

オシロスコープ基礎の基礎
組込みエンジニア必須のスキル

オシロの上級活用法を身につける



目次

C O N T E N T S

1. 自己校正とアクティブ・プローブ校正	1
2. 拡張トリガ その1	2
3. 拡張トリガ その2	4
4. カーソルと自動測定	5
5. 合否判定	7
6. 波形 / 設定の保存 / 呼出	8
7. 波形演算	9
8. 高速取込み / 階調	11
9. ロング・レコードの検索	13
10. シリアル・バスの解析	14
11. MSOによるバスの解析	15

1 自己校正とアクティブ・プローブ校正

電気信号の挙動を見る目的で生まれたアナログ・オシロスコープはそれまでのどの装置より、電気信号に対する観測力に優れ、多くの産業の発展に貢献しました。デジタル・オシロスコープへの変化過程において「波形を数値化する」測定力を持ち、オシロスコープはさらに大きく進化しました。その後もユーザからの要求に応え続けることにより、オシロスコープは「流れるデータの内容を吟味する」解析力さえ備えるに至りました。用途の観点から見ても、「波形を観測しその性質を知る用途」に加え、「不具合原因を探るデバッグ用途」、「波形の良否判定による自動化用途」、「規格適合性を知るコンプライアンス用途」と、オシロスコープの用途は拡大してきました。

今日のオシロスコープは、もはや波形を見るだけの装置と考えてはいけません。オシロスコープに満載された豊富な機能を活用するだけで、仕事を大きく効率アップさせることのできる魔法のツールです。「知らなかった機能を使う」ことで効率アップが図れます。この入門書では一歩進んだオシロスコープの活用方法をご紹介します。ぜひ仕事の効率アップに役立ててください。

なお、ここで紹介する機能の有無と操作メニューは、機種（型名）に依存します。ある機種においては機能が装備されない場合もありますし、操作メニューが異なる場合もあります。ここではテクトロニクス MSO/DPO4000/3000/2000 シリーズ・オシロスコープを中心にお話します。他のメーカーのオシロスコープについても、多くの機種で同様の機能がありますので、大いに参考にしてください。

(1) 「自己校正」と「アクティブ・プローブ校正」とは？

正しい測定をするのはなかなか大変です。測定のノウハウを知りオシロスコープを「正しく使う」ことが必要です。測定対象とオシロスコープを接続する「プロービング」もノウハウの塊です。しかし、その前にやっておかねばならないことがあります。これをやらずにノウハウを駆使しても無意味です。確度の高い測定ができないからです。それを可能とする機能は「自己校正」や「アクティブ・プローブ校正」と呼ばれます。オシロスコープやアクティブ・プローブの内部回路をベストな状態に調整する機能で、簡単な操作で実行できます。

(2) いつ、どのように実行する

室温が変化した場合や、小さな信号を高感度レンジで測定する前に実行してください。信号を入力していないのに、GND（グラウンド）マークとトレースが一致しないとき（画面1）も実行のサインです。画面に現れた操作手順にしたがうことになります。テクトロニクス MSO/DPO4000/3000/2000 シリーズ・オシロスコープの「自己校正」の場合は、すべてのプローブ・ケーブル類をオシロスコープから外して、メニューを一押しするだけです。5～6分ほどで終了します。「アクティブ・プローブ校正」の場合は、プローブをオシロスコープに装着し指示された

信号源にプローブ先端を接続した後、メニューを一押しするだけです。こちらも数分で終了します。

室温変化（例：10℃）

高感度測定（例：5mV/div）



自己校正の例



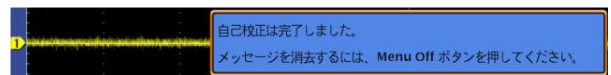
アクティブ・プローブ校正の例

(3) 調整される箇所

「自己校正」や「アクティブ・プローブ校正」が終了すると、内部の残留オフセット電圧がキャンセルされ、垂直ゲインの誤差が最小になります。



画面1：調整前



画面2：調整後

(4) 「自己校正」と「アクティブ・プローブ校正」をしないと…
 オシロスコープやアクティブ・プローブの規格（スペック）はこれらの校正を終了していることが前提になります。これら

の校正されていないオシロスコープやアクティブ・プローブはその規格を満たしていない可能性があります。

2. 拡張トリガ その1

(1) まず「トリガ」について、おさらい

オシロスコープで波形を観測するためには、波形が画面上に静止していなければなりません。

この役割を果たすのが「トリガ」機能です。トリガは条件を設定しておき、その条件が成立したら波形の取込みをコントロール（スタート/ストップ）する機能です。

一番シンプルなトリガは「エッジ・トリガ」と呼ばれます。

図1および図2のように、波形との交点を決めるトリガ・レベルを適切に設定することにより、波形を画面上に静止させます。この静止した状態を「トリガがかかる」といいます。

(2) デバッグ用途の拡大（トリガは、"波形を止める" から "特定波形の抽出" へ）

10数年前までは、シンプルなエッジ・トリガしかなく、複雑な波形群の中に埋もれた特定の波形にトリガをかけることは困難でした。オシロスコープは当初からデバッグ用途（製品に生じた不具合の原因追求）に使われていましたが、複雑さを増した製品設計において、シンプルなエッジ・トリガしかないことが大きなネックとなって、デバッグは困難なものとなっていました。

製品を早く市場に投入するには、デバッグの効率化が必須です。デバッグ効率化にはキーとなる以下の3つのステップがあります。

1. 異常波形の有・無を目で見る（画面1）
2. 異常波形にトリガをかけ、画面中央に静止させる（画面2）
3. トリガ点の左側（過去の時間）から異常波形発生の原因を探す（画面3）

"2"のステップに対応すべく拡張トリガと呼ばれる種々のトリガが生まれ、特定の波形に簡単にトリガがかかるようになりました。この拡張トリガによりオシロスコープのデバッグ力が向上し、波形の観測用途のみならず、不具合のデバッグ用途がオシロスコープの用途として大きな比率を占めるようになりました。

