

# Come misurare il valore di Enob

L'Effective Number of Bit (Enob) è un test in grado di fornire il valore reale delle prestazioni dei sistemi di acquisizione dati ed è adatto a qualsiasi condizione di impiego. La procedura per effettuare il test si basa su cinque passi principali e permette di misurare le prestazioni reali di tutta la catena di acquisizione

MATTEO MARINO

L'accuratezza è uno dei più importanti requisiti che le schede di acquisizione dati devono soddisfare affinché i risultati prodotti siano coerenti e consistenti con le informazioni in ingresso al sistema. Indipendentemente dallo specifico settore di interesse e dagli strumenti dell'apparato di acquisizione è opportuno, infatti, che la scheda costituisca l'anello forte dell'intera catena di acquisizione affinché i dati in ingresso siano tradotti perfettamente in grandezze attendibili. La valutazione dell'accuratezza specifica delle schede di acquisizione dati non è sempre agevole anche a fronte di specifiche tecniche esaustive e particolareggiate. Solitamente, nelle reali e più comuni condizioni di utilizzo, le schede a 16 bit garantiscono un livello di accuratezza non superiore a 14 bit raggiungendo, nelle situazioni peggiori, anche livelli inferiori fino a 12-13 bit. Il livello effettivo di accuratezza di una scheda può essere notevolmente differente in funzione delle applicazioni. Infatti, non è difficile verificare come, a parità di bit, il livello di accuratezza dei convertitori di tipo analogico-digitale sia diverso da quello

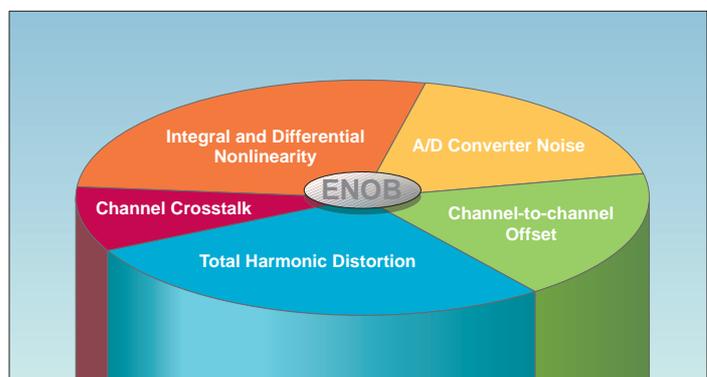
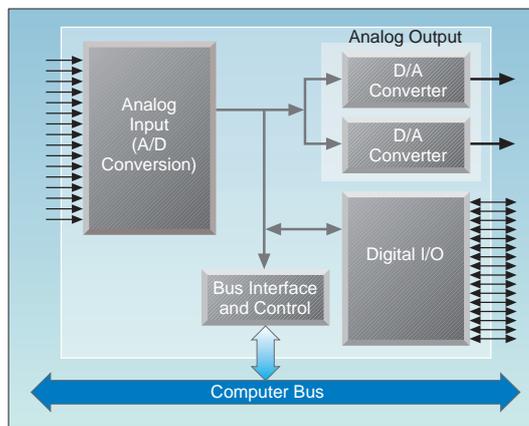


Fig. 1 - Enob valuta con precisione l'effetto combinato delle distorsioni e del rumore sull'intera catena di acquisizione, definendo il reale valore di accuratezza dei sistemi

ottenibile con circuiti di tipo analogico. Valori di guadagno superiori all'unità, tassi di campionamento elevati e variazioni ampie dei valori su tutta la scala contribuiscono, altresì, a ridurre significativamente il reale valore dell'accuratezza di tali circuiti. Il degrado dell'accuratezza, a parità di prestazioni teoriche, non può essere imputato ovviamente solo alla componente circuitale ma anche a ulteriori fattori che possono concorrere in modo sostanziale, come la temperatura, la disposizione dei circuiti o il rumore. Per stabilire quali siano le prestazioni che le schede di acquisizione dati utilizzate sul campo sono in

