



Cortesia: Fluke

# Circuiti a campionamento, uno stadio delicato

Sappiamo come è fatto il convertitore ad approssimazioni successive, ma la sezione Sample & Hold posta in ingresso com'è fatta?

a cura di Flavio Criseo

**D**opo aver visto come funzionano i generatori di corrente costante e i generatori di tensione, abbiamo avuto modo di vederne il loro impiego effettivo nell'integrato LM324 (costruito da molte aziende, tra le quali National Semiconductor) in alcuni TVC e VCR.

Lo specchio di corrente è utile per comprendere come possa essere stabile lo stadio di ingresso di un qualsiasi amplificatore operazionale, i generatori di tensione sono utili per una buona efficienza dei circuiti di rilevamento.

Nel convertitore ad approssimazioni successive, non abbiamo volutamente approfondito come sia fatto all'interno lo stadio Sample & Hold.

Adesso, abbiamo gli elementi giusti per poterne comprendere meglio la sua architettura interna.

## Uno stadio fondamentale

Abbiamo visto che il convertitore ad approssimazioni successive sia un circuito molto veloce e preciso.

Ammettiamo che il segnale in ingresso sia periodico e, come spesso accade, sinusoidale.

Un segnale sinusoidale presenta un'espressione matematica del tipo:

$$v_{in}(t) = V \sin(\omega \cdot t + \varphi) \text{ dove:}$$

- V è l'ampiezza del segnale in ingresso
- $\varphi$  rappresenta la fase iniziale del segnale
- $\sin(\omega \cdot t)$  rappresenta l'andamento sinusoidale dell'onda stessa
- $\omega \cdot t$  è la pulsazione moltiplicata per il tempo t

Dato che il nostro circuito deve poter essere veloce, ci si chiede quale sia la frequenza massima che lo strumento può misurare correttamente in ingresso.

Come abbiamo detto mesi fa, il nostro convertitore A/D necessita di un certo tempo T per poter eseguire la conversione. Se la frequenza della nostra onda sinusoidale fosse troppo elevata, lo stadio A/D non riuscirebbe a convertire in tempo, sbagliando la lettura.

Esiste un limite grazie al quale è possibile stabilire la massima frequenza di lavoro di un circuito, evitando così un errato rilevamento del segnale in ingresso.

Ammettiamo che il nostro segnale abbia un'ampiezza:

$$V = \frac{V_{fs}}{2}$$

dove la  $V_{fs}$  rappresenta la tensione di fondo scala dello strumento; dato che vogliamo sapere la massima frequenza rilevabile, dobbiamo vedere il limite dell'A/D alle variazioni veloci del segnale  $v_{in}(t)$ .

Si ha quindi:

$$\frac{dv_{in}}{dt} = \frac{V_{fs}}{2} \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f \cdot t)$$

L'incertezza di conversione su di un solo bit (il meno significativo) è data da:

$$1 \text{ LSB} = \frac{V_{fs}}{2^n}$$

dove "n" rappresenta il numero di bit di cui tanto si è parlato nel nostro convertitore.

Dalle due espressioni si trova che:

$$f_{max} = \frac{2^{-n}}{T \cdot \pi}$$

Se avessimo a disposizione un A/D a integrazione (ad esempio un convertitore tensione/frequenza) con 12 bit, con un tempo di integrazione  $T = 0,04 \text{ s}$  (25 conversioni al secondo) una tensione di fondo scala  $V_{fs} = 20 \text{ V}$ , otterremmo che lo strumento non può leggere oltre la frequenza di  $f_{max} = 0,002 \text{ Hz}$ .

Praticamente è capace di leggere solamente tensioni continue.

Un A/D impiegato in un convertitore ad approssimazioni successive, sempre a 12 bit, con  $T = 1,5 \mu\text{s}$ , con  $V_{fs} = 20 \text{ V}$  riuscirebbe a leggere frequenze non superiori a  $f_{max} = 52 \text{ Hz}$ .

Come si può notare, sono frequenze troppo basse!

Questo si verifica se la sezione di ingresso è composta da un circuito A/D.

Impiegando, invece, lo stadio S&H riusciamo a ottenere una lettura elevata in frequenza perché il campionamento ci consente di avere tensioni stabili all'ingresso dell'A/D e non variabili.

Per comodità, vediamo la Fig. 1 relativa al convertitore ad approssimazioni successive e confrontiamola con la Fig. 2.

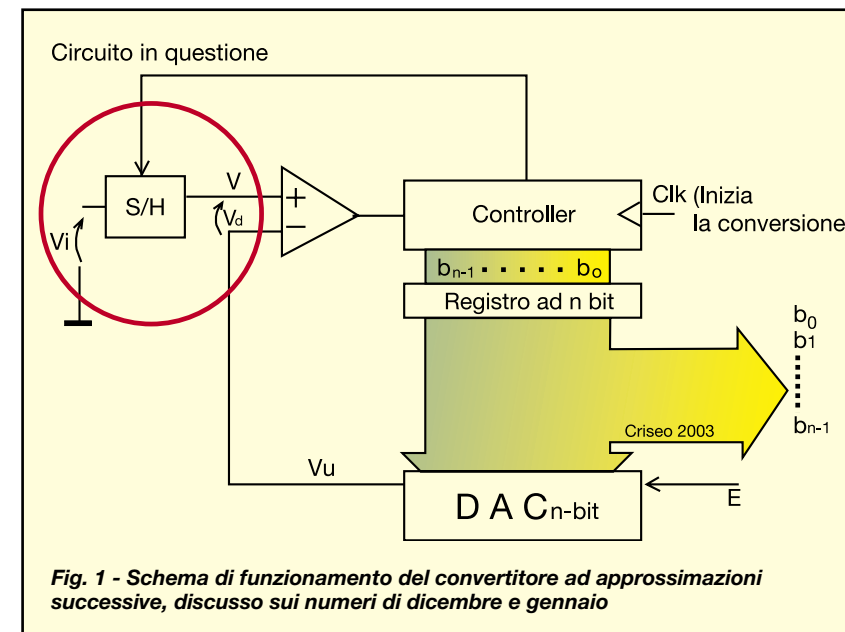


Fig. 1 - Schema di funzionamento del convertitore ad approssimazioni successive, discusso sui numeri di dicembre e gennaio