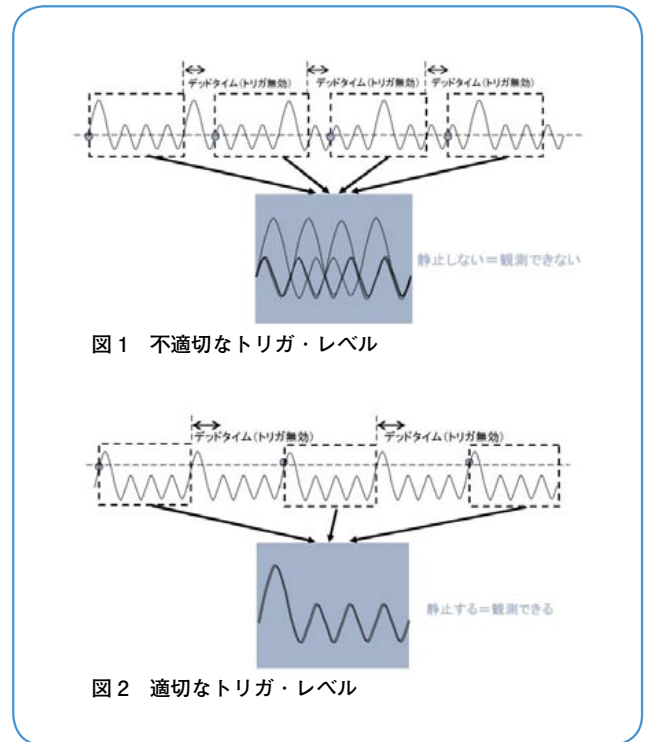
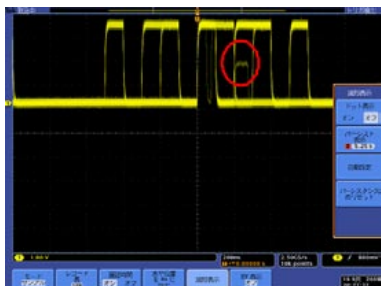


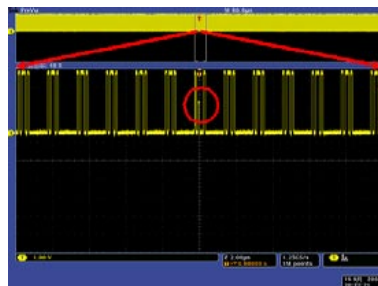
図1 不適切なトリガ・レベル

図2 適切なトリガ・レベル

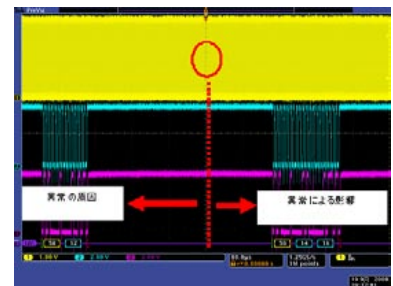
こうした異常波形にトリガがかかり、異常波形を画面の真ん中に表示できれば、その原因究明を開始することができます。なぜならば、時間的に古い時点に原因があり、そこから時間が経過した時点で異常波形が生じる訳ですので、画面の中央から左側（時間的に過去の部分）に、異常を引き起こす原因がひそんでいることになるからです。表示する時間幅を長くしたり、怪しいとらんだ別波形を別チャンネルに表示し同時観測することにより、デバッグを進めていくことができます。



画面1：異常発見



画面2：長い記録長で取込み



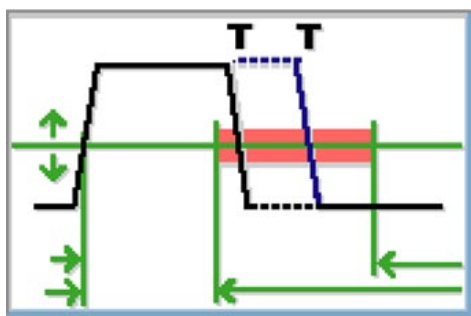
画面3：その原因とその影響を探る

(3) パルス幅トリガ

拡張トリガの中でも、このパルス幅トリガは頻繁に使われます。デジタル・データのビット・ストリーム内において、パルス幅が想定外の変化（異常）をした時にトリガをかけ、画面を静止させることができます。

<使用例>

クロックやデータのパルス幅を知った上で、トリガ条件をそれより細い「パルス幅」とすれば、ごく幅の狭いパルス（グリッチ）にトリガがかかるかもしれません（画面4）。この場合、「近接信号が漏れ込んだクロストーク」や、「メタ・ステーブル状態の発生」が疑われます。クロストークやメタ・ステーブルはごく幅の狭い異常パルスとしてデジタル・データの中に紛れ込み、装置に深刻なエラーを生じさせます。



パルス幅トリガ



画面4：パルス幅トリガ条件により、ごく幅の狭い異常を確認することができる

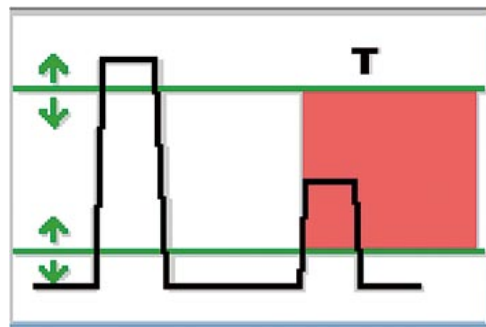
(4) ラント・トリガ

非同期信号をフリップ・フロップで同期化するような時、発生しがちなメタ・ステーブル状態では、パルス振幅が想定外の変化（異常）をすることがあります。ラント・トリガは、これにトリガをかけ、画面を静止させることができます。

<使用例>

デジタル信号のHI-LOを決めるスレシヨルド・レベル近辺に、上下幅を持たせたトリガ条件を設定すれば、振幅の小さな異常波形にトリガがかかるかもしれません（画面5）。この場合、「メタ・ステーブル状態の発生」が疑われます。メタ・ステーブルは振幅の足りない異常パルスとしてデジタル・データの中に紛れ込み、

装置に深刻なエラーを生じさせます。



ラント・トリガ



画面5：上下幅を持たせたトリガ条件により、振幅の小さな異常波形を確認することができる

(5) ロジック・トリガ

デジタル信号で構成されたロジック回路の論理により、トリガをかけることができます。論理を構成するロジック回路を複数のチャンネルに接続しておき、チャンネル間においてAND、NAND、OR、NORなどの論理が成立したとき、トリガがかかります。接続できるチャンネル数は、簡易なロジック・アナライザ機能を内包するオシロスコープ（MSOと呼ばれる）においては、20チャンネル程（16チャンネルのデジタル入力部と4チャンネルのアナログ入力部を持つ場合）にもなります。

<使用例>

多くのオシロスコープの場合、論理の成立する時間幅もトリガ条件に加えることができますので、グリッチの発生を多チャンネルに渡り監視することもできます。どのチャンネルにおいてグリッチが起きるかが分からない場合、複数のチャンネルに信号をつなぎ、ORを選ぶことにより、多チャンネルを同時に（効率的に）監視し、異常波形の発生を捕らえることができます。



ロジック・トリガ

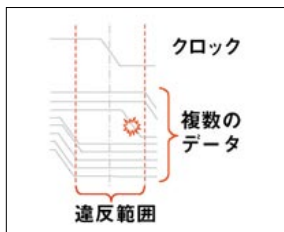
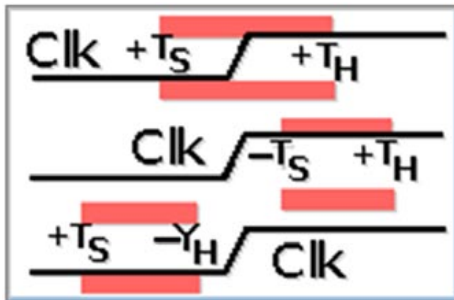
3. 拡張トリガ その2

