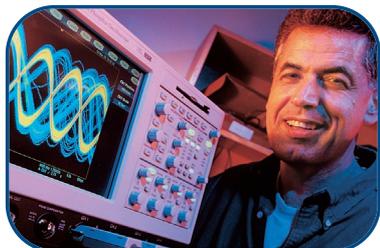


オシロスコープのすべて

—さらに詳しい入門書—



COMPUTING

COMMUNICATIONS

VIDEO

目次

はじめに	3	オシロスコープのシステムとコントロール	15
シグナル・インテグリティ	4	垂直システムとコントロール	15
シグナル・インテグリティの重要性	4	ポジションと垂直軸	15
シグナル・インテグリティが問題となる理由	4	入力カップリング	16
デジタル信号のアナログ的な要素	5	帯域制限	16
オシロスコープ	5	オルタネート表示とチョップ表示	16
波形と波形の測定	6	水平システムとそのコントロール	17
波形の種類	7	アキュイジション・コントロール	17
正弦波	7	アキュイジション・モード	17
方形波と矩形波	7	アキュイジション・モードの開始/停止	18
のこぎり波と三角波	7	サンプリング	18
ステップとパルス	7	サンプリング・コントロール	19
周期信号と非周期信号	8	サンプリング手法	19
同期信号と非同期信号	8	リアルタイム・サンプリング	19
複雑な波形	8	リアルタイム・サンプリングと補間	20
波形の測定	8	等価時間サンプリング	20
周波数と周期	8	ランダム等価時間サンプリング	21
電圧	8	シーケンシャル等価時間サンプリング	21
振幅	9	水平軸ポジションと掃引時間	22
位相	9	時間軸の選択	22
デジタル・オシロスコープを使用した波形の測定	9	ズーム	22
オシロスコープの種類	10	XYモード	22
アナログ・オシロスコープ	10	Z軸	22
デジタル・オシロスコープ	11	XYZモード	22
デジタル・ストレージ・オシロスコープ	12	トリガ設定	23
シリアル・プロセス構造	12	トリガ・ポジション	24
デジタル・フォスファ・オシロスコープ	13	トリガ・レベルとスロープ	25
並列処理	13	トリガ・ソース	25
デジタル・サンプリング・オシロスコープ	14	トリガ・モード	25
		トリガ・カップリング	25
		トリガ・ホールドオフ	26
		ディスプレイ・システムとコントロール	26
		オシロスコープのその他のコントロール	27
		数学的な演算と測定操作	27

オシロスコープのすべて

▶ さらに詳しい入門書

完全な測定システムの構築	28	オシロスコープの測定テクニック	40
プローブ	28	電圧測定	40
受動プローブ	29	時間と周波数の測定	40
FETプローブと差動プローブ	30	パルス幅と立ち上がり時間の測定	41
プローブのアクセサリ	30	位相差の測定	41
性能に関する用語	31	その他の測定テクニック	41
周波数帯域	31	練習問題	42
立ち上がり時間	32	パート1	42
サンプル・レート	33	用語テスト	42
波形取込レート	33	アプリケーションに関する問題	43
レコード長	34	パート2	44
トリガ機能	35	用語テスト	44
有効ビット	35	アプリケーションに関する問題	45
周波数特性	35	解答集	46
垂直軸感度	35	用語集	47
掃引速度	35		
垂直軸確度	35		
時間軸（水平軸）確度	35		
垂直軸分解能（A/Dコンバータ分解能）	35		
コネクティビティ	35		
拡張性	36		
使いやすさ	37		
プローブ	37		
オシロスコープの操作	38		
設定	38		
オシロスコープの接地	38		
測定者の接地	38		
前面パネルの設定	38		
プローブ	38		
グラウンド・クリップの接地	38		
プローブ補正	39		

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、修理する技術者にとって、欠かすことのできない測定器です。今日の日まぐるしく移り変わる世の中では、技術者は最適な測定器を使用して、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者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。適切なトランスデューサを使用すれば、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。トランスデューサとは、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。たとえば、マイクロホン、音を電気信号に変換するトランスデューサの一種です。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、物理学者からテレビの修理技師まで、幅広く使われています。自動車の技師は、オシロスコープを用いてエンジンの振動を測定し、医療分野の研究者は、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数です。

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。

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。

本書では、以下の事項について説明しています。

- オシロスコープの動作原理
- アナログ・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、デジタル・サンプリング・オシロスコープの違い
- 電気信号の種類
- 基本的なオシロスコープの操作方法
- 簡単な測定例

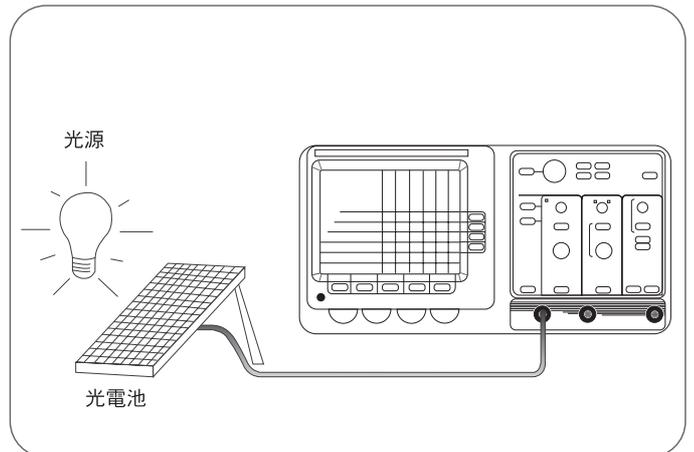


図1. オシロスコープを使用した科学データ収集の例

お問合せ

本書について、ご不明な点やご質問などございましたら、下記お客様コールセンターまでお問合せください。

●お客様コールセンター

TEL : 03-3448-3010 FAX : 0120-046-011
 電話受付時間 : 9 : 00 ~ 12 : 00 ・ 13 : 00 ~ 17 : 00
 月曜 ~ 金曜 (休祝日を除く)

住所 : 東京都品川区北品川5-9-31 〒141-0001

ホームページ : <http://www.tektronix.co.jp>

E-mail : ccc.jp@tektronix.com

オシロスコープのすべて

▶ さらに詳しい入門書

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、分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2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。プローブも影響します。

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。ところが、デジタル機器の設計者がシグナル・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。これらの設計者は、ブール回路を取扱っていたので、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設計者くらいでした。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可能でした。

また、プロセッサのクロック・レートは、短期間にけた違いに大きくなりました。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、かつ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、一部のメモリ・デバイスでは、400MHzのクロックを使用し、立上り時間が200psのデータ信号を取扱えます。

重大なことには、この高速化現象は、自動車、VCR、機械制御装置、その他多くの用途に使われる一般的な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で、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。

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、このような問題が今までに比べて非常に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、信号回路の設計、ノイズの許容範囲、負荷の影響、伝送回路の影響、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、ある程度はデジタル・シグナル・インテグリティを維持できました。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倍にも速くなっています。かつてマイクロ秒（ μs ）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）は、そのデジタル信号の繰返し率に含まれるよりも、かなり高い周波数成分が含まれています。この理由により、設計者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、信号が示すエッジ率が4~6ナノ秒をを下回る場合、15cmほどの長さの回路基板トレースが、トランスミッション・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。これら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。

同時に、指定された信号経路も、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に、接地板およびパワー板が導体となり、トランスミッション・ラインの役割を果たします。この結果、電源装置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。

さらに一般的には、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ウンド・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の量を増加させ、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徴は何でしょうか？ それは、典型的なアナログ現象です。信号の完全性の問題点を解決するためには、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。またそのために、デジタル設計者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です。

多くのデジタル・エラーが、アナログ信号の完全性の問題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、単発現象を検出して表示し、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。

オシロスコープ内の各システムおよびそれらの適用方法を理解すれば、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。

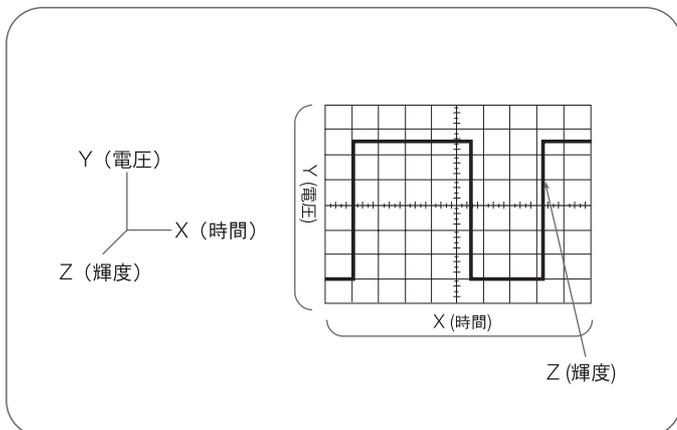


図2 表示波形のX、Y、Z成分

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、基本的に電気信号のグラフを表示する機器です。多くの場合、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2参照）。

表示された信号からたくさんのがわかります。

- 時間、電圧
- 周波数
- 信号で示される回路の「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の影響
- 直流電流（DC）と交流電流（AC）の割合
- ノイズ成分の大きさやその時間変化

オシロスコープのすべて

▶ さらに詳しい入門書

波形と波形の測定

音波、脳波、海洋の波、電圧の波などの繰り返し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。波の1サイクルは繰り返し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。電圧波形は、水平軸に時間をとり、垂直軸に電圧をとります。

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、電圧が変化したということがわかります。水平に1本の線が表示された場合、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。対角線のように表示された場合、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。波形上の鋭角な部分は、急激な変化を示します。図3に標準的な波形、図4に標準的な波形の発生源を示します。

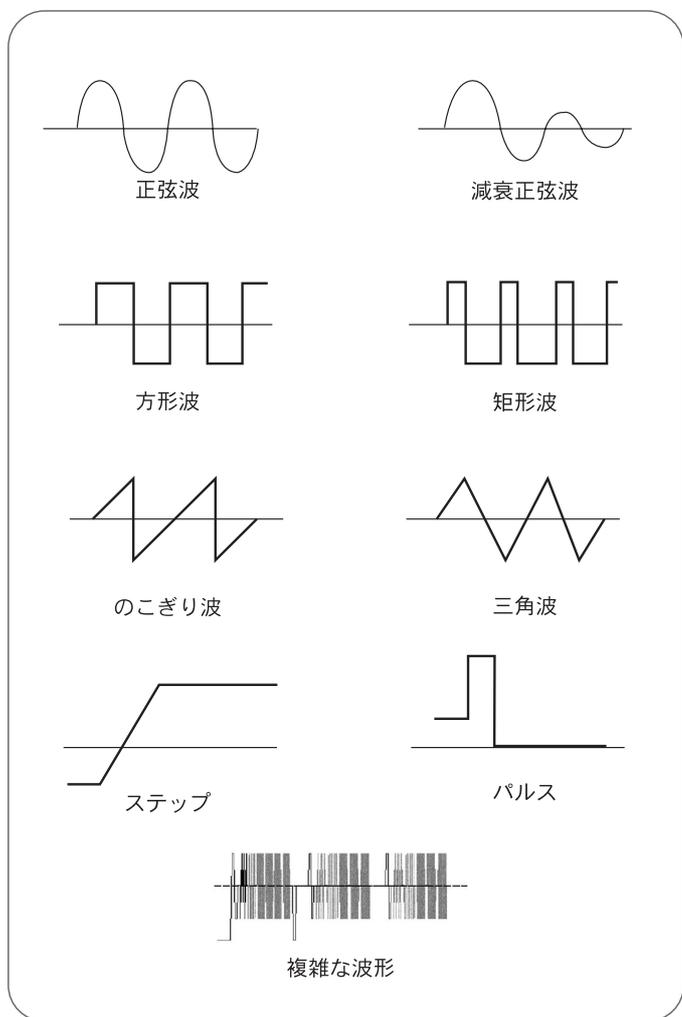


図3. 標準的な波形

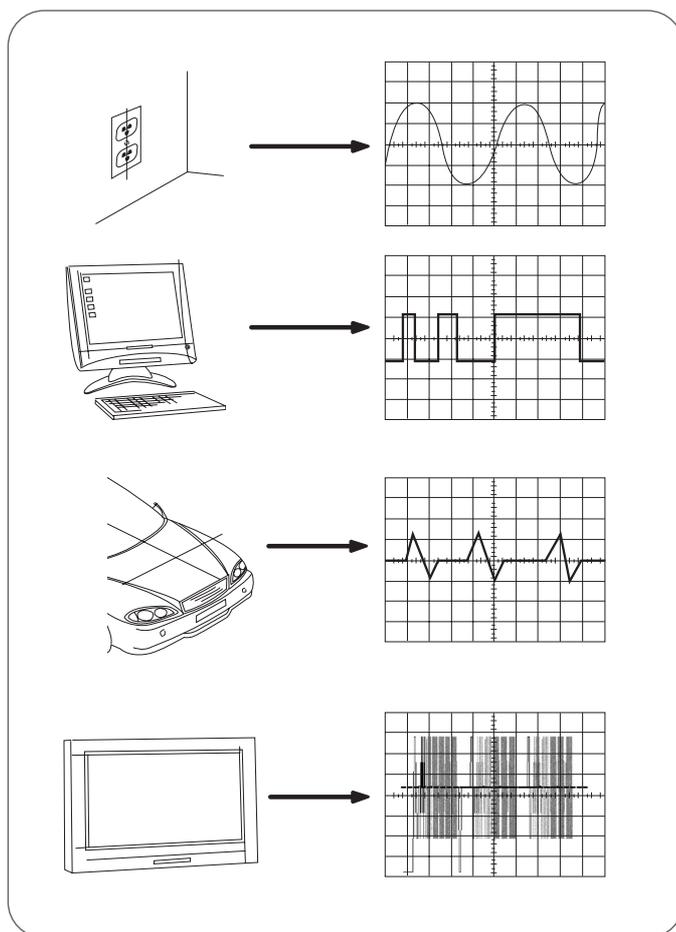


図4. 標準的な波形の発生源

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、矩形波
- 三角波、のこぎり波
- ステップ、パルス
- 周期信号、非周期信号
- 同期信号、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・ゼ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。AC電源にも正弦波を発生するものがたくさんあります。(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。図5に、正弦波と減衰正弦波の例を示します。

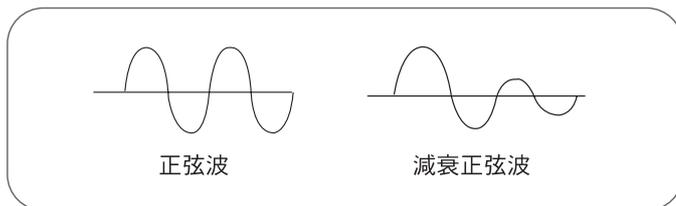


図5. 正弦波と減衰正弦波

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、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特に重要なものです。図6に方形波と矩形波の例を示します

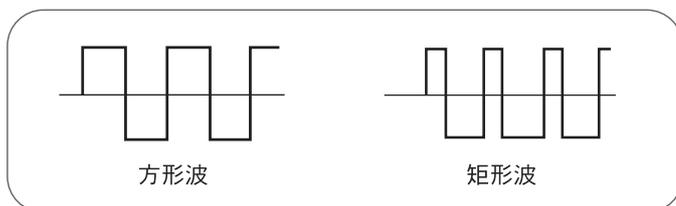


図6. 方形波と矩形波

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。図7に、のこぎり波と三角波の例を示します。

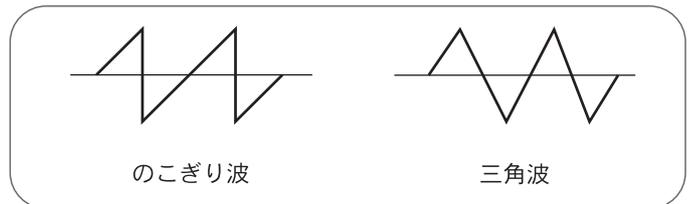


図7. のこぎり波と三角波

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、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。このほか、パルスはX線装置や通信機器でも使用されています。図8に、ステップ、パルス波形およびパルス列の例を示します。

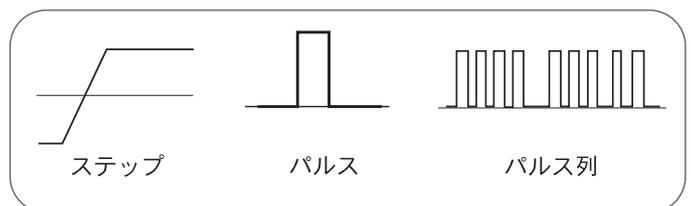


図8. ステップ、パルス波形およびパルス列

オシロスコープのすべて

▶ さらに詳しい入門書

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**しているといいます。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。

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のものもあり、多くのオシロスコープでは正確な測定が容易ではありません。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。たとえば、図9の信号は、通常のコムジット・ビデオ信号ですが、低周波の**エンベロープ**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、低周波と高周波の両方を視覚的に解析できるように、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9に示すビデオ信号のような複雑な波形を観測するには、アナログ・オシロスコープやデジタル・フォスファ・オシロスコープが最適です。これらの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り、これは真実の波形を理解する上で、非常に重要です。

