

CIS: L'ACRONIMO CHE FA LA DIFFERENZA

Nicola Gomiero
Italy & UK Sales Manager

Enrico Davin
Field Application Engineer

LeCroy

La modalità di campionamento CIS (Coherent Interleaved Sampling) sviluppata da LeCroy e disponibile negli oscilloscopi della serie WaveExpert, permette di acquisire i segnali a una velocità nettamente superiore a quella dei classici oscilloscopi a campionamento. Ciò, insieme all'estesa capacità di memoria, ha portato alla definizione di una nuova classe di strumenti che uniscono i vantaggi dei sampling tradizionali con quelli degli oscilloscopi real time

Apparsi sul finire degli anni '80, gli oscilloscopi a campionamento (sampling scope) sono ampiamente utilizzati da ingegneri e tecnici per la caratterizzazione di dispositivi a semiconduttore, segnali di clock ad alta velocità, flussi di dati seriali veloci e numerosi altri componenti di natura elettronica e ottica che producono segnali a frequenze elevate.

Con il progressivo incremento delle velocità di trasferimento dati, l'esecuzione di misure accurate sul diagramma a occhio o sul jitter (misure che danno un'indicazione delle prestazioni di un dispositivo) è divenuta un elemento particolarmente critico. Per aiutare gli utilizzatori a effettuare una valutazione più rapida e accurata LeCroy ha messo a punto una nuova tecnica di campionamento, denominata CIS (Coherent Interleaved Sampling) [1], implementata in una particolare classe di oscilloscopi denominata NRO (Near Realtime Oscilloscope).

Questi strumenti, grazie proprio al cam-

pionamento CIS, sono particolarmente indicati per effettuare analisi di dati seriali e misure TDR, quindi destinati principalmente a clienti operanti nel mondo delle telecomunicazioni e dell'elettronica digitale. I primi apprezzano soprattutto la possibilità di effettuare test in produzione in tempi brevissimi e di raccogliere un numero elevatissimo di dati, molto utili per migliorare la confidenza statistica nelle attività di ricerca e sviluppo, nonché eseguire analisi di jitter molto avanzate. Per quanto riguarda le

misure TDR, gli strumenti LeCroy mettono a disposizione un'ampia profondità di memoria, indispensabile per la caratterizzazione di backplane molto lunghi, oltre alla possibilità di effettuare direttamente misure sui parametri s.

Oscilloscopi a confronto

Tradizionalmente, gli oscilloscopi si dividono in due grandi categorie: real-time e a campionamento. Se si osserva la figura 1, si nota subito la principale differenza: i primi dispongono di un front end, ovvero

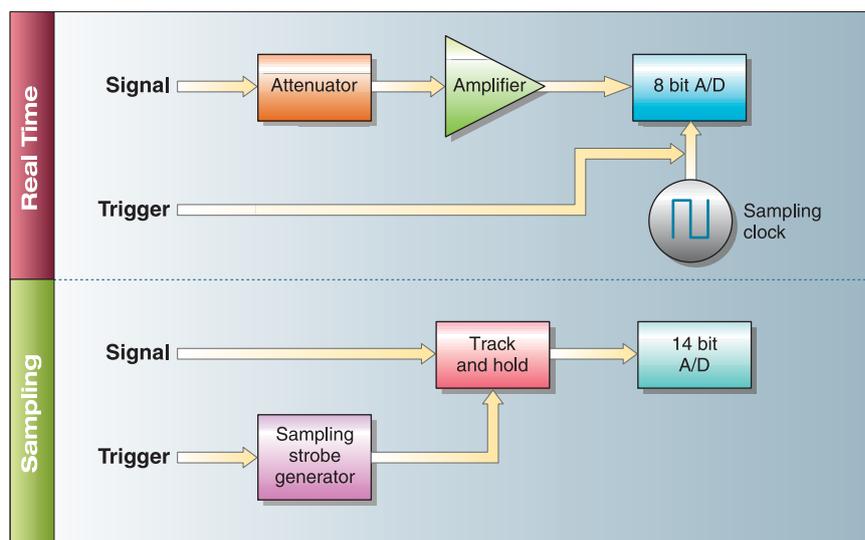


Fig. 1 – Schema a blocchi di un oscilloscopio real-time (sopra) e a campionamento (sotto)

