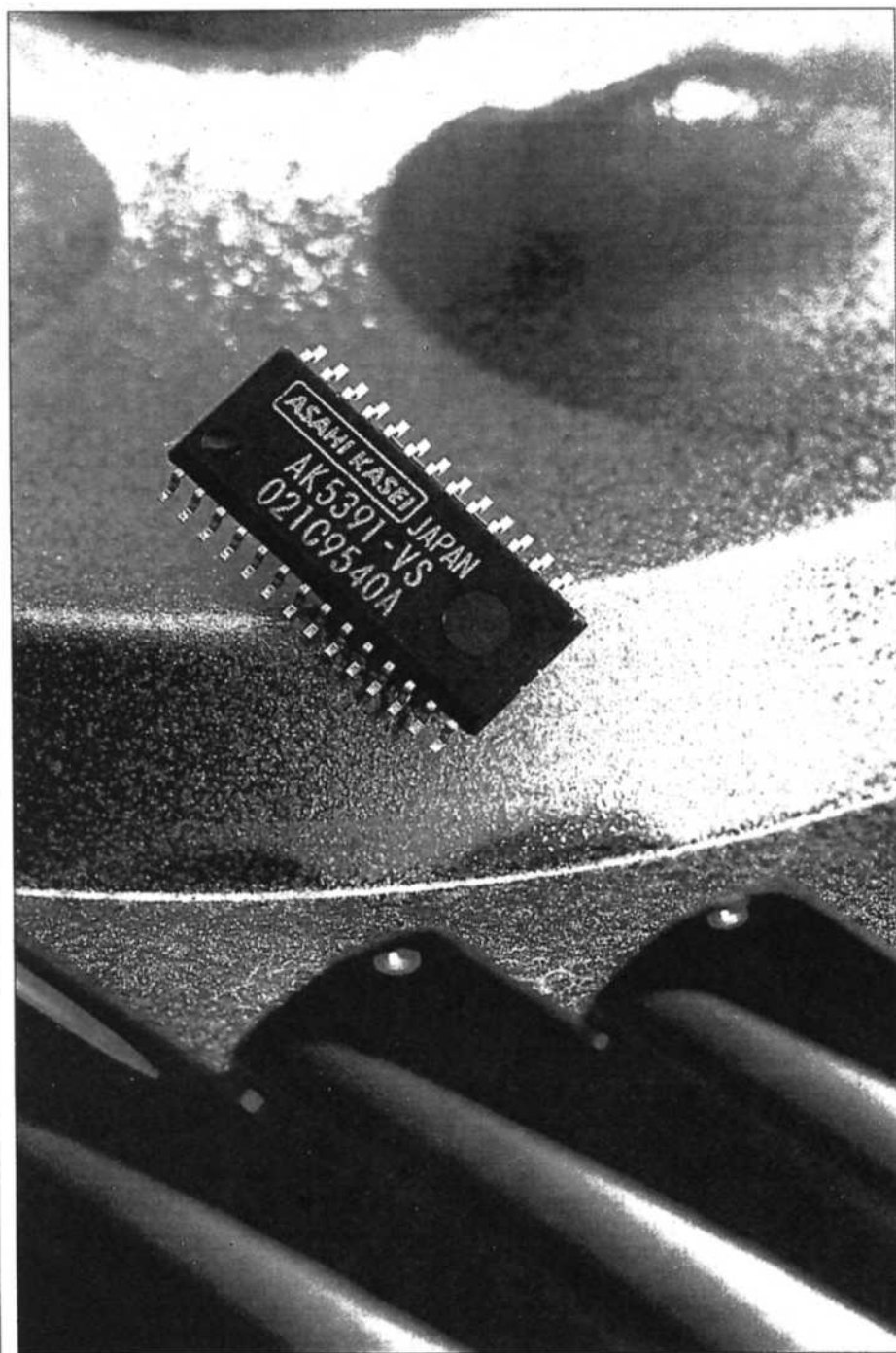


I CONVERTITORI A/D E D/A

Entriamo con questa breve serie di articoli nell'affascinante mondo dei convertitori analogico/digitali che analizzeremo prima dal punto di vista teorico e poi da quello pratico

Paolo Sbrana - 1ª parte



Sempre più frequentemente, si debbono interfacciare circuiti analogici con quelli digitali e molto spesso non sappiamo come comportarci: in questo articolo, analizzeremo le due interfacce vere e proprie per questo scopo, ovvero i convertitori analogico/digitale e viceversa.

