

# TDA 1022: Linea di ritardo Bucket-Brigade per la realizzazione degli effetti di riverberazione, vibrato, eco ed effetto coro negli organi elettronici e negli strumenti musicali

Per caratterizzare in maniera completa un segnale analogico con larghezza di banda B occorrono almeno  $2B$  « campionamenti » al secondo dello stesso segnale. Immagazzinando questi « campionamenti » sotto forma di cariche nei condensatori di un particolare registro a scorrimento, quest'ultimo potrà trasformarsi in una linea di ritardo di segnali analogici. Il trasferimento di una informazione analogica in un registro a scorrimento ha rappresentato fino a poco tempo fa, un arduo problema al quale soltanto oggi, con l'introduzione del TDA 1022 in tecnologia MOS si è potuto dare un'elegante soluzione.

## 1. Introduzione

A differenza delle funzioni di amplificazione, modulazione, rivelazione di segnali analogici (per cs., b. f. e video) per i quali da tempo esistono dispositivi e circuiti ben noti, non esistevano, fino a poco tempo fa, dispositivi elettronici economici e semplici capaci di *ritardare* questi segnali; per questi segnali si doveva infatti ricorrere a dispositivi meccanici. E' vero che è possibile ritardare un segnale analogico facendolo passare attraverso una «linea di trasmissione» quale potrebbe essere, per es., un cavo coassiale oppure una rete LC nella quale l'induttanza e la capacità distribuita del cavo vengono, per così dire, condensate in un certo numero di bobinette e condensatori. Questo tipo di « linea di trasmissione » può però essere impiegata per ritardare soltanto di pochi micro-secondi i segnali video e, corrispondentemente, di pochi millisecondi i segnali audio.

In generale possiamo dire che le prestazioni richieste da siffatte linee aumentano con l'aumentare sia della larghezza di banda del segnale da ritardare sia del tempo di ritardo che si vuole ottenere. Per esem-

pio, sappiamo che nel sistema PAL occorre ritardare il segnale di crominanza trasmesso (con larghezza di banda di circa 1 MHz), di un tempo pari a 64 micro-secondi; in questo caso, si è ricorsi al tempo impiegato dalle onde ultrasonore per attraversare una piastrina di vetro di determinate dimensioni. Naturalmente, per ottenere ciò occorre impiegare un trasduttore piezoelettrico capace di trasformare il segnale di crominanza a 4,43 MHz in corrispondenti onde ultrasonore a 4,43 MHz e, a sua volta, un secondo trasduttore piezoelettrico in grado di ritrasformare le corrispondenti oscillazioni ultrasonore a 4,43 MHz ritardate, nell'originale segnale elettrico a 4,43 MHz.

Se passiamo al campo degli impieghi audio (alta fedeltà) si sa che per simulare un effetto di riverberazione (eco) occorre ritardare il segnale audio di alcune decine di millisecondi; per ottenere questo effetto, fino a poco tempo fa, si impiegavano sistemi meccanici nei quali i segnali audio venivano trasformati in corrispondenti vibrazioni meccaniche che si propagavano, a loro volta, su strisce, piastre o molle metalliche.

- bilanciamento (tracking) perfetto di tutte le funzioni e di tutti i parametri anche nel caso di un amplificatore a 4 canali (sistema quadrifonico)
- sostituzione dei potenziometri doppi (tandem) o quadrupli mediante potenziometri singoli.
- possibilità di realizzare l'unità di controllo BF mediante modulo ad inserzione
- l'unità di controllo BF può essere sistemata lungo il « cammino » del segnale, e di conseguenza, non sono più richiesti cavi schermati.
- il controllo dei parametri in questione può essere effettuato mediante conduttori non schermati.