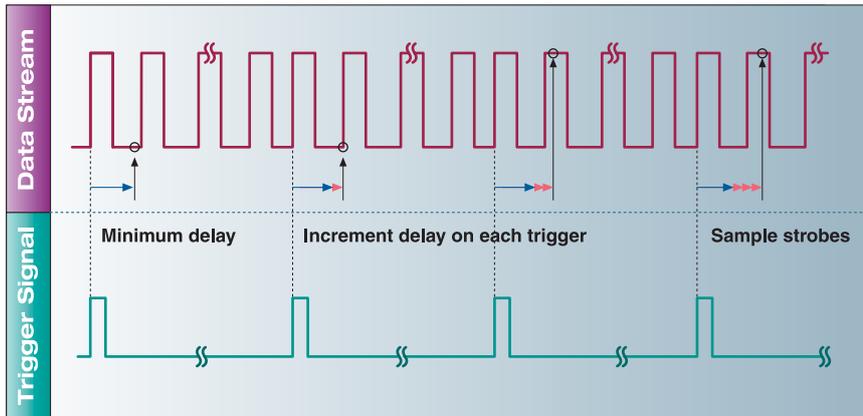
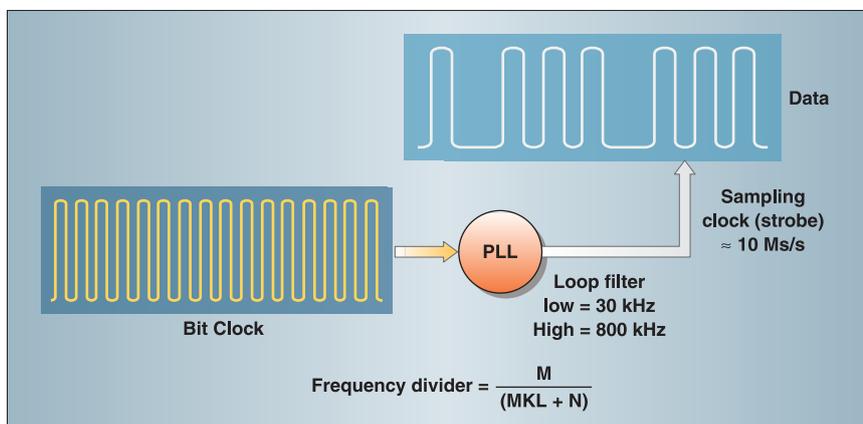


Fig. 2 – Schematizzazione della metodologia di acquisizione dati di un tradizionale oscilloscopio a campionamento

di uno stadio d'ingresso. Quindi, nel momento in cui si parla di un oscilloscopio real time con ampiezza di banda di 6 GHz, questo numero si riferisce alla banda dell'amplificatore di ingresso. Gli oscilloscopi a campionamento invece, possono garantire ampiezze di banda che toccano i 70-100 GHz per il semplicissimo motivo che non esiste un amplificatore di ingresso.

Gli oscilloscopi a campionamento, inoltre, assicurano una migliore risoluzione verticale, grazie alla presenza di un convertitore A/D con risoluzione a 14 bit, contro gli 8 bit tipici degli strumenti real-time. Nel caso di questi ultimi la massima velocità di campionamento è

Fig. 3 – La metodologia CIS prevede un clock di campionamento agganciato in fase al bit clock del segnale sotto test



dell'ordine di 60 GS/s con un'ampiezza di banda che raggiunge i 18 GHz. Per contro, a fronte di un'ampiezza di banda molto più estesa, la velocità di acquisizione di una piattaforma sampling tradizionale è di gran lunga inferiore.

Oltre il "sampling" tradizionale

Nel segmento degli oscilloscopi a campionamento, LeCroy ha introdotto, con la serie WaveExpert, una nuova classe di strumenti a quattro canali definiti NRO (NearRealtime Oscilloscope) proprio per distinguerli sia dagli oscilloscopi real time sia dai sampling tradizionali: infatti tali oscilloscopi NRO permettono di superare la maggior parte dei limiti di questi ultimi grazie all'utilizzo della modalità di campionamento CIS.

