

► **Application Note**

Auswahl eines Arbitrary Waveform Generators

Test- und Messgeräte für Elektronik lassen sich in zwei Hauptkategorien unterteilen: Messinstrumente und Signalquellen. Instrumente wie digitale Multimeter, Digitizer, Oszilloskope, Spektrumanalysatoren und Logikanalysatoren messen die elektrischen Eigenschaften eines Eingangssignals, typischerweise eine elektrische Potenzialdifferenz oder eine Spannung. Signalquellen müssen Signale zur Verwendung als Test-Stimulus bereitstellen. In vielen Testsituationen sind die getesteten Geräte selbst nicht in der Lage, Signale zu erzeugen. Nehmen wir als Beispiel einen Verstärker. Ohne Signalquelle zur Bereitstellung eines geeigneten Eingangssignals lassen sich keine signifikanten elektrischen Messungen durchführen. Es ist die Kombination aus Messinstrumenten und Signalquellen, die das Testen elektrischer Geräte möglich macht. Dieser Beitrag erläutert die Verwendung von Arbitrary Waveform Generatoren (AWG) als Signalquellen zur Erzeugung unterschiedlicher Wellenformen als Test-Stimuli.

Übersicht über Signalgeneratoren

Es gibt viele Arten von Signalgeneratoren, wobei jeder Signalgenerator spezifischen Testanforderungen gerecht wird. Tabelle 1 bietet eine Übersicht über häufig eingesetzte Generatoren.

Signalquelle	Charakteristik	Wellenform
RF Signalgenerator	Sind in der Lage, sinusförmige Continuous-Wave-Signale (CW-Signale) innerhalb eines großen Frequenzbereichs zu erzeugen. Viele bieten zahlreiche Arten analoger Modulation wie Amplituden-, Frequenz-, Phasen- und Impulsmodulation.	Sinus Modulierter Sinus Sinusverlauf
Vektor Signal-generator	Erzeugen digital modulierte Funkfrequenzsignale, die eines der zahlreichen digitalen Modulationsformate nutzen, beispielsweise QAM, QPSK, FSK, BPSK oder OFDM.	Sinus Modulierter Sinus
Pulsgenerator	Erzeugen Impulswellenformen oder Rechteckwellenformen und werden zum Testen digitaler und gepulster Systeme verwendet.	Rechteckpuls
Data oder Pattern-generatoren	Generieren mehrere logische Signale (d. h. Signale vom Typ logisch 1 und logisch 0) zur Verwendung als Anregungsquelle für die Validierung von Funktionen und das Testen digitaler Kreise und Systeme.	Rechteckpuls Digitalpattern
Funktionsgeneratoren	Erzeugen einfache, sich wiederholende Wellenformen wie Sinuswellen, Sägezahn-, Sprung- (Impuls-) und Dreiecksignale. Zum Funktionsumfang können Modulationsfunktionen wie Amplitudenmodulation (AM), Frequenzmodulation (FM) oder Phasenmodulation (PM) gehören.	Sinus, Rechteckpuls, Rechtecksignal, Dreieck, Rampe, Sägezahn, modulierte Signale, Rauschen
Arbitrary Waveform Generator	Dienen der Erzeugung beliebiger analoger Wellenformen aus Digitalsignalen innerhalb bekannter Grenzwerte für Bandbreite, Frequenzbereich, Genauigkeit und Ausgangspegel.	Alle

Tabelle 1: Übersicht über häufig eingesetzte Signalgeneratoren

Der Arbitrary Waveform Generator kommt einer universellen Signalquelle am nächsten.

► **Application Note**

Wellenformen lassen sich analytisch mit großer Präzision durch Gleichungen erzeugen oder mit Digitizern oder digitalen Oszilloskopen erfassen und wiedergeben. Modulare AWGs bieten zudem kompakte Abmessungen und Kompatibilität mit hohem Integrationsgrad mit ihren Host-Computern was sie ideal für den Einsatz in automatisierten Testsystemen macht.

Arbitrary Waveform Generatoren

Arbitrary Waveform Generatoren (AWG) sind digitale Signalquellen und funktionieren quasi wie ein Digitizer im Umkehrbetrieb. Während ein Digitizer eine analoge Wellenform abtastet, digitalisiert und anschließend in seinem

Aufzeichnungsspeicher speichert, verfügt der AWG über eine numerische Beschreibung der in seinem Wellenformspeicher hinterlegten Wellenform.