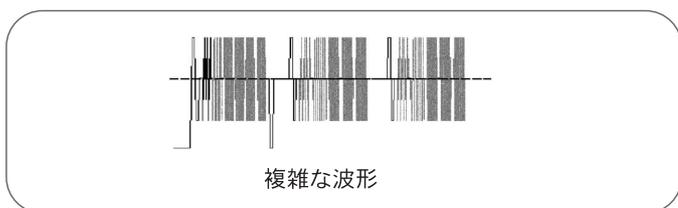


図9. 複雑な波形の例：NTSCコムジット・ビデオ信号

波形の測定

オシロスコープで実行されるさまざまな測定について次のような用語が使われます。この章では、一般的な測定と用語について説明します。

周波数と周期

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り返されるか（周期/秒）を示すものです。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/周期は周波数に、1/周波数は周期に相当します。たとえば、図10の正弦波は、周波数が3Hzで、周期が1/3秒です。

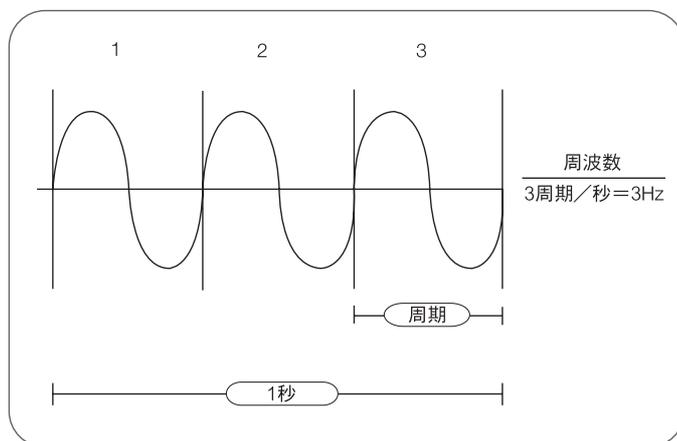


図10. 正弦波の周波数と周期

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））にとりませんが、ピーク間電圧（波高値から波低値まで）を測る場合などは必ずしもそうではありません。

振 幅

振幅は、通常、グランド（0V）からの最大電圧の値を指します。図11の波形は、振幅が1Vで、ピーク間電圧が2Vです。

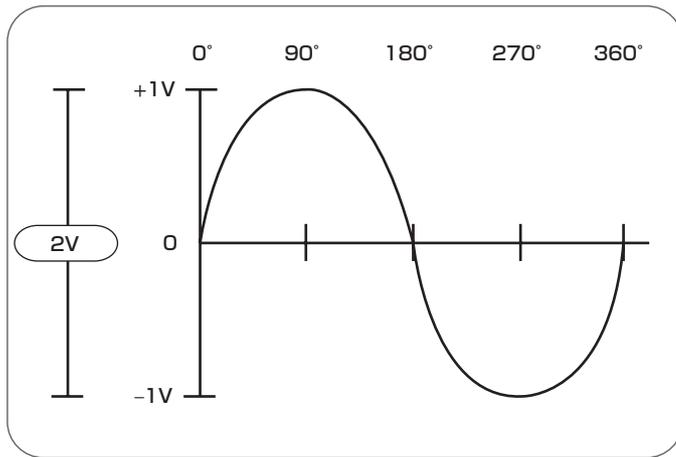


図11. 正弦波の振幅と位相

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11）。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12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、エレクトロニクスのフィールドではよく起こる現象です。

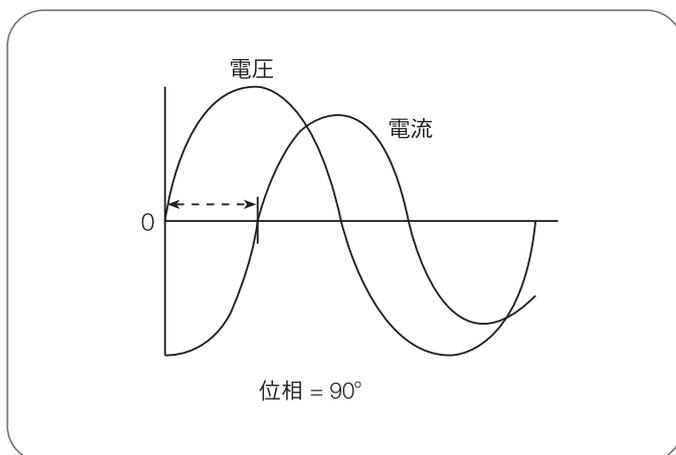


図12. 位相ずれ

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・サイクルなどの数学的計算も行えます。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。

デジタル・フォスファ・オシロスコープでは、自動波形測定により次のような項目を測定できます。

- | | | |
|----------|-----------|-----------|
| • 周期 | • +デューティ比 | • ハイ |
| • 周波数 | • -デューティ比 | • ロー |
| • +幅 | • 遅延 | • 最小 |
| • -幅 | • 位相 | • 最大 |
| • 立上り時間 | • バースト幅 | • オーバシュート |
| • 立下り時間 | • p-p | • アンダシュート |
| • 振幅 | • 平均値 | • 実効値 |
| • 消光比 | • サイクル平均値 | • サイクル実効値 |
| • 平均光パワー | • サイクル領域 | |

オシロスコープのすべて

▶ さらに詳しい入門書

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。たとえば、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。

多くの用途では、アナログ・オシロスコープと、デジタル・オシロスコープのどちらでも使用できますが、それぞれに固有の特徴があり、それに適した用途があります。デジタル・オシロスコープは、さらに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）、デジタル・サンプリング・オシロスコープに分類されます。

アナログ・オシロスコープ

アナログ・オシロスコープは、信号が入力されると、直接電子ビームをオシロスコープの管面（CRT）上で、左から右に動かすことにより連続的な波形を表示させています。CRTの裏面には、電子ビームが当たると光る蛍光体がコーティングされており、入力信号の電圧の大きさに応じて上下しながら、電子ビームは管面上を水平方向に移動し、波形を表示します。管面上で電子ビームが多く当たる部分は、他の部分よりも明るく表示されます。

アナログ・オシロスコープで表示できる周波数帯域は、CRTにより制限されます。非常に低い周波数では、信号がゆっくりと画面上を動き、1つの波形として捉えるのは困難です。

また、高い周波数では、CRTのライティング・スピードが問題となります。信号の周波数が非常に高くなると、CRTのライティング・スピードを超えてしまい、輝線が暗くなり見えなくなります。アナログ・オシロスコープの周波数の限界は、およそ1GHzです。

オシロスコープのプローブを回路に接続すると、入力信号はプローブを通してオシロスコープの垂直回路に伝えられます。

図13は、計測した信号が、アナログ・オシロスコープでどのように表示されるかを示します。電圧軸（V/div）の設定値に応じて、アッテネータは信号の電圧を減衰させ、増幅器は信号の電圧を増幅させます。

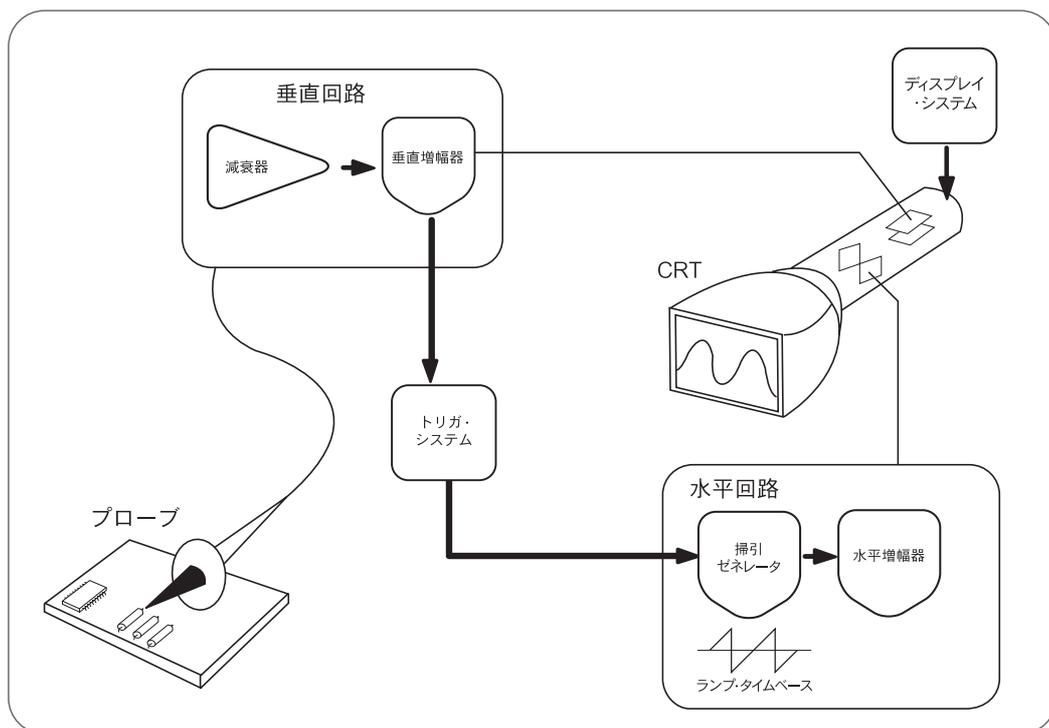


図13. アナログ・オシロスコープの構造

次に、信号はCRTの垂直偏向板に直接伝わります。偏向板に印加された電圧により輝点が管面上で動きます。電子ビームがCRTの蛍光面に当たり、この輝点となります。輝点は、プラスの電圧で上方に、マイナスの電圧で下方に動きます。

また、入力信号はトリガ回路に入り、**水平軸方向への掃引**が開始されます。水平軸掃引とは、輝点を管面上で水平方向に動かす水平回路の動作のことです。水平回路をトリガすると、水平軸タイムベースが起動し、設定によって決められた時間間隔で左から右へ水平方向に輝点が移動します。繰り返しが多いと（高速で何度も掃引すると）、輝点は輝線となり明瞭に表示されます。掃引回数は、速いものでは1秒間に50万回にもおよびます。

水平軸掃引と垂直偏向が組合されて、管面上に信号波形が表示されます。トリガは、繰り返し信号を安定して表示するために必要な機能です。毎回の掃引を、確実に繰り返し信号の同じポイントから開始させ、図14のような明瞭な信号波形を作ります。また、アナログ・オシロスコープでは、明瞭な輝線が描かれるように、フォーカスと輝度の調整を行えます。

高速に変化する信号をリアルタイムに表示したい場合は、一般にアナログ・オシロスコープが適しています。アナログ・オシロスコープの蛍光体を使用したCRTは、輝度を階調表示できる特性を持ち、頻度の高い信号ほど明るく表示されます。この輝度の階調を見ると、簡単に信号の詳細を観察できます。

デジタル・オシロスコープ

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、それを画面以上に波形として表示します（図15参照）。

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）、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。

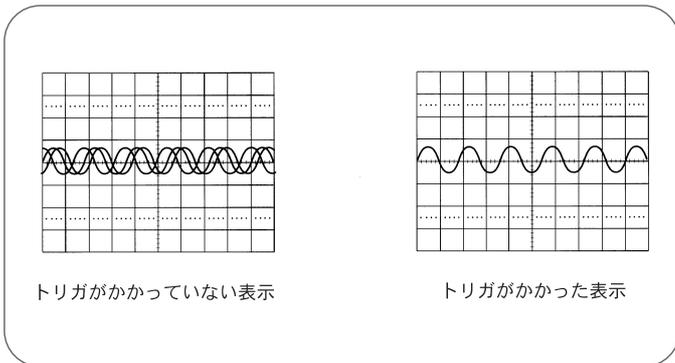


図14. トリガ機能による安定した繰り返し信号の表示

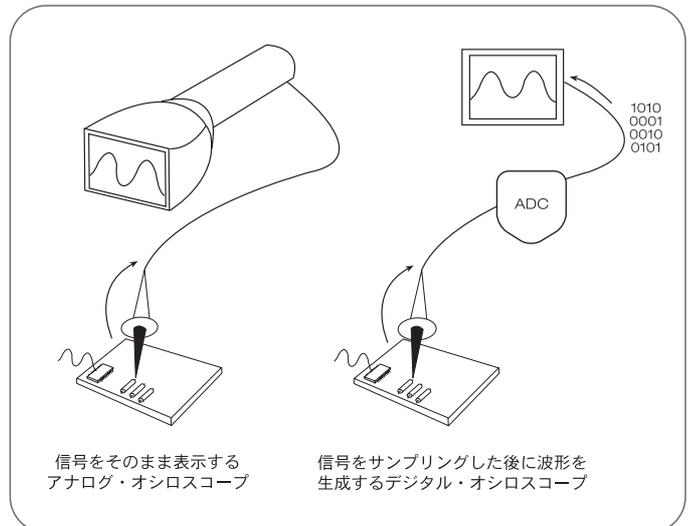


図15. 信号をそのまま表示するアナログ・オシロスコープと、信号をサンプリングしたあと波形を生成するデジタル・オシロスコープ

オシロスコープのすべて

▶ さらに詳しい入門書

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、単発現象、つまり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、分析、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。

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16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・プロセス構造

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があります。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。

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。

DSOは、多チャンネルに対して単発波形を捉えることができ、高いパフォーマンスを示します（図17参照）。DSOは、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、通常、技術者は同時に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。

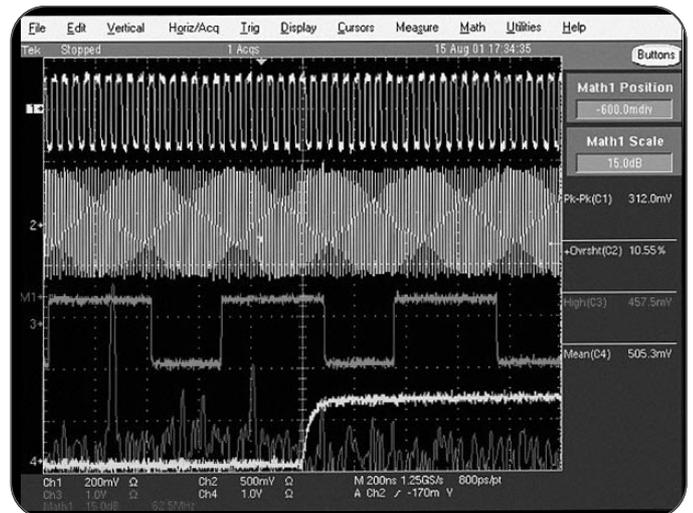


図17. TDS6000シリーズは、複数のチャンネルに対しても高速な単発信号の取込が可能なので、まれにしか発生しないグリッチや過渡的現象も高い確率で取込めます。

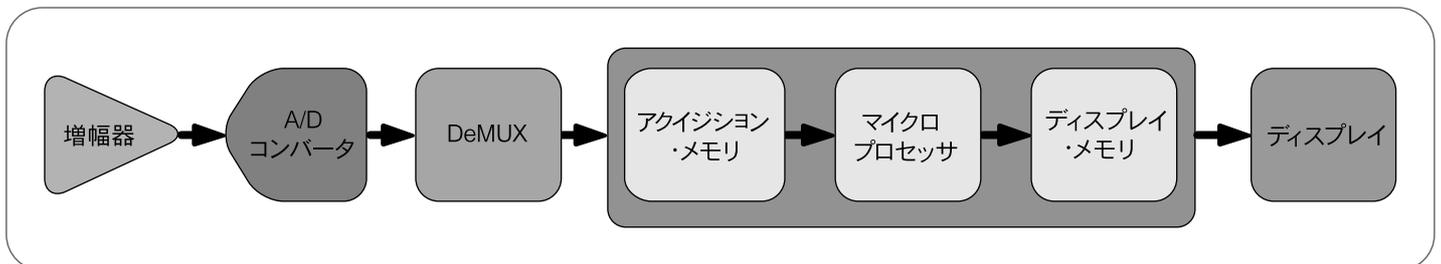


図16. DSO（デジタル・ストレージ・オシロスコープ）のシリアル・プロセス構造

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、類のない波形取込、波形表示を実現し、信号の正確な再構成が可能です。

DSOは、信号の取込、表示、解析をシリアル・プロセスで行うのに対し、DPOは図18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ハードウェアが組込まれているのが特徴で、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ます。次に、並列処理構造について説明します。

並列処理構造

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と同じようにA/Dコンバータが働きますが、しかし、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を捉えにくくなります。

表示更新レートを見ても、波形の取込の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。このとき、マイクロプロセッサのスピードが波形取込レートを制限してしまいます。

DPOは、デジタル化され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。

化学的蛍光体を使用するアナログ・オシロスコープとは異なり、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、常に連続して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)、その波形データは、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の階調表示と同様に、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・オシロスコープと異なり、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。