Prima di entrare in dettagli tecnici relativi a questa metodologia, alcune specifiche di questi strumenti dovrebbero comunque sollecitare la curiosità dell'utilizzatore.

Innanzitutto l'ampiezza di banda analogica effettiva è di 100 GHz, contro i 70-80 GHz di un sampling tradizionale.

Questo è reso possibile dalla presenza di una testa elettrica capace di supportare effettivamente tale banda che, è bene sottolinearlo, è garantita su un'impedenza di 50 Ohm. In un oscilloscopio a campionamento tradizionale, ad esempio nel caso di applicazioni RF, una volta superata la frequenza di 50 GHz, il valore dell'impedenza non resta costante. Nel caso delle piattaforme WaveExpert, invece, grazie a una taratura estremamente accurata dell'impedenza, il valore di 50 Ohm è garantito. Ciò rappresenta un elemento fondamentale ad esempio in analisi TDR o dove le velocità in gioco sono dell'ordine di 40 Gb/s.

Un'altra specifica di rilievo è la velocità di campionamento (in tempo equivalente) pari a 10 MS/s, un valore 100 volte superiore rispetto a quella di un sampling tradizionale, che non va oltre 100 - 150 KS/s.

Un campionamento più rapido porta a benefici immediati: a parità di tempo è possibile acquisire un numero molto maggiore di campioni, che si traduce in una maggiore confidenza statistica, mentre a parità di campioni i tempi di acquisizione sono sensibilmente ridotti (caratteristica questa particolarmente apprezzata in produzione).

Un dato numerico: in un classico test del diagramma a occhio è possibile catturare 33 MS in 10 secondi, contro i 371 KS di un oscilloscopio tradizionale: con quest'ultimo dunque, per accumulare 33 MS ci vorrebbe più di un quarto d'ora. Ciò comporta anche una maggior confidenza nella stima del BER (Bit Error Rate).

Per quanto concerne la base tempi, esistono due possibilità di funzionamento: CIS (Coherent Interleaved Sampling) e sequenziale. Della prima, di tipo evoluto, si parlerà più avanti, mentre la seconda permette agli oscilloscopi della serie WaveExpert di operare in maniera tradizionale.

Anche la memoria standard di 4 MSample per canale rappresenta elemento di tutto rilievo rispetto a oscilloscopi a campionamento tradizionale che nella migliore delle ipotesi dispongono

Misure di jitter

Nel momento in cui le velocità dei dati seriali superano i 10 Gbps, l'esecuzione di misure di jitter particolarmente accurate diviene un fattore particolarmente critico. Per tale motivo LeCroy ha implementato sugli oscilloscopi della serie WaveExpert un particolare algoritmo, denominato Q-Scale, che assicura misure estremamente precise. I

sampling di tipo tradizionale, invece, adottano un metodo "spectrum based" che può dar luogo a notevoli imprecisioni laddove siano presenti fenomeni di crosstalk o rumore prodotto dal sistema di alimentazione.

Si faccia riferimento alla figura 1, che riporta il classico schema del jitter breakdown, dove sono visibili le componenti randomica (unbounded) e deterministica (bounded). Con gli oscilloscopi della linea WaveExpert è possibile isolare il jitter che dipende dai dati (DDJ) dalle misure di jitter ed effettuare la misura del BUJ (Bounded Uncorrelated Jitter). Quest'ultimo è solitamente un Pj (Periodic Jitter) e contribuisce al jitter deterministico che non è correlato al data pattern. In molti casi si tratta di un jitter da crosstalk, che si verifica in presenza di numerose linee dati vicine accoppiate induttivamente o capacitivamente che si disturbano e interferiscono le une con le altre. Questo tipo di disturbo, in un sampling tradizionale che utilizza una metodologia spectrum based, ovvero quella prevista dalla normativa MJSQ (Methodologies for Jitter Specification) viene regolarmente confuso con jitter di natura randomica. Ciò non accade invece con gli oscilloscopi WaveExpert grazie all'adozione dell'algoritmo Q-Scale.