Il passaggio dall'una all'altra tecnologia è oggi quasi obbligatorio, basti pensare che molti apparati di bassa frequenza hanno ingressi analogici, convertono i segnali in digitale, li elaborano e poi li restituiscono in analogico passando attraverso un apposito convertitore.

Ma abbiamo necessità di convertire i segnali anche in applicazioni più semplici, come la lettura di una temperatura, il controllo di una tensione o di una corrente in digitale, la lettura di una qualsiasi grandezza fisica.

Chi impiega i microcontroller per i propri circuiti, sicuramente avrà a disposizione anche chip con convertitore A/D a bordo, ma difficilmente ne troveremo con convertitore di tipo D/A.

La famiglia dei PIC16C7x, ad esempio, ha al suo interno un convertitore A/D multiplexato su più canali. Ma di che tipo è tale convertitore?

Che prestazioni lo fanno preferire a un altro? Cosa significa che la sua risoluzione è di 8 bit? Cercheremo di farvi capire queste ed altre nozioni che sono fondamentali per sviluppare interfacce complete e perfettamente funzionanti.

I convertitori analogico/digitale

Che cosa è un convertitore A/D? Un convertitore A/D è un circuito elettronico che permette di trasformare un segnale analogico in uno digitale, generalmente codificato in forma binaria, e proporzionale al segnale d'ingresso.

La prima cosa che si nota è che un segnale analogico è continuo, mentre una codifica digitale è discontinua, o meglio continua a tratti.

In Figura 1 vediamo chiaramente il concetto: supponiamo di avere una tensione che, per semplicità passa gradualmente da 0 a 8 volt.

Poiché il numero di bit a nostra disposizione è di tre (ovviamente solo per questo esempio), il passaggio da un