### Dati tecnici sommari del TCA 730

Tensione di alimentazione	$V_{8-15}$	tipica	15 V
Temperatura ambiente	$T_{amb}$	tipica	25 °C
Campo di regolazione del volume con $V_i = 100$ mV			+ 20 ... - 70 dB
Distorsione con $V_o (eff) = 1$ V	$d_{tot}$	tipica	0,1 %
Campo di regolazione del bilanciamento			± 10 dB
Tensione d'ingresso	$V_i$	<	1 V
Impedenza d'ingresso con resistore interno da 270 kΩ	$ Z_i $	tipica	250 kΩ
Resistenza di carico	$R_L$	>	4,7 kΩ
Tensione di uscita	$V_o$	<	1 V
Separazione tra i canali		tipica	60 dB
Rapporto segnale/disturbo	S/N	tipica	57 dB
Risposta in frequenza ( $\pm 1$ dB)			10 Hz ... 20 kHz
Bilanciamento canali		tipico	2 dB

### Dati caratteristici sommari del circuito integrato TCA 740

Tensione di alimentazione	$V_{8-16}$	tipica	15 V
Temperatura ambiente	$T_{amb}$	tipica	25 °C
Esaltazione bassi		>	15 dB
Taglio bassi		>	15 dB
Esaltazione alti		>	15 dB
Taglio alti		>	15 dB
Distorsione per $V_o (eff) = 1$ V	$d_{tot}$	tipica	0,1 dB
Rapporto segnale/disturbo	S/N	tipica	60 dB
Separazione canali		tipico	60 dB

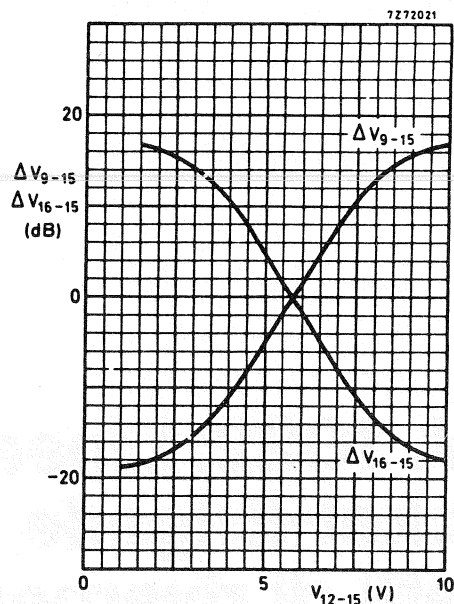


Fig. 6 - Curva controllo bilanciamento alla frequenza di 1 kHz (TCA 730).

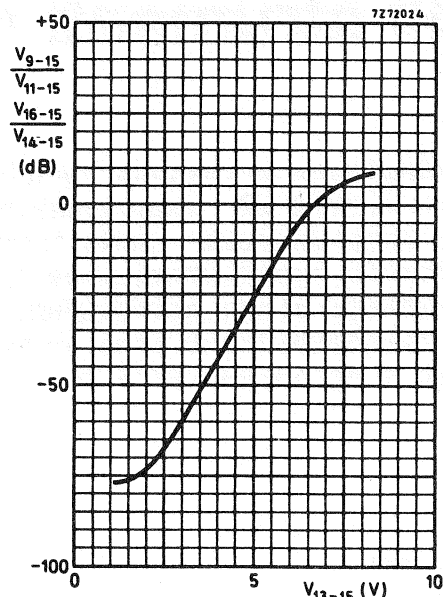


Fig. 7 - Curva controllo volume senza «effetto» fisiologico alla frequenza di 1 kHz (TCA 730).

