

Debug digitale mediante un oscilloscopio a segnali misti

Trevor Smith
Market Development manager
Oscilloscopes
Tektronix

L'oscilloscopio a segnali misti (MSO) lo strumento ideale per eseguire la verifica e il debug di circuiti di natura digitale

Nel momento in cui le schede elettroniche diventano sempre più veloci ed evolute, aumentano le difficoltà di progettazione, sviluppo e debug delle stesse.

I progettisti devono eseguire verifiche approfondite dei loro progetti al fine di garantire il perfetto funzionamento del sistema finito. Nel caso si verifichino problemi, è necessario procedere a un'indagine immediata della causa per giungere alla soluzione. In genere, la causa di molti problemi inerenti lo sviluppo dell'elettronica digitale è facilmente individuabile mediante l'analisi sincrona sia delle rappresentazioni analogiche sia digitali del segnale e ciò rende l'oscilloscopio a segnali misti (MSO) lo strumento ideale per eseguire la verifica e il debug di questo tipo di circuiti. L'oscilloscopio a segnali misti abbina le prestazioni di un oscilloscopio tradizionale con la funzionalità di base di un analizzatore di stati logici e integra, in linea generale, le funzioni di decodifica e trigger del protocollo di bus parallelo/seriale.



Acquisizione di temporizzazione e stato

Esistono due principali modalità di acquisizione digitale. La prima è rappresentata dall'acquisizione in timing, in cui l'oscilloscopio MSO rileva campioni del segnale digitale a intervalli di tempo regolari, determinati dalla frequenza di campionamento dell'oscilloscopio stesso. Per ciascun punto di campionamento, l'oscilloscopio MSO immagazzina lo stato logico del segnale e genera un diagramma di temporizzazione.

La seconda modalità di acquisizione digitale è l'acquisizione in "state". Tale acquisizione definisce gli intervalli di

tempo particolari in cui lo stato logico del segnale risulti valido e stabile. È una pratica comunemente utilizzata nei circuiti digitali sincroni e regolati da clock. Il segnale di clock definisce il tempo in cui lo stato del segnale è valido. Ad esempio, per un circuito D-Flip-Flop con fronte di salita del clock, i tempi stabili del segnale di ingresso vengono riscontrati intorno al fronte di salita del clock. Per un circuito D-Flip-Flop con fronte di salita del clock, i tempi stabili del segnale di uscita vengono riscontrati intorno al fronte di salita del clock. Poiché il periodo di clock di un circuito sincrono è variabile, l'intervallo fra i tempi di acqui-



Fig. 1 - I dati decodificati vengono riportati in una tabella degli eventi simile alla visualizzazione di acquisizione dello stato di un analizzatore logico

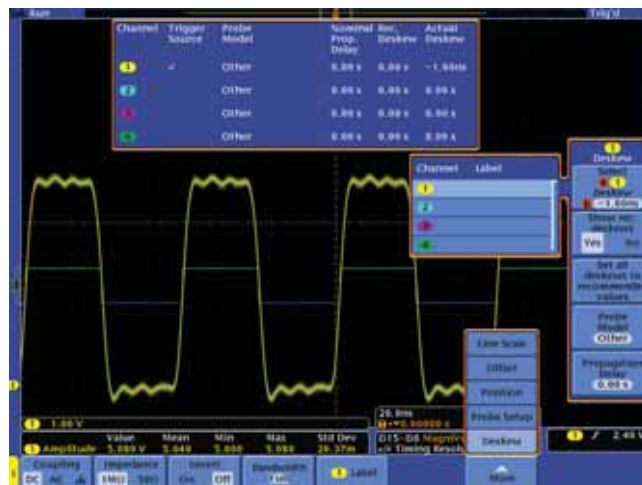


Fig. 2 - Tempo del canale analogico allineato al canale digitale

sione dello stato potrebbe non essere uniforme, contrariamente a quanto accade per l'acquisizione di temporizzazione. Gli analizzatori di stato logico forniscono entrambi i tipi di acquisizione. I canali digitali di un oscilloscopio a segnali misti acquisiscono segnali in modo analogo alla modalità di acquisizione in timing eseguita da un analizzatore logico. L'oscilloscopio MSO decodifica l'acquisizione di temporizzazione all'interno della visualizzazione del bus di clock e della tabella degli eventi (Fig. 1), modalità simile alla visualizzazione dell'acquisizione dello stato dell'analizzatore logico.