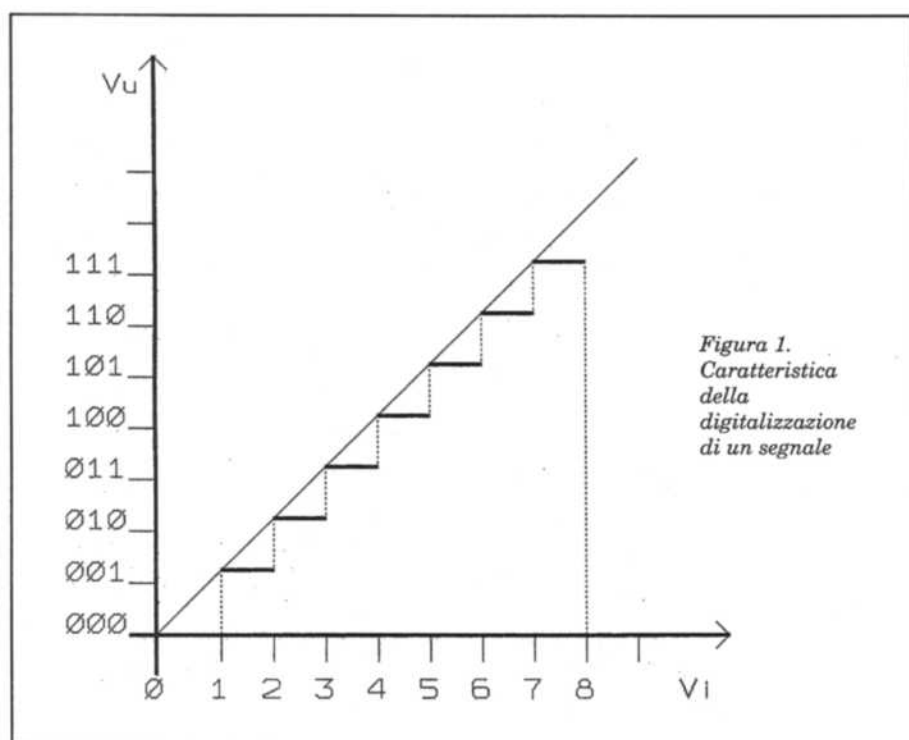


Figura 1.
Caratteristica
della
digitalizzazione
di un segnale

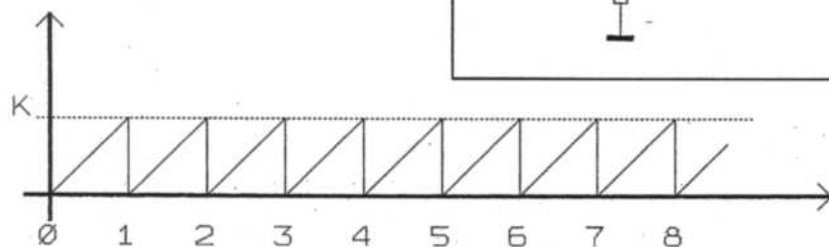
numero all'altro avviene quando la tensione di ingresso passa da una unità all'altra, e così rimane fino al passaggio successivo. In altre parole, quando il numero digitale indica per esempio 011 (3 in decimale) la tensione di ingresso potrebbe sia valere poco più di due volt, sia poco meno di tre.

Ovviamente, avendo a disposizione più bit, otterremo una precisione più stretta: già con 8 bit, avremo 8 volt diviso 2 elevato alla 8 (256) che dà come risultato circa 0,03 volt. In quel caso, ogni lettura entrerà nel range di ± 30 mV.

Quella grandezza che abbiamo chiamato precisione, in realtà rappresenta la "risoluzione", detta anche quantizzazione dal fatto che operiamo sul segnale una divisione.

La risoluzione ci indica lo scarto minimo fra un'indicazione digitale e la successiva.

Figura 2. Diagramma dell'errore di risoluzione



In Figura 2 troviamo il diagramma che ci illustra l'errore di risoluzione per l'esempio visto precedentemente.

Si nota che l'errore è tanto maggiore quanto più siamo vicini al valore successivo, ma non troppo da far commutare l'indicazione digitale di uscita.

Il convertitore A/D parallelo

Iniziamo a vedere i convertitori più comunemente conosciuti aiutandoci con la Figura 3, che mostra lo schema a blocchi di una convertitore A/D di tipo "parallelo".

Il valore di uscita viene calcolato con un partitore resistivo, opportunamente scelto, che pilota una serie di comparatori collegati a un encoder.

Supponiamo di avere i soliti tre bit di uscita: il segnale di ingresso sarà allora quantizzato in massimo otto livelli.

Tali livelli saranno decisi dal valore della tensione presente all'ingresso confrontata con quella prelevata da cia-