(6) セットアップ & ホールド・トリガ

クロックに同期してデータを読み取る多くのデジタル IC にとって、クロック・エッジの前後の一定時間幅において、データのロジック値が変化しないことが、安定した動作の必須条件です。これらの時間幅はセットアップ時間とホールド時間として、IC のデータ・シートに規定されています。

< 使用例 >

メタ・ステーブルやグリッチなどの異常波形が観測された場合、このセットアップ & ホールド時間違反もその原因の 1 つとして考えなければなりません。クロック・エッジに対してデータのロジック値が安定していることを確認する作業が必要です。ところが、多くの場合 1 クロックに対して確認できるのは、1 データなのです。データは複数ですので、多数のデータから一本を選び時間違反を確認し、この作業をデータの数だけ繰り返すのはとても時間がかかります。そこで、1 クロックと複数のデータを同時にオシロスコープに接続して、多チャンネルの時間違反を一度に監視することができるオシロスコープが重宝します。一度接続し、データ・シートに記載されたセットアップ時間とホールド時間をトリガ条件に設定したら、後はトリガがかかるのを待つだけです。



セットアップ & ホールド・トリガ

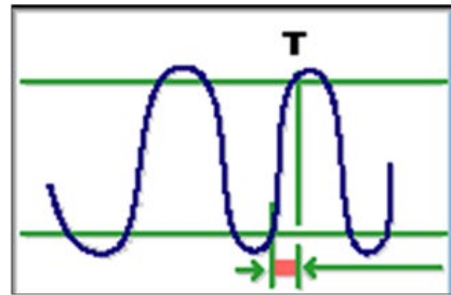
(7) 立上り / 立下り・トリガ

CMOS への入力 (HI と LO の) 中間電位に留まる時間が長くと、大きな貫通電流が発生します。この貫通電流により電源電圧変動が生じ、回路動作を誘発することもあります。これを避け

るため、CMOS のデータ・シートにおいて入力信号の立上り時間を規定しています。こうした原因が疑われる場合、立上り / 立下りトリガは有効です。

< 使用例 >

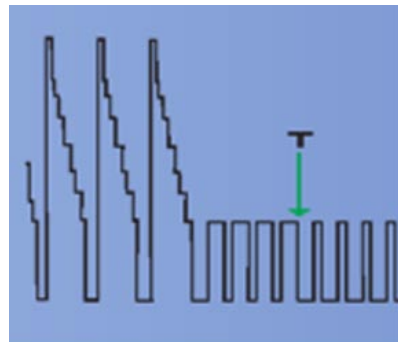
稀に発生する不具合の原因の 1 つとして、入力信号の立上りが遅すぎることが疑われる場合、CMOS の入力波形をオシロスコープに入力し、「立上り / 立下りトリガ」を選びます。データ・シートに記載された立上り時間をトリガ条件に設定したら、後はトリガのかかるのを待つだけです。



立上り / 立下り・トリガ

(8) ビデオ

PAL や NTSC や HDTV のようなビデオ信号に対して、このトリガにより指定した特定のラインやフレームやフィールドを表示することができます。映像信号を扱う機器において不具合が発生した場合や設計通りの動作をしているかを検証する場合、このトリガ機能が活躍します。例えば、特定ラインにおける波形を表示させ、その形とパラメータ (パルス幅や立上がり時間など) を確認することにより、設計を検証することができます。



ビデオ・トリガ

(9) バス・トリガ

組込みシステムにおいては、コントロールにI²CやCANなどの低速シリアル通信信号を用いたデバイス（ICやユニット）が多く存在し、設計者の負荷を軽減し設計の効率化とボードの小型化に寄与しています。長い年月使われ続けているパラレル・バスに加え、シリアル・バスがボード上のデバイスをコントロールする主役になっています。ところが一旦、不具合が発生し、それらデバイスの動作を確認する必要がある場合、デバッグは困難を極めます。旧世代のオシロスコープには、パラレル・バスはもちろんシリアル・バスにトリガをかける機能がありません。バス・トリガがあれば、バスを流れるデータの内容によりトリガをかけることができますので、飛躍的にデバッグを効率化できます。

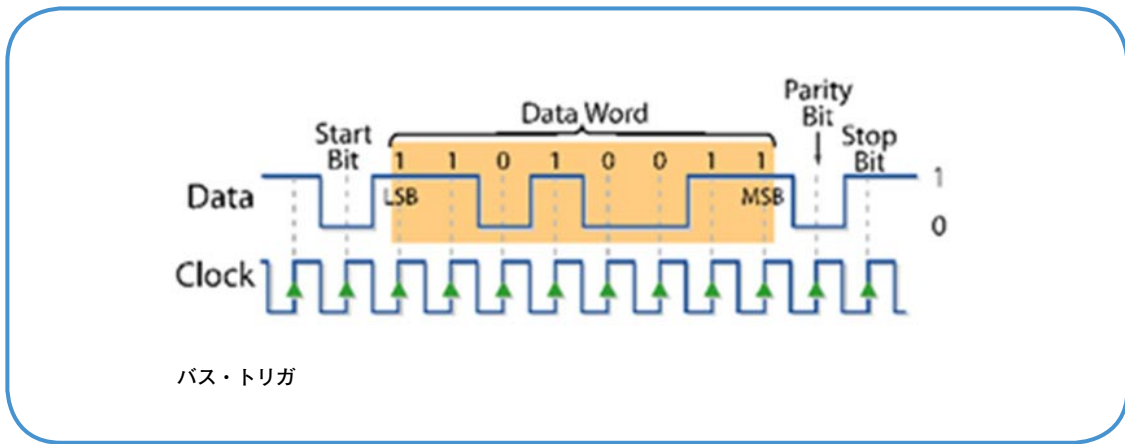
< 使用例 >

バスを流れるデータの内容によりトリガをかける機能は、多くの場合、データの内容をデコードし表示する機能と同時に供給されます。この2つの機能を合わせた使い方は非常に自由度が高く、

強力です。

例えばI²Cにおいて、特定のデバイスに対してなされた特定の動作が疑われる場合、バスを構成する信号をオシロスコープに投入し、「バス・トリガ」を選びます。バスのアドレス値（特定デバイスに相当）データ値（特定動作に相当）をトリガ条件に設定したら、後はトリガのかかるのを待つだけです。

トリガがかかれば、疑わしい動作が画面の真ん中に表示されます。同時にデータの内容も表示されていますので、その動作が設計者の意図した動作であるかどうかすぐに分かります。動作が意図しないものなら、原因究明も可能です。なぜならば、時間的に古い時点に原因があり、そこから時間が経過した時点で異常波形が生じる訳ですので、画面の中央から左側（時間的に過去の部分）に、異常を引き起こす原因がひそんでいることになるからです。表示する時間幅を長くしたり、怪しいとらんだ別波形を別チャンネルに表示し同時観測したりすることにより、デバッグを進めていくことができます。