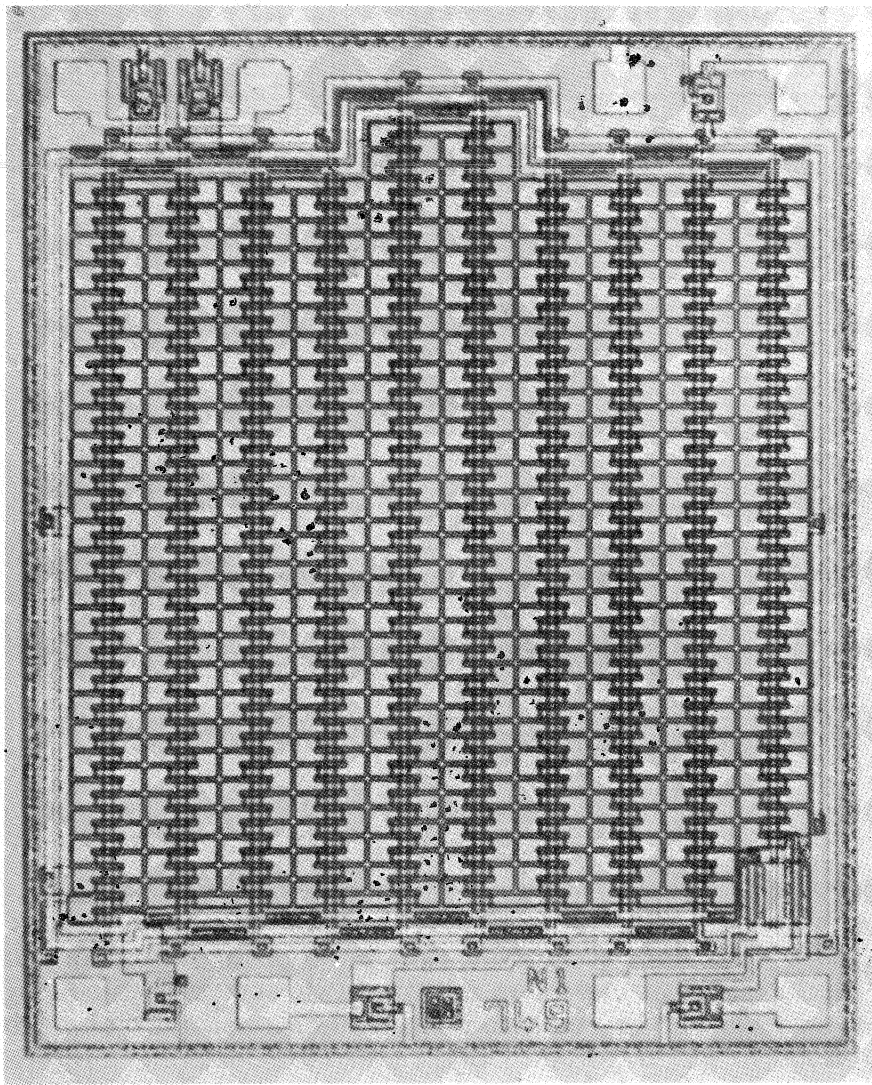
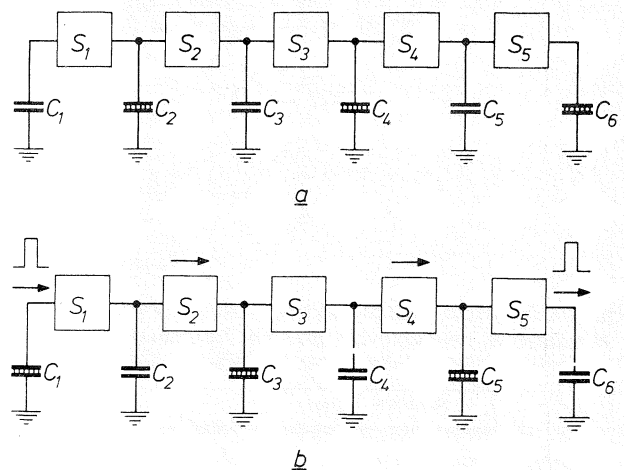


Fig. 2. - Fotografia del chip della linea di ritardo integrata TDA 1022.

L'idea di utilizzare un *registro a scorrimento* (shift-register) come *linea di ritardo* per segnali analogici risale al 1950. Il principio di funzionamento di questo particolare registro a scorrimento è molto semplice: valori « campionati » del segnale analogico vengono immagazzinati in forma di cariche elettriche in una serie di condensatori; tra l'uno e l'altro condensatore si inserisce un particolare interruttore capace di trasferire la carica da un dato condensatore a quello successivo dietro il comando di un impulso avente una certa cadenza (clock). Siccome ciascun condensatore-immagazzinatore non può prendere una nuova carica se non dopo aver trasferito al successivo la carica « vecchia », succederà che soltanto una metà di questi condensatori saranno in grado di trasportare l'informazione mentre quelli intermedi rimarranno « vuoti ». In fig. 1 è illustrata schematicamente una linea di ritardo siffatta; questo tipo di linea di ritardo viene chiamata *bucket-brigade*, e cioè, « brigata dei secchi », per analogia al comportamento dei vecchi pompieri i quali, per spegnere un incendio facevano il passamano dei secchi (buckets) di acqua.

