

L'impatto della frequenza di campionamento sulla larghezza di banda dell'oscilloscopio

Phil Stearns
Agilent Technologies

Alcune considerazioni sulla relazione esistente tra larghezza di banda, frequenza di campionamento e profondità di memoria

Quando si sceglie un oscilloscopio per eseguire una specifica misura, la prima cosa che molti prendono in considerazione è la larghezza di banda richiesta per rappresentare fedelmente i segnali. La larghezza di banda dell'oscilloscopio dice quali frequenze dello spettro verranno preservate e quali sono le velocità di transizione massime che possono essere misurate.

Chiaramente gli oscilloscopi sono progettati in funzione della loro larghezza di banda nominale, alcuni di loro addirittura inseriscono l'informazione della larghezza di banda nel codice identificativo del prodotto. Questa specifica "pubblicitaria" definisce solamente la massima larghezza di banda ammessa dai filtri front-end dell'oscilloscopio. L'effettiva larghezza di banda dell'oscilloscopio, invece, è determinata dalla frequenza di campionamento, che a sua volta può essere limitata dalla profondità della memoria di acquisizione. In questo articolo verrà

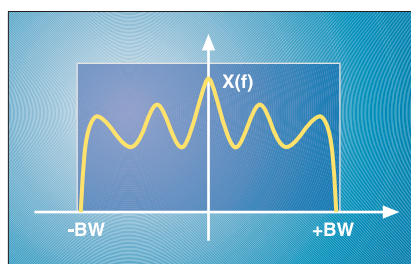
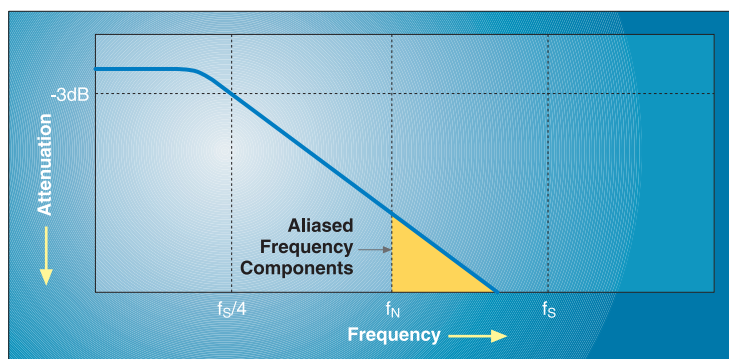


Fig. 1 - Risposta ideale (rettangolare) per il campionamento alla frequenza di Nyquist

Fig. 2 - Una più tipica risposta in frequenza



presa in considerazione la relazione esistente tra larghezza di banda, frequenza di campionamento e profondità di memoria. Di conseguenza, si potranno comprendere i compromessi che ne derivano e come sia possibile mitigarne le conseguenze per eseguire misure con maggiore fiducia nella correttezza dei risultati.

Una visita dal dottor Nyquist

Il teorema di Nyquist-Shannon sul campionamento è familiare ai più. Esso afferma che un segnale può essere ricostruito fedelmente se ricorrono due condizioni: 1) il segnale ha una banda finita; 2) la frequenza di campionamento è almeno doppia dalla larghezza di banda del segnale⁽¹⁾. Se è possibile supporre che tutti i campioni sono equispaziati nel tempo, allora ogni oscilloscopio deve mantenere sempre una frequenza di campionamento doppia della sua larghezza di banda nominale per evitare il degrado della sua larghezza di banda. Il teorema presuppone