grado di garantire è necessario effettuare analisi specifiche di tipo dinamico con segnali di ingresso differenti e componenti di frequenze elevate con switch su diversi canali. In occasione di misure di tipo non lineare differenziale o integrativo disturbate da interferenze, la valutazione delle sole caratteristiche tecniche può, infatti, indurre in errore. Un esempio è costituito proprio dagli errori di interferenza tra multiplexer di selezione dei canali di un sistema di acquisizione dati e i convertitori analogico-digitali tali per cui il livello dell'accuratezza complessiva può ridursi sensibilmente nonostante le buone caratteristiche tecniche dichiarate. E' opportuno sottolineare, inoltre, che le schede dovrebbero costituire una barriera per il rumore di tipo digitale evitando di contaminare le misure di tipo analogico. Tale funzionalità dovrebbe preservare il livello di accuratezza anche in occasione di switch da segnali di pochi mV a segnali di valore di qualche ordine di grandezza superiore partendo da velocità limitate a tassi di campionamento elevati. Come valutare quindi il reale livello prestazionale delle schede di acquisizione dati?



**Fig. 2 - Schema di una scheda di acquisizione dati in cui è presente il circuito analogico di ingresso e di uscita, oltre all'apparato di conversione analogico-digitale**

Come essere certi che la scelta dell'apparecchiatura che stiamo per acquistare sia effettivamente quella giusta in funzione dello specifico settore di impiego? Enob (Effective Number Of Bit) è un test in grado di fornire il valore reale delle prestazioni dei sistemi di acquisizione dati adatto a qualsiasi condizione di impiego. Tale test permette di misurare le prestazioni reali di tutta la catena di acquisizione, dal segnale di ingresso all'output, su tutto l'intervallo utile del tasso di campionamento utilizzando più canali su segnali dinamici. Il presente approfondimento tecnico fornisce le indicazioni per effettuare la valutazione delle reali prestazioni delle schede attraverso un test consolidato ed efficace.

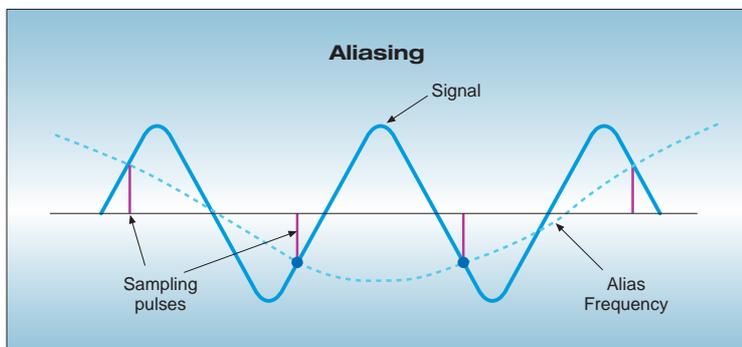
## Effective Number of Bit

La procedura per effettuare il test Enob su un sistema di acquisizione dati si basa su cinque passi principali. L'installazione della scheda di rete all'interno del PC costituisce il primo passo della procedura di test. La prova coinvolge l'intera scheda e non solo particolari sottosistemi affinché le eventuali conseguenze di tutti gli elementi