Fig. 1 - Principio di funzionamento di un registro a scorrimento (bucket-brigade circuit). « Pezzi » di segnale vengono prima immagazzinati, sotto forma di cariche, nei condensatori, e successivamente trasferiti da sinistra verso destra dagli « interruttori » S.

Con riferimento alla fig. 1 (a) vediamo che i condensatori *pari* (C2, C4, C6) sono « pieni », trasportano cioè l'informazione mentre quelli intermedi (C1, C3, C5) sono « vuoti »; in (b), l'informazione viene trasferita ai condensatori *dispari* mediante gli interruttori S2 e S4, mentre una nuova porzione del segnale analogico viene applicata a C1, e una corrispondente por-



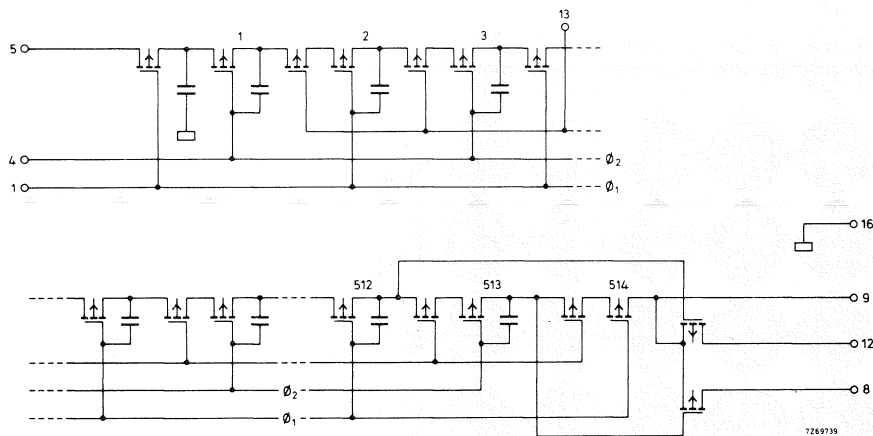


Fig. 3 - Schema elettrico del TDA 1022 e indicazione dei terminali.

- |                                    |   |
|------------------------------------|---|
| 1 - ingresso clock 1 ( $V_{cl1}$ ) | 9 - alimentazione negativa ( $V_{DD}$ ) |
| 2 - non collegato                  | 10 - non collegato                      |
| 3 - non collegato                  | 11 - non collegato                      |
| 4 - ingresso clock 2 ( $V_{cl2}$ ) | 12 - uscita 512                         |
| 5 - ingresso segnale               | 13 - gate tetrodo ( $V_{13-16}$ )       |
| 6 - non collegato                  | 14 - non collegato                      |
| 7 - non collegato                  | 15 - non collegato                      |
| 8 - uscita 513                     | 16 - massa (substrato)                  |

zione del medesimo viene trasferita all'uscita. Nella fase successiva, l'informazione viene « passata » ai condensatori pari, e così via. Questi « interruttori » vengono azionati alla frequenza di campionamento del segnale analogico; con la differenza però che gli interruttori *pari* e quelli *dispari* funzionano con uno sfasamento di  $180^\circ$ , vale a dire con una differenza di fase corrispondente a metà periodo della frequenza di campionamento del segnale (clock).

Da quanto sopra si conclude che la *cadenza di campionamento* del segnale e la *cadenza di funzionamento degli interruttori* possono essere ricavate da uno stesso impulso di clock.

