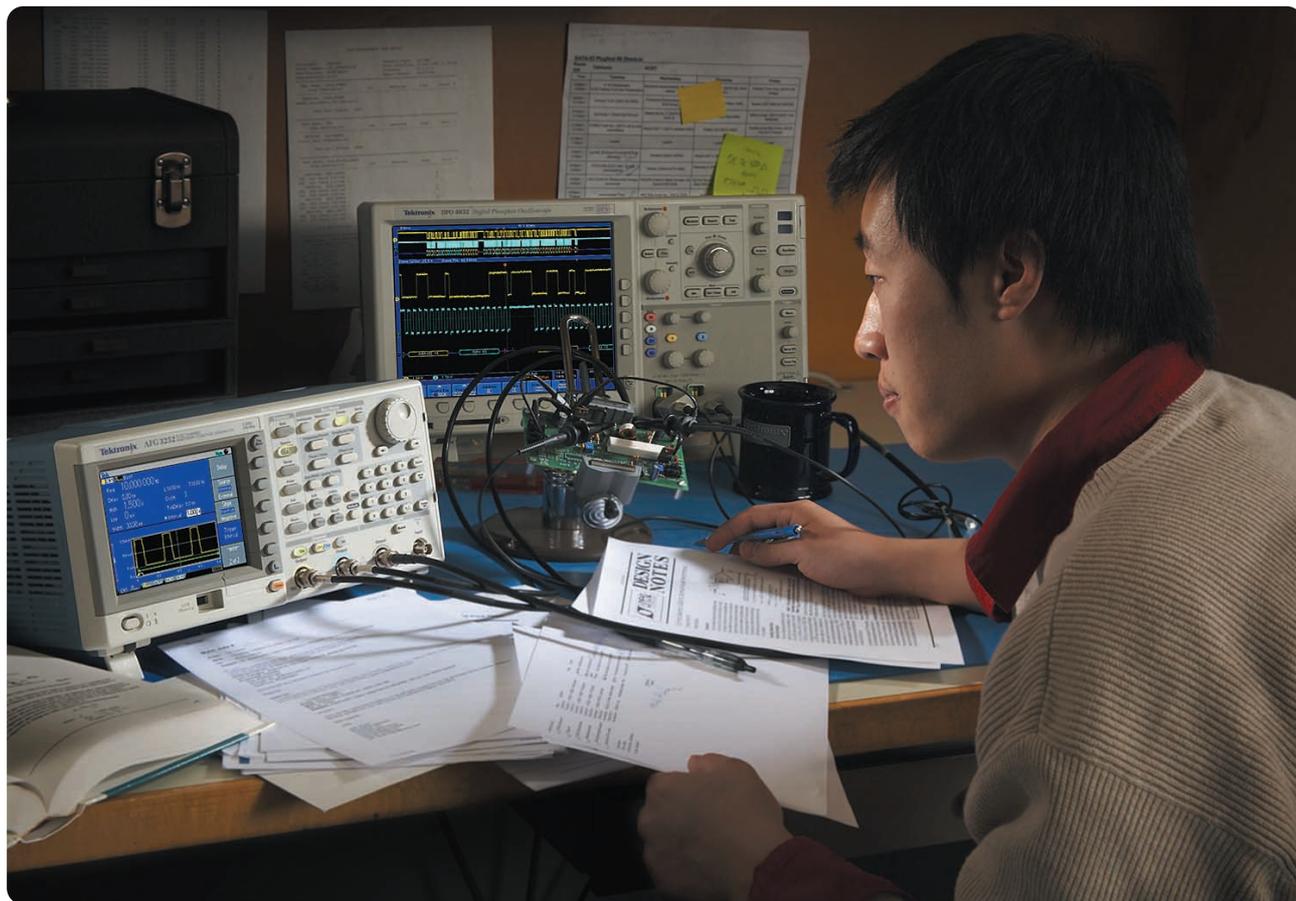


汎用パルス・ジェネレーション・ソリューションによるテスト



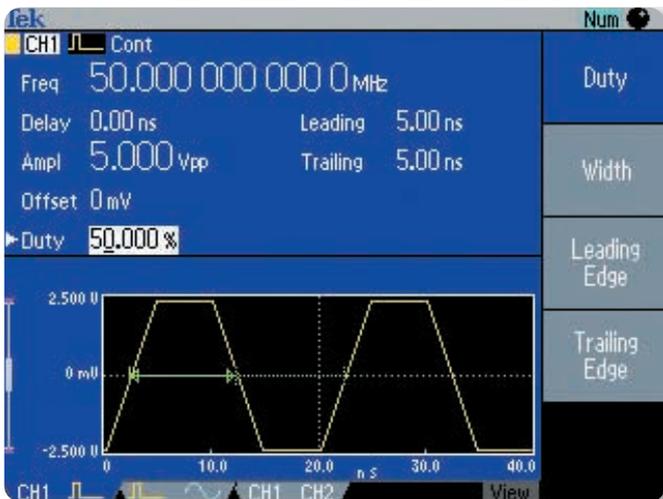
はじめに

コンピュータ、周辺機器、高速シリアル通信などで使用される電子部品や回路の設計において、デバイスの特性評価と機能テストでまず必要になるのがパルス・パターン・ジェネレータです。専用のパルス・パターン・ジェネレータを使用すると、ダブル・パルス、RZやNRZなどのさまざまなフォーマット、および低ジッ