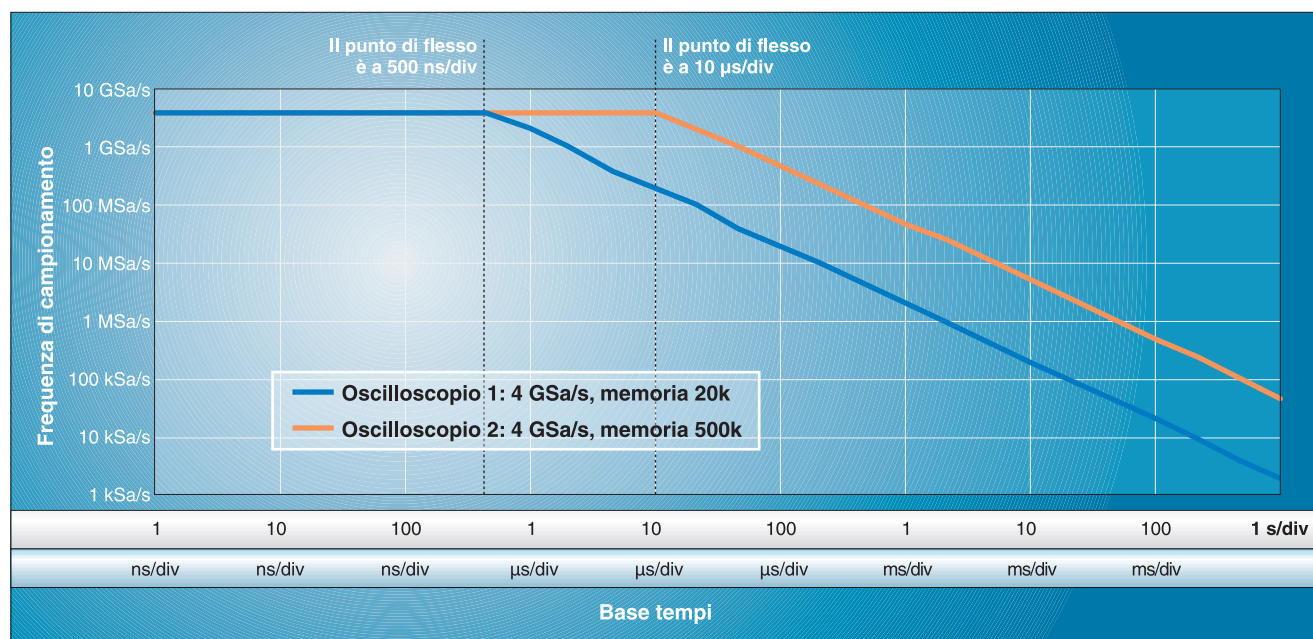


Fig. 3a - Impatto della profondità di memoria sulla frequenza di campionamento

anche di usare un filtro ideale passa-basso capace di lasciare inalterate le frequenze al di sotto di quella di taglio e di sopprimere integralmente quelle che la superano (Fig. 1). Questo tipo di risposta è nota come filtro rettangolare. Un oscilloscopio ad alte prestazioni con filtraggio hardware e software di tipo rettangolare può riuscire a funzionare con frequenze di campionamento anche solo 2 ½ volte la larghezza di banda, ma questi tipo di filtri sono generalmente poco pratici (e non desiderabili) nei normali oscilloscopi.

In un oscilloscopio tipico l'arrotondamento (roll-off) del filtro non è così "aggressivo". Questi filtri possono essere realizzati in modo più economico e la loro sensibilità all'insorgere di segnali fantasma nel dominio del tempo non è molto spiccata. Il compromesso è che si utilizza un più prudente fattore 4 di sovracampionamento del segnale (Fig. 2).

Fintanto che si mantiene un sovracampionamento 4x, la larghezza di banda nominale dell'oscilloscopio viene mante-

nuta. Però, qualunque fattore che causa la riduzione della frequenza di campionamento porta all'equivocazione delle frequenze (aliasing) che si trovano al di sotto della larghezza di banda.

Il ruolo della memoria

La quantità di memoria e la frequenza di campionamento sono due specifiche tra loro correlate. Siccome gli oscilloscopi hanno una finestra di visualizzazione fissa per ogni impostazione dell'asse orizzontale indicata in t/div, ci sono poche impostazioni nelle quali sia il tempo che la memoria sono massimizzati. Comunque, è più importante mantenere la corretta velocità di acquisizione, e quindi la banda dell'oscilloscopio, che utilizzare tutta la memoria disponibile.

Un semplice calcolo può indicare il numero di punti di dati richiesti per riempire il display:

$$\text{punti per forma d'onda} = \text{Frequenza di campionamento} \times t/\text{div} \times \# \text{ di divisioni}$$