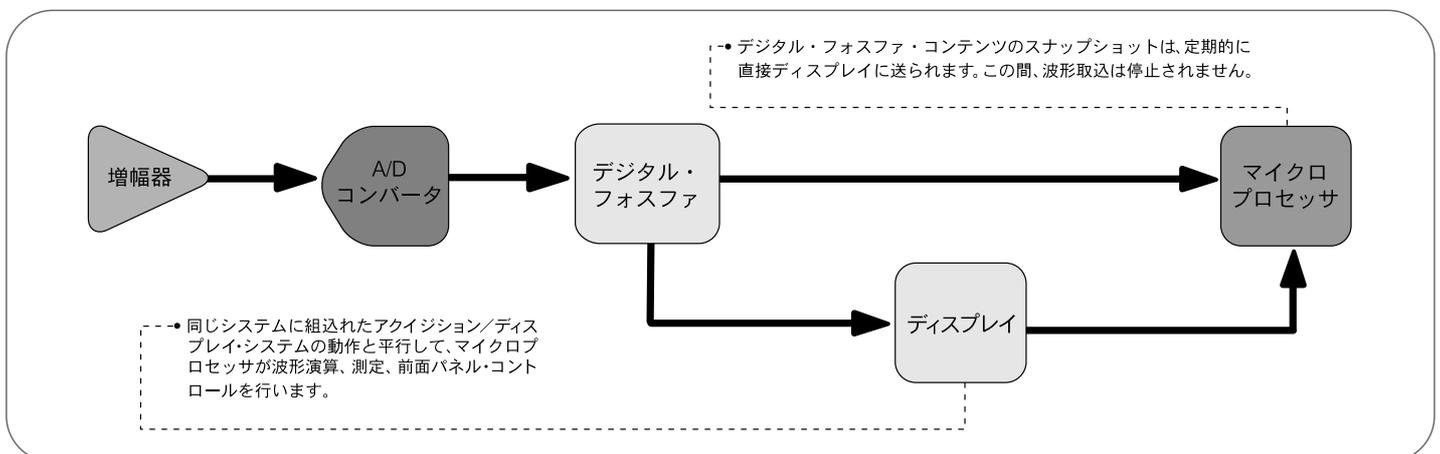


図18. DPO (デジタル・フォスファ・オシロスコープ) の並列処理構造

オシロスコープのすべて

▶ さらに詳しい入門書

DPOは、さまざまな場で、多目的設計およびトラブルシューティングを行うためのツールとして最適です（図19参照）。

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、繰り返し信号の設計、タイミング調節用途などに適しています。

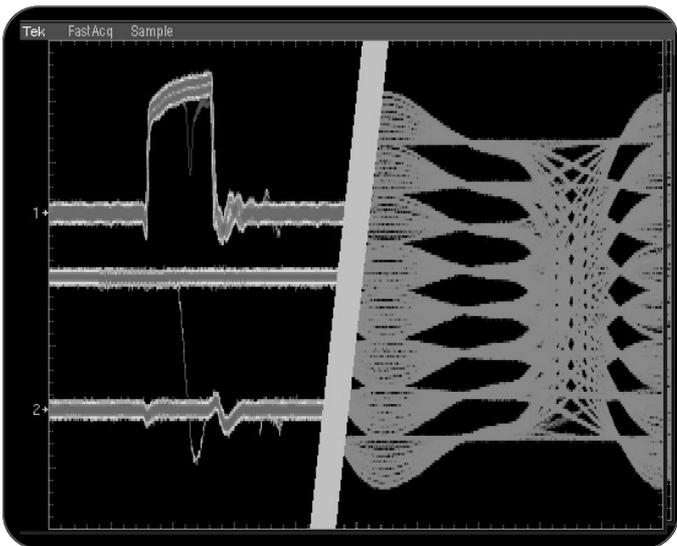


図19. DPOは、わずか数秒で数百万の波形を取込むことができるので、間欠的で捉えにくい現象を取込み、信号の動きを測定できる可能性が大幅に向上します。

デジタル・サンプリング・オシロスコープ

高周波信号を測定するときには、オシロスコープが1回の掃引で十分なサンプルを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、オシロスコープのサンプル・レートよりも周波数コンポーネントがかなり高い信号を正確に取込むのに最適です（図21参照）。このオシロスコープは他のオシロスコープに比べ、けた違いに速い信号でも測定できます。繰り返し信号については、他のオシロスコープの10倍の帯域幅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、50GHzまでの帯域幅が可能です。

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20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。

ところが、この高い帯域幅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、入力を測ることはできません。サンプリング・ブリッジは、常に入力の完全なダイナミック・レンジを処理できなければなりません。そのため、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・オシロスコープは50~100Vを扱えます。

また、帯域幅を制限することになるので、保護ダイオードをサンプリング・ブリッジの前に配置できません。これにより、サンプリング・オシロスコープへの安全な入力電圧は3V程度に小さくなります。他のオシロスコープでは、500Vの電圧でも問題ありません。

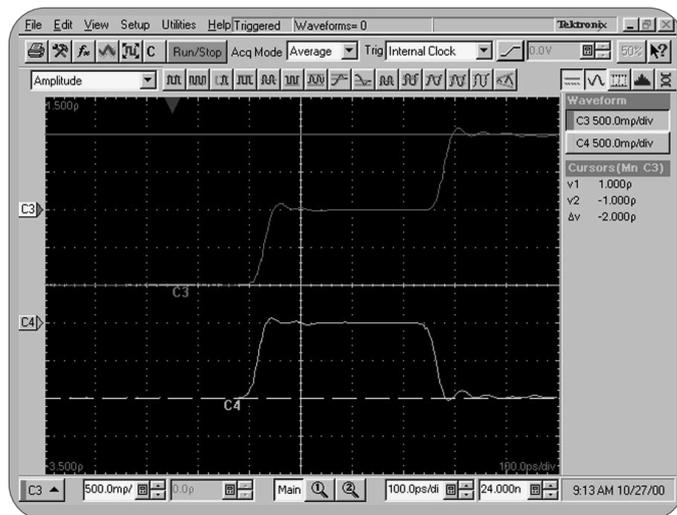


図21. TDS8000B型デジタル・サンプリング・オシロスコープおよび80E04型20GHzサンプリング・モジュールで表示したTDR（タイムドメイン反射計）

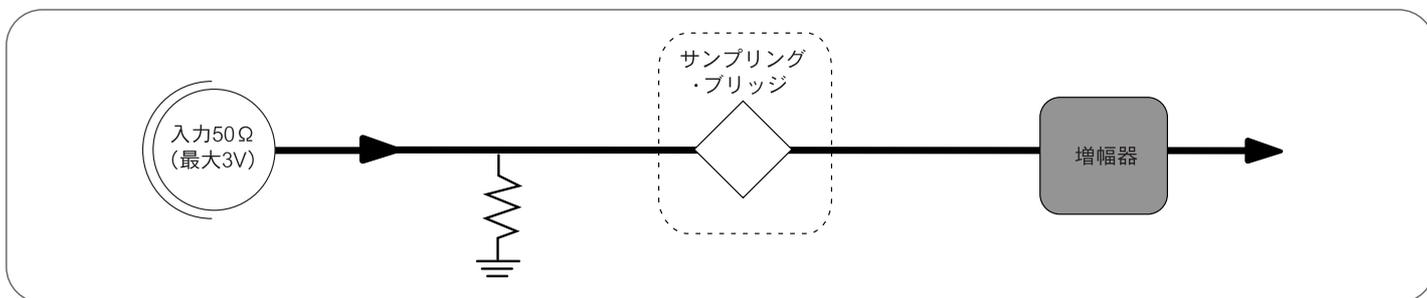


図20. デジタル・サンプリング・オシロスコープの構造

オシロスコープのシステムとコントロール

基本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つのシステムから構成されています。これらのシステムについて理解すれば、さまざまな測定目的で、オシロスコープを効果的に使用できます。信号を正確に再現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。

このセクションでは、アナログ・オシロスコープおよびデジタル・オシロスコープについて、基本的なシステムとコントロールを簡単に説明します。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、一部のコントロールが異なります。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コントロールが付いているかもしれません。

オシロスコープの前面パネルは、3つの主要セクション（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、別のセクションがあることもあります。図22に1つの例を示します。このセクションを読みながら、図22に示す前面パネル、およびお使いのオシロスコープで、1つ1つのコントロールを確認してください。

オシロスコープを使用する場合は、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。

- 信号の減衰、または増幅。V/div（垂直軸）コントロールを使用して、信号の振幅を設定します。
- 時間軸。s/divコントロールを使用して、画面水平方向の1目盛あたりの時間を設定します。
- オシロスコープのトリガ設定。トリガ・レベルを使用して、繰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。

垂直システムとコントロール

垂直軸の調整は、波形の上下の位置やサイズを変更するときに行います。また、入力カップリングなどの信号の調整にも使用され、これらの機能については、下で詳しく説明します。よく使われる垂直軸の調整機能には、次のものがあります。

- ターミネーション
 - 1MΩ
 - 50Ω
- カップリング
 - DC
 - AC
 - GND (0V)
- 帯域制限
 - 20MHz
 - 250MHz
 - 全帯域
- ポジション
- オフセット
- インバート（反転） - オン/オフ
- スケール
 - 1-2-5
 - 可変
- ズーム

ポジションと垂直軸

垂直軸ポジションを使用すると、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。一般的なオシロスコープであれば、およそ4mV～40Vの範囲の信号レベルを正確に表示できます。

V/divは、1目盛あたりの垂直軸感度（スケール・ファクタ）を表します。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の値を乗じた値となります。1:1、10:1どちらのプロブを使用するかも、スケール・ファクタに影響します。V/divの値をプロブの減衰比で割ると、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、可変利得または微細利得の制御機能がついています。立上り時間を測定するとき、この機能を使います。



図22. オシロスコープの前面パネル・コントロール・セクション

オシロスコープのすべて

▶ さらに詳しい入門書

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、すべての入力信号を表示します。ACカップリングは、信号の中のDC成分を遮断するので、信号は0Vを中心に表示されます。図23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。

グラウンドに設定すると、入力信号は垂直軸回路から遮断され、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グラウンドに設定すると、画面上に0Vを示す水平線が現れます。DCからグラウンドに切替えてまた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ついています。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削減して、クリーンな信号を見ることができます。帯域幅を制限すると、ノイズを減らすことができますが、同時に信号の高周波部分を削減することになります。

オルタネート表示モードとチョップ表示モード

アナログ・オシロスコープでは、複数のチャンネルの信号を表示するために、**オルタネート・モード**または**チョップ・モード**を使用します。（多くのデジタル・オシロスコープでは、モードの切替なしに複数のチャンネルの信号を同時に表示できます。）

オルタネート・モードでは、それぞれのチャンネルを、チャンネル1の掃引が完了したらチャンネル2の掃引を行い、次にまたチャンネル1の掃引を行うというように、交互に信号を表示します。オルタネート・モードは、時間軸の設定0.5ms/div以上の中速から高速の信号を測定する場合に適しています。

チョップ・モードでは、複数の信号を微細部分に分割して、切替えながら複数の波形を表示します。切替速度が速いので、人間の目には波形全体が見えます。チョップ・モードは、1ms/div以下の遅い掃引速度で信号を観測する場合に適しています。図24は、この2つのモードの違いを示したものです。多くの場合、両方のモードで表示してみて、よい方のモードを使用します。

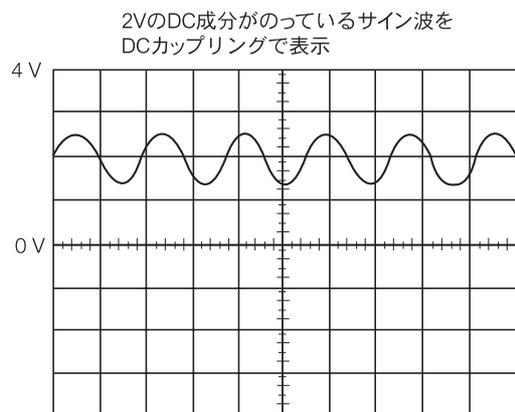


図23. AC/DC入力カップリング

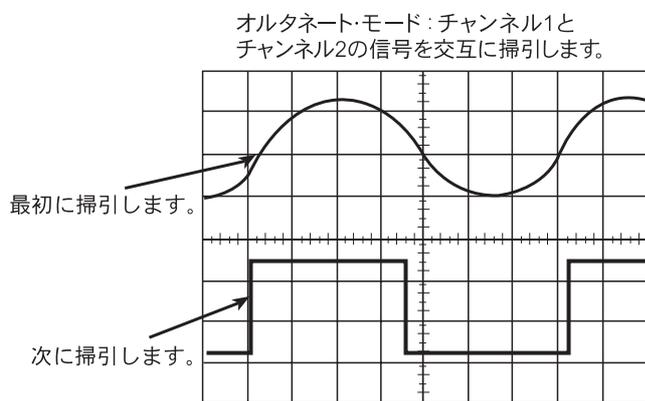


図24. 複数のチャンネルの表示モード

水平システムとそのコントロール

オシロスコープの水平システムは、サンプル・レートやレコード長といった入力信号のアクイジション方式と緊密に関連します。水平コントロールは、横方向に波形の位置を移動させたり、サイズを変更するときを使用します。水平軸コントロールとしてよく使われる言葉には、次のものがあります。

- メイン
- 遅延
- XY
- スケール
 - 1-2-5
 - 微調
- トレースの分離
- レコード長
- 分解能
- サンプル・レート
- トリガ位置
- ズーム

アクイジション・コントロール

デジタル・オシロスコープでは、信号を処理するためにいろいろな種類のアクイジション方法を選択できます。この部分の説明は、お手元のデジタル・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25は、アクイジション方法の例を示したものです。

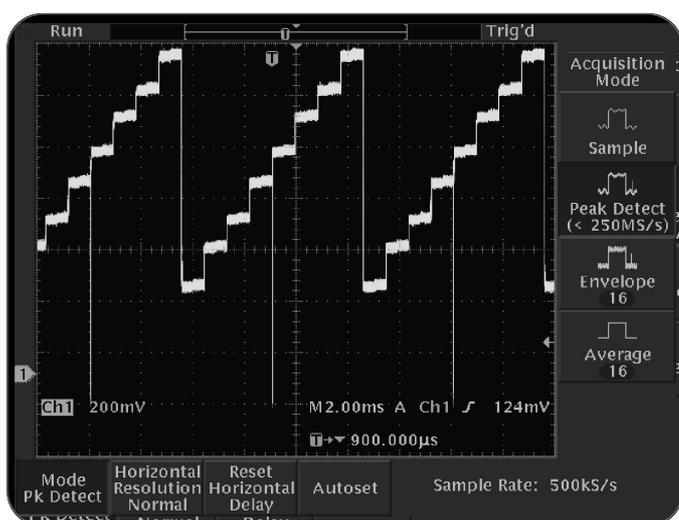


図25. アクイジション・メニューの例

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・ポイントからどのように波形ポイントを取得するかを決めます。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、アクイジション・モードによっては、1回の取込で取得した複数のサンプル・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得したサンプル・ポイントを合成する場合があります。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。アクイジション・モードについて説明します。

- **サンプル・モード**：最もシンプルなアクイジション・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得した複数のサンプル・ポイントから最大と最小のサンプル・ポイントを選び、対応する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、もしサンプル・モードであれば波形ポイント間に発生した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26）。ピーク・ディテクト・モードは、幅が狭く、発生間隔が長いパルスを捉えるのに、特に有効です（図27）。

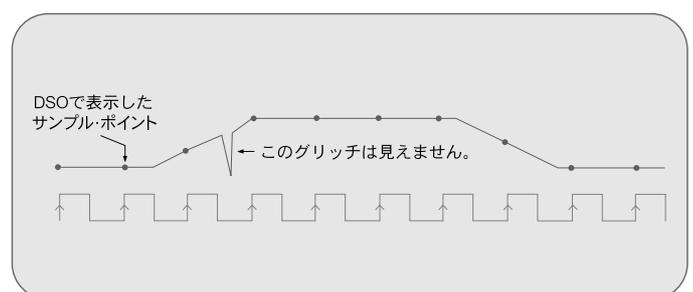


図26. サンプル・レートは、時間軸の設定によって異なります。時間軸をゆっくりと設定すれば、サンプル・レートも遅くなります。ピーク・ディテクト・モードを備えたデジタル・オシロスコープの中には、掃引速度が遅くても速い変化を捉えられるものがあります。

