

Jitter und die neue digitale Ordnung

Ermittlung der Bitfehlerrate mittels BER-Messungen

Angesichts der zunehmenden Ausbreitung aller Formen der digitalen Kommunikationstechnik erhält das Thema Jitter immer größere Bedeutung, da ein umfassendes Verständnis der parametrischen Eigenschaften des digitalen Datenflusses erforderlich ist. Bei digitalen Datenflüssen ist die Augenöffnung ein wichtiges Beurteilungskriterium für die Qualität der Übertragung. Designer müssen nicht nur verifizieren, dass ein Design funktioniert, sondern auch ermitteln, wie gut es funktioniert. Damit berühren Sie Fragestellungen wie sie im analogen Bereich üblich sind, wo parametrische Messungen erfolgen und Spezifikationsbudgets erstellt werden. Neben den Timing-Grenzwerten ist die Zuverlässigkeit der Bitfehlerrate eines Systems entscheidend. Diese wird durch BER-Messungen ermittelt.

Jitter lässt sich definieren als das Maß der Zeitabweichung eines Signals an seinen Kennzeitpunkten von einem idealen Referenzwert. Die Kennzeitpunkte eines digitalen Signals sind seine Übergangspunkte. Der Referenzwert wird entweder aus den abgetasteten Daten erzeugt oder extern bereitgestellt. In im Folgenden betrachteten Beispiel wurde eine sinusförmige Jitter-Quelle verwendet (Abb. 1).

Obgleich diese Definition Raum für eine Reihe unterschiedlicher Auffassungen von Jitter – etwa Jitter zwischen den Zyklen und periodischer Jitter – lässt, nimmt die zeitintervallfehlerbasierte Darstellung von Jitter in aktuellen Standards eine herausragende Rolle ein. Dabei wird die Zeitabweichung entweder unter Verwendung des tatsächlichen Sendetakts oder einer Rekonstruktion dieses Sendetakts anhand der abgetasteten Daten ausgedrückt, und zwar in Form der Momentanphasenfehler

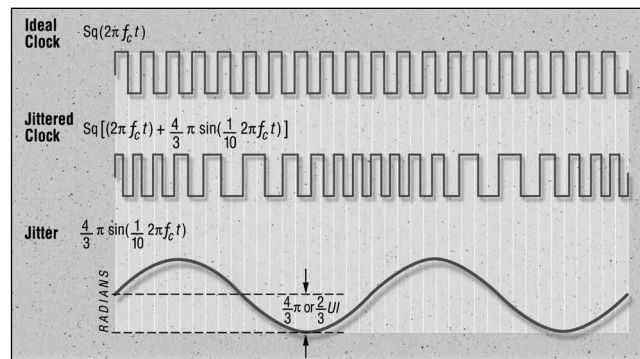


Abb. 1:
Sinusförmig gejittertes
Signal

für jedes Bit-Intervall des erfassten Signals. Die Berücksichtigung der Phasenfehler ermöglicht es, traditionelle Zeitbereichs- (z.B. Oszilloskop), Modulationsebenen- oder Frequenzbereichstechniken für die Analyse der Phasenmodulations-Seitenbänder (Spektrum- oder Phasenrauschenanalyse) heranzuziehen. Alle diese Ansätze liefern Erkenntnisse über die Art des Jitters im gemessenen Bauelement.

Die Jitter-Quellen lassen sich in drei Kategorien einteilen. Die erste Gruppe umfasst alle Rauschstörungen, die in elektronischen Bauteilen und Subsystemen wie Oszillatoren und PLL-Schaltungen auftreten. Hierzu zählen etwa Schrotrauschen, thermisches Rauschen und rosa Rauschen. Zur zweiten Gruppe gehören systematische Effekte wie Übersprechen und Störtauschen von Nachbarleitungen und -schaltungen sowie die Tastverhältnisverzerrung, die ein Maß für die Symmetrie der hohen und niedrigen Ansteuerungsfunktionen darstellt. Die dritte Gruppe schließlich beinhaltet alle Quellen, die Datenabhängigkeit aufweisen. Hierzu zählen Mechanismen wie Symbolinterferenz, Dispersion und wortsynchrone Verzerrung.

Jitter-Komponenten

Jitter wird in zwei Komponenten – den ‚deterministischen‘ und den ‚zufälligen‘ Anteil – zerlegt. Die erste dieser beiden Komponenten wird durch systematische und datenabhängige Quellen verursacht, die zweite durch Rauschmechanismen, von denen angenommen wird, dass sie einer Gaußschen Verteilung genügen.