Il tempo di ritardo  $\tau$  ottenibile da un registro di scorrimento siffatto dipenderà ovviamente dalla *larghezza di banda B* del segnale, in quanto, è noto che, per caratterizzare in maniera completa un segnale analogico, occorrono almeno  $2B$  campionamenti al se-

condo. Pertanto, per potere avere un ritardo  $\tau$  pari a  $\tau_0$ , il registro dovrà essere in grado di immagazzinare  $2B \tau_0$  campionamenti (nel caso illustrato in fig. 1, ciò richiederebbe  $4B \tau_0$  condensatori), mentre la frequenza degli impulsi di clock che determina il *campionamento* del segnale nonchè lo spostamento del medesimo, dovrà avere il valore  $2B$ . E' evidente quindi che per avere un  $\tau$  più lungo occorrerà avere un registro più lungo; d'altra parte, sarà possibile ottenere un ritardo più breve senza dover cambiare la lunghezza del registro ma semplicemente aumentando la frequenza di clock. Si vede quindi come il ritardo può essere regolato in maniera continua semplicemente variando la frequenza di clock; questa ovviamente non dovrà mai essere inferiore a  $2B$ .

Fino a poco tempo fa, non era stato possibile ottenere una linea di ritardo da un registro a scorrimento a causa dell'inevitabile complessità e quantità

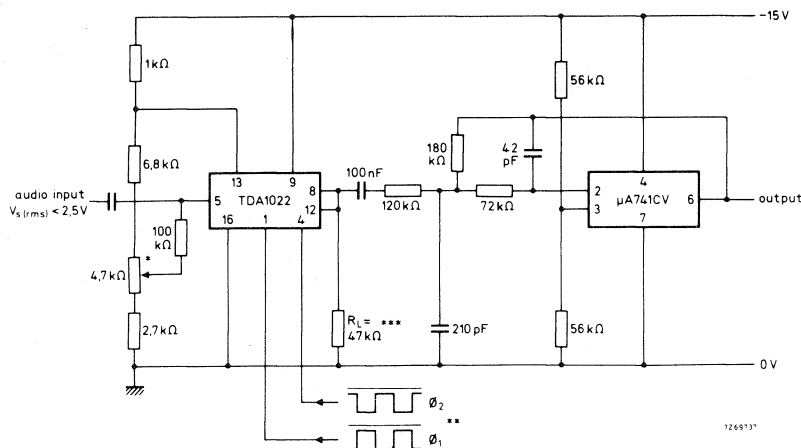


Fig. 4 - Esempio di collegamento di un TDA 1022 munito di filtro passa-basso.

\* Regolare la tensione c.c. per un funzionamento in classe A ( $= 5V$ ).

Condizioni: filtro passa-basso  $\mu A741CV$  (12 dB per ottava).

guadagno = + 3,5 dB

$f_s = 50 \text{ kHz}$  (min)

frequenza di taglio = 15 kHz

\*\* ampiezza della tensione clock d'ingresso:  $V_{cl} = -15V$ .

\*\*\* può essere sostituito da una sorgente di corrente di valore compreso tra 100 e 400  $\mu A$ .

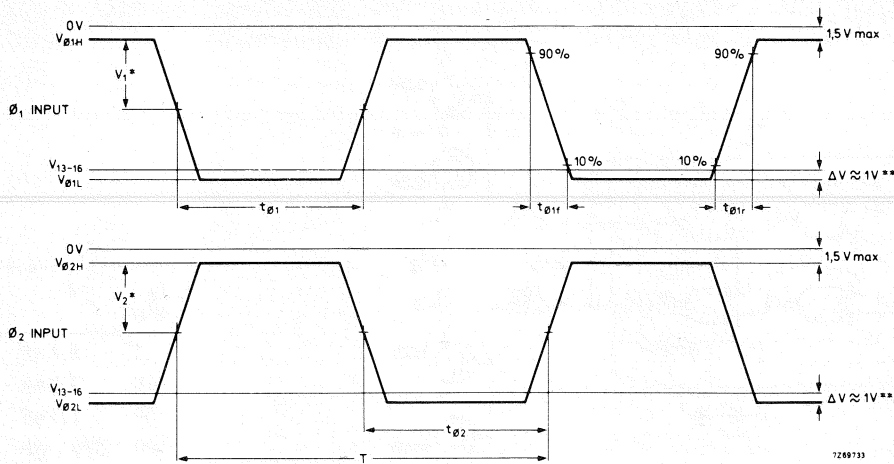


Fig. 5 - Cadenza degli impulsi di clock nel TDA 1022.