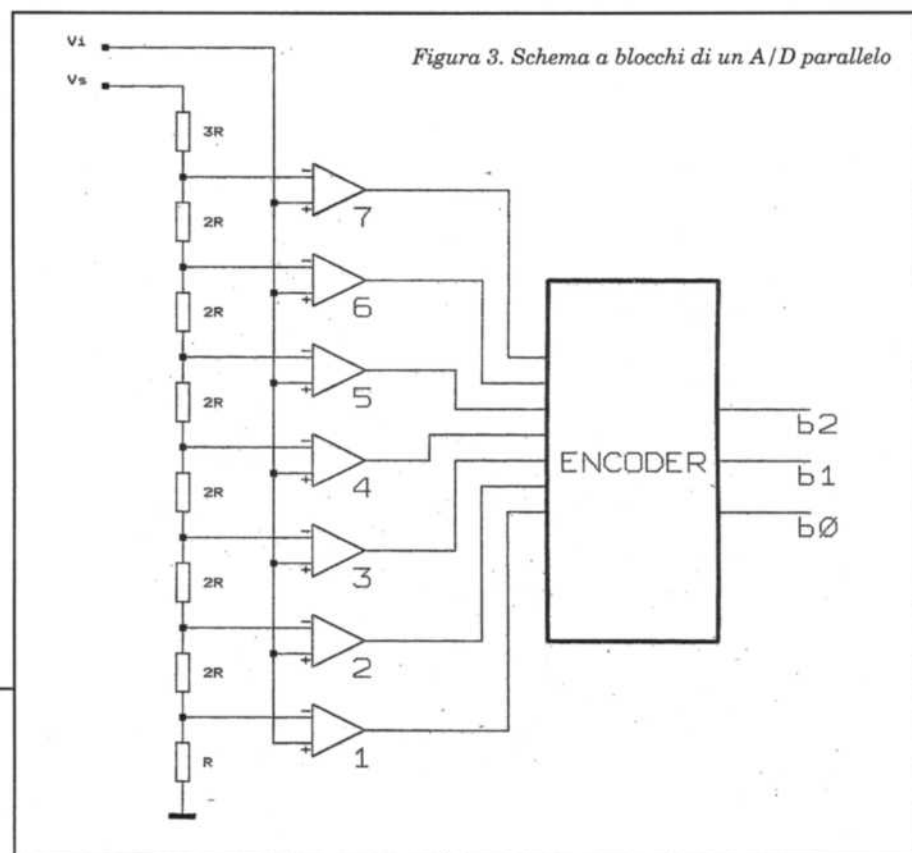


Figura 3. Schema a blocchi di un A/D parallelo

scuna comparatore sul partitore. Per ottenere poi l'uscita su soli tre bit, viene impiegato un encoder.

In questo tipo di convertitore, la conversione vera e propria viene effettuata dai comparatori, in quanto l'encoder