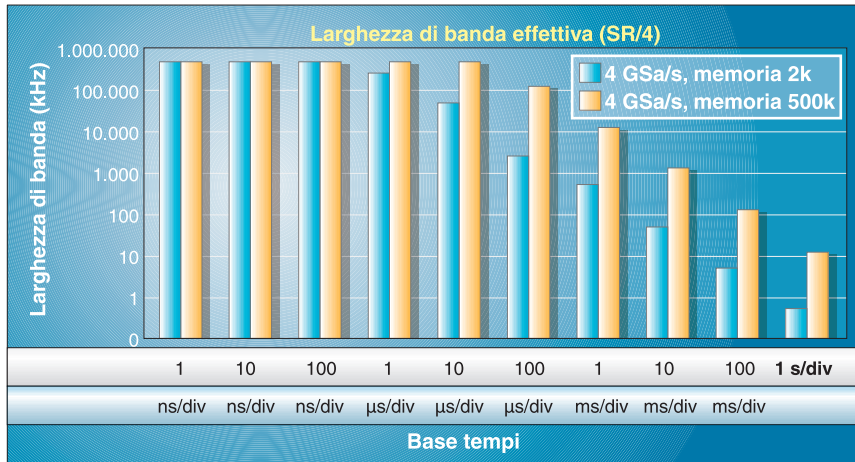
Se si prende ad esempio un oscilloscopio impostato a 100 ns/div che ha una frequenza di campionamento di 5 GSa/s.

$$\text{punti per forma d'onda} = \frac{5 \times 10^9 \text{ pts}}{\text{sec}} \cdot \frac{100 \times 10^{-9} \text{ sec}}{\text{div}} \cdot 10 \text{ div} = 5000 \text{ pts}$$

Fintantoché l'oscilloscopio ha abbastanza memoria per riempire il display, la frequenza di campionamento può essere sostenuta. Quando la massima quantità di memoria disponibile viene riempita, allora la frequenza di campionamento deve essere ridotta per riempire il lasso di tempo visualizzato sul display. La figura 2 illustra come si riduce la frequenza di campionamento alla basse velocità di sweep in due ipotetici oscilloscopi con larghezza di banda di 500 MHz.

Un oscilloscopio con più memoria è in grado di sostenere una frequenza di campionamento più alta su un numero maggiore di impostazioni dell'asse X. Per capire l'importanza di quanto affermato, è utile tornare all'analisi Nyquist. L'oscilloscopio 1 della figura 3a sovracampionerà con fattore 8x la massima larghezza di banda per tutte le impostazioni t/div con velocità di sweep superiore ai 500 ns/divisione. A quel punto, la frequenza di campionamento comincerà a scendere.

Comunque, finché la velocità di campionamento non scende al di sotto di 2 GSa/s (sovracampionamento 4x) i fenomeni di aliasing non sono un problema.



Figg. 3b e 3c - Larghezza di banda effettiva (SR/4) per differenti impostazioni della base

Base tempi	4 GSa/s, memoria 20k			4 GSa/s, memoria 500k		
	Punti visualizzati	Frequenza di campionamento	Banda effettiva	Punti visualizzati	Frequenza di campionamento	Banda effettiva
1 ns/div	40	4 GSa/s	500 MHz	40	4 GSa/s	500 MHz
10 ns/div	400	4 GSa/s	500 MHz	400	4 GSa/s	500 MHz
100 ns/div	4.000	4 GSa/s	500 MHz	4.000	4 GSa/s	500 MHz
1 µs/div	20.000	2 GSa/s	500 MHz	40.000	4 GSa/s	500 MHz
10 µs/div	20.000	200 MSa/s	50 MHz	400.000	4 GSa/s	500 MHz
100 µs/div	20.000	20 MSa/s	5 MHz	500.000	500 MSa/s	125 MHz
1 ms/div	20.000	2 MSa/s	500 kHz	500.000	50 MSa/s	12,5 MHz
10 ms/div	20.000	200 kSa/s	50 kHz	500.000	5 MSa/s	1,25 MHz
100 ms/div	20.000	20 kSa/s	5 kHz	500.000	500 kSa/s	125 kHz
1 s/div	20.000	2 kSa/s	500 Hz	500.000	50 kSa/s	12,5 kHz

Ciò si verifica a una velocità di sweep di 1 s/divisione. A quel punto, ogni diminuzione della velocità di campionamento comporta anche una riduzione dell'effettiva larghezza di banda dell'oscilloscopio (Figg. 3b e 3c).

Implicazioni sulla scelta dell'oscilloscopio e sulle metodologie di misura. Dall'analisi esportata in precedenza, si può concludere quanto segue:

- la larghezza di banda è chiaramente limitata dalla frequenza di campionamento effettiva dell'oscilloscopio;
- la frequenza di campionamento può degradare alle impostazioni di velocità di sweep (t/div) più lente;
- l'aumento delle memoria disponibile ritarda l'inizio del degrado della frequenza di campionamento.

