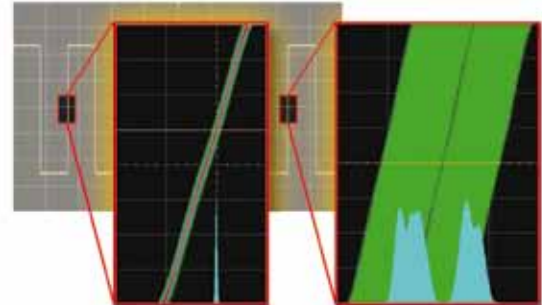


Ihr Spezialist für
Mess- und Prüfgeräte

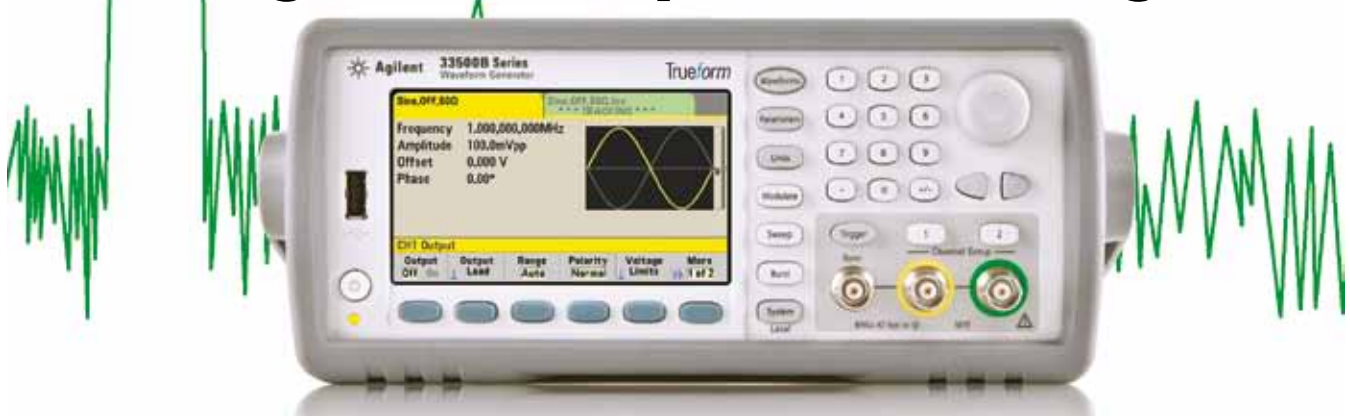
MESSEN + TESTEN

Reduced Jitter



Trueform technology DDS technology

Signale noch präziser erzeugen



Ein neues Signalgenerator-Konzept bietet signifikante Vorteile gegenüber der bei herkömmlichen Funktions-/Arbiträrsignalgeneratoren üblichen DDS-Technik (Direct Digital Synthesis). Die beiden wichtigsten Vorteile sind der wesentlich kleinere Signal-Jitter und die Tatsache, dass das Ausgangssignal nicht durch Approximation erzeugt wird und dadurch exakt die gewünschte Form aufweist. All dies kommt der Messgenauigkeit zugute.

Das neue Konzept wird bisher ausschließlich bei den neuen Signalgeneratoren der Familie Agilent 33500B angewandt. Es stellt eine deutliche Verbesserung gegenüber dem bislang genutzten Verfahren dar, bei dem im Prinzip die Abspeicherung der Signalform als eine Folge digitaler Amplitudenwerte (Signalpunkte) realisiert wird, die dann nacheinander ausgelesen und von einem D/A-Wandler in ein entsprechendes Analogsignal umgesetzt („wiedergegeben“) werden. Nach dem Auslesen des letzten Punktes springt der Generator zum ersten Punkt zurück, und es beginnt der nächste Zyklus. Dieses Verfahren wird gelegentlich auch als PPC-Verfahren (Point Per Clock)

bezeichnet, weil pro Taktflanke des D/A-Wandlers ein Signalpunkt ausgegeben wird.