Visualizzazione della forma d'onda

La forma d'onda di temporizzazione digitale è simile alle forme d'onda analogiche, con la differenza che vengono mostrati solo i livelli logici alti e bassi. L'analisi di acquisizione delle temporizzazioni ha lo scopo di determinare i valori logici entro intervalli di tempo



Fig. 3 - Segnale burst TTL – tempo fra burst non specificato

specifici e di misurare il tempo di transizione del fronte su una o più forme d'onda. Per semplificare il processo di analisi, è possibile raggruppare le forme d'onda di temporizzazione digitale in un bus. Un segnale digitale viene definito tramite una rappresentazione che indica i singoli segnali binari che lo compongono partendo dal meno significativo proseguendo fino al più significativo. L'oscilloscopio MSO decodifica dunque il bus e quindi i bit che lo compongono attraverso un numero binario o esadecimale. I bus paralleli possono essere decodificati nei formati "clocked" o "unclocked". Con la decodifica del primo tipo, l'oscilloscopio MSO deter-

mina lo stato logico del bus sul fronte di salita, sul fronte di discesa o su entrambi i fronti del segnale indicato come clock. Ciò significa che vengono mostrate unicamente le transizioni valide sul bus e sono escluse tutte le transizioni che si verificano se i dati non risultano validi. Per la decodifica del

secondo tipo, l'oscilloscopio MSO decodifica il bus in ogni punto di campionamento, mostrando tutte le transizioni del bus. A seconda del modello di oscilloscopio MSO, è possibile decodificare contemporaneamente più bus paralleli e seriali. I bus seriali più comuni sono I2C, SPI, CAN, LIN, FlexRay, RS-232/422/485 e UART. Un bus parallelo è composto da un numero definibile di canali digitali.

Impostazione di un'acquisizione digitale

Il set up dell'oscilloscopio MSO per l'acquisizione digitale è costituita da due operazioni base. In primo luogo, le



Fig. 4 - Segnale burst TTL

	Value	Mean	Min	Max	Std Dev
[D0] +Width	23.88ns	23.87n	23.76n	24.00n	53.62p
[D0] -Width	26.18ns	26.17n	26.06n	26.30n	65.31p

Fig. 5 - Statistiche di misurazione dell'oscilloscopio MSO per la verifica della larghezza dell'impulso positivo e negativo del segnale burst TTL

soglie del canale digitale dell'oscilloscopio MSO devono essere configurate affinché la famiglia logica sia misurata in modo tale da garantire che venga acquisito il livello logico corretto. In secondo luogo, i ritardi del canale analogico devono essere regolati per la precisa correlazione di tempo intercorrente fra i canali analogici e i canali digitali.

Per agevolare l'operazione di verifica dell'escursione logica del segnale digitale è necessario utilizzare il canale analogico dell'oscilloscopio MSO. Per le famiglie logiche con escursioni di tensione simmetrica, come ad esempio le CMOS, la soglia si trova a metà dell'ampiezza del segnale. Tuttavia, per le famiglie logiche con escursioni di ten-

sione asimmetrica come le TTL, in linea generale, occorre consultare le schede tecniche dei componenti e individuare la soglia nel punto mediano fra il livello massimo della soglia minima della tensione di ingresso al dispositivo logico e il livello minimo della soglia massima della stessa.

Per ottenere misure temporali precise, è importante è importante rimuovere il ritardo tra i canali analogici da quelli digitali. La maggior parte degli oscilloscopi MSO garantisce l'allineamento regolabile della sonda analogica, al fine di allineare l'uno con l'altro i canali analogici e di allineare a loro volta i canali analogici con i canali digitali. Le impostazioni di allineamento del canale analogico colmano le differenze generate dai ritardi di propagazione della sonda analogica (Fig. 2). Di seguito vengono ora illustrati due esempi di verifica di un progetto mediante un oscilloscopio MSO.

Trigger su anomalie

Nel primo esempio viene discussa la verifica di un segnale burst TTL contenente otto impulsi positivi, come indicato nelle figura 3. Le specifiche di larghezza dell'impulso positivo hanno un intervallo che va da 23,2 a 25 ns e una distanza fra gli impulsi di 26/27 ns. Il tempo intercorrente fra i burst non è specificato. Al segnale burst TTL viene connesso un canale digitale dell'oscilloscopio MSO e viene impostata la soglia per un segnale logico TTL, configurata per un trigger sul fronte di salita. Per accelerare il processo di verifica, l'oscilloscopio MSO viene configurato per la misurazione automatica della larghezza dell'impulso positivo e negativo fra i cursori. Nella figura 4 viene indicata un'acquisizione in un singolo evento, in cui l'oscilloscopio MSO esegue il