\*  $|V_1 + V_2| \leq |V_{q1L}|$ ;  $V_{q1L} = V_{q2L}$ .

\*\* per l'espansione dinamica massima, regolare V13-16 in modo che  $\Delta V = V13-16 - V_{qL} \approx 1V$ .

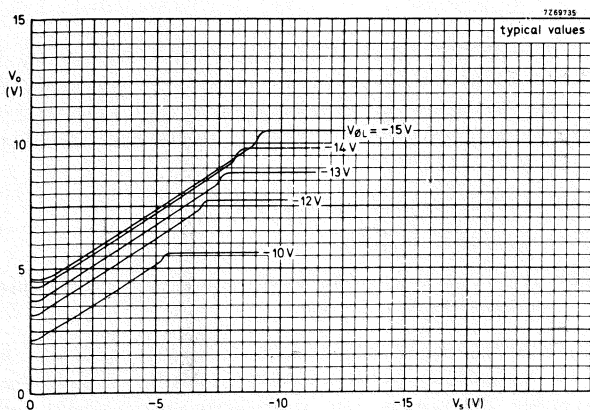


Fig. 6 - Variazione della tensione d'uscita in funzione delle variazioni della tensione d'ingresso per differenti valori dell'impulso di clock.

Condizioni:  $V_{DD} = -15V$ ;  $V13-16 = -14V$ ;  $V_{qH} = 0V$ ;  
 $f_{\phi} = 40\text{ kHz}$ ;  $R_L = 47\text{ k}\Omega$ .

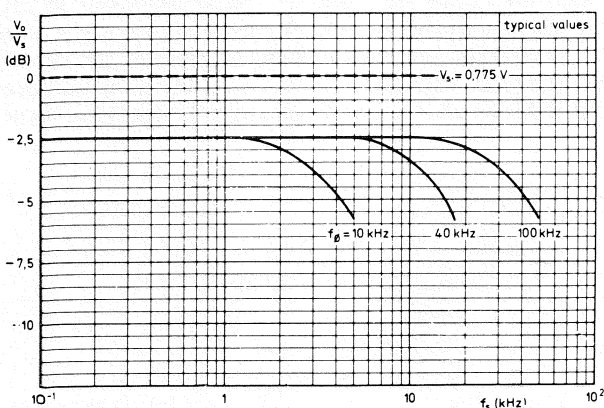


Fig. 7 - Andamento dell'attenuazione nella linea di ritardo TDA 1022.

Condizioni:  $V_{DD} = -15V$ ;  $V13-16 = -14V$ ;  $V_{\phi} = 0 - 15V$ .

degli « interruttori S », i quali, come abbiamo visto, devono assicurare un trasferimento corretto e completo del valore campionato del segnale nel successivo condensatore senza introdurre perdite.

I progressi delle attuali tecnologie MOS hanno però consentito di realizzare in maniera elegante le condizioni a cui abbiamo accennato prima; da qui è nata la linea ritardo *bucket-brigade* TDA 1022 che qui di seguito illustreremo.

## 2. TDA 1022: linea di ritardo « bucket brigade »

La linea di ritardo TDA 1022 è un registro a scorrimento in tecnologia MOS, impiegato per ritardare segnali analogici con frequenza compresa tra 0 (c.c.) e 45 kHz. Un singolo integrato TDA 1022 può effettuare un ritardo fino a 51,2 ms; ritardi di maggiore consistenza possono essere ottenuti collegando più TDA 1022 in cascata. In fig. 2 si può vedere il chip del TDA 1022.