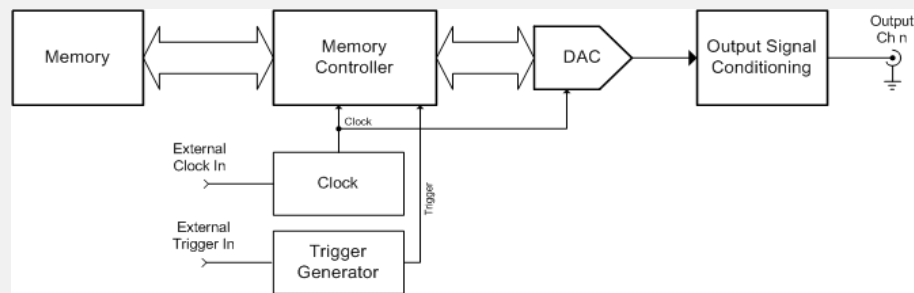


Bild 1: Konzeptionelles Blockschaltbild eines AWG

Einzelne Werte der Wellenform werden an einen Digital-Analog-Wandler (DAC) gesendet und anschließend, unter Anwendung entsprechender Filter- und Signalkonditionierungsfunktionen, als analoge Wellenform ausgegeben. Bild 1 zeigt ein konzeptionelles Blockschaltbild eines AWG.

Die Wellenform wird in digitaler Form in den Wellenspeicher geladen. Wie der Aufzeichnungsspeicher in einem Digitizer muss dieser Speicher mit der höchsten vom AWG unterstützten Abtastrate getaktet werden können. Erhält er den entsprechenden Befehl, werden die Inhalte des Wellenformspeichers zum DAC gesendet, wo die digitalen Werte in eine analoge Spannung gewandelt werden. Manche DACs ermöglichen eine zusätzliche Interpolation, um am Ausgang eine höhere Aktualisierungsrate als die aus dem Speicher bereitgestellte zu erzielen.

Die Speichersteuerung erfasst die Elemente aller Wellenformanteile sowie sämtliche zugehörigen Verknüpfungen im Wellenformspeicher und gibt sie in der richtigen Reihenfolge aus. Darüber hinaus kann sie, um Speicherplatz zu sparen, sich wiederholende Elemente in einer Schleife wiederholen (Looping), sodass diese Elemente nur einmal im Speicher abgelegt werden müssen.

Am DAC-Ausgang ist ein hoher Anteil an Oberschwingungen zu beobachten, die gefiltert werden müssen. Dies wird durch die Ausgangsstufe erreicht, die das Signal durch Filter und durch Anpassung von Verstärkungen und Offsets an die Bedürfnisse des Benutzers anpasst.

Der zeitliche Verlauf der Wellenform wird über einen Takt gesteuert, der von einem internen oder externen Taktgeber erzeugt werden kann.

Die Synchronisation mit externen Ereignissen wird durch die Triggereinheit aufrechterhalten, die auf Grundlage eines vom Benutzer vorgegebenen Ereignisses für die direkte Ausgabe der Wellenform oder für die Weiterschaltung auf die nächste Wellenform sorgt. Triggerereignisse können intern, extern oder über einen weiteren angeschlossenen modularen AWG oder von einem Digitizer erzeugt werden.

Die eigentliche Implementierung der oben aufgeführten Elemente variiert entsprechend der

► Application Note

jeweiligen Modelle. Alle AWGs verfügen jedoch über ähnliche Elemente.

Spezifikationen für Arbitrary Waveform Generatoren

Die Spezifikationen für einen Arbitrary Waveform Generator unterscheiden sich deutlich von denen für einen Standard-Signalgenerator. Dies liegt an der großen Flexibilität bei der Auswahl der auszugebenden Wellenform und am digitalen Layout des AWG.

Bandbreite, Abtastrate und maximale Ausgangsfrequenz

Die wichtigsten Parameter sind – wie bei Digitizern – Bandbreite und Abtastrate. Die Bandbreite bestimmt die höchste Frequenz, mit der der AWG eine Sinuswelle bei einem Verlust von weniger als 3 dB erzeugen kann. Da viele der Wellenformen, die der AWG erzeugen kann, hohe Anteile an Oberschwingungen haben, bestimmt die Bandbreitenbegrenzung die Wellenform mit der höchsten erzeugbaren Frequenz. Bei einer Rechteckwelle sollte z.B. noch die fünfte Oberschwingung für eine korrekte Ausgabe der Signalform enthalten sein. Bei einer bestimmten Bandbreite entspricht die Rechteckwelle mit der höchsten Frequenz einem Fünftel der AWG-Bandbreite.

Die Abtastrate hängt mit der Bandbreite zusammen. In der Theorie muss die Abtastrate mindestens dem Zweifachen der Bandbreite entsprechen. Erhöht man bei einer festen Bandbreite die Abtastrate, erreicht man keine Verbesserung der maximalen Bandbreite. Die Abtastrate bestimmt auch die horizontale Auflösung des AWG. Dadurch wird der kleinste Zeitschritt definiert, der innerhalb der Wellenformen festgelegt werden kann.