Il circuito Sample & Hold presenta un pin di controllo che, comandato dal controller, ne permette di stabilire le fasi di rilevamento (campionamento) e di mantenimento (Holding) del segnale.

È lecito semplificare con un unico blocco A/D tutta la sezione connessa all'uscita del nostro S&H.

Abbiamo già visto dettagliatamente come funziona la sezione A/D (ne consiglio la rilettura in modo da poter comprendere meglio quanto qui di seguito riportato).

Vediamo cosa deve fare il nostro S&H e in che modo è possibile ottenere il risultato voluto.

Il nostro S&H deve poter leggere una qualsiasi tensione in ingresso, mantenerla stabile per un tempo sufficiente affinché l'A/D possa convertirla correttamente e, quindi, rieffettuare la lettura in ingresso e trasmetterla all'A/D.

## In che modo lo stadio A/D "vede" l'onda in ingresso?

Vediamo la Fig. 3a e concentriamo la nostra attenzione su due istanti indicati con "a": ammettiamo che il segnale in ingresso sia un segnale qualsiasi come visibile in figura, il controller del nostro A/D invia il comando di Start al nostro S&H.

Nell'istante in cui arriva il comando, inizia il tempo "S" e, alla fine dell'intervallo, il circuito S&H isola l'ingresso, mantenendo per tutto il tempo "H" l'ultimo valore rilevato nella fase precedente.

Nel tempo "H", il convertitore A/D entra in comunicazione con l'uscita del circuito S&H rilevando questo livello di tensione e convertendolo in forma digitale.

Passiamo adesso alla Fig. 3b: appena cessa la fase di Holding, il controller invia un altro comando "Start" al nostro S&H, ma siccome

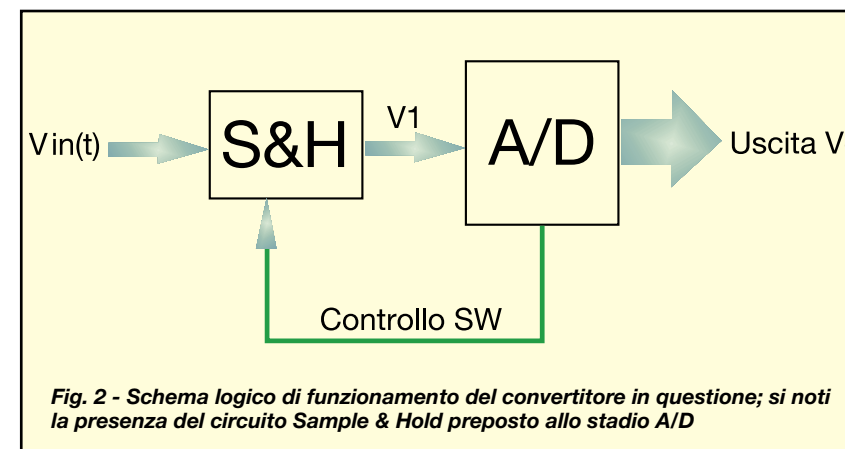


Fig. 2 - Schema logico di funzionamento del convertitore in questione; si noti la presenza del circuito Sample & Hold preposto allo stadio A/D

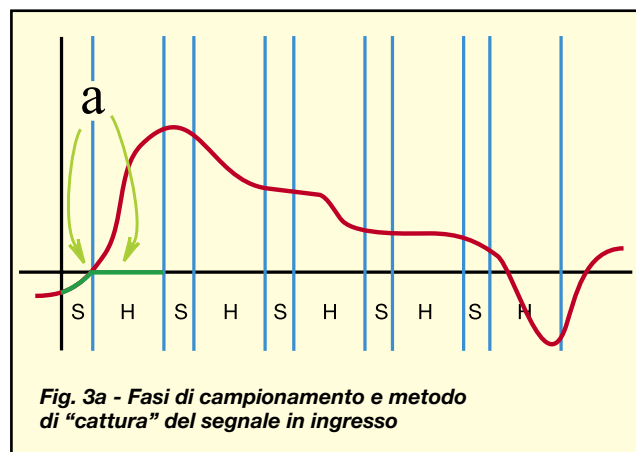


Fig. 3a - Fasi di campionamento e metodo di "cattura" del segnale in ingresso

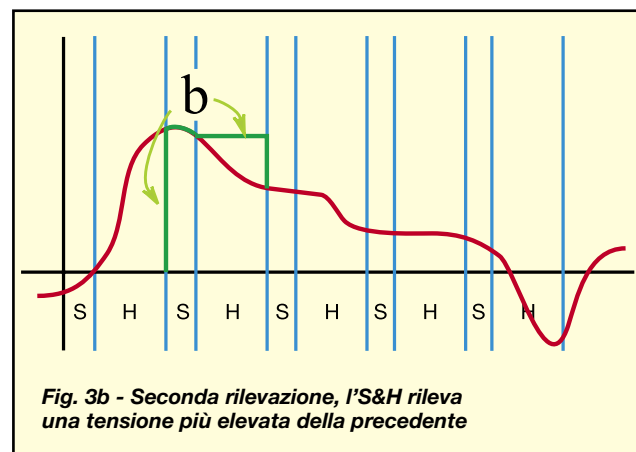


Fig. 3b - Seconda rilevazione, l'S&H rileva una tensione più elevata della precedente

nel frattempo l'onda in ingresso ha continuato a cambiare nel tempo, il nuovo rilevamento parte da un livello di tensione totalmente diverso dal precedente.