オシロスコープのすべて

▶ さらに詳しい入門書

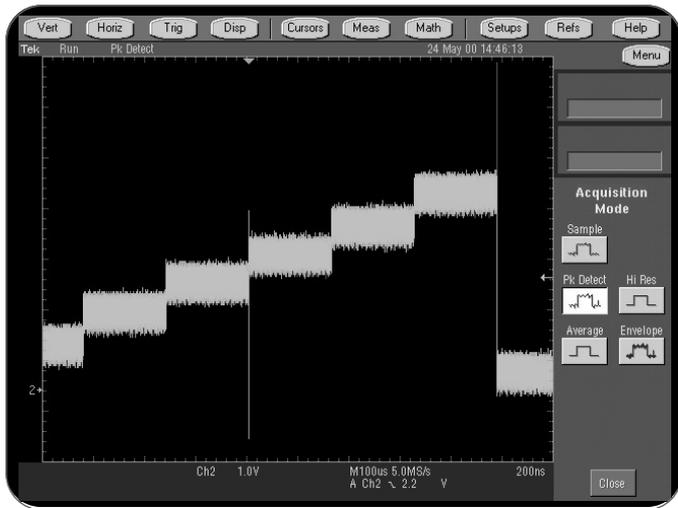


図27. TDS7000シリーズのピーク・ディテクト・モードでは、100psほどの非常に短時間の過渡的な波形でも捕捉できます。

- **ハイレゾ・モード**：ハイレゾ・モードでは、ピーク・ディテクト・モードと同じように、時間軸の設定によるサンプリング速度よりADCのサンプリング速度の方が速い場合に、数多く捉えた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・ポイントを取得し、その平均値を1つの波形ポイントとします。この結果、低速信号なら、単発信号でもノイズを減らして分解能を上げることができます。
- **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。繰り返して取込まれた複数回の波形データを各波形ポイント毎に計算し、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。
- **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、各波形インターバル毎に1つのサンプル・ポイントを保存します。連続するアキュイジションから取得した波形ポイント値をそれぞれのポイント毎に平均して、最終的な表示波形を求めます。アベレージ・モードでは、帯域幅の損失なしにノイズを減らすことができますが、連続信号が必要となります。

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、波形を捉えて記憶させ、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の分析ができます。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得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、通常このためのコントロールが、アキュイジション用コントロール部やトリガ用コントロール部についています。

サンプリング

サンプリングとは、保存、処理、表示するために、入力信号の瞬時値を個々の電気的な値に変換する処理です。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得した時点でのその信号の振幅に等しくなります。

サンプリングは、スナップショットを繰り返すことに似ています。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28を参照）。

図28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。

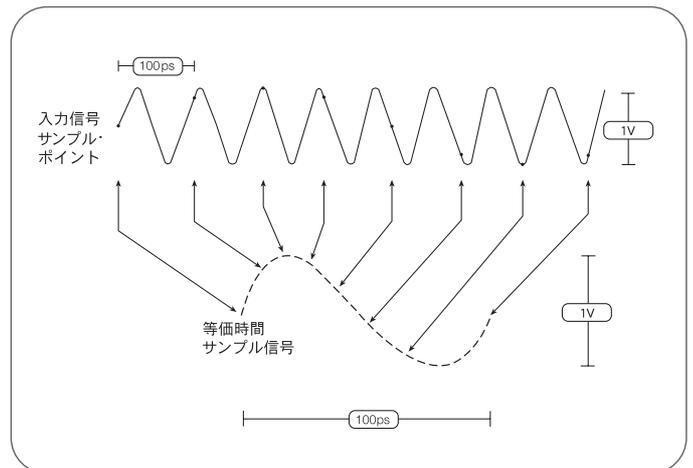


図28. 等価時間補間サンプリング：サンプル・ポイント間を補間によって補い、連続波形を作成します。

サンプリング・コントロール

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の、異なるサンプリング手法を備えているものがあります。このようなオシロスコープのアクイジション・コントロールでは、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回で全波形ポイントのデータの取込みに必要なサンプリング速度が、A/Dコンバータの最大サンプリング速度から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。

サンプリング手法

サンプリング技法には、いくつかの種類がありますが、最近のデジタル・オシロスコープは、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つの基本的な技法を採用しています。等価時間サンプリングは、さらにランダムとシーケンシャルの2種類に分けられます。どちらの手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。

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大サンプル・レートが信号の周波数成分の内最大の周波数に対し2倍以上あるときには、理想的な方法です。その場合には、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29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。

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にそれ以上高いサンプル・レートが必要となります。よって簡単には実現できません（図30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。

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。

レコード・ポイントを使って構成した波形

サンプル・レート

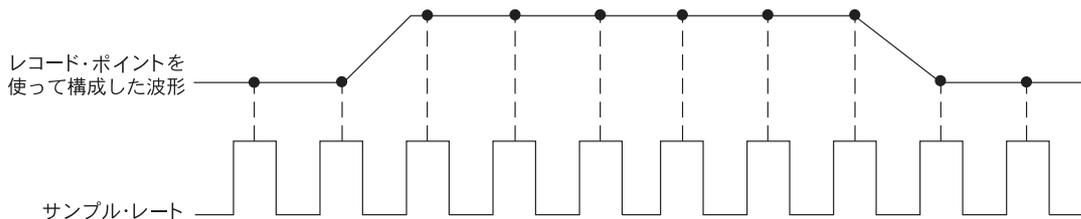


図29. リアルタイム・サンプリング手法

リアルタイム・サンプリング表示

入力信号

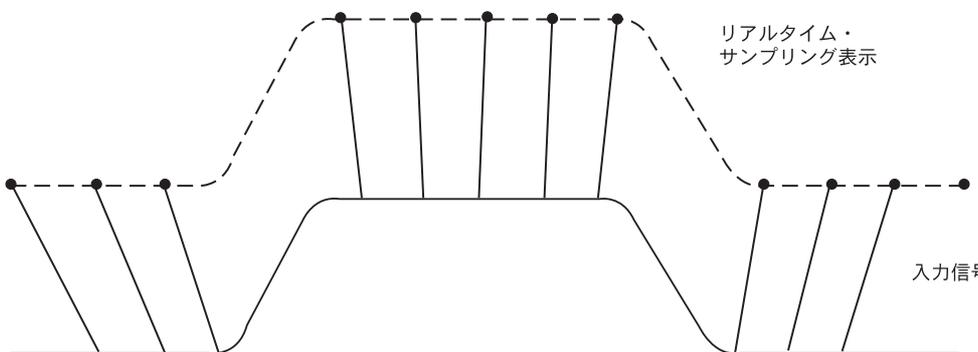


図30. この10nsのパルスをリアルタイムで捕捉するには、エッジ部を正確に表現するための高いサンプル・レートが必要です。

オシロスコープのすべて

▶ さらに詳しい入門書

●リアルタイム・サンプリングと補間

デジタル・オシロスコープは、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、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・サンプリングと補間を使用するときは、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、補間を使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構築するための処理技法の1つです。

直線補間では、サンプル・ポイント間を直線で結びます。この方法を使用するのは、図31に示した方形波のような角張った波形を補間するときに限定されます。

図31に示したように、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幅の3~5倍という用途では、サイン補間が適しています。

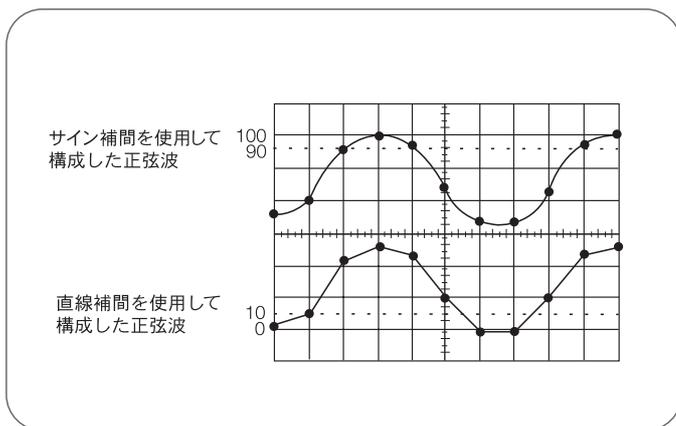


図31. 直線補間とサイン補間

等価時間サンプリング

高周波信号を測定するときには、オシロスコープが1回の掃引で十分なサンプルを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32に示したように動作します。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徴を利用しています。等価時間サンプリングでは、繰り返し信号に対し、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。それぞれの方法の特長を説明します。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、デイレイ・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精度が得られます。しかし、どちらの場合にも入力信号に反復性が必要です。

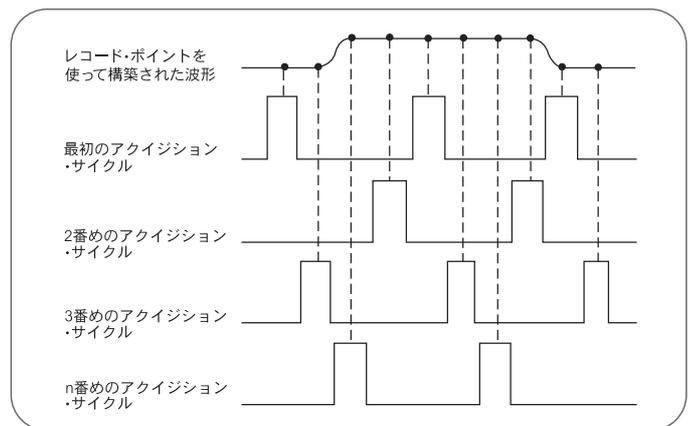


図32. 高速の繰返し信号を捉えるのに、等価時間サンプリングを採用しているオシロスコープもあります。

●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33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。

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ますので、波形のトリガ・ポイント以前の部分表示できる点で、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。

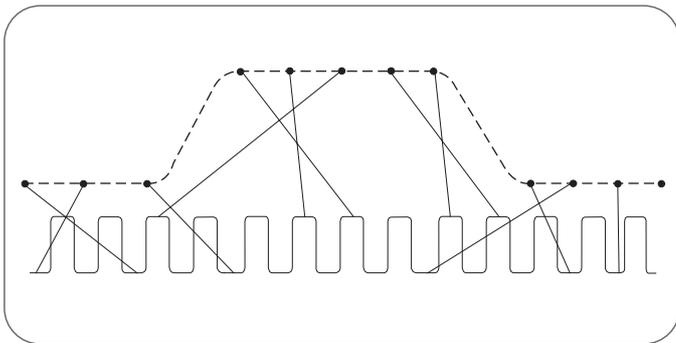


図33. ランダム等価時間サンプリングでは、サンプリング・クロックは、入力信号やトリガと非同期に動作します。

●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34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管理された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 」を非常に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幅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、帯域幅への影響はありません。

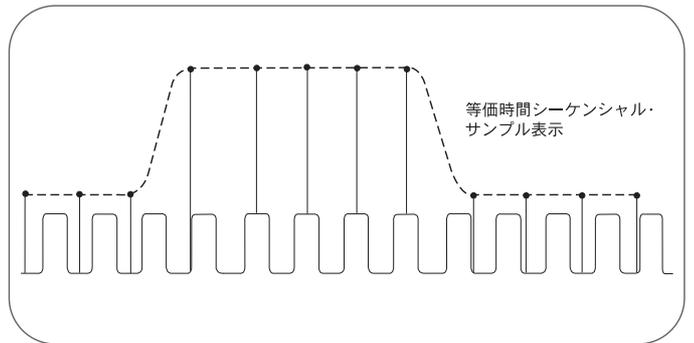


図34. シーケンシャル等価時間サンプリングでは、認識されたトリガごとに遅延時間を置いて1つのサンプルが取得され、この遅延時間はサイクルごとにインクリメントされます。

オシロスコープのすべて

▶ さらに詳しい入門書

水平軸ポジションと掃引時間

水平位置コントロールを使用すると、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

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。

DSO（デジタル・ストレージ・オシロスコープ）では、保存されているデジタル・データを使って拡大します。

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、この代わりに、水平軸に観測したい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の、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、これは信号の最頻発部分を示しています。この表示方法で、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）を配置したりもできます。

XYZモード

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。この場合には、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、特に便利です。

トリガ設定

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・コントロールにより、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、オシロスコープの画面上で入力信号の同じ部分を同じ位置に繰返し表示するので、波形を静止しているように見ることができます。トリガをかけないと、掃引が信号上の異なった点で開始されるので、図35に示したように静止できず、横方向にふたつくような表示になります。

一部のオシロスコープは、特別な通信信号を検査するためのコミュニケーション・トリガを持っています。また、一部のオシロスコープは、直感的なユーザインタフェースを備えていて、テスト・セットアップを使うことにより、効率的にトリガ・パラメータを設定できます。

5チャンネル以上の信号を使ってトリガをかけるときには、ロジック・アナライザからトリガをもらう手法があり、有効なツールとなります。以上のような効果的なテスト測定機器についての詳細な説明は、入門書『XYZs of Logic Analyzers』をお読みください。

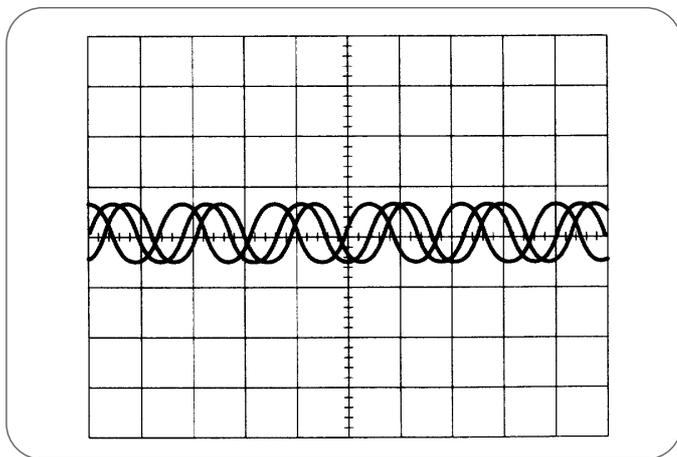


図35. トリガがかかっていない波形表示

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。この設定スレッシュールド電圧を波形がクロスす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。このような特別なトリガ機能は、特別な入力信号に対処するためのもので、たとえば通常より狭いパルスを簡単に検出することさえできます。このようなパルスは、電圧スレッシュールドで発生するエッジ・トリガだけでは捉えられません。

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き、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。

オシロスコープのすべて

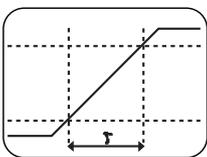
▶ さらに詳しい入門書

トリガ・ポジション

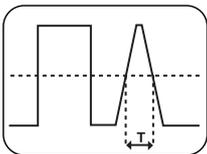
水平トリガ位置コントロールは、デジタル・オシロスコープだけで提供される機能です。このコントロールは、通常はオシロスコープの水平調整部にあります。これは、実際には波形レコードの水平トリガ位置を調整します。

水平トリガ位置を変更すると、プリトリガ・ビューと呼ばれる、トリガ・イベントの前の信号の状態を捉えることができます。これにより、トリガ・ポイント前後の観測可能な信号の長さがわかります。

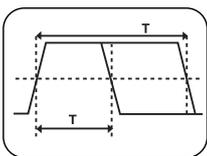
デジタル・オシロスコープは、トリガがかかるかどうかにかかわらず常に入力信号を処理しているので、このようなプリトリガ観測が可能なのです。データが常にオシロスコープの中を流れていて、トリガは単にそのデータをメモリに保存するタイミングを指定しているだけです。



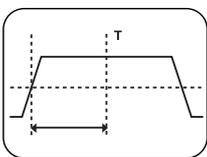
スルー・レート・トリガ。スルー・レートが予想した以上に、あるいは必要以上に速い高周波信号は、強いエネルギーを放射してトラブルを発生することがあります。スルー・レート・トリガは、時間の要素を追加して、エッジ部の立上り時間を条件にしてトリガをかけられるので、従来から使用されているエッジ・トリガよりも優れています。



グリッチ・トリガ。グリッチ・トリガは、デジタル・パルスがユーザが設定したタイム・リミットよりも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、めったに起こらないグリッチが発生しているかどうかを調べたり、そのようなグリッチが発生したときの他の信号に与える影響を調べたりできます。



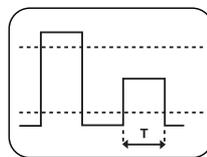
パルス幅トリガ。パルス幅トリガを使うと、制限時間なしに信号を観察し、パルス幅（または周期）が許容範囲外になった時にトリガするように設定できます。



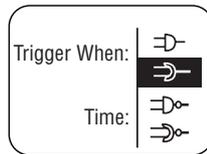
タイムアウト・トリガ。タイムアウト・トリガを使うと、波形変化のない時間を条件にしてトリガをかけられ、トリガ・パルスの終了を待たずにトリガできます。信号波形が途切れた場合にトリガをかけることもできます。

これと違ってアナログ・オシロスコープの場合には、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観測機能はありません。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可能です。

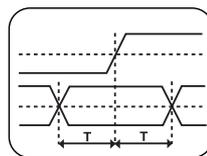
プリトリガ観測は、トラブルシューティングに非常に効果的です。問題がときどき発生する場合は、その問題をトリガし、その原因となる波形を記録・解析すると、問題を解決できる可能性があります。



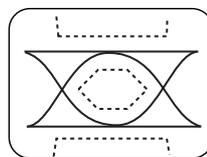
ラント・パルス・トリガ。ラント・トリガは、2つのロジック・スレッシュホールドを設定して、1つのみを超えるパルスが発生すると、トリガがかかります。パルス振幅に小さな波形にトリガをかけることができます。