Un esempio servirà a chiarire meglio questo concetto. Si supponga di iniettare un jitter di 10 ps rigorosamente periodico (ad esempio un'onda sinusoidale) su un dato e di volere effettuare le misure di jitter con uno strumento WaveExpert (Fig. 2) e con un sampling tradizionale. In questo caso il primo misura un jitter di 9,37 ps (quindi un ottimo accordo): l'aspetto più inte-

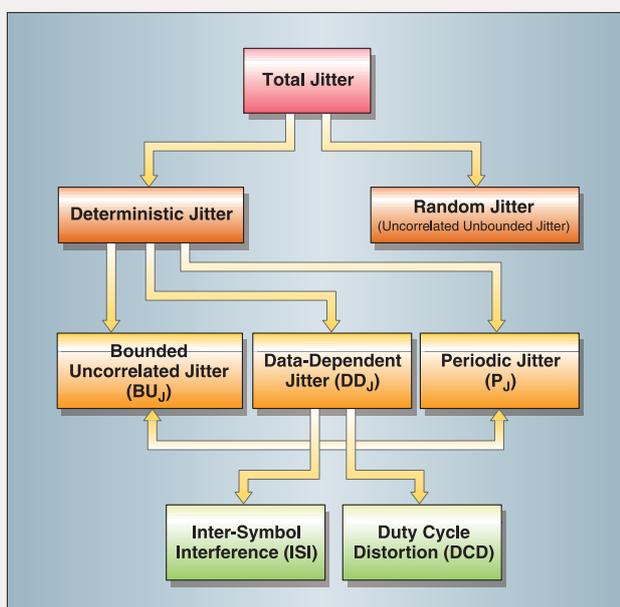
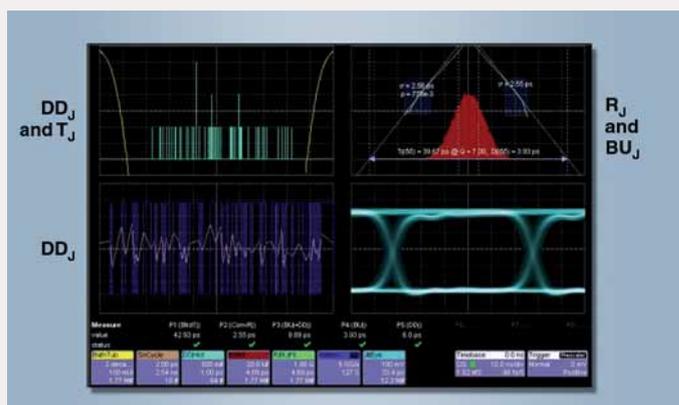


Fig. 1 – Schema di jitter breakdown

Fig. 2 – Misura di jitter con un oscilloscopio WaveExpert



ressante sono però le misure di jitter randomico ($R_j = 1,52 \text{ ps}$) e totale ($T_j = 37 \text{ ps}$). Quest'ultimo è dato dalla somma del jitter deterministico (che è un valore picco-picco) più quello randomico (che invece è un valore quadratico medio e quindi andrà "pesato" per un certo fattore n). È chiaro che ogni errore sul jitter randomico viene amplificato di un fattore pari a n quando si va a calcolare il jitter totale. La medesima prova eseguita con un oscilloscopio a campionamento tradizionale che adotta il metodo dell'"aliased jitter spectrum" fornisce invece un valore di jitter periodico pari a 11,7, con le componenti randomica e totale pari rispettivamente a 1,37 e 35,6 ps. L'ordine di grandezza delle misure è assimilabile. Si provi adesso a iniettare un jitter di 10 ps usando un segnale PRBS 2⁹, che emula il caso di un link vicino affetto da crosstalk che sta portando dei dati. Nel caso di WaveExpert, il jitter totale continua a essere dell'ordine di 9 ps, mentre il jitter randomico e quello totale sono rimasti più o meno ai valori di prima. Quindi è cambiato il tipo di modulazione spettrale ma i valori finali sono rimasti gli stessi. Lo stesso oscilloscopio sampling tradizionale utilizzato in precedenza, invece, sempre per motivi legati alla metodologia usata, non riconosce la presenza di un jitter periodico (che infatti risulta pari a zero) attribuendo il jitter esclusivamente alla componente randomica. In questo caso il jitter randomico risulta assolutamente sovrastimato e, cosa più importante, il jitter totale è del tutto errato. Il jitter da crosstalk in un approccio tradizionale viene quindi confuso con un jitter randomico, con tutte le implicazioni negative che ciò comporta.

di circa 4.000 punti di memoria: il motivo fondamentale di questa differenza è il fatto che in questi ultimi il campionamento avviene a una velocità molto lenta per cui non è richiesta un'estesa capacità di memoria.