Si noti come, anche in questo caso, l'intervallo "S" è lo stesso del precedente e che alla fine di questo intervallo l'ingresso è isolato.

L'ultimo valore letto viene mantenuto costante per tutto il tempo "H" (naturalmente, anche questo tempo è uguale al tempo "H" precedente).

In questo frangente, la sezione A/D esegue la lettura e la conversione.

Nella fase successiva, Fig. 3c, il rilevamento nell'intervallo "S" riprende da un valore di tensione totalmente diverso perché, durante la precedente fase "H", il segnale di ingresso continua sempre a cambiare.

La Fig. 4 mostra come varia il segnale  $v_{in}(t)$  all'ingresso (forma d'onda in alto), come cambi il segnale dentro il circuito (grafico centrale), l'andamento della tensione in ingresso al nostro A/D (uscita dell'S&H). Da quanto visto, si noti come il circuito A/D "insegue" sempre il segnale  $v_{in}(t)$  senza mai raggiungerlo.

L'inseguimento, però, è effettuato su dei valori di tensione costanti a tratti e mai continuamente variabili (grazie alla fase di Holding eseguita dal S&H). Questo è in accordo

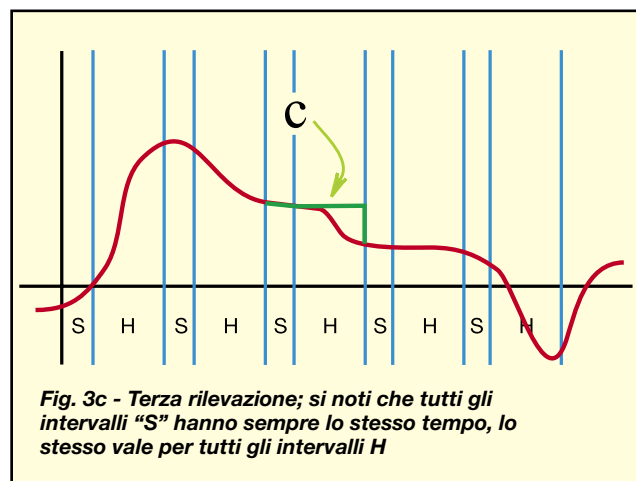


Fig. 3c - Terza rilevazione; si noti che tutti gli intervalli "S" hanno sempre lo stesso tempo, lo stesso vale per tutti gli intervalli H

con quanto detto all'inizio; infatti, l'ideale è poter avere un segnale lento all'ingresso dell'A/D, in modo da poterlo leggere correttamente.

Grazie a questa tecnica, il nostro A/D vede quindi un "surrogato" del vero segnale di ingresso che però può essere molto veloce e variabile nel tempo.

Ecco perché il convertitore ad approssimazioni successive è molto veloce, tutto è dovuto al campionamento (Sample) e alla memorizzazione (Holding) del nostro S&H.

#### Quali circuiti elettronici?

Per ottenere i risultati citati è necessario avere la capacità di memorizzare per un certo tempo la tensione rilevata e di poter immettere una nuova tensione solamente negli istanti voluti.

Guardiamo la Fig. 5 e vediamo come funziona.

Lo stadio è composto da due Op-Amp A1 e A2 rispettivamente (sul loro funzionamento ormai possiamo dire di essere quasi degli esperti).

Si noti la presenza di un interruttore SW e di un condensatore  $C_H$  posto in ingresso all'Op-Amp A2.

Chiamiamo  $V_1$  la tensione in uscita al primo operazionale e  $V_o$  la tensione in uscita al secondo operazionale.

Ammettiamo che la tensione  $v_{in}(t)$  entri in ingresso allo stadio A1 e che abbia un andamento come quello raffigurato in Fig. 6 (grafico in basso).

Gli Op-Amp sono connessi in modo Voltage Follower; questa configurazione consente di trasmettere all'uscita dell'Op-Amp la stessa tensione in ingresso senza nessuna manipolazione.

Il pregio di questa connessione consiste nel fatto di sfruttare lo stadio in ingresso dell'Op-Amp che, come detto più volte in passato, è ad alta impedenza di ingresso.

L'impedenza di uscita, invece, è sempre molto bassa.

Ammettiamo che il condensatore  $C_H$  sia inizialmente scarico e che l'interruttore SW sia aperto; se  $C_H$  è scarico allora la sua tensione è  $V_{CH} = 0V$ ; dato che A2 è un Voltage Follower, gli 0V sono trasmessi in uscita  $\rightarrow V_o = 0V$ .

Guardiamo la Fig. 6: il primo intervallo (partendo da sinistra)

mostra quanto appena detto, la  $v_{in}(t)$  ha un andamento qualsiasi anche se, dato che SW è aperto,  $C_H$  non si carica.

Nell'istante successivo, SW si chiude istantaneamente e, dato che la  $v_{in}(t)$  continua come raffigurato, il condensatore si carica con lo stesso andamento.