4. カーソルと自動測定

(1) カーソル登場前

オシロスコープの画面は垂直軸と水平軸を持ち、一目盛当たりの単位が明示されています。目盛いくつ分の大きさだと目で読み取って、それを一目盛当たりの単位で換算することによって、初めて波形の大きさを知った訳です。つまり、一目盛1Vと明示された画面において、5目盛分の大きさで描かれた波形は5Vの大きさを持つことになります。ところが、実波形がちょうど切りのいい大きさではない時（例えば、6.2目盛）は換算も楽ではありませんし、観測者によっては、6.1目盛と読み取るかもしれませんし、6.3目盛と読み取るかも知れません。

(2) カーソル

そこでカーソルが登場しました。カーソルは波形の要素（パラメータという振幅や周期など）を数値化するために使われます。まさに波形に定規を当てるように、2本の線（“カーソル”と呼ばれる）を測定したいポイントに移動するだけで、その点のパラメータ（電圧や時間）を数値化し画面に表示して

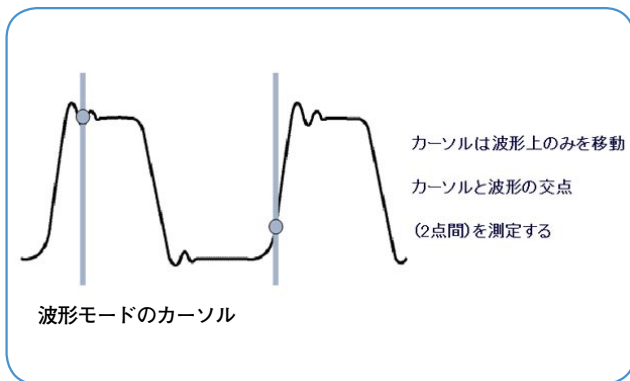


くれます。カーソルを使えば、目で読み取らなければならない「ストレス」と頭で換算するときの「計算ミス」から開放されます。波形の大きさや距離を、目で見て、頭で換算するしかなかったオシロスコープに、カーソル機能が、強力な「測定力」を加えました。

カーソルには波形データの部分のみをなぞることのできる「波形モード」と画面のどの部分でもなぞることのできる「スクリーン・モード」があります。

カーソル：波形モード

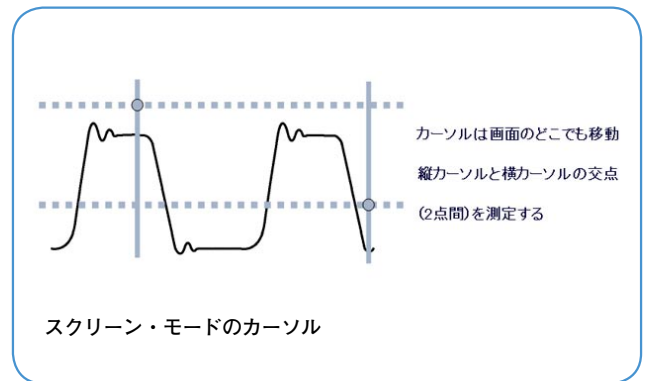
波形モードのカーソルは縦2本の直線で構成されます。波形データとこれらの直線は必ず交差しますので、交差した点が2つ発生します。これらの点と点の間を縦に測れば、電圧、横に測れば、時間を測ることができます。これらの点は必ず測定対象の波形データ上を動くこととなりますので、新たな測定点を定めるときも、横の移動量のみ注力すればOKです。縦方向の移動量を気にする必要がありません。確実に素早く波形を測定することができます。



カーソル：スクリーン・モード

スクリーン・モードのカーソルは縦2本、横2本の合計4本の直線で構成されます。縦の直線と横の直線が交差する点は4カ所生じますが、この内、対角の2点を使います。これらの点と点の間を縦に測れば、「電圧」、横に測れば、「時間」を測ることができます。これらの点は波形に関わらず、画面上のどこにでも移動できますので、自由度の高い測定が可能です。例えば、画面上から消え入ろうとしている残光部分（残光部分とは、かつて波形データにより一度描かれた波形が、画面に表示データとして

残っているだけで、すでに波形データはない）でも対象にすることができます。



(3) 自動測定

自動測定機能を使えば、カーソル機能よりさらに簡単に波形パラメータを測定することができます。よく使われる何種類ものパラメータがオシロスコープ内にあらかじめ準備されており、ユーザはそれを選択するだけで、波形のパラメータが自動的に計算され、画面に表示されます。ユーザは「ストレス」と「計算ミス」から開放されるばかりではなく、波形にカーソルを当てることからさえ開放されます。自動測定機能がオシロスコープの「測定力」をさらに強力なものに変えました

ノイズが多い場合、ノイズに関してヒストグラムをとり頻度の一番多い点を自動的に測定対象とすることもできますので、人の勘に頼る必要もありません。ノイズで膨れた波形に「この辺かな…」とカーソルを当てるよりずっと正確な測定ができます。測定対象となる波形の「ここからここまで」と測定対象範囲まで、指定することができます。

しかし、これら非常に便利な機能は諸刃の剣であることを忘れてはなりません。測定の基本を知らなくても、それらしい結果が得られますが、パラメータの定義も理解せず、垂直軸・時間軸を不適切に設定したままでは、行った測定は間違いだらけの結果となります。例えば、「ピークツーピーク」自動測定と「振幅」自動測定は定義が違いますし、立上り時間測定にも10% - 90%定義と20% - 80%定義があります。これら便利な自動測定機能は測定の基本を身につけ、パラメータの定義を理解したエンジニアのための機能です。初心者レベルのエンジニアは、決してご乱用なきようご注意ください。

	値	平均値	Min	Max	標準偏差
① 周波数	1.000kHz	1.000k	999.6	1.001k	296.3m
① 周期	999.6μs	999.7μ	999.0μ	1.000m	296.1n
① +幅	499.6μs	499.6μ	499.0μ	500.0μ	207.5n
① +デューティ	49.98 %	49.98	49.95	50.02	14.04m
① p-p	2.64 V	2.63	2.60	2.66	14.2m
① 最大値	2.58 V	2.57	2.56	2.58	10.0m
① 平均値	1.25 V	1.25	1.25	1.25	508μ
① 実効値	1.76 V	1.76	1.76	1.76	385μ