Fig. 6 - L'oscilloscopio MSO ha eseguito il trigger sull'errore di durata dell'impulso positivo, pari a 3,636 ns

trigger sul fronte del primo impulso. A seconda del momento in cui viene selezionato il pulsante di acquisizione in un singolo evento dell'oscilloscopio MSO, è possibile che l'oscilloscopio esegua il trigger su ciascuno degli altri fronti di salita. Il segnale acquisito evidenzia otto impulsi conformi alle specifiche. La larghezza del primo impulso positivo equivale a 23,88 ns e quella dell'impulso negativo è pari a 26,18 ns e viene misurata automaticamente. Tali valori rientrano nelle specifiche. I cursori dell'oscilloscopio MSO sono quindi collegati; un controllo sposta entrambi i cursori lungo la forma d'onda, controllando la larghezza di tutti gli impulsi positivi negativi successivi.

Le larghezze dell'impulso negativo e positivo vengono verificate in maniera più accurata modificando la modalità di acquisizione dell'oscilloscopio da Singola a Continua. Le statistiche dell'impulso positivo e negativo (deviazione media, minima, massima e standard) vengono prodotte sulla base delle varie acquisizioni.

Le statistiche di misurazione della figura 5 indicano che la larghezza media dell'impulso positivo è di 23,87 ns con una deviazione standard di 53,62 ns. La larghezza minima dell'impulso positivo risulta essere di 23,76 ns e quella massima equivale a 24,00; entrambi i valori rientrano nella specifiche. Allo stesso modo, viene verificato se le misurazioni della durata dell'impulso negativo rientrano nelle specifiche. A questo punto, la verifica del segnale burst TTL procede senza difficoltà. Le tecniche di verifica variano in base alle sezioni del segnale continuo che vengono acquisite e analizzate. La metodologia che garantisce i risultati migliori prevede la verifica da parte dell'oscilloscopio MSO di tutti gli impulsi, operazio-

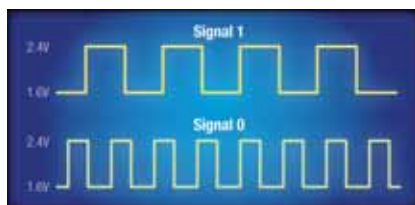


Fig. 7 - Segnale PECL zero a bassa tensione con un periodo di 50 ns e segnale uno con un periodo di 90 ns

ne possibile grazie all'efficacia delle capacità di trigger. Ad esempio, è possibile impostare l'oscilloscopio MSO affinché verifichi il segnale burst TTL, misurando gli impulsi positivi nelle loro totalità e individualmente ed eseguendo il trigger sulla durata degli impulsi non conformi inferiori a 23,2 ns. La modalità di acquisizione in un singolo evento viene utilizzata per arrestare l'oscilloscopio, una volta che si verifica la condizione di trigger, permettendo la cattura e l'analisi dell'impulso non conforme.

Nella figura 6, l'oscilloscopio MSO esegue il trigger su un impulso positivo non conforme, cioè di durata inferiore a 23,2 ns. Durante l'acquisizione ven-

gono rilevati due errori. Il primo errore è dovuto al fatto che la larghezza del settimo impulso è pari a 3,636, ovvero è inferiore alla specifica minima rappresentata dal valore 23,2 ns. Il secondo errore è data dall'assenza dell'ottavo impulso. In questo esempio viene sfruttato il trigger digitale dell'oscilloscopio MSO per individuare i segnali digitali non conformi. Inoltre, nell'ambito dell'individuazione di questo genere di segnali, è possibile utilizzare il trigger dell'oscilloscopio MSO per rilevare gli impulsi superiori a 25,6 ns. Nel caso preso in esame non è stato riscontrato alcun problema.

L'origine dell'errore è individuabile in un difetto di progettazione. Il segnale che eseguiva il controllo del gating fra impulsi era asincrono rispetto alla generazione degli impulsi stessi e, in qualche caso, mostrava variazioni di durata del gating. Di conseguenza, il segnale di gating interno escludeva in modo intermittente dall'ultimo impulso ed eseguiva il taglio del settimo impulso. Questa modalità di verifica mediante il trigger sugli errori risulta utile per il monitoraggio del segnale sul lungo periodo, garantendo un controllo rigoroso del progetto.



Fig. 8 - L'oscilloscopio MSO ha eseguito il trigger su una acquisizione del segnale PECL finale a basso voltaggio di 727,3 ps

Una visione d'insieme dell'acquisizione analogica e digitale

Nell'esempio che segue, vengono verificati due segnali PECL (Positive Emitter Coupled Logic) a bassa tensione.

