

オシロスコープのすべて

目次

はじめに..... 4

シグナル・インテグリティ 5 - 6

シグナル・インテグリティの重要性 5

シグナル・インテグリティが問題となる理由..... 5

デジタル信号のアナログ的な要素..... 6

オシロスコープ..... 7 - 12

波形と波形の測定 7

波形の種類 8

正弦波..... 9

方形波と矩形波 9

のこぎり波と三角波..... 9

ステップとパルス 9

周期信号と非周期信号 9

同期信号と非同期信号 9

複雑な波形 10

波形の測定 11

周波数と周期..... 11

電圧 11

振幅 11

位相 11

デジタル・オシロスコープを使用した波形の測定..... 12

オシロスコープの種類..... 13 - 18

デジタル・ストレージ・オシロスコープ..... 13

デジタル・フォスファ・オシロスコープ..... 15

ミックスド・ドメイン・オシロスコープ..... 17

ミックスド・シグナル・オシロスコープ..... 17

デジタル・サンプリング・オシロスコープ 18

オシロスコープのシステムと操作部..... 19 - 32

垂直軸システムと操作部 20

ポジションと垂直軸感度..... 20

入力カップリング 20

帯域制限..... 20

帯域拡張..... 21

水平システムと操作部..... 21

アクイジションの操作部..... 21

アクイジション・モード..... 21

アクイジション・モードの種類..... 22

アクイジション・モードの開始と停止..... 22

サンプリング..... 23

サンプリングについて 23

リアルタイム・サンプリング 23

等価時間サンプリング 25

水平軸ポジションと掃引時間 27

時間軸の選択..... 27

ズーム／パン..... 27

サーチ..... 27

XYモード..... 27

Z軸..... 27

XYZモード..... 27

トリガ・システムと操作部..... 28

トリガ・ポジション..... 30

トリガ・レベルとスロープ..... 30

トリガ・ソース 30

トリガ・モード..... 31

トリガ・カップリング 31

トリガ・ホールドオフ 31

ディスプレイ・システムと操作部..... 32

その他の操作部..... 32

波形演算と波形測定の操作部 32

デジタル・タイミング解析とステート解析 32

測定システム	33 - 36	オシロスコープの操作	44 - 45
プローブ	33	適切な接地 (グラウンド)	44
受動プローブ	34	前面パネルの設定	44
アクティブ/差動プローブ	35	オシロスコープの校正	45
ロジック・プローブ	35	プローブの接続	45
特殊プローブ	36	プローブの補正	45
プローブのアクセサリ	36	オシロスコープによる測定	47 - 48
性能に関する用語と注意事項	36 - 43	電圧測定	47
周波数帯域	36	時間と周波数の測定	48
立上り時間	37	パルス幅と立上り時間の測定	48
サンプル・レート	38	位相差の測定	49
波形取込レート	39	その他の測定テクニック	49
レコード長	39	練習問題	50 - 55
トリガ機能	40	パート1	
有効ビット	40	A. 用語に関する問題	50
周波数応答	40	B. アプリケーションに関する問題	51
垂直軸感度	40	パート2	
掃引速度	40	A. 用語に関する問題	52
ゲイン (垂直軸) 確度	40	B. アプリケーションに関する問題	53
時間軸 (水平軸) 確度	40	解答集	55
垂直分解能 (A/Dコンバータ分解能)	40	用語集	56 - 59
タイミング分解能 (MSO)	41		
接続性	41		
拡張性	41		
使いやすさ	43		

はじめに

海の波、地震、衝撃音、爆発、空中を伝わる音、運動中の人間の体の動きなど、自然はすべて正弦波の形で動いています。物理的な世界は、エネルギー、振動する粒子、その他目に見えない力で満ちています。粒子であり、かつ波動である光は、基本周波数を持ち、色として観察できるものもあります。

センサを使用してこれらの波を電気信号に変換すると、オシロスコープで観測、測定できます。科学者や、エンジニア、技術者、教育者は、オシロスコープを使い、時間とともに変化する現象を「観測」することができます。

オシロスコープは、電子機器を設計、製造、修理する技術エンジニアにとって、欠かすことのできない計測器です。今日の目まぐるしく移り変わる世の中では、技術者は最適な計測器を使用して、測定という作業をすばやく正確に行う必要があります。オシロスコープは技術エンジニアにとって目の役割を果たし、今日の測定という作業に重要な役割を果たしています。

オシロスコープは、電子機器以外の世界でも使われています。適切なセンサを使用すれば、オシロスコープを使ってあらゆる種類の現象を測定できます。センサとは、音、機械的歪み、圧力、光、熱などの物理的な刺激を電気信号に変換するデバイスです。例えば、マイクロホンは、音を電気信号に変換するセンサの一種です。図1に、オシロスコープを使用した科学データ収集の例を示します。

オシロスコープは、物理学者から修理エンジニアまで、幅広く使われています。自動車のエンジニアは、オシロスコープを使ってセンサからのアナログ・データと、ECU (Engine Control Unit, エンジン制御ユニット) からのシリアル・データの相関をとります。医療分野の研究エンジニアは、オシロスコープで脳波を測定します。オシロスコープの用途は無限です。

この入門書では、初めてオシロスコープを使用する方を対象に、オシロスコープの基本的な機能および操作方法について説明しています。

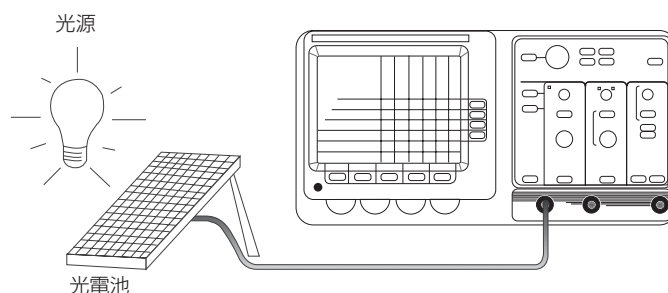


図1. オシロスコープを使用した科学データ収集の例

聞きなれない用語が出てきましたら、本書の末尾の用語集でその意味を確認してください。本書には、オシロスコープの動作原理や操作についての用語テストや選択式問題が掲載されているので、教材としても適しています。数学やエレクトロニクスの知識は必要ありません。

この入門書では、以下の項目について説明します。

- オシロスコープの動作原理
- さまざまなオシロスコープの違いについて
- 信号波形の種類
- 基本的なオシロスコープの操作方法
- 簡単な測定例

オシロスコープに付属しているマニュアルには、より詳細な操作方法が書かれています。オシロスコープのメーカーによっては、オシロスコープを使用した特定のアプリケーションに関する測定について説明したアプリケーション・ノートを発行している場合があります。

本書について不明な点やご質問などがありましたら、テクトロニクスお客様コールセンターまでお問い合わせください。または当社ウェブ・サイト (www.tektronix.com/ja) を参照してください。

シグナル・インテグリティ

シグナル・インテグリティの重要性

オシロスコープでは、波形をいかに正確に再現できるかということ（シグナル・インテグリティ）がとても重要です。信号のイメージを取込み、後から観測、解析できるという点で、カメラに似ています。シグナル・インテグリティを達成するためには、次の3点が重要です。

- 撮影した画像が現実を正確に映していること
- 撮影した画像が明瞭であること
- また、正確な画像をいかに多く映せるのかということ

まとめると、シグナル・インテグリティは、オシロスコープのさまざまなシステム、性能、および機能によって決まります。また、プローブも測定システムのシグナル・インテグリティに影響します。

シグナル・インテグリティは、多くの電子機器の設計で考慮されます。しかし、デジタル機器の設計エンジニアがシグナル・インテグリティに頭を悩ませるようになったのは最近のことです。デジタル機器の設計エンジニアはブール回路を取扱うため、論理設計ですべてを解決できたのです。ノイズが混じる間欠的な信号は高速設計で発生するものであり、これに悩むのはRF設計エンジニアくらいでした。当時のデジタル・システムはスイッチングが遅く、信号がいつ安定するかも予測できるものでした。

プロセッサのクロック・レートは、短期間に桁違いに高速になりました。3Dグラフィックス、ビデオ、サーバ/I/Oなどのコンピュータ・アプリケーションには、膨大な処理能力が必要です。今日の通信機器の大半はデジタル方式であり、膨大な帯域幅を必要とします。デジタル・ハイビジョン・テレビも同様です。現在のマイクロプロセッサ・デバイスは、データを2~3GS/s（ギガサンプル/秒）、ときには5GS/sのスピードで処理し、DDR3のメモリ・デバイスでは、2GHz以上のクロックを使用し、立上り時間が35psのデータ信号を処理します。

重大なことには、この高速化は、自動車、家電製品、機械制御装置などで使われる一般的なICデバイスにまで及んでいます。

20MHzのクロック・レートで動作するプロセッサでさえ、800MHzのプロセッサと同等の立上り時間の信号を持つものがあります。設計対象機器は性能的に新しい時代に入り、事実上すべての機器に高速設計が適用されています。

あらかじめ必要な対策を講じておかないと、従来のデジタル設計のままでは、次から次へと高速設計の問題が発生することになります。回路に断続的に障害が発生したり、電圧や温度が極端に高いときにエラーが起こったりする場合は、シグナル・インテグリティに問題がある可能性があります。このような問題は、製品化に要する時間、製品の信頼性、EMI適合性などに影響します。このような高速化による問題はシステムのシリアル・データ・ストリームのインテグリティにも影響を及ぼすため、観測した高速波形の特性と、特定のデータ・パターンの相関をとる方法も必要になります。

シグナル・インテグリティが問題となる理由

今日のデジタル設計において信号が劣化する具体的な原因をいくつか見てみましょう。なぜ、このような問題が従来に比べてより一般的となっているのでしょうか？

その答えは、スピードです。「のんびりしていた時代」には、クロックの分配、信号経路の設計、ノイズの許容範囲、負荷効果、伝送ライン効果、バス・ターミネーション、デカップリング、配電などの点に配慮すれば、ある程度のデジタル・シグナル・インテグリティは保てました。このような配慮は、これからも必要です。

しかし、バス・サイクル時間は、20年前の1,000倍も速くなっています。かつてマイクロ秒(μ s)単位で測定していたトランザクションは、今ではナノ秒(ns)で測定しています。これを実現するために、エッジ・スピードも上りました。現在のエッジ・スピードは、20年前よりも100倍も速くなっています。

このように高速化が進んだのは素晴らしいことですが、回路基板技術は、物理的な制約によりこの動きに追いつけませんでした。内部チップ・バスの伝搬時間は、ここ10年間ほとんど変わっていません。ジオメトリは確かに小型化されましたが、回路基板には、ICデバイス、コネクタ、受動素子、そしてもちろん、バス・トレース自体が配置されています。それらの距離が長くなると、結果的に速度が遅くなります。

デジタル信号のエッジ・スピード（特に立上り部分）には、そのデジタル信号の繰返しレートよりもかなり高い周波数成分が含まれています。このため、設計エンジニアの中には立上り時間の比較的「遅い」ICデバイスを意図的に使用する人もいます。

回路内の信号動作を予測するための計算は、多くの場合、集中回路モデルを基にしてきました。しかし、エッジ・スピードが信号経路の遅延の4倍から6倍になると、単純な集中回路モデルは役に立たなくなります。

サイクル率にかかわらず、信号のエッジが4~6nsを下回る場合、15cmほどの長さの回路基板トレースでも伝送ラインとなります。つまり、新しい信号経路が作成されます。この部分は設計図上は回路として規定されていませんが、信号が予想不可能な形で互いに影響し合う場となります。

プローブ／計測器の組み合わせで発生する誤差でさえ、測定する信号に大きな影響を及ぼすことがあります。しかし、測定値に「二乗和平方根」の公式を使用すれば、出力信号の立上り時間／立下り時間が規格を満たすかどうかを判断することが可能になります。また、最新のオシロスコープでは特殊なフィルタ技術を使用して、信号、ディスプレイのエッジ時間、その他の信号特性による測定システムの効果をディエンベデッドします。

同時に、信号経路も、予想どおりの動作をしません。上記の信号トレースと同様、グランド・プレーンやパワー・プレーンも伝送ラインの役割を果たします。この結果、電源のデカップリングは、ほとんど効果がありません。エッジ・スピードが速くなると、バスの長さに対して波長が短くなり、EMIは大きくなります。この結果、クロストークが増加します。

さらに、速いエッジ・スピードを実現するためには、より多くの電流を必要とします。電流が多くなるとグランド・バウンスが発生するようになり、特に多くの信号がスイッチされるワイド・バスではその傾向が強くなります。さらに、電流が増えると放射磁気エネルギーを増加させ、それとともにクロストークが増加します。

デジタル信号のアナログ的な要素

上記のような現象に共通する特長は何でしょうか？それは、典型的なアナログ現象です。シグナル・インテグリティの問題を解決するには、デジタル設計者はアナログの領域に入り込む必要があります。そのためには、デジタル信号とアナログ信号がどのように相互に作用するかを測定するためのツールが必要になります。

多くのデジタル・エラーは、アナログのシグナル・インテグリティが原因で発生します。デジタル・エラーの原因を追跡するためには、多くの場合、オシロスコープが必要となります。オシロスコープは、波形の詳細、エッジ、ノイズを表示でき、信号のトランジションを検出して表示し、セットアップ／ホールド時間などのタイミングの関係を正確に測定できます。最新のオシロスコープでは、パラレルまたはシリアルなデータ・ストリームの特定のパターンにトリガし、特定のイベントと時間的に対応するアナログ信号を表示できるため、トラブルシューティングが簡単になります。

オシロスコープ内の各システム、およびそれらの機能を理解すれば、オシロスコープを効果的に使用して、測定上のさまざまな問題を解決することができます。

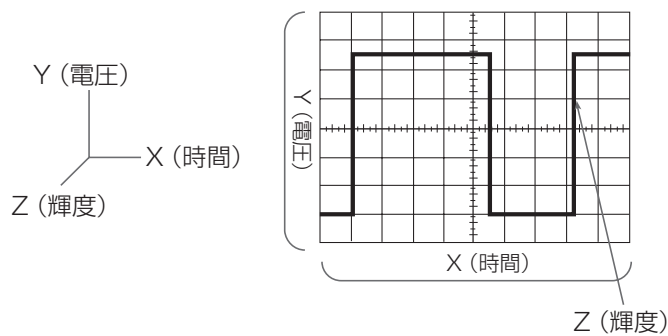


図2. 表示波形のX、Y、Z成分

オシロスコープ

この章では、オシロスコープとはどのようなもので、何ができるのか、またどのように動作しているのか、ということについて学びます。

オシロスコープは、基本的に電気信号をグラフとして表示する機器です。多くの場合、このグラフは、信号が時間とともにどのように変化するかを示し、縦軸（Y軸）が電圧、横軸（X軸）が時間を表し、輝度つまり表示の明るさをZ軸と呼びます（図2を参照）。DPO（Digital Phosphor Oscilloscope、デジタル・フォスファ・オシロスコープ）では、Z軸はカラー・グレーディング（カラー輝度階調）として表されます（図3を参照）。

表示された信号から数多くのことがわかります。

- 信号の時間と電圧
- 信号の周波数
- 信号で表される回路の「可動部分」
- 信号の特定部分の発生頻度
- 正常に動作していない部品による信号への影響
- 直流電流（DC）と交流電流（AC）
- ノイズ成分の大きさやその時間変化

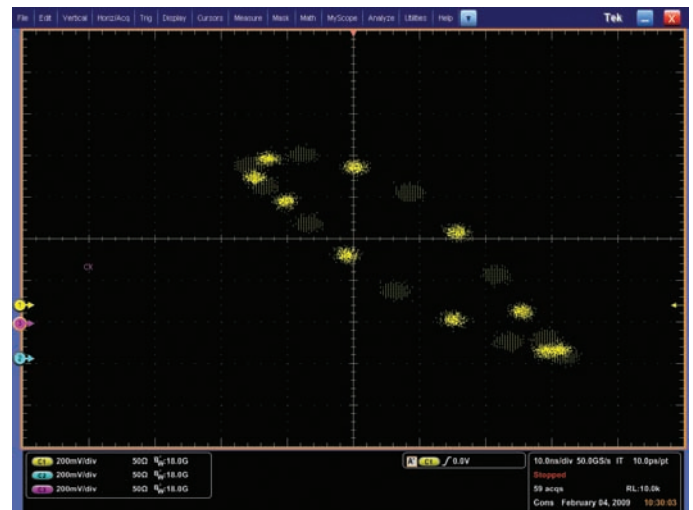


図3. Z軸の輝度階調による2つのオフセット・クロック・パターン

波形と波形の測定

音波、脳波、海の波、電圧の波のように繰り返して起こる現象を一般的に「波」と呼んでいます。オシロスコープは、電圧の波を測定します。先にも説明したように、振動や温度、あるいは電流や電力などの電気的現象はセンサによって電圧に変換することができます。波の1サイクルは繰り返して発生する波の一部分で、波形は波を図形的に表したものです。電圧波形の表示では、水平軸が時間に、垂直軸が電圧になります。

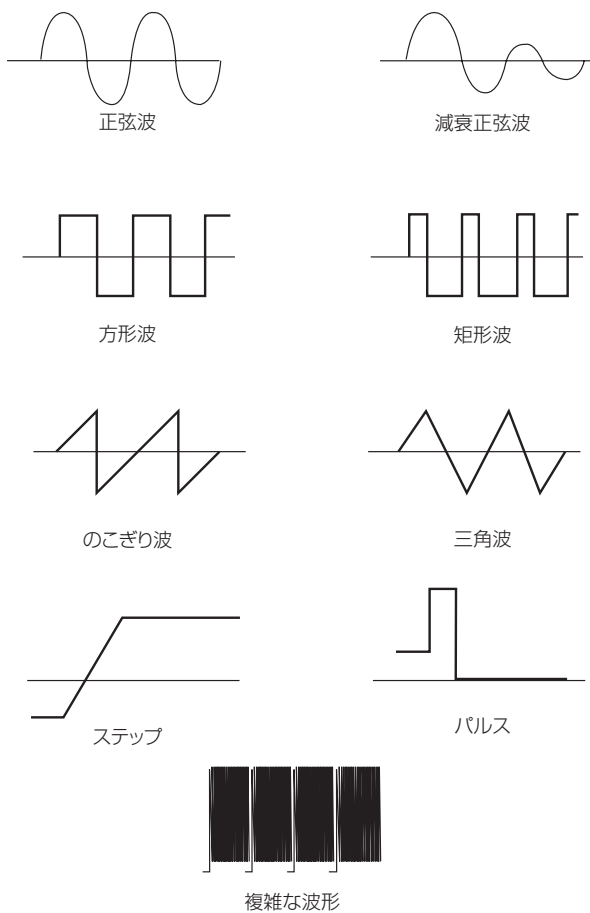


図4. 標準的な波形

波形を見ると、信号についてさまざまなことがわかります。波形の高さが変化している場合は、電圧が変化しているということがわかります。水平にまっすぐな線が表示された場合は、その観測時間内には電圧変化がなかったことを示しています。まっすぐな斜線のように表示された場合は、電圧が一定の割合で直線的に増加または減少していることを意味しています。鋭角的な部分は、急激な変化を示します。図4に標準的な波形を、図5に標準的な波形の発生源を示します。

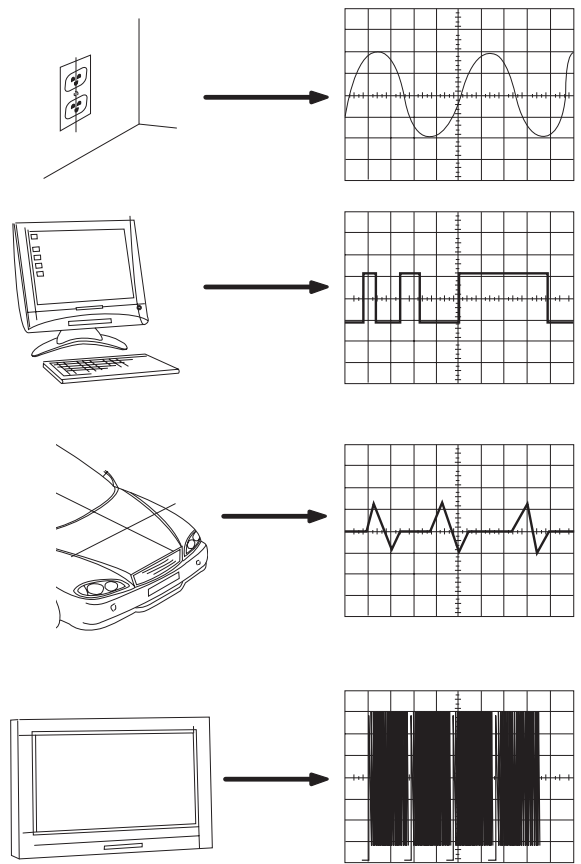


図5. 標準的な波形の発生源

波形の種類

ほとんどの波は、以下の種類に分けられます。

- 正弦波
- 方形波と矩形波
- のこぎり波と三角波
- ステップとパルス
- 周期的な信号と非周期的な信号
- 同期信号と非同期信号
- 複雑な波形

正弦波

「正弦波」は、いくつかの理由で基本的な波と言えます。正弦波は、数学的に調和のとれた性質を備えています。高校の三角法の授業で学んだsinグラフの形と同じです。コンセントの電圧波形も正弦波です。シグナル・ジェネレータのオシレータ回路で生成されるテスト信号も、その多くが正弦波です。ほとんどのAC電源は正弦波です。(ACはAlternating Current、つまり交流のことで、その電圧も交互に反転する電流という意味です。DCはDirect Current、つまり直流のことで、電池のような安定した電流、電圧を意味します。)

「減衰正弦波」は、時間的に振幅が減少する特別な正弦波です。

方形波と矩形波

「方形波」もなじみの深い波です。方形波は、基本的には規則的な間隔でオン、オフする(または高低を繰り返す)電圧です。方形波は、増幅器の標準的なテスト信号として使用されます。性能のいい増幅器は、方形波を少ない歪みで増幅します。テレビ、ラジオ、コンピュータなどの回路では、タイミング信号として方形波がよく使用されます。

「矩形波」は、高低の時間間隔が1 : 1でないことを除けば、方形波と似ています。これは、デジタル回路を解析するときに特に重要になります。

のこぎり波と三角波

「三角波」と「のこぎり波」は、アナログ・オシロスコープの水平掃引やテレビのラスタ・スキャンのように、電圧を直線的に制御する回路などから発生します。電圧は一定の割合で変化します。この変化を「ランプ」と呼びます。

ステップとパルス

ステップやパルスのようにめったに発生しない波形や定期的には発生しない波形を、「単発信号」または「トランジェント信号」と呼びます。ステップ波形は、電源スイッチを入れたときなどに見られる電圧の急激な変化を示します。

パルス波形は、電源スイッチをオンにしてすぐにオフにしたときなどに見られる、急激な電圧の変化の際に得られます。パルスはコンピュータ回路内を移動する1ビットの情報であることもあり、また回路内のグリッチ(欠陥)である場合もあります。パルスがたくさん連続すると、パルス列になります。コンピュータのデジタル・コンポーネント間の通信は、パルスを使用して行われます。パルスは、シリアル・データ・ストリームの形式になったり、複数の信号線が集まって値をとるパラレル・データ・バスの形式になったりします。このほか、パルスはX線装置、レーダ、通信機器でも使用されています。

周期信号と非周期信号

波形が同じ間隔で繰り返す信号を「周期信号」、常に波形間隔が変わる信号を「非周期信号」といいます。周期信号は静止画に、動画は非周期信号にたとえることができます。

同期信号と非同期信号

2つの信号のタイミングが一致しているとき、その2つの信号は「同期」しているといえます。コンピュータ内部のクロック、データ、アドレス信号は、同期信号の例です。

互いのタイミングに関係がない2信号の関係を、「非同期」といいます。コンピュータのキーボードを打つ動作と、コンピュータ内部のクロックには時間的な関係がないので、これらは非同期とみなされます。

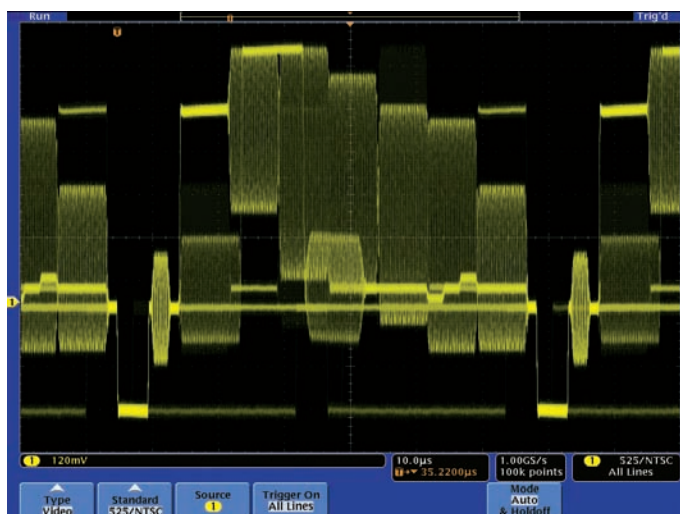


図6. 複雑な波形の例：NTSCコンポジット・ビデオ信号

複雑な波形

信号の中には、正弦波、方形波、ステップ、パルスなどが混ざり合った波形もあります。信号情報には、振幅、位相、ときには周波数の変化も含まれています。例えば、図6は通常のコンポジット・ビデオ信号ですが、低周波の「エンベロープ（包絡線）」の上に高周波成分の信号が重畳されています。