Che conseguenza ha tutto ciò nella scelta dell'oscilloscopio e sulle tecniche di misura da adottare nella messa a punto di un progetto? In realtà tutto dipende dal tipo di segnali con cui si ha a che fare. Le considerazioni da fare si possono così riassumere:

- se per la maggior parte del tempo ci si deve occupare di segnali semplici, come fronti di salita o eventi transitori, allora l'adattamento dell'impostazione della base tempi con il contenuto spettrale delle forme d'onda non rappresenta alcun problema: i fronti rapidi richiedono velocità di sweep elevate;
- se ci si trova a osservare segnali più complessi che abbinano eventi lenti ed eventi veloci (come segnali modulati o segnali che riproducono tendenze), allora l'eventualità da prendere in considerazione è la sostituzione di un oscilloscopio dotato di poca memoria (meno di

Gestire i compromessi: misurare con affidabilità



Questo articolo è focalizzato sulla frequenza di campionamento, ma è la correlazione tra frequenza di campionamento, velocità di aggiornamento e profondità di memoria che determinano l'efficacia di un oscilloscopio nel garantire l'affidabilità delle misure. Nella scelta di un nuovo oscilloscopio, è necessario tenere a mente queste tre specifiche e il loro livello di adattamento alle misure che si intendono fare.

100k campioni) con un modello con una maggiore profondità di memoria (almeno 1M campioni);

- se non è possibile cambiare lo strumento attuale, è necessario suddividere l'analisi in più passi. Dapprima si utilizza una velocità di sweep inferiore per caratterizzare le tendenze più lente per poi passare a un'impostazione più veloce della base tempi per caratterizzare gli eventi dei segnali a larga banda. Se si sceglie questa strada, potrebbe essere utile il calcolo precedente per realizzare un grafico che metta in relazione l'impostazione della base tempi in t/div con la banda passante effettiva dello strumento.

Con le acquisizioni single-shot, il compromesso tra larghezza di banda e frequenza di campionamento effettiva è lo

stesso, ma il modello mentale e le implicazioni sono leggermente differenti. In un'acquisizione single-shot, si vuole campionare il segnale il più a lungo (per quanto la misura richiede) e il più velocemente possibile. Una frequenza di campionamento elevata è importante per mantenere la fedeltà del segnale e per poterlo ingrandire al fine di identificare ogni più piccolo dettaglio delle transizioni. Ciò permette di misurare accuratamente micro e macro eventi in una singola acquisizione. Se non risulta possibile mantenere elevata la frequenza di campionamento (e quindi la larghezza di banda), tali eventi di tipo diverso devono essere misurati con acquisizioni separate.

In definitiva, si è esaminato in modo informale la relazione esistente tra lar-

ghezza di banda, velocità di campionamento e memoria. L'argomento della larghezza di banda è in realtà più articolato, in quanto bisogna tenere conto anche di altri fattori, come la piattezza della risposta in frequenza e il fattore di arrotondamento dei filtri, che richiederebbero una trattazione più esaustiva di quanto fatto in questo breve articolo. \triangleleft

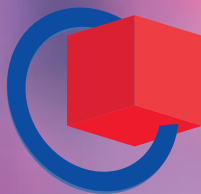
Bibliografia

⁽¹⁾ R. B. Blackman and J. W. Tukey, *The Measurement of Power Spectra: From the Point of View of Communications Engineering*, New York: Dover, 1958

Agilent Technologies
readerservice.it

Norimberga, Germania

26 – 28.2.2008



embedded world 2008

Exhibition & Conference

... it's a smarter world

Registratevi subito e assicuratevi il biglietto d'ingresso gratuito:

www.embedded-world.de

Sempre un passo avanti!

All'embedded world di Norimberga trovate tutto ciò che serve per garantirvi un vantaggio di conoscenze: gli ultimi prodotti e le soluzioni più innovative: Non perdetevi quest'occasione!

Ente organizzatore del salone

NürnbergMesse
Tel +49 (0) 9 11.86 06-49 12
visitorservice@nuernbergmesse.de

Ente organizzatore dei congressi

DESIGN&ELEKTRONIK
Tel +49 (0) 81 21.95-13 40
cgrote@design-elektronik.de

Partner stampa

Markt & Technik

Computer & AUTOMATION
Fachmagazin der Fertigung- und Prozessindustrie

elektronik report

DESIGN & ELEKTRONIK

Elektronik automotive
Fachmagazin für Embedded Systems in der Auto-Elektronik und Telewelt

elektronik net.de

Elektronik
Fachzeitschrift für industrielle Anwender und Entwickler

Elektronik wireless
Fachmagazin für Embedded Systems

readerservice.it n.19605

NÜRNBERG MESSE