Questa estesa profondità di memoria è in relazione alle caratteristiche della base tempi CIS come si vedrà poco più avanti.

Anche la precisione della base tempi, il cosiddetto jitter noise floor, merita qualche approfondimento. Mentre in un sampling tradizionale il valore quadratico medio (RMS) del jitter noise floor è compreso tra 1 e 2 ps, nel caso degli strumenti WaveExpert che utilizzano la modalità CIS questo valore è di soli 600 fs e rimane stabile: ciò è imputabile al fatto che il campionamento, a differenza di ciò che avviene in un sampling tradizionale, non viene fatto basandosi sul trigger.

Questa differenza di valori diventa oltremodo interessante nel momento in cui è necessario guardare dati seriali che viaggiano a velocità di 10 Gb/s e superiori.

Ricca e completa, infine, la dotazione di accessori: i quattro cassettoni posti nella parte inferiore degli strumenti possono ospitare moduli elettrici, ottici, per il recupero del clock (clock recovery) e la generazione di pattern fino a PRBS31.

CIS: la chiave di volta

Per meglio comprendere il funzionamento della nuova modalità di campionamento introdotta da LeCroy è utile un breve ripasso sulla modalità di funzionamento di un oscilloscopio a campionamento tradizionale.

La sua metodologia di acquisizione viene schematizzata in figura 2: in presenza di un flusso dati, l'oscilloscopio invia un segnale di trigger e ad ogni colpo di trigger viene acquisito un campione. Ovviamente, per potersi spostare lungo la forma d'onda si incrementa in maniera progressiva il ritardo rispetto all'evento di trigger.

Misure TDR

La riflettometria nel dominio del tempo (TDR), ovvero le misure eseguite per valutare l'adattamento di impedenza, è un elemento essenziale

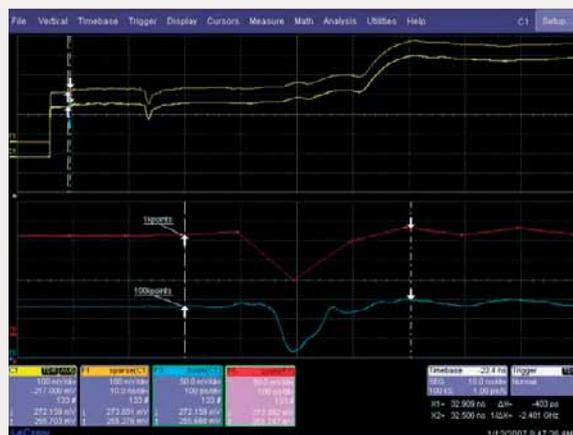
per le misure di integrità dei segnali degli odierni progetti a elevata velocità. Le discontinuità di impedenza che si possono avere nei backplane e nelle interconnessioni della piastra a circuito stampato (PCB) possono influenzare negativamente l'ampiezza di banda supportata dal canale. Queste misure possono essere effettuate in maniera molto semplice e precisa con gli strumenti della serie WaveExpert.

Essi dispongono di un modulo TDR (ST-20) che utilizza un generatore di gradino caratterizzato da un tempo di salita di soli 18 ps. Il tempo di salita è un parametro molto critico in quanto è strettamente correlato alla risoluzione spaziale, ovvero alla minima distanza che è possibile risolvere tra due discontinuità. Ad esempio su una piastra FR4, il materiale tradizionalmente usato per la realizzazione di circuiti stampati, la minima risoluzione spaziale ottenibile con tale valore di tempo di salita è pari a 1,25 mm.

Oltre al rise time vi sono almeno altri due aspetti da considerare: innanzitutto la possibilità di avere, oltre a elevata risoluzione, tanti punti per acquisire correttamente la traccia. Anche in questo caso con un sampling tradizionale si hanno 4.000 punti di memoria mentre con gli strumenti WaveExpert si possono utilizzare fino a 100.000 punti di memoria (16.000 standard) per analisi TDR (Fig. 1). In questo modo risulta possibile analizzare backplane anche molto lunghi senza nessun problema (Fig. 1).