Il principio di funzionamento di questo integrato, come abbiamo visto, è molto semplice: valori campionati del segnale analogico vengono trattenuti sotto forma di cariche in un certo numero di condensatori; tra un condensatore e l'altro è presente un « interruttore » che al comando di un impulso di clock, trasferisce la carica immagazzinata di un dato condensatore nel condensatore successivo. Siccome ciascun condensatore non può ricevere una nuova carica se non dopo aver trasferito quella posseduta al successivo succederà che, in ogni istante, metà condensatori risulteranno *carichi* e metà *scarichi*: avremo in altre parole un condensatore carico e uno scarico e così via.

Gli « interruttori » a cui abbiamo accennato prima vengono chiusi alla cadenza della frequenza di campionamento tenendo presente però che gli interruttori « pari » vengono chiusi ad una data fase della frequenza di campionamento mentre quelli « dispari » vengono chiusi in corrispondenza della fase opposta: in altre parole i condensatori vengono chiusi ad una cadenza corrispondente a *metà periodo* della frequenza di campionamento. In pratica la chiusura alternata di questi « interruttori » viene effettuata da impulsi derivati con unico segnale di clock.

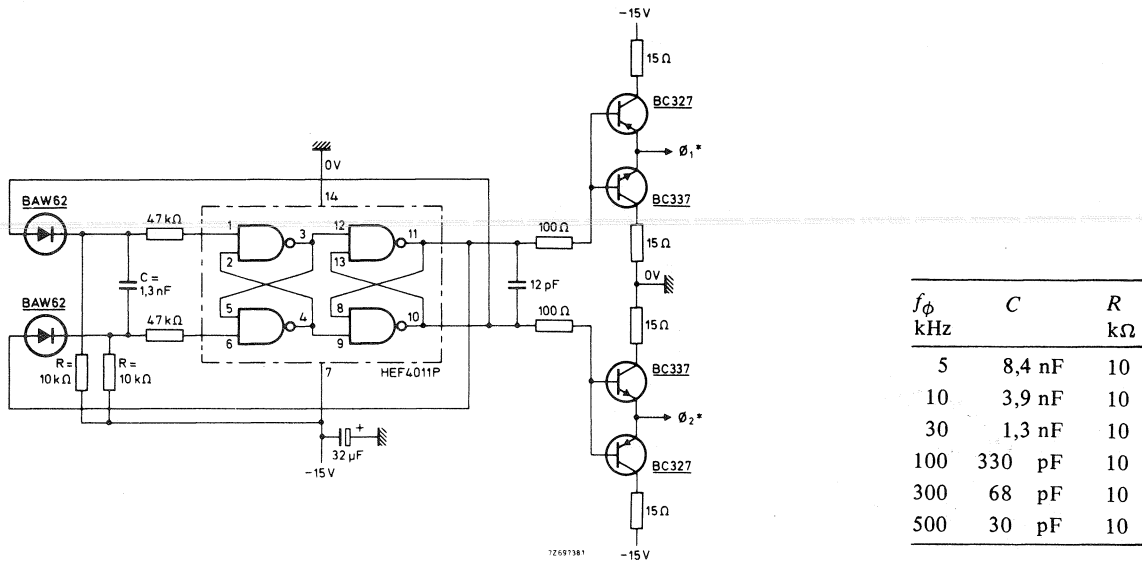


Fig. 8 - Esempio di oscillatore clock e di circuito pilota (vale per un massimo di  $10 \times TDA 1022$ ).

\*  $t_{pr}$  e  $t_{of}$  > 100 ns

Nella tabella a destra si possono vedere i valori per altre frequenze di clock.

Da ciò deriva che il numero dei « secchi pieni di acqua » (buckets) e cioè dei condensatori che indicheremo con  $N$ , e la frequenza di clock  $f_{\phi}$ , saranno i soli parametri che determineranno il tempo di ritardo  $\tau$  ottenibile.

Avremo cioè:

$$N = 2 f_{\phi} \tau$$

dalla quale

$$\tau = \frac{N}{2 f_{\phi}}$$

nella quale  $\tau$  è dato in secondi e  $f_{\phi}$  in hertz.

Il TDA 1022 è stato progettato per funzionare a frequenze di clock comprese tra 5 e 500 kHz; siccome il numero dei « secchi » (condensatori) è di 512 per integrato, si può facilmente dimostrare che il ritardo ottenibile sarà compreso tra 51,2 e 0,512 ms.