タのパルスを出力することができます。しかし、最新の汎用任意波形／ファンクション・ジェネレータ (AFG) を使用することで、使いやすく、汎用性のあるパルス出力ソリューションが手頃な価格で実現できる場合も多々あります。

汎用パルス・ジェネレーション・ソリューションによるテスト

▶ アプリケーション・ノート



▶ 図1：AFG3252型のパルス波形表示

AFGは、クロック・マルチプライヤによるロジック、トリガ、クロックの各信号の出力に最適だけでなく、PCI Express (PCIe) やSATAなどの高速シリアル規格などにも対応できます。このアプリケーション・ノートでは、以下に示すような、AFGを使用した代表的なパルス出力テスト例について説明します。

- ▶ 伝播遅延時間、信号遷移時間の測定
- ▶ セットアップ／ホールド時間の特性評価
- ▶ オペアンプのスルー・レート性能の検証
- ▶ ストレス・テストのためのノイズ／ジッタを含んだパルス出力
- ▶ 複雑な形状のパルス出力
- ▶ ロー・スピード・シリアル信号のシミュレーション

仕様	AFG3251/3252型
チャンネル数	1/2
パルス周波数	1mHz~120MHz
リーディング・エッジの可変時間範囲	2.5ns~625s
トレーリング・エッジの可変時間範囲	2.5ns~625s
パルス幅	4.00ns~999.99s
パルス周期	8.33ns~1000s
パルス・デューティ比	0.001~99.999%
リード遅延	Ops~周期- [パルス幅 + 0.8× (リーディング・エッジ時間 + トレーリング・エッジ時間)]
オーバershoot (代表値)	<5%
振幅、50Ω負荷	50mV _{p-p} ~5V _{p-p}
振幅、オープン回路	100mV _{p-p} ~10V _{p-p}
ジッタ (実効値、代表値)	100ps
内部周波数リファレンス	±1ppm

▶ 表1：AFG3251/3252型のパルス仕様

このアプリケーション・ノートでは、AFG3000シリーズのAFG3251型およびAFG3252型を使用して説明します。AFG3251型、AFG3252型は、それぞれ1ch、2chで最高120MHzのパルス出力が可能で、最小で2.5nsの立上り／立下り時間を個別に設定でき、ノイズ／ジッタ・ソースを内蔵し、複雑な波形形状、低速シリアル・パターンを持ったパルスを出力することができます。

任意波形／ファンクション・ジェネレータによるパルス出力の利点

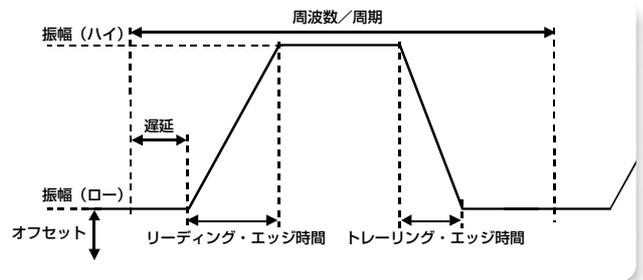
AFG3000シリーズは、前面パネルのボタンを押すだけでパルスを出力することができます。すべての波形パラメータとパルスの波形形状はグラフィカルに表示されるため、現在の設定を確認することができます。

AFG3251/3252型のパルスに関する性能を表1に示します。

パルスに関するすべての設定（図2参照）は前面パネルの専用ショートカット・キーで操作でき、汎用ノブまたは数値キー・パッドで簡単に調整することができます。タイミング・パラメータの設定では、出力信号にはグリッチやドロップアウトが発生しません。これは、クロック周波数をスイープしてデバイスの特性を評価する場合などに重要です。

複数の入力信号が必要な場合は、2ch機種が用意されています。AFG3000シリーズでは、DDS（Direct Digital Synthesis、ダイレクト・デジタル・シンセシス）により波形を出力するため、信号形状と周波数は2つのチャンネルで完全に独立して選択できます。2つの信号は、周波数、振幅で互いにロックできます。この場合、2つのチャンネル間の位相遅延を設定できるため、半導体デバイスの伝送路間の時間差測定に適しています。

デバイスのストレス・テストでは、専用のパルス・パターン・ジェネレータなどの外部ファンクション・ジェネレータの必要がなく、パルス信号にノイズを加えたり、方形波にジッタを加えたりすることができます。