Speichertiefe

Die Größe des Speichers bestimmt die längste Wellenform, die ohne Wiederholung (Looping) von Wellenformanteilen ausgegeben werden kann. Die maximale Signaldauer ohne Looping entspricht der Speicherlänge multipliziert mit der Abtastperiode. Das Looping redundanter Wellenformanteile ohne Belegung zusätzlichen Speicherplatzes kann eine deutliche Vergrößerung der maximalen Wellenformlänge bewirken.

Modulare AWGs, die im Streaming-Modus (FIFO) arbeiten, können die Wellenformen durch Nutzung des Speichers ihrer Hostcomputer zusätzlich erweitern. Die Produkte der Baureihe M4i.66xx von Spectrum können beispielsweise durch Nutzung des internen AWG-Speichers als Zwischenspeicher für hohe Übertragungsraten Daten mit bis zu 2,8 GByte/s vom Host-PC zum AWG übertragen. Dadurch unterliegt der AWG nicht mehr den Beschränkungen seines internen Speichers. Die Kombination von FIFO-Streaming mit Looping- und Verknüpfungsfunktionen ermöglicht die Erzeugung einer bislang nicht erreichten Vielfalt langer Wellenformen.

Amplitudenauflösung

Die Amplitudenauflösung gibt den Mindestpegel des Ausgangssignals vor, das der AWG erzeugen kann, sowie den minimalen Amplitudenschritt zwischen zwei nebeneinander liegenden Werten. Die Amplitudenauflösung des AWG wird durch die Anzahl der Auflösungsbits von DAC und Speicher bestimmt. Im Allgemeinen muss man einen Kompromiss zwischen DAC-Auflösung und Abtastrate eingehen. Das bedeutet: je höher die Anzahl der Bits im DAC, desto geringer die maximale Abtastrate.

► **Application Note**

Betriebsmodi

AWGs können unterschiedliche Betriebsmodi bieten, die wiederum festlegen, wie die gespeicherten Wellenformen wiedergegeben werden. Die Möglichkeit, bestimmte Segmente einer Wellenform zu wiederholen (Looping) oder eine auf Triggern basierende Weiterschaltung zwischen Segmenten vorzusehen, bietet eine ultimative Flexibilität und verringert die Größe des für komplexe Wellenformen erforderlichen Speicherplatzes. Nachstehend sind gängige Betriebsmodi aufgeführt:

Single-Shot

Die programmierte Wellenform wird pro externem oder Softwaretrigger einmal wiedergegeben. Auf den ersten Trigger folgende Trigger werden ignoriert.

Repeated Output

Die programmierte Wellenform wird kontinuierlich für eine Anzahl bestimmter Durchläufe wiedergegeben oder bis ein Stoppbefehl ausgeführt wird. Die Triggerquelle kann ein externer Triggereingang oder ein Softwaretrigger sein. Auf den ersten Trigger folgende Triggerereignisse werden ignoriert.

Single Restart Replay

Die Signale des On-Board Speichers werden einmal nach jedem Triggerereignis ausgegeben. Die Triggerquelle kann ein externer Trigger oder der interne Softwaretrigger sein..

FIFO

Beim FIFO-Modus (First-In – First-Out) handelt es sich um einen Betriebsmodus, den es nur bei sehr wenigen AWGs wie bei den modularen AWGs von Spectrum gibt. Er ist auf eine kontinuierliche Datenübertragung zwischen dem Speicher bzw. der Festplatte des Host-Computers und dem AWG ausgelegt. Die Steuerung des Datenstroms erfolgt automatisch durch eine Interrupt-Anforderung des Treibers. Der gesamte installierte On-Board-Speicher wird für die Zwischenspeicherung von Daten genutzt. Dadurch ist das kontinuierliche Streaming extrem zuverlässig.

Multiple

Der Modus „Multiple Replay“ ermöglicht eine schnelle Ausgabe von Wellenformen infolge mehrerer Triggerereignisse ohne Neustart der Hardware. Der On-Board-Speicher ist in mehrere Segmente identischer Größe unterteilt. Jedes Segment kann verschiedene Wellenformdaten enthalten, die jeweils bei Eintreten des entsprechenden Triggerereignisses ausgegeben werden. Dieser Modus ermöglicht sehr schnelle Wiederholungsraten.

