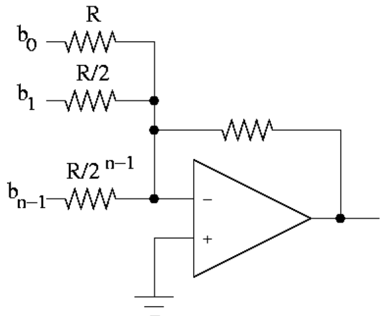
Cenni sui convertitori DAC e ADC

Paolo Subiaco

Convertitore Digitale/Analogico

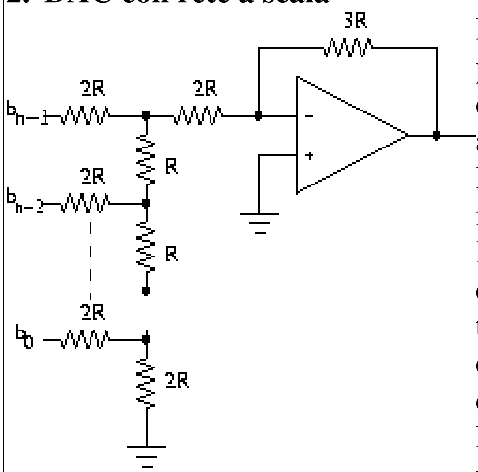
Consente di tradurre un numero a **n** bit in un valore di tensione o di corrente; **n** indica la risoluzione del convertitore, ovvero un convertitore DAC a 16 bit ad esempio consente di ottenere una uscita definibile in 65536 livelli.
Il livello massimo del segnale viene definito attraverso un riferimento di tensione che puo` essere esterno al DAC (definibile dal progettista) oppure interno (tensione fissa, spesso coincidente con la tensione di alimentazione).
L'uscita e` tipicamente lineare, ma potrebbe essere anche esponenziale al fine di ottenere una maggiore dinamica come richiesto in applicazioni di trasmissione audio.
I DAC possono essere suddivisi in due classi: paralleli (presentano **n** ingressi corrispondenti al valore da fornire in uscita) oppure seriali (il dato da rappresentare viene fornito da un microcontrollore attraverso un bus seriale tipo I2C (2 fili, SDA e SCL), SPI (3 fili, MISO, MOSI, CLK) o bus proprietario: questi ultimi risultano quindi piu` compatti (il package richiede meno piedini) e solitamente piu` comodi per la realizzazione del PCB.



1. DAC a resistori pesati

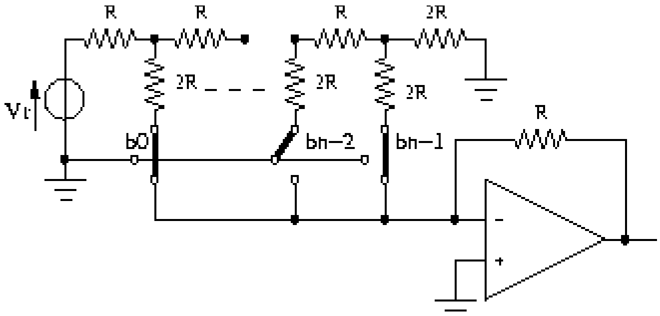
Il circuito risulta di facile comprensibilita`, ma non realizzabilita` in quanto richiede l'utilizzo di resistori di valore molto diverso fra loro, introducendo problemi a livello tecnologico.