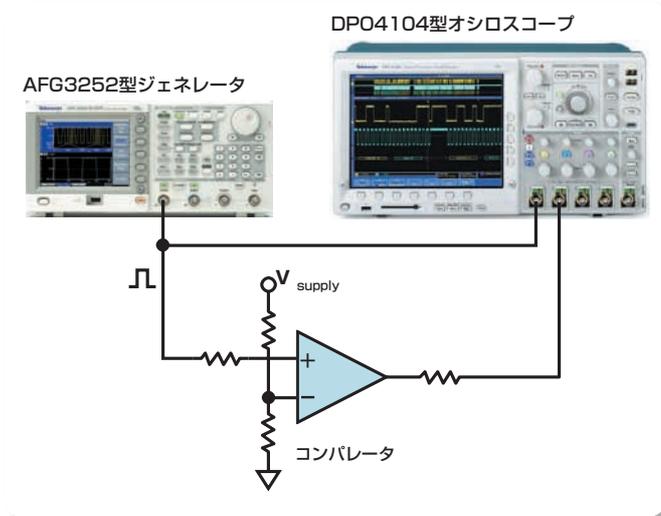
▶ 図2：AFG3000シリーズで設定可能なパルス・パラメータ

AFGを使用することで、さまざまな設計を行うエンジニアはその機能性の高さを実感することができます。パルス、方形波だけでなく、AFG3000シリーズは正弦波、ランプ波、任意波形も出力でき、さらに7種類の標準関数も装備しています。

AFGを専用のパルス・パターン・ジェネレータと比較する場合、DDSアーキテクチャによる、周波数に対するジッタの相対的な増加を考慮する必要があります。AFG3251型、AFG3252型では、100psのパルスのジッタ仕様は、1MHzでは0.01%、100MHzでは1%の相対ジッタとなっています。

汎用パルス・ジェネレーション・ソリューションによるテスト

▶ アプリケーション・ノート

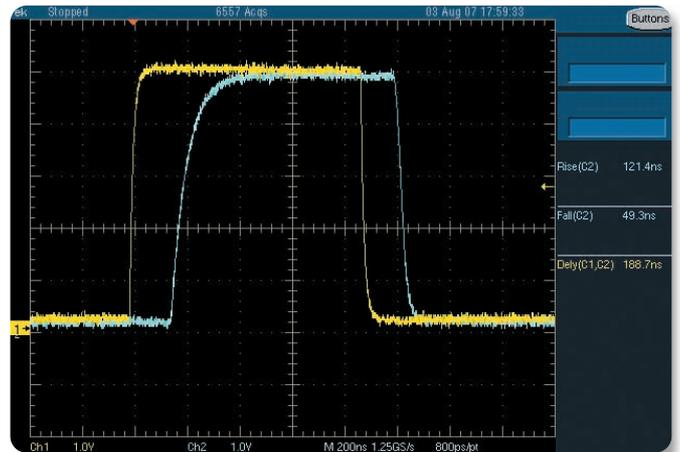


▶ 図3：伝播遅延測定のための測定セットアップ

伝播遅延時間、信号遷移時間の測定

バッファやコンパレータなどのロジック・デバイスでは、伝播遅延または応答時間（入力信号に対してデバイスの出力が応答するまでの時間）の測定が必要になります。このパラメータを測定するには、AFG3251型またはAFG3252型を使用してデバイスにパルス信号を入力し、オシロスコープでデバイスの入力信号と出力信号を同時に測定します。

デバイスの動作レンジ内の周波数、振幅のパルスを出力するように、AFGを設定します。LM393のコンパレータを測定する場合のジェネレータの設定と測定結果の例を次に示します。