ロジック・トリガ。ロジック・トリガは、使用可能な複数の入力チャンネルの論理値が設定された論理値と一致したときにトリガします。デジタル・ロジックの動作を検証するときに非常に効果的です。



セットアップ／ホールド・トリガ。遵守しなければならないセットアップ／ホールド時間に合わない動作が発生するとトリガをかけます。他のトリガモードでは見つけるのは困難です。このトリガ・モードでは、クロックに対して、同期データ信号が遵守しなければならないセットアップ／ホールド時間と食い違った場合に、信号の形とタイミングの詳細を捉えることができます。



コミュニケーション・トリガ。一部のオシロスコープにオプション機能として付属しています。このトリガ・モードは、AMI (Alternate-Mark Inversion)、CMI (Code-Mark Inversion)、NRZ (Non-Return to Zero) の広範な通信信号を対象とします。

トリガ・レベルとスロープ

トリガ・レベル・コントロールとスロープ・コントロールを使うと、基本的なトリガ・ポイントを定義でき、波形の表示方法を決められます(図36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ついて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に信号をいれておき、この設定に合致するものが発生すると、オシロスコープがトリガをかけます。

- スロープ・コントロールを使って、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・コントロールで、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。

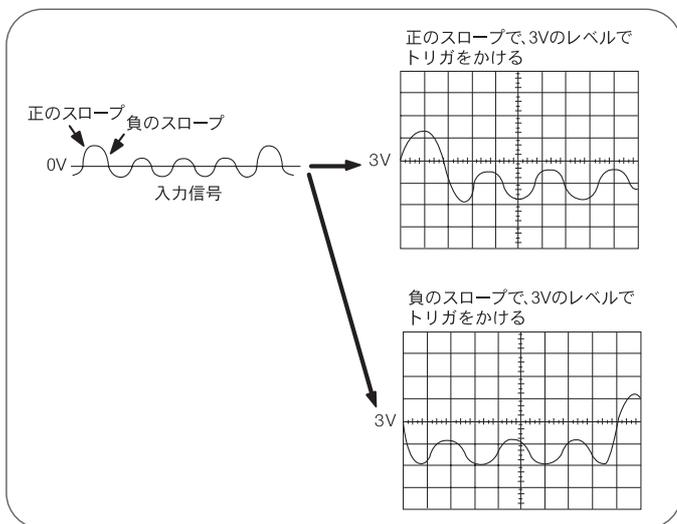


図36. 正と負のスロープでのトリガ

トリガ・ソース

オシロスコープは、必ずしも画面に表示されている信号にトリガをかける必要はありません。以下のようなさまざま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
- 入力チャンネル以外の外部入力
- 電源ライン
- 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

通常は、画面に表示されているチャンネルにトリガを設定した状態でオシロスコープを使用します。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ので、チャンネル2を表示しながら、うっかりチャンネル1にトリガをかけてしまうことのないように注意してください。

トリガ・モード

トリガ・モードでは、オシロスコープで信号の状態に基づいて波形を表示するかどうかを指定できます。よく使われるトリガ・モードには、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ります。ノーマル・モードでは、最初、トリガ・レベル・コントロールがうまく調節されていないと何も表示されないのが、判断しにくいことがあります。

オシロスコープは、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、たとえば信号の振幅が小さくてトリガがかからなくても、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を表示したい場合はノーマル・モード、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では、シングル・トリガ、ビデオ信号に対するトリガ、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

垂直システムでACカップリングかDCカップリングを選択できるように、トリガ信号についてもカップリングの種類を指定できます。

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。このような特殊機能は、トリガ信号からノイズを除去して、誤トリガを防止するのに有効です。

オシロスコープのすべて

▶ さらに詳しい入門書

トリガ・ホールドオフ

日常の使用において、信号の意図した箇所での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、オシロスコープが次の有効なトリガを発生させるまでの、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。そして次の信号サイクルの直前で禁止を解き、トリガがかかるようにします。図37は、トリガ・ホールドオフを使用して、上手くトリガをかけた場合の例を示したものです。

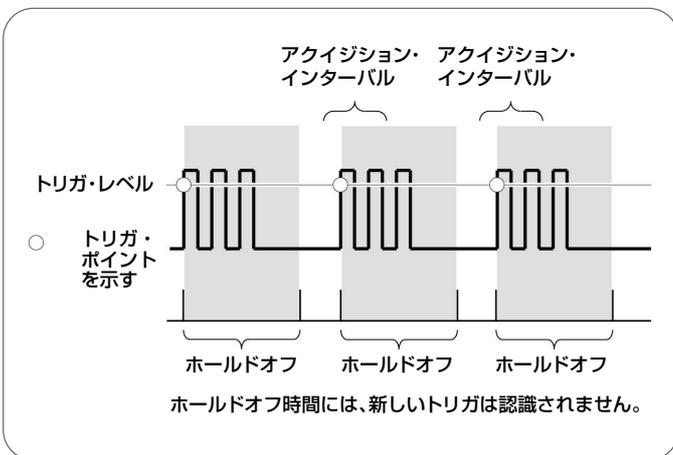


図37. トリガ・ホールドオフ

ディスプレイ・システムとコントロール

オシロスコープの前面には、ディスプレイ・スクリーンおよびツマミ、ボタン、スイッチ、インジケータがあり、これらを使用して信号の取込や表示に関する調整を行います。このセクションのはじめの方で説明したように、前面パネル上のコントロール機能は大別して、**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部分をみると、画面上に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。オシロスコープの設定（V/divやs/div）では、常にこの1目盛が基準となります。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38参照）。

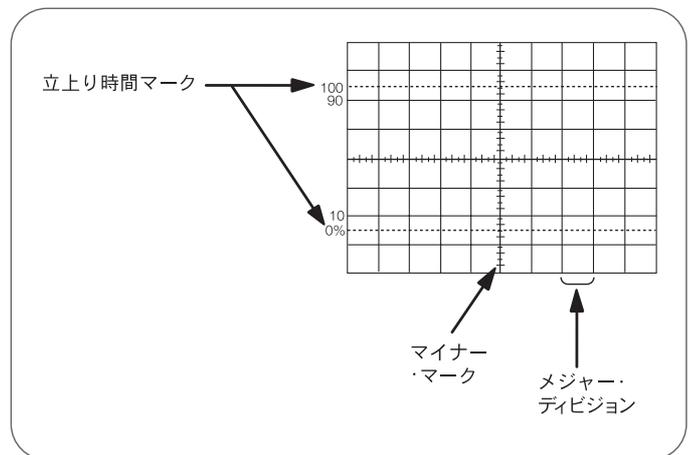


図38. オシロスコープの目盛

ディスプレイ・システムは、アナログ・オシロスコープとデジタル・オシロスコープで別のものが使用されます。一般的なコントロールには、次のものがあります。

- 波形の輝度を調整するための輝度コントロール。特にアナログ・オシロスコープでは、掃引速度を上げていくと、輝度レベルも上げる必要があります。
- フォーカス・コントロールは、波形のシャープネスの調整に使用し、トレース・ローテーションは、トレースを画面の水平軸に合わせるために使用します。アナログ・オシロスコープは、直接ビームを走査するベクトル・ディスプレイを使用しているので、トレースは地磁気の影響を受け、設置場所によってはトレースの傾きが生じる場合があります。デジタル・オシロスコープのディスプレイは、ラスタ表示またはLCD表示なので、パソコンのディスプレイと同じように画像として波形を描くため、上記のコントロールは必要ありません。多くのDSOやDPOでは、カラー・パレット・コントロールを使用して、トレースのカラーと輝度の濃淡のレベルを選択することができます。
- そのほかにも、目盛の明るさを調整したり、メニューなどの画面情報をオン、オフしたりするためのコントロールがあります。

オシロスコープのその他のコントロール

数学的な演算と測定操作

オシロスコープの中には、複数の波形を合成したり、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アナログ的に直接加算・減算するのに対し、デジタル・オシロスコープは数学的に新しい波形をデジタル演算により作成します。たとえば2チャンネル間で波形を差し引くという数学的演算も、アナログ・オシロスコープでは、一方のチャンネルに対して極性反転機能を使用し、他方チャンネルとの加算を行うことによって実行します。一方、デジタル・オシロスコープでは、通常減算機能が備わっていますので、減算を指定するだけですみます。

図39は、2つの異なった信号を合成して、第3の波形を作り出した様子を示しています。

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数多くの、高度な数学的計算が可能です（乗算、除算、積分、高速フーリエ変換など）。

ここまで、はじめてオシロスコープを使用する方々に対し、必要かつ基本的な調整機能について説明しました。ご使用になるオシロスコープの中には、上記以外のさまざまな機能やそれに対するコントロールを備えた機種もあります。次のようなコントロールも、一般的です。

- 自動パラメータ測定
- 測定カーソル
- 数学演算やデータ入力用のキーパッド
- 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

ご使用のオシロスコープを詳しく調べ、またマニュアルを読むと、上記以外の機能に関する情報を得ることができます。

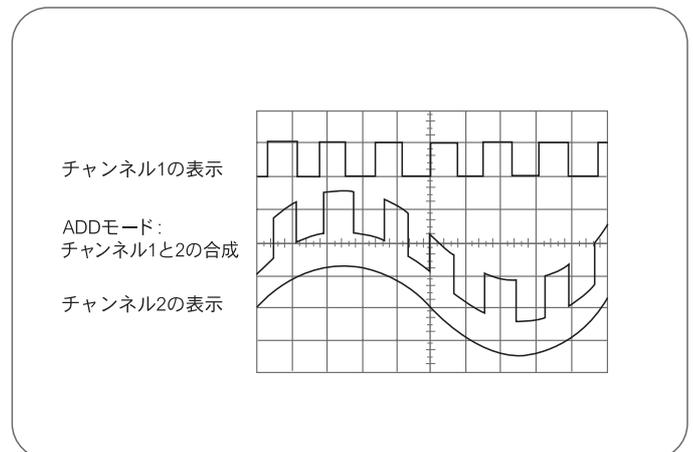


図39. チャンネルの合成

オシロスコープのすべて

▶ さらに詳しい入門書

完全な測定システムの構築

プローブ

どれほど優れた機器でも、そこに入力されるデータ以上に精密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。正確な測定は、まずプローブの先端からはじまります。オシロスコープと被測定装置 (DUT) の間に、最適なプローブを使用すれば、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、信号を増幅し、保存することにより、高い信頼性と正確な測定結果を得ることができます。

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幅の5倍以上の周波数帯域幅を持つプローブを選ぶ必要があります。

実際に使用するとプローブは回路の一部となり、**抵抗負荷、容量負荷、誘導負荷**となるので必然的に測定結果に影響を与えます。したがって、正確な測定結果を得ようとすれば、できるだけ負荷の小さい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、使用している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。DUTにプローブを接続する場合、もう1つ考慮しなければならない重要な要素は、プローブのサイズです。小型のプローブであれば、最近の高密度実装回路にも容易に接続可能です (図40を参照)。

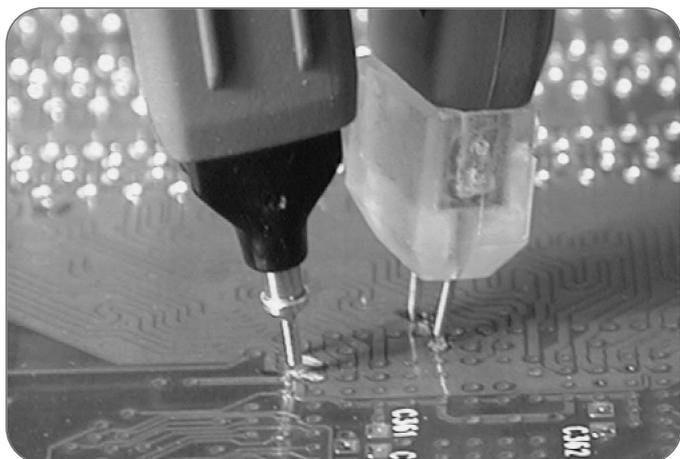


図40. 高密度デバイスやシステムには、小型のプローブが必要になります。

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非常に重要なコンポーネントであるプローブについての詳しい説明は、入門書『ABCs of Probes』をご参照ください。

受動プローブ

一般的な信号および電圧レベルを測定する場合は、**受動プローブ**は使いやすいだけでなく、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、それらは10:1、100:1のように表示されます。習慣上減衰比は、たとえば10:1のアッテネータ・プローブのように、数字の後ろに「:1」を付け加えます。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）のアッテネータ・プローブは、1:1のプローブに比較し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のアッテネータ・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に減少してしまいます。

10:1アッテネータ・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のアッテネータ・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。減衰回路を除けば、10:1のアッテネータ・プローブと同じようなものです。減衰回路がないことにより、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。通常の目的には10:1のアッテネータ・プローブを使用し、低速・小振幅の信号のために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のアッテネータを切替えられるタイプの、便利な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ときには、適した設定に切替わっているかを、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は、接続されたプローブが1:1か10:1かを検出して、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コントロールの表示を元に、計算しながら使用する必要があります。

10:1アッテネータ・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整合させることにより、最適な接続を行うことができます。10:1のアッテネータ・プローブを使用するときには、個々のオシロスコープについてこの整合をとる必要があります。この調整作業をプローブの補正と呼び、この入門書の「オシロスコープの操作」のセクションに詳しい説明があります。



図41. 標準的なタイプの受動プローブと付属のアクセサリ

受動プローブは、一般的な測定に適しています。ところが汎用の受動プローブは、非常に速い立ち上がり時間の信号を正確に測定するには適しておらず、また影響を受けやすい回路に過剰の負荷を与える可能性があります。一般に信号のクロック・レートに追従してエッジ速度も上昇していくため、負荷の小さい高速プローブが求められています。高速のFET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。

オシロスコープのすべて

▶ さらに詳しい入門書

FETプローブと差動プローブ

最近では、信号速度が上り、ロジック・ファミリの電圧が下がったため、正確な測定結果を得ることが困難となっています。信号の忠実なピックアップとデバイスへの負荷の影響は非常に重要微妙な問題です。このように信号が高速化した時代では、完全な測定を行うには、オシロスコープのパフォーマンスにマッチした高速かつ、高い忠実性を有したプローブが必要です（図42参照）。

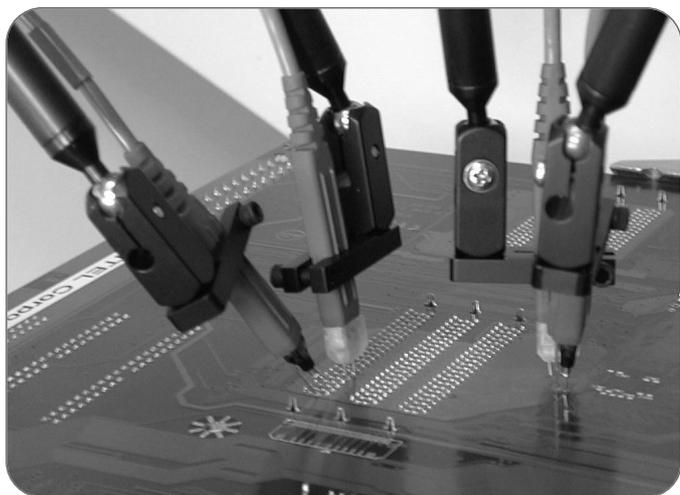


図42. 今日のコンピュータ・バスやデータ伝送線路で使用されている、高速クロックやエッジを測定するには、ハイ・パフォーマンス・プローブが必要です。

FET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信号の忠実な伝送を達成しています。速い立ち上が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と確度の高い結果を得られます。

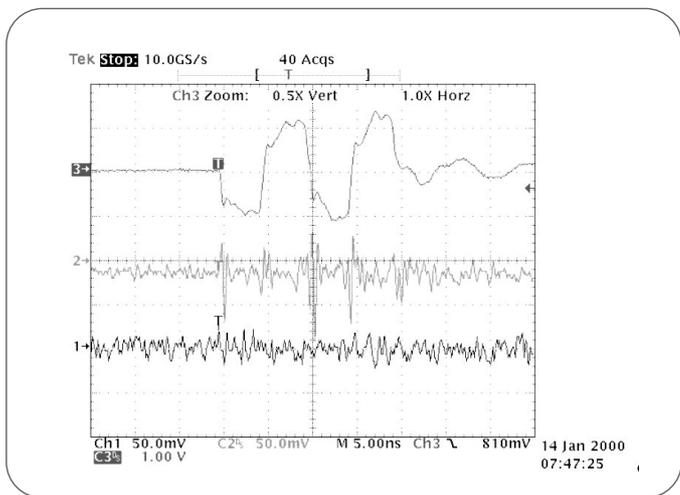


図43. 差動プローブは、今日の高速度、低電圧用途で使用される信号から共通モード・ノイズを分離できることは、特にデジタル信号が集積回路内でノイズ限界以下にまで下がって来た近年では特に重要になってきています。