Nachteile bisheriger Signalgenerator-Konzepte

Diese Methode mag vielleicht das intuitivste Verfahren zum Erzeugen von Signalen sein, doch hat es zwei gravierende Nachteile. Erstens muss zum Ändern der Signalfrequenz (Ausleserate) die Taktfrequenz geändert werden; hierfür benötigt man eine rauscharme, durchstimmbare Taktsignalquelle, wodurch der Generator teurer und komplexer wird. Zweitens liefert der D/A-Wandler ein treppenförmiges Aus-

gangssignal, was in den meisten Anwendungen unerwünscht ist. Deshalb müssen die Stufen mit Hilfe aufwendiger Analogfilter geglättet werden. Wegen ihrer Komplexität und der damit verbundenen Kosten wird dieses Verfahren fast ausschließlich in Signalgeneratoren der Spitzenklasse angewandt.

DDS verwendet eine Taktsignalquelle mit fester Frequenz und ein einfacheres Filterverfahren; daraus ergeben sich Kostenvorteile gegenüber dem PPC-Verfahren. Beim DDS-Verfahren wird in jedem Taktzyklus das Ausgangssignal eines Phasenakkumulators um eine einstellbare Schrittweite inkrementiert; das Phasenakkumulator-Signal repräsentiert den Phasenwinkel des zu erzeugenden Signals. Die Generator-Ausgangsfrequenz ist proportional zur Schrittweite des Phasenakkumulators und lässt sich dadurch trotz fester Taktfrequenz leicht verändern. Die Phasenakkumulator-Ausgangswerte werden mit Hilfe einer Look-up-Tabelle in Amplitudenwerte umgesetzt. Das Phasenakkumulator-Design ermöglicht es, mit fester Taktfrequenz zu arbeiten und eine Abtastrate vorzutauschen, die höher als die Taktfrequenz ist. Das bedeu-

tet aber, dass das resultierende Ausgangssignal nicht alle in der Look-up-Tabelle gespeicherten Punkte enthält. Es ist daher nur eine – wenn auch wirklich gute – Approximation des gewünschten Signals. Bei einem DDS-Generator kann es vorkommen, dass einzelne Punkte in unvorhersehbarer Weise übersprungen und/oder wiederholt werden. Im besten Fall führt das „nur“ zu verstärktem Jitter; im ungünstigsten Fall können inakzeptable Verzerrungen auftreten. Feine Signaletails können teilweise oder vollständig verloren gehen.

Die neue Trueform-Technologie von Agilent stellt nun einen signifikanten Fortschritt in der Funktions-/Arbiträr-signalgenerator-Technik dar. Das Verfahren kombiniert die Vorteile beider Konzepte PPC sowie DDS und liefert wie PPC ein vorhersehbares, rauscharmes Signal ohne fehlende Punkte – und das zum Preis von DDS. Das neue Verfahren arbeitet mit einer patentierten, virtuellen Taktsignalquelle mit variabler Frequenz und hochentwickelten Filtern, deren Parameter dynamisch an die Signalabtastrate angepasst werden. Im folgenden einige Details dazu.

Pluspunkt: höhere Signalqualität

Einer der wichtigsten Vorteile von Trueform gegenüber DDS ist die höhere Signalqualität. Dies kann man im Frequenzbereich durch einen Vergleich der Signalspektren und im Zeitbereich mit Hilfe einer Jitter-Messung erkennen. **Bild 1** zeigt das Spektrum eines 10-MHz-Sinussignals, das nach dem Trueform-Verfahren erzeugt wurde; **Bild 2** stellt das Spektrum eines 10-MHz-Sinussignals dar, das mittels DDS-Architektur erzeugt wurde.