このような波形では、ステップ間の相対的なレベルとタイミングの関係を理解することが非常に重要です。このような信号を観測するには、低周波のエンベロープと高周波の波形をミックスし、低周波と高周波の違いを、輝度の濃淡として表現できるオシロスコープが必要です。図6に示すようなビデオ信号などの複雑な波形の観測には、デジタル・フォスファ・オシロスコープが適しています。デジタル・フォスファ・オシロスコープには、頻度情報、つまり輝度の階調を表現できる機能があるため、真実の波形を理解する上で、非常に重要です。

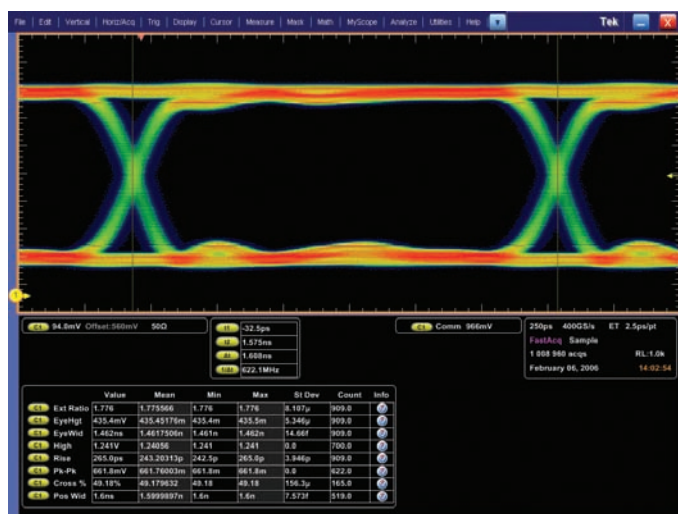


図7. 622Mbpsのシリアル・データのアイ・パターン

オシロスコープによっては、特定の複雑な波形を、特殊な方法で表示するものもあります。例えば、テレコム通信のデータは、アイ・パターンまたはコンスタレーション・ダイアグラムとして表示されます。

テレコム通信のデジタル・データ信号は、オシロスコープ上では「アイ・パターン」と呼ばれる特殊な波形で表示されます。この名前は、波形が人間の目のような形状であることからきています（図7を参照）。アイ・パターンは、レシーバからのデジタル・データを垂直入力に、データ・レートを水平掃引のトリガとして使用することで表示されます。アイ・パターン表示では、1ビットまたは1UI（ユニット・インターバル）の中にすべてのエッジが含まれた状態で表示されます。

コンスタレーション・ダイアグラムは、直交振幅変調や位相シフト・キーイングなどのデジタル変調方式による信号を表したものです。

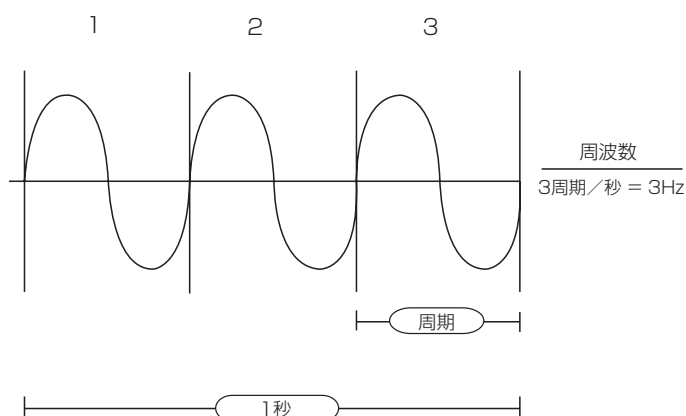


図8. 正弦波の周波数と周期

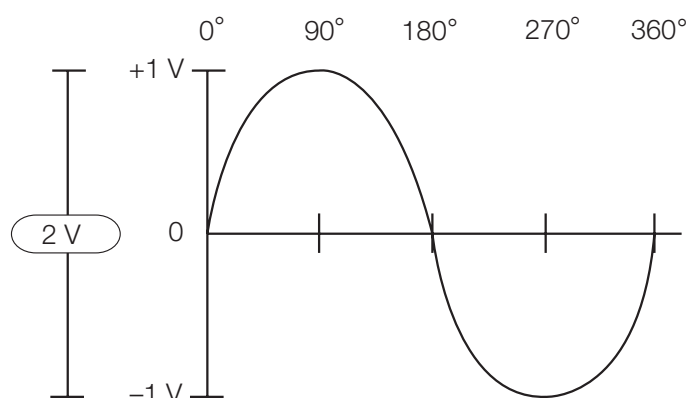


図9. 正弦波の振幅と位相

波形測定

オシロスコープで実行されるさまざまな測定では、数多くの用語が使われます。この章では、一般的な測定と用語について説明します。

周波数、周期

繰り返し発生する信号には、「周波数」があります。周波数の単位は、Hz（ヘルツ）で表され、1秒間に信号が何回繰返されるか（周期/秒）を示します。また、繰り返し発生する信号には、「周期」もあります。これは、1サイクルに要する時間を表します。周波数と周期は、逆数の関係にあり、 $1/\text{周期}$ は周波数に、 $1/\text{周波数}$ は周期に相当します。例えば、図8の正弦波は、周波数が3Hzで、周期が $1/3$ 秒です。

電圧

「電圧」は、回路の2点間の電位の差（信号の強さ）を表します。通常、2点のうち1つはグランド（0V（ボルト））にとりますが、常にそうとは限りません。波高値から波低値までを測定することもあり、そのような電圧は「ピーク・トゥ・ピーク電圧」と呼びます。

振幅

「振幅」は、回路の2点間の電位差を指します。通常は、グランド（0V）からの最大電圧の値を指します。図9の波形では、振幅は1Vで、ピーク・トゥ・ピーク電圧は2Vとなります。

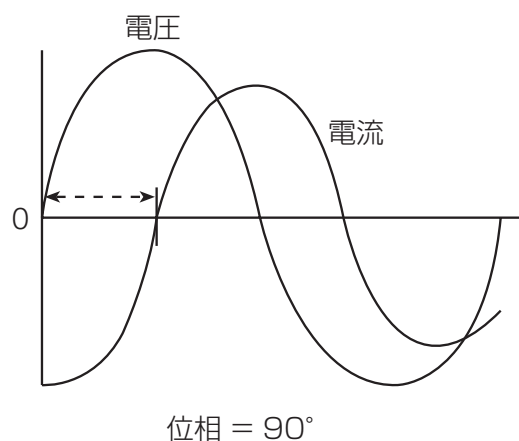


図10. 位相ずれ

位相

「位相」は、正弦波で説明するとよくわかります。正弦波の電圧は、円運動（1周 360° ）に基づいています。正弦波の1周期は 360° です（図9）。正弦波の周期がどのくらい経過したかを位相角何度と表すことができます。

位相ずれは、2つの類似した信号の時間的なずれを表します。図10では、2つの波形はちょうど $1/4$ 周期（ $360^\circ/4=90^\circ$ ）ずれて同じ値になるので、電流波形は電圧波形より 90° 遅れていることとなります。位相ずれは、電気回路ではよく起こる現象です。

デジタル・オシロスコープを使用した波形の測定

最近のデジタル・オシロスコープでは、波形測定が簡単に行えるようになりました。前面パネル・ボタンまたは画面に表示されたメニューを使って、自動測定を選択できます。測定項目には、振幅、周期、立上り／立下り時間など、たくさんの項目があります。さらに平均値、実効値の計算、デューティ・サイクル、数学的な計算も行えます。自動測定の結果は、画面上に数値で表示されます。通常、この値は、人間が目盛から直接読み取る値より正確です。

自動測定される項目：

- 周期
- 周波数
- 正のパルス幅
- 負のパルス幅
- 立上り時間
- 立下り時間
- 振幅
- 消光比
- 平均光パワー
- 正のデューティ比
- 負のデューティ比
- 遅延
- 位相
- バースト幅
- ピーク・トゥ・ピーク値
- 平均値
- サイクル平均値
- サイクル領域
- ハイ
- ロー
- 最小値
- 最大値
- 正のオーバーシュート
- 負のオーバーシュート
- 実効値
- サイクル実効値
- ジッタ

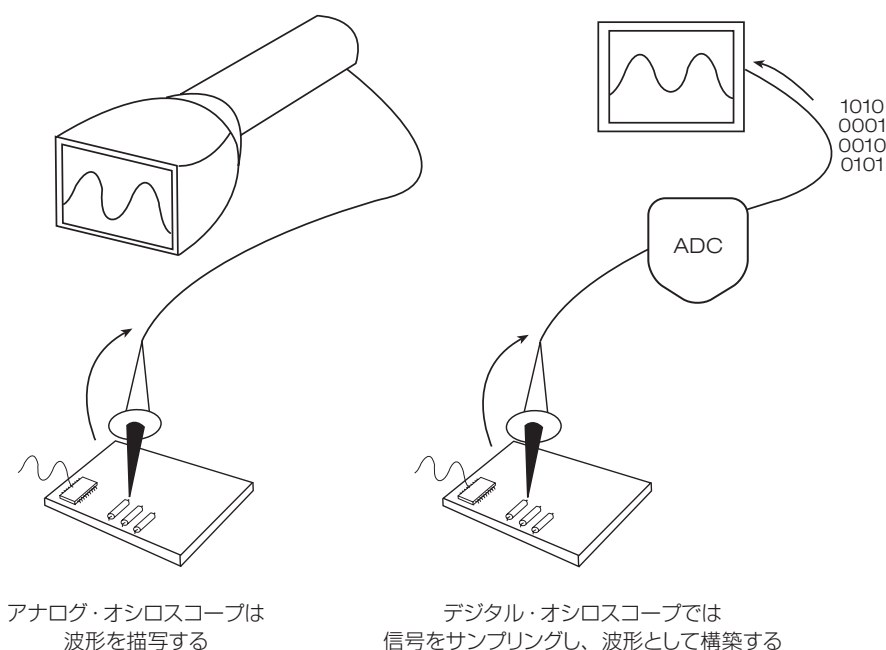


図11. アナログ・オシロスコープでは波形を描写し、デジタル・オシロスコープでは信号をサンプリングし、波形として構築する

オシロスコープの種類

電子機器は、「アナログ」機器および「デジタル」機器の2種類に分けられます。アナログ機器は、連続した電圧値を扱い、デジタル機器は電圧のサンプル値である離散2進数を扱います。例えば、従来のレコード・プレーヤはアナログで、コンパクト・ディスク・プレーヤはデジタルです。

オシロスコープも同様に、アナログとデジタルの2種類があります。アナログ・オシロスコープと違い、デジタル・オシロスコープはA/Dコンバータを使用して、測定した電圧をデジタル・データに変換します。デジタル・オシロスコープは、波形から連続したサンプルを取得し、波形を表示するのに十分なサンプルが蓄積されると、それを画面上に波形として表示します（図11参照）。

デジタル・オシロスコープは、DSO（デジタル・ストレージ・オシロスコープ）、DPO（デジタル・フォスファ・オシロスコープ）、MSO（ミックスド・シグナル・オシロスコープ）、デジタル・サンプリング・オシロスコープに分類されます。

デジタル・オシロスコープでは、周波数帯域内であれば、安定した、明るい、鮮明な波形表示が可能です。繰り返し信号の場合、デジタル・オシロスコープの周波数帯域は、オシロスコープのフロントエンド・コンポーネントのアナログ帯域の通常-3dB点といわれてい

ます。パルスやステップなどの単発現象や過渡的現象では、オシロスコープのサンプル・レートによって周波数帯域が制限されることがあります。詳細は、「性能に関する用語」のサンプル・レートの項を参照してください。

デジタル・ストレージ・オシロスコープ

従来型のデジタル・オシロスコープは、DSO（デジタル・ストレージ・オシロスコープ）と呼ばれています。DSOの表示は、一般にアナログ・オシロスコープのような蛍光面ではなくラスタ型の画面で行われます。

DSOを使用すると、トランジェントなどの1度しか発生しない現象を取込んで観測することができます。波形データは2進数のデジタル形式になっているので、オシロスコープ内部でも、外部のコンピュータでも解析、保存、出力などの処理が可能です。波形が入力されていなくても画面上に波形を表示することができます。アナログ・オシロスコープと違い、DSOは信号を永続的に保存でき、広範な波形処理が可能です。ただし、DSOは一般的に輝度の階調表示をリアルタイムに行うことはできません。したがって、リアルタイムに観測している信号の明るさ（頻度）の違いを表現することはできません。

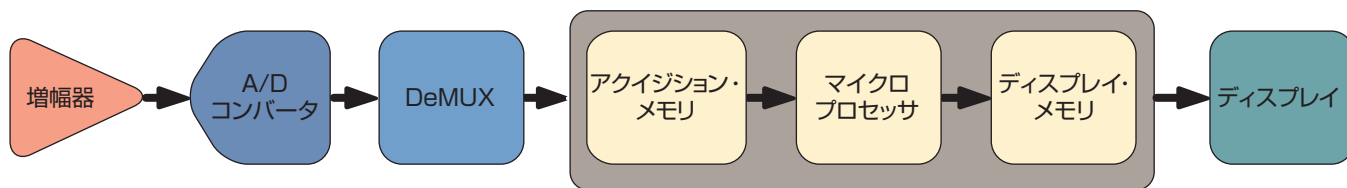


図12. デジタル・ストレージ・オシロスコープ (DSO) のシリアル処理アーキテクチャ

DSOを構成するサブシステムの中には、アナログ・オシロスコープと同様のものもありますが、波形表示機能をさらに拡張するものもあります。DSOは、図12に示すようなシリアル・プロセス構造により、信号を取込み、画面上に表示します。次に、このシリアル・プロセス構造について説明します。

シリアル・プロセス・アーキテクチャ

DSOにおいても入力部分は、アナログ・オシロスコープと同様に垂直アンプを通じて行われます。この段階では、垂直調整によって振幅とポジション範囲を調整できます。次に、水平回路内のA/Dコンバータが、離散的な時間間隔で信号をサンプルし、これらのポイントにおける信号の電圧を「サンプル・ポイント」と呼ばれるデジタル値に変換します。この処理を信号の「デジタル化 (AD変換)」といいます。

水平回路のサンプル・クロックにより、A/Dコンバータのサンプリング間隔が決まります。このサンプリング時間の間隔を「サンプル・レート」といい、S/s (サンプル数/秒) の単位で表します。

A/Dコンバータから出力されたサンプル・ポイントは、「波形ポイント」としてアキュイジション・メモリに保存されます。複数のサンプル・ポイントで1つの波形ポイントを構成する場合もあります。複数の波形ポイントが1つの波形レコードを構成します。1つの波形レコードを構成する波形ポイントの数を、「レコード長」と呼びます。トリガ回路によって、レコードの開始点と終了点が決められます。

DSOの信号伝達経路にはマイクロプロセッサが含まれ、計測された信号は、このマイクロプロセッサを経てディスプレイへ送られます。このマイクロプロセッサは、信号処理、表示機能の制御、前面パネルのコントロールなどを行います。信号は、次にディスプレイ・メモリを通り、オシロスコープの画面に表示されます。



図13. デジタル・ストレージ・オシロスコープで取込んだ、複数のチャンネルにおける高速の単発信号。捕捉の難しいグリッチやトランジェント・イベントを取込むことができる

オシロスコープによっては、サンプル・ポイントにさらにデータ処理を加えて、波形表示機能を拡張するものもあります。トリガ点以前に起きた現象を観測することができる、プリトリガという機能がついたものもあります。今日のデジタル・オシロスコープの多くは、パラメータにより自動的に測定を行うことができますので、測定が簡単に行えます。

図13に示すように、DSOは単発取込み、複数チャンネルの測定性能に優れているため、繰返しが少ない、または単発の信号、あるいは高速、多チャンネルの波形観測をする場合に最適です。デジタル回路設計の分野では、エンジニアは同時に4つ以上の信号を観測することが多いので、DSOが欠かせません。

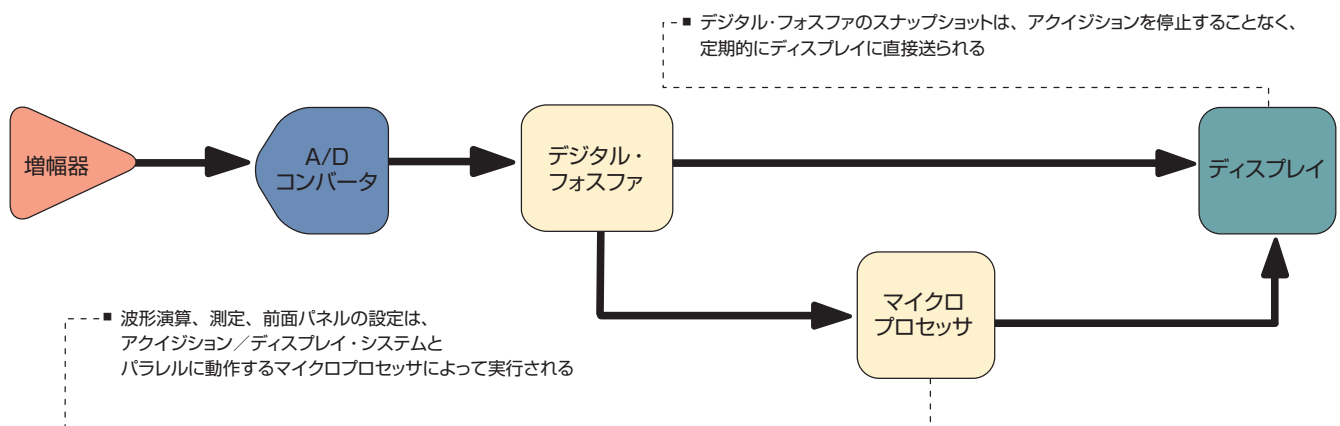


図14. デジタル・フォスファ・オシロスコープ (DPO) の並列処理アーキテクチャ

デジタル・フォスファ・オシロスコープ

DPO (デジタル・フォスファ・オシロスコープ) はまったく新しい構造のオシロスコープで、独自の波形取込、波形表示を実現し、正確な信号再生が可能です。

DSOは信号の取込み、表示、解析をシリアル・プロセスで行うのに対し、DPOは図14に示すような並列処理 (パラレル・プロセス) を行います。DPOは、波形イメージを取込むための専用のASICハードウェアが組み込まれているのが特長で、これにより取込レートを上げ、信号の表示レベルを上げることができました。このような高性能構造により、ラント・パルス、グリッチ、トランジション・エラーなど、デジタル・システムで発生する過渡的現象をより確実に捉えることができ、さらに後から解析することもできます。次に、並列処理構造について説明します。

並列処理アーキテクチャ

DPOでも、入力部分はアナログ・オシロスコープと同様に垂直アンプを通じて行われます。次に、DSOと同様にA/Dコンバータが働きますが、DPOはA/D変換に続く動作がDSOとは大きく異なります。

アナログ・オシロスコープ、DSO、DPOにかかわらず、どのようなオシロスコープでも必ずホールドオフ時間があります。これは、オシロスコープが取込んだばかりのデータの処理、システムのリセットを行い、次のトリガを待つ時間のことです。この間に発生した現象は、オシロスコープで確認することができません。ホールドオフ時間が長いと、まれにしか発生しない現象や、あまり繰返されない現象は捉えにくくなります。

表示更新レートを見ても、波形を取込める確率はわかりません。更新レートだけを見ていると、オシロスコープが波形情報をすべて適切に取込んでいるように見えても、実際はそうでないこともあります。

デジタル・ストレージ・オシロスコープは、波形をシリアルに取込みます。波形の取込レートはマイクロプロセッサのスピードで決まるため、マイクロプロセッサのスピードがボトルネックになります。

DPOは、デジタル化した波形データをデジタル・フォスファ・データベースにラスタライズします。このデータベースに記録された信号イメージのスナップショットは、1/30秒ごと (人間の目が感知できるおおよその最大速度) に直接ディスプレイ・システムに送られます。このように、波形データを直接ラスタライズし、データベースからディスプレイのメモリに直接コピーすることにより、アナログ・オシロスコープやDSOで発生していたデータ処理のボトルネックが解消されます。その結果、リアルタイム性が向上し、波形表示の更新をリアルタイムに行えます。信号の詳細情報、間欠的現象、信号の動きもリアルタイムに表示されます。DPOのマイクロプロセッサは、表示管理、測定の自動化、制御などの処理を並列に行うので、取込スピードに影響を与えることはありません。

DPOは、アナログ・オシロスコープの忠実な波形表示に匹敵する時間、振幅、時系列的な振幅の分布をリアルタイムに3次元で表現します。

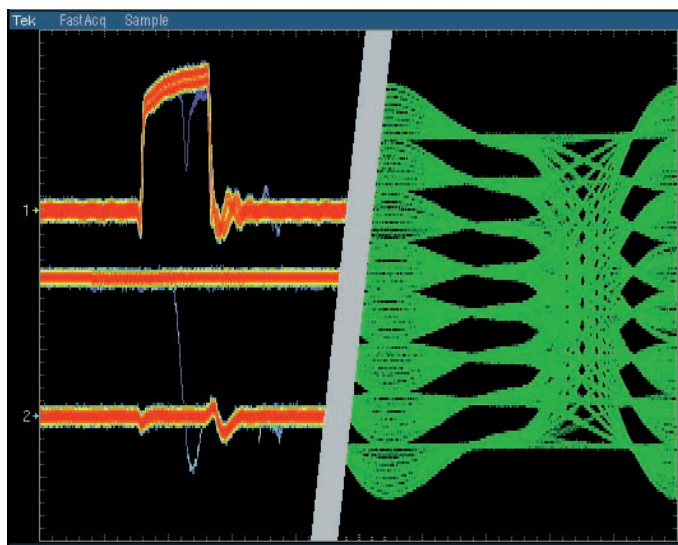


図15. DPOはわずか数秒で数百万の波形を取込む機種もあり、間欠的で捉えにくい現象を取込み、信号の振る舞いを測定できる可能性が大幅に向上する

化学的蛍光体を使用するアナログ・オシロスコープと違い、DPOは完全に電子的な蛍光体を使用します。デジタル・フォスファは、常に連続的に更新されるデータベースです。このデータベースには、オシロスコープの表示画面の全ピクセルに対応した信号情報の「セル」があります。波形が取込まれるたびに（オシロスコープがトリガするたびに）、波形データはデジタル・フォスファ・データベースのセルにマッピングされます。各セルは、それぞれスクリーン上の個々の位置を表し、波形が送られると輝度情報が増加します。こうして、波形が送られる回数が多いセルほど、輝度情報が多くなります。

デジタル・フォスファ・データベースがオシロスコープのディスプレイに送られると、アナログ・オシロスコープの輝度階調表示と同様に、各点の信号発生頻度に応じて波形領域が明るく表示されます。DPOでは、アナログ・オシロスコープと違い、発生頻度の違いをカラーによるコントラストで表示することもできます。DPOでは、トリガごとに毎回発生する現象と、100回に1回発生するまれな現象の違いも簡単に観測できます。

DPOは、アナログ・オシロスコープとデジタル・オシロスコープの技術の境界を取払いました。DPOは、低周波から高周波、繰返し波形、単発現象、変動する信号のリアルタイム観測に最適です。また、唯一DPOだけがDSOになかったZ軸（輝度）を提供します。

DPOは、汎用設計、さまざまなアプリケーションのトラブルシューティングのツールとして最適です（図15参照）。たとえば、通信マスク・テスト、間欠的な信号のデジタル・デバッグ、繰返し信号の設計、タイミング・アプリケーションなどに適しています。

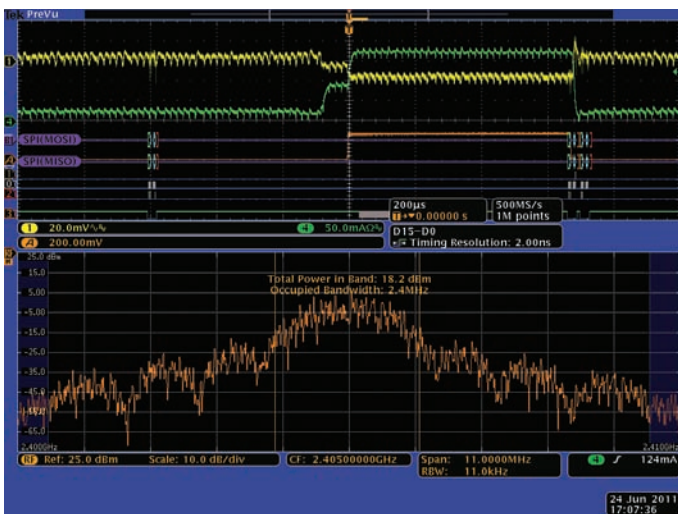


図16. Zigbee無線のマイクロプロセッサSPIの(MOSI)と(MISO)のコントロール・ラインの時間相関表示と、ターンオン時の無線ICへのドレイン電流/電圧のスペクトラム測定例

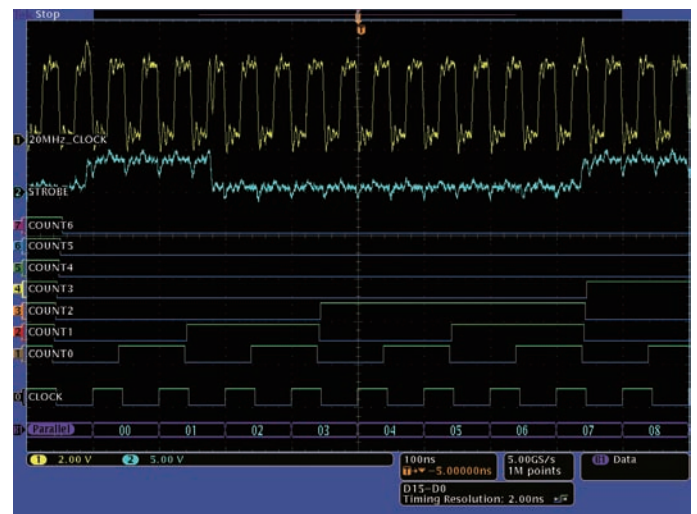


図17. 16のデジタル・チャンネルが統合されているため、アナログ信号とデジタル信号を、時間相関をとりながら観測、解析できる

ミックスド・ドメイン・オシロスコープ

ミックスド・ドメイン・オシロスコープ (MDO) は、スペクトラム・アナライザとMSO、DPOの機能を1台に統合した計測器であり、デジタル、アナログ、RFドメインの信号を、相関をとりながら表示できます。組み込み設計を例に考えると、プロトコル、ステート・ロジック、アナログ、RF信号を、時間的に相関をとりながら観測できます。各ドメイン間のイベントが詳細に観測できるため、作業時間が大幅に短縮できます。