2. DAC con rete a scala



La rete a scala (*R-2R resistor ladder network*) risulta molto utilizzata per la realizzazione dei DAC, e puo` essere utilizzata in due modi diversi. Nello schema indicato a sinistra viene utilizzato un amplificatore operazione per bufferizzare il segnale. Essendo l'impedenza d'ingresso dell'amplificatore invertente pari a 2R, viene inserita una resistenza di retroazione pari a 3R per compensare l'attenuazione introdotta. Questo tipo di circuito risulta lento in quanto la commutazione dei bit meno significativi richiedera` un transitorio lungo prima che venga avvertita all'uscita, a causa delle capacita` parassite e dell'impedenza via via crescente fra l'ingresso dell'operazionale e i bit meno significativi.
La rete a scala viene utilizzata da sola, al posto dei converitori DAC integrati, per la realizzazione di semplici applicazioni a basso costo in cui non e` richiesta un'elevata risoluzione: bastano infatti 2* **n** resistori in cui **n** e` la risoluzione che vogliamo ottenere, collegati ad esempio al port di un microcontrollore per ottenere un convertitore DAC 0-5Volt senza l'impiego di circuiti integrati che svolgano tale compito.

3. DAC con rete a scala invertita

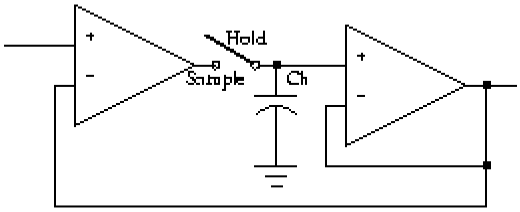


Utilizza sempre la rete a scala, ma collegata in modo diverso dal precedente per migliorare la velocita` del DAC (riduzione dei transitori durante la commutazione dei bit meno significativi).
Il funzionamento risulta semplice: l'operazionale presenta una impedenza d'ingresso nulla (cortocircuito virtuale) per cui ad ogni nodo viene vista una impedenza costante pari a R, e la corrente dal riferimento di tensione Vr si dimezzera` di nodo in nodo fino alla resistenza di terminazione (collegata a massa).

In questo modo la commutazione di un bit (indicato in questo caso con il deviatore) portera` immediatamente alla modifica del valore di corrente che confluira` all'operazionale.
Questo e` il circuito tipicamente utilizzato negli integrati ADC, in cui il deviatore indicato nello schema sara` realizzato attraverso dei mosfet.

Convertitore Analogico/Digitale

Consente di tradurre il potenziale di un segnale elettrico in un valore numerico. Spesso e` richiesto un *circuito di sample/hold* che si occupi di memorizzare il valore di tensione ad un preciso istante di campionamento e di mantenerlo finche` l'ADC abbia terminato la fase di conversione.

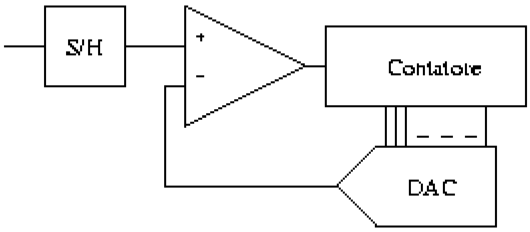


Anche in questo caso gli ADC possono essere paralleli o seriali; inoltre spesso implementano internamente un multiplexer analogico (collegato prima del circuito S/H o del convertitore) che consente di ottenere piu` canali analogici d'ingresso, selezionabili.
Essendo l'operazione di conversione A/D piu` complessa e quindi piu` lenta della conversione D/A, ogni convertitore ADC e` caratterizzato dalla velocita` massima di campionamento/conversione, che si misura in SamplesPerSecond, che puo` assumere valori tipicamente compresi fra 50 sps e 200Msps.
Possono misurare tensioni unipolari oppure bipolari (con segno, quindi positive o negative), e richiedono uno o due riferimento di tensione (valore massimo e minimo di tensione misurabile) che possono essere esterni all'integrato oppure interni.

1. Convertitore FLASH

L'ADC e` composto in questo caso da $\mathbf{2}^n$ comparatori che indicano se l'ingresso risulta maggiore o minore del valore di comparazione determinato da una rete resistiva.
Le uscite dei comparatori saranno inserite all'ingresso di un registro che fornira` le uscite ad un decoder che rappresentera` l'informazione sulla tensione in **n** bits.
Sono convertitori molto veloci (il tempo di conversione dipende solo dalla velocita` del decoder) utilizzati per applicazioni video, che pero` risultano molto complessi da realizzare (basti pensare al numero di comparatori che aumenta esponenzialmente con la risoluzione).
Non richiedono alcun circuito di S/H.