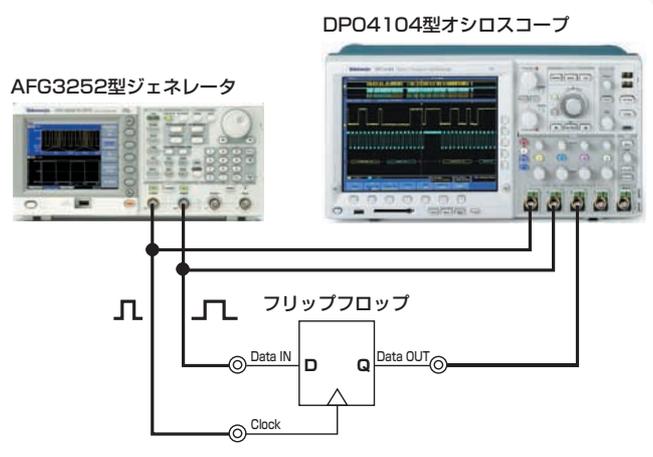


▶ 図4：オシロスコープによる伝播遅延の測定例

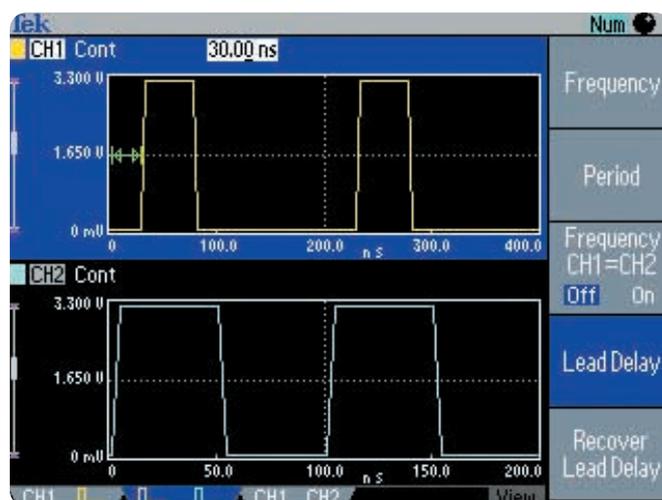
パラメータ	設定
Runモード	Continuous (連続)
波形	Pulse (パルス波)
周波数	500kHz
リーディング/トレーリング・エッジ	2.5ns
振幅 (ハイ)	5V
振幅 (ロー)	0V

▶ 表2：コンパレータの特性評価のためのAFG3251/3252型の設定例

図4の黄色の波形はデバイスへの入力信号、青い波形は出力信号です。オシロスコープでは、応答時間が188.7ns、出力信号の立上り時間は121.4ns、立下り時間は49.3nsと測定できます。



▶ 図5：フリップフロップの特性評価のための測定セットアップ例



▶ 図6：AFG3000シリーズのスクリーンショット — 波形表示

セットアップ／ホールド時間の特性評価

ロジック回路のタイミングでは、セットアップ時間とホールド時間が重要になります。ロジック回路では、クロック・エッジでデータを取込みます。データを正しく取込むためには、クロック・エッジの前後において、データは一定時間安定している必要があります。クロック・エッジ前で必要なセトリング時間を「セットアップ時間」、クロック・エッジ後に必要なセトリング時間を「ホールド時間」と呼びます。

この値はロジックICのデータ・シートに規定されており、電源の電圧、その他の条件によって異なります。セットアップ／ホールド時間の測定では、2ch機種AFGとオシロスコープが必要になります。

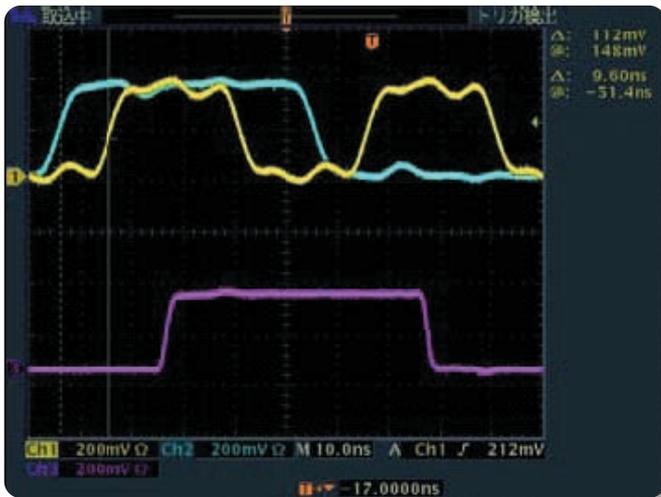
パラメータ	設定
Runモード	Continuous (連続)
Ch1 — 波形	Pulse (パルス波)
Ch1 — 周波数	5MHz
Ch2 — 周波数	10MHz
Ch1/2 — 振幅 (ハイ)	3.3V
Ch1/2 — 振幅 (ロー)	0V

▶ 表3：フリップフロップの特性評価のためのAFG3252型の設定例

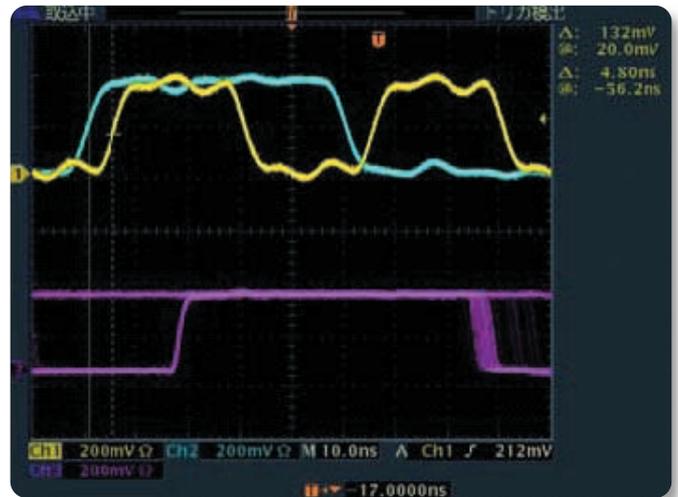
デバイスを反応させるために、AFG3252型を表3のように設定します。Ch1はクロック、Ch2はデータをそれぞれ出力します。Phase/Delayボタンを押し、次にスクリーン・メニューからAlign Phaseを選択して、データとクロックのタイミングを同期させます。クロック、データ、デバイスの出力はオシロスコープで測定します。