Gated Replay

Im Gated-Replay Modus (torsignalgesteuerte Wiedergabe) wird die Ausgabe von Wellenformdaten über ein externes Torsignal gesteuert, d. h., die Daten werden nur dann wiedergegeben, wenn ein vorprogrammierter Pegel des Torsignals erreicht wird.

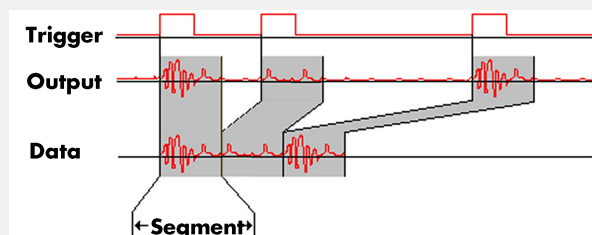


Bild 2: AWG Multiple Replay Ausgangssignal

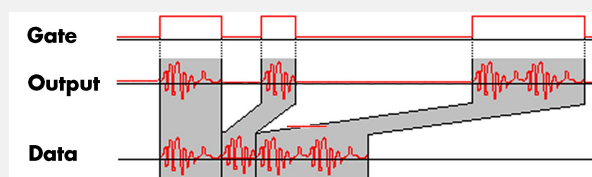


Bild 3: AWG Gated Replay Ausgangssignal

► Application Note

Sequence Mode

Im Sequenzmodus wird der Speicher der internen Karte in mehrere Datensegmente unterschiedlicher Länge unterteilt. Diese Datensegmente werden unter Nutzung eines zusätzlichen Sequenzspeichers in einer vom Benutzer vorgegebenen Reihenfolge

hintereinander angeordnet. Der Sequenzspeicher bestimmt die Reihenfolge, in der die Segmente ausgegeben werden, sowie die Anzahl der Wiederholungen je Segment. Für die Übergänge von Segment zu Segment lassen sich Triggerbedingungen festlegen. Im Sequenzmodus kann durch einen einfachen Softwarebefehl zwischen verschiedenen wiedergegebenen Wellenformen gewechselt werden. Außerdem können Wellenformdaten für Segmente während der laufenden Wiedergabe anderer Segmente neu definiert werden.

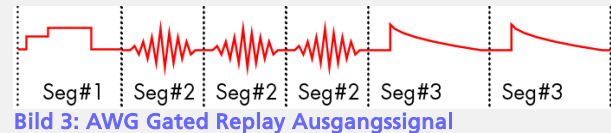


Bild 3: AWG Gated Replay Ausgangssignal

Ausgangsbereich

Die maximal vom AWG zu erzeugende Ausgangsamplitude wird durch die Ausgangsverstärkerstufe bestimmt. In der Regel ist ein Kompromiss zwischen der Abtastrate des AWG und der Ausgangsamplitude nötig. Schnellere AWGs haben dementsprechend eine geringere maximale Ausgangsamplitude. Der Ausgangsbereich für den minimalen Vollausschlag hängt von den internen Dämpfern der Ausgangsstufe ab. Bei einem beliebigen Vollausschlagbereich liegt der theoretische Mindestwert beim maximalen Ausgangswert geteilt durch die Amplitudenauflösung (z. B. weist ein AWG mit einem Bereich von 10 Vp-p und einer 16 Bit-Auflösung einen minimalen Ausgangsschritt von $10/65.536 = 152,5 \mu\text{V}$ auf). In der Praxis begrenzen internes Rauschen und nicht lineares Verhalten den minimalen Signalausgang.

Anzahl Ausgangskanäle

Die Anzahl der Ausgangskanäle je Karte beträgt bei AWGs von Spectrum 1, 2 oder 4 Kanäle. Bei Verwendung mehrerer Karten und des Star-Hubs von Spectrum können bis zu 8 Karten angeschlossen werden, wodurch sich maximal 32 vollständig synchronisierte Kanäle ergeben.

Ausgangsfiler

Das Filtern des Ausgangssignals verbessert den Signal-Rausch-Abstand des AWG-Ausgangs. In der Regel lassen sich die Typen und Grenzfrequenzen der Filter vorgeben.

Modulation

Sämtliche AWGs können modulierte Wellenformen analytisch in der Software erzeugen, d. h. durch Nutzung der herstellerseitig bereitgestellten Betriebssoftware, beispielsweise SBench 6 von Spectrum oder eines Mathematikprogramms eines Drittherstellers. Die auf diese Weise erzeugten Wellenformen werden in den Speicher des AWG geladen.

► Application Note

Trigger

Eine weitere nützliche Funktion stellt der Triggereingang dar, mit dessen Hilfe die Ausgabe initiiert oder eine Weiterschaltung zwischen verschiedenen Segmenten bewirkt werden kann.