Si sa che per eliminare dal segnale campionato la banda laterale inferiore (prodotta dalla modulazione del segnale di clock), occorre che il valore più basso della frequenza di clock sia due volte più grande della frequenza del segnale campionato. In pratica, per essere sicuri della completa eliminazione delle frequenze della banda inferiore, si pone all'uscita dell'integrato un filtro passa-basso. La più bassa frequenza di clock dovrà essere compresa tra  $2f_s$  e  $3f_s$ , a seconda delle caratteristiche del filtro passa-basso.

Il circuito-base di un TDA 1022 è riportato in fig. 3; un suo possibile collegamento pratico è riportato in fig. 4. La tensione di alimentazione del TDA 1022 è  $-15 V$  (valore nominale); questa però può oscillare tra  $-10 V$  e  $-18 V$ .

I livelli dell'impulso di clock saranno:

ALTO: da  $0 V$  a  $-1,5 V$

BASSO: da  $-10 V$  a  $-18 V$  (il valore tipico di quest'ultimo è  $-13 V$ ).

La cadenza degli impulsi di clock è riportata in fig. 5; la variazione della tensione d'uscita in funzione del segnale d'ingresso per differenti valori della tensione dell'impulso di clock è riportata in fig. 6.

Il valore tipico del segnale d'ingresso è  $2,5 V_{eff}$  (corrispondente a  $7 V$  da picco a picco); quest'ampiezza del segnale d'ingresso dà una distorsione armonica complessiva pari all'1%. Il rapporto segnale/disturbo del TDA 1022 è 74 dB.

Una particolarità del TDA 1022 è la bassa attenuazione prodotta. Impiegando un resistore di carico di  $47 k\Omega$ , si ha un'attenuazione di soli 4 dB, che diventano appena 2,5 dB nel caso in cui il resistore di carico venga sostituito da una sorgente di corrente con valore compreso tra 100 e  $400 \mu A$ . Questa particolarità consente di collegare in cascata un certo numero di TDA 1022; il che succede quando si vogliono otte-

Tabella 1 - Dati tecnici principali del TDA 1022

Tensione di alimentazione	$V_{DD}$	nom. $-15$	V
Frequenza di clock	$f_{\phi}$	5...500	kHz
Numero di buckets		512	
Campo di ritardo del segnale	$\tau_d$	51,2...0,512	ms
Campo di frequenza del segnale	$f_s$	0 (c.c.)...45	kHz
Tensione d'ingresso al terminale 5 (valore picco-picco)	V5-16 (p-p)	tip. 7	V
Attenuazione della linea di ritardo		tip. 4	dB *

\* L'attenuazione può essere ridotta a 2,5 dB.

nere tempi di ritardo molto lunghi senza dovere introdurre eccessive perdite di segnale.

La fig. 7 indica come varia l'attenuazione del segnale in funzione delle frequenze audio nel caso in cui venga impiegata una sorgente di corrente; le curve si riferiscono all'impiego di un solo TDA 1022.

In fig. 8 si può vedere un esempio di oscillatore clock e di circuito-pilota. Questo circuito può pilotare fino a 10 linee di ritardo TDA 1022. Con i valori indicati, la frequenza di clock ha il valore di 30 kHz, e i tempi di salita e di discesa degli impulsi di clock sono inferiori a 100 ns.

### 3. Impieghi

La linea di ritardo TDA 1022 può essere impiegata sia in campo consumer che professionale. L'impiego tipico in campo consumer riguarda gli effetti di riverberazione, di vibrato e di coro ottenibili negli organi elettronici ed in altri strumenti musicali.

In campo professionale, il TDA 1022 trova interessanti applicazioni nei sistemi di *compressione* ed *espansione* variabile delle frasi, nelle apparecchiature di dettatura ecc. Il TDA 1022 può lavorare a temperature comprese tra  $-20^{\circ}\text{C}$  e  $+85^{\circ}\text{C}$ ; il contenitore è un DIL a 16 terminali.