RFの組み込み設計において、マイクロプロセッサからのコマンドとRFイベント間の時間遅延が理解できるため、テスト・セットアップが簡単になり、複雑な測定が作業ベンチで行えるようになります。図16はZigbeeの無線組み込み設計の例を示しています。RFイベントにトリガし、マイクロプロセッサ・コントローラのデコードされたSPIコントロール・ラインのコマンド・ライン・レイテンシ、およびスペクトラム・イベントを表示しています。プロトコル(デジタル)、アナログ、RFすべてのドメインが、時間的に相関をとりながら観測できます。

ミックスド・シグナル・オシロスコープ

ミックスド・シグナル・オシロスコープ (MSO) では、DPOの性能に、パラレル/シリアル・バスのプロトコル・デコード機能とトリガ機能を含む16チャンネル・ロジック・アナライザの基本機能が組み合わされています。MSOのデジタル・チャンネルは、デジタル回路の信号をデジタル・ハイまたはデジタル・ローとして表示します。これは、リングング、オーバーシュート、グランド・バウンスなどによるロジックの遷移が発生しないことを前提としています。MSOではアナログ特性は無視されます。MSOは、ロジック・アナライザのようにスレッショルド電圧を基準にして信号が論理ハイなのか論理ローなのかを判断し、表示します。

MSOは、強力なデジタル・トリガ機能、高分解能アキュイジション機能、解析ツールを装備しており、デジタル回路をすばやくデバッグすることができます。図17に示すように、信号のアナログ部とデジタル部の振る舞いを同時に解析することで、多くのデジタル問題の原因をすばやく特定することができます。このようなデジタル回路の検証、デバッグにはMSOが適しています。

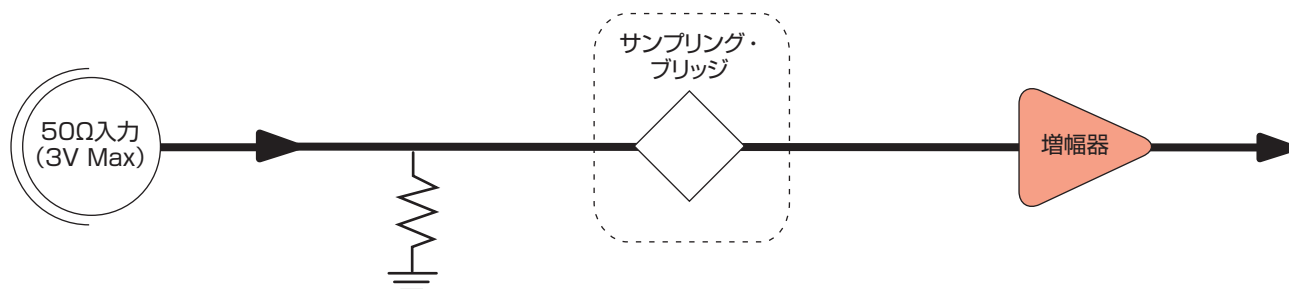


図18. デジタル・サンプリング・オシロスコープのアーキテクチャ

デジタル・サンプリング・オシロスコープ

デジタル・ストレージ・オシロスコープ、デジタル・フォスファ・オシロスコープの構造とは対照的に、デジタル・サンプリング・オシロスコープの構造は、図18に示すように、アッテネータ/増幅器とサンプリング・ブリッジの位置が逆になっています。入力信号のサンプリングが先で、そのあと減衰、増幅が行われます。サンプリング・ゲートにより信号は低い周波数に変換されているので、ブリッジのサンプリングの後、低い帯域の増幅器を使用でき、その結果、帯域幅の非常に高い機種となります。

しかし、この広い帯域のトレードオフとして、サンプリング・オシロスコープはダイナミック・レンジが制限されます。サンプリング・ゲートの前には、アッテネータも増幅器もないので、入力をスケールすることはできません。サンプリング・ブリッジは、常に入力の全ダイナミック・レンジを処理できなければなりません。このため、ほとんどのサンプリング・オシロスコープのダイナミック・レンジは1V_{p-p}程度に制限されています。一方、デジタル・ストレージ・オシロスコープとデジタル・フォスファ・オシロスコープでは50~100Vの電圧を扱えます。

また、帯域を制限することになるので、サンプリング・ブリッジの前に保護ダイオードを配置することができません。このため、サンプリング・オシロスコープへの安全な入力電圧は3V程度になります。他のオシロスコープでは、500Vの電圧でも問題ありません。

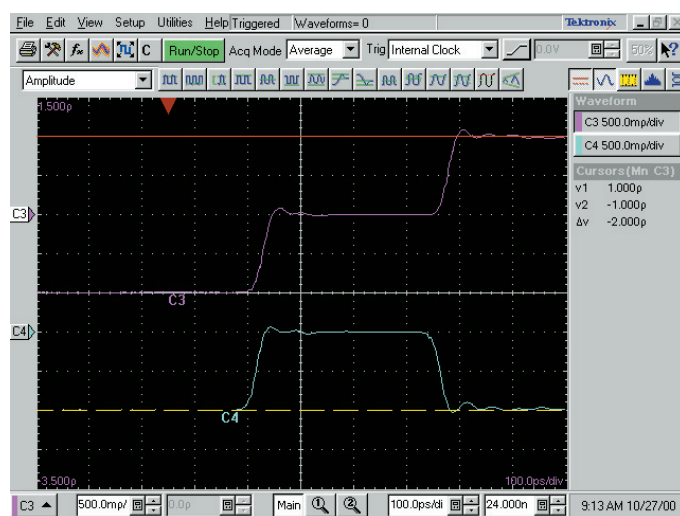


図19. デジタル・サンプリング・オシロスコープによるTDR (Time Domain Reflectometry) 表示

DSOまたはDPOで高周波信号を測定する場合、1回の掃引で十分なサンプルが収集できない場合があります。デジタル・サンプリング・オシロスコープは、周波数成分がオシロスコープのサンプル・レートよりもかなり高い信号を正確に取込むのに適しています(図19参照)。サンプリング・オシロスコープは、他のオシロスコープに比べてもかなり高速な信号であっても測定できます。繰返し信号については、他のオシロスコープの10倍の帯域およびスピードが可能です。シーケンシャル等価時間サンプリング・オシロスコープでは、80GHzまでの帯域が可能です。

オシロスコープのシステムと操作部

このセクションでは、アナログ・オシロスコープとデジタル・オシロスコープの基本的なシステムと操作について簡単に説明します。アナログ・オシロスコープとデジタル・オシロスコープでは、一部の操作が異なります。また、ご使用のオシロスコープには、ここで述べられていない操作があるかもしれません。

一般的に、オシロスコープは垂直システム、水平システム、トリガ・システム、ディスプレイ・システムの4つで構成されています。これらのシステムを理解すれば、さまざまな測定で効率的にオシロスコープを使用することができます。信号を正確に再生するオシロスコープの能力は、この各システムにかかっています。

オシロスコープの前面パネルは、3つの主要操作部（垂直軸、水平軸、トリガ）に分かれます。オシロスコープの機種と種類（アナログまたはデジタル）によっては、別の操作部があることもあります。図20に1つの例を示します。お使いのオシロスコープで1つ1つの操作部を確認してください。

オシロスコープを使用する場合、以下の3つの基本設定を調節して入力信号を表示させます。

- 垂直軸：信号の減衰または増幅。V/div（垂直軸）を調整し、信号の振幅を設定します。
- 水平軸：時間軸。s/div（水平軸）を調整し、画面水平方向の1目盛あたりの時間を設定します。
- トリガ：オシロスコープのトリガ設定。トリガ・レベルを調整し、繰り返し信号を安定させるように、あるいは単発信号にトリガをかけるように設定します。

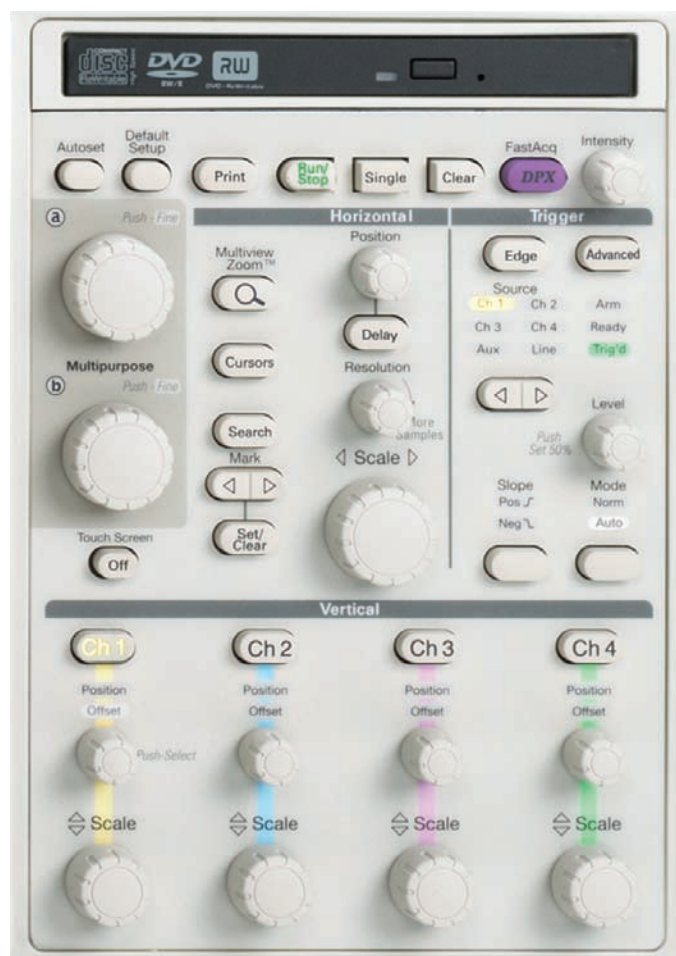


図20. オシロスコープの前面パネル操作部

垂直軸で設定できる一般的な項目：

- 終端
 - 1MΩ
 - 50Ω
- カップリング
 - DC
 - AC
 - GND
- 周波数帯域
 - 帯域制限
 - 帯域拡張
- ポジション
- オフセット
- 反転 – オン/オフ
- 感度
 - 固定ステップ
 - 可変

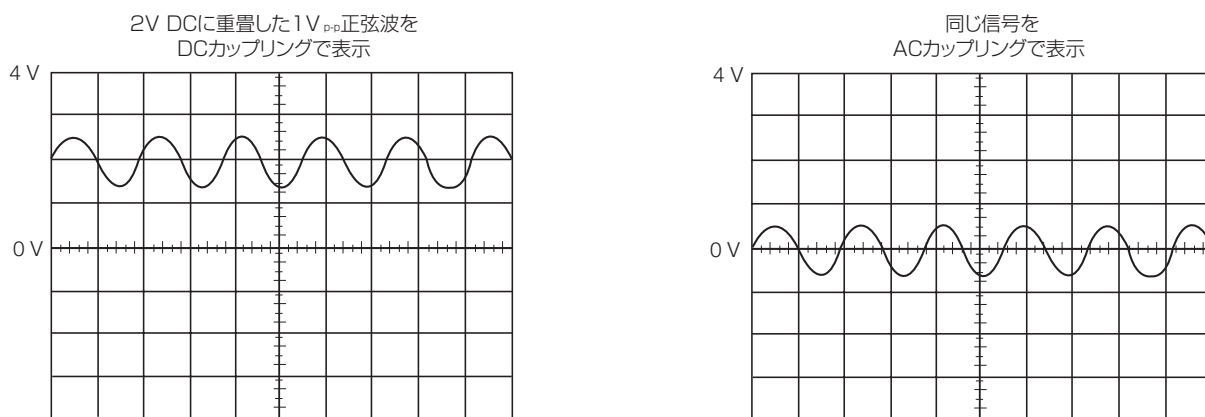


図21. ACカップリングとDCカップリング

垂直軸システムと操作部

垂直軸の調整は、波形の上下の位置やサイズを変更する場合に使用します。また、入力カップリングなどの設定にも使用されます。

ポジションと垂直軸感度

垂直軸ポジションは、画面上で波形を垂直方向に自由に動かすことができます。

垂直軸感度（通常はV/divと表記）の設定により、画面上の波形の上下方向の大きさを変えられます。5V/divに設定すると、画面の垂直方向に8等分されている1つ1つの目盛間の電圧値が5Vとなり、全体で40Vを表示することになります。0.5V/divに設定した場合は、画面全体で4Vを表示することになります。画面に表示できる最大電圧幅は、垂直軸の目盛数にV/divの値をかけた値となります。1:1、10:1どちらのプロープを使用するかも、スケール・ファクタに影響します。V/divの値をプロープの減衰比で割ると、本当の値が得られます。（自動的に算出する機能を持ったオシロスコープもあります。）

通常、V/divの設定には、表示された信号を適当な数の目盛に分割できるように、可変ゲインまたは微細ゲインの調整機能がついています。この機能は、立ち上がり時間を測定するときに使います。

入力カップリング

「カップリング」とは、信号が伝わるように、回路と回路を接続する方法です。この場合の入力カップリングは、被測定回路とオシロスコープを接続する方法です。入力カップリングは、DC、AC、またはGND（グラウンド）に設定できます。DCカップリングでは、すべての入力信号が表示されます。ACカップリングは、信号中のDC成分をブロックするので、信号は0Vを中心に表示されます。図21に、この違いを示します。ACカップリングは、全振幅（AC+DC）がV/divの設定より大きすぎるときに使用すると便利です。

GND（グラウンド）に設定すると、入力信号は垂直軸回路から切り離され、画面上で0Vの位置がわかります。オート・トリガ・モードで入力カップリングをGNDに設定すると、画面上に0Vを示す水平線が現れます。DCからGNDに切替え、再度DCに戻すと、信号のグラウンドに対する電圧レベルが簡単にわかります。

帯域制限

ほとんどのオシロスコープには、帯域幅を制限する回路が備わっています。帯域幅を制限すると、表示されている信号に乗ったノイズを抑えて、きれいな信号を観測することができます。帯域幅を制限するとノイズを抑えることができますが、同時に信号の高周波部分まで減衰させたり、除去したりすることになるので、注意が必要です。

帯域拡張

オシロスコープによってはDSP任意イコライゼーション・フィルタを搭載しているものもあり、オシロスコープのチャンネル応答を改善することができます。このフィルタにより、帯域を拡張し、オシロスコープのチャンネルの周波数応答をフラットにし、位相リニアリティを改善し、チャンネル間のマッチングを改善することができます。さらに、立上り時間が高速になり、時間ドメインのステップ応答も改善できます。

水平システムと操作部

オシロスコープの水平システムは、サンプル・レートや記録長といった入力信号のアクイジション（取込）方式と緊密に関連します。水平操作部では、横方向に波形の位置を移動したり、サイズを変更したりするときに使用します。水平軸操作部で設定する項目には、次のものがあります。

アクイジションの操作部

デジタル・オシロスコープでは、アクイジション・システムの処理方法を設定することができます。これについては、お使いのデジタル・オシロスコープのアクイジション・メニューを見ながらお読みください。図22は、アクイジション・メニューの例を示しています。

アクイジション・モード

アクイジション・モードでは、サンプル・ポイントからの波形ポイント生成方法を設定します。サンプル・ポイントとは、A/Dコンバータ（ADC）から直接抽出したデジタル・データを指します。サンプル間隔とは、サンプル・ポイントとサンプル・ポイントとの間の時間間隔を指します。波形ポイントとは、メモリに保存されているデジタル・データで、このデータを使って波形を作成します。波形ポイントと波形ポイントとの間の時間差を、波形インターバルと呼びます。

サンプル間隔と波形インターバルは、必ずしも同じであるとは限りません。つまり、あるモードでは1回の取込みで取込んだ複数の

水平軸で設定できる一般的な項目：

- 時間軸
- 分解能
- XY
- サンプル・レート
- スケール
- トリガ・ポジション
- 波形の分離
- ズーム／パン
- レコード長
- サーチ

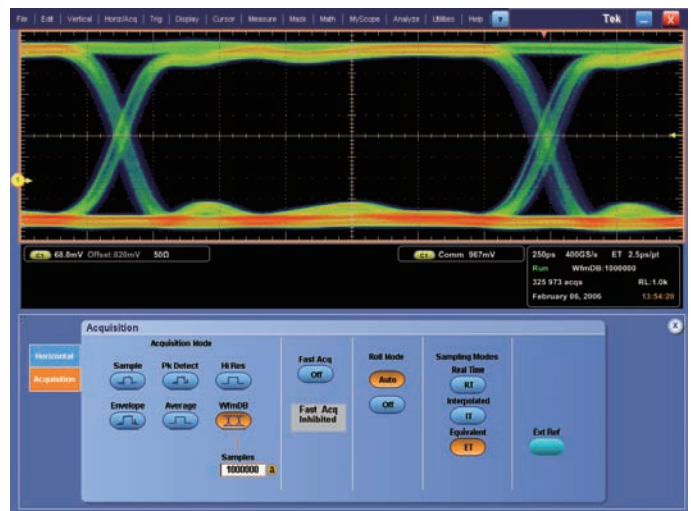


図22. アクイジション・メニューの例

サンプル・ポイントがそのまま1つの波形ポイントとなりますが、別のアクイジション・モードでは、1つの波形ポイントを作るのに複数回のアクイジションで取込んだサンプル・ポイントを合成する場合もあります。言い換えると、リアルタイム・サンプリング・モードで取込んだ波形の場合、サンプル間隔＝波形インターバルですが、等価時間サンプリング・モードで取込んだ波形の場合、サンプル間隔＞波形インターバルとなります。次に、各アクイジション・モードについて説明します。

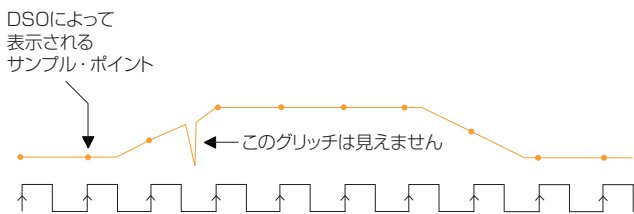


図23. サンプル・レートは、時間軸の設定によって変化する。時間軸を遅く設定するとサンプル・レートも遅くなる。ピーク・ディテクト・モードを備えたデジタル・オシロスコープの中には、掃引速度が遅くても速い変化を捉えられるものがある

アキュイジション・モードの種類

- サンプル・モード：最もシンプルなアキュイジション・モードです。取込んだサンプル・ポイントがそのまま波形ポイントとなります。
- ピーク・ディテクト・モード：オシロスコープは、2つの波形インターバルの間に取込んだ複数のサンプル・ポイントから最大と最小のサンプル・ポイントを保存し、この2ポイントを2つの波形ポイントとして使用します。ピーク・ディテクト・モードを備えたデジタル・オシロスコープは、ゆっくりとした時間軸設定（つまり、長い波形インターバル）の場合でもA/Dコンバータは高速で動作していますので、波形ポイント間に発生する、サンプル・モードでは決して取込めないような高速な信号の変化でさえ捉えることができます（図23）。ピーク・ディテクト・モードは、発生間隔が離れた、幅の狭いパルスを捉えるのに特に有効です（図24を参照）。
- ハイレゾ・モード：ピーク・ディテクト・モードと同様、時間軸の設定によるサンプリング速度よりA/Dのサンプリング速度の方が速くなる場合に、数多く取込んだ情報を有効に活用できる機能です。ハイレゾ・モードの場合、1つの波形インターバルの間に、複数のサンプル・ポイントを取込み、その平均値を1つの波形ポイントとします。低速信号では、ノイズを抑えて分解能を上げることができます。ハイレゾ・モードがアベレージ・モードよりも優れている点は、単発取込でも使用できるということです。
- エンベロープ・モード：エンベロープ・モードはピーク・ディテクト・モードに似ています。違いは、ピーク・ディテクト・モードが1回のアキュイジションから最大・最小ペアを探し出すのに対して、エンベロープ・モードでは、複数回のアキュイジションから探します。繰り返し取込まれた複数回の波形データを波形ポイントごとに計算し、最大値（または最小値）を記憶します。それを全波形ポイントにわたり結合すると、一定時間内の波形の変動を示すことができます。通常は、エンベロープ波形を構成するには、1回1回の波形としてピーク・ディテクト波形を使用します。



図24. ピーク・ディテクト・モードでは、非常に短時間のトランジェント異常が捕捉できる

- アベレージ・モード：アベレージ・モードでは、サンプル・モードと同様に、波形インターバルごとに1つのサンプル・ポイントを保存しますが、連続するアキュイジションで取込んだ波形ポイント値をそれぞれのポイントごとに平均し、最終的な表示波形を求めます。帯域を犠牲にすることなくノイズを抑えることができますが、繰り返し信号でなければなりません。
- 波形データベース・モード：波形データベースから振幅、時間、カウント数の三次元の配列を構築します。

アキュイジション・モードの開始と停止

デジタル・オシロスコープの最大の特長は、波形を取込んで記憶させ、その後観測できることです。通常、前面パネルには、アキュイジション・システムの開始と停止を設定するためのボタンがついていて、取込後ゆっくりと波形を解析することができます。さらに、1回の波形取込終了後、あるいは1回のエンベロープやアベレージの終了後に、自動的にデータの取込みを停止する機能も必要です。この機能は、単掃引またはシングル・シーケンスと呼ばれ、通常このための操作部が、アキュイジション操作部またはトリガ操作部についています。

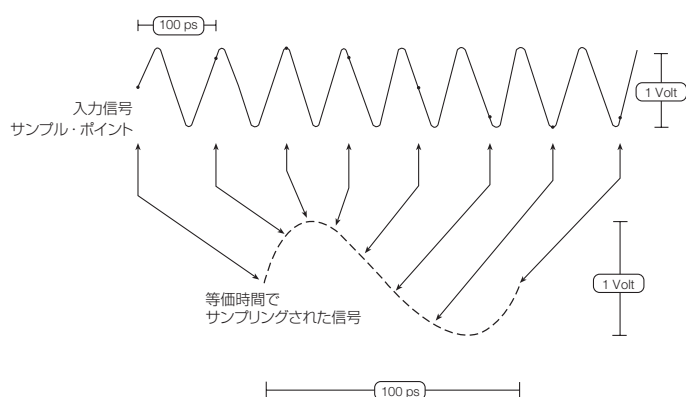


図25. 等価時間補間サンプリング：サンプル・ポイント間を補間によって補い、連続波形を作成する

サンプリング

「サンプリング」とは、入力信号の瞬時値を個々の電氣的な値に変換し、保存、処理、表示するプロセスです。個々のサンプル・ポイントの大きさは、信号のサンプルを取込んだ時点におけるその信号の振幅に等しくなります。

サンプリングは、スナップショット写真を撮ることに似ています。個々のスナップショットは、波形上のある時間における点に相当します。これらのスナップショットが適当な時系列に配置され、入力信号が再現されます。

デジタル・オシロスコープでは、縦軸を振幅、横軸を時間としたスクリーン上にサンプル・ポイントが連続して配置されます（図25を参照）。

図25の入力波形は、スクリーン上で連続する点で表示されます。点と点の間隔が広すぎて波形として認識するのが難しい場合は、補間という処理を行って点を結びます。補間により、点を線またはベクトルで結ぶことができます。連続する入力信号を正確に表示するための方法として、いくつかの補間法があります。

サンプリングについて

デジタル・オシロスコープの中には、リアルタイム・サンプリングと等価時間サンプリングという、異なるサンプリング手法を備えているものがあります。この2種類のサンプリング手法を備えているオシロスコープでは、信号に応じてサンプリング方法を選択できます。低速信号では、この2つの手法の違いはありません。時間軸設定が高速になり、1回の取込みでは波形を構築するほどのポイントが得られない場合に等価時間サンプリングが有効となります。どちらのサンプリング方法もそれなりの利点があり、どのような測定を行うかによって使い分けられます。

最新のオシロスコープには、3種類の水平軸モードがあります。次々と測定ポイントを移動し、変化の激しい波形を観測する場合はオートマチック（Automatic）モード（デフォルトのモード）を選択します。このモードでは、波形は高速な更新レートで表示されます。正確な測定のために高速なリアルタイム・サンプル・レートが必要な場合は、コンスタント・サンプル・レート（Constant Sample Rate）モードを選択します。最速のサンプル・レートが維持され、最良のリアルタイム分解能が得られます。もう1つのモードはマニュアル（Manual）モードであり、サンプル・レートと記録長を個別に直接設定することができます。

リアルタイム・サンプリング

「リアルタイム・サンプリング」は、オシロスコープの最高サンプル・レートが信号の最高周波数に対し2倍以上ある場合に理想的な方法です。この場合、オシロスコープは1回の「掃引」で正確な波形を構成するのに十分なサンプル・ポイントが得られます（図26を参照）。デジタル・オシロスコープで、単発信号を捉えられるのは、リアルタイム・サンプリングだけです。