便利な自動測定機能だが、それは諸刃の剣であることを忘れてはならない

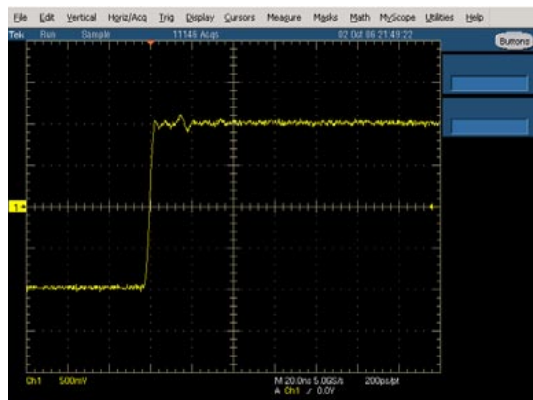
5. 合否判定

合否判定は、オシロスコープが自動で波形の不良を検知してユーザに通知したり、不良波形を保存したりする機能です。波形を取り込むたびに正常な波形（幅）と比較し、設定した基準値（幅）を外れた時、ピープ音、E-mail、SRQ 波形取込停止、プリンタ印刷、ファイル保存などの処理をします。合否の基準値（幅）さえわかっているならば、合否判定機能はいろいろな使い方が可能です。デバイスの良品、不良品を選別する「自動化」用途や、通信の規格に沿っているかを判断する「コンプライアンス」用途や、稀に発生する不良波形を捕らえるような「デバッグ」用途に使えます。

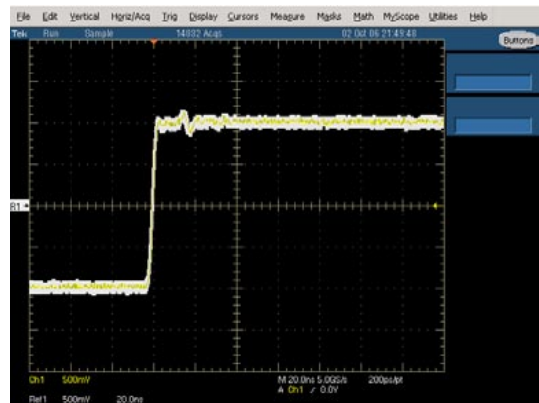
波形を観測することにより、「波形の性質を知る」用途が、オシロスコープにとって最も基本的な用途ですが、合否判定機能を持つオシロスコープは、「デバッグ」用途や「自動化」用途や「コンプライアンス」用途に対応できるようになり、使用される機会を大きく広げました。

(1) リミット・テスト

まず良品と認める実波形を選び、その波形を上下左右に膨らませ、幅を持たせます。こうしてできた波形幅（テンプレートと呼ぶ）が合否判断の基準となります。つまり取り込まれた波形がテンプレートに収まっていれば「良」、テンプレートをはみ出せば「不良」となるわけです。複数のチャンネルを対象にしたリミット・テストも可能です。どのチャンネルに不良があっても、リミット・テストは機能し、ユーザへの通知と、不良波計の保存を行います。4つのチャンネルで4種のテンプレートを用いて信号を監視しておけば、合否判定の効率を上げることができます。



良品の波形



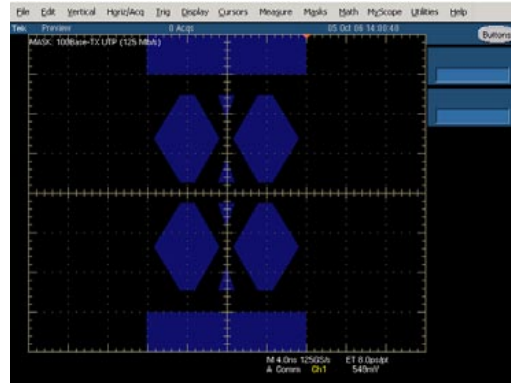
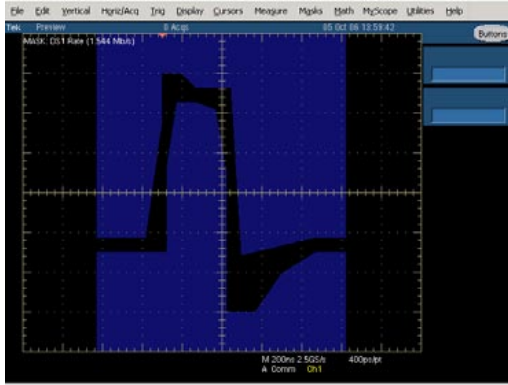
上下左右に膨らませたテンプレート



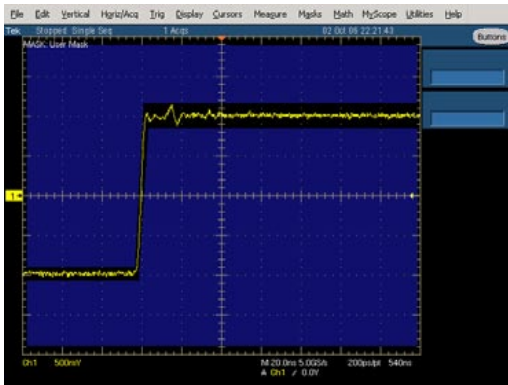
リミット・テストにより、音を鳴らす、取込みを止める、プリンタに印刷する、波形データをファイルに保存する、E-mailを出すといったアクションが発生する

(2) マスク・テスト

本来マスク・テストは、のITU-T G703や100BASE-TXなど規格化された通信のマスクに対して、通信信号の規格適合性を判定するものです。しかし、多くのマスク・テストにおいては、ユーザが自由にマスクを描くことができる機能（ユーザ定義可能なマスク）があります。これを使えばリミット・テストのテンプレートと同じ働きをしますので、合否判定ができます。元来マスクはシンプルな凹凸型や四角や六角の集合体ですので、ユーザ定義マスクといえども、あまり複雑な形を描くのは得意ではありません。しかし、次の図のように波形の合否判定には十分です。



マスク・テスト例（ユーザ・マスクにより、LimitTestのテンプレートのような描き方ができる）



好みのマスクを作成（マスク・テストを実施し、はみ出すとNoGO、音を鳴らす、取込みを止める、プリンタに印刷する、波形データをファイルに保存する、Emailを出すなどを実施）

(3) 自動測定値

オシロスコープによっては、自動測定（前回を参照）の値を使って合否判定することができます。自動測定はオシロスコープが波形のパラメータを測り、画面にその結果を表示する機能ですので、リミット・テストやマスク・テストのようにわざわざ判定のためのテンプレートやマスクを作る必要がありません。

自動測定の項目を選択し、測定結果が設定したリミットを超え

ると、パルスを出したり、波形を止めたり、当該波形を保存したりして合否をユーザに知らせます。自動測定は種類を多く、オシロスコープによっては20種類以上の項目があります。シンプルな振幅や周期以外にも、オーバershoot量やデューティ比やパルスの数さえも対象とできますので、自由度が高く、広範な現象に対して合否判定を用いることができます。