汎用パルス・ジェネレーション・ソリューションによるテスト

▶ アプリケーション・ノート



▶ 図7：十分なセットアップ時間



▶ 図8：不十分なセットアップ時間

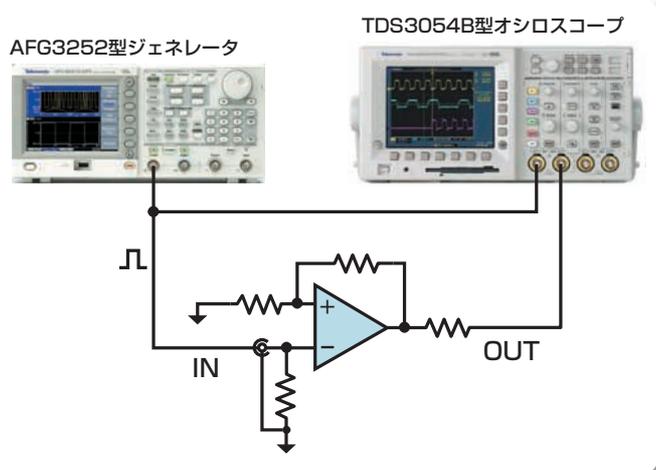
セットアップ/ホールド時間の測定では、AFG3252型の前面パネルのDelayボタンを押し、汎用ノブを回してCh1の遅延時間を変化させ、オシロスコープでフリップフロップの出力信号を観測します。汎用ノブを回すと、10psステップで遅延時間を設定することができます。

図7は、十分なセットアップ時間を持ったフリップフロップの入出力信号を示しています。黄色の波形はクロック信号、青色の波形はデータ入力、赤色の波形はデータ出力信号です。9.6nsに設定されたセットアップ時間では、データ入力はクロックの立上りエッジで取込まれており、出力は正しく取込まれています。

図8では、十分でない4.8nsのセットアップ時間によるフリップフロップ信号が観測されています。フリップフロップ回路がデータを処理している間にデータ入力のレベルが変化するため、データ出力信号はハイ、ロー間で不安定になっています。このような出力は、メタステーブル状態（ハイでもなく、ローでもない状態）と呼ばれています。

オペアンプのスルー・レート性能の検証

高速のオペアンプ（Operational Amplifier、演算増幅器）は、今日のアナログ・コンポーネントで最も一般的なものです。オペアンプは、テレビ、セットトップ・ボックス、ビデオ放送機器、携帯電話基地局、光通信製品、レーダ・システム、衛星受信機、カード・リーダー、バー・コード・スキャナなど、さまざまな分野で使用されています。