プローブのアクセサリ

最近の多くのオシロスコープでは、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ます。インテリジェントなインターフェースを持ったプローブでは、プローブを測定機器に接続すると、オシロスコープにプローブの減衰ファクタが知らされます。これにより、画面上の表示が調整され、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、プローブの種類が受動か、能動か、電流かを判別するインターフェースもあります。インターフェースが、プローブのDC電源の役割を果たす場合もあります。能動プローブは、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。

グラウンド・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、さらに高速信号測定時における信号接続を完全に近づけることができます。グラウンド・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ウンド・リード間の距離を自由に設定することができます。

プローブのアクセサリについての詳しい説明は、当社発行のプローブ入門書『ABCs of Probes』をご参照ください。



図44. TekConnectインターフェースを使用すると、10GHzまで信号の完全性を保持でき、今後の帯域幅に対する要求に応えられます。



図45. SF200Aシリーズ・SF500シリーズ・シュアフィット・アダプタは、リードの短いプローブ先端を、集積回路上の目的のピンへ、高い信頼性を持って接続ができます。

性能に関する用語

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、その観測と分析を可能にします。カメラの場合には、シャッター・スピード、採光条件、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与える場合があります。

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、使用目的に合致し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、ご使用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

オシロスコープの信号を測定する基本的な性能は、周波数帯域によって決まります。信号の周波数が高くなると、オシロスコープが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の点) まで減衰する周波数によって示されます。

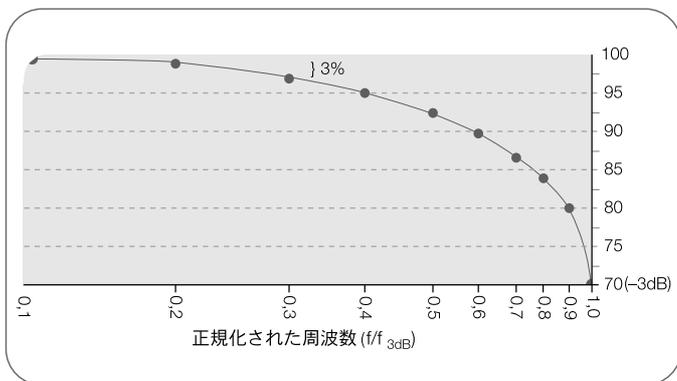


図46. オシロスコープの周波数帯域は、入力された正弦波信号が、その本来の振幅の70.7% (-3dBの点) まで減衰周波数で表示されます。

十分余裕のある周波数帯域の製品を使用しないと、オシロスコープは高い周波数成分の変化を正確に分解表示できないばかりか、振幅が歪んでしまいます。また、エッジも消えてしまい、詳細な波形を描けません。したがって、十分余裕のある周波数帯域の製品を使用しないで波形を観測した場合、あまり意味がない結果となるので注意が必要です。

5倍ルール：必要とされるオシロスコープの周波数帯域 = 測定信号に含まれる最も高い周波数成分 × 5

正確な振幅測定を行うための必要な周波数帯域を決めるには、「5倍ルール」を適用します。

5倍ルールを使ってオシロスコープを選択すると、誤差は±2%以下となり、通常の目的にはこの確度で十分です。ただし、信号速度が速くなると、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47を参照)。

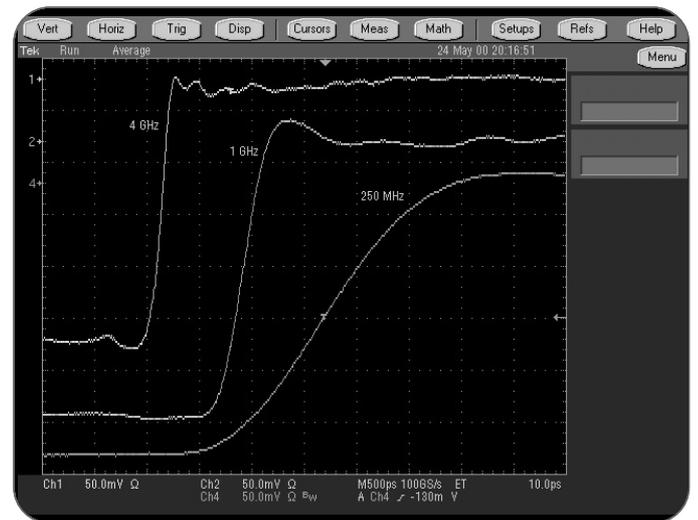


図47. 周波数帯域が高くなるほど、信号波形をより正確に表示できることを示したもので、250MHz、1GHz、4GHzの周波数帯域で取込んだ例です。

オシロスコープのすべて

▶ さらに詳しい入門書

立上り時間

デジタル信号の世界では、立上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は、立上り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上り時間を有している必要があります。

立上り時間は、オシロスコープの周波数帯域から表すことができます。

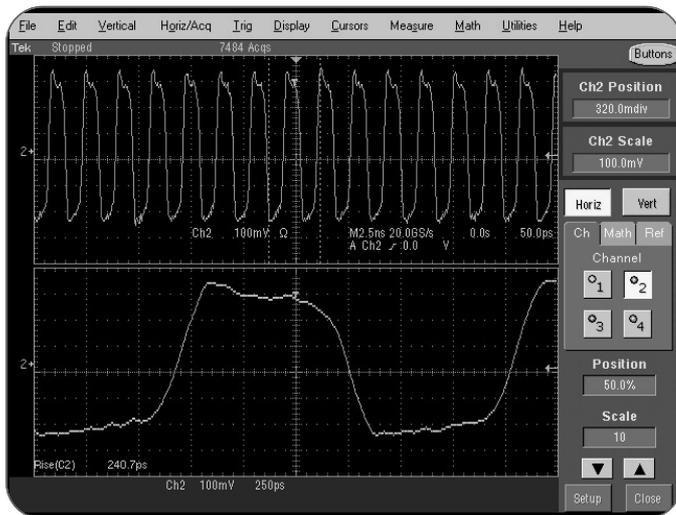


図48. 高速デジタル信号の立上り時間特性

信号の種類に応じたオシロスコープの立上り時間を計算するには、次の式を使います。

$$\text{必要なオシロスコープの立上り時間} = \text{測定信号の最も速い立上り時間} \div 5$$

オシロスコープの立上り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、立上り時間が速いほど、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、信号の立上り時間しかわからない場合もあります。

その場合には、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上り時間の関係を知ることができます。

$$\text{周波数帯域} = \frac{k}{\text{立上り時間}}$$

定数kの値は、0.35から0.45の範囲であり、これは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。

図49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。

ロジック・ファミリ	立上り時間 (Typical)	計算上の周波数帯域
TTL	2ns	175MHz
CMOS	1,5ns	230MHz
GTL	1ns	350MHz
LVDS	400ps	875MHz
ECL	100ps	3,5GHz
GaAs	40ps	8,75GHz

図49. 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れほどの頻度で信号のサンプルを取得するかを示します。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50を参照)。また、長い時間でゆっくり変化する信号を測定するときには、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倍の速さで信号が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。

実際の、信号の再現は、サンプル・レートやサンプル間を埋める補間の手法などを合せて使っていきます。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である直線補間を選択できるものもあります。

$\sin(x)/x$ 補間を使って正確に信号を再現するには、信号の最高周波数成分に対して最低2.5倍のサンプル・レートが必要です。直線補間の場合は、最高周波数成分の少なくとも10倍のサンプル・レートが必要です。

サンプル・レートが20GS/sまで、周波数帯域が4GHz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。

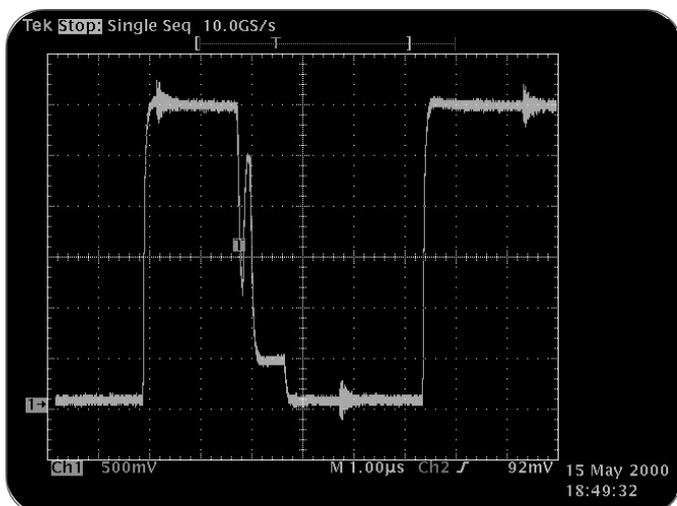


図50. サンプル・レートが高いほど信号の分解能が上り、間欠的イベントを観測できます。

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秒間にある一定の回数波形の取込と休止を繰り返し、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1つの波形データとして、言い換えれば1回の取込サイクルの中での「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、オシロスコープが「どの程度速く波形を繰り返し取込めるのか」という速さを表します。

波形取込レートは、そのオシロスコープがどのタイプの機種であるのか、またそのオシロスコープの持つパフォーマンスがどの程度かによって大きく異なります。オシロスコープが高速な波形取込レートを備えていれば、信号特性の表示は非常に見やすくなり、またジッタ、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 (図51と図52を参照)。

DSOでは、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、バ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。

ほとんどのDPOでは、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。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、信号の微細な特性を非常に詳しく観察できます。

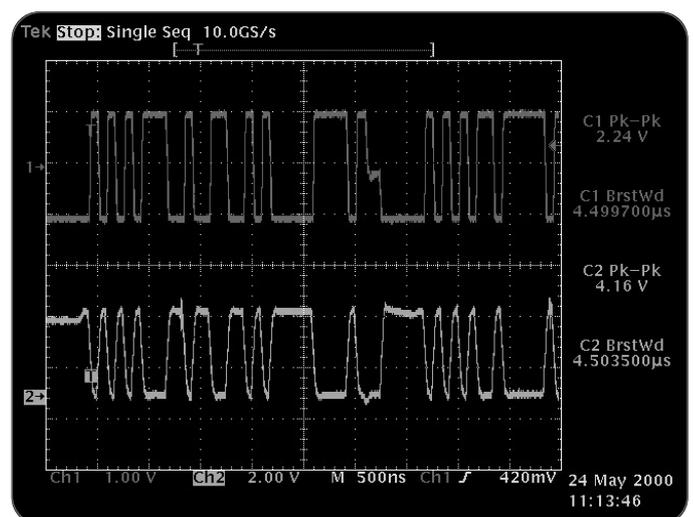


図51. DSOは、単発・高速・マルチチャンネルといったことを必要とする、デジタル設計の分野には、最適なものです。

オシロスコープのすべて

▶ さらに詳しい入門書



図52. DPOは、波形取込レートが非常に高速であり、また3次元表示が可能のため、信号の細かい振舞までも非常に詳しく観察できます。この優れた性能により汎用設計からトラブルシューティング・ツールに至るまで、非常に広範な分野でご使用いただけます。

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、各チャンネル毎に取込可能なデータの総量を示します。どのようなオシロスコープでも、限られた数のサンプルしか記録できないため、波形を取込む時間の長さはオシロスコープのサンプル・レートに反比例します。

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

最近のオシロスコープでは、必要により詳細な波形を表示するのに最適なレコード長を選択できるものもあります。きわめて安定した正弦波を解析する場合には、レコード長は500ポイントで十分ですが、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。

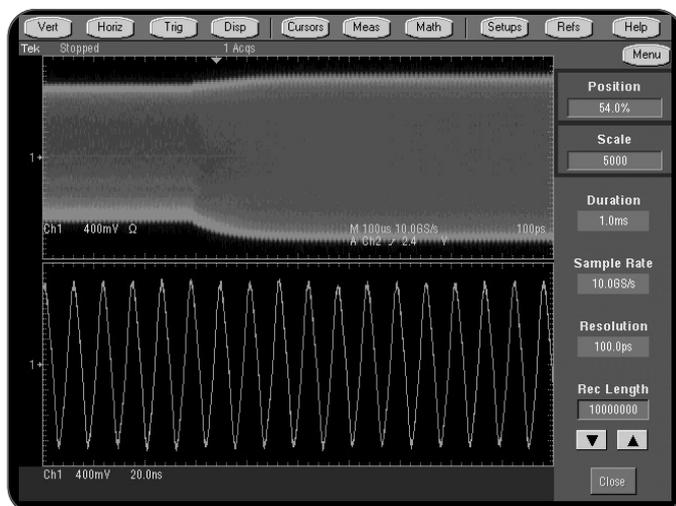


図53. 搬送波周波数85MHzの変調波を観測する場合、搬送波自体を詳細に捉えるには、ハイレゾ・サンプリング(100ps)が必要です。また、この信号の変調エンベロープを全体を観測するには、長い時間(1ms)が必要です。長いレコード長(10Mポイント)を使用すれば、オシロスコープはその両方を表示できます。

トリガ機能

オシロスコープのトリガ機能により、信号の正しいポイントに水平掃引を同期させることができます。信号の正しい測定には、この機能は欠かせません。トリガ調整により、繰り返し波形を安定させ、単発波形を捉えられるようになります。

トリガ機能については、「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・オシロスコープがどこまで正弦波信号の形を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とを比較します。実際のエラーにはノイズや歪みなどが含まれているので、信号の周波数や振幅を指定する必要があります。

周波数特性

周波数帯域を指定しただけでは、オシロスコープで高周波数信号を正確に取込むことはできません。オシロスコープの理想的な設計は、周波数特性の特定のタイプ、つまりMFED（最大限に平坦なエンベロープ・ディレイ）をもたせることです。MFED特性では、オーバシュートやリングングを最小限に抑えた、非常に忠実なパルスが得られます。しかし、デジタル・オシロスコープは、物理的に増幅器、アッテネータ、A/Dコンバータ、接続回線、リレーで構成されるため、MFED特性を完全に達成することは不可能です。パルスの忠実度は、モデルやメーカーによってかなり異なります。（図46に構成概念を示します。）

垂直軸感度

垂直軸感度は、垂直増幅器がどこまで弱信号を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、波形の詳細を観測できるように、トレースがオシロスコープの画面上を掃引する速度を示します。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。

垂直軸確度

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。通常はエラー率で示されます。

時間軸（水平軸）確度

時間軸確度は、時間軸がいかに正確に信号のタイミングを表示できるかを表します。通常はエラー率で示されます。

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で表されます。ハイレゾ・アキュイジション・モードで例を示したように、計算方法によって有効分解能を上げることができます。詳細は、「オシロスコープのシステムとコントロール」のセクションにある「水平システムとコントロール」の項を参照してください。

コネクティビティ

測定結果の解析は、最も重要です。高速の通信ネットワーク上で、計測情報とその結果を、簡単にかつ頻繁に記述し共有することの重要性も高まっています。

オシロスコープにコネクティビティ機能が付いたため、最新の解析能力を利用できるほか、計測結果の文書化と共有も容易になります。一部のオシロスコープには、標準的なインタフェース（GPIB、RS-232、USB、イーサネット）とネットワーク通信モジュールがあり、多様な機能の使用と調整が可能になっています。

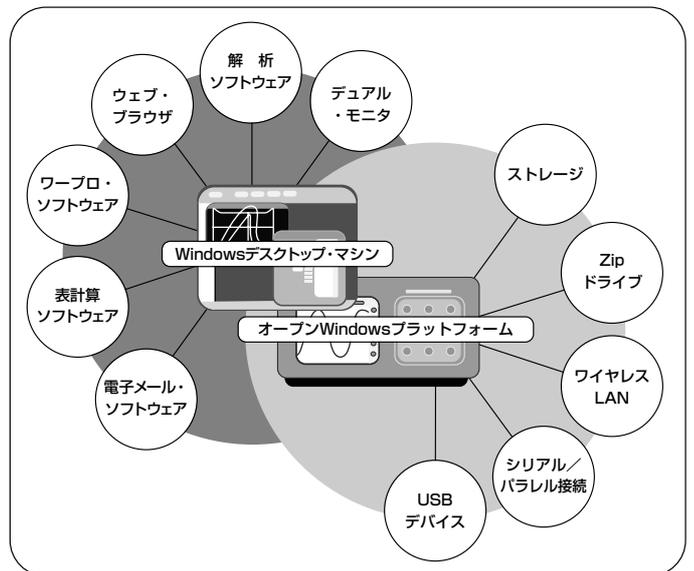


図54. TDS7000シリーズをWindowsデスクトップ・マシンに接続して操作すれば、時間が節約されるとともに、全体的なグループの生産性も向上します。

高度なオシロスコープの中には、次のような機能を持ったものがあります。

- 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
- Windowsデスクトップ・マシンへのアクセス
- サードパーティ製解析ソフトウェアおよび文書化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アクセス
- 電子メールの送受信

オシロスコープのすべて

▶ さらに詳しい入門書



図55. TDS3000/Bシリーズは、多様な通信インターフェースに対応します。標準はセントロニクス・ポートですが、オプションでイーサネット/RS-232、GPIB/RS-232、VGA/RS-232に対応します。(TDS3000Bシリーズには、イーサネット・ポートが標準で付属します。)