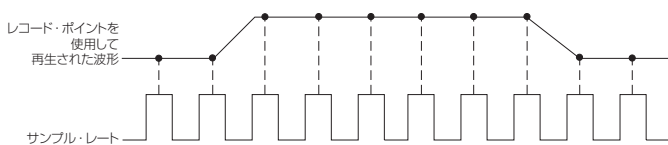


図26. リアルタイム・サンプリング

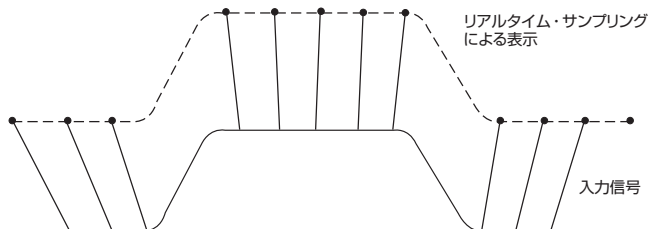


図27. この10nsのパルスをリアルタイムで捕捉するには、エッジ部を正確に表現するための高いサンプル・レートが必要

リアルタイム・サンプリングでは、高速の単発現象をデジタル化するため、その信号以上に高速なサンプル・レートが必要となります（図27を参照）。単発現象は、1度しか発生しませんので、発生した時間枠でサンプリングを行う必要があります。

サンプル・レートが遅すぎると、高周波成分が「抜け落ちて」低い周波数に取って変わられ、スクリーン上でエイリアシングが発生します（図28を参照）。さらに、リアルタイム・サンプリングでは、デジタル化した波形を保存するために高速メモリが必要となるという問題もあります。高周波成分を正確に表示するために必要なサンプル・レートとレコード長の詳細については、「性能に関する用語」のセクションの「サンプル・レートとレコード長」の項を参照してください。

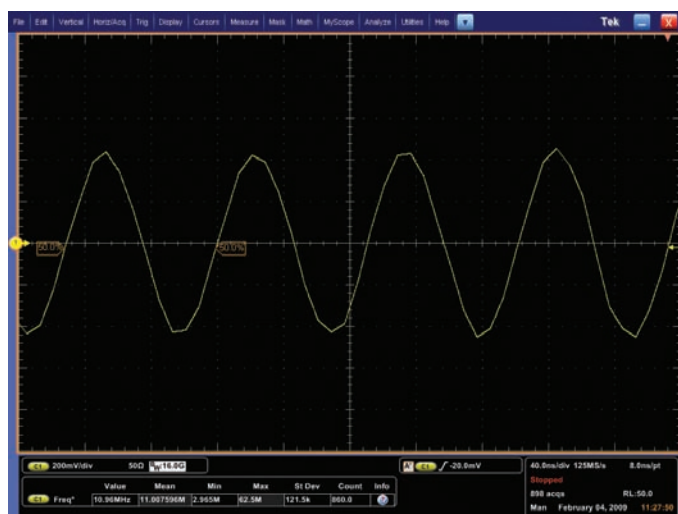


図28. サンプリングが十分でないためにエイリアシングが発生した100MHzの正弦波

リアルタイム・サンプリング（補間機能付）のデジタル・オシロスコープでは、信号から個々のサンプル・ポイントを取得し、表示します。このとき、信号をドットで表示すると見にくい場合があります。信号の高速変化部に数ポイントしかない場合は、特に見にくくなります。このような場合に、デジタル・オシロスコープでは補間表示モードを使用して信号を見やすくできます。

簡単に言うと、補間とは「個々の点の間を結ぶ」ことであり、1回の波形取込みで十分なサンプル数を取込めなかった場合でも、信号を正確に表示できます。リアルタイム・サンプリングで補間を使用する場合、オシロスコープはリアルタイム・モードで1回の掃引を行い、信号から数個のサンプル・ポイントを取得した後、補間によってポイントとポイントの間を埋めます。補間とは、いくつかのサンプル・ポイントから波形を推定するための処理技法の1つです。

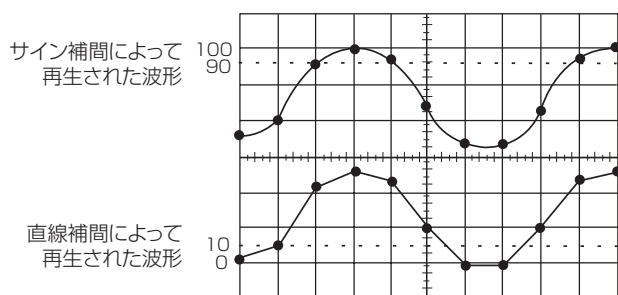


図29. 直線補間とサイン補間

直線補間では、サンプル・ポイント間を直線で結びます。この方法は、図29の方形波のような角張った波形を補間するとき限定されます。

図29に示すように、サンプル・ポイント間を曲線で結ぶサイン補間はもっと応用範囲が広がります。サイン補間は、実際のサンプル・ポイントの間を埋めるポイントを計算する、数学的な処理です。実際には、観測信号は純粋な方形波やパルスではなく、曲線的で不規則な信号であることがほとんどです。したがって、サンプル・レートがシステム帯域の3~5倍という用途では、サイン補間が適しています。

等価時間サンプリング

高周波信号を測定する場合、1回の掃引で十分なサンプルが収集できない場合があります。等価時間サンプリングは、図30のように信号を取込みます。オシロスコープのサンプル・レートの半分より高い周波数成分を持つ信号でも、正確に捕捉できます。等価時間サンプリングは、自然のものであれ人工のものであれ、ほとんどの事象は反復性を持つという特長を利用しています。等価時間

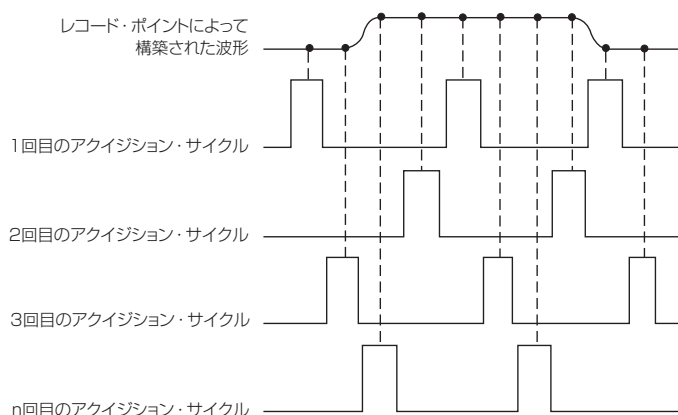


図30. 高速の繰返し信号を捉えるのに、等価時間サンプリングを採用しているオシロスコープもある

サンプリングでは、繰返し信号に対し、1回ごとの繰返しから少しずつ情報を捕捉し、その波形全体を構成します。1列に並んだライトが順次点灯していくように、波形がゆっくりと作成されます。これにより、周波数成分がオシロスコープのサンプル・レートよりもかなり高い信号でも、正確に捉えることができます。

等価時間サンプリングは、ランダムとシーケンシャルの2種類に分けられます。それぞれに利点があります。「ランダム等価時間サンプリング」では、トリガ・ポイントよりも前の入力信号を、ディレイ・ラインを使わずに表示できます。「シーケンシャル等価時間サンプリング」では、ランダム・サンプリングよりもはるかに高い時間分解能と確度が得られます。しかし、どちらの場合にも入力信号は繰返し性の信号である必要があります。

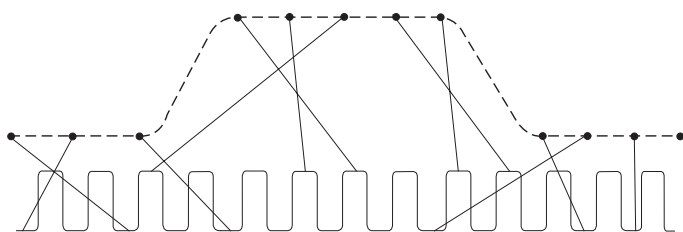


図31. ランダム等価時間サンプリングでは、サンプリング・クロックは入力信号、トリガとは非同期に動作する

ランダム等価時間サンプリング

ランダム等価時間サンプリングは、図31に示したように、内部クロックは入力信号や信号トリガとは非同期に動作します。サンプルはトリガの発生を待たずランダムに取得され、その後に最も近いトリガとの時間関係が記憶されます。サンプルは時間的に連続して収集されますが、トリガの発生時間に対してはランダムの関係となります。この理由で、「ランダム」等価時間サンプリングと呼ばれます。オシロスコープのスクリーンに表示される時、サンプル・ポイントは、記憶されたトリガとの時間関係に従って波形を形作るように配置されます。サンプルは時間的に連続して収集されますが、トリガの発生時間に対してはランダムの関係となります。この理由で、「ランダム」等価時間サンプリングと呼ばれます。オシロスコープのスクリーンに表示される場合、サンプル・ポイントは波形に対してランダムのように表示されます。

このサンプリング法の利点は、トリガ・ポイントよりも前のサンプルを取得できるため、波形のトリガ・ポイント以前の部分表示でき、外部のプリトリガ信号やディレイ・ラインが不要となります。サンプル・レートやディスプレイのタイム・ウィンドウによっては、ランダム・サンプリングにより個々のトリガ・イベントごとに2つ以上のサンプルを捉えることもできます。ただし、掃引速度が速くなるとアキュイジション・ウィンドウが小さくなり、デジタイザは一部のトリガでサンプルを取得できなくなります。しかし、この領域は多くの場合、非常に正確な時間測定が要求される領域であり、非常に高い時間分解能を持つシーケンシャル・サンプリングが十分に生かされる領域でもあります。ランダム・サンプリングでは、シーケンシャル・サンプリングほど帯域幅の制約を受けません。

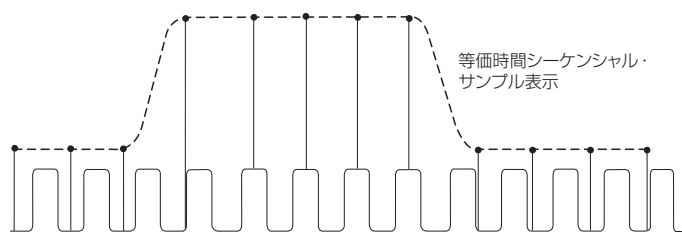


図32. シーケンシャル等価時間サンプリングでは、認識されたトリガごとに遅延時間を置いて1つのサンプルが取得される。この遅延時間はサイクルごとに増える

シーケンシャル等価時間サンプリング

シーケンシャル等価時間サンプリングでは、時間/divの設定や掃引速度にかかわらず、トリガごとに1つのサンプルが取得されます（図32を参照）。トリガが発生すると、明確に定義された非常に短い遅延時間を置いてサンプルが取得されます。次のトリガが発生すると、前回の遅延時間に波形インターバル分の非常に短い時間 (Δt) を加えた時間後、サンプルが取得されます。アキュイジションごとに「 Δt 」が追加され、時間ウィンドウがいっぱいになるまでこのプロセスが繰り返されます。オシロスコープのスクリーンに表示される時は、左から右に順番に実際の波形のように配置されます。

技術的には、非常に短い「 Δt 」を正確に生成するほうが、ランダム・サンプリングで行われるようにトリガ・ポイントに対して相対的な縦横の位置を正確に測定するよりも容易です。このような正確な遅延時間の測定により、シーケンシャル・サンプリングでは、ほかの方法では得られないほど高い時間分解能が得られるのです。シーケンシャル・サンプリングでは、トリガ・レベルが検出されてからサンプルが取得されるので、トリガの発生した部分を表示するためには信号にアナログ・ディレイ・ラインを入れる必要があります。逆にこれによってオシロスコープの帯域が制限されてしまいます。ただし、外部プリトリガを使用すれば帯域への影響はありません。

水平軸ポジションと掃引時間

水平軸ポジションを設定することにより、画面上で波形を水平方向に移動できます。

1目盛あたりの秒数（通常はs/divで表します）を設定すると、波形をスクリーンに描く速度を指定できます。この操作は、時間軸または掃引速度の設定とも呼びます。これは、スケール・ファクタの設定です。この値を1msに設定すると、水平方向の1目盛は1msを表し、画面全体の幅は10目盛ですので合計で10msとなります。s/divの値を変更すると、入力信号を画面上で引き伸ばしたり、縮めたりできます。

垂直方向のV/div目盛と同様に、水平方向のs/div目盛も時間を自由に設定できます。

時間軸の選択

オシロスコープには必ず「時間軸」があり、下記の遅延時間軸と区別する意味でメイン時間軸と呼ばれています。このほかに、オシロスコープには「遅延時間軸」を持つものがあります。これは、メイン時間軸の開始点からあらかじめ決められた時間だけ遅れた点から開始する時間軸です。（あるいは、開始するようにトリガされます。）遅延時間軸掃引を行うと、イベントを明確に観察したり、メイン時間軸では見えない部分を見たりできます。

遅延時間軸を使用するためには遅延時間の設定が必要で、そのほか遅延トリガ・モードなどの、この入門書に記述されていない別の設定が必要になることもあります。これらの機能の設定については、ご使用のオシロスコープのマニュアルをお読みください。

ズーム／パン

アナログ・オシロスコープには、波形を水平方向に拡大するための水平軸拡大機能があります。ズーム機能にパン機能が追加されているオシロスコープもあります。ノブは、ズーム倍率やスケールの変更に、またズームする波形部分を囲むボックスの移動に使用します。

サーチ

サーチ、マーク機能を装備しているオシロスコープもあり、ユーザが定義したイベントをロング・メモリからすばやく検索することができます。

XYモード

ほとんどのアナログ・オシロスコープは、内部で発生させた時間軸信号を水平軸として使いますが、代わりに、水平軸に観測する信号の一方を入力して表示するためのXYモードを備えています。XYモードでは、時間変化を観測する通常の測定と異なる、位相差の測定ができます。これについては、「オシロスコープの測定テクニック」のセクションの「位相差の測定」の項で説明します。

Z軸

DPO（デジタル・フォスファ・オシロスコープ）は高密度サンプル表示ができるので、輝度情報を表示することができます。DPOでは、アナログ・オシロスコープと同様、リアルタイム3次元表示を行えます。DPOで波形トレースを見ると明るく輝く部分があり、これは信号の発生頻度が高いことを示しています。この表示方法により、めったに発生しない間欠現象と基本的な信号波形を見分けることができます。基本信号は、明るく輝いて見えるからです。Z軸を使うと、特別なタイミングを持った信号を別のZ軸に入力して、波形上に指定した間隔で明るく輝く点（マーカ）を配置することもできます。

DPOのXYZモードとXYZレコード表示

DPOの中には、Z入力により輝度の濃淡をつけたXY表示が可能なものがあります。この場合、DPOはZ軸に入力されるデータ値を元に、波形上の特定の部分に輝度変調をかけることができます。輝度変調をかけたサンプルを重ね描くと、輝度に濃淡をつけたXYZ表示が可能となります。XYZモードは、コンスタレーション・パターンなどの無線通信デバイスのテストによく使われる極パターンの表示に適しています。XYZデータのもう1つの表示方式がXYZレコード表示です。このモードでは、DPOデータベースからではなく、アクイジション・メモリからのデータが使用されます。

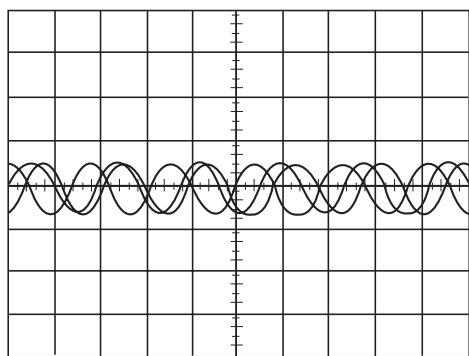


図33. トリガがかかっていない波形表示

トリガ・システムと操作部

オシロスコープのトリガ機能により、信号の望むポイントに水平掃引の基準点を合わせることができます。信号の観測には、この機能は欠かせません。トリガにより繰返される波形を安定表示させることもでき、単発波形を捉えることもできます。

トリガは、入力信号の同じ部分を繰り返し表示することにより、オシロスコープ上に安定した繰り返し波形を表示します。トリガをかけないと信号上の異なった点で掃引が開始されるので、図33のように静止できず、横方向にふらつくような表示になります。

エッジ・トリガは、アナログ、デジタル両方のオシロスコープで使用できる基本的な機能で、最もよく使用されます。アナログ・オシロスコープとデジタル・オシロスコープに備わっているスレッショルド・トリガ（設定電圧を横切るときに発生するトリガ）方式に加え、多くのデジタル・オシロスコープにはアナログ・オシロスコープにはない、さまざまなトリガ機能が備わっています。入力信号に対してより厳密に条件を指定し、本来の幅よりも狭いパルス波形であっても簡単に検出することができます。電圧によるスレッショルド・トリガだけではこのような波形を検出することはできません。

拡張トリガ機能を使用すると、入力信号から特別なイベントを取り出して観測でき、オシロスコープのサンプル・レートやレコード長を最大限に活用できます。オシロスコープによっては、拡張トリガ機能で非常に厳密に条件を指定できます。パルスにトリガをかけると、振幅を指定したり（ラント・パルスなど）、時間的条件をつけたり（パルス幅、グリッチ、スルー・レート、セットアップ/ホールド、およびタイムアウト）、ロジック条件またはパターン条件をつけたりしてトリガをかけることができます。

その他の拡張トリガを以下に示します。

- **パターン・ロック・トリガ**：パターン・ロック・トリガはNRZシリアル・パターン・トリガの新しい手法で、ロング・シリアル・テスト・パターンの取込みをパターン長に同期させることにより、優れた時間軸精度での取込みが可能になります。パターン・ロック・トリガでは、ロング・シリアル・データ・パターンのランダム・ジッタを除去することができます。特定のビット・トランジションの影響を調べたり、マスク・テストでアベレージングを使用することもできます。
- **シリアル・パターン・トリガ**：シリアル・アーキテクチャのデバッグで使用します。内蔵のクロック・リカバリとNRZシリアル・データ・ストリームのシリアル・パターンでトリガをかけることにより、物理レイヤとリンク・レイヤのイベントで相関関係をとります。オシロスコープでクロック信号を抽出し、トランジションを識別し、エンコード・ワードを設定してシリアル・パターン・トリガを設定します。
- **A&Bトリガ**：従来のトリガ・システムでは、メイン・トリガ（Aイベント）にだけしか複数のトリガ・タイプが選択できず、遅延トリガ（Bイベント）ではエッジ・トリガしか選択できませんでした。また、Bイベントが発生しない場合ではトリガ・シーケンスをリセットできませんでした。最新のオシロスコープでは、Aトリガ、Bトリガの両方でさまざまな拡張トリガが選択でき、他チャンネルをロジック条件に加えることもできる機種もあります。また、トリガ・リセットも装備されているので、指定した時間、ステート、トランジションを経過した後に、トリガ・シーケンスをリセットし再開することができます。これにより、極めて複雑なイベントであっても取込むことが可能です。
- **サーチ/マーク・トリガ**：ハードウェアによるトリガでは一度に1つのイベントしか見ることはできませんが、サーチ/マーク・トリガでは複数のイベントを同時に観測することができます。例えば、複数のチャンネルのセットアップ/ホールド時間違反を観測することができます。サーチしたイベントにマークを付けることもでき、特定のイベントを簡単に表示することもできます。
- **トリガ補正**：トリガとデータ・アクイジション・システムの信号経路は異なっているため、トリガ・ポジションと取込んだデータには時間遅延があります。これがスキューとジッタの原因となります。トリガ補正システムによりトリガ・ポジションを調整し、トリガ経路とデータ・アクイジション経路の時間遅延を補正します。これにより、トリガ・ポイントにおけるトリガ・ジッタを仮想的に削除することができます。このモードでは、トリガ・ジッタは100fsまで低減され、トリガ・ポイントは正確な測定基準点となります。

	<p>スルー・レート・トリガ: スルー・レートが予期した以上に、あるいは必要以上に速い高周波信号は、強いエネルギーを放射してトラブルを発生することがあります。スルー・レート・トリガは、時間の要素を追加して、エッジ部の立上り時間を条件にしてトリガをかけられるので、従来から使用されているエッジ・トリガよりも優れています。</p>		<p>ラント・パルス・トリガ: 2つのロジック・スレッシュホールドを設定して、1つのスレッシュホールドを越え、もう1つのスレッシュホールドを越えることなく最初のスレッシュホールドを下回るときにトリガします。</p>
	<p>グリッチ・トリガ: グリッチ・トリガは、ユーザが設定した時間よりもデジタル・パルスの幅が短いか長いかを検出して、トリガします。このトリガにより、まれにしか発生しないグリッチを調べたり、グリッチが発生した場合の他の信号に与える影響を調べたりできます。</p>	<p>Trigger When: <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> </p> <p>Time: <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> </p>	<p>ロジック・トリガ: 任意の入力チャンネルのロジックの組合せでトリガでき、特にデジタル・ロジックの動作検証に適しています。</p>
	<p>パルス幅トリガ: パルス幅（または周期）が設定した範囲から外れた場合にトリガするように設定できます。</p>		<p>セットアップ/ホールド・トリガ: 他のトリガ・タイプでは見逃してしまうようなセットアップ/ホールド時間違反に確実にトリガすることができます。セットアップ/ホールド・トリガでは、同期データ信号がセットアップ時間とホールド時間の設定を外れた場合の信号品質とタイミングの詳細を簡単に取込めます。</p>
	<p>タイムアウト・トリガ: 波形が変化しない時間でトリガをかけることができ、トリガ・パルスの終了を待たずにトリガできます。信号波形が途切れた場合にトリガをかけることもできます。</p>		<p>コミュニケーション・トリガ: オシロスコープによってはオプションで装備されているトリガで、AMI (Alternate-Mark Inversion)、CMI (Code-Mark Inversion)、NRZ (Non-Return to Zero) のコミュニケーション信号を取込むことができます。</p>

図34. 代表的なトリガ・タイプ

- **特定の規格信号 (I²C、CAN、LINなど) のシリアル・トリガ:** オシロスコープによっては、CAN、LIN、I²C、SPIなどのシリアル・データ規格の特定の信号にトリガできるものもあります。最近のオシロスコープには、このような信号をデコードして表示できるものもあります。
- **パラレル・バス・トリガ:** 一度に複数のパラレル・バスを定義し、デコード表示させることができます。どのチャンネルがクロック・ラインで、どのチャンネルがデータ・ラインかを指定することでパラレル・バスが定義でき、バスの中身を自動的にデコード表示します。パラレル・バス・トリガによる波形取込みと解析により、大幅な時間節約と効率アップが可能になります。

オシロスコープのなかには、コミュニケーション信号を観測するための拡張トリガ機能を装備しているものもあります。代表的なトリガ・タイプの詳細を図34に示しています。直感的なユーザ・インタフェースになっているため、トリガ・パラメータをすばやく、かつ柔軟に設定できるため、生産性が向上します。

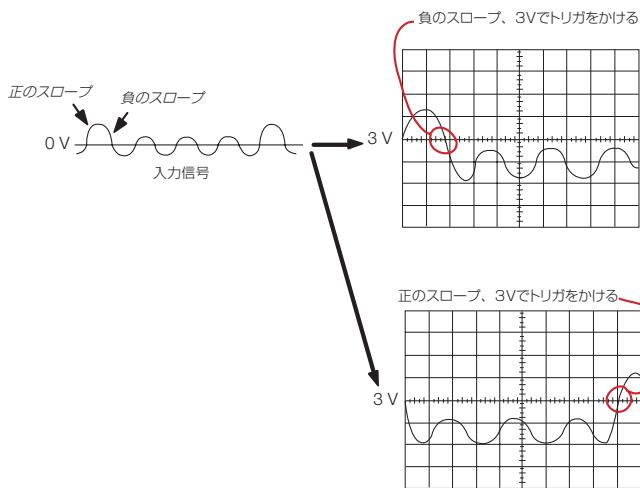


図35. 正のスロープ、負のスロープによるトリガ

トリガ・ポジション

水平トリガのポジション設定は、デジタル・オシロスコープだけで提供される機能です。操作部は、通常はオシロスコープの水平操作部にあります。これは、実際には波形レコードの水平トリガ・ポジションを調整します。

水平トリガ・ポジションを変更すると、「プリトリガ」と呼ばれるトリガ・イベント前の信号を捉えることができます。つまり、水平ポジションを変えることで、トリガ・ポイント前後の観測時間を調整することができます。

デジタル・オシロスコープでは、連続的に入力信号を処理しているため、トリガの有無にかかわらずプリトリガを観測できます。データは常にオシロスコープの中を流れていて、トリガは単にそのデータをメモリに保存するタイミングを指定しているだけです。

一方、アナログ・オシロスコープはトリガを受取ってはじめて信号を表示するように動作します。したがって、アナログ・オシロスコープには原則としてプリトリガ機能はありません。例外的に垂直システムに加えられたディレイ・ラインにより、わずかなプリトリガを観測することはできます。

プリトリガはトラブルシューティングで大いに役立ちます。問題がときどき発生する場合はその問題でトリガし、その原因となる波形を記録・解析することで問題を解決できる可能性があります。

トリガ・レベルとスロープ

トリガ・ポイント定義の基本となるのが、トリガ・レベルとスロープです。この設定により、表示される波形が決まります (図35を参照)。

このトリガ回路は、ちょうどコンパレータのように動作します。コンパレータの一方の入力におけるスロープと電圧レベルを選択します。もう一方のコンパレータの入力と一致すると、オシロスコープはトリガを発生します。

スロープ設定では、トリガ・ポイントを信号の立上りエッジまたは立下りエッジのどちらに設定するかを指定します。立上りエッジは正のスロープで、立下りエッジは負のスロープです。レベル設定では、エッジ上のどの電圧レベルにトリガ・ポイントを設定するかを決めます。

トリガ・ソース

オシロスコープでは、画面に表示されている信号に必ずしもトリガをかける必要はありません。以下のような表示しない信号でもトリガ・ソースとして使用できます。

- すべての入力チャンネル
- 入力チャンネルに入力された信号以外の外部ソース
- 商用電源のライン信号
- 1つまたは複数のチャンネルから演算により作られた信号