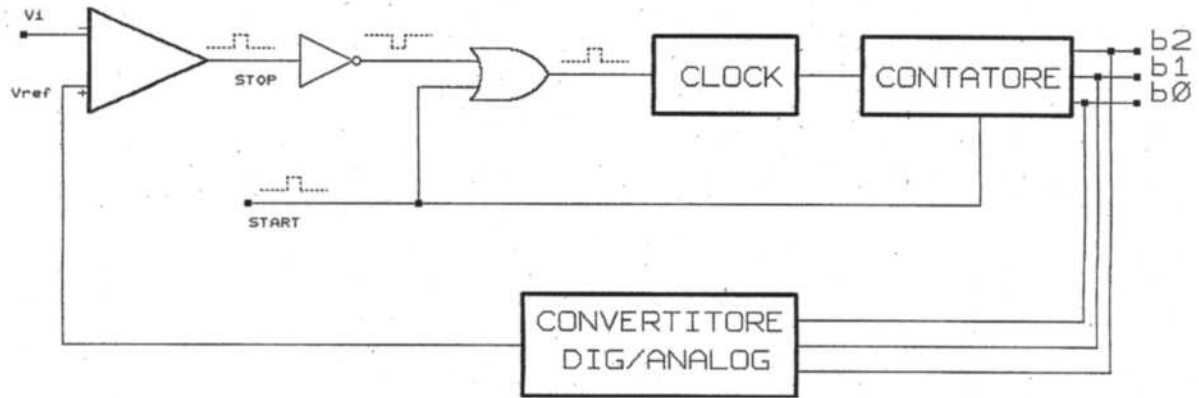


Figura 4. Schema a blocchi del convertitore a scalini

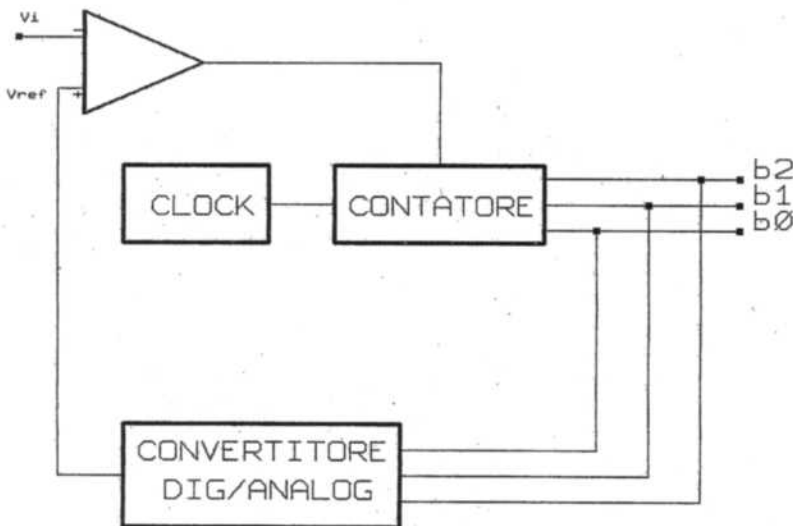


Figura 5. Converter di tipo a rilevamento continuo

lavora già su dati digitali. Se ci pensiamo bene, abbiamo impiegato molte volte un convertitore di questo tipo, magari non sapendo che si trattava di un vero e proprio convertitore A/D.

Un semplice comparatore impiegato in un crepuscolare è di per se' un converter A/D a un solo bit, in quanto converte la tensione d'ingresso in un'uscita che vale 0 oppure 1 a seconda che tale tensione sia al di sopra o al di sotto di una soglia prefissata.

Il vantaggio maggiore di questo tipo di converter consiste nell'essere molto veloce, poiché non ha circuiti sequenziali, ma soltanto una logica combinatoria.

Lo svantaggio più grande è la complessità circuitale proporzionale al numero di bit relativi alla conversione.

Questo però è un fatto relativo e non assoluto in quanto il numero dei componenti rimane comunque sempre limitato.