In pratica, ciò si traduce nel fatto che, anche dovendosi analizzare piste in rame molto lunghe, non si ha alcuna perdita di risoluzione nel caratterizzare piccole discontinuità spaziali come quelle dovute alla presenza di connettori. Se, ad esempio, occorre distribuire i punti di memoria disponibili su una finestra temporale piuttosto ampia per poter analizzare un backplane molto lungo, la possibilità di poter comunque catturare efficacemente i dettagli delle discontinuità impedenziali è strettamente legata alla profondità di memoria disponibile, che diviene dunque il vero nodo critico in questo tipo di misure. Un secondo aspetto da considerare è la possibilità di variare il rise time: si

Fig. 1 - Confronto tra una misura TDR effettuata con 100k punti e con soli 1k punti: appare chiaramente visibile come una lunga profondità di memoria consenta di mantenere un'elevata risoluzione anche in presenza di lunghi backplane (in questo caso circa 4 metri)



tratta di un elemento importante perché, ad esempio, ogni standard richiede l'esecuzione di test con un valore ben definito di tempo di salita; inoltre ciò consente di testare le piste su PCB con rise time "realistici", ovvero comparabili con quelli caratteristici dei fronti di segnale "tipici" che attraverseranno il PCB stesso.

Con gli strumenti WaveExpert è possibile eseguire misure TDR veramente differenziali impiegando due generatori indipendenti di step che vengono pilotati dallo stesso clock interno.

Un'altra caratteristica degna di nota è la possibilità di effettuare la calibrazione del piano di riferimento facendo ricorso a un metodo più evoluto rispetto a quello utilizzato dai sampling tradizionali, che adottano la tecnica cosiddetta "Short-load" che prevede l'applicazione di un corto circuito e un carico standard di 50 Ohm.

Nel caso degli strumenti WaveExpert è possibile sfruttare la metodologia

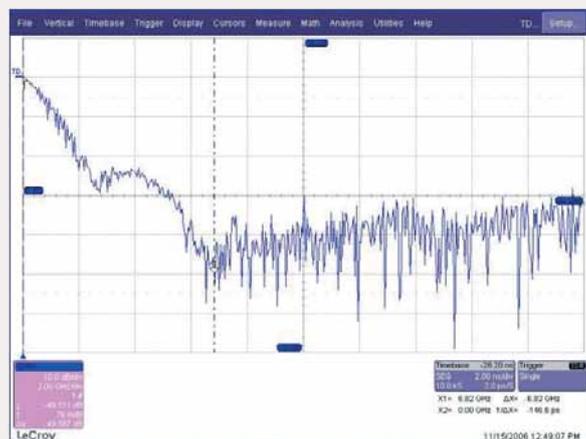


Fig. 2 - Funzione di trasferimento (S21) per un backplane di 24"

Open-Short-Load (OSL), mutuata direttamente dai VNA (Vector Network Analyzer) che permette di rimuovere gli effetti di cavi e fixture e migliorare l'accuratezza delle misure di impedenza e dei parametri S - ovvero le controparti nel dominio della frequenza della misura TDR (Fig. 2).

Nell'intraprendere questo tipo di calibrazioni si evidenzia un altro vantaggio legato alla disponibilità di una lunga profondità di memoria: infatti, grazie a tale caratteristica, è possibile effettuare un'unica calibrazione anche in presenza di piste molto lunghe, senza dover partizionare la pista stessa in sottosezioni da calibrare separatamente, come dovrebbe invece farsi in presenza di una capacità di memoria limitata.

Le misure TDR vanno acquisendo un'importanza via via crescente per la caratterizzazione di sistemi operanti a elevata velocità: ad esempio, standard come PCI Express e Serial ATA richiedono la misura di return loss (S11) come parte delle specifiche per l'interfaccia fisica; un altro tipico campo di applicazione in sede di analisi di compliance è quello della caratterizzazione dei cavi utilizzati per il trasferimento di segnali ad elevato bitrate (esempi di questo tipo di misura possono trovarsi nell'ambito del diffusissimo standard USB e dell'interfaccia per audio e video digitale HDMI).

