provoca la sua accensione (DL1 viene polarizzato direttamente da AP vedi ultimi tre grafici a pag. 6). DL1 si comporta da diodo volano, cioè permette la scarica dell'energia sulla resistenza interna dell'altoparlante. Il diodo ha anche la funzione di proteggere il BJT nella fase di interdizione; in sua assenza infatti, ai capi dell'altoparlante vi sarebbe una ddp elevata che potrebbe superare  $BV_{CE0}$ .

I grafici di seguito riportati (rilevati sperimentalmente in laboratorio con un oscilloscopio HP 54601A interfacciato con PC) illustrano nell'ordine le misure effettuate sul circuito di fig. 8 nei punti E, B1, B2 (2 grafici per ognuno dei punti di misura).





**Bibliografia:**

- AN293      *UJT Theory and Characteristics*      Motorola Inc. 1972
- AN294      *UJT Transistor Timers and Oscillators*      Motorola Inc.