拡張性

オシロスコープには、ニーズの変化に合わせて拡張できる必要があります。一部の機器では、次のような拡張が可能です。

- 長いレコード長を解析するため、チャンネルのメモリを増やす
- 特定の用途に必要な測定能力を追加する
- オシロスコープにさまざまなプローブとモジュールを追加して、その性能を高める
- よく使われるサードパーティのWindows互換分析/生産性ソフトウェアを使用する
- バッテリー・パックやラックマウントといったアクセサリを追加する

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、電力測定などの、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。

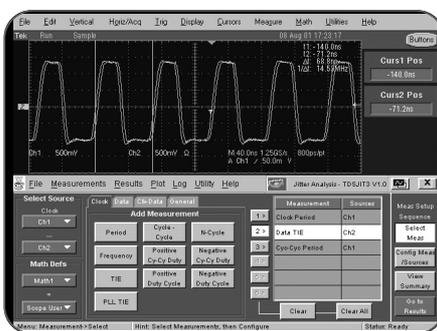


図56. TDS7000シリーズ用ジッタ解析ソフトウェアであるTDSJIT3は、近年の高速デジタル設計エンジニアには欠かせないジッタ測定の要求に応えるために、特別に設計されたものです。

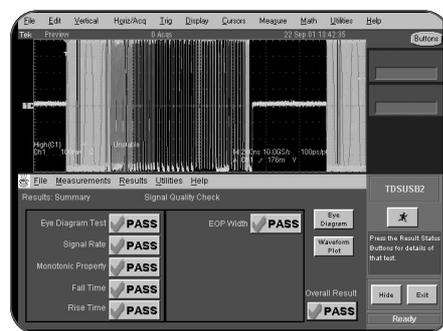


図57. TDS7000シリーズ・オプションU2型では、USB 2.0コンプライアンス・テストが行えます (TDSUSBF型テスト・フィクチャが必要)。

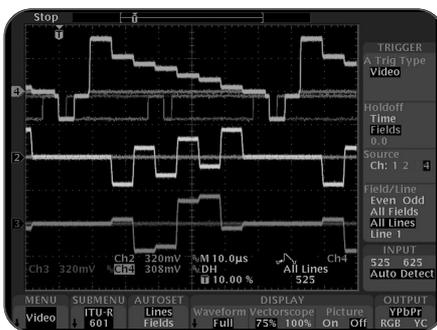


図58. TDS3000/Bシリーズ・オシロスコープは、TDS3SDI型ビデオ・モジュールを接続することで、すべてを一目で確認できる高速ビデオのトラブルシューティングツールになります。

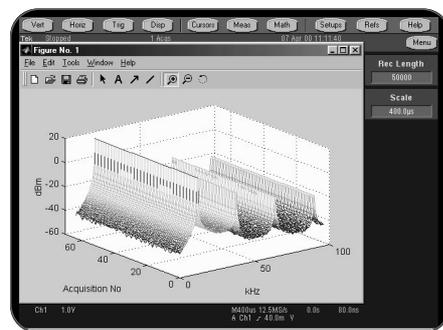


図59. MATLABなどの拡張解析/生産性ソフトウェアをTDS7000シリーズにインストールすると、ローカルな信号解析を行えます。

使いやすさ

作業時に最大の効率性と生産性を上げられるよう、オシロスコープは操作を覚えやすく使いやすい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ーによって異なります。現在は、従来型のアナログ機器に慣れたユーザーと、Windowsとインターネット時代に育ったユーザーがいます。すべてのユーザーを満足させるには、操作方法は融通の利くものである必要があります。

多くのオシロスコープは、ユーザーにさまざまな操作方法を提供することで、高い性能と単純な操作を両立させています。前面パネルには、通常、垂直軸、水平軸、トリガ関連のコントロール系があります。アイコンの多いグラフィック・インターフェースでは、高度な機能を直感的に使用できます。タッチパネル・ディスプレイでは、キーボードのようにながつきを気にすることなく、画面内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使わないユーザーでも、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ーは、簡単に高度な機能を使いこなせます。さらに、多くのオシロスコープは持ち運びが可能なため、実験室やフィールドなど、さまざまな操作環境で効率的に使用できます。

プローブ

プローブは測定システムの中で最も重要なコンポーネントで、信号の完全性を確保できるか、またオシロスコープのすべての機能について十分な性能を引出せるかは、プローブにかかっています。詳細は、「完全な測定システムの構築」の項、あるいは当社の入門書『ABC s of Probes』参照してください。

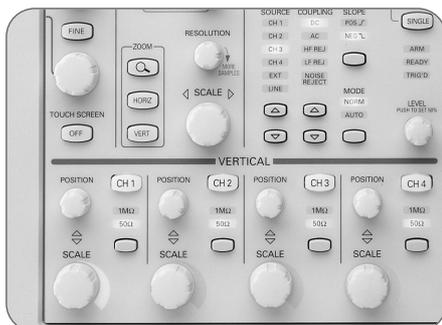


図60. 従来のアナログ・スタイルのノブは、ポジション、スケール、輝度などを正確に調整できます。



図61. タッチパネル・ディスプレイでは、キーボードのようにながつき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。

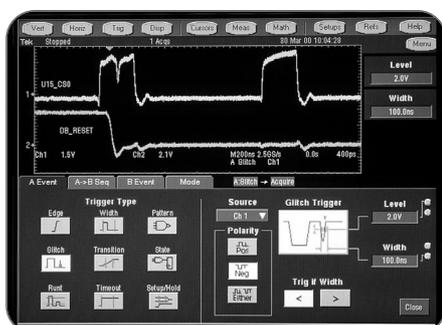


図62. グラフィックなコントロール・ウィンドウを使えば、非常に高度な機能でも確実に簡単に操作できます。



図63. 多くのオシロスコープは持ち運びが可能なため、さまざまな操作環境で効率的な使用が可能です。

オシロスコープのすべて

▶ さらに詳しい入門書

オシロスコープの操作

設定

このセクションでは、オシロスコープの設定方法と使用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、プローブの補正に焦点を当てます。

測定を行う際には、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、ユーザを感電から守ることができ、ユーザが正しく接地すれば、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

オシロスコープの接地とは、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です。オシロスコープを接地するには、3プラグ電源コードを接地されたコンセントに差し込みます。

オシロスコープの接地は、安全な測定には欠かせません。もし、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コントロール・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、ケースやコントロール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。

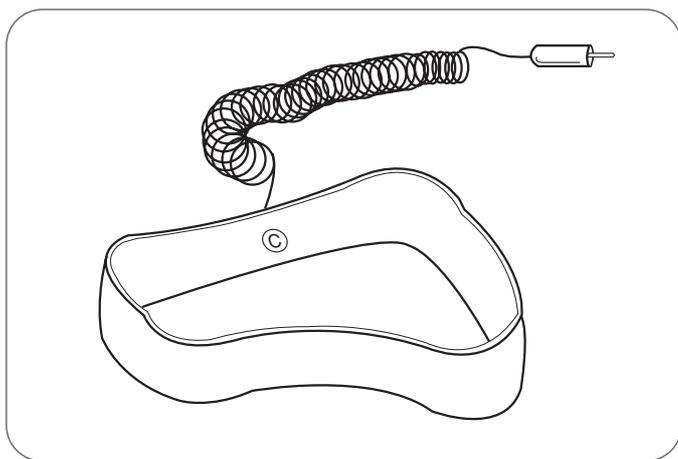


図64. 一般的なリストバンド型グラウンド・ストラップ

測定者の接地

集積回路を測定する際には、測定者もグラウンド接地する必要があります。集積回路の微細な伝導パスは、人体に発生した静電気により損傷する可能性があります。高価な集積回路は、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し込んだら、前面パネルに注意してください。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。オシロスコープのモデルや種類（アナログかデジタルか）によっては、それ以外の部分もあります。

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。

一部のオシロスコープには、信号を取込むための設定を1度に行えるオートセット・ボタンと初期設定ボタン、あるいはそのどちらかがあります。オシロスコープにこの機能がなければ、測定前にコントロールを標準位置に設定しておくのがよいでしょう。

オシロスコープを標準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
- 垂直方向のV/divスケールと位置のコントロールをミッドレンジに設定する
- 可変V/divをオフにする
- すべての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に設定する
- トリガ・モードをオートに設定する
- トリガ・ソースをチャンネル1に設定する
- トリガ・ホールドオフを最小もしくはオフにする
- 輝度のコントロールを公称ビュー・レベルに設定する（機種によっては設定できません）
- 鮮明な表示ができるよう焦点コントロールを調節する（機種によっては設定できません）
- 水平方向のSEC/DIVの設定範囲と位置のコントロールをミッドレンジに設定する

より詳しい手順については、ご使用のオシロスコープ付属のマニュアルを参照してください。この入門書の「オシロスコープのシステムとコントロール」のセクションでは、オシロスコープのコントロールについて詳しく説明しています。

プローブ

次に、オシロスコープにプローブを接続します。オシロスコープに合ったプローブを使用すれば、オシロスコープの能力と性能を十分に引き出すことができ、信号の完全性を確保できます。

詳細は、本書の「完全な測定を行うために必要なアクセサリ」の項、もしくはアプリケーション・ノートの「プローブ測定技術と活用」を参照してください。

グラウンド・クリップの接続

信号の測定には、プローブ・チップの接続と、グラウンドの接続が必要です。プローブには、テストを行う回路にプローブをグラウンドするためのワニ口クリップが付属しています。実際には、たとえば修理しようとしているステレオのメタル・シャーシといった回路の明らかにわかっているグラウンドにグラウンド・クリップを取付け、回路の中のテスト・ポイントにプローブ・チップを接触させます。

プローブ補正

受動減衰電圧プローブは、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。

オシロスコープを設定するときには、必ずプローブの補正を行うようにします。プローブがうまく調節されていないと、測定が正確に行えません。図65では、プローブの補正が不正確な場合に、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は、前面パネルにある端子で、プローブを補正するための方形波基準信号を受けることができます。プローブを補正する一般的な手順は、次のとおりです。

- プローブを垂直軸チャンネルに取付ける
- プローブのグランド・クリップをグランドに取付ける
- プローブ・チップをプローブ補正端子（例：方形波基準信号）に接続する
- 方形波基準信号を確認する
- 方形波の角が方形になるようにプローブを正しく調整する

プローブを補正する際には、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。

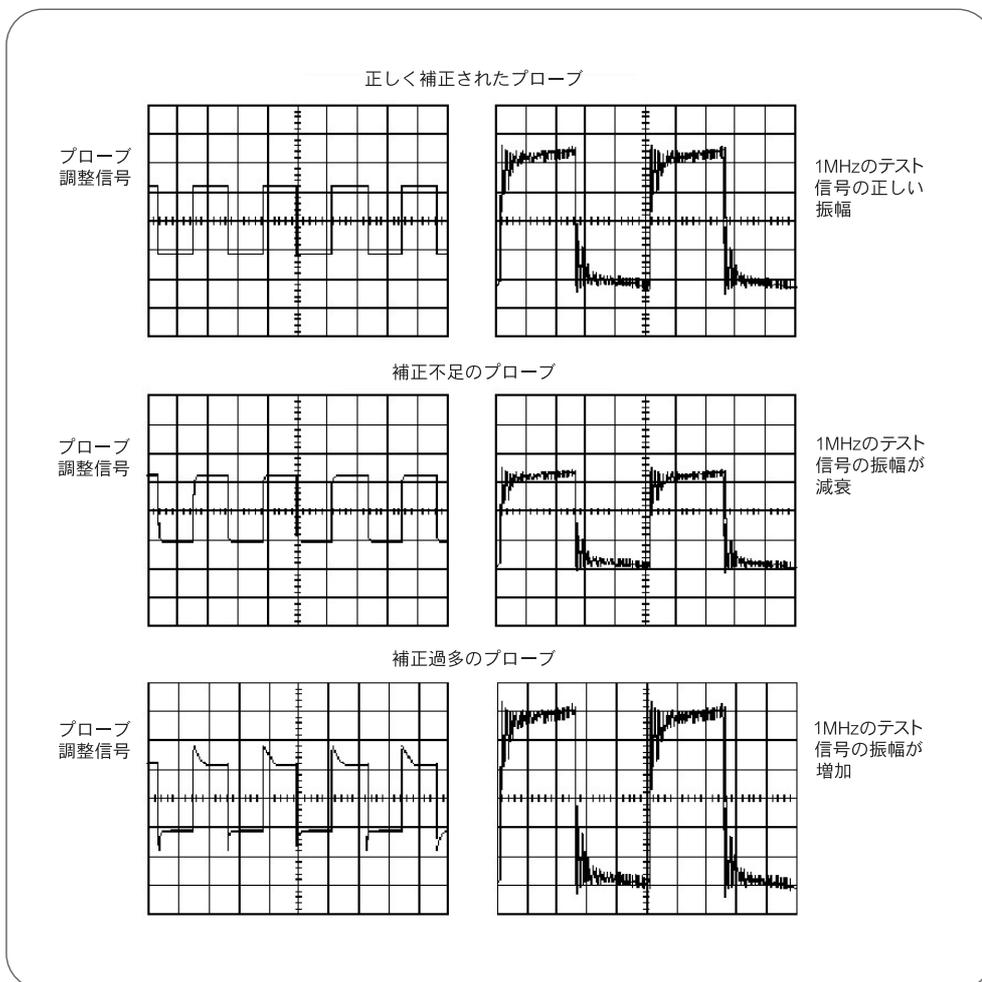


図65. 不完全なプローブ補正による影響

オシロスコープのすべて

▶ さらに詳しい入門書

オシロスコープの測定テクニック

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で視覚的に行う測定手法を取上げます。以下の測定テクニックは、アナログ・オシロスコープで一般的なものですが、DSOやDPOにおいても、表示画面を一見しただけで、何を意味しているか理解できるといって有効です。

ほとんどのデジタル・オシロスコープは、自動測定ツールを備えています。ここで説明した手動による測定方法を知っていれば、DSOやDPOでの自動測定を理解し検証するときに役立ちます。自動測定については、このセクションの後の方で説明します。

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。たとえば、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。

$$\begin{aligned} \text{電 圧} &= \text{電流} \times \text{抵抗} \\ \text{電 流} &= \frac{\text{電 圧}}{\text{抵 抗}} \\ \text{抵 抗} &= \frac{\text{電 圧}}{\text{電 流}} \\ \text{電力式：電力} &= \text{電圧} \times \text{電流} \end{aligned}$$

電力の計算式は、DC信号の電力は電圧と電流をかけた値に等しいことを示す式です。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流量を計算できるということです。図66は、ピーク電圧 (Vp) とピーク-ピーク電圧 (Vp-p) を示しています。

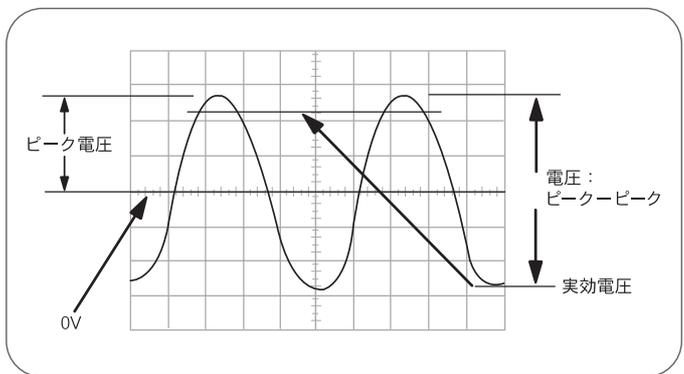


図66. 電圧のピーク値 (Vp) とp-p値 (Vp-p)

電圧測定の最も基本的な手法は、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。効果的な電圧測定を行うには、信号がほぼ画面の垂直方向全体を占めるように調節します (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、画面上にライン・カーソルがあるので、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えます。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。

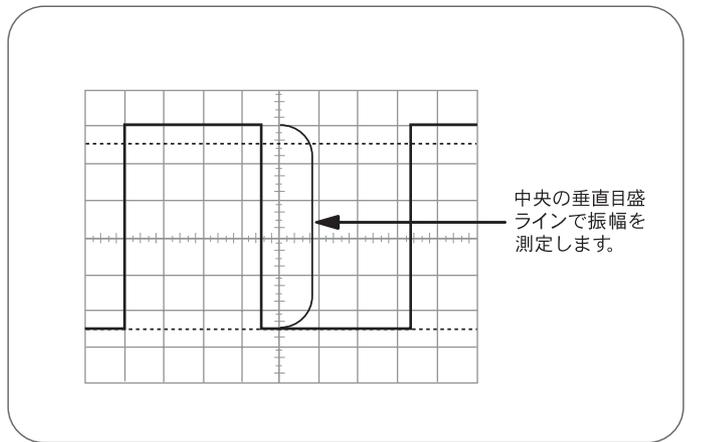


図67. 中央の垂直目盛ラインで電圧を測定します。

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、時間の測定ができます。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、周期と逆数の関係にあるので、周期を測定し、1をその値で割れば値が得られます。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。