Questa modalità, oltre alla lentezza, comporta altri svantaggi un po' meno "visibili" ma ugualmente fastidiosi. Ad esempio, il campionamento è basato sul trigger, per cui se il segnale di trigger stesso è affetto da jitter, questo lo si ritrova tutto sull'acquisizione. Quindi, nel caso di un test con il diagramma a occhio affetto da fenomeni di jitter, l'utente non è in grado di comprendere se questi sono imputabili al segnale o al segnale di trigger. Inoltre, più ci si allontana dall'evento, più aumenta il jitter noise floor. Un ulteriore problema è legato alla ricostruzione dei pattern, operazione in teoria possibile con un oscilloscopio a campionamento tradizionale ma in realtà difficile da effettuare in quanto troppo lenta.

Per superare le limitazioni cui si è appena accennato, LeCroy ha messo a punto una metodologia efficacissima nella sua semplicità. L'idea di base è questa: si prende un segnale di clock, che potrebbe essere presente sul test bench oppure recuperato con un estrattore di clock, caratterizzato da una parentela di fase con il dato. Questo segnale di clock rappresenta l'ingresso di un circuito PLL (ovvero un anello ad aggancio di fase) che ricava un clock di campionamento a frequenza pari a circa 10 MHz (Fig. 3). La parola "circa" assume un significato di notevole importanza.

Poco sopra si è visto che in un sampling tradizionale è necessario ogni volta allontanarsi un po' dall'evento di trigger per consentire lo spostamento lungo il pattern. Nel caso il segnale sia caratterizzato da una velocità di 10 Gbit/s e il campionamento avvenga a 10 MHz, ovvero un sottomultiplo esatto, ci si ritrova sempre esattamente allo stesso punto, ovvero non si verifica nessuno spostamento lungo il pattern. La frequenza di campionamento non è quindi esattamente pari a 10 MHz ma è tale per cui il periodo di campionamento è un multiplo non rigorosamente esatto dell'intervallo unitario. In pratica, grazie a un divisore posto sull'anello di contro-

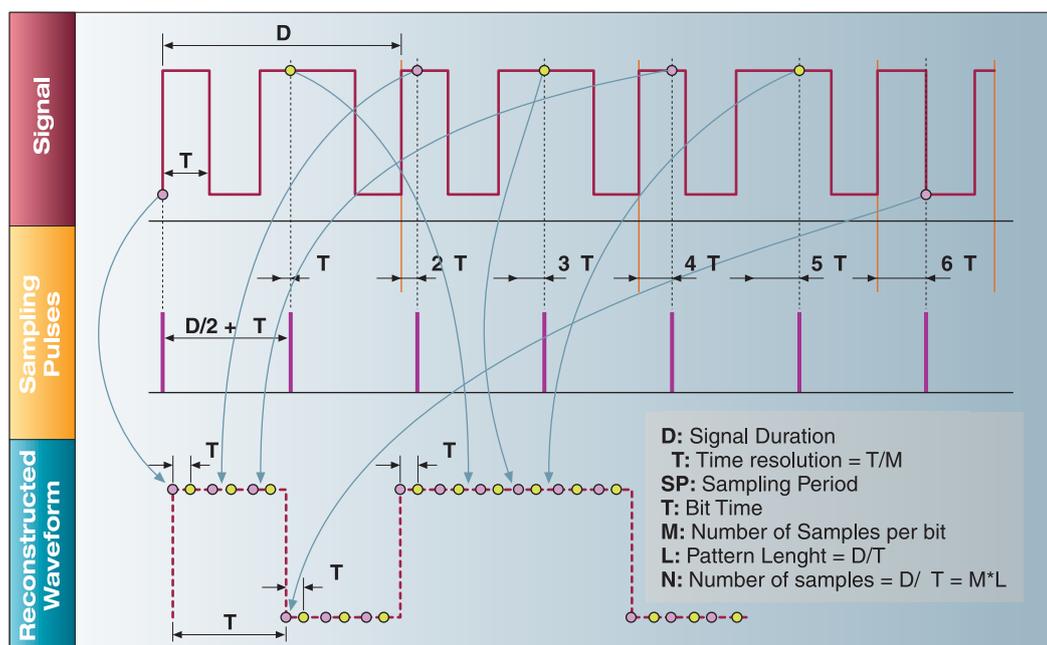
Fig. 4 - Utilizzando il campionamento CIS è possibile riordinare i campioni e ricostruire la forma d'onda originaria

reazione del PLL, il rapporto tra il periodo di campionamento e l'intervallo unitario risulta una frazione irriducibile. Il punto di campionamento può dunque "camminare" lungo la forma d'onda.