ほとんどの場合、表示中のチャンネルをトリガ対象とするのが普通です。オシロスコープの中には、他の機器にトリガ信号を送れるものもあります。

オシロスコープでは別のトリガ・ソースを使うことができますが、それが必ず表示されているとは限らないため、チャンネル1のトリガでチャンネル2を表示することのないように注意する必要があります。

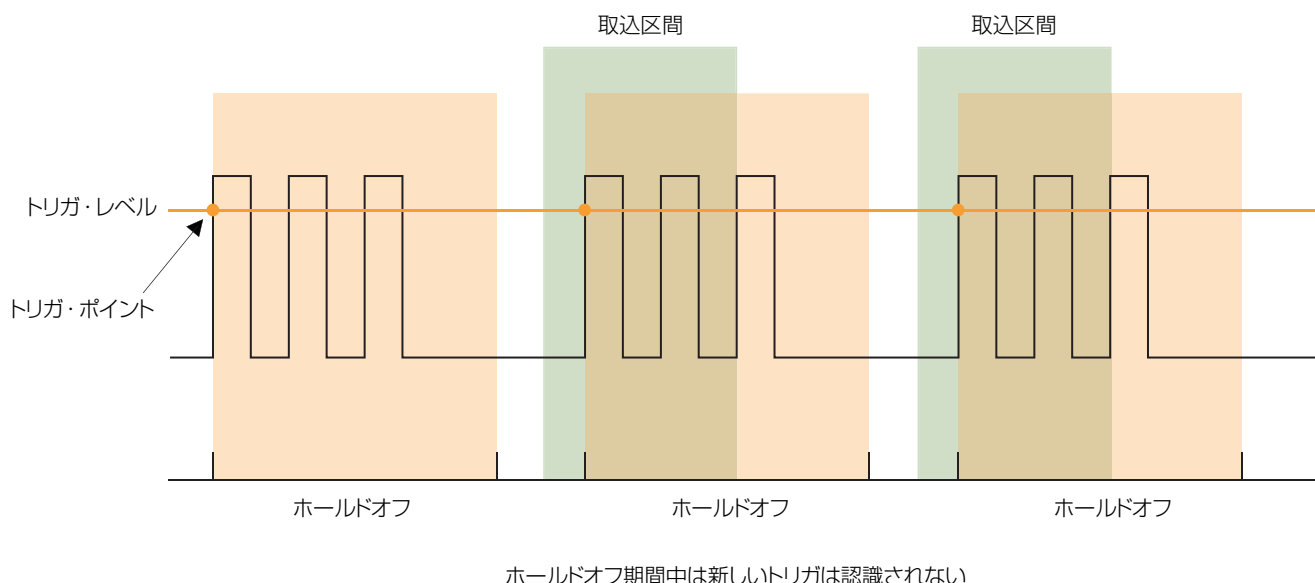


図36. トリガ・ホールドオフ

トリガ・モード

「トリガ・モード」では、波形を表示する場合の信号条件を設定します。一般的なトリガ・モードとしては、「ノーマル」と「オート」があります。

ノーマル・モードでは、入力信号がトリガ・レベルに達したときのみ波形を取込み、そうでないときには、アナログ・オシロスコープの場合には何も表示せず、デジタル・オシロスコープの場合には、最後に取込んだ波形が表示されたままとなります。ノーマル・モードでは、最初、トリガ・レベルが適切に設定されていないと何も表示されないため、判断しにくいことがあります。

オート・モードでは、トリガがなくても波形を取込みます。一定時間何も信号がないと、オシロスコープの内部で自動的にトリガ信号が発生します。これにより、信号振幅が小さくてトリガがかからない場合でも、波形が消えてしまうことはありません。

実際は、トリガの発生レートが低くても測定したい信号だけを表示したい場合はノーマル・モードを、わずらわしい設定なしに観測したい場合はオート・モードというように、両方のモードを使い分けます。

多くのオシロスコープには、シングル・トリガ、ビデオ信号へのトリガ、トリガ・レベルの自動設定など、特別なモードが用意されています。

トリガ・カップリング

垂直軸システムでACカップリングとDCカップリングが選択できるように、トリガ信号でもカップリングが指定できます。

ACカップリングとDCカップリングのほかに、高周波除去、低周波除去、ノイズ除去などのトリガ・カップリングを備えたオシロスコープもあります。このような機能は、トリガ信号からノイズを除去して、間違ったトリガを防止するのに有効です。

トリガ・ホールドオフ

適切なポイントでトリガをかけることが難しい場合があります。多くのオシロスコープには、このような場合に対処するための補助機能が用意されています。

トリガ・ホールドオフとは、有効なトリガが発生した後、次の有効なトリガが発生してもオシロスコープがトリガしないようにする、トリガ禁止期間を指します。この機能を使用すると、複雑な信号にトリガをかけることが可能になります。最初の有効なトリガ・ポイントを基準にして、手動でトリガ・ホールドオフ時間を設定し、目的信号のひとかたまりの途中でトリガがかかってしまうことを禁止します。そして次の取込区間の直前で禁止を解き、トリガがかかるようにします。図36は、トリガ・ホールドオフを使用してトリガをかけた例を示しています。

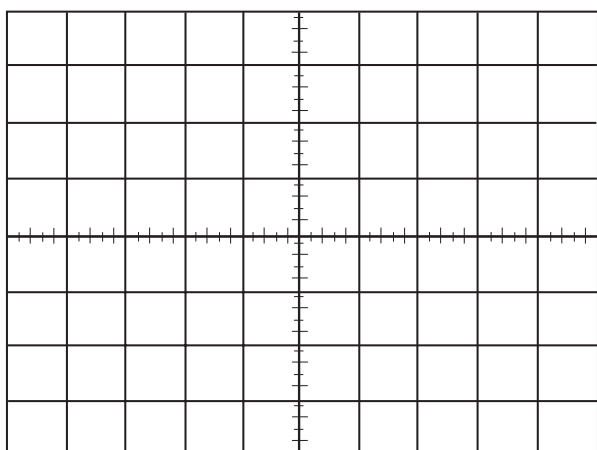


図37. オシロスコープの波形目盛

ディスプレイ・システムと操作部

オシロスコープの前面には、ディスプレイ、つまみ、ボタン、スイッチ、インジケータがあり、信号の取込みや表示を設定します。このセクションのはじめで説明したように、前面パネル上の操作部は、垂直軸、水平軸、トリガ関係の3つのセクションに分かれています。また、信号入力コネクタもあります。

オシロスコープのディスプレイには、格子状の目盛が描かれています。通常、縦方向8目盛、横方向10目盛に分割されています。この1目盛のことをメジャー・ディビジョン（通常、単にディビジョンと略す）と呼びます。オシロスコープの前面パネルに書かれているvolts/div、sec/divは、このメジャー・ディビジョンについてのものです。垂直軸、水平軸それぞれの1目盛には、さらに5分割された小さな目盛がついています（図37参照）。水平軸、垂直軸で表示可能な目盛の数は、オシロスコープによって異なります。

その他の操作部

波形演算と波形測定の操作部

オシロスコープの中には、複数の波形を加算して新しい波形を作成する機能が付いたものもあります。アナログ・オシロスコープが信号を組み合わせるのに対し、デジタル・オシロスコープは数学的に新しい波形を生成します。例えば、波形の引き算でも、アナログ・オシロスコープでは1つのチャンネルを反転した後、もう1つのチャンネルと足し算します。デジタル・オシロスコープには減算機能が備わっているため、減算を指定するだけです。図38は、2つの異なった信号を合成して第3の波形を作成している様子を示しています。

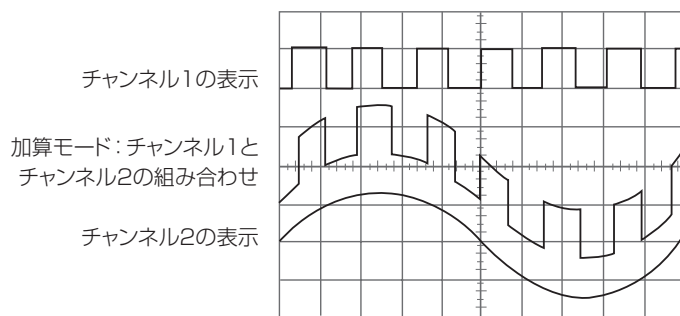


図38. 2つのチャンネルの加算

デジタル・オシロスコープでは内部プロセッサを使用して、乗算、除算、積分、高速フーリエ変換など、さまざまな高度な数学的計算が可能です。このような信号処理機能により、被測定デバイスのフィクスチャ特性をディエンベッドするためのフィルタ・ブロックを挿入したり、ロー・パス・フィルタなどの特定の周波数応答のフィルタ・ブロックを実装することが可能になります。処理ブロックには柔軟性があり、任意フィルタとしても機能し、プリエンファシス/ディエンファシスのシミュレーションとしても使用することができます。

デジタル・タイミング解析とステート解析

ミックスド・シグナル・オシロスコープに装備されているデジタル・チャンネルは、ロジック・アナライザと同様の機能を持っています。デジタル信号の取込みは、主に2種類あります。一つはタイミング解析であり、MSOのサンプル・レートにしたがって同一の時間間隔でデジタル信号をサンプリングします。各サンプル・ポイントにおいて信号の論理状態を保存し、信号のタイミング波形を表示します。もう一つの取込みがステート解析です。ステート解析では、デジタル信号の論理状態が有効で、安定している時間を定義します。シンクロナス回路、クロック同期回路では一般的です。クロック信号は信号状態が有効な時間を定義します。例えば、立上りエッジ同期のDフリップフロップの入力信号の安定時間は、クロックの立上りエッジ付近になります。出力信号の安定時間は、Dフリップフロップのクロックの立下りエッジ付近になります。同期回路のクロック周期は安定していない場合もあるため、ステート解析による取込みの時間間隔はタイミング解析のように一定ではありません。

ミックスド・シグナル・オシロスコープのデジタル・チャンネルは、ロジック・アナライザのタイミング解析モードに似ています。MSOIは、ロジック・アナライザのステート解析表示のように、クロック信号に同期したバス表示またはイベント形式でタイミング解析を表示するため、デバッグにおいて重要な情報を確認することができます。

ここまで、基本的な設定機能について説明しました。ご使用のオシロスコープの中には、以下のような機能や操作部を備えた機種もあります。

- 自動パラメータ測定
- 測定カーソル
- 数値演算およびデータ入力用キーパッド
- 印刷機能
- オシロスコープをコンピュータ、または直接インターネットに接続するためのインタフェース

その他の機能、操作方法については、お使いのオシロスコープのマニュアルをご参照ください。

測定システム

プローブ

どのように優れた機器でも、そこに入力されるデータ以上に正確な測定をすることはできません。オシロスコープでは、測定システムに「プローブ」が使用されます。正確な計測のためには、まずプローブが大切です。オシロスコープに適したプローブで被測定デバイス（DUT）に接続すると、クリーンな状態で信号をオシロスコープに取込むことができるだけでなく、優れたシグナル・インテグリティで信号を増幅し、維持し、高い精度で測定することが可能になります。

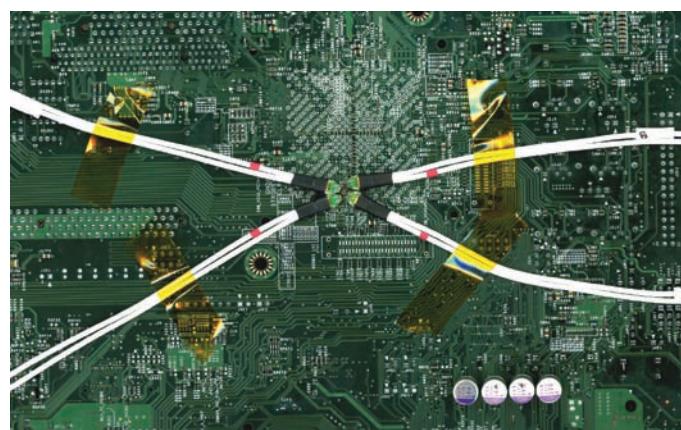


図39. 実装密度の高いデバイス、システムでは小型のプローブが必要

信号を正確に再現するためには、オシロスコープと組合せたときに、オシロスコープの周波数帯域の5倍以上の周波数帯域を持つプローブを選ぶ必要があります。

プローブを使用するという事は、プローブが回路の一部になるということであり、抵抗負荷、容量負荷、誘導負荷となって必然的に測定結果に影響を及ぼします。したがって、正確な測定のためにはできるだけ負荷の小さなプローブを選ぶ必要があります。オシロスコープに合ったプローブを使用すれば、この負荷を最小限に抑えることができ、オシロスコープの性能と機能を十分に生かすことができます。

プローブをDUTに接続する場合、考慮しなければならないもう1つの重要な要素がプローブのサイズです。小型のプローブであれば、高密度実装回路にも簡単に接続することができます（図39を参照）。

次にプローブの種類について説明します。測定システムの中でも重要なコンポーネントであるプローブの詳細については、「プローブ入門」（入門書）をご参照ください。



図40. 標準的な受動プローブとアクセサリ

受動プローブ

一般的な信号、電圧レベルを測定する場合、受動プローブは使いやすだけでなく、広範囲な測定に対応でき、しかも安価です。受動電圧プローブと電流プローブを併用すれば、電力測定には最適な組合せになります。

ほとんどの受動プローブには減衰比が規定されていて、10 : 1、100 : 1のように表示されます。習慣上、減衰比は「10 : 1プローブ」のように数字の後ろに「: 1」を付けます。これに対し、倍率の場合には、×10のように「×」を先に付けます。

10 : 1（10倍と呼ばれることもある）のプローブは、1 : 1のプローブに比べて回路への負荷を小さくすることができ、汎用の受動プローブとして非常に優れています。周波数が高い、あるいはソースインピーダンスが高い信号に対しては回路への負荷効果が大きくなるので、プローブを選択する際には、このような信号とプローブとの負荷相互作用を十分に検討しておく必要があります。10 : 1のプローブを使用すると、負荷効果の減少により測定精度が上がりますが、同時にオシロスコープへの入力信号の振幅が10分の1に減少します。

10 : 1プローブは信号を減衰させるので、振幅が10mV_{p-p}未満の信号を観測することが難しくなります。1 : 1のプローブは10 : 1のプローブと同じような形状ですが、減衰回路がありません。減衰回路がないため、被測定回路に与える影響は10 : 1のプローブよりも大きくなります。

通常の使用には10 : 1のプローブを使用し、低速・小振幅の信号には1 : 1のプローブも用意しておくとう便利です。プローブ先端で1 : 1と10 : 1を切替えられるプローブもあります。ただし、このタイプのプローブを使用する場合、適切な減衰比に設定されていることを、測定前に必ず確認する必要があります。

多くのオシロスコープでは、接続されたプローブが1 : 1か10 : 1かを自動的に検出し、画面上のリードアウト表示を自動的にプローブに合わせて表示します。しかし、このような機能をもたないオシロスコープでは、1 : 1か10 : 1かを自分で設定するか、またはV/divの設定の表示を元に、計算しながら使用する必要があります。

10 : 1プローブは、プローブの電気的特性をオシロスコープの電気的特性にマッチングさせることで機能するようになっています。10 : 1のプローブを使用する場合、使用するオシロスコープとマッチングをとる必要があります。この調整作業を「プローブ補正」と呼びます。詳細については、「オシロスコープの操作」のセクションをご参照ください。

図40に示すような受動プローブは、汎用的な測定に適しています。しかし、汎用の受動プローブは非常に速い立ち上がり時間を持った信号を正確に測定するには適しておらず、回路に過剰の負荷を与える可能性があります。信号のクロック・レートやエッジが高速になると、負荷の小さな高速プローブが必要になります。高速の「アクティブ・プローブ」と「差動プローブ」は、高速な信号や差動信号の測定に最適です。

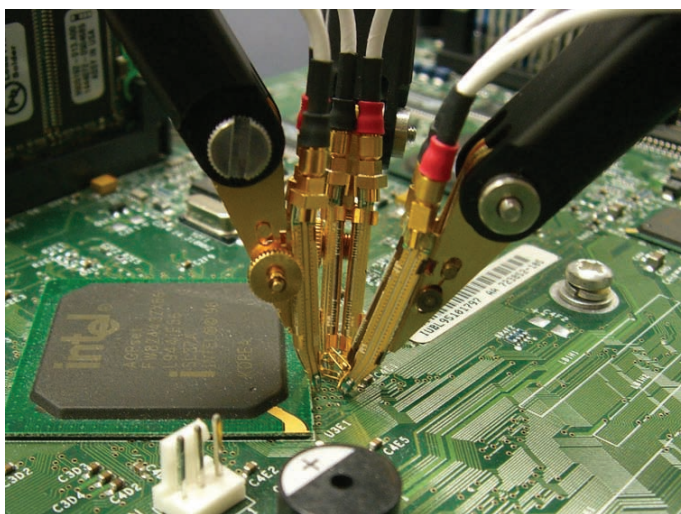


図41. 今日のコンピュータ・バスやデータ伝送線路で使用される高速のクロック、エッジ測定には、高性能プローブが必要

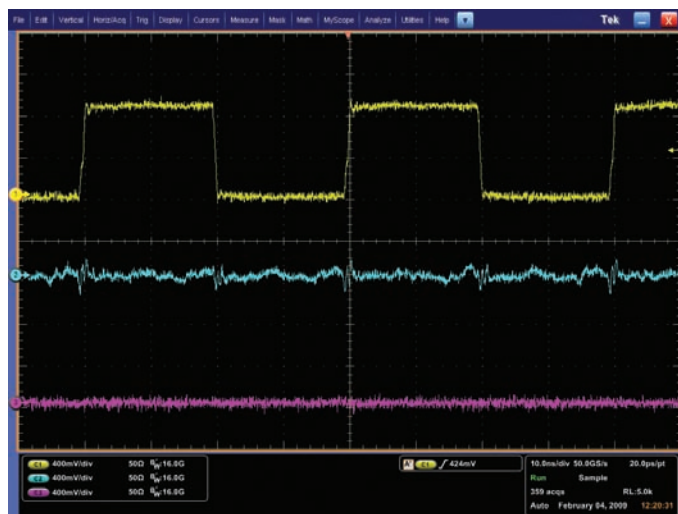


図42. 差動プローブは、今日の高速、低電圧用途で使用される信号から共通・モード・ノイズを分離できる。特にデジタル信号がノイズ限界近くまで下がってきた近年では特に重要になってきている

アクティブ／差動プローブ

信号が高速になり、ロジック・ファミリの動作電圧が下ると、正確な測定結果を得ることが難しくなります。信号忠実度とデバイスへの負荷の影響は非常に重要な問題です。このように信号が高速になると、オシロスコープの性能に見合った、高速で優れた信号忠実度のプローブが必要になります（図41参照）。

アクティブ・プローブと差動プローブは、特別に開発された集積回路を使用してオシロスコープへの接続の過程におけるシグナル・インテグリティを実現しています。高速な立上り時間を持った信号の測定には、高速のFETプローブや差動プローブを使用することで、高精度な測定が可能になります（図42を参照）。

新しいプローブでは、1回のプローブ設定でプローブ・チップを交換する必要なしに差動測定、シングルエンド測定、共通・モード測定の3種類の測定が行えるプローブもあります。

ロジック・プローブ

図43に示すロジック・プローブには8チャンネルのポッドが2つあります。各チャンネルには、被測定デバイスに簡単に接続できるように、グランドが埋め込まれた新プローブ・チップが付属しています。また各ポッドの第1チャンネルの同軸ケーブルは、一目で見分けられるように青くなっています。共通・グランドには自動車で標準的に使用されている平型コネクタを使用しており、



図43. デバイスへのデジタル接続が容易なMSO用ロジック・プローブ

被測定デバイスのカスタム・グランドを簡単にとることができます。ロジック・プローブをヘッダ・ピンに接続する場合、プローブ・ヘッドに付属のアダプタを使用します。グランド入力とシグナル入力を同一平面にできますので、簡単にヘッダ・ピンとの接続ができます。容量負荷も小さいため、優れた電気特性を実現しています。

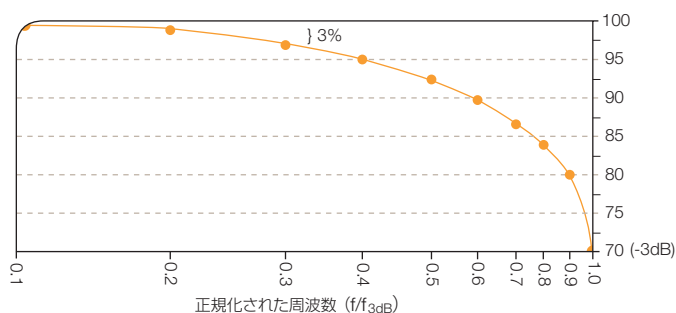


図44. オシロスコープの周波数帯域は、入力された正弦波信号がその本来の振幅の70.7%（-3dBポイントと呼ばれる）まで減衰した周波数である

特殊プローブ

先に説明したさまざまなプローブの他にも、特殊用途のプローブ、プロービング・システムがあります。電流プローブ、高電圧プローブ、光プローブなどがあります。

プローブのアクセサリ

最近のオシロスコープには、入力コネクタやプローブ・コネクタに特別な自動化機能が備わっているものがあります。インテリジェントなインタフェースを持ったプローブでは、プローブを接続するとオシロスコープにプローブの減衰比が知らされます。これにより、プローブの減衰比が画面上のリードアウトに反映されます。また、プローブが受動プローブか、アクティブ・プローブか、電流プローブかを判別するインタフェースもあります。インタフェースがプローブのDC電源の役割を果たすものもあります。アクティブ・プローブは内部に増幅器とバッファ回路を持っており、そのためのDC電源が必要となります。

グランド・リードやプローブ・チップなどのアクセサリを使用すると、高速信号測定時におけるシグナル・インテグリティを高めることができます。グランド・リード・アダプタを使用すると、プローブ先端とDUTとの間のリード長を非常に短くしておけると同時に、プローブ先端およびグランド・リード間の距離を自由に設定することができます。プローブやプローブ・アクセサリの詳細については、当社発行の「プローブ入門」（入門書）をご参照ください。

性能に関する用語と注意事項

前述したように、オシロスコープは信号波形をカメラのように捉えて、その観測と解析を可能にします。カメラの場合には、シャッタースピード、絞り、露出、フィルムのISO感度などが写真のシャープネスに影響します。

オシロスコープでは、その基本構造とともに性能面の検討を十分に行わないと、捉える信号波形に大きな影響を及ぼす場合があります。

新しい技術を学習するときには、常に新しい技術用語を学ぶ必要があります。オシロスコープの使用方法を学ぶ場合も例外ではありません。このセクションでは、測定とオシロスコープの性能に関する用語について解説します。これらの用語は、使用目的に合ったオシロスコープを選ぶときの参考になります。これらの用語を理解しておけば、お使いのオシロスコープの性能を評価し、他のモデルと比較する場合にも役立ちます。

周波数帯域

周波数帯域は、信号を測定するオシロスコープの基本的な性能です。信号の周波数が高くなると、信号振幅を正確に表示する性能が低下します。この仕様により、オシロスコープが正確に測定できる周波数の範囲が決まります。

オシロスコープの周波数帯域は、入力された正弦波信号がその本来の振幅の70.7%（-3dBポイントと呼ばれる）まで減衰した周波数をさします（図44を参照）。

周波数帯域が十分でない、高周波成分の変化を表示することができず、振幅は低下し、エッジ部分が消えてしまうなど、信号の詳細部分が失われます。このように、周波数帯域が十分でないオシロスコープで波形を観測すると、あまり意味がない結果となるので注意が必要です。

正確な振幅測定を行うために必要な周波数帯域は、「5倍ルール」によって求められます。

$$\text{必要とされるオシロスコープの周波数帯域} \geq \frac{\text{測定信号に含まれる最も高い周波数成分}}{\times 5}$$

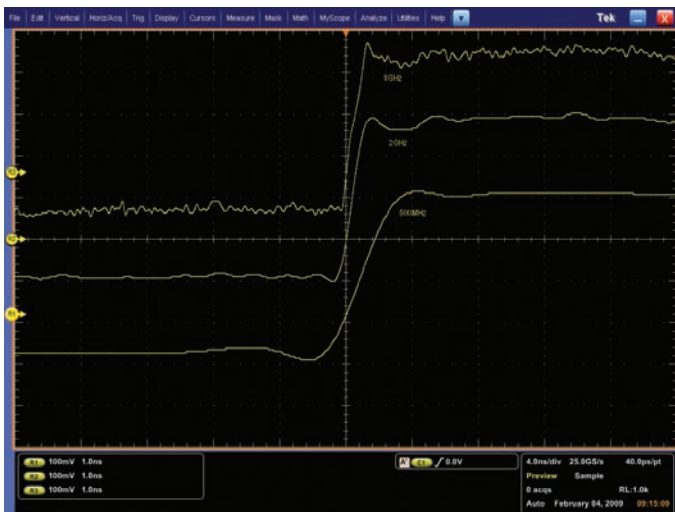


図45. 周波数帯域が高くなるほど、信号波形をより正確に表示できることを示したもので、250MHz、1GHz、4GHzの周波数帯域で取込んだ例

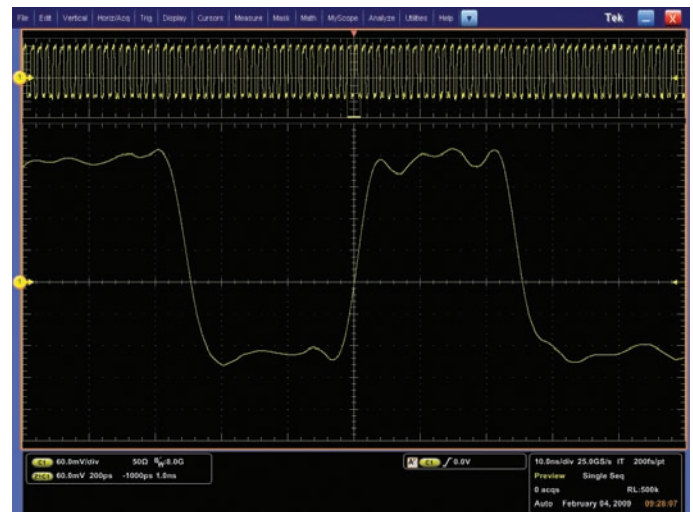


図46. 高速デジタル信号の立ち上がり時間特性

5倍ルールでオシロスコープを選択すると、誤差は±2%以下となります。通常アプリケーションでは、この確度で十分です。ただし、信号が高速になるとこの基準を適用できない場合があります。原則として、周波数帯域が高いほど、信号波形をより正確に表示できるということを覚えておいてください（図45を参照）。