6. 波形 / 設定の保存 / 呼出

デジタル・オシロスコープの内部でデジタル・データ化された「画面イメージ」や「表示波形」や「パネル設定」は簡単に、メモリに保存したり、オシロスコープに再度呼出したりすることができます。波形 / 設定の保存 / 呼出はデジタル・オシロスコープならではの機能です。波形の保存 / 呼出機能と設定の保存 / 呼出機能を使えば、遠い現場にあるオシロスコープのデータを活用したり、繰り返し行わなくてはならない作業を省略することができます。

仕事をおおいに効率化できます。

(1) 画面イメージを（写真に撮ったように）保存 → PCで呼出す

画面イメージを写真に撮ったように保存できます。BMP形式やJPEG形式やPNG形式でUSBメモリに保存しますので、PCで開き、レポートの作成に役立ちます。

(2) 波形数値データを CSV フォーマットで保存 → PC で呼出す

表示波形を数値データとして保存できます。保存形式として CSV を選べば、USB メモリに保存して PC で開き、表計算ソフト (Excel など) で解析ができます。

(3) 波形数値データを保存 → 波形を画面に再現する

表示している波形を数値データとして保存できます。保存形式として機器依存の特殊な形式 (内部形式と呼ばれる) を選び一旦 USB メモリに保存しておけば、後に、同種のオシロスコープに呼び戻すことができます。内部形式の数値データは、USB メモリからオシロスコープ内部の比較用メモリ (リファレンス・メモリと呼ばれる) に移動され、画面上にリファレンス・メモリ波形として表示されます。

表示波形をリファレンス・メモリに直接保存することもできます。リファレンス・メモリに保存された波形は、すぐに、オシロスコープ画面にリファレンス・メモリ波形として表示することができます。リファレンス・メモリに保存された波形は自由度が高く、移動させたり、拡大 / 縮小させたりできますので、オシロスコープで取り込まれたライブな波形と比較することが容易です。装置の特性改善を施した場合の効果を確認するため、改善前の波形をあらかじめリファレンス・メモリに保存しておき、改善後の波形をオシロスコープに入力し、リファレンス・メモリ波形と比較することができます。

< 使用例 >

波形の保存・呼出機能を使えば、時間的に制限のある現場において、次々と波形を保存しておき、後でじっくりとオシロスコープに呼出して解析することができます。

(4) 設定を保存 → 同じ設定を再現する

オシロスコープのパネル設定 (垂直軸、時間軸、トリガ・レベルなど) が保存できます。保存先として USB メモリおよび内部設定メモリが選べます。後でオシロスコープに呼び戻すことにより、まったく同じ設定を復元することができます。同じ機種 (シリーズ) であれば互換性がありますので、遠隔地にあるオシロスコープで保存したパネル設定を、机上のオシロスコープで再現することができます。

< 使用例 >

今使用しているパネル設定を、後日再度使いたいとか、設計と製造との間で同じパネル設定を使ってデータを検証したいとか、パネル設定に依存するバグを再現させたいとか、工程に合わせた複数のパネル設定を切り替えつつ製造する場合などに効果を発揮します。

種類	形式	保存先	使用箇所	使用例
画面イメージ	BMP、JPEG 等	USB メモリ	外部 PC	画面添付
	CSV	USB メモリ	外部 PC	表計算ソフト
波形数値データ	機器依存の特殊型	USB メモリ	同種のオシロスコープ	波形再表示
	機器依存の特殊型	内部リファレンス・メモリ	同じオシロスコープ	波形再表示
設定	機器依存の特殊型	USB メモリ	同種のオシロスコープ	パネル再設定
	機器依存の特殊型	内部リファレンス・メモリ	同じオシロスコープ	パネル再設定

波形 / 設定の保存 / 呼出の各機能の概要

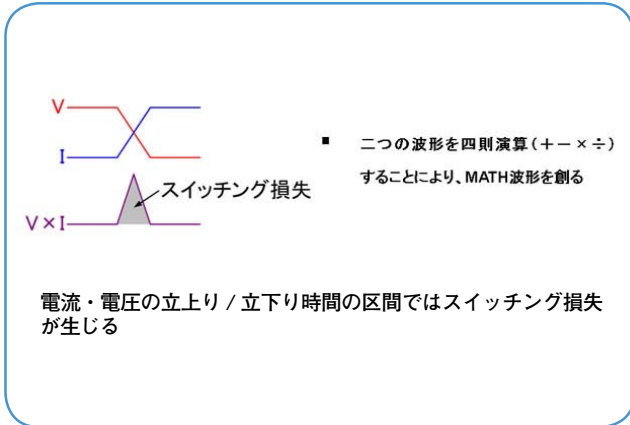
7 波形演算

デジタル・オシロスコープはデジタル化した波形数値データを扱いますので、波形を足算したり、引算、掛算したりすることだけではなく、微分したり、積分したり、FFT (Fast Fourier Transform: 高速フーリエ変換) をかけたりすることを簡単にやっつけてくれます (こうして創られた波形を MATH 波形と呼びます)。ごく一部の機能はアナログ・オシロスコープにもありましたが、このような「波形演算 (MATH)」と呼ばれる機能

は、デジタル・オシロスコープにおいて大いに発達した機能です。この機能により、観測し測定する力に加え、解析する力を得たオシロスコープは、さらに広くさまざまな用途に使われるようになりました。例えば、掛算により電力測定、引算により差動測定、FFT により高調波測定、演算式により自在な演算を行うことができます。

(1) 掛算による電力測定

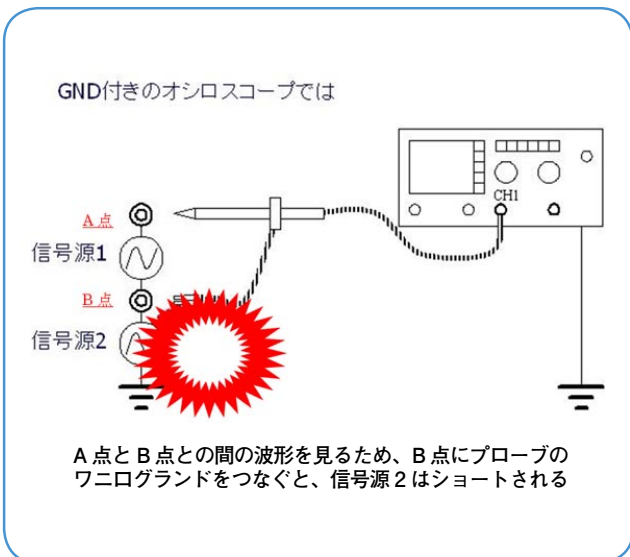
スイッチング電源において、トランスなどの部品の小型化が望めますのでスイッチング周波数を高くすることが望まれます。しかし、電流・電圧の立上り / 立下り時間の区間において下図のようなスイッチング損失が生じますので、周波数が上がると損失が増加し、スイッチング電源の効率悪化をまねきます。