AWGs können synchron zum Wellenformausgang auch einen Ausgangstrigger oder Marker-Ausgang erzeugen. Diese Signale können anschließend zum Triggern eines Digitizers, Oszilloskops oder eines anderen Instruments zu geeigneten Zeiten im Verlauf der Wellenform genutzt werden.

Digitale Ausgänge

Manche AWGs können zusätzlich zu analogen Ausgängen parallele digitale Logikausgänge erzeugen. Diese digitalen Ausgänge werden normalerweise zu den Wellenformdaten hinzugefügt – entweder durch Verringerung der analogen Auflösung oder dadurch, dass sie in die nicht genutzten Bits des Datenworts eingefügt werden (wie bei einem 14-Bit-AWG mit zwei Reservebits im 16-Bit-Datenwort). Die Ausgangspegel entsprechen typischerweise denen gängiger Logikfamilien.

Auswahl eines Arbitrary Waveform Generators

Bei der Auswahl eines AWG muss darauf geachtet werden, dass die oben angesprochenen AWG-Spezifikationen zur Testspezifikation passen.

- **Bandbreite:** Der grundlegende Ausgangspunkt ist in der Regel die Bandbreite des AWG, die die höchste auszugebende Frequenz bestimmt. Sie muss größer als die maximale, für das Testen erforderliche Frequenz oder mindestens genauso groß sein. Zu beachten ist, dass Wellenformen mit einem hohen Anteil an Oberschwingungen Bandbreiten erfordern, die dem Drei- bis Fünffachen der geforderten Frequenz entsprechen.
- **Abtastrate:** Die maximale Abtastrate des AWG muss mindestens dem Zweifachen der geforderten Bandbreite entsprechen. Dies entspricht der Nyquist-Grenze. In der Praxis empfiehlt es sich, mit einer höheren Abtastrate mit dem Faktor drei oder vier zu arbeiten. Die Abtastrate bestimmt den kleinsten programmierbaren Zeitschritt. Zu beachten ist, dass AWGs häufig eine Begrenzung der minimalen Anzahl an Abtastungen vorgeben, die zum Erzeugen einer Wellenform erforderlich sind. In der Regel müssen die Wellenformen eine gerade Anzahl an Abtastungen enthalten oder dem Vielfachen einer festgelegten Anzahl an Abtastungen (z. B. 4, 8, 16 etc.) entsprechen.
- **Speichertiefe:** Die Speichergröße bestimmt das Signal mit der längsten Dauer, das sich nicht wiederholt und vom AWG unterstützt wird. Betriebsmodi, die Looping oder das Wiederholen redundanter Elemente in der Wellenform unterstützen, erfordern weniger Speicherplatz.
- Die **FIFO Betriebsmodi**, die den Speicher der Hostcomputer nutzen, bieten eine Methode zur Erweiterung des verfügbaren Speichers.
- **Ausgangsamplitude:** Der maximale Ausgangspegel des AWG muss der Testanforderung entsprechen. Ist dies nicht gegeben, ist gegebenenfalls ein externer

► **Application Note**

Verstärker mit einer Bandbreite erforderlich, die mindestens der Bandbreite des AWG entspricht.

- **Dynamikbereich/Amplitudenauflösung:** Das Verhältnis der höchsten Testsignalamplitude zur minimalen Amplitude bestimmt gleichzeitig die Anforderungen des Tests an den Dynamikbereich. Es wird durch die Amplitudenauflösung des AWG, ausgedrückt in Bit, bestimmt. Zu beachten ist, dass die theoretischen Werte des Dynamikbereichs in der Praxis durch Rauschen und nichtlineares Verhalten des AWG unterschritten werden. Die tatsächliche Leistung wird häufig als die effektive Anzahl an Bits (effective number of bits, ENOB) bezeichnet.

Typische modulare AWGs

Typische modulare AWGs von Spectrum:

Modell	Anzahl Kanäle	Auflösung	Maximale Ausgaberate	Bandbreite	Maximaler Ausgangspegel in 50Ω	Standard-speicher	Maximal-speicher
M2i.6011	2	14 Bit	20 MS/s	10 MHz	±3 V	256 MS	1 GS
M2i.6012	4	14 Bit	20 MS/s	10 MHz	±3 V	256 MS	1 GS
M2i.6021	2	14 Bit	60 MS/s	30 MHz	±3 V	256 MS	1 GS
M2i.6022	4	14 Bit	60 MS/s	30 MHz	±3 V	256 MS	1 GS
M2i.6030	1	14 Bit	125 MS/s	60 MHz	±3 V	256 MS	1 GS
M2i.6031	2	14 Bit	125 MS/s	60 MHz	±3 V	256 MS	1 GS
M2i.6033	1/2	14 Bit	125/62.5 MS/s	60 MHz	±3 V	256 MS	1 GS
M2i.6034	2/4	14 Bit	125/62.5 MS/s	60 MHz	±3 V	256 MS	1 GS
M4i.6620	1	16 Bit	625 MS/s	200 MHz	±2.5 V	2 GS	2 GS
M4i.6621	2	16 Bit	625 MS/s	200 MHz	±2.5 V	2 GS	2 GS
M4i.6622	4	16 Bit	625 MS/s	200 MHz	±2.5 V	2 GS	2 GS
M4i.6630	1	16 Bit	1250 MS/s	400 MHz	±2 V	2 GS	2 GS
M4i.6631	2	16 Bit	1250 MS/s	400 MHz	±2V	2 GS	2 GS

Tabelle 2: Übersicht über AWGs von Spectrum

Diese AWGs sind ausnahmslos PCIe-basierte Module, die einen hohen volumetrischen Wirkungsgrad bei hoher Leistung bieten. Die Abtastraten liegen im Bereich 20 MS/s bis 1,25 GS/s, die simultanen Bandbreiten bei 10 bis 400 MHz. Die maximalen On-Board Speicherlängen liegen bei 256 MS bis 2 GS, also deutlich oberhalb typischer Laborinstrumente.

Die Geräte der neuen Baureihe M4i.66xx basieren auf der Plattform PCIe-x8 und können Daten mit Übertragungsraten von bis zu 2,8 GB/s von einem Hostcomputer auf die Karte streamen. Durch die Kombination der schnellen Schnittstelle mit FIFO-Modi erweitert sich der

► Application Note

maximal zur Verfügung stehende Speicher auf die Grenzen des Hostcomputers. Im FIFO-Modus wird der gesamte On-Board-Speicher als Zwischenspeicher genutzt.

Der Betrieb im Sequenzmodus bietet dynamisches, simultanes Looping und Verknüpfen, wodurch sich zahllose Variationen von Testmustern ergeben.

Software-Support

Der AWG erfordert eine Software für die Erzeugung der Wellenformen und die Steuerung des Betriebs. Fast alle AWGs werden mit Treibern für gängige Betriebssysteme ausgeliefert. Im Lieferumfang der AWGs von Spectrum sind Treiber für Windows und Linux enthalten. Treiber ermöglichen es, eine eigene Software in gängigen Programmiersprachen wie C/C++, IVI, .NET, Delphi, Visual Basic oder Python zu schreiben. Ebenso ist auch Software von Drittherstellern unterstützt, beispielsweise LabVIEW (Windows), MATLAB (Windows und Linux) oder LabWindows/CVI. Spectrum liefert zudem SBench 6 mit, ein Softwarepaket mit sehr großem Funktionsumfang.

SBench 6 ist eine leistungsstarke, intuitive und interaktive Messsoftware für die Aufzeichnung, Verarbeitung und Erzeugung von Signalen. Sie ist auf die Verwendung mit sämtlichen Digitizern, AWGs und LAN-basierten digitizerNETBOX-Systemen von Spectrum ausgelegt.