Die Jitter-Zerlegung ist vor allem für die vollständige Spezifizierung und Budgetierung der Bitfehlerrate von Bedeutung. Dabei geht es darum, einen Spitze-zu-Spitze-Jitterwert zu erzielen, der eine vorgegebene System-Bit-

fehlerrate – bei vielen Standards beträgt diese 10 bis 12 – erreicht oder übertrifft.

Darstellung von Jitter

Die Zerlegung von Jitter in zufällige und deterministische Komponenten ist nur eine Möglichkeit, ihn darzustellen. Jede ernsthafte Anstrengung, das Phänomen Jitter besser zu verstehen, erfordert jedoch die Kombination einer Reihe von Darstellungsweisen. Einige davon werden in der folgenden Übersicht kurz erörtert.

Jitter-Transfer

Bei diesem Verfahren wird die Jitterübertragung eines Bauteils dargestellt. Hierunter versteht man den Quotient des am Ausgang gemessenen Jitters und des am Eingang eingetragenen Jitters in Abhängigkeit von der Jitterfrequenz. Dazu wird ein präziser Eingangsjitterwert benötigt. Der Ausgang wird in schmalen Bandbreiten über das interessierende Spektrum gemessen. Diese Messung ist für synchrone Systeme wie SONET und SDH vorgeschrieben und charakterisiert die Eigenschaften der PLL-basierenden Taktregenerierungsbauteile.

Jitter-Toleranz

Bei dieser Art der Jitter-Darstellung wird die Jitter-Anfälligkeit eines Bauelements bei einem bekannten Eingangsjitterwert gemessen. Daraus ergibt sich die Menge des sinusförmigen Eingangsjitters, die erforderlich ist, um am Ausgang eine vorgegebene Bitfehlerrate zu erzielen. Wie bei der Jitter-Übertragung ist auch hier eine präzise Jitter-Kontrolle in dem Bitmuster-generator erforderlich. Darü-

► Autor

BRIAN FETZ ist Leiter des Signalintegritätsprogramms der Electronic Product and Solutions Group, zuvor war er als Produktions- und Testingenieur für Basis- und Mobilstationen im Fertigungsbereich tätig. Agilent Technologies GmbH; Herrenberger Str. 130, D-71034 Böblingen
Fon: 01805/24 6333, Fax 01805/24 6336
E-Mail: contactcenter_germany@agilent.com

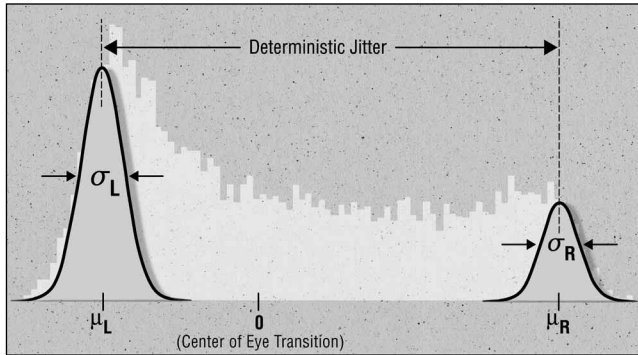


Abb.2:
Zeitintervallfehler-
Histogramm

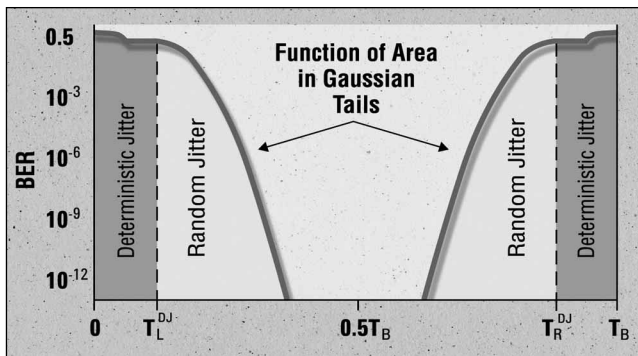


Abb.3:
Badewannenkurve

ber hinaus muss am Ausgang des Prüflings eine Bitfehlerrate gemessen werden können. Auch diese Darstellungsform ist für SONET- und SDH-Systeme vorgeschrieben und die Jitter-Empfindlichkeit muss einer spezifischen Grenzwertmaske entsprechen. Bei anderen Standards, z.B. dem 10-Gb-Ethernet, wird der Jitter-Toleranz-Test durch das Stressed-Eye-Verfahren abgedeckt.