Nell'istante "a" l'interruttore si apre e, nonostante la  $v_{in}(t)$  continui ad aumentare, la  $V_{CH}$  rimane sul valore massimo raggiunto in quell'istante. Dato che la  $V_o$  rispecchia perfettamente la  $V_{CH}$  in uscita di A2, abbiamo lo stesso valore massimo.

Grazie al fatto che A2 è ad alta impedenza di ingresso, la tensione di carica della capacità non si scarica (in realtà il suo tempo di scarica è molto, molto lento), quindi la  $V_o$  ha un valore costante pari al picco massimo di carica raggiunto nell'istante in cui SW si è aperto.

Successivamente, SW si chiude nuovamente, ma siccome la  $v_{in}(t)$  ha un altro valore, il condensatore viene caricato secondo il nuovo andamento (in realtà la capacità si scarica perché la tensione sta cominciando a diminuire) fino all'istante "b".

Nell'istante considerato, SW si apre istantaneamente e, nonostante la  $v_{in}(t)$  continui a variare, la  $V_{CH}$  (quindi anche la  $V_o$ ) rimane al valore visualizzato.

Ad ogni "apertura" di SW, l'uscita  $V_o$  è aggiornata e rimane costante fino alla nuova riapertura dello stesso.

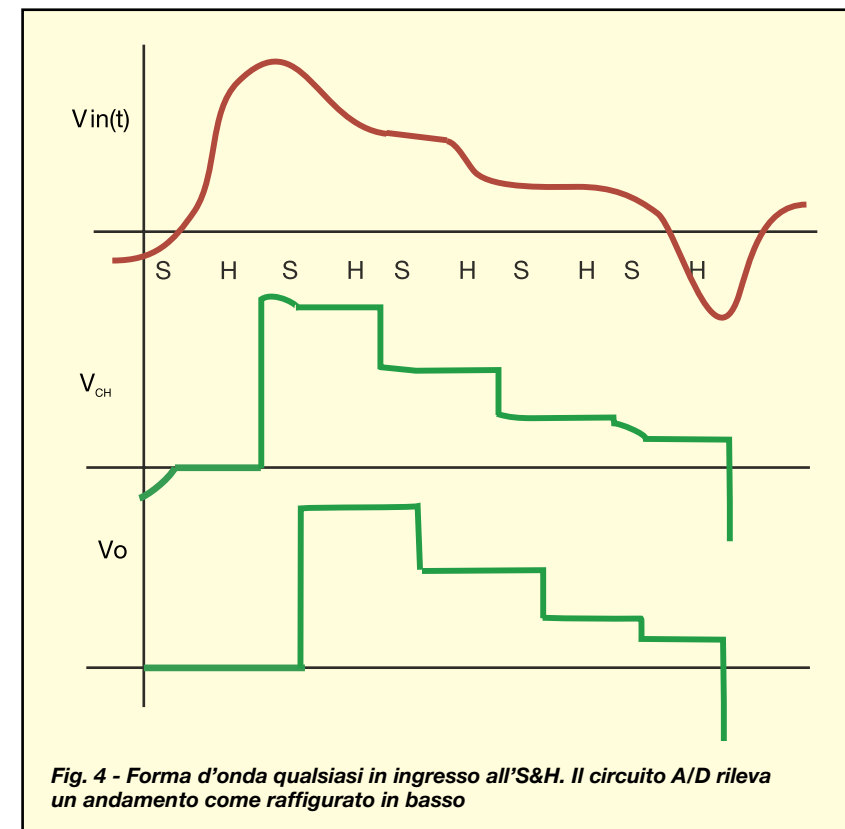


Fig. 4 - Forma d'onda qualsiasi in ingresso all'S&H. Il circuito A/D rileva un andamento come raffigurato in basso

Se negli istanti "H" potessimo inviare la tensione  $V_o$  al nostro A/D, otterremmo quanto cercato fino ad ora: un circuito Sample & Hold.

Nelle figure viste, tutti gli intervalli S&H sono stati disegnati molto ampi per poterne comprendere meglio cosa accadeva al loro interno. Nella pratica, se immaginiamo di avere degli intervalli molto stretti, potremmo dire che la  $V_{CH}$  sarebbe molto simile alla vera  $v_{in}(t)$  di ingresso.

Il nostro convertitore A/D vede sempre una tensione continua negli istanti "H" assicurandoci, quindi, una perfetta e corretta conversione digitale del segnale d'ingresso.

#### Problemi

Come in tutti gli strumenti visti, anche questo stadio ha dei limiti e/o dei difetti.

Chiaramente, conoscere i limiti che possono presentarsi non è un handicap; questo perché è sempre possibile ovviare a certi inconvenienti.

#### Offset

Un primo problema che può presentarsi è l'offset degli Op-Amp.

La tensione di offset è una tensione indesiderata che qualsiasi Op-Amp presenta in uscita, nonostante la sua tensione differenziale  $V_d$  sia nulla.

Per quanto possano essere identici i transistori che compongono l'interno degli operazionali e per quanto possano essere speculari i suoi circuiti di uscita, vi sono sempre delle piccole differenze.

Queste piccole differenze provocano dei leggeri squilibri elettrici che si tramutano in una tensione non nulla all'uscita del circuito.