Easy Generator

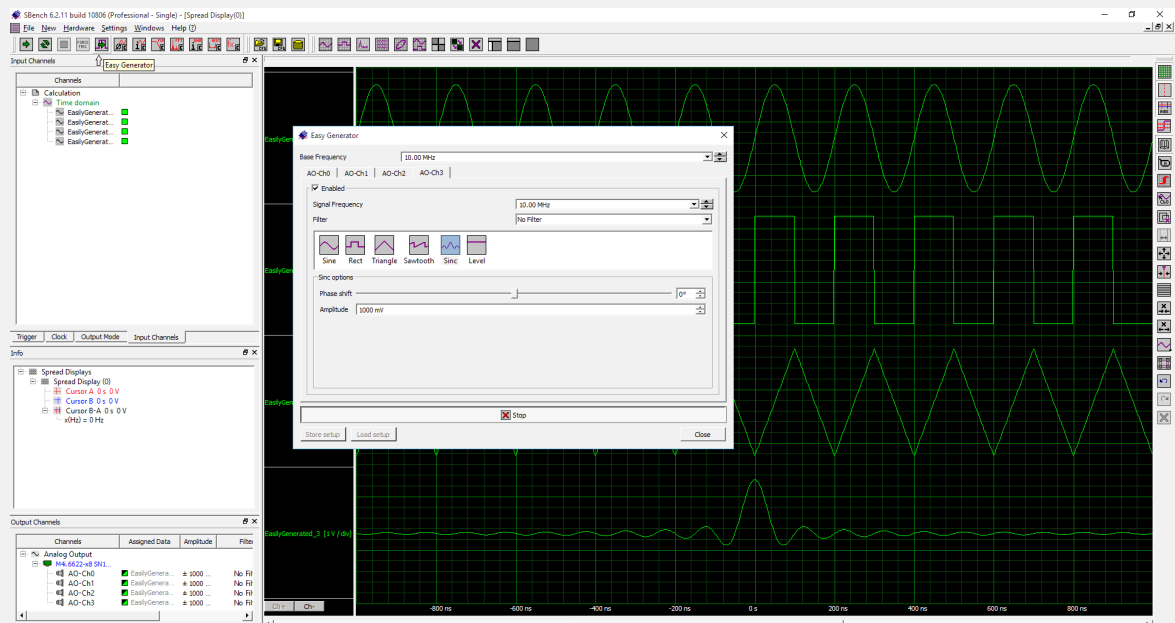


Bild 5: Das Tool Easy Generator der Software SBench 6 ermöglicht den Betrieb des AWG als einfachen Signalgenerator.

Eine der Komponenten von SBench 6 ist das Tool Easy Generator. Easy Generator vereinfacht die Auswahl einer beliebigen von sechs Wellenformen des Funktionsgenerators. Dazu gehören Sinus-, Rechteck-, Dreieck-, Sägezahn-, SINC- und DC-Wellenformen. Frequenz, Phase und Amplitude jeder Wellenform können vom Benutzer angepasst werden, ebenso das Tastverhältnis jeder Rechteck-, Dreieck- und Sägezahnwellenform. Zu jedem verfügbaren

► **Application Note**

Ausgangskanal lassen sich individuelle Wellenformeneinstellungen auswählen. Durch Klicken auf die Schaltfläche „Start“ werden alle aktivierten Wellenformen auf die AWG-Ausgänge gegeben (Bild 5).

Erzeugen von Wellenformen durch Gleichungen in SBench 6

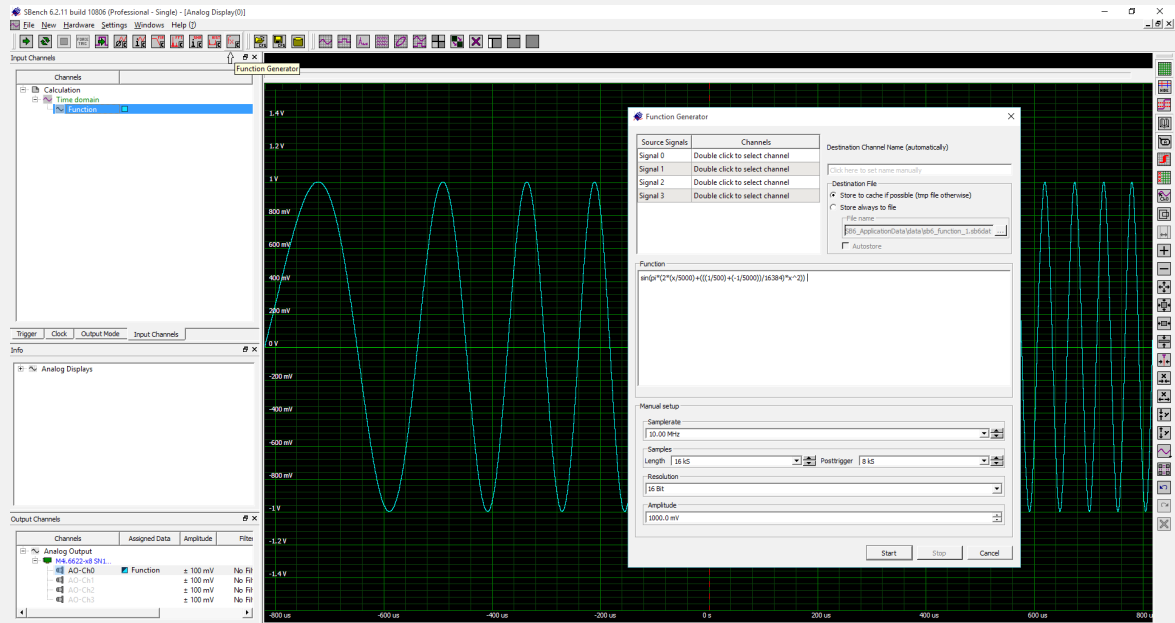


Bild 6: Erzeugen von AWG-Ausgangsdaten durch mathematische Gleichungen in SBench 6

Die genauesten Ergebnisse bei der Erzeugung von Wellenformen erhält man, wenn man mathematische Gleichungen heranzieht. Sie sind präzise, wiederholgenau und ermöglichen die Erzeugung unterschiedlichster Testsignale. SBench 6 enthält einen Editor als Teil eines Funktionsgenerators, der die Erzeugung von Wellenformen durch textbasierte Gleichungen ermöglicht (Bild 6).