Im Idealfall würde ein Sinussignal ausschließlich aus der Grundfrequenz bestehen und keine Oberwellen enthalten. Da es ein solches Signal in der Realität nicht gibt, sollten die Oberwellenanteile zumindest möglichst klein sein. In den Bildern 1 und 2 sind die gemessenen Pegel der zweiten Harmonischen (oben rechts im Bildschirm) rot umrandet. Wie man sieht, ist beim Trueform-Generator die zweite Harmonische mehr als 6 dB kleiner als beim DDS-Generator. Außerdem ist zu erkennen, dass beim DDS-Generator die vierte und fünfte Harmonische deutlich über dem Rauschteppich liegen und dass

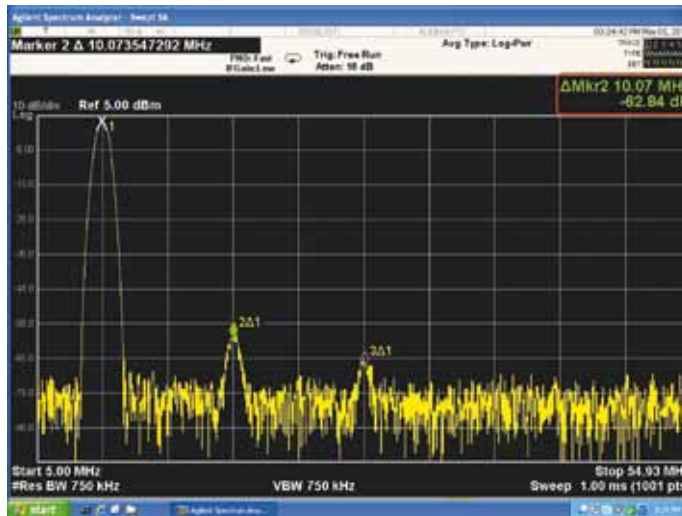


Bild 1. Oberwellen eines 10-MHz-Signals, das mit dem Trueform-Verfahren generiert wurde.

(Bilder: Agilent Technologies)

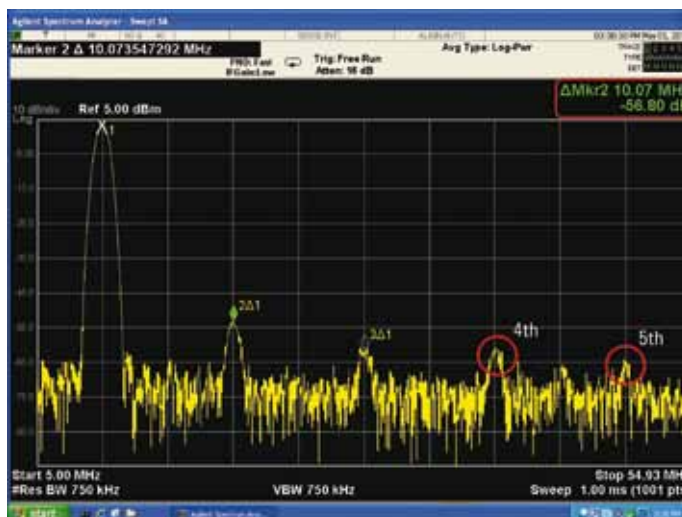


Bild 2. Oberwellen eines 10-MHz-Signals, das mit dem DDS-Verfahren generiert wurde. Deutlich zu erkennen sind (im Vergleich zu Bild 1) die höherfrequenten Harmonischen.

zwischen der vierten und der fünften Harmonischen sogar ein nicht-harmonisches Störsignal vorhanden ist.

Eine Jitter-Messung im Zeitbereich lässt die Vorteile der Trueform-Technologie noch deutlicher hervortreten. Die **Bilder 3** und **4** zeigen die Ergebnisse von Jitter-Messungen mit einem Hochleistungsoszilloskop an einem 10-MHz-Pulssignal. In der Messkurve wurde auf die positive Flanke des Pulssignals zoomt; die Messung erfolgte in der Anzeigeart „unendliche Nachleuchtdauer“. Der Perioden-Jitter des Signals wird mit Hilfe der Histogramm-

funktion des Oszilloskops gemessen. Unterhalb des Messdiagramms wird in dem rot umrandeten Feld jeweils die Standardabweichung angezeigt, die dem Effektivwert des Signal-Jitters entspricht. Bild 3 zeigt das Ergebnis einer