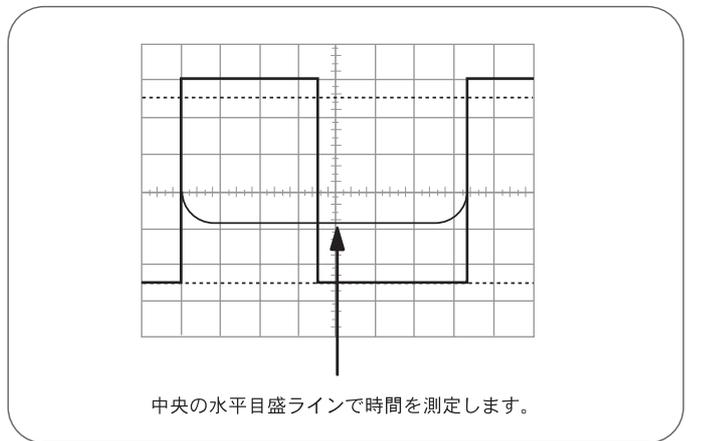


図68. 中央の水平目盛ラインで時間を測定します。

パルス幅と立上り時間の測定

多くのアプリケーションにおいて、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。

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ときの時間の長さです。経験的に、立上り時間は、パルスの最高電圧の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、取除かれます。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ときの時間の長さです。慣例として、パルス幅は最高電圧の50%で計測します。図69に、立上り時間やパルス幅を示す測定ポイントを示しています。

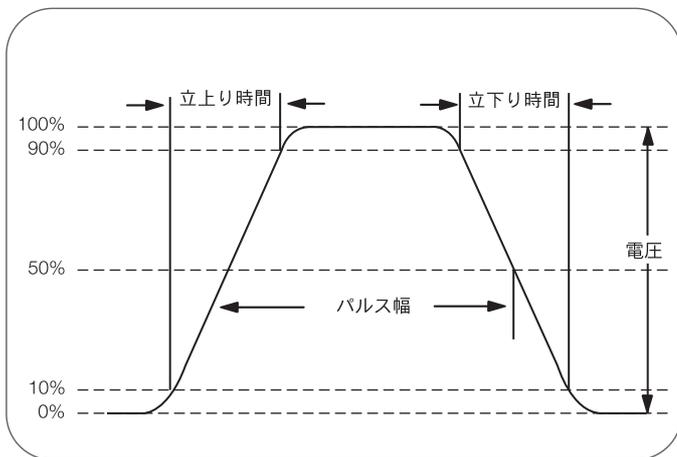


図69. 立上り時間とパルス幅測定ポイント

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コントロール」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見ることができるからです。

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ため、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技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、一定時間にトリガしたデータ点を積算して、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、高密度部分を持った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。

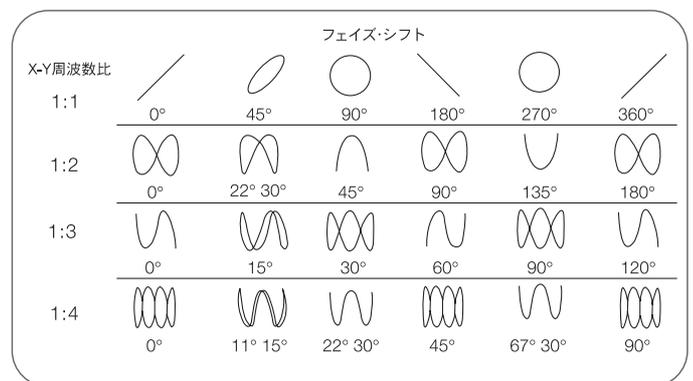


図70. リサージュ波形

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、オシロスコープを設定して組立ライン上の電気部品をテストしたり、過渡信号を取込むなど、さまざまな技術があります。どのような測定技法を使用するかはオシロスコープの用途によって異なりますが、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しはじめることができます。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。慣れれば、オシロスコープの使用方法は難しくありません。

オシロスコープのすべて

▶ さらに詳しい入門書

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。この練習問題はパート1とパート2に分かれています。

●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

●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コントロール
- ・オシロスコープの操作
- ・測定テクニック

以下の問題は、用語と用途に関するものです。

この問題を解いて、それぞれのセクションに対する自分の理解度を確認してください。答えは46ページに載っています。

パート1

- ・オシロスコープ
- ・性能に関する用語

用語テスト：左の欄の用語を正しく表す説明文を、右の欄から選んでください。

用語	説明
1. __アキュイジション	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値。
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秒間に繰り返す回数。
5. __周波数	E 波形信号が1サイクル終わるのに要する時間。
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。
8. __位相	H パルスの立上りエッジ速度を表す性能測定値。
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た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・ポイントを取集／処理、メモリに記憶する一連のオシロスコープの処理。
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 リアルタイムで信号の3次元情報を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点までの正弦波周波数帯域。
17. __V (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1

- オシロスコープ
- 性能に関する用語

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。

- オシロスコープを用いてできること
 - 信号の周波数を計算する。
 - 欠陥がある電気部品を見つける。
 - 信号を詳細に解析する。
 - AからCのすべて。
- 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
 - アナログ・オシロスコープには画面上にメニューがない。
 - 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、一方、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。
 - 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。
 - 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。
- オシロスコープの垂直部の機能
 - A/Dコンバータを使って、サンプル・ポイントを取込む。
 - 水平軸掃引を開始する。
 - ディスプレイの輝度を調節する。
 - 入力信号を減衰または増幅する。
- オシロスコープの時間軸調整の機能
 - 垂直スケールを調節する。
 - 現在の時刻を示す。
 - 画面の横幅が表す時間を設定する。
 - プローブにクロック・パルスを送る。
- オシロスコープの画面に表示されるもの
 - 垂直軸に電圧、水平軸に時間を表示する。
 - 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。
 - 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。
 - AからCのすべて。
- 繰返す波形が持つ性質
 - Hzで表示される周波数
 - 秒で表示される周期
 - Hzで表示される周波数帯域
 - AからCのすべて
- オシロスコープを使ったコンピュータ内部の測定で観測できる信号
 - パルス列
 - ランプ波
 - 正弦波
 - AからCのすべて
- 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
 - 周波数帯域
 - 垂直軸感度
 - A/Dコンバータ分解能
 - 掃引速度
- 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
 - DSOの方が周波数帯域が広い。
 - DPOはリアルタイムで3次元の波形情報を取込む。
 - DSOにはカラー・ディスプレイが付属する。
 - DSOの方がより詳細に信号を取込める。

オシロスコープのすべて

▶ さらに詳しい入門書

パート2

- オシロスコープのシステムとコントロール
- オシロスコープの操作
- 測定テクニック

用語テスト：左の欄の用語を正しく表す説明文を、右の欄から選んでください。

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、テスト対象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. __アース・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. __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技法。
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」処理技法。
10. __信号ゼネレータ	J オシロスコープ・トレース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回だけ行い、さらにトリガ・イベントを実行するには、リセットする必要があるもの。
12. __トランスデューサ	L 10：1アッテネータ・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2

- オシロスコープのシステムとコントロール
- オシロスコープの操作
- 測定テクニック

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
 - a. 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。
 - b. 危険性のある電気部品を見分けられるようにする。
 - c. 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。
 - d. AからCのすべて。
2. オシロスコープでグラウンドをとる理由
 - a. 安全性の確保
 - b. 測定のための基準ポイントをとるため
 - c. トレースを画面の水平軸と整列させるため
 - d. AからCのすべて
3. 回路負荷を引き起こす原因
 - a. 非常に大きい電圧を持つ入力信号
 - b. プローブとオシロスコープがテスト対象回路との間に起こす相互作用
 - c. 非補正の10:1アッテネータ・プローブ
 - d. 回路にかかる大きな荷重
4. プローブ補正が必要な理由
 - a. 10:1アッテネータ・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
 - b. テスト対象回路の損傷を防ぐため
 - c. 測定確度を上げるため
 - d. AからCのすべて
5. トレース・ローテーションの目的
 - a. 画面上の波形の表示感度を調整する。
 - b. 正弦波の信号を検出する。
 - c. アナログ・オシロスコープの画面上で、波形トレースを水平軸に合せる。
 - d. パルス幅を測定する。
6. V/divコントロールの目的
 - a. 垂直軸方向に波形の表示感度を変える。
 - b. 垂直軸方向に波形の位置調整をする。
 - c. 入力信号を減衰または増幅する。
 - d. 1目盛が表す電圧を設定する。
7. 垂直入力カップリングをグラウンドに設定する効果
 - a. 入力信号をオシロスコープから切断する。
 - b. オート・トリガにより水平線が現れる。
 - c. 画面上の0Vの位置がわかる。
 - d. AからCのすべて。
8. トリガが必要な理由
 - a. 画面上の波形表示を安定させる。
 - b. 単発波形を取込む。
 - c. アクイジションの特定のポイントを示す。
 - d. AからC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
 - a. ノーマル・モードでは、オシロスコープは1度だけ掃引を行い、停止する。
 - b. ノーマル・モードでは、オシロスコープが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。
 - c. 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。
 - d. AからCのすべて。
10. アクイジションモードで、繰返し信号のノイズを最も軽減するもの
 - a. サンプル・モード
 - b. ピーク・ディテクト・モード
 - c. エンベロープ・モード
 - d. アベレージ・モード

オシロスコープのすべて

▶ さらに詳しい入門書

11. オシロスコープを使って行える最も基本的な2つの測定
 - a. 時間と周波数の測定
 - b. 時間と電圧の測定
 - c. 電圧とパルス幅の測定
 - d. パルス幅と位相差の測定
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. 62.5mVp-p
 - b. 8Vp-p
 - c. 4Vp-p
 - d. 0.5Vp-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. パルスのピーク間電圧の10%
 - b. パルスのピーク間電圧の50%
 - c. パルスのピーク間電圧の90%
 - d. パルスのピーク間電圧の10%と90%
15. テスト対象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. 電圧値の大きな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. オシロスコープが、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. AからF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1 用語問題の解答

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

パート1 オシロスコープのアプリケーションに関する問題の解答

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

パート2 用語問題の解答

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2 オシロスコープのアプリケーションに関する問題の解答

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

用語集

AC (交流) — 電流と電圧が繰返し変化する信号。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・タイプを表すときにも使用する。

div — オシロスコープのCRT上にある測定用の目盛。

CRT — 電子ビーム管のことで、電子ビームを発光画面に集光し、その位置と輝度を変化させて視覚的パターンを表示するもの。テレビのブラウン管もCRT。

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って、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は、信号を振幅、時間、時間軸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・サンプリングによって、信号を取込むデジタル・オシロスコープ。直列処理構造を採用して、アキュイジション、ユーザ・インタフェース、ラスタ表示をコントロールする。

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。

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。

μs — 時間の単位で、0.000001秒。

ms — 時間の単位で、0.001秒。

ns — 時間の単位で、0.000000001秒。

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。

アース・グラウンド — 電流を地面へ逃がす導体。

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、アベレージなどの種類がある。

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、明るく輝くトレースが表示される。

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、オシロスコープが発振電圧を測定するところからつけられた。

オルタネート・モード — 操作の表示モードで、オシロスコープがチャンネルをトレースする場合に、1つのチャンネルを終了してから次のチャンネルのトレースを開始すること。

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。

カップリング — 2つの回路の接続方法。ワイヤで接続されている回路は、DC (直接カップリング) で、コンデンサまたは変圧器で接続されている回路は、AC (間接カップリング)。

画面 — ディスプレイの前面にあるパターンを表示する部分。

輝度の濃淡 — 発生頻度を表し、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。

ゲイン精度 — 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、エラーのパーセンテージで表す。

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氣的な値に変換し、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・オシロスコープの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コントロールを使って設定。

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。

周波数特性 — 一定振幅の正弦波を使用し、増幅器またはアッテネータの入出力間の応答特性を、周波数帯域全体にわたり、複数の周波数でプロットしたボーデ線図。

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コントロール。

信号ソース — 入力信号を回路へ送込むためのテスト機器で、その出力をオシロスコープで観測できる。シグナル・ゼネレータとも呼ばれる。

信号の完全性 — 信号の正確な再現のことで、オシロスコープのシステムと性能、また信号を取込むためのプローブによって決まる。

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。

オシロスコープのすべて

▶ さらに詳しい入門書

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・モードなどの計算技法により、有効分解能を引上ることができる。

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。

水平精度 (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、エラーのパーセンテージで表す。

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します。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。

掃引 — オシロスコープの電子ビームが、CRTディスプレイ上で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 — 1つのポイントからほかのポイントへ送信する際に、信号の振幅を増大すること。

立上り時間 — パルスが低い電圧から高い電圧に移動する立上りエッジにかかる時間で、通常、パルスの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、過渡的現象とも呼ばれる。

遅延時間軸 — 掃引を、メイン時間軸掃引上のあらかじめ決定した時点に対する相対的な点まで遅らせて開始、またはトリガする時間軸。これにより、イベントがよりはっきりと観測でき、メイン時間軸掃引だけでは見ることのできなかったイベントを観測できる。

チョップ・モード — 表示モードの1つで、各チャンネルを細かい時間単位に分け、順次トレースして、複数の波形を画面上に同時に表示するモード。

デジタル・オシロスコープ — 測定した電圧を、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・オシロスコープ、デジタル・フォスファ・オシロスコープ、デジタル・サンプリング・オシロスコープの3種類がある。

デジタル化 — A/Dコンバータにおける処理で、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、繰返しごとに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には、ランダムとシーケンシャルの2種類がある。

トランスデューサ — 音、圧力、歪み、輝度などの物理量を、電気信号に変換するデバイス。

トランゼント — 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・ホールドオフ — 有効なトリガがかけられた後、オシロスコープがトリガを停止する時間を調整するためのコントロール。

トリガ・レベル — トリガ回路が掃引を開始する前に、トリガ・ソース信号が達していなければならない電圧レベル。

トリガ・モード — トリガを検知しない場合に、オシロスコープが波形を表示するかどうかを指定するモード。よく使われるトリガ・モードには、ノーマルとオートがある。

トリガ・スロープ — トリガ回路が掃引を開始する前に、トリガ・ソース信号が達していなければならないスロープ。

トレース — 電子ビームがCRT上を動いて描き出す軌跡。

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、パルス、周期波、非周期波、同期波、非同期波がある。

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) で表します。

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。

ノイズ — 電気回路内の邪魔な電圧または電流。

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。

パルス列 — 共に移動するパルスの集まり。

パルス幅 — パルスが低い電圧から高い電圧に移った後、再び低い電圧に戻るまでの時間の長さで、通常、最高電圧の50%で計算される。

ピーク (Vp) — 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キュイジション・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です。

ピーク・ピーク (Vp-p) — 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。

プリトリガ観測 — デジタル・オシロスコープで、トリガ・イベント直前の信号の状態を読み込むこと。これにより、トリガ・ポイント前後の観測可能な信号の長さを決定。

プローブ — オシロスコープの入力デバイスで、通常、回路素子と電気的接続をするための先の尖った金属製のツール、回路の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信す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 — 受動減衰プローブの調整で、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。

目盛 — オシロスコープのトレースを測定するための画面上のグリッド線。

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します。有効ビットは、理論上「理想的」なデジタイザとオシロスコープの実際の誤差を比較して得られる。

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、1つのポイントから次のポイントへ移動するトレースを表示する速度。デジタルロジック信号のような、高速に移動する低い繰り返し信号に対しては機能が制限される。

ランブ — 一定の割合で変化する正弦波における電圧レベルのトランジション。

ラスタ — ディスプレイの種類。

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、オシロスコープが、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・データを分析し、ソフトウェアの実行と同時に、データのデータ・フロー値、ステート・シーケンスなどを表示する。

オシロスコープのすべて

▶ さらに詳しい入門書

■ ノート

当社発行の関連入門書 (英文)

『An Overview of Signal Source Technology and Applications』

『ABCs of Probes』

『Introduction to Logic Analysis』 『A Hardware Debug Tutorial』

『The XYZs of Logic Analyzers』

『UMTS Protocols and Protocol Testing』

『GPRS Protocol Testing in the Wireless World』

『Troubleshooting cdmaOne™ BTS Transmitters in the Field』

『Interference Testing』

『SDH Telecommunications Standards』

『SONET Telecommunications Standards』

『DWDM Performance and Conformance Testing』

『A Guide to Picture Quality Measurements』

『A Guide to MPEG Fundamentals』

『A Guide to Standard and High-definition Digital Video Measurements』

『Customer Service Traceability』

▶ www.tektronix.co.jp

オシロスコープ

ロジック・アナライザ

シグナル・ソース

通信測定機器

TV 測定機器

プローブ/アクセサリ

その他の測定機器

*記載されているすべての会社名および製品名は、各社の商標です。

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 FAX 0120-046-011

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

当社ホームページをご覧ください。 www.tektronix.co.jp
お客様コールセンター ccc.jp@tektronix.com

●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。 このカタログは再生紙を使用しております。

PC-050015-01 2005年11月発行