## Come misurare il valore di Enob

Il test Enob prevede l'acquisizione di 1.024 campioni di valori provenienti dal sistema di generazione dei dati di ingresso. Tale collezione di dati è successivamente utilizzata per il calcolo effettivo dei bit attraverso un algoritmo chiamato FFT. Tale algoritmo converte i valori passandoli dal dominio del tempo al dominio della frequenza così come un analizzatore di spettro affinché tali campioni assumano il peso di 1.024 frequenze acquisite. La collezione di frequenze specifiche può essere confrontata con precisione assoluta con le eventuali frequenze che inquinano i segnali di ingresso derivanti quindi solo da rumore o distorsioni provenienti dal sistema di acquisizione stesso. Il valore di Enob quindi costituisce sostanzialmente il rapporto tra il numero dei punti dotati della frequenza originale rispetto a quelli con valori di frequenza differenti. Tale rapporto, espresso in bit, rappresenta il contributo reale dell'accuratezza di un sistema di acquisizione. Un modo alternativo per esprimere il valore di Enob è dato dall'espressione SNR. Tale valore, espresso in decibel (dB) è calcolato attraverso il prodotto del valore di Enob per il coefficiente 6,02 a cui si aggiunge la costante 1,76. Quindi, per fare un esempio, un valore di Enob pari a 13,5 bit equivale a un tasso SNR di 83 dB. Enob può essere espresso, inoltre, attraverso un valore percentuale trasformando il valore originale elevandolo la costante 0,5 per il valore di Enob e trasformando il risultato in percentuale. Un valore di accuratezza dello 0,0086% corrisponde a un valore Enob di 13,5 bit. E' importante non confondere le misure dei valori di Enob con i restanti sistemi di misurazione dell'accuratezza come SNR o altri. Enob non costituisce, infatti, una specifica ma una serie di condizioni del modello stesso di test. I valori di SNR, così come tutti gli altri parametri di prestazione delle schede, possono essere confrontati solo se la valutazione delle suddette prestazioni è effettuata alle medesime condizioni di utilizzo che comprendono anche l'uso degli stessi sistemi di trasmissione. E' opportuno quindi effettuare i confronti di tipo prestazionale tra le schede e i sistemi di acquisizione solo se si è perfettamente a conoscenza delle condizioni in cui tali valori sono stati ricavati, pena l'inattendibilità degli stessi.

di disturbo possano essere valutate fino al rumore elettrico che si genera all'interno dell'elaboratore. Il secondo passo della procedura consiste nel collegare un segnale di test a uno dei canali analogici di input della scheda.



**Fig. 3 - Un campionamento a velocità troppo bassa può generare l'effetto 'aliasing' che determina un segnale fittizio non distinguibile dal segnale reale**

Sarebbe opportuno che il segnale provenga da un generatore di segnali ad altissima precisione con un'accuratezza dell'ordine almeno di 0,01%, un rumore pressoché assente e una distorsione dell'onda sinusoidale limitata. Ogni rumore o distorsione identificato dopo l'acquisizione del segnale è, infatti, attribuito alla scheda stessa.

Successivamente la procedura richiede l'impostazione del livello del voltaggio del segnale entro 1 dB dal valore massimo dell'intervallo di input della scheda oltre all'impostazione di un valore prefissato di frequenza (1 KHz), definendo quindi un riferimento per il confronto con altre schede. Il passo successivo consiste nell'impostazione di un secondo canale di ingresso sulla scheda che rappresenti il più basso livello di segnale in ingresso, mentre il quarto stadio della prova prevede la connessione della scheda con il terminale di controllo attraverso un cavo

omologato; entrambi gli elementi devono essere raccomandati dal costruttore della scheda stessa. Le scelte di tipo circuitale del test Enob assicurano la conformità con le specifiche relative al rumore CE e FCC (Federal

Communications Commission) simulando la reale installazione e utilizzazione della scheda sui sistemi di acquisizione. Il programma di test Enob richiede di effettuare specifiche prove attraverso le quali valutare le reazioni delle schede a tutte le possibili condizioni in cui saranno impiegate. Enob prevede, infatti, l'uso della scheda fino al massimo livello di throughput supportabile passando da valori di input standard a livelli minimi. Un'ulteriore analisi richiede di acquisire dati del generatore passando dall'assenza totale di segnale al valore di fondo scala, alla velocità massima concessa dal sistema valutando gli effetti delle distorsioni sul

circuito analogico. L'acquisizione di 1.024 campioni su ogni canale di input permette di soddisfare il requisito