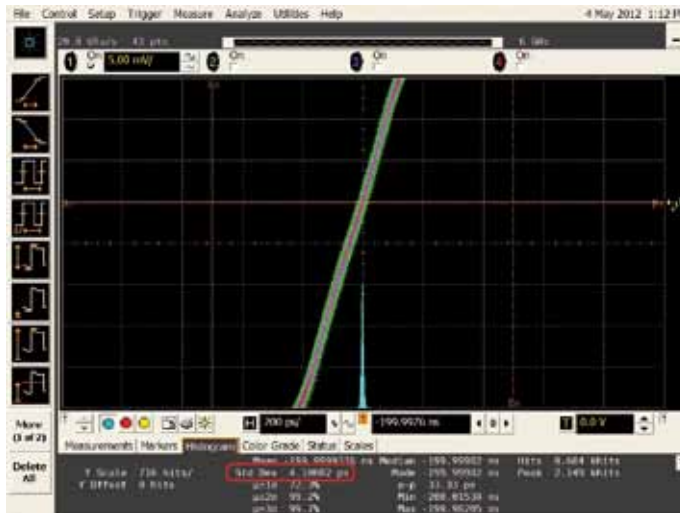


Bild 3. Jitter-Messung an einem mit Trueform erzeugten Signal. Getriggert wurde auf die positive Flanke des Pulses. Der blaue Peak unten im Oszillogramm ist das Histogramm des Periodenjitters (sehr schmal, was zeigt, dass die Abweichung sehr gering ist).



Bild 4. Jitter-Messung an einem DDS-generierten Signal. Zu erkennen ist im Vergleich zu Bild 3 im blau gefärbten Histogramm unten die „breitere“ Anstiegs-Flanken-Zeitvarianz.

Jitter-Messung an einem Trueform-Pulssignal und Bild 4 das Ergebnis einer Jitter-Messung an einem DDS-Pulssignal. Die Amplituden- und Zeitskalen

sind in beiden Abbildungen gleich. Der Jitter des Trueform-Signals beträgt nicht einmal ein Zehntel des DDS-Jitters.

Parameter	DDS: Herkömmlicher 25-MHz-Signalgenerator	Trueform: 30-MHz-Signalgenerator Agilent 33511B	Verbesserung
Flanken-Jitter	500 ps	40 ps	12-fach besser
Genauigkeit benutzerdefinierter Signale	Einzelne Signalpunkte können bei der Ausgabe fehlen	100%-ige Ausgabe aller Signalpunkte	Präzise Signalwiedergabe
Harmonische Gesamtverzerrungen	0,2 %	0,04 %	5-fach besser
Anti-Alias-Filterung	Muss extern erfolgen	Immer vor Aliasing geschützt	Keine Anti-Aliasing-Artefakte
Sequenzierte Arbiträrsignale	Nicht möglich	Standard	Komplexe Signalsequenzen können schnell und einfach erstellt werden

Vergleich zwischen DDS- und Trueform-Verfahren

Die höhere Signaltrue der Trueform-Technologie im Vergleich zu DDS bedeutet, dass alle Messungen mit einer geringeren Unsicherheit behaftet sind. Das gilt insbesondere für Anwendungen, bei denen die Testsignalflanken als Zeitgeber dienen; typische Beispiele sind Taktsignalerzeugung, Signaltriggereung oder Simulation von Kommunikationssignalen. Der geringere Jitter wirkt sich unmittelbar auf die Timing-Unsicherheit von Messungen aus.

Exakt die gewünschte Signalform erzeugen

Wie bereits erwähnt wurde, arbeitet DDS mit einer festen Taktfrequenz und einem Phasenakkumulator. Dadurch ist nicht gewährleistet, dass jeder einzelne Signalpunkt und jedes Detail korrekt wiedergegeben wird. Je höher die Frequenz, desto mehr „Lücken“ weist das Ausgangssignal im Vergleich zum idealen Signal auf. Ein Trueform-Generator hingegen gibt jeden einzelnen Punkt wieder – unabhängig von der eingestellten Frequenz und Sampling-Rate. Das ist besonders wichtig bei Signalen mit „feinen“ Details.