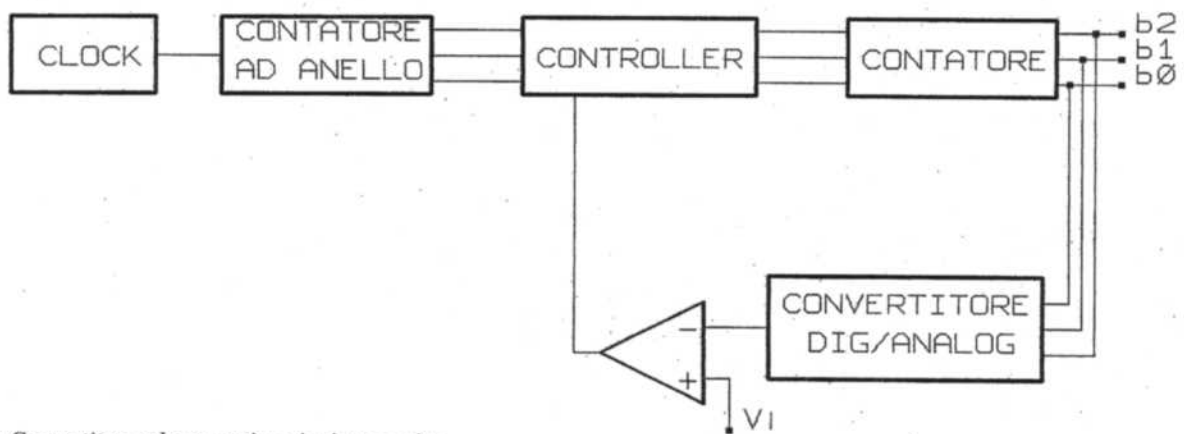


Figura 6. Convertitore ad approssimazioni successive

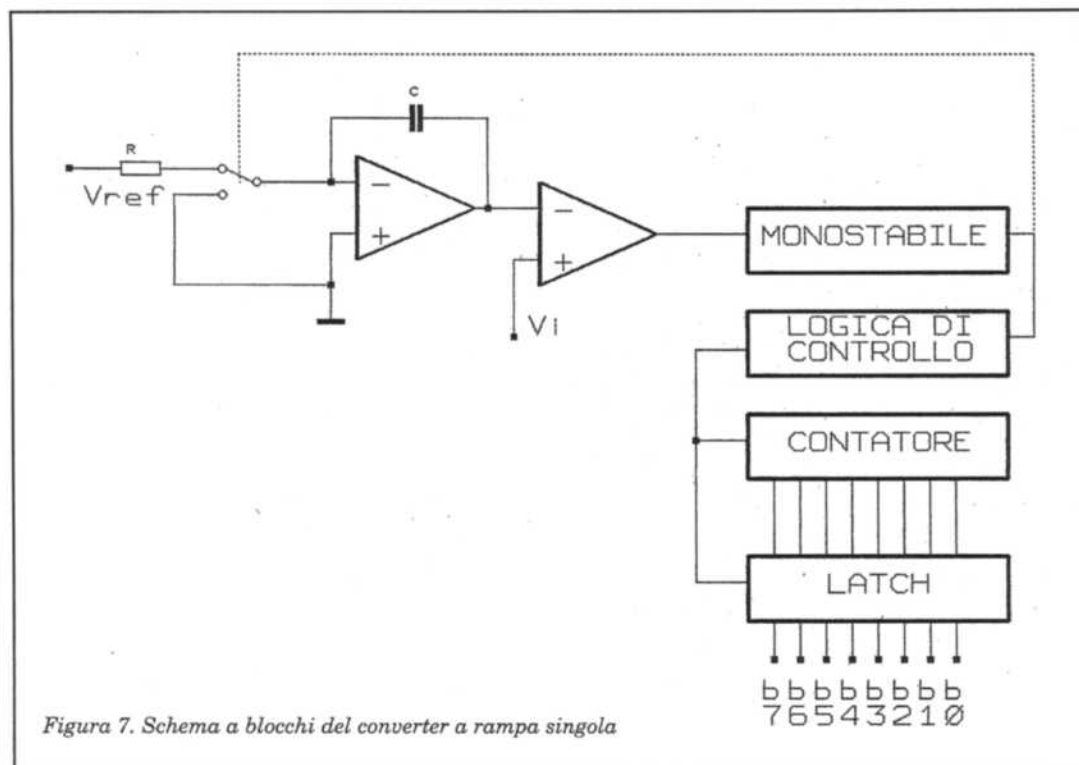


Figura 7. Schema a blocchi del converter a rampa singola

volt, il comparatore non varierà la sua uscita e quindi il generatore di clock continuerà a funzionare, portando il contatore al numero 010 (2 decimale).

Il ciclo continua a ripetersi fino a quando non si giunge al numero 101 (cinque).

In quell'istante, l'uscita del comparatore muterà, bloccando il generatore di clock e memorizzando così il conteggio effettuato.

Uno svantaggio di questo tipo di converter è senza dubbio il fatto di dover dare il segnale di start dopo ogni lettura, ma anche il non sapere di fatto esattamente il tempo che impiegherà per darci una qualche risposta.

Se la tensione di ingresso è relativamente bassa, bastano pochi colpi di clock, se è alta possono volerci fino a 2 elevato al numero di bit richiesti per la risoluzione (nel caso di 8 bit potrebbero essere necessari fino a 256 colpi di clock).

Per consentire una lettura continua della tensione presente in ingresso, sono infatti stati implementati dei converter detti "a rilevamento continuo", di cui troviamo lo schema orientativo in Figura 5.

In questo particolare converter, il generatore di clock è un cosiddetto "free running".

Il convertitore A/D a scalini

Il secondo convertitore che andiamo ad analizzare viene detto "a scalini" e ne troviamo lo schema a blocchi in Figura 4.

Tale convertitore basa il suo funzionamento sul confronto della tensione di ingresso con quella di riferimento che corrisponde ai livelli previsti dal numero di bit totali.

Il concetto su cui si basa questo converter è identico al precedente: il confronto tra due tensioni.

Ma questa volta il comparatore è unico, quindi è necessario un circuito che in qualche modo multiplexi sul singolo comparatore le otto tensioni relative ai tre bit di uscita.

Il risultato è identico al precedente, ma la velocità di calcolo è notevolmente aumentata.

Il circuito però si è liberato di tutti quei comparatori legati al singolo bit.

Per ottenere la sequenzializzazione richiesta, si inserisce un generatore di clock, un contatore binario ed un converter D/A collegati come in Figura 4.

Vediamo come funziona con un esempio, supponendo che la tensione da misurare sia di 4,3 volt e che il contatore parta dallo zero.

Con il segnale di start, il generatore di clock invia il segnale al contatore che lo conta e pone le sue uscite nella configurazione binaria relativa al numero di clock pervenuti.