オシロスコープの中には、デジタル信号処理（DSP）により周波数帯域を拡張できるものもあります。DSPによる任意イコライゼーション・フィルタにより、オシロスコープのチャンネル応答を改善することもできます。このフィルタにより、帯域を拡張し、オシロスコープのチャンネルの周波数応答をフラットにし、位相リニアリティを改善し、チャンネル間のマッチングを改善することができます。さらに、立ち上がり時間が高速になり、時間ドメインのステップ応答も改善できます。

立ち上がり時間

デジタル信号の世界では、立ち上がり時間の測定は非常に重要です。パルス波形やステップ波形などのデジタル信号を測定する場合、立ち上げ時間を考慮する必要があります。高速な信号のトランジションを正確に捉えるためには、オシロスコープは十分高速な立ち上がり時間性能を持っている必要があります。

立ち上げ時間は、オシロスコープの周波数帯域から表すことができます。信号の種類に応じたオシロスコープの立ち上げ時間を計算するには、次の式を使います。

$$\text{オシロスコープの立ち上がり時間} \geq \text{信号の最も高速な立ち上がり時間} \div 5$$

オシロスコープの立ち上げ時間を選択するこの式は、周波数帯域の算出法と似ています。周波数帯域の場合と同様に、この式は、最近のように信号が極端に高速になると、常に適用できるとは限りません。オシロスコープは、立ち上げ時間が速いほど、高速なトランジション部分の詳細な変化をより正確に捉えられるということを覚えておいてください。

用途によっては、信号の立ち上げ時間しかわからない場合もあります。この場合、定数kと下の式を使用することにより、オシロスコープの周波数帯域と立ち上げ時間の関係を知ることができます。

$$\text{周波数帯域} = \frac{k}{\text{立ち上がり時間}}$$

定数kの値は、0.35から0.45の範囲であり、オシロスコープの周波数特性曲線とパルス応答特性によって変わります。周波数帯域が1GHz未満のオシロスコープでは通常0.35、1GHzを超えるオシロスコープでは通常0.40から0.45の間になります。

ロジック・ファミリ	一般的な立上り時間	計算による信号の周波数帯域
TTL	2 ns	175 MHz
CMOS	1.5 ns	230 MHz
GTL	1 ns	350 MHz
LVDS	400 ps	875 MHz
ECL	100 ps	3.5 GHz
GaAs	40 ps	8.75 GHz

図47. ロジック・ファミリの中には特に速い立上り時間を持つものもある

図47の例のように、ロジック・ファミリの中には特に速い立上り時間を持つものがあります。

サンプル・レート

サンプル・レートは、1秒間のサンプル数 (S/s) で示され、デジタル・オシロスコープがどの程度の頻度で信号のサンプルを取込むかを示します。これは映画カメラの1画面のスナップショットがちょうど1サンプルのアナログ値に相当します。オシロスコープのサンプリングが速いほど（つまり、サンプル・レートが高いほど）分解能が高くなり、波形もより詳細に表示されるので、重要な情報やイベントが失われることが少なくなります（図48を参照）。また、長い時間でゆっくり変化する信号の測定には、最小サンプル・レートが適しています。一般的に、水平スケールを変更すると、画面に表示されるサンプル・レートも変更され、表示される波形のレコード長に対し、常に一定のサンプル数を確保するように設定されます。

次に、必要とするサンプル・レートの計算方法を説明します。計算方法は、測定対象の波形の種類および使用するオシロスコープの波形描画方法によって異なります。

信号を正確に再現し、かつエイリアシングを避けるためには、ナイキストの定理によれば最高周波数成分の少なくとも2倍の速さでサンプリングされる必要があります。しかし、この定理は、無限のレコード長と、連続する信号を想定しています。どのようなオシロスコープもレコード長を無限に持っている訳ではなく、また当然グリッチは連続して起きないため、最高周波数成分の2倍のサンプリング・レートでは事実上不十分です。

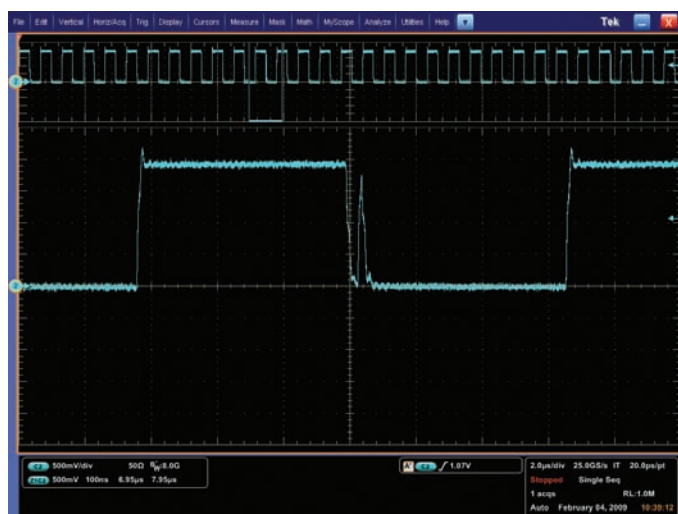


図48. サンプル・レートが高いほど信号の分解能が上り、間欠的なイベントが観測できる

実際には、サンプル間を埋める補間とサンプル・レートにより再生される波形の精度は決まります。一部のオシロスコープでは、正弦波測定用のsin(x)/x補間と、方形波、パルス、その他の信号測定用の直線補間を選択できるものもあります。

Sin(x)/x補間を使用して波形を正確に再現するためには、最低でも信号の最高周波数成分の2.5倍のサンプル・レートを持ったオシロスコープが必要になります。直線補間を使用する場合は、最低でも信号の最高周波数成分の10倍のサンプル・レートが必要になります。

サンプル・レートが50GS/sまで、周波数帯域が20GHzまでの測定システムの中には、周波数帯域の5倍までのオーバー・サンプリングによって、非常に高速な単発現象を捉えられるように最適化されているものがあります。



図49. DPOは、繰返し性のない信号、高速信号、マルチチャンネルのデジタル設計アプリケーションに適している

波形取込レート

どのようなオシロスコープも、連続して波形を取込むのではなく、1秒間に一定の割合で波形の取込みと休止を繰返し、断続的に信号を捉えます。これを波形取込レートといい、1秒間あたりの波形の表示回数 (wfms/s) で表します。サンプル・レートが「入力信号をサンプリングする速さ」を表すのに対し、波形取込レートは「どの程度速く波形を繰返し取込めるのか」という速さを表します。

波形取込レートは、オシロスコープの機種、またそのオシロスコープの性能によって大きく異なります。オシロスコープの波形取込レートが高速であれば、信号を詳細に観測することができ、ジッタ、ラント・パルス、グリッチ、トランジション・エラーなどの一過性の異常をすばやく捉えられます。

DSOは直列処理アーキテクチャを使用しているため、取込レートは10~5,000wfms/s程度になります。DSOの中には、パースト的に多くの波形データを取込み、それを長いメモリに格納していく特別なモードを備えるものがありますが、一時的に高い波形取込レートが得られるように見えても、その後に続く長い処理時間 (デッド・タイム) のために、めったに起きない間欠的現象を捉える確率はやはり低下してしまいます。

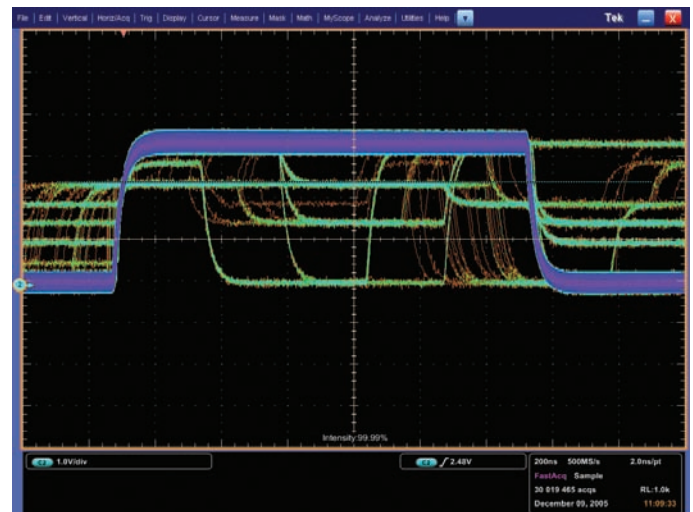


図50. DPOには優れた波形取込レートと3次元表示機能があり、さまざまなアプリケーションの汎用設計、トラブルシュートにおいて信号を詳細に観測することができる

DPOは並行処理アーキテクチャを使用しており、非常に高速な波形取込レートを実現しています。図49に示すように、高性能なDPOは数百万の波形をわずか数秒で取込むことができます。これにより、間欠的で捉えにくい信号を補足する確率が劇的に上り、信号の中に問題があっても容易に見つけ出すことができます。さらに、リアルタイム取込みの性能を生かして、振幅、時間、時間に基づく振幅の分布といった信号の変動特性を3次元で表示する能力もあります。その結果、図50に示すように信号の微細な特性を非常に詳しく観察できます。

レコード長

レコード長は1波形レコードを構成するポイント数で表わされ、チャンネルごとに取込み可能なデータの総量を示します。保存できるポイント数 (データ量) は限られているため、取込める波形の時間幅はオシロスコープのサンプル・レートに反比例します。

$$\text{波形取込時間} = \text{レコード長} / \text{サンプル・レート}$$

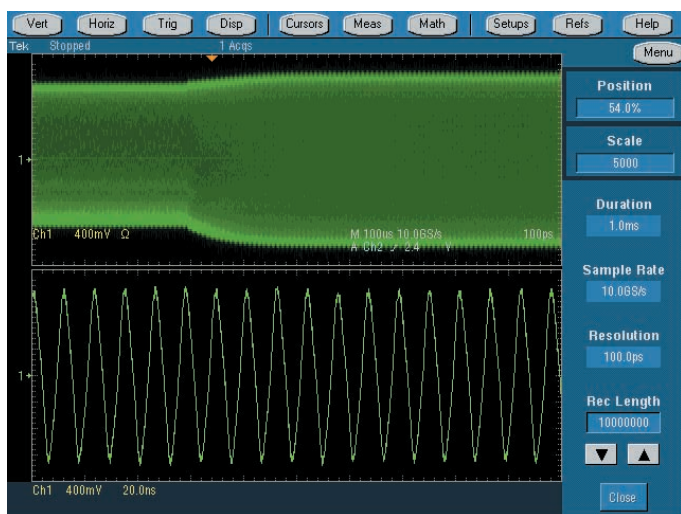


図51. 85MHzの変調搬送波の高周波成分を取込むには、高分解能サンプリング(100ps)が必要。変調エンベロープの観測には長い時間間隔(1ms)が必要。ロング・メモリ(10MB)があれば、その両方を表示することができる

最近のオシロスコープでは、レコード長を選択して最適な波形表示にできるものもあります。安定した正弦波の解析であれば500ポイントのレコード長で十分ですが、複雑なデジタル・データ・ストリームの中に異常が見られる場合、その原因を特定するためにはレコード長は数百万以上のポイント数が必要となることもあります(図51を参照)。

トリガ機能

オシロスコープのトリガ機能により、信号の望むポイントに水平掃引の基準点を合わせることができます。信号の観測には、この機能は欠かせません。トリガにより繰返される波形を安定表示させることもでき、単発波形を捉えることもできます。トリガ機能の詳細については、「性能に関する用語」のセクションにある「トリガ」の項を参照してください。

有効ビット

有効ビットは、デジタル・オシロスコープが正弦波信号の形をどこまで正確に復元できるかを示す基準として使われます。有効ビットでは、「理想的」なデジタルイザに含まれるエラーと、デジタル・オシロスコープの実際のエラーを比較します。実際のエラーにはノイズや歪みなどが含まれているため、信号の周波数や振幅を指定する必要があります。

周波数応答

オシロスコープの周波数帯域さえ十分に広ければ、高周波信号を正確に取込めるというものではありません。オシロスコープ設計の最終目標は、MFED (Maximally Flat Envelope Delay) という周波数応答の実現にあります。この周波数応答を実現することで、最小のオーバーシュート、リングングによる優れたパルス忠実度が可能になります。現実のデジタル・オシロスコープには、増幅器、アッテネータ、A/Dコンバータ、内部配線、リレーなどが使用されているため、MFEDに近づけることが設計の目標になります。パルス忠実度は、機種や製造メーカーによって大きく異なります。

垂直軸感度

「垂直軸感度」は、垂直増幅器が微弱な信号をどこまで増幅できるかを示します。これは通常、mV/divで表されます。多くの汎用オシロスコープで検出できる最小電圧は、画面の垂直軸1目盛あたり1mVです。

掃引速度

「掃引速度」とは、波形がオシロスコープの画面に表示される速度であり、これを調整することで波形の詳細が観測できるようになります。オシロスコープの掃引速度は、1目盛あたりの時間(秒)で表されます。

ゲイン(垂直軸) 確度

ゲイン確度または垂直軸確度は、垂直軸がどれだけ正確に信号を減衰、または増幅できるかを示します。通常はパーセント誤差として表されます。

時間軸(水平軸) 確度

時間軸、または水平軸確度は、時間軸がどれだけ正確に信号のタイミングを表示できるかを表します。通常はパーセント誤差として表されます。

垂直分解能(A/Dコンバータ分解能)

A/Dコンバータの垂直軸分解能、つまりデジタル・オシロスコープの垂直軸分解能は、オシロスコープがどれだけ正確に入力電圧をデジタル値に変換できるかを表します。垂直軸分解能はビット数で表されます。ハイレゾ・アキュイジション・モードで示したように、計算によって有効分解能を上げることができます。

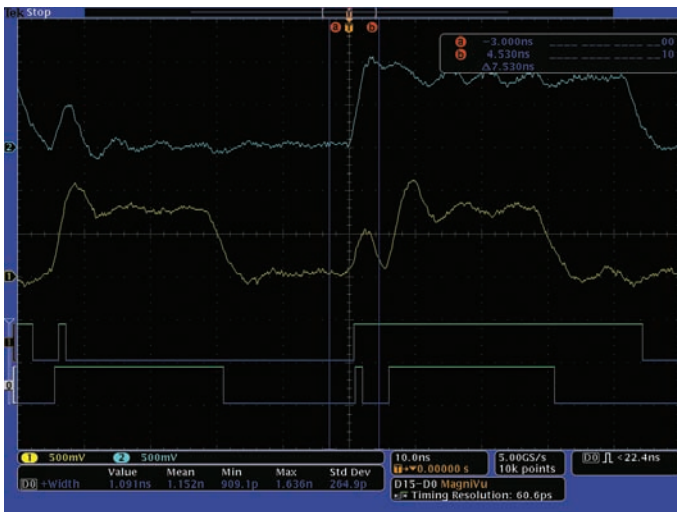


図52. 16のデジタル・チャンネルが統合されているため、アナログ信号とデジタル信号を、時間相関をとりながら観測、解析できる。高速に取込めるため解像度が高く、グリッチなどのパルス幅の狭いイベントも観測できる



図53. セントロニクス・ポートを標準で装備していたり、オプションでEthernet/RS-232、GPIB/RS-232、VGA/RS-232のインタフェース・モジュールを挿入しているオシロスコープもある。前面パネルにUSBポートを装備しているものもある

タイミング分解能 (MSO)

デジタル信号の取込みで重要になるアキュイジション仕様が、MSOのタイミング分解能の仕様です。優れたタイミング分解能で信号を取込むことができれば、信号が変化した際、より正確なタイミング測定が可能になります。例えば、500MS/sの取込レートは2nsのタイミング分解能であり、取込むことのできる信号エッジの確度は2nsになります。タイミング分解能が60.6ps(16.5GS/s)であれば信号エッジの確度は60.6psになり、より高速な信号変化を取込むことができます。

デジタル信号を2種類の取込みで同時に取込むことのできるMSOもあります。1つの取込みでは標準のタイミング分解能で、もう1つの取込みでは高分解能で取込みます。長いレコード長では標準の分解能で取込み、詳細に観測したい部分では高分解能で取込みます(図52を参照)。

接続性

測定結果を解析することは、測定同様に重要なことです。計測情報とその結果を、高速の通信ネットワーク上で簡単にかつ頻繁に共有することの重要性も高まっています。オシロスコープに拡張機能が付いたため、最新の解析機能が利用できるほか、計測結果の文書化と共有も容易になります。オシロスコープの中には、GPIB、RS-232、USB、Ethernetやネットワーク通信モジュールを利用できるものがあり、多様な機能、設定が利用できます(図53を参照)。

オシロスコープには、以下のような優れた機能を装備しているものもあります。

- オシロスコープ上での書類の作成、編集、共有(個別の環境にある機器との同時作動)
- ネットワーク・プリンタや共有ファイルへのアクセス

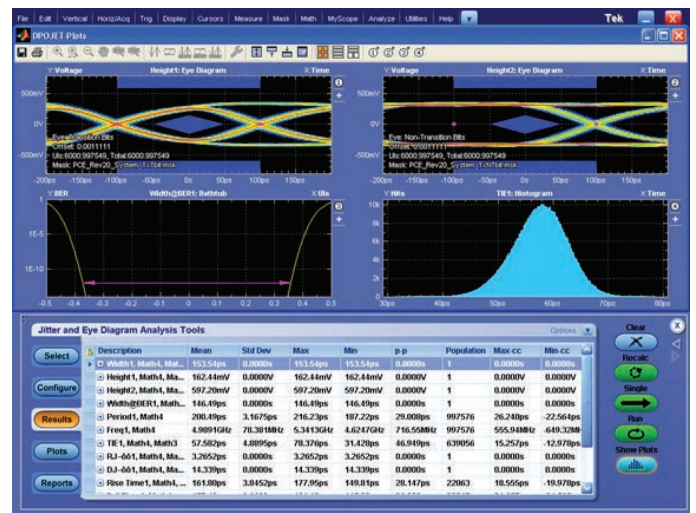


図54. 解析ソフトウェアは、最新のハイスピード・デジタル設計で必要となるジッタノイズ・ダイアグラム測定に最適

- Windowsデスクトップへのアクセス
- サードパーティの解析ソフトウェアおよびドキュメント・ソフトウェアの実行
- ネットワークへのリンク
- インターネットへの接続
- Eメールの送受信

拡張性

オシロスコープは、ニーズの変化に合わせて拡張できる必要性があります。オシロスコープによっては、以下のような拡張が可能です。



図55. シリアル・パケットの内容での自動トリガ、デコード機能、サーチ機能により、シリアル・バス解析が効率良く行える

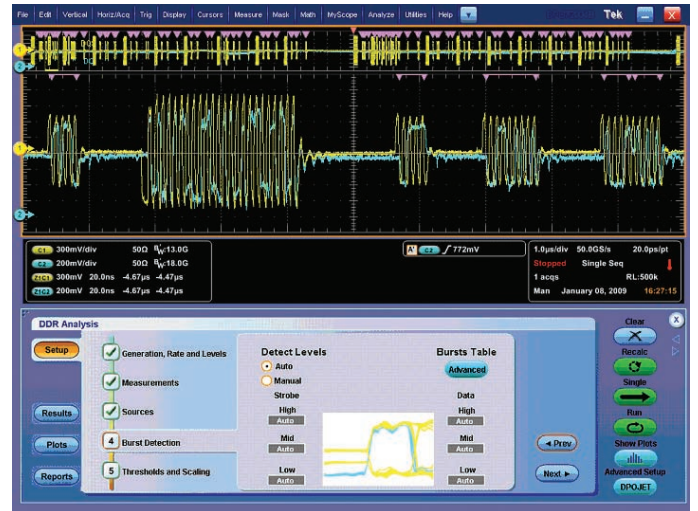


図57. DDR解析ソフトウェアにより、リード/ライト・バーストを分離し、JEDEC対応の測定を実行するなど、複雑なメモリ設計検証の自動化が可能



図56. クロック同期/非同期の平行バス・データへの自動トリガ、デコード、サーチ機能

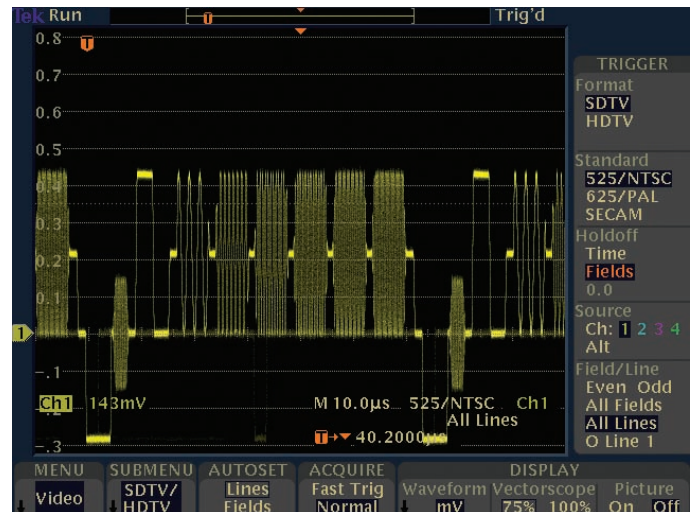


図58. ビデオ・アプリケーション・モジュールにより、ビデオ回路のトラブルシューティングが迅速に行える

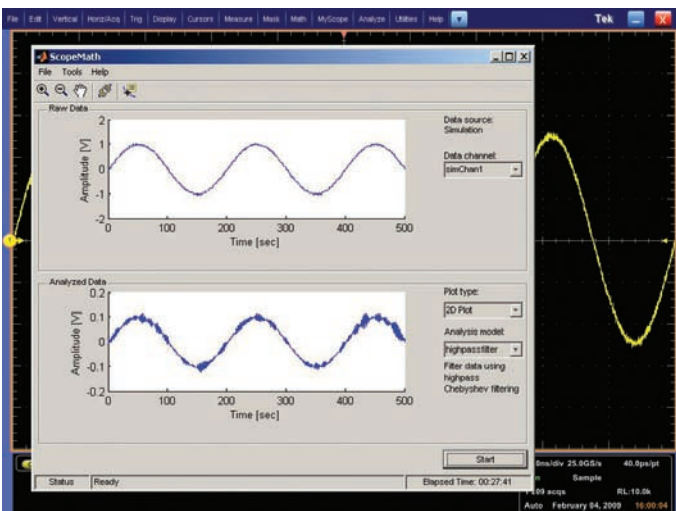


図59. WindowsベースのオシロスコープにはMATLAB®などの解析ソフトウェアがインストールできるため、ローカルでの信号解析が可能

- メモリを拡張し、長いレコード長の解析を可能にする
- アプリケーションに特化した測定機能の追加
- 豊富なプローブ、モジュールの追加によるオシロスコープの機能強化
- サードパーティの解析ソフトウェアおよびドキュメント・ソフトウェアの実行
- Windows対応のソフトウェアの実行
- バッテリー・パック、ラックマウントなどのアクセサリの追加

アプリケーション・モジュールとソフトウェアを使用すれば、オシロスコープをジッタやタイミングの解析、マイクロプロセッサのメモリ・システム検証、通信規格の検査、ディスク・ドライブの測定、ビデオ測定、電力測定など、さまざまな機能を実行するための高度に専門化された解析ツールとして使用できます。図54～59にその例を示します。

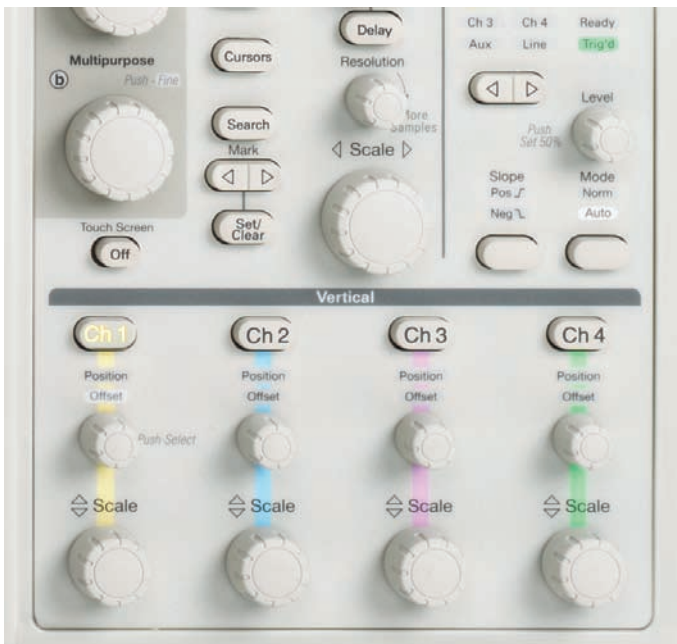


図60. アナログ・オシロスコープのようなノブ操作、感度、輝度調整により、正確な操作が可能

使いやすさ

効率良く、高い生産性で作業するためには、オシロスコープは覚えやすく使いやすいものでなければなりません。計測器に気をとられるのではなく、設計に集中できるようなものでなければなりません。車の運転がひとりひとり違うのと同様に、オシロスコープの使い方もユーザによって異なります。従来のオシロスコープのように計測器の前面パネルから操作するものがあったり、Windows®インタフェースで操作するものがあったりしますが、重要なことはその使いやすさです。