Jitter-Erzeugung

Bei dieser Darstellungsweise wird der Ausgangs-Jitter ohne impliziten Eingangswert angezeigt. Der Jitter-Inhalt wird frequenzabhängig von 0 bis 100 MHz (als Phasenrauschmessung) abgebildet. Das resultierende Spektrum kann über eine spezifische Bandbreite integriert werden, um den Gesamt-Jitter anzugeben. Diese Methode ist als obligatorisches Messverfahren in SONET und SDH festgelegt. Da sie äußerst präzise ist, kann sie jedoch auch für andere Systeme angewandt werden, vor allem unter Berücksichtigung der Charakteristika für Takt- und PLL-Schaltelemente.

Augendiagramm

Diese Art der Jitter-Darstellung ist intuitiv und hat großen Nutzen. Es handelt sich dabei um die Überlagerung aller Signal-Bewegungsbahnen durch Übergangspunkte, die zusammen über ein Bit-Intervall (auch als Bit-Periode bezeichnet) präsentiert werden. Signifikante Mitverursacher des deterministischen Jitters

lassen sich so leicht ermitteln. Wenn z.B. festgestellt wird, dass die steigenden und fallenden Flankenwechsel sich unterhalb des erwarteten Grenzwerts überschneiden, weist dies auf eine Verzerrung des Tastverhältnisses hin. Falls mehrere unterschiedliche steigende und fallende Flanken zu sehen sind, liegen datenabhängige Muster vor.

Histogramm

Histogramme zeichnen die Häufigkeit des Auftretens in Abhängigkeit von dem Wertebereich des analysierten Parameters auf und liefern ergänzende Erkenntnisse zum Augendiagramm. Indem sie das Jitter-Profil sofort optisch darstellen, zeigen sie schnell die relative Größe des deterministischen und des zufälligen Jitters. Ein Beispiel wird in Abbildung 2 gezeigt. Viele Parameter, die Erkenntnisse zu den Jitter-Quellen liefern, können in Histogrammform dargestellt werden. Beispiele hierfür sind etwa: Tastverhältnis, Anstiegszeit, Abfallzeit, Periode und Zeitintervallfehler.

Badewannenkurve

Die Badewannenkurve (auch als BERT-Scan bezeichnet) ist ein Diagramm, das die Bitfehlerrate im Verhältnis zur Abtastzeit über die Dauer der Schrittlänge darstellt. Die Bereiche in der Nähe der Übergangspunkte (bei Schrittlänge 0 und 1) geben den von determinierten Mechanismen dominierten Bitfehlerbereich wieder und haben eine annähernd horizontale Kenngröße, da Fehler- und Er-

folgs wahrscheinlichkeit ungefähr gleich hoch sind (Bitfehlerrate = 0,5). Mit zunehmender Verlagerung des Abtastorts von diesen Bereichen nach innen fällt die Bitfehlerrate jäh ab. Im inneren Bereich herrscht der zufällige Jitter vor. Da die Bitfehlerrate die feste Bezugsgröße für die digitale Datenübertragung ist, eignet sich diese Darstellungsweise am besten zur quantitativen Prüfung eines digitalen Designs.

Neben den oben erläuterten gibt es eine Reihe weiterer Darstellungsformen für Jitter wie etwa Zeitbreite, Jitter-Spektrum und Jitter-Trennung.

Tools zur Jitter-Analyse

Die hier aufgeführten Jitter-Darstellungen können mithilfe zahlreicher Tools erzeugt werden. Besonders interessant sind in diesem Zusammenhang Echtzeit-Abtastoszilloskope, Digitalkommunikationsanalytoren, Phasenrauschen- oder Spektrumanalysatoren sowie Bitfehlerraten-Tester.

Echtzeit-Abtastoszilloskope sind die flexibelsten und am weitesten verbreiteten Geräte zur Jitter-Analyse. Sie können Augendiagramme und zahlreiche unterschiedliche Histogrammtypen erzeugen und dabei gleichzeitig Datensignal, Zeittrenddaten und FFT der betreffenden Messergebnisse anzeigen. Damit bieten sie unübertroffene Diagnosefähigkeiten. Eine Vielfalt von Jitter-Parametern wie Messung zwischen den Zyklen, n-Zyklus, Periode und Verzögerung (zwei Signale) sind verfügbar. Darüber hinaus können die erfassten Signale zur Trennung der Jitter-Komponenten an eine geeignete Software übergeben und dort weiterverarbeitet werden.