La tensione di offset del primo stadio A1, per quanto piccola, si somma sulla tensione di carica della capacità  $C_H$ . Questo è un limite del circuito perché, sotto una

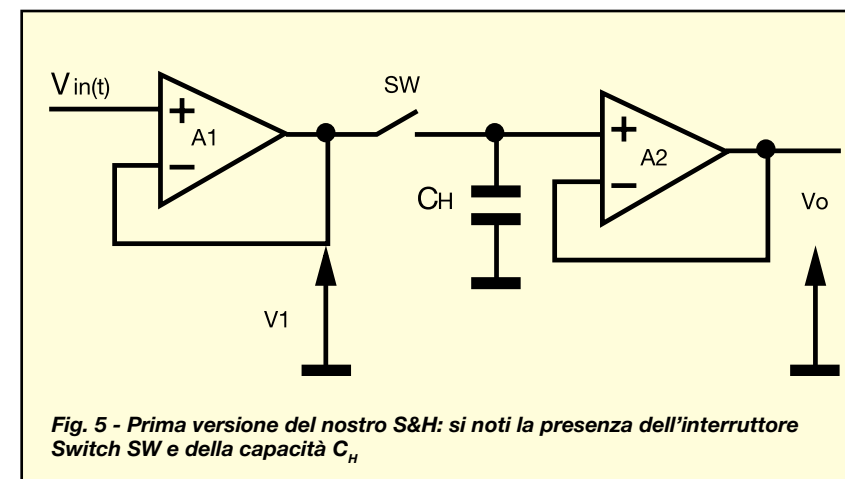


Fig. 5 - Prima versione del nostro S&H: si noti la presenza dell'interruttore Switch SW e della capacità  $C_H$



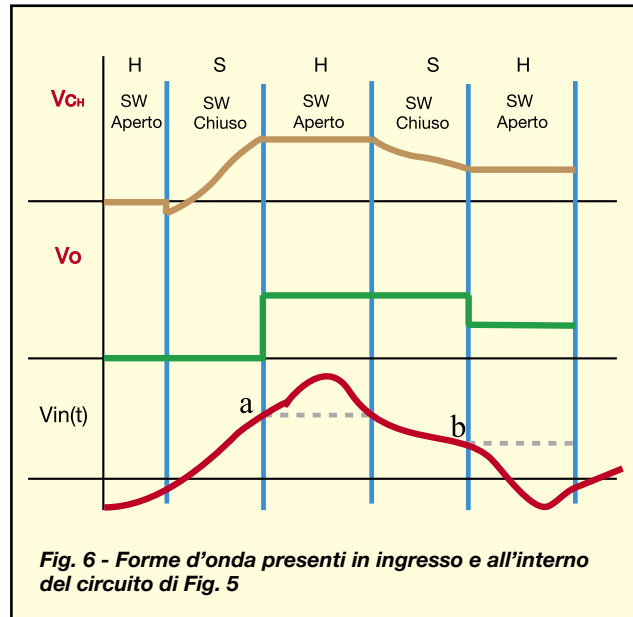


Fig. 6 - Forme d'onda presenti in ingresso e all'interno del circuito di Fig. 5

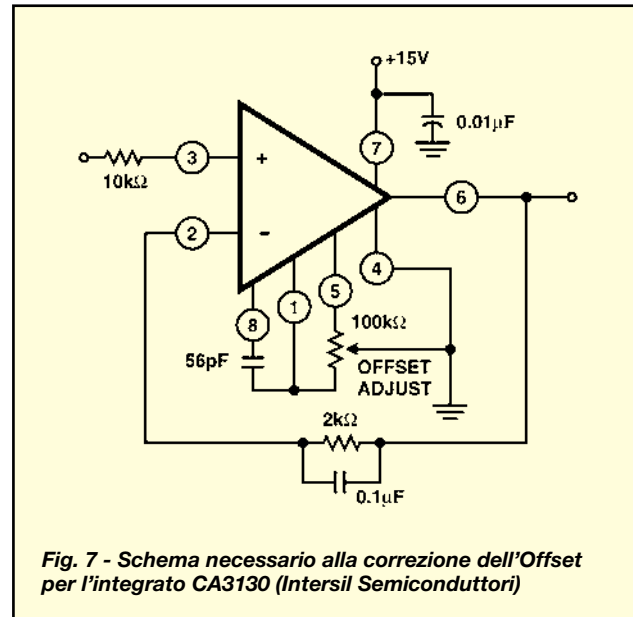


Fig. 7 - Schema necessario alla correzione dell'Offset per l'integrato CA3130 (Intersil Semiconduttori)

certa tensione (molto piccola), l'errore diviene troppo elevato.

I costruttori di Op-Amp conoscono bene questo problema e realizzano degli operazionali con dei piedini preposti alla correzione di questo errore.

Con l'impiego di un semplice trimmer esterno è, infatti, possibile correggere gli errori interni ed eliminare completamente l'offset indesiderato.

Si veda la Fig. 7; in questa figura è visibile lo schema di un Op-Amp costruito da Intersil per applicazioni specifiche (strumentazione). Grazie ai pin 1 e 5 è possibile collegare un trimmer esterno capace di eliminare eventuali imperfezioni dell'Op-Amp (si veda la figura).

**Velocità**

Se ad esempio la  $v_{in}(t)$  di ingresso avesse dei fronti di salita e di discesa molto ripidi, gli stadi A1 e A2 dovrebbero essere capaci di andare a regime nel minor tempo possibile (precisamente in un tempo inferiore a quello impiegato dal segnale per arrivare al suo massimo).

In particolare modo, lo stadio A1 dovrebbe essere molto veloce perché direttamente connesso all'ingresso del segnale da misurare.

È possibile velocizzare il circuito di Fig. 5 impiegando la variante di Fig. 8.

Come si può vedere, lo stadio A1 presenta l'ingresso invertente

direttamente collegato allo stadio A2; l'unica differenza è che questo stadio A2 è un inseguitore.

Con l'interruttore SW chiuso, la  $V_o$  tende a seguire la  $v_{in}(t)$ . La  $V_o$  arriva al pin invertente di A1, quindi la tensione differenziale  $V_d$  di A1 tende ad annullarsi.