Der Editor des Funktionsgenerators lässt die Erstellung von Gleichungen in Textform zu und ermöglicht die Auswahl von Abtastrate, Amplitude und Dauer der Wellenform.

In Bild 7 zeigt ein detaillierteres Beispiel für die Erzeugung der Sinus-Sweeps unter Anwendung der in SBench 6 zur Verfügung stehenden Operatoren und Funktionen.

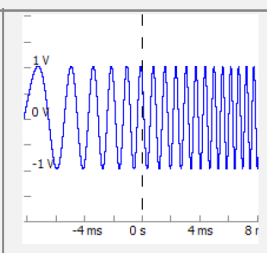
<p>Linear Frequency Sweep</p>	$\sin(\pi * (2 * (x/X_S) + (((1/X_E) - (1/X_S)) / X_{MAX}) * x^2))$ <p>X_S – Start Period in samples X_E – End Period in samples X_{MAX} – Duration of the waveform in samples</p> <p>Example: $\sin(\pi * (2 * (x/5000) + (((1/500) - (-1/5000)) / 16384) * x^2))$</p>	 <p>The plot shows a sine wave that starts at a lower frequency and gradually increases in frequency over time, characteristic of a linear frequency sweep. The x-axis is labeled from -4 ms to 8 ms, and the y-axis ranges from -1 V to 1 V.</p>
-------------------------------	--	--

Bild 7: Erzeugen eines Sinus-Sweeps durch Gleichungen in SBench 6

► **Application Note**

Importieren von Wellenformen

Wellenformen können, wie gezeigt, lokal in der Software SBench 6 von Spectrum erzeugt werden. Sie können aber auch durch anderer Quellen erzeugt oder aufgezeichnet werden, u. a. mit Messgeräten wie Digitizern und digitalen Oszilloskopen oder Softwaretools wie Tabellenkalkulationsprogrammen, Mathematikprogrammen und Systemintegrationssoftware. Wellenformen aus diesen Quellen können in SBench 6 importiert und in einem der in Tabelle 3 aufgeführten Formate an den AWG gesendet werden.

Signalquelle	Datenformat für die Übertragung zum AWG
Spectrum Digitizer	.sb6dat, ASCII, Binär
Spectrum AWG	.sb6dat, ASCII, Binär
Spectrum digitizerNETBOX	.sb6dat, ASCII, Binär
Digitizer (nicht von Spectrum)	ASCII, Binär, Wave
Digital Oszilloskop	ASCII, Binär, Wave
Tabellenkalkulation (Excel)	ASCII
Mathematikprogramm (MATLAB)	ASCII, Binär
Grafische Programmierumgebung (LabVIEW)	ASCII, Binär
Audio Aufnahme	Wave

Tabelle 3: Typische Signalquellen sowie passende von SBench 6 unterstützte Datenformate für den Austausch

Wellenformen einer Signalverarbeitung unterziehen

SBench 6 bietet verschiedene Tools zur Signalverarbeitung und Messung. Diverse Wellenformen lassen sich durch Signal-Arithmetik mit Unterstützung von Summe, Differenz, Produkt und Verhältnis kombinieren. Gleitender Mittelwert und Filterung können zur Verringerung von Rauschen und zur Verbesserung des Signal-Rausch-Abstands verwendet werden. Analyse-Tools wie die schnelle Fourier-Transformation (FFT) und Histogramme können zur Untersuchung der Wellenform vor der Ausgabe genutzt werden. Messungen von Amplitude, Zeit und Frequenz können zur Überprüfung der Wellenformgenauigkeit verwendet werden. Hierbei handelt es sich um ein Alleinstellungsmerkmal für Software-Pakete zur Unterstützung von AWGs.

Zusammenfassung

Modulare arbiträre Funktionsgeneratoren sind hervorragende Signalquellen zum Testen von Systemen und bieten kompakte Abmessungen, Flexibilität bei der Konfiguration und eine einfache Integration. Mit Bandbreiten von bis zu 400 MHz, Abtastraten bis 1,25 GS/s und einer Amplitudenauflösung von 16 Bit ermöglichen sie zahlreiche Testlösungen.

Autoren

Arthur Pini – Independent Consultant
Oliver Rovini- Technical Director, Spectrum GmbH
Greg Tate - Asian Business Manager, Spectrum GmbH