Dopo il primo, avremo quindi un numero 001, che convertito dal D/A darà una tensione di riferimento di circa 1 volt (supponendo di lavorare con 8 volt massimi).

Essendo la tensione di ingresso di 4,2

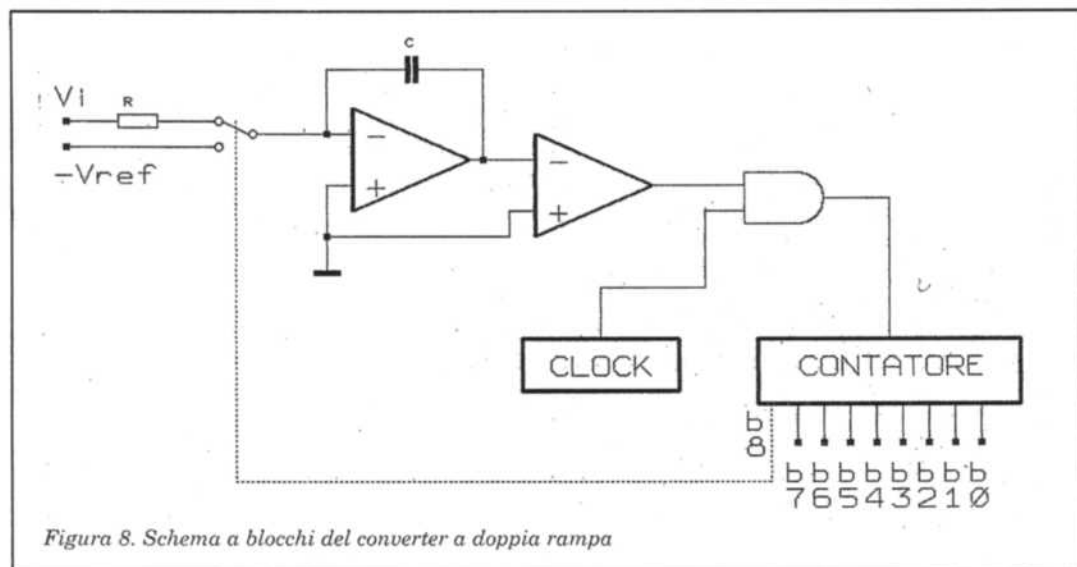


Figura 8. Schema a blocchi del converter a doppia rampa

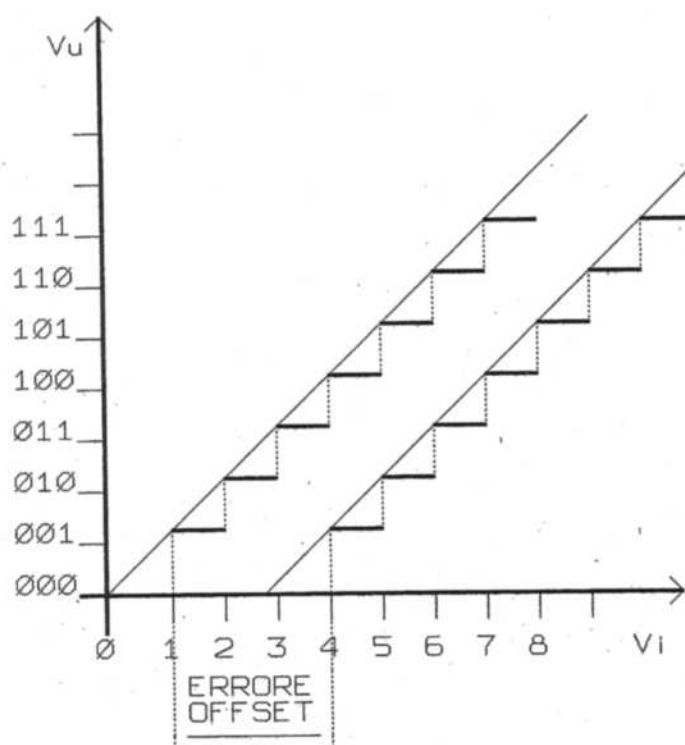


Figura 9. Errore di offset

I convertitori ad approssimazioni successive

Dato che l'handicap maggiore del precedente converter consisteva nella ridotta rapidità di calcolo, è stato realizzato il convertitore ad approssimazioni successive, il cui schema è visibile in Figura 6.