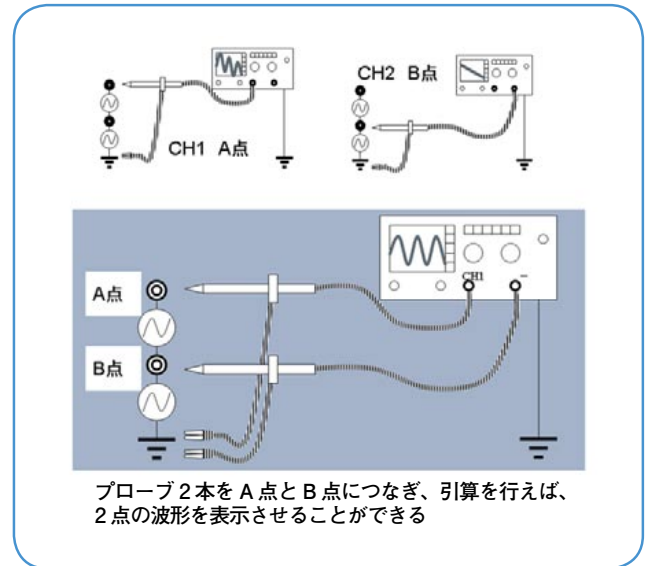
一方、立上り / 立下り時間を早めると、今度は高調波ノイズが増加します。これらの要素が絡み合うスイッチング電源においては、スイッチング損失を実際に測定することが必要です。スイッチング損失はスイッチング時の電力波形を測定することにより、測ることができます。ただ、電力波形は実回路上に存在しません。存在するのはスイッチング素子に加わる電圧波形と、そこを流れる電流波形です。そこで2つのチャンネルで電圧波形と電流波形を取込み、波形演算機能の掛算が使われます。電圧と電流を掛ければ電力ですので、電圧波形と電流波形を掛算し電力波形を作ります。電力波形により、平均電力や瞬時電力がすぐに分かります。

(2) 引算による差動測定 (フローティング測定)

ある電位を持つB点を基準にして、別電位を持つA点を測定することをフローティング測定といいます。A点とB点との間の波形を見るため、B点にプローブのワニ口グラウンドをつなぐと、信号源2はショートされます(下図)。プローブのワニ口グラウンドは、電源ケーブルのGND端子を通して対地アースに接続されているからです。

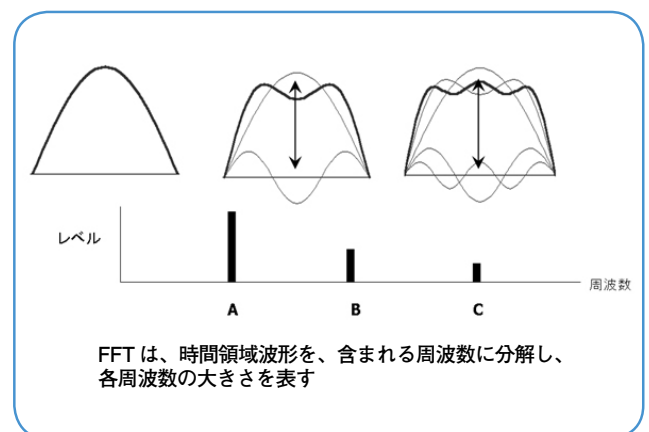


電源ケーブルのGND端子をアースに接続しないという危険な方法を用いなくても、安全に行う手法があります。それが波形演算の引算を使う手法です。プローブ2本をA点とB点につなぎ、引算(CH1 - CH2)を行えば、A点とB点との間の波形をオシロスコープに表示させることができます。



(3) FFTによる高調波解析

複雑な波形も周期性があるなら、基本波とその整数倍の正弦波・余弦波の和として表現できるというフーリエ変換処理を行い、波形演算機能のFFTは、時間領域の波形を周波数領域表現に変換できます。FFTは、時間領域波形を、含まれる周波数に分解し、各周波数の大きさを表現しますので、どの周波数成分がどれだけ含まれているかを知ることができます。これにより時間領域表現では決して分からない、波形の性質が見えてきます。例えば、時間領域表現では歪みのないサイン波に見えても、周波数領域表現で見ると高調波成分が見え、歪んでいることが分かります。



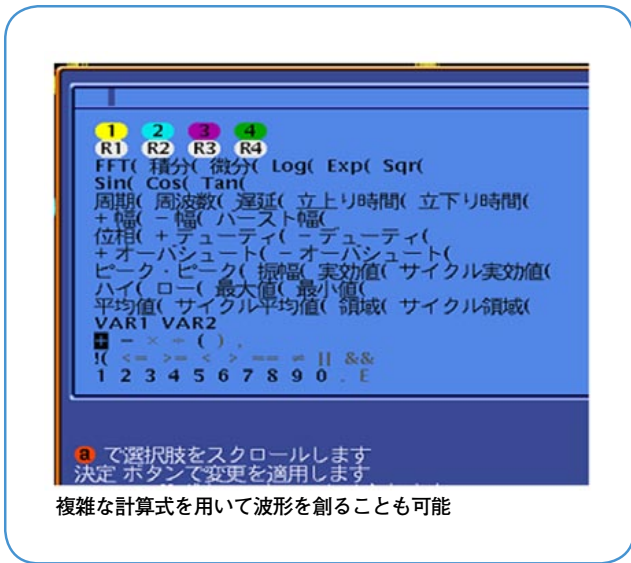
(4) 演算式による自在な演算

単純な四則演算のみならず、複雑な計算式を用いて波形を創ることもできます。不等号や論理演算子などの数学記号が使い、logや微分、積分などの関数も使えます。加えて、計算式の要素として、実波形データ、保存した波形データ、自動測定したパラメータ、任意の固定値を自在に組み合わせることができます。

微分 (CH1)

CH1 + 実効値 (CH2)