Als Beispiel ist in Bild 5 ein Arbiträr-signal gezeigt, das aus einem Puls mit sieben Spikes abnehmender Amplitude auf dem Pulsdach besteht. Dieses Signal wurde in einen Trueform-Signalgenerator und in einen DDS-Funktions-/Arbiträr-signalgenerator geladen. Dann wurde das Signal auf beiden Generatoren zunächst mit einer Frequenz von 50 kHz abgespielt. Die Signale wurden mit einem Oszilloskop analysiert (siehe Bild 5). Die gelbe Kurve zeigt das Trueform-Signal und die grüne das DDS-Signal.

Bei 50 kHz waren beide Generatoren in der Lage, das Signal mit sieben Spikes auf dem Pulsdach wiederzugeben. Im Oszillogramm ist zu erkennen, dass die Trueform-Spikes eine größere (genauer: die durch die Signaldaten vorgegebene) Amplitude erreichen. Bild 6 zeigt die gleichen Signale, diesmal jedoch

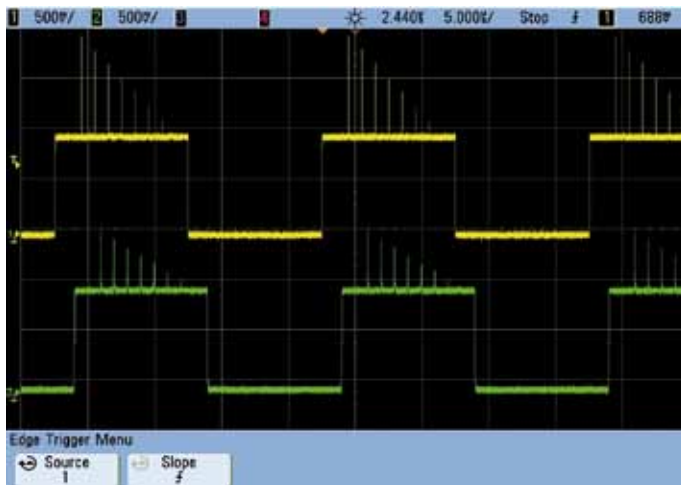


Bild 5. Arbiträrsignalvergleich bei 50 kHz. Die gelbe Kurve zeigt das Trueform-Signal und die grüne das DDS-Signal.



Bild 6. Arbiträrsignalvergleich bei 100 kHz. Die gelbe Kurve zeigt das Trueform-Signal und die grüne das DDS-Signal.

mit 100 kHz. Bei 100 kHz gab der Trueform-Generator alle sieben Spikes aus, wogegen der DDS-Generator keinen einzigen Spike produzierte!

Bei einem weiteren Messbeispiel wurden die gleichen Signale mit 200 kHz wiedergegeben. Auch hierbei gab der Trueform-Generator alle sieben Spikes aus. Der DDS-Generator produzierte bei 200 kHz jetzt plötzlich drei Spikes – und zwar an Zeitpunkten, die nicht mit denen in den Signaldaten übereinstimmen. Diese Beispiele verdeutlichen, dass man sich bei Signalen mit feinen Details nicht auf die DDS-Technologie verlassen kann.

Seit Jahrzehnten ist DDS bei Funktions-/Arbiträrsignalgeneratoren die dominierende Technologie, weil sie kostengünstiger ist als die technisch überlegene PPC-Technologie. Der größte Nachteil der DDS-Technologie ist die bescheidene Signalqualität, die sich in Form von Jitter, Oberwellenverzerrungen und fehlenden Signalpunkten äußert – der Generator liefert einfach nicht exakt das Signal, das eigentlich erstellt wurde. Letztlich weist das patentierte Trueform-Verfahren die Leistungsfähigkeit von PPC zum Preis von DDS auf und stellt damit einen Sprung in der Signalgenerator-Technologie dar, weil sehr Jitter-arme Signale geliefert werden, die exakt die gewünschte Form aufweisen. Die **Tabelle** listet zusammenfassend einige Parameter zur DDS- und zur Trueform-Architektur auf.

Nach Unterlagen von Agilent Technologies / ha

Literatur:

[1] www.agilent.com/find/trueform