Un generatore di clock pilota un contatore detto ad anello poiché mantiene a 1 soltanto un'uscita alla volta, shifting così il contenuto.

In pratica è simile ad uno shift-register.

È poi presente una logica di controllo ed una sezione molto simile a quella vista in Figura 4 per il convertitore a scalini.

Dove sta allora la differenza? Mentre il precedente valutava la tensione di ingresso partendo dalla minima, questo esegue una ricerca detta "dicotomica", ovvero parte dal bit più significativo, lo testa, poi passa al successivo e così via.

Il numero di passaggi è identico al numero di bit della risoluzione, con un notevole incremento della rapidità di conversione.

Per esempio, se lavoriamo con otto bit e otto volt, per valutare la tensione di ingresso di 7 volt con il converter

precedente dovevamo attendere circa 220 cicli, con questo ne sono sufficienti 8. In definitiva, questo converter ha un buon rapporto tra rendimento e complessità circuitale.

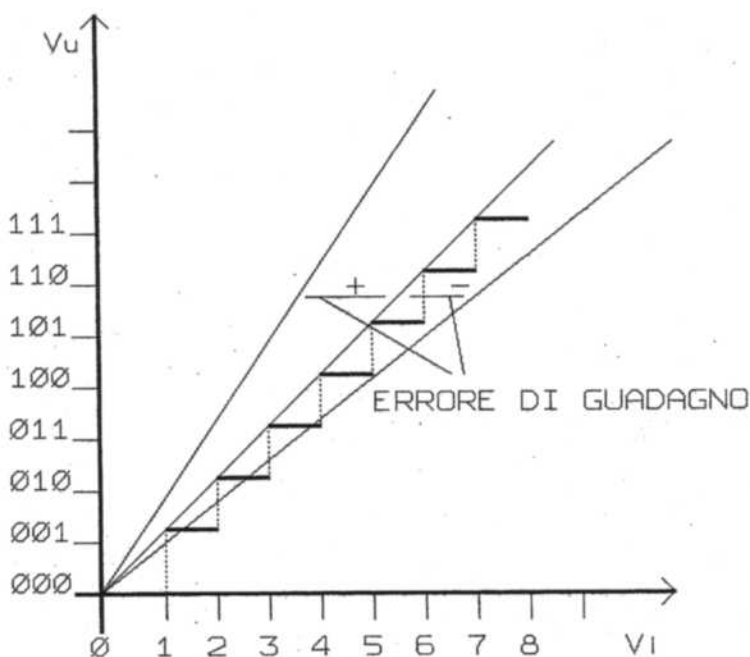


Figura 10. Errore di guadagno

I convertitori a rampa e a doppia rampa

Lo svantaggio comune a tutti i convertitori visti fino ad adesso, è l'obbligo che la tensione da leggere rimanga costante per tutto il tempo della lettura, altrimenti si corre il rischio di un calcolo non corrispondente alla realtà.

Per questo motivo, sono stati progettati converter che forniscono un'uscita proporzionale al valore medio che la tensione di ingresso assume durante il ciclo completo della conversione.

Vedremo, quindi, due converter, uno a rampa singola mostrato in Figura 7, l'altro a doppia rampa mostrato in Figura 8.

Il primo, basa il suo funzionamento sul confronto tra la tensione di ingresso ed una di riferimento a variazione continua e lineare.

Il segnale V_{ref} produce, sull'uscita di un circuito integratore (filtro) una rampa di tensione.

Quando il comparatore "vede" che i due suoi ingressi sono identici, o V_{in} supera V_{ref} , porta a zero la sua uscita che abilita il monostabile che a sua volta scarica il condensatore a massa e blocca il conteggio del contatore, abilitando il passaggio del suo contenuto nel latch.

Il monostabile si resetta, il ciclo si ripete. Anche in questo caso però, troviamo un tempo di conversione dipen-