Se la  $V_d$  tende ad essere nulla, allora A1 opera in regione lineare (sempre che sia presente il trimmer di correzione dell'offset).

La retroazione così imposta tende quindi a velocizzare la salita a regime del circuito.

Vi sono due parametri importanti che regolano l'andata a regime di un Op-Amp: lo Slew Rate (SR) e il Settling Time ( $t_s$ ).

L'andamento della  $V_o$ , quindi, è schematizzabile con la successione di due andamenti: fase di Slew-Rate (SR) e fase di Settling Time ( $t_s$ ).

Spesso si sente parlare dell'SR, meno spesso del  $t_s$ ; in entrambi i casi, però, è facile che testi e/o articoli possano essere poco chiari.

Vediamo di capire cosa sono e perché serve conoscerne la loro entità.

Guardiamo la Fig. 9 e ammettiamo che la  $v_{in}(t)$  sia l'onda quadra raffigurata.

Quando abbiamo commentato il funzionamento del circuito di Fig. 5, abbiamo sempre detto che l'interruttore si apriva e si chiudeva istantaneamente.

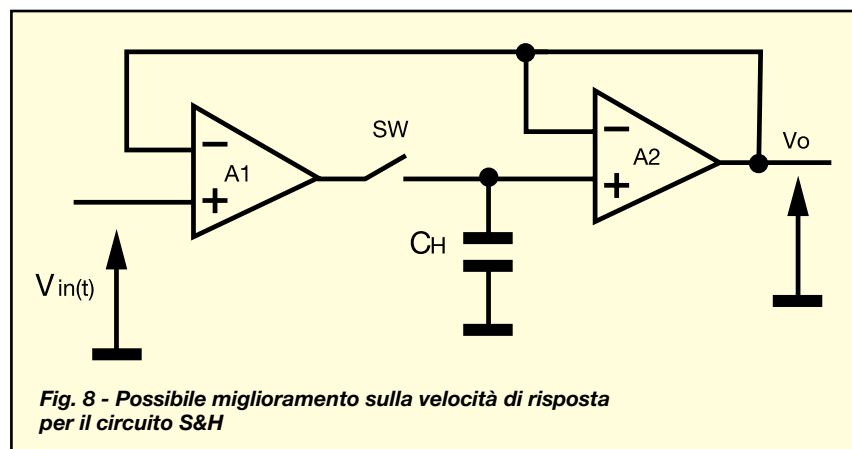


Fig. 8 - Possibile miglioramento sulla velocità di risposta per il circuito S&H

Teoricamente, affinché l'onda in ingresso carichi perfettamente  $C_H$ , anche A1 dovrebbe essere capace di rispondere istantaneamente alle variazioni del segnale.

Nella realtà, la  $V_o$  presenta delle differenze date dai limiti che possiedono gli stadi A1 e A2.

Qualsiasi Op-Amp presenta una banda passante, questa banda ci permette di stabilire le frequenze che lo stesso può riprodurre fedelmente in uscita oppure no.

La frequenza massima di risposta, però, è vincolata dall'ampiezza del segnale  $v_{in}(t)$  e dallo Slew Rate.

L'SR è espresso in  $V/\mu s$ , quindi è un parametro che indica le variazioni massime che un Op-Amp è capace di riprodurre fedelmente in uscita (senza distorsione) quando è sollecitato da un segnale in ingresso.

Con lo Slew-Rate si può comprendere se una certa frequenza in ingresso è ammessa oppure no.

La risposta che noi vorremmo in uscita è visibile in basso alla Fig. 9; al centro, invece, abbiamo la presenza di un certo ritardo di risposta sia in fase di salita sia di discesa a causa dei limiti dati da SR.

Chiaramente, l'andamento non perfetto comincia a verificarsi per frequenze maggiori della frequenza massima; per tutte le frequenze inferiori alla massima consentita l'andamento della  $V_o$  sarà considerata come il caso ideale.

Appare evidente che un Op-Amp è tanto migliore quanto alto è il suo SR.

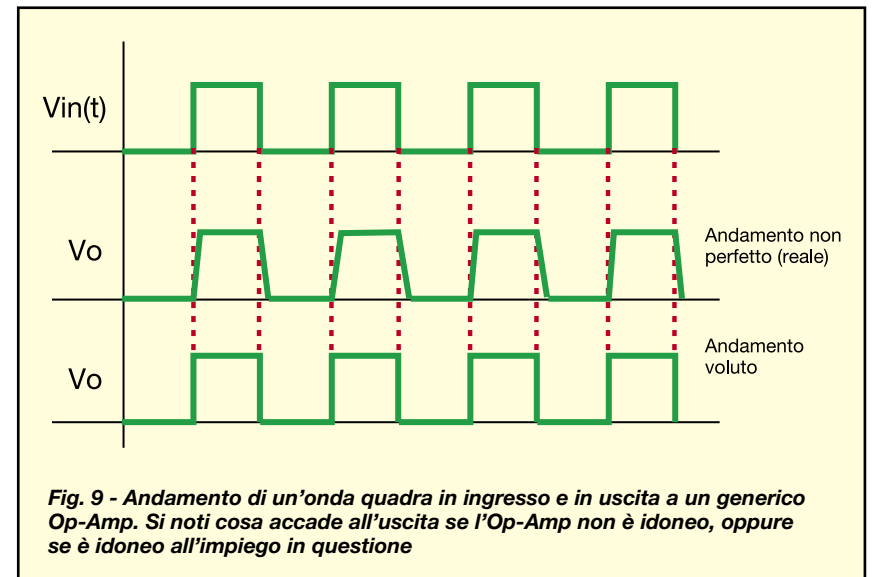


Fig. 9 - Andamento di un'onda quadra in ingresso e in uscita a un generico Op-Amp. Si noti cosa accade all'uscita se l'Op-Amp non è idoneo, oppure se è idoneo all'impiego in questione