$$\text{SNR} = ((\text{ENOB} \times 6.02) + 1.76) \text{ db}$$

$$\text{Error} = ((1/2^{\text{ENOB}}) \times 100) \%$$

**Fig. 4 - Espressioni dell'accuratezza attraverso la grandezza di SNR (Signal to Noise plus distortion Ratio) e percentuale a partire dal valore di Enob**

dell'algoritmo FFT (Fast Fourier Transform) per i programmi di test che fornisce il reale numero di bit che la scheda di acquisizione dati è in grado di offrire. Il numero di campioni elevato rende le prove adeguatamente accurate e statisticamente significative.

Ma qual è la reale accuratezza espressa dal valore di bit presentato dal test Enob? Un test Enob effettuato su schede dalle prestazioni elevate potrebbe manifestare valori di accuratezza inferiori rispetto ai valori dichiarati lasciando delusi gli acquirenti di tali apparecchiature. Schede a 16 bit potrebbero, per esempio, fornire valori di accuratezza non superiori a 13,5 bit; il livello così calcolato potrebbe dire però che l'intero sistema di acquisizione sia in



**Fig. 5 - L'algoritmo FFT (Fast Fourier Transform) converte i campioni dal tempo al dominio della frequenza affinché assumano il peso di 1.024 frequenze acquisite**

grado di fornire valori percentuali di accuratezza dell'ordine di 0,0086%, che supera ampiamente lo 0,01% solitamente richiesto ai sistemi di qualità.

### **L'analogico**

Il circuito analogico delle schede di acquisizione (Analog Front End) costituisce un'area delle schede spesso coinvolta nel calo delle prestazioni che il test Enob è in grado di evidenziare. Il multiplexer di selezione dei canali delle schede, per esempio, interagisce con i circuiti di protezione da sovratensioni e con i filtri riducendo la sensibilità ai rumori (CE, FCC). Queste interazioni possono determinare alterazioni di tipo dinamico nei filtri portando a conseguenti riduzioni della banda passante.

I resistori, responsabili dell'impostazione del guadagno degli amplificatori, possono essere fonte di rumore e riduzione della banda così come un'inadeguata strumentazione di amplificazione.

Inoltre, una strumentazione dedicata all'amplificazione con una banda troppo limitata può generare distorsioni nei passaggi veloci da basso ad alto livello di acquisizione. Anche se le grandezze convenzionali di input del segnale, come il tempo di acquisizione sui canali, l'offset canale/canale e il crosstalk, non su-bisconano gli effetti di tipo dinamico mantenendo il front end al riparo da tali anomalie ed errori, il test Enob è in grado di individuare

agevolmente le prestazioni generali di tali apparati analogici.

### **Convertitori analogico digitali**

Il test Enob è in grado di valutare le prestazioni generali di un apparato di acquisizione dati anche grazie alla sua sensibilità agli errori eventualmente introdotti dal convertitore analogico-digitale. Ogni tipo di rumore o alterazione della frequenza del segnale di test, introdotto da tale tipo di apparato, influisce sul valore netto calcolato dei bit di accuratezza anche se, solitamente, tali sistemi non costituiscono gli elementi di maggior disturbo.

### **Rumore dal sistema**

Il rumore di tipo elettrico può ridurre significativamente le prestazioni di un sistema di acquisizione dati. Tali disturbi sono introdotti dagli elementi costituenti il sistema o acquisiti direttamente dall'alimentazione della rete.

Tale tipo di rumore può essere notevolmente limitato grazie a un'accurata progettazione della disposizione di tutti gli elementi costituenti le schede. Per questo motivo i circuiti analogici dovrebbero essere sempre 'disaccoppiati' dalla rete di alimentazione e da qualsiasi altro elemento di conversione della corrente. Il valore SNR (Signal to Noise plus distortion Ratio), in tali casi, costituisce un ottimo indicatore di prestazioni. ■