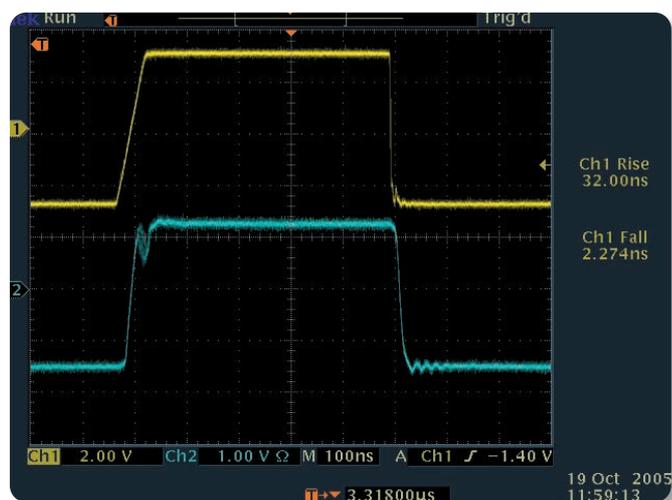
▶ 図9：オペアンプのスルー・レート特性評価のための測定セットアップ例

パラメータ	設定
Runモード	Continuous (連続)
波形	Pulse (パルス波)
周波数	1MHz
振幅	5V _{pp}

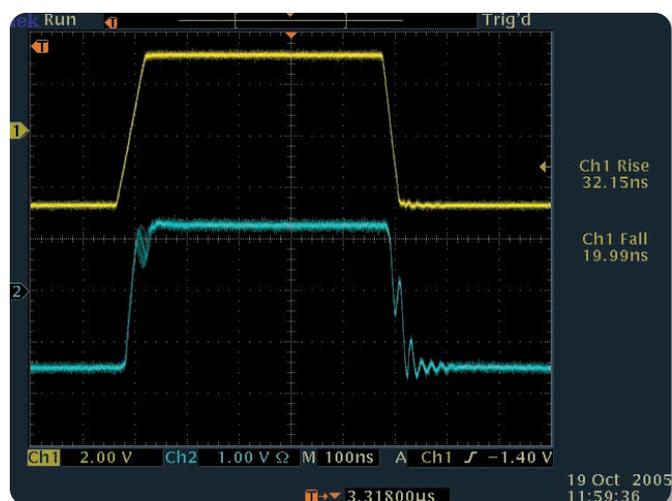
▶ 表4：オペアンプの特性評価のためのAFG3251/3252型の設定例

オペアンプでは、トランジェント応答またはスルー・レート性能が重要になります。セットトップ・ボックスや監視カメラのアプリケーションで使用されるオペアンプでは、高速のスルー・レートが必要であり、歪は非常に小さくなければなりません。オペアンプのスルー・レートとトランジェント応答は、インク・ジェット・プリンタや医療機器における非常に微細な動作でも重要になります。

オペアンプのトランジェント応答は非対称性スルー・レート性能として知られていますが、入力信号の立ち上がりエッジと立ち下りエッジによって異なります。これは、オペアンプが反転増幅器で使用されるか、非反転増幅器で使用されるかによって影響を受けます。オペアンプのタイミング特性を知ることにより、ゲインとフィードバック抵抗の最適化が可能になり、その他の測定により所定の回路動作を実現することができます。



▶ 図10：立ち上がりが32nsの入力信号におけるオペアンプ出力リーディング・エッジの発振

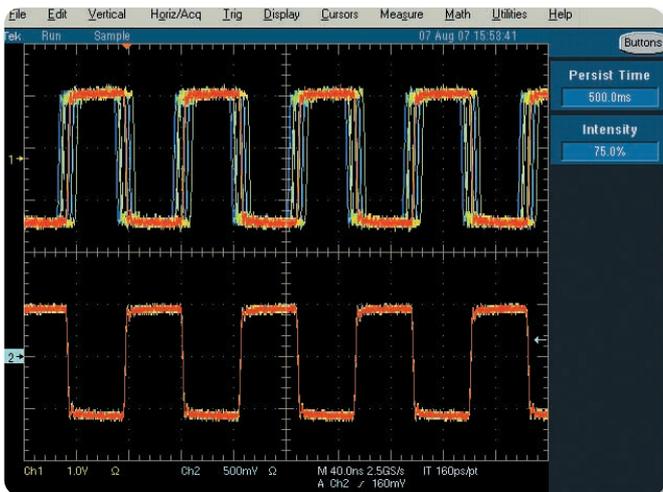


▶ 図11：立ち下り時間の増加した入力信号における出力のトレーリング・エッジの発振

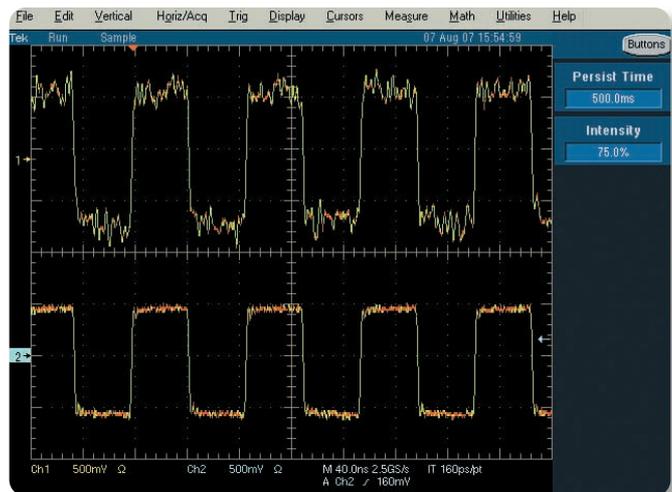
オペアンプのスルー・レート性能を評価するには、パルス入力信号の立ち上がり時間、立ち下り時間、振幅を変化させながら、オシロスコープでトランジェント応答を測定します。パルス出力ソリューションでは、これらのパラメータが個別に設定できなければなりません。当社のAFG3000シリーズには柔軟性の高い設定機能、振幅帯域、精度があり、正確な結果を得ることができます。

汎用パルス・ジェネレーション・ソリューションによるテスト

▶ アプリケーション・ノート



▶ 図12：ジッタを設定したパルス波形（上の波形）とジッタのないパルス波形（下の波形）



▶ 図13：ノイズを加えたパルス波形（上の波形）とノイズのないパルス波形（下の波形）

図9に測定セットアップを示します。ここでは、ビデオ・ライン・ドライバのアプリケーション用に、220MHzの高速オペアンプを使用しています。

表4に示すようなAFGの基本的な波形設定を行った後、トレーリング（立下り）エッジを2.5nsに固定し、リーディング（立上り）エッジを最小値の2.5nsから徐々に大きくしながら、オシロスコープでオペアンプの出力信号を観測します。この例では、立上り時間が32nsになったところで出力信号が発振を始めます（図10を参照）。