2. ADC a gradinata



Sono formati internamente da un DAC, un contatore in salita ed un comparatore: la conversione inizia posizionando il circuito di sample/hold in modalita` HOLD, inizializzando il contatore a 0 e procedente all'incremento del contatore (e quindi della tensione all'uscita del DAC) finche` il comparatore commuta; viene fornita in uscita il valore del contatore.
Si noti che il caso peggiore corrisponde alla misurazione della tensione massima, in quanto e` necessario attendere $\mathbf{2}^n$ clock affinche` termini la conversione.

3. ADC asservito

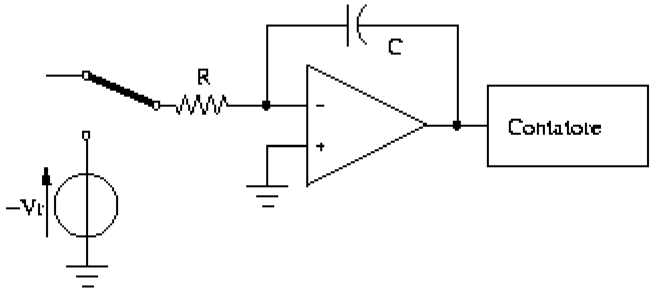
Si tratta dello stesso circuito visto sopra, in cui viene modificato il contatore in modo che conti in salita e discesa, e sia inizializzato al valore precedente di conteggio. Statisticamente parlando, il tempo di conversione diminuisce drasticamente a patto di effettuare conversioni temporalmente molto vicine sullo stesso segnale d'ingresso (quindi non ha senso l'inserimento in questo ADC di un multiplexer per leggere piu` tensioni).

4. ADC ad approssimazioni successive

Lo schema risulta simile al convertitore a gradinata, salvo la sostituzione del contatore con un *Successive Approximation Register* il quale eseguira` la conversione in **n** passi. Viene inizializzato al valore $\mathbf{2}^{n-1}$, viene eseguito il confronto ed a seconda che il valore d'ingresso sia maggiore/minore rispetto a quello fornito dal DAC, viene incrementato/decrementato il SAR di $\mathbf{2}^{n-2}$; questo procedimento viene iterato **n** volte fino all'ottenimento del numero corrispondente al valore d'ingresso. Risulta pertanto un convertitore veloce.

5. ADC a doppia rampa

Utilizzato per applicazioni di precisione, richiede un tempo di conversione molto lungo ma consente di ottenere una risoluzione ampia a piacere.



Il contatore viene resettato, il condensatore risulta inizialmente scarico ed il deviatore posizionato come in figura in modo che inizi la rampa di discesa con pendenza pari a Vi/RC (solito integratore).
Quando il contatore raggiungera` la condizione di overflow, ovvero dopo $\mathbf{2}^{n}$ conteggi, il deviatore viene collegato alla tensione di riferimento -Vr in modo che inizi la rampa di salita con pendenza pari a Vr/RC.
Quando la tensione in uscita dall'operazionale si azzerera`, il contatore viene bloccato e l'uscita di conteggio fornita in uscita.
Si noti che la precisione e` determinata esclusivamente dalla bonta` dell'operazionale (che deve risultare molto lineare ed avere impedenza d'ingresso molto alta).
Questo tipo di convertitore non presenta il circuito di S/H, che puo` essere inserito esternamente per misurare il valore di tensione campionato, oppure puo` essere omesso per misurare il valor medio della tensione. Infatti questo tipo di ADC viene utilizzato per la misura di grandezze che cambiano con frequenze molto basse (frazioni di Hz).
Per migliorare ulteriormente la precisione e` possibile eseguire piu` rampe (4, 6 rampe).