多くのオシロスコープは、ユーザにさまざまな操作方法を提供することで、高い性能と簡単な操作を両立させています。図60に示すように、前面パネルには通常、垂直軸、水平軸、トリガ関連の操作部があります。図61のように、アイコンによるグラフィック・インタフェースでは、高度な機能を直感的に使用できます。図62のようなタッチパネル・ディスプレイでは、キーボードの置き場を気にすることなく、画面上のボタンに簡単にアクセスできます。オンライン・ヘルプは、画面上で参照できるリファレンス・マニュアルです。直感的な操作により、日ごろあまりオシロスコープを

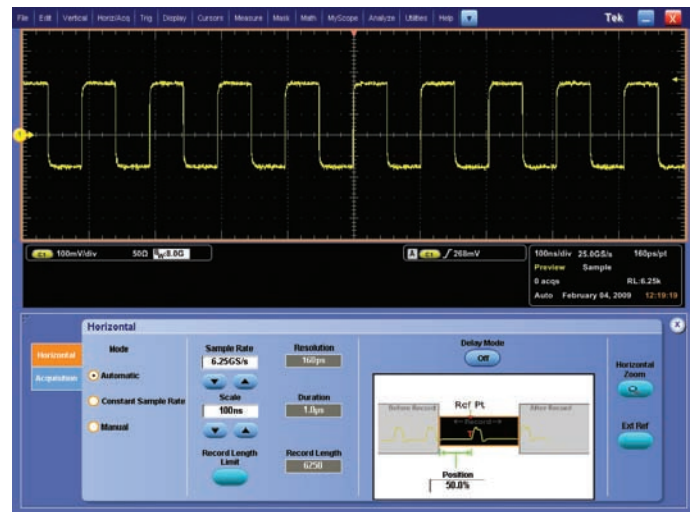


図61. グラフィカル・コントロール・ウィンドウにより、複雑な機能も簡単に操作できる

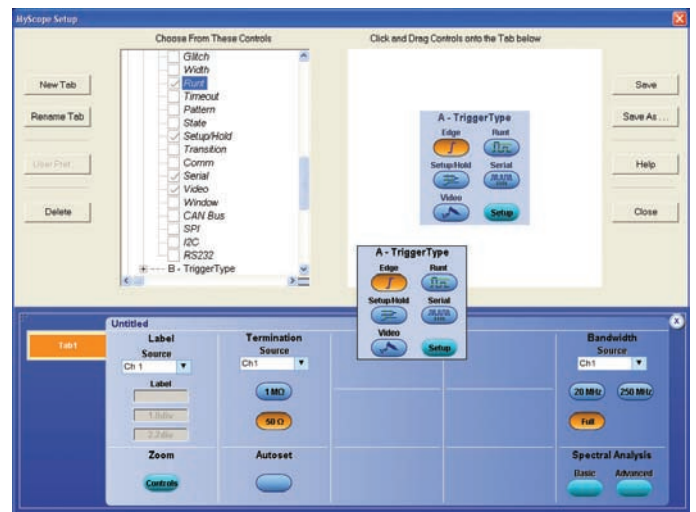


図62. タッチパネルによる操作では、狭い作業台や台車を気にすることなくスクリーン上で操作できる

使わないユーザでも、車を運転するように容易にオシロスコープを操作でき、常にオシロスコープを使っているユーザは、簡単に高度な機能を使いこなせます。さらに、図63のように多くのオシロスコープは持ち運びが可能のため、実験室や現場など、さまざまな操作環境で効率的に使用できます。



図63. 多くのオシロスコープはポータブル・タイプであるため、さまざまな作業環境で使用できる

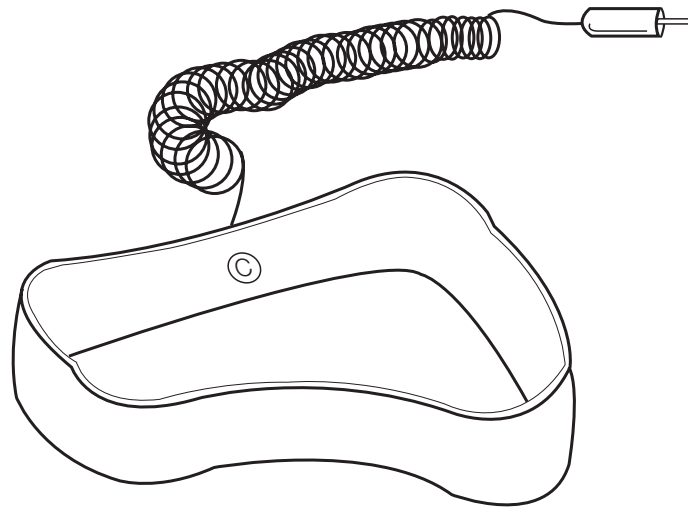


図64. 一般的なりストバンド型グラウンド・ストラップ

オシロスコープの操作

このセクションでは、オシロスコープの設定方法と使用方法について簡単に説明します。特に、オシロスコープのグラウンドのとり方、標準的な設定、校正方法、接続方法、プローブの補正を中心に説明します。

測定や回路作業では、正しく接地する（グラウンドをとる）ことが重要です。オシロスコープを正しく接地すれば感電を防ぐことができ、ユーザ自身を正しく接地することで回路を損傷から守ることができます。

オシロスコープの接地

オシロスコープを接地するとは、オシロスコープを地面などの電気的中位基準点に接続することを意味します。オシロスコープを接地するには、接地されたコンセントに3プラグ電源コードを差込みます。

オシロスコープの接地は、安全な測定には欠かせません。接地されていないオシロスコープのケースに高電圧が加わると、絶縁されているように見える操作ノブを含めて、ケースのどの部分に触っても感電します。しかし、正しく接地すれば電流は人体を流れず、グラウンド・パスを通じて地面に流れます。

接地をすることは、正しい測定をする上でも必要です。オシロスコープと測定対象回路は、同じグラウンドをとる必要があります。

一部のオシロスコープには、接地する必要がないものもあります。このようなオシロスコープではケースや操作部が絶縁されているため、ユーザはすべての電気ショックから保護されます。

集積回路を取り扱う場合、測定者もグラウンド接地する必要があります。集積回路の微細な導体経路は、人体で発生する静電気により損傷する可能性があります。高価な集積回路でも、カーペットの上を歩いたりセーターを脱いだ後に手でリード線に触れただけでも壊れることがあります。この危険を避けるために、図64のようなグラウンド・ストラップを腕にはめます。このストラップは、人体に蓄積された静電気を安全に地面に流します。

前面パネルの設定

オシロスコープを電源コンセントに差込んだら、前面パネルにご注目ください。すでに説明したように、通常、前面パネルは垂直軸部、水平軸部、トリガ部の3つの主要部分に分かれています。オシロスコープの機種と種類（アナログまたはデジタル）によっては、別の操作部があることもあります。

次に、オシロスコープの入力コネクタにプローブを接続します。ほとんどのオシロスコープには最低2つの入力チャンネルがあり、各チャンネルが1つの波形を画面に表示します。複数のチャンネルがあると、波形の比較ができて便利です。先にも説明したように、MSOにはデジタル信号の入力部もあります。

一部のオシロスコープには、簡単に波形を表示するためのAUTOSETボタンや、初期設定に戻すためのDEFAULTボタンを装備しているものもあります。オシロスコープにこの機能がなければ、測定前に各設定を標準の位置に戻します。

オシロスコープを標準の位置に設定する一般的な手順は次のとおりです。

- チャンネル1を表示するように設定する
- 垂直軸のV/divスケールとポジションを中間の位置に設定する
- V/divの可変調整機能をオフにする
- 拡大設定をオフにする
- チャンネル1の入力カップリングをDCにする
- トリガ・モードをオートにする
- トリガ・ソースをチャンネル1にする
- トリガ・ホールドオフを最小またはオフにする
- 水平軸のs/divスケールとポジションを中間の位置に設定する
- 画面垂直方向の10divに波形が表示されるよう、チャンネル1のV/div設定を調整する。このとき、波形が切れたり、歪んだりしないように注意する

オシロスコープの校正

オシロスコープを正しく設定するだけでなく、定期的に「自己校正」を実行することで正確な測定が行えるようになります。前回の自己校正時と比べて周囲温度が5℃以上変化した場合、あるいは一週間に一度の割合で自己校正を実行するようにします。オシロスコープのメニューでは、「Signal Path Compensation」または「自己校正」と表示されます。詳細な手順については、お使いのオシロスコープのマニュアルをご参照ください。

プローブの接続

次に、プローブを接続します。オシロスコープに適したプローブを使用することでオシロスコープの性能を発揮することができ、測定する信号を忠実に再現することができます。

信号を測定するためには、プローブ・チップの接続とグラウンドの接続が必要です。多くの場合、プローブには回路のグラウンド接続用にワニ口クリップが付属しています。実際例としては、修理する製品の金属シャーシといった、明らかなグラウンドにグラウンド・クリップを取付け、次に回路のテスト・ポイントにプローブ・チップを接続します。

プローブの補正

受動電圧プローブは、オシロスコープに対して補正する必要があります。受動プローブを使う前には、受動プローブを補正する、つまり個々のオシロスコープと受動プローブの電気的特性の整合をとる必要があります。

オシロスコープをセットアップする場合、必ずプローブの補正を行うようにします。プローブが正しく調整されていないと、正確に測定できません。図65では、プローブの補正が不正確な状態で1MHzのテスト信号を測定したとき、どのような影響があるかを示しています。

多くのオシロスコープには、補正のための正弦波基準信号の端子が前面パネルにあります。プローブを補正する一般的な手順は、次のとおりです。

- 垂直軸チャンネルにプローブを接続します。
- プローブ・チップを校正用基準信号の端子に接続します。
- プローブのグラウンド・クリップをグラウンド端子に接続します。
- 方形波基準信号を観測します。
- 方形波が真っ直ぐに表示されるようにプローブを補正します。

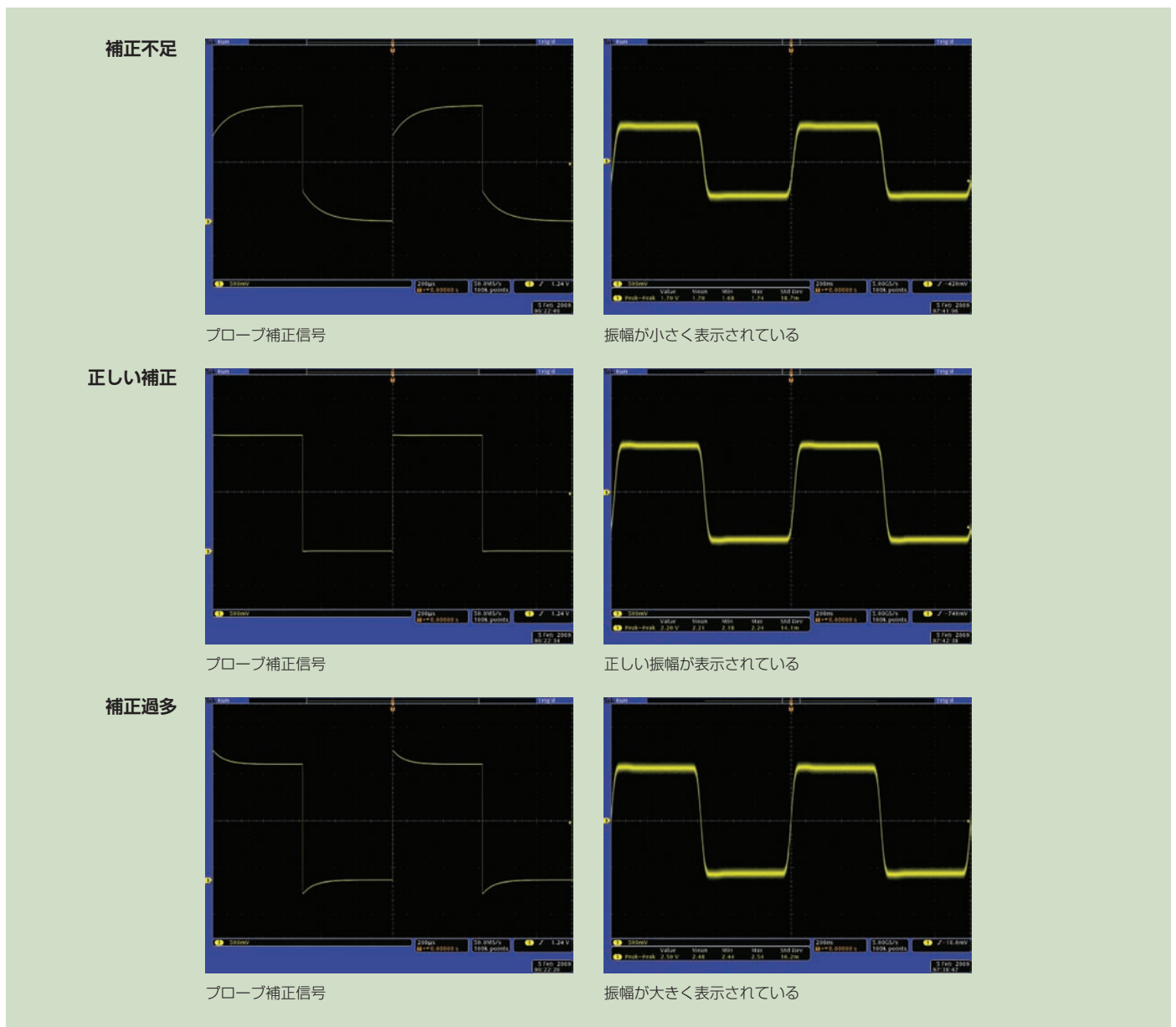


図65. プローブ補正が正しくない場合の影響

プローブを補正する場合、必ず使用予定のアクセサリ・チップを取付け、プローブの使用対象の垂直軸チャンネルに接続します。

これにより、測定時と同じ電気的特性にすることができます。

オシロスコープによる測定

このセクションでは、基本的な測定方法を説明します。基本的に、オシロスコープでは電圧と時間を測定します。他のすべての測定値は、この2つの基本的な測定に基づいて算出されます。

このセクションでは、オシロスコープの画面上で測定する方法を説明します。以下の測定方法はアナログ・オシロスコープで一般的なものですが、デジタル・オシロスコープにおいても、表示画面を一目見ただけで何を意味しているか理解できるという点では共通しています。

ほとんどのデジタル・オシロスコープは自動測定機能を備えており、正確な解析が容易に行えます。これにより、測定の信頼性が増します。しかし、ここで説明する測定方法を知っていれば、自動測定の理解に役立ちます。

電圧測定

電圧とは回路内の2点間の電位差で、Vで表されます。通常、2つの点のうち1つはグラウンド (0V) ですが、そうでない場合もあります。電圧は、ピーク間、つまりある信号の最大ポイントと最小ポイントの差を指すこともあります。電圧という場合は、このどちらの電圧を指すかを明らかにする必要があります。

オシロスコープは、もともと電圧を測定するための機器です。電圧を測定すれば、その他の量は計算で求められます。例えば、オームの法則によれば、ある回路の2点間の電圧は、電流と抵抗をかけた値に等しくなります。これらのいずれか2つの値から、次の式を使って3つめの値を計算することができます。

$$\text{電圧} = \text{電流} \times \text{抵抗}$$

$$\text{電流} = \text{電圧} \div \text{抵抗}$$

$$\text{抵抗} = \text{電圧} \div \text{電流}$$

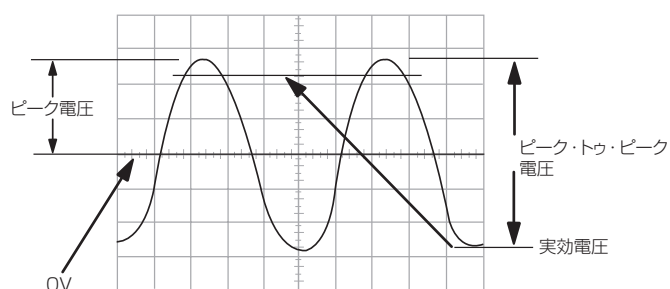


図66. ピーク電圧とピーク・トゥ・ピーク電圧

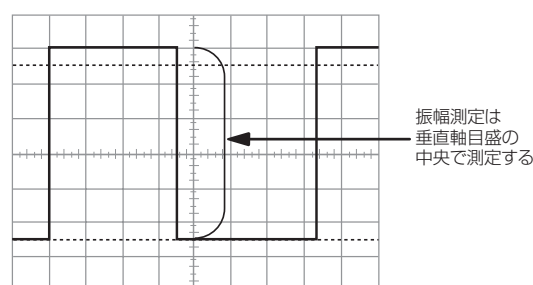


図67. 垂直軸目盛の中央で電圧を測定する

電力の計算式は、DC信号の場合は電圧と電流をかけたものになります。AC信号の場合、計算はもっと複雑ですが、重要なことは、電圧を測定すれば他の電気量を計算できるということです。図66は、ピーク電圧 (V_p) とピーク・トゥ・ピーク電圧 (V_{pp}) を示しています。

電圧測定の最も基本的な方法は、オシロスコープの垂直スケール上で波形の長さの目盛数を数えるものです。精度よく電圧を測定するためには、信号が画面の垂直方向一杯に表示されるように調整します (図67を参照)。画面を広く使えば、より正確な読み取りが可能になります。

多くのオシロスコープにはカーソル機能があり、目盛の数を数えなくても画面上で自動的に波形測定ができます。カーソルとは、画面上で動かすことができる線のことです。水平カーソルは2本あり、上下に動かして電圧測定の際に波形振幅の上のピークと下のピークに合せます。垂直カーソルも2本あり、左右に動かして時間の測定に使います。リードアウトには、カーソル位置の電圧もしくは時間が表示されます。

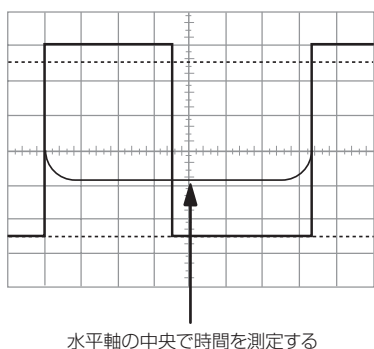


図68. 水平軸目盛の中央で時間を測定する

時間と周波数の測定

オシロスコープの水平スケールを使えば、時間が測定できます。時間の測定には、パルスの周期とパルス幅の測定があります。周波数は周期の逆数ですので、周期を測定し、1をその値で割れば周波数が求められます。電圧の測定と同様に、信号の測定部分を画面に大きく表示するほど、時間をより正確に測定できます（図68を参照）。

パルス幅と立上り時間の測定

多くのアプリケーションでは、パルスの詳細な形が重要な意味を持ちます。パルスの形が歪んでくるとデジタル回路の誤作動の原因となるので、パルス列のパルスのタイミングは非常に重要です。

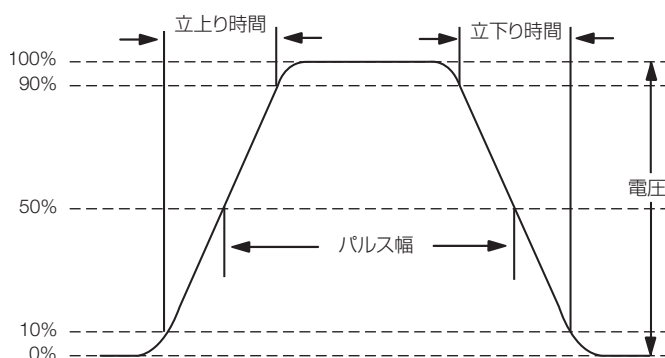


図69. 立上り時間とパルス幅の測定ポイント

一般的に、パルスの測定では「パルス幅」と「パルス立上り時間」を測定します。立上り時間とは、パルスが低い電圧から高い電圧に移動するのに要する時間です。経験的に、立上り時間はパルス電圧の10%から90%までとなります。パルスのトランジション部分の角に不規則性があっても無視します。パルス幅とは、パルスが低い電圧から高い電圧に移り、また低い電圧に移動するのに要する時間です。慣例として、パルス幅は電圧の50%ポイント間で計測します。図69に、立上り時間やパルス幅の測定ポイントを示しています。

パルス測定には、トリガの微妙な設定が必要となります。パルスを効果的に捉えるには、トリガ・ホールドオフの使い方と、プリトリガ・データを取込むための設定方法を学習する必要があります。これらの方法は、「オシロスコープのシステムと操作部」のセクションに説明されています。水平軸拡大機能も、パルス測定には便利な機能です。この機能によって、高速なパルスの詳細を観測することができます。

XYの周波数比

フェイズ・シフト

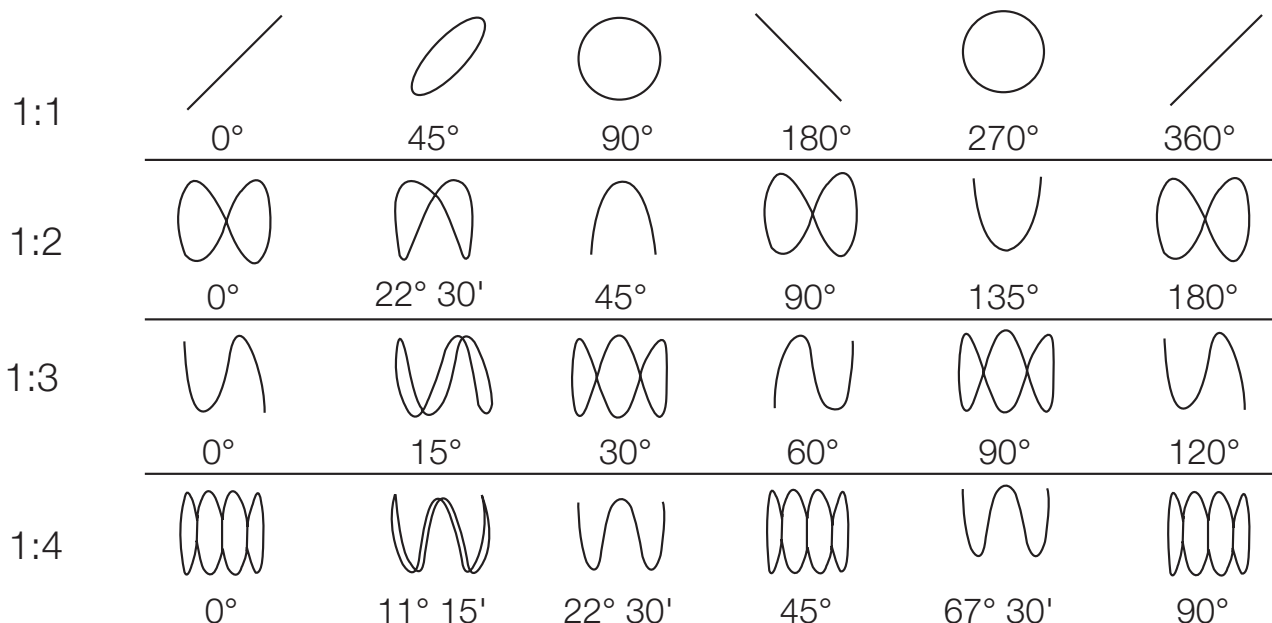


図70. リサージュ波形

位相差の測定

周期のみが同じ2信号間の時間的なずれを計測するには、XYモードを使う方法もあります。この測定法では、1つの信号を通常どおり垂直システムに入力し、もう1つの信号を水平システムに入力します。この場合、X軸とY軸はともに電圧を追跡しているので、XY測定と呼ばれています。このような方法で測定された波形を、リサージュ波形と呼びます。(フランスの物理学者Jules Antoine Lissajousに由来します。) リサージュ波形の形から、2信号間の位相の違いや周波数比がわかります。図70では、さまざまな周波数比とフェイズ・シフトにおけるリサージュ波形を示しています。

XY測定法は、もともとアナログ・オシロスコープの測定方法として考案されました。DSOでは、XY表示をリアルタイムに行うことは困難です。一部のDSOでは、2つのチャンネルをXY表示するのに、トリガによって取込んだデータ・ポイントを蓄積してXY画像を作成するものもあります。

一方、DPOはデジタル化したデータを連続して取込むことにより、実際のXYモード・イメージをリアルタイムで取込み、表示できます。また、DPOでは輝度情報を持ったXYZイメージを表示できます。DSOやDPOでのXY表示とは異なり、アナログ・オシロスコープでのXY表示は、通常、帯域幅が数メガヘルツに限定されます。

その他の測定テクニック

このセクションでは、基本的な測定テクニックについて説明しました。その他、測定テクニックには、組立ライン上の電気部品をテストするためのオシロスコープの設定方法、トランジェント信号を取込み方法など、さまざまな測定方法があります。それぞれのアプリケーションによって測定方法は異なりますが、ここまでの説明を理解していれば、オシロスコープを使用することができます。オシロスコープを実際に使用し、さらに解説書を読んでオシロスコープについて理解を深めてください。慣れば、オシロスコープの操作は難しいものではありません。

練習問題

このセクションでは、今まで学んできた内容についての練習問題を用意しました。練習問題はパート1とパート2に分かれています。理解度をチェックしてみてください。正解は54ページにあります。