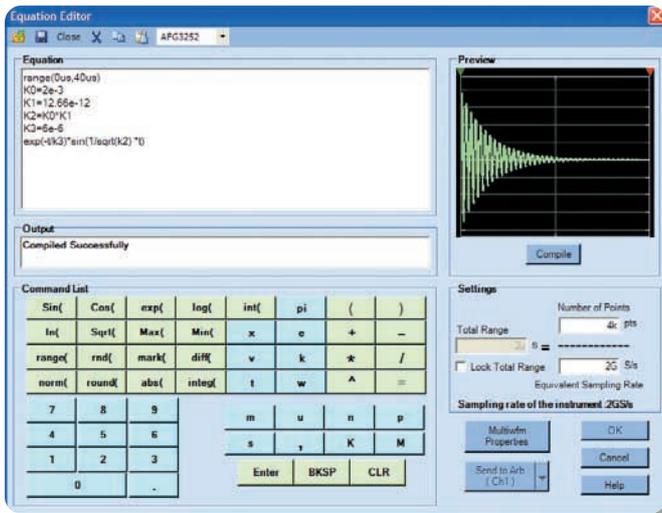
次に、リーディング・エッジの時間を32nsに固定し、トレーリング・エッジの時間を2.5nsから徐々に大きくします。図11に示すように、立下りエッジが約20nsになったところで出力信号が発振を始めます。このことから、このオペアンプは非対称の特性を持っていることがわかります。

パラメータ	設定
Runモード	Modulation（変調）
波形	方形波
変調タイプ	PM
PM周波数	2mHz~50.00kHz
変調形状	可変
偏差	0.0~180.0°

▶ 表5：ジッタ出力のためのAFG3151/3252型の設定例

ストレス・テストのためのノイズ/ジッタを含んだパルス出力

信頼性の高い動作のためには、クロック信号やデータ信号にある程度のジッタやノイズが含まれていても、デジタル・コンポーネントと回路は確実に動作することが必要です。そうでない場合、通信エラーやシステム障害につながります。コンポーネントや回路のジッタ/ノイズに対するトレランス（耐性）を検証するには、ジッタやノイズを設定したパルスを出力できるソリューションが必要になります。



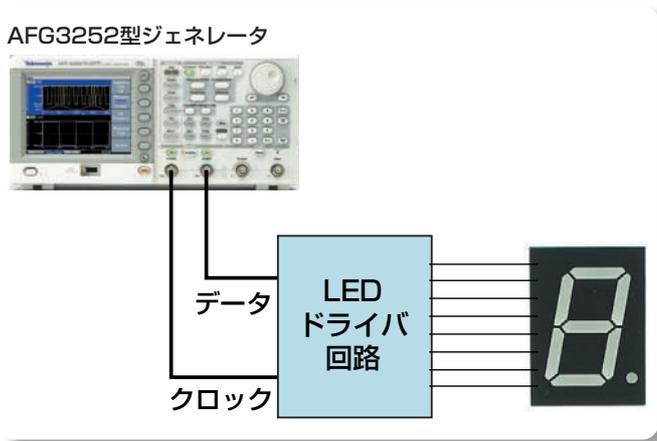
▶ 図14：複雑なパルスやその他の波形を編集するソフトウェアである ArbExpressのイクエーション・エディタ

専用のパルス・パターン・ジェネレータでは、通常、信号に歪を加えるために外部のファンクション・ジェネレータが必要になりますが、AFG3000シリーズではジッタ／ノイズ・ジェネレータが内蔵されており、ワン・ボックス・ソリューションを実現しています。

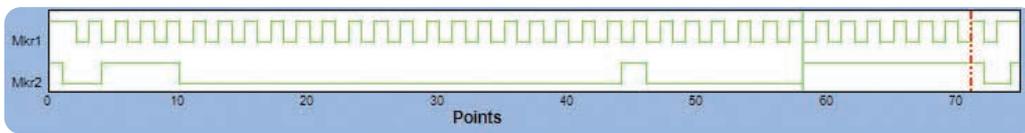
変調周波数、波形形状、位相偏差が設定可能な、内蔵の位相変調器によってジッタを加えることができます。表5のようにジェネレータを設定することで、50%のデューティ・サイクルで明確なジッタを持ったパルスを出力することができます。

汎用パルス・ジェネレーション・ソリューションによるテスト

▶ アプリケーション・ノート



▶ 図15：PCで制御されたLEDドライバの測定セットアップ例



▶ 図16：PCのクロック、データ信号とArbExpressのマーカ・ペイン

出力信号にノイズを加えるには、まず出力する波形のボタンを押し、次にOutputメニューを選択してNoise Addをオンにします。ノイズ・レベルは、0～50%の範囲で選択することができます。Noise Addを選択すると、振幅設定の最大値付近でノイズがクリッピングしないよう、信号振幅は半分になります。