Prendiamo nuovamente il segnale sinusoidale citato all'inizio  $v_{in}(t) = V \sin(\omega \cdot t + \varphi)$ , dato che dobbiamo stabilire la frequenza massima ammissibile nel nostro  $v_{in}(t)$ , in base allo Slew Rate datoci dal costruttore dell'Op-Amp abbiamo:  $V_o(t) = V_{om} \sin(\omega \cdot t + \varphi)$  questo perché A1 e A2 sono Voltage Follower.

Studiando le variazioni possiamo ricondurci alla velocità e quindi alla frequenza massima:

$$\left. \frac{dV_o}{dt} \right|_{max} = \omega \cdot V_{om} \leq SR$$

dato che  $\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$  abbiamo:

$$f_{max} \leq \frac{SR}{2 \cdot \pi \cdot V_{om}}$$

dove con  $V_{om}$  si è indicata l'ampiezza massima del segnale di uscita.

Come si vede dalla formula, l'ampiezza  $V_{om}$  limita la frequenza massima, infatti, maggiore è la  $V_{om}$ , minore sarà  $f_{max}$ .

Dato che siamo alle prese con dei Voltage Follower, la  $V_{om}$  non è altro che la  $V_{in}$  di ingresso, quindi, maggiore sarà l'ampiezza del segnale di ingresso, minore potrà essere la frequenza riprodotta in uscita senza distorsione.

**Facciamo un paragone fra due Op-Amp**

Il nostro CA3130 presenta un SR di  $10 V/\mu s$ , mentre l'Op TC7650 (costruzione Microchip) ha uno SR di  $2,5 V/\mu s$ .

Ammettiamo di pilotare entrambi gli Op-Amp con un segnale di  $1 V_{max}$ , per il CA3130 avremo quindi  $f_{max} \leq 1,59 MHz$ , mentre per il TC7650 avremo  $f_{max} \leq 398 kHz$ .

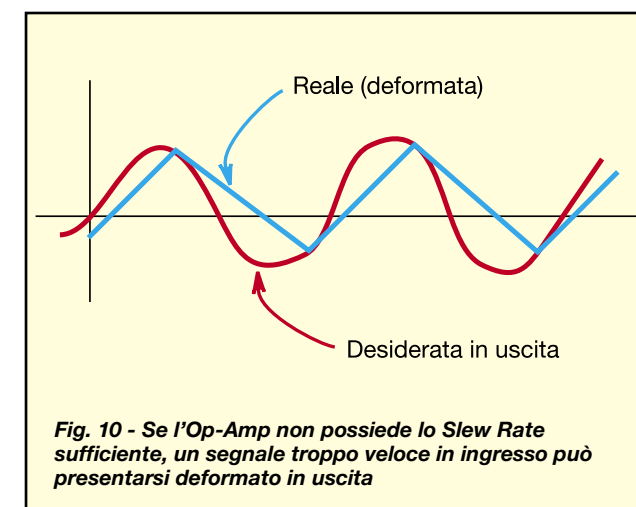


Fig. 10 - Se l'Op-Amp non possiede lo Slew Rate sufficiente, un segnale troppo veloce in ingresso può presentarsi deformato in uscita

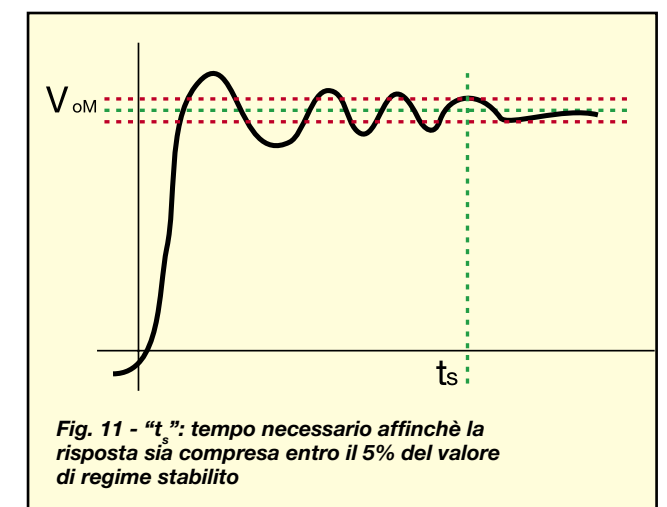


Fig. 11 - "ts": tempo necessario affinché la risposta sia compresa entro il 5% del valore di regime stabilito