パート 1 は、以下のセクションに関する問題です。

- オシロスコープ
- 性能に関する用語と注意事項

パート 2 は、以下のセクションに関する問題です。

- オシロスコープのシステムと操作部
- オシロスコープの操作
- 測定方法

パート 1A：用語に関する問題

用語の説明で正しいものを右の説明から選び、その記号を書いてください。

用語	説明
1. ___ アクイジション	A 電位差の単位
2. ___ アナログ	B A/Dコンバータの確度をビット単位で表した性能
3. ___ 周波数帯域	C 信号周期上の各点の角度を表す用語
4. ___ デジタル・フォスファ	D 波形信号が1秒間に繰返す回数
5. ___ 周波数	E 波形の1サイクルが完了する時間
6. ___ グリッチ	F 保存されたデジタル値で、画面上の特定の時点における信号の電圧を表すために使用される
7. ___ 周期	G 立上りエッジ、幅、立下りエッジを持つ一般的な波形形状
8. ___ 位相	H パルスの立上りエッジ速度を表す性能
9. ___ パルス	I 掃引のタイミングを調整するオシロスコープ回路
10. ___ 波形ポイント	J 回路の間欠的なスパイク
11. ___ 立上り時間	K オシロスコープで測定される、1回しか起こらない信号
12. ___ サンプル・ポイント	L A/Dコンバータでサンプル・ポイントを収集/処理、メモリに記憶する一連のオシロスコープのプロセス
13. ___ デジタル・ストレージ	M 値が連続的に変化するもの
14. ___ 時間軸	N 信号の3次元情報をリアルタイムに取込むことができるデジタル・オシロスコープ
15. ___ トランジェント	O シリアル処理機能を備えたデジタル・オシロスコープ
16. ___ A/Dコンバータの分解能	P -3dBポイントで規定される周波数範囲
17. ___ 電圧	Q 波形ポイントを計算し、表示するために使用される、A/Dコンバータの生データ

パート 1B：アプリケーションに関する問題

各番号の問いに対して、正しい答えに○をつけてください。ただし、正しい答えは1つだけとは限りません。

1. オシロスコープでできること

- a. 信号の周波数が計算できる
- b. 電気部品の故障の検出
- c. 信号の詳細解析
- d. 上記のすべて

2. アナログ・オシロスコープとデジタル・オシロスコープの違い

- a. アナログ・オシロスコープは、画面上にメニューがない
- b. アナログ・オシロスコープは、測定電圧を直接ディスプレイ・システムに加える。デジタル・オシロスコープは、測定電圧をいったんデジタル値に変換する
- c. アナログ・オシロスコープはアナログ値を測定し、デジタル・オシロスコープはデジタル値を測定する
- d. アナログ・オシロスコープにはアキュイジション・システムがない

3. オシロスコープの垂直部の機能

- a. A/Dコンバータを使ってサンプル・ポイントを取込む
- b. 水平軸掃引を開始する
- c. ディスプレイの輝度を調節する
- d. 入力信号を減衰または増幅する

4. オシロスコープの時間軸操作部の機能

- a. 垂直スケールを調節する
- b. 現在の時刻を示す
- c. 画面の横幅が表す時間を設定する
- d. プローブにクロック・パルスを送る

5. オシロスコープの画面に表示されるもの

- a. 垂直軸に電圧、水平軸に時間を表示する
- b. 対角線方向の直線的なトレースは、電圧が一定の割合で変化していることを意味する
- c. 水平の一直線のトレースは、電圧が一定であることを意味する
- d. 上記のすべて

6. 繰返す波形が持つ性質

- a. Hzで表示される周波数
- b. 秒で表示される周期
- c. Hzで表示される周波数帯域
- d. 上記のすべて

7. コンピュータ内部をプロービングして観測できる信号

- a. パルス列
- b. ランプ波形
- c. 正弦波
- d. 上記のすべて

8. アナログ・オシロスコープの性能の評価する場合に考慮する事項

- a. 周波数帯域
- b. 垂直軸感度
- c. A/Dコンバータの分解能
- d. 掃引速度

9. DSO（デジタル・ストレージ・オシロスコープ）とDPO（デジタル・フォスファ・オシロスコープ）の違い

- a. DPOの方が周波数帯域が広い
- b. DPOは波形の3次元情報をリアルタイムに取込む
- c. DSOにはカラー・ディスプレイがある
- d. DSOの方が信号の詳細を観測できる

パート 2A：用語に関する問題

用語の説明で正しいものを右の説明から選び、その記号を書いてください。

用語	説明
1. ___ アベレージ・モード	A オシロスコープとプローブがテスト回路と相互作用を起こし、信号に歪みを生じさせること
2. ___ 回路負荷	B 電流をグランドへ逃がす導体
3. ___ 補正	C デジタル・オシロスコープのサンプリング・モードの1つで、できる限り多くの信号サンプルを収集し、必要に応じて補間を行って波形を表示する
4. ___ カップリング	D デジタル・オシロスコープのサンプリング・モードの1つで、各繰返し波形から少しずつ情報を取込み、繰返し波形の全体像を構成する
5. ___ 大地グランド	E 音、圧力、歪み、輝度などの特定の物理量を電気信号に変換する機器
6. ___ 等価時間	F 信号を回路に流すためのテスト機器
7. ___ 波形目盛	G デジタル・オシロスコープで表示信号のノイズを除去するために使用される処理方法
8. ___ 補間	H 2つの回路を接続する手法
9. ___ リアルタイム	I いくつかのサンプル・ポイントから高速な波形を構成するための、「ポイントを結ぶ」処理方法
10. ___ シグナル・ジェネレータ	J オシロスコープに表示される波形を測定するための画面上のグリッド線
11. ___ 単掃引	K トリガ・モードの1つで、掃引を1回だけ行う。次のトリガ・イベントを取込むにはリセットする必要がある
12. ___ センサ	L 10：1プローブとオシロスコープの電気的特性の整合をとるためのプローブ調整

パート 2B：アプリケーションに関する問題

各番号の問いに対して、正しい答えに丸をつけてください。ただし、正しい答えは1つだけとは限りません。

1. オシロスコープを安全に使用するための注意点

- 適切な3プラグ電源コードを使用して、オシロスコープのグラウンドをとる
- 危険性のある電気部品を見分けられるようにする
- 電源がオフになっていても、テスト対象の回路のむき出しになっている接続部分に触らない
- 上記のすべて

2. オシロスコープでグラウンドをとる理由

- 安全性の確保
- 測定のための基準ポイントをとるため
- 波形を画面上の水平軸と揃えるため
- 上記のすべて

3. 回路負荷を引き起こす原因

- 非常に大きい電圧を持つ入力信号
- プローブとオシロスコープがテスト回路との間に起こす相互作用
- 補正していない10：1プローブ
- 回路にかかる大きな荷重

4. プローブ補正が必要な理由

- 10：1プローブとオシロスコープの電気的特性の整合をとるため
- テスト回路の損傷を防ぐため
- 測定確度を上げるため
- 上記のすべて

5. トレース・ローテーションの目的

- 画面上の波形感度を調整する
- 正弦波の信号を検出する
- アナログ・オシロスコープの画面上で、波形と水平軸に合わせる
- パルス幅を測定する

6. V/div設定の目的

- 垂直軸方向の波形スケールを変える
- 垂直軸方向の波形位置を調整する
- 入力信号を減衰または増幅する
- 1目盛が表示電圧を設定する

7. 垂直入力カップリングをグラウンドに設定する効果

- 入力信号をオシロスコープから切断する
- オート・トリガにより水平線が現れる
- 画面上のOVの位置がわかる
- 上記のすべて

8. トリガが必要な理由

- 画面上の波形表示を安定させる
- 単発波形を取込む
- アキュイジションの特定のポイントを示す
- 上記のすべて

9. オート・トリガ・モードとノーマル・トリガ・モードの違い

- ノーマル・モードでは、1回だけ掃引を行い停止する
- ノーマル・モードでは、掃引を行うのは入力信号がトリガ・ポイントに達したときだけで、それ以外のときには画面には何も表示されない
- オート・モードでは、トリガされなくてもオシロスコープは連続して掃引を行う
- 上記のすべて

10. 繰返し信号のノイズを最も軽減するアキュイジション・モード

- サンプル・モード
- ピーク・ディテクト・モード
- エンベロープ・モード
- アベレージ・モード

11. オシロスコープで行える最も基本的な2つの測定

- a. 時間と周波数
- b. 時間と電圧
- c. 電圧とパルス幅
- d. パルス幅と位相差

12. V/divを0.5に設定した場合、画面（8×10目盛と仮定して）上で表示できる最大の信号

- a. 62.5mV_{p-p}
- b. 8V_{p-p}
- c. 4V_{p-p}
- d. 0.5V_{p-p}

13. s/divを0.1ms/divに設定した場合、画面の横軸で表示できる時間

- a. 0.1ms
- b. 1ms
- c. 1s
- d. 0.1kHz

14. 通常、パルス幅の測定を行う位置は

- a. パルスのピーク・トゥ・ピーク電圧の10%
- b. パルスのピーク・トゥ・ピーク電圧の50%
- c. パルスのピーク・トゥ・ピーク電圧の90%
- d. パルスのピーク・トゥ・ピーク電圧の10%と90%

15. テスト回路にプローブを接続したところ、画面には何も映りません。この場合の対処方法は

- a. 画面の輝度が十分であるか確認する
- b. オシロスコープの設定が、プローブが接続されているチャンネルを表示するように設定されているか確認する
- c. ノーマル・モードでは何も表示されないことがあるので、トリガ・モードをオート・モードに設定する
- d. 電圧の大きなDC信号は画面の上下からはみ出してしまうので、垂直入力カップリングをACに設定して、V/divを最大値に設定する
- e. プローブがショートしていないか、また適切にグランドされているかを確認する
- f. 使用している入力チャンネルをトリガするように設定されているかを確認する
- g. 上記のすべて

解答集

パート1とパート2の練習問題の解答は次のとおりです。

パート1A：用語に関する解答

1. L	5. D	9. G	13. O
2. M	6. J	10. F	14. I
3. P	7. E	11. H	15. K
4. N	8. C	12. Q	16. B
			17. A

パート1B：アプリケーションに関する解答

1. D	3. D	5. D	7. A
2. B,D	4. C	6. A,B	8. A,B,D
			9. B

パート2A：用語に関する解答

1. G	4. H	7. J	10. F
2. A	5. B	8. I	11. K
3. L	6. D	9. C	12. E

パート2B：アプリケーションに関する解答

1. D	5. C	9. B,C	13. B
2. A, B	6. A,C,D	10. D	14. B
3. B	7. D	11. B	15. G
4. A, C	8. D	12. C	

用語集

AC(交流) — 電流と電圧が時間とともに変化する信号。信号カップリングの種類を表すときにも使用する。

A/Dコンバータ(アナログ/デジタル変換器) — デジタル電子部品で、電気信号を離散2進値に変換するもの。

DC(直流) — 一定の電圧と電流を持つ信号。信号カップリングの種類を表すときにも使用する。

DPO(デジタル・フォスファ・オシロスコープ) — 従来型のデジタル・オシロスコープの持つ利点(波形ストレージや自動測定など)を備えた上、アナログ・オシロスコープの表示性能をエミュレートしたデジタル・オシロスコープ。DPOは平行処理アーキテクチャを使い、信号をラスタ・タイプのディスプレイに送り、信号特性はリアルタイムで輝度階調表示される。DPOでは、振幅、時間および時間に対する振幅の分布の3次元で表示する。

DSO(デジタル・ストレージ・オシロスコープ) — A/Dコンバータを使ったデジタル・サンプリングで信号を取込むデジタル・オシロスコープ。アキュイジション、ユーザ・インタフェース、ラスト表示などをシリアル処理アーキテクチャで実行する。

DSP(Digital Signal Processing) — 測定信号の精度を改善させるためのアルゴリズムのアプリケーション。

GHz — 周波数の単位で、1,000,000,000Hz。

Hz — 1秒あたりのサイクル数を表す周波数の単位。

kHz — 周波数の単位で、1,000Hz。

ms — 時間の単位で、0.001秒。

MHz — 周波数の単位で、1,000,000Hz。

MS/s — サンプル・レートの単位で、1MS/sは1秒あたり100万サンプルを表す。

ns — 時間の単位で、0.000000001秒。

XYモード — 1つの入力信号を垂直軸システムに、もう1つの入力信号を水平軸システムに入力し、2つの電圧をX軸、Y軸の両方に表示させる測定方法。

Z軸 — オシロスコープのディスプレイの属性で、トレースが形成されるときの輝度変化を表す。

μs — 時間の単位で、0.000001秒。

アキュイジション・モード — サンプル・ポイントからどのように波形ポイントを構成するかを決めるモード。サンプル、ピーク・ディテクト、ハイレゾ、エンベロープ、アベレージ、波形データベースなどがある。

アナログ・オシロスコープ — 波形を表示する機器で、入力信号は調節、増幅された後に電子ビームの垂直軸へ印加され、その垂直軸がCRT上を左から右へと移動して波形を表示する。CRT上にコーティングされた化学的蛍光体にビームが当たると、明るく輝く波形が表示される。

アナログ信号 — 電圧が常に変化する信号。

アベレージング — デジタル・オシロスコープの処理技法で、表示信号のノイズを減らすこと。

位相 — 1サイクルがはじまり次のサイクルがはじまるまでにかかる時間で、単位は度で表す。

位相差 — タイミング以外は類似した2つの信号間のタイミングのずれ。

エンベロープ — 多数の表示波形から得られた、信号の最大値と最小値が描く波形。

オシロスコープ — 時間の経過と共に変化する電圧を表示する計測機器。オシロスコープという名称は「オシレート(発振)」が語源で、発振電圧を測定するところからつけられた。

カーソル — 画面上で波形のピークに合わせて正確な測定を行うマーカ。

回路負荷 — プローブとオシロスコープがテスト対象の回路と相互作用を起こし、信号に歪みを生じさせること。

カップリング — 2つの回路の接続方法。導線で直接接続されているのがDC(直接カップリング)であり、コンデンサまたは変圧器で接続されているのがAC(間接カップリング)。

輝度グレーディング — 発生頻度を表す情報であり、波形が実際にどのように変化しているかを知るために必要不可欠なもの。

グラウンド —

1. 電気回路や電気機器を地面に接続する導体で、基準レベルとなる電圧を確保するためのもの。
2. 回路内の電圧基準ポイント。

グリッチ — 回路内で発生する間欠的で高速な不良信号。

ゲイン確度 — 垂直システムが信号の減衰または増幅をどれだけ正確に実行できるかを示し、通常、パーセント誤差で表す。

減衰 — あるポイントから次のポイントへ信号を送信する際に、信号の振幅を減少すること。

サンプリング — 入力信号の一部を多数の不連続の電気的な値に変換し、オシロスコープでストレージ、処理、また表示できるようにすること。リアルタイム・サンプリングと等価時間サンプリングの2つの方式がある。

サンプル・ポイント — 波形ポイントを計算するために使われるA/Dコンバータからの生データ。

サンプル・レート — デジタル・オシロスコープで信号のサンプルを取込む頻度を表す値で、1秒あたりのサンプル数 (S/s) で表す。

時間軸 — 掃引のタイミングをコントロールするオシロスコープの回路。時間軸はs/divで設定。

シグナル・インテグリティ — デジタル信号の高速化によって生じるリングングやクロストーク、グラウンド・バウンスなどのノイズがいかに抑えられているか、すなわちデジタル信号の波形品質のこと。

周期 — 波が1サイクル終わるのに要する時間。周期は周波数の逆数。

周波数 — 信号が1秒間に繰り返す回数で、Hz (1秒あたりのサイクル数) で表す。周波数は周期の逆数。

周波数応答 — オシロスコープの周波数応答曲線は、入力信号の周波数に対する振幅応答の確度を表す。最大の信号忠実度を得るには、規定されたオシロスコープの帯域において平坦な (安定した) 周波数応答を持っていることが必要になる。

周波数帯域 — 周波数の範囲で、通常-3dBまでの周波数を言う。

焦点 — ディスプレイ表示のシャープさを調整するためにCRTの電子ビームを調整するオシロスコープの機能。

信号ソース — 信号を回路に入力するための機器で、その出力をオシロスコープで観測できる。シグナル・ジェネレータとも呼ばれる。

振幅 — 信号の量や強さ。エレクトロニクス分野では、通常、振幅は電圧や電力を意味する。

垂直軸感度 — 垂直増幅器が信号をどれだけ増幅するかを示し、1目盛あたりのミリボルト (mV) で表す。

垂直軸分解能 (A/Dコンバータ) — デジタル・オシロスコープのA/Dコンバータが、どれだけ正確に入力電圧をデジタル値に変換できるかを示し、ビットで表す。ハイレゾ・アキュイジション・モードなどの計算により、有効分解能を引上げることができる。

水平確度 (時間軸) — 水平システムが信号のタイミングをどれだけ正確に表示できるかを示し、通常、パーセント誤差で表す。

水平軸掃引 — 波形を描くための水平システムの動作。

スロープ — グラフやオシロスコープの画面上の斜線で、垂直軸と水平軸の比を表す。正のスロープは左から右へ上り、負のスロープは左から右へ下る。

正弦波 — 数学的に定義された一般的な曲線波形の形状。

センサ — 音声、圧力、歪み、輝度などの特定の物理量を電気信号に変換するデバイス。

掃引 — オシロスコープの電子ビームが、CRTディスプレイ上を水平方向に左から右へ移動すること。

掃引速度 — 時間軸と同じ。

増幅 — 信号を1つのポイントから他のポイントへ送信する際に、信号の振幅を増大すること。

大地グランド — 電流をグランドへ逃がす導体。

立上り時間 — パルスが低い電圧から高い電圧に移動するまでの時間で、通常、パルス振幅の10%から90%までの部分。

単掃引モード — トリガ・モードの1つで、画面上で信号を1度トリガして停止するもの。

単発信号 — オシロスコープで1度だけ観測される信号で、過渡的現象（トランジェント・イベント）とも呼ばれる。

遅延時間軸 — 掃引を、メイン時間軸掃引からあらかじめ決められた時間だけ相対的に遅らせて開始、またはトリガする時間軸。これにより、メイン時間軸掃引だけでは見ることのできなかつたイベントをよりはっきりと観測できる。

ディビジョン — オシロスコープ上に表示される測定用のマーキングで、大きな目盛と小さな目盛が付いている。

デジタル・オシロスコープ — 測定電圧をA/Dコンバータを使ってデジタル値に変換するオシロスコープで、デジタル・ストレージ、デジタル・フォスファ、ミックスト・シグナル、デジタル・サンプリングがある。

デジタル化 — A/Dコンバータによる処理であり、水平システムで時間を個々のポイントに区切って信号のサンプルを取り、各ポイントにおける電圧をサンプル・ポイントと呼ばれるデジタル値に変換すること。

デジタル・サンプリング・オシロスコープ — 等価時間サンプル手法により信号のサンプルを取込み、表示するデジタル・オシロスコープ。信号の周波数がオシロスコープのサンプル・レートよりも高い場合でも、正確に信号を取込むことができる。

デジタル信号 — 電圧サンプルを離散2進数で表した信号。

電圧 — 2点間の電位差で、Vで表す。

等価時間サンプリング — オシロスコープのサンプリング・モードで、繰返し信号において少しずつ情報を取込み、その波形を構成するもの。等価時間サンプリングは、ランダムとシーケンシャルの2種類に分けられる。

トランジェント — オシロスコープにより1度だけ観測される信号で、単発現象とも呼ばれる。

トリガ — オシロスコープの水平軸掃引の開始点を決める回路。

トリガ・スロープ — 水平掃引を開始する前にトリガのソース信号がそのレベルに達するスロープ。

トリガ・ホールドオフ — 有効なトリガの後、一定時間トリガがかからないようにする機能。

トリガ・モード — トリガが検出されなかった場合の波形の表示方法を設定するモード。一般的なトリガ・モードとしては、「ノーマル」と「オート」がある。

トリガ・レベル — トリガのソース信号がそのレベルに達することで水平掃引を開始する電圧レベル。

波 — 時間の経過と共に繰返されるパターン。一般的な波には、正弦波、方形波、矩形波、のこぎり波、三角波、ステップ波、パルス波、周期波、非周期波、同期波、非同期波などがある。

ノイズ — 電気回路内の不要な電圧または電流。

波形 — 時間と共に変化する電圧を表すグラフ。

波形取込レート — オシロスコープが波形の取込をどれだけ高速に行えるかを示し、1秒あたりの波形数（wfms/s）で表す。

波形ポイント — 信号のある時点における電圧を表すデジタル値。波形ポイントは、サンプル・ポイントから算出でき、メモリに記憶される。

パルス — 一般的な波形で、急激な立上りエッジ、幅、急激な立下りエッジを持つ。

パルス幅 — パルスが低い電圧から高い電圧まで移った後、再び低い電圧に戻るまでの時間の長さで、通常は最高電圧の50%で測定される。

パルス列 — 共に移動するパルスの集まり。

ピーク (V_p) — ゼロ基準点からの最大電圧レベル。

ピーク・ディテクト — デジタル・オシロスコープのアクイジション・モードの1つで、見過ごしやすい信号の詳細を観測でき、特に幅が狭く間隔の長いパルスを捉えるのに有効。

ピーク・トゥ・ピーク電圧 (V_{pp}) — 信号の最小ポイントから最大ポイントまでの電圧。

負荷 — プローブとオシロスコープがテスト回路と相互作用を起こし、信号に歪みを生じさせること。

プリトリガ — デジタル・オシロスコープでトリガ・イベント以前の信号の状態を読み込むこと。トリガ以前の観測時間は設定可能。

プローブ — オシロスコープの入力デバイスで、通常、回路素子を持った、電氣的接続を行うための先の尖った金属製のツール、回路グラウンドに接続するためのリード、信号とグラウンド基準をオシロスコープに送るためのケーブルで構成。

方形波 — 一般的な波形の形状の1つで、繰返す方形のパルスで構成される。

補間 — 高速な波形を測定する場合の「ポイントを結ぶ」処理技法で、いくつかのサンプル・ポイントから波形を推定。直線補間と $\sin(x)/x$ 補間の2種類がある。

補正 — 受動プローブの調整で、プローブとオシロスコープのキャパシタンスの整合をとること。

ボルト (V) — 電位差の単位。

ミックスド・シグナル・オシロスコープ (MSO) — 16チャンネルのロジック・アナライザの基本機能と、4チャンネル・デジタル・フォスファ・オシロスコープの機能を組み合わせたデジタル・オシロスコープの一種。

ミックスド・ドメイン・オシロスコープ (MDO) — スペクトラム・アナライザとMSOまたはDPOの機能を統合し、デジタル、アナログ、RFドメインの信号を、時間相関をとりながら表示できるデジタル・オシロスコープの一種。

目盛 — オシロスコープの波形を測定するための画面上的グリッド線。

有効ビット — デジタル・オシロスコープの性能を測る基準で、正弦波の波形をいかに正確に再現できるかを表す。有効ビットでは、「理想的」なデジタイザに含まれるエラーと、デジタル・オシロスコープの実際のエラーを比較する。

ライティング・スピード — アナログ・オシロスコープの機能で、波形トレースを描画する速度。デジタル・ロジック信号のような、低い繰返し信号で高速に変化する信号に対しては機能が制限される。

ラスタ — ディスプレイの種類。

ランプ — 一定の割合で変化する正弦波の電圧レベル間のトランジション。

リアルタイム・サンプリング — サンプリング・モードの1つで、トリガされた1回の取込でできる限り多くのサンプルを収集すること。信号の周波数帯域がオシロスコープの最大サンプル・レートの半分以下の場合に有効。

レコード長 — 信号のレコードを構成する波形ポイントの数。

ロジック・アナライザ — 多数のデジタル信号の論理ステートを時間軸に対する変化で表示する機器。デジタル・データを解析し、リアルタイムなソフトウェア実行、データ・フロー、ステート・シーケンスなどが表示できる。

ASEAN/オーストラリア・ニュージーランドと付近の諸島 (65) 6356 3900
ベルギー 00800 2255 4835*
中央/東ヨーロッパ、バルト海諸国 +41 52 675 3777
フィンランド +41 52 675 3777
香港 400 820 5835
日本 81 (3) 6714 3010
中東、アジア、北アフリカ +41 52 675 3777
中国 400 820 5835
韓国 001 800 8255 2835
スペイン 00800 2255 4835*
台湾 886 (2) 2722 9622

オーストリア 00800 2255 4835*
ブラジル +55 (11) 3759 7627
中央ヨーロッパ/ギリシャ +41 52 675 3777
フランス 00800 2255 4835*
インド 000 800 650 1835
ルクセンブルク +41 52 675 3777
オランダ 00800 2255 4835*
ポーランド +41 52 675 3777
ロシア / CIS +7 (495) 7484900
スウェーデン 00800 2255 4835*
イギリス/アイルランド 00800 2255 4835*

バルカン諸国、イスラエル、南アフリカ、その他ISE諸国 +41 52 675 3777
カナダ 1 800 833 9200
デンマーク +45 80 88 1401
ドイツ 00800 2255 4835*
イタリア 00800 2255 4835*
メキシコ、中央/南アメリカ、カリブ海諸国 52 (55) 56 04 50 90
ノルウェー 800 16098
ポルトガル 80 08 12370
南アフリカ +41 52 675 3777
スイス 00800 2255 4835*
アメリカ 1 800 833 9200

* ヨーロッパにおけるフリーダイヤルです。ご利用になれない場合はこちらにおかけください。+41 52 675 3777

Updated 10 February 2011

11/12



〒108-6106 東京都港区港南2-15-2 品川インターシティ B棟6階
デクトロニクス お客様コールセンター TEL:0120-441-046
電話受付時間/9:00~12:00・13:00~19:00(土・日・祝・弊社休業日を除く)

www.tektronix.com/ja