Il segnale zero è rappresentato da un'onda quadra con un periodo approssimativo di 50 ns mentre il segnale uno è rappresentato da un'onda quadra con un periodo approssimativo di 90 ns (Fig. 7). Fra i segnali non sussiste alcuna relazione di natura temporale.

Per verificare il segnale PECL a bassa tensione viene utilizzata la stessa modalità di verifica indicata nell'esempio precedente del burst TTL. Per controllare i segnali non conformi, l'oscilloscopio MSO viene configurato per il trigger su una durata dell'impulso inferiore a 22,4 ns. L'oscilloscopio MSO ha eseguito il trigger su una acquisizione del segnale inferiore di 727,3 ps. Tale operazione richiede che l'oscilloscopio MSO disponga di una risoluzione di temporizzazione superiore a 727,3 ps.

Una specifica importante inerente l'acquisizione di un oscilloscopio MSO è data dalla risoluzione di temporizzazione utilizzata per la cattura dei segnali digitali. L'acquisizione dei segnali mediante una migliore risoluzione di temporizzazione garantisce una misurazione della temporizzazione più accurata nel caso di variazioni del segnale. Ad esempio, una velocità di acquisizione di 500MS/s dispone di una risoluzione di temporizzazione di 2 ns e l'incertezza del fronte del segnale acquisita è di 2 ns. Una risoluzione di timing inferiore riduce l'incertezza del fronte del segnale e cattura i segnali che variano in modo più rapido.

La serie Tektronix MSO4000 cattura segnali digitali con due tipi di acquisizioni simultanee. Il primo tipo di acquisizione ha luogo con una risoluzione di temporizzazione di 2 ns per una lunghezza di registrazione che raggiunge i 10 M. Il secondo tipo, anche noto come MagniVu,

dispone di una risoluzione di temporizzazione inferiore a 60,6 con una acquisizione della lunghezza di registrazione di 10.000 punti centrati sul trigger. La serie MSO3000 offre fino a 121,2 ps di risoluzione di temporizzazione per MagniVu.

Nella figura 8, la cattura del glitch del segnale inferiore è simultanea al verificarsi del fronte di salita del segnale superiore. È possibile che si tratti di un problema di crosstalk, tuttavia per giungere a questa conclusione sono necessarie ulteriori indagini.



Fig. 9 - Crosstalk del fronte di salita fra due segnali PECL a basso voltaggio che generano anomalie

I canali analogici dell'oscilloscopio MSO sono connessi a entrambi i segnali PECL a bassa tensione e l'oscilloscopio MSO viene riavviato per ricercare impulsi non conformi. In questo caso, l'oscilloscopio MSO esegue il trigger su una anomalia di 1,091 ns e l'indagine analogica di entrambi i segnali PECL a bassa tensione, come indicato nella figura 9. I glitch su segnali analogici si verificano contemporaneamente al verificarsi dei fronti di salita dell'altro segnale.

La maggior parte di questo tipo di glitch analogici rimane sotto la soglia logica del PECL a basso voltaggio, tuttavia alcuni oltrepassano tale soglia e vengono visualizzati come errori logici, come nel caso dell'anomalia della parte superiore della forma d'onda nel fronte sinistro dello

schermo. L'oscilloscopio MSO offre il vantaggio di catturare sia le caratteristiche analogiche sia digitali del segnale e di visualizzarle correlate nel tempo, permettendo l'analisi dell'integrità del segnale dei segnali digitali. La causa di tali anomalie è individuabile nel crosstalk del fronte di salita fra i due segnali PECL a bassa tensione. Le transizioni del fronte di salita del segnale PECL sono condotte con maggiore rigidità rispetto a quelle dei fronti di discesa. Ne consegue che i fronti di salita generano un numero di

crosstalk notevolmente maggiore rispetto ai fronti di discesa. In questa acquisizione non è stato indicato alcun caso di crosstalk dei fronti di salita.

La più recente generazione di oscilloscopi a segnali misti mette quindi a disposizione numerose funzionalità e tools tra cui: esecuzione di trigger digitale, capacità di acquisizione ad alta risoluzione e strumenti di analisi integrati, di valore inestimabile per i progettisti che verificano l'interazione complessa fra componenti digitali, analogici e software all'interno dei progetti, al fine di verificare ed effettuare il debug dei circuiti digitali in modo semplice e veloce.

Tektronix
readerservice.it n. 17