Digitalkommunikationsanalytoren gehören zur Gruppe der Oszilloskope. Das von ihnen verwendete Abtastverfahren führt jedoch zu völlig anderen Charakteristika. Die besonderen Stärken von Digitalkommunikationsanalytoren sind die günstigen Kosten, die extrem hohe Bandbreite jenseits von 90 GHz, die Möglichkeit, geringen Jitter (unter 200 fs) zu messen sowie die Flexibilität, die unter anderem TDR (Time Domain Reflectometry) ermöglicht. Sie sind ideal geeignet für Daten-

raten über 3,3 GBit/s, werden jedoch über alle Datenraten hinweg zur Augendiagrammanalyse eingesetzt. Aufgrund des von ihnen verwendeten Abtastverfahrens sind sie allerdings sehr viel langsamer als Echtzeit-Abtastoszilloskope, können benachbarte Zyklen nicht mit einer Triggerung erfassen und benötigen ein Triggerungsereignis mit geringem Jitter. Obgleich sie benachbarte Zyklen nicht mit einer Triggerung erfassen können, sind sie bei repetitiven Signalen in der Lage, die Signaleigenschaften für benachbarte Bitreihen zu erfassen.

Phasenrauschen- und Spektrumanalysatoren zeichnen sich durch ein extrem geringes Eigenrauschen aus und müssen immun gegen Amplitudenrauschen sein. Trotz der Verwandtschaft zwischen Jitter und Phasenrauschen sind hier so viele Einschränkungen zu beachten, dass nur sehr anspruchsvolle Designer von Taktreferenzen, Komponenten, Taktregenerierungsschaltungen und PLL-Schaltungen dieses Messverfahren einsetzen, um den erforderlichen Spielraum zu ermitteln. Neben der Genauigkeit dieser Analysatoren liefert die Spektralauswertung wichtige Erkenntnisse über spezifische Design- und Systemeigenschaften, die mittels anderer Verfahren schlicht nicht beobachtet werden können. Die Analyse ist auf Jitter-Komponenten unter 200 MHz begrenzt. Dieser Wert liegt erheblich unter der in vielen digitalen Standards festgesetzten Analyse-Bandbreite. Die Orientierung auf die Seitenbandanalyse bringt es mit sich, dass subharmonische Verzerrungsmechanismen übersehen werden.

Ein Bitfehlerraten-Tester (BERT) ist ein System, welches Daten generiert und analysiert. Dabei ermöglicht es die variable Einstellung von Abtastzeit/-ort und Schwellenwertamplitude. Darüber hinaus sind zahlreiche Eingangs- und Ausgangskonfigurationen möglich. Hierzu zählen auch parallele und serielle Datenströme, die auch die Prüfung zahlreicher unterschiedlicher Bauelemente wie z.B. SERDES-Modulen ermöglichen. Die Stärke eines Bitfehlerraten-Testers ist die Messung der tatsächlichen Bitfehlerrate, die der letztendliche Indikator für Parameterunempfindlichkeit ist. Sie lässt sich bei der Erzeugung

einer Badewannenkurve oder bei der Auswertung der Bitfehlerrate an bestimmten Abtastorten zur Bestimmung des zufälligen Jitters – und damit der Jitter-Trennung – nutzen. Auch Histogramme und ISO-BER-Konturen (Konturen gleicher Fehlerwahrscheinlichkeit im Augendiagramm) sind möglich. Obgleich der Bitfehlerraten-Tester jedes Bit-Intervall nutzt, können die Tests bei sehr geringen Bitfehlerraten viel Zeit in Anspruch nehmen. Bei überlanger Testdauer werden Extrapolationsverfahren verwendet, mit denen sich die Testdauer von Minuten auf Sekunden reduzieren lässt.

Fazit

Wir erleben derzeit eine Verschiebung hin zur parametrischen Auswertung digitaler Kommunikationsverbindungen. Die analytischen Mittel hierzu sind Messungen von Jitter und Bitfehlerrate. Diese Messungen quantifizieren systematische und Gaußsche Fehlerquellen. Diese können mittels unterschiedlicher Darstellungsverfahren und vielfältiger Instrumente analysiert werden. Welche Darstellungsweisen und Tools jeweils am geeignetsten sind, ist abhängig von dem untersuchten Bauteil- bzw. Subsystemtyp, der Übertragungsrate, der Erwartung von Kunde und Anbieter, dem Stadium des Produktzyklus, dem Integrationsniveau sowie individuellen Vorlieben. Das Gebiet der Jitter-Messung mag aufgrund der unzähligen Optionen und der unterschiedlichen Ansätze in verschiedenen digitalen Standards unübersichtlich erscheinen. Gleichwohl werden sich auch die Jitter-Messungen letztendlich an der in der Branche erforderlichen Kosteneffizienz orientieren. Dabei sind die Gerätekosten gegen die Konsequenzen abzuwiegen, die verschleppte Erkenntnisse auf die Markteinführungszeit haben.

Beitrag als PDF im Internet:

www.duv24.net

more @ click TK4A0101