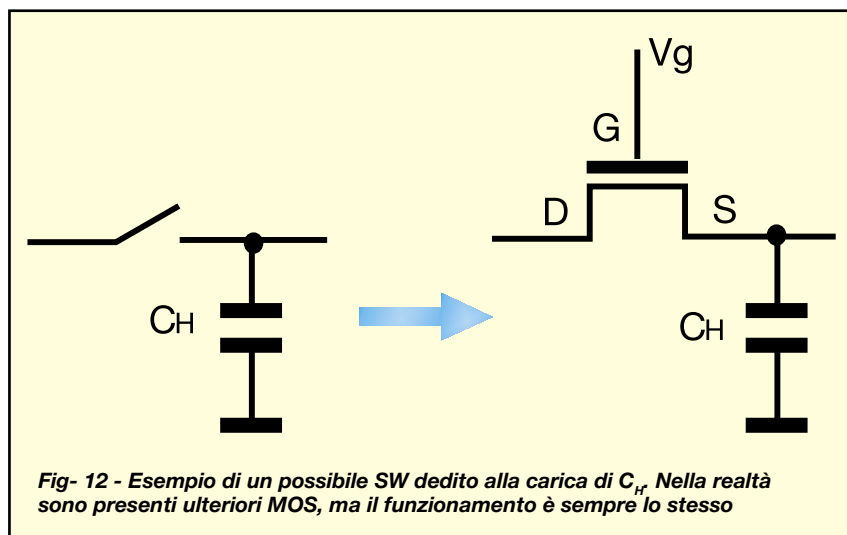


Fig- 12 - Esempio di un possibile SW dedito alla carica di  $C_H$ . Nella realtà sono presenti ulteriori MOS, ma il funzionamento è sempre lo stesso

Per tutte le frequenze inferiori ai limiti visti, i segnali non sono distorti in uscita, mentre per frequenze superiori abbiamo distorsione.

È evidente che con il CA3130 possiamo misurare segnali a frequenze molto più elevate rispetto al TC7650

### Frequenze troppo elevate

Guardiamo adesso il segnale sinusoidale  $v_{in}(t) = V \sin(\omega \cdot t + \varphi)$  proposto nella Fig. 10: è possibile vedere cosa accade in uscita, ad esempio sull'Op-Amp A1, se la frequenza supera 1,6 MHz (caso del CA3130).

Lo stadio di ingresso non riesce a inseguire correttamente l'andamento perché le variazioni sono troppo veloci.

Il risultato in uscita non è l'onda sinusoidale, ma l'onda triangolare (deformata).

Si noti inoltre che il picco dell'onda sinusoidale non è mai raggiunto dall'onda triangolare riprodotta in uscita.

Se ad esempio l'Op-Amp dovesse caricare la capacità  $C_H$  e l'intervallo "S" dovesse cadere nell'intorno del picco massimo, la  $V_{CH}$  non sarebbe mai caricata al vero valore di cresta e quindi, la  $V_o$  in uscita di A2 sarebbe errata per tutta la fase "H", quindi il convertitore sbaglierebbe la lettura.

Il parametro  $t_s$  (Settling Time) è altresì importante perché definisce il tempo minimo in corrispondenza del quale la  $V_o$  dista circa il 5% dal valore nominale di regime.

La Fig. 11 mostra cosa si intende per  $t_s$ . Anche questo parametro è sempre dichiarato dal costruttore.

Così come anche lo Slew Rate, questi due parametri dipendono, oltre che dal circuito, anche dal carico a esso applicato.

### L'interruttore SW

Come era prevedibile aspettarsi, l'interruttore elettronico SW non può essere un interruttore meccanico, bensì elettronico. Per realizzare l'interruttore non si impiegano dei comuni BJT, ma dei MOS, questo per i seguenti motivi:

1. il BJT è più lento in commutazione rispetto ai MOS;
2. il BJT presenta la  $V_{ce}^{sat}$ , mentre il MOS no.

Si veda la Fig. 12: dato che il condensatore  $C_H$  è posto subito a ridosso del MOS, la sua carica dipende dalla tensione che il MOS stesso riesce a trasferirgli.

Un eventuale BJT toglierebbe dalla carica della capacità la tensione di saturazione, quindi la  $V_o$  sarebbe sempre inferiore di un valore pari alla  $V_{ce}^{sat}$ , ma, cosa ancora più grave, per tensioni sotto la  $V_{ce}^{sat}$  il condensatore non sarebbe caricato.

Il MOS, presenta una resistenza interna (la  $R_{DS}^{on}$ ) che vincola la carica di  $C_H$  a una costante di tempo che, se pur piccola, è presente in ogni caso.

Il tempo di carica e scarica della capacità (che deve essere molto precisa) è vincolato quindi non solo allo Slew-Rate e dal  $t_s$ , ma bensì anche al  $\tau$  (costante di tempo data dal prodotto RC). Oltre a questi parametri importanti esistono altri fattori e/o problemi da tenere presente in un circuito S&H:

- ad esempio la presenza di capacità parassite (e, quindi, indesiderate) può determinare una  $C_H$  data dal parallelo di essa stessa con tali capacità;
- possono esserci errori nell'accoppiamento di clock;
- il MOS stesso crea la perdita della soglia (ricordiamo che un MOS rimane acceso fintanto che la sua  $V_{gs}$  è superiore alla propria tensione di soglia  $V_T$ ).
- utilizzare un Transfer-gate per ovviare al problema precedente;
- per ovviare alla presenza di capacità parassite è possibile adottare delle tecniche chiamate "tecnica del MosFet-Dummy";
- un altro problema è dato dalla presenza di una capacità parassita presente fra l'ingresso e l'uscita (Capacità di Feed-Through);
- c'è poi il problema dell'Hold Step variabile.

Per un buon tecnico però, non è indispensabile conoscere approfonditamente tutti questi problemi che vincolano un circuito S&H, ma è importante conoscere il principio di funzionamento dell'S&H fin qui esposto.

È facile intuire che data la vastità e la complessità dell'argomento, non possono bastare poche pagine illustrative pubblicate una volta al mese.

Chiaramente, Il Cinescopio è sempre attenta alle esigenze dei lettori, quindi, coloro che fossero interessati a una trattazione approfondita, contattino la Redazione della rivista.

Se le richieste perverranno in numero sufficiente, saremo ben lieti di trattare ulteriormente gli argomenti fin qui solamente accennati. □