Il campionamento CIS permette di ricostruire la forma d'onda in virtù del fatto che esiste una parentela di fase tra il clock con cui si campiona e il segnale stesso. A differenza di quanto avviene nei sampling tradizionali, gli oscilloscopi NRO non acquisiscono quindi i campioni "in ordine", bensì "riordinano" i punti necessari per la ricostruzione (Fig. 4) – da qui il termine interleaving, ovvero interallacciamento dei campioni presi fuori ordine.

Grazie al campionamento in modalità CIS è dunque possibile acquisire i dati a una velocità di 10 MS/s (almeno 50 volte superiore rispetto ai sampling tradizionali), oltre ad avere un numero di punti almeno 1000 volte superiore.

Tutto ciò comporta numerosi vantaggi: ad esempio la possibilità di avere più punti conferisce maggiore rapidità in fase di analisi oppure più confidenza statistica. Il fatto di poter acquisire in tempi



brevi un numero elevato di campioni garantisce una convergenza rapida dell'errore associato alla misura, un elemento importante quando ad esempio si deve eseguire una misura di "extinction ratio" in applicazioni di ottica. Altro aspetto interessante è la possibilità di ricostruire i pattern.

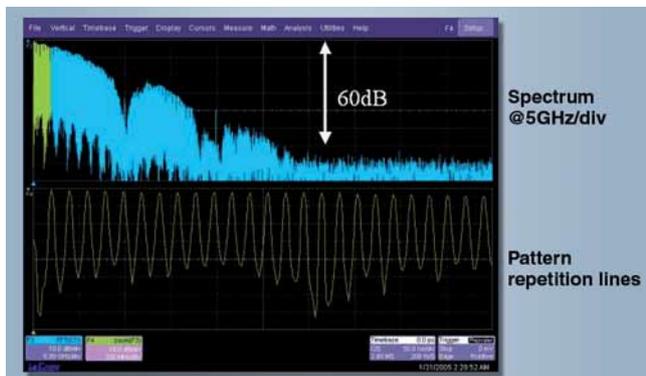
Una delle possibili applicazioni è il test di link seriali, che prevede l'uso di pattern seriali caratterizzati da contenuti armonici particolarmente "stressanti" per i link stessi (i cosiddetti CJTPAT, PRBS, e così via).

Questi test pattern hanno lunghezze dell'ordine di 4.000, 8.000 e risultano quindi difficili da ricostruire per una piattaforma sampling che può "ospitare" al massimo 4.000 punti. Con gli oscilloscopi WaveExpert, invece, è possibile ricostruire pattern fino a PRBS con 8 milioni di punti (2²³). Una volta rico-

struito il pattern, ovviamente, è possibile eseguire sulla traccia tutti i tipi di elaborazione, come ad esempio filtraggio o FFT (Fig. 5) (operazione questa prima impossibile con un sampling per la mancanza del pattern ricostruito) [2].

A questo punto appare più chiara la denominazione di NRO. Innanzitutto l'utente non si rende conto che si tratta di oscilloscopi a campionamento, in quanto la GUI è perfettamente identica a quella di oscilloscopi real-time (con conseguente diminuzione dei tempi di apprendimento). Soprattutto, la possibilità di ricostruire le forme d'onda consente all'utente di effettuare sulle stesse – ovviamente in presenza di segnali ripetitivi – una vasta gamma di operazioni proprio come se si trattasse di uno strumento real time.

Fig. 5 - Analisi spettrale FFT condotta su un pattern ricostruito con la tecnologia CIS



Bibliografia

- [1] "New technology for capture and evaluation of high frequency signals" – M. Lauterbach, M. Schneckner – LeCroy Corporation
- [2] "Coherent Interleaved Sampling and FFT" (LAB_WE770) – Application brief

LeCroy
readerservice.it n. 3