複雑な形状のパルス出力

レーダ・テスト、磁気ストレージ・デバイス・テスト、レーザ・スポット溶接などのアプリケーションでは、複雑な波形形状のパルス信号が必要になります。AFG3000シリーズでは、方形波パルスの他にも、 $\text{Sin}(x)/x$ 、Gaussian、Lorentz、指数立上り、指数立下りなどの波形形状を標準で装備しています。その他のパルス形状が必要な場合は、AFG3000シリーズの任意波形機能とArbExpress波形生成／編集ソフトウェアによる演算式、フリーハンド・ドローイングなどにより、任意の波形形状を作成することができます。

任意波形機能によるパルス波形の生成は、設定されるパルス繰返しレートのジェネレータのクロック・レートよりも低い場合、DDSベースの任意波形／ファンクション・ジェネレータで十分に可能です。AFG3252型のクロック・レートは2GS/sで、500ps_{rms}のジッタ特性を持ち、広範囲なアプリケーションに対応することができます。しかし、パルス繰返しレートが高い場合は、DDSベースのジェネレータにある波形ポイントのスキッピングと重複のためにジッタは大きくなる場合があります。

ロー・スピードI²Cシリアル信号のシミュレーション

組み込みシステムのマイクロコントローラやコンピュータでは、I²C、SPI、RS-232、CAN、LINなどのロー・スピード・シリアル・バスを利用して、センサ、スイッチ、A-Dコンバータ、デジタル・ポテンショメータ、ディスプレイなどの特殊なデバイスと通信を行ないます。新しい設計を検証し、ストレス・テストを実行するには、データ信号やクロック信号をシミュレートする必要があります。次のアプリケーションでは、2chを装備した任意波形／ファンクション・ジェネレータを使用して、数値LEDのドライバを制御するI²Cバス信号を生成、出力する手順について説明します。

図15のブロック・ダイアグラムに示すように、AFG3252型のCh1でクロック信号を、Ch2でデータ信号を出力します。

パラメータ	設定
Runモード	Continuous (連続)
Ch1/2の波形	任意波形
周波数 CH1=CH2	オン
周波数	1kHz
振幅 — レベル CH1=CH2	オン
振幅 — ハイ・レベル	2V
振幅 — ロー・レベル	0V
Ch1 — 任意 — 任意波形メニュー	User 1
Ch2 — 任意 — 任意波形メニュー	User 2
出力チャンネル 1/2	オン

▶ 表6：I²C信号出力のためのAFG3252型の設定例

データ信号とクロック信号は、ArbExpressソフトウェアのマーカー関数を使って生成することができます。プログラムを起動した後、FileメニューからStandard Waveformを選択し、Standard Waveformウィンドウで関数としてDCを選択し、波形長を必要なポイント数で設定します。新しいWavebookウィンドウが開きますので、右クリックしてマーカー・ペインでクロックとデータ波形を入力します。

クロック信号とデータ信号が生成できた後、.csvフォーマットで波形ファイルを保存し、このファイルを開けば（信号生成が）完了です。

Tektronix お問い合わせ先：

日本

本社 03-6714-3111
SA営業統括部 03-6714-3004
ビデオ計測営業部 03-6714-3005

大宮営業所 048-646-0711
仙台オフィス 022-792-2011
神奈川営業所 045-473-9871
東京営業所 042-573-2111
名古屋営業所 052-581-3547
大阪営業所 06-6397-6531
京都オフィス 075-323-9048
福岡営業所 092-472-2626

湘南カスタマ・サービス・センタ 0120-7-14046

地域拠点

米国 1-800-426-2200
中南米 52-55-542-4700
東南アジア諸国／豪州 65-6356-3900
中華人民共和国 86-10-6235-1230
インド 91-80-2227-5577
欧州 44-0-1344-392-400
中近東／北アフリカ 41-52-675-3777
他30カ国

Updated 01 June 2007

詳細について

当社は、最先端テクノロジーに携わるエンジニアのために、資料を用意しています。当社ホームページ(www.tektronix.co.jp)またはwww.tektronix.comをご参照ください。



TEKTRONIXおよびTEKは、Tektronix, Inc.の登録商標です。記載された商品名はすべて各社の商標あるいは登録商標です。

10/07 FLG/WOW

752-21097-0

Tektronix

Enabling Innovation

日本テクトロニクス株式会社

東京都港区港南2-15-2 品川インターシティB棟6階 〒108-6106
製品についてのご質問・ご相談は、お客様コールセンターまでお問い合わせください。

TEL 03-6714-3010 E-mail ccc.jp@tektronix.com

電話受付時間 / 9:00~12:00・13:00~18:00 月曜~金曜 (休祝日は除く)

当社ホームページをご覧ください。 www.tektronix.co.jp
製品のFAQもご覧ください。 www.tektronix.co.jp/faq/

●記載内容は予告なく変更することがありますので、あらかじめご了承ください。

2007年10月発行 © Tektronix