CH1 + 1 volt



演算式の Trend を使えば、パラメータ自動測定の値が画面内においてどのように計時変化しているかを見ることがもできます。

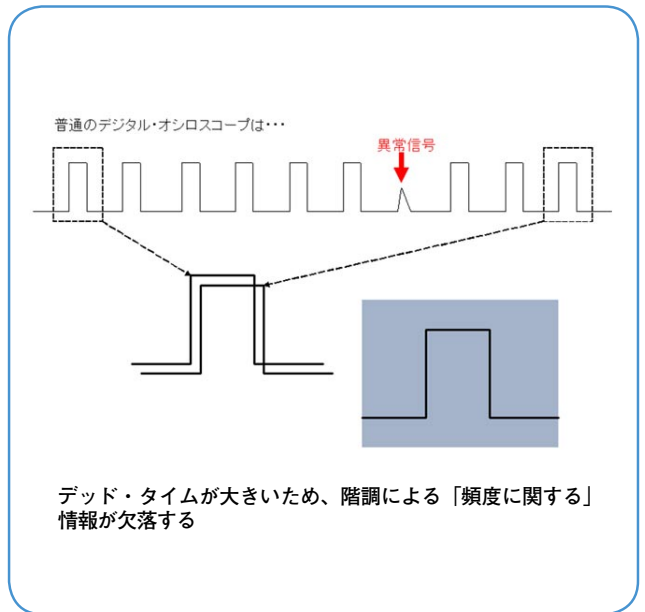


8. 高速取込み / 階調

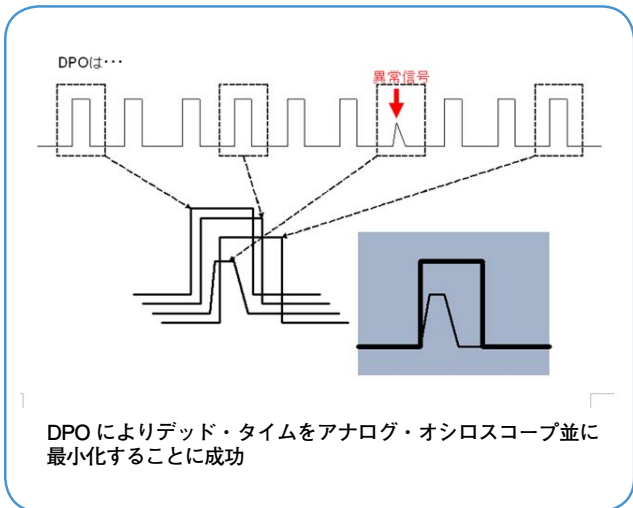
特別なモードを除き、オシロスコープは連続発生している波形をペン・レコーダのように切れ目なく連続して描き続けている訳ではありません。

連続発生している波形の一部を切り出し、表示しては、また切り出し、表示するという動作を繰り返しています。つまり、切り出しと切り出しの間には切り出せない部分があるのです。この切り出せない部分は見ることができませんので、デッド・タイムと呼びます。このデッド・タイムがデジタル・オシロスコープでは非常に大きいのです。これが、アナログ・オシロスコープからデジタル・オシロスコープへの進化の過程において、1つだけ退化した性能です。非常に稀に発生する異常信号をイメージしてください。稀にしか発生しない異常信号が切り出せる(見える)かどうかは、デッド・タイムが大きければ大きい程、確率的に低くなります。つまり、「異常の有無に関する」情報が欠落します。デッド・タイムは波形の見た目にも大きく関わります。

切り出された波形の描き方は最初明るく、だんだんと暗くなるように表示されます。一定時間(数十ms)後には波形は画面から消えてなくなります。次から次へと切り出された波形が高速に描かれつつ、消えていけば、画面は濃淡(階調)のある豊かな表現となり、波形の挙動が見て取れます。しかし、稀にしか切り出されない場合はまるで一筆書きのような薄っぺらな表現となってしまいます。デジタル・オシロスコープのデッド・タイムは大きいので、階調による「頻度に関する」情報が欠落します。



デッド・タイムが大きいことによる2つの問題を解決したのが、DPOと呼ばれるオシロスコープです。デッド・タイムをアナログ・オシロスコープ並に最小化することに成功し、「異常の有無に関する」情報と「頻度に関する」情報を取り戻すことができました。



<使用例 1>

画面の中に描かれる波形の濃淡は波形の発生頻度に比例します。濃い部分の頻度は高く、薄い部分の頻度は低いことが読み取れます。ビデオ信号の観測において、輝度の濃淡によって表現された振幅変動や輝度変動などから、ビデオ信号品質の評価をすることがあります。アナログ・オシロスコープと比較して遜色ない濃淡表現を可能にしたことにより、波形の観測力を高め、波形の挙動を知ることができます。

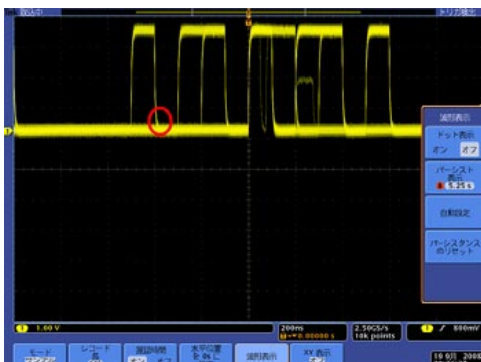
<使用例 2>

早く製品を市場に投入するには、デバッグの効率化が必須です。デバッグ効率化にはキーとなる3つのステップがあります。

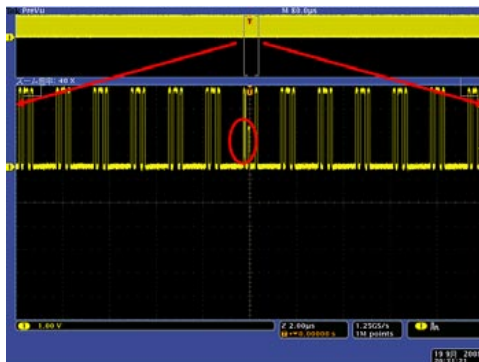
1. 異常波形の有・無を目で見る
2. 異常波形にトリガをかけ、画面中央に静止させる
3. トリガ点の左側 (過去の時間) から異常波形発生の原因を探ります。

異常波形を目で見て、トリガをかけ、異常波形を画面の真ん中に表示できれば、その原因究明を開始することができます。なぜならば、時間的に古い時点に原因があり、そこから時間が経過した時点で異常波形が生じる訳ですので、画面の中央から左側 (時間的に過去の部分) に、異常を引き起こす原因が潜んでいることになるからです。表示する時間幅を長くしたり、怪しいとらんだ別波形を別チャンネルに表示し同時観測することにより、デバッグを進めていくことができます。

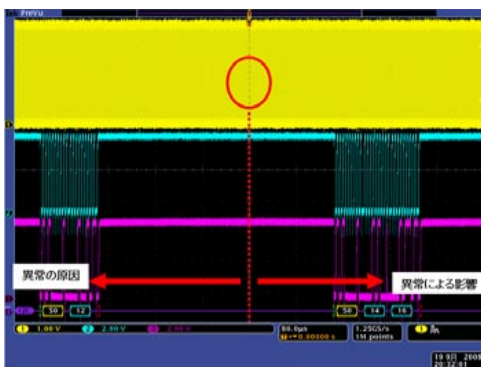
DPO はデバッグの開始時点における「観測力」が飛躍的に高く、異常波形を目で見ることができます。そのため、その後に続くトリガ操作が容易になり、著しい効率化を図ることができます。



(1) 異常発見 (ここで DPO が必須)



(2) 長いレコード長で取込み



(3) その原因とその影響を探る

デバックには明確に3ステップを踏むとよい

1. 異常信号を見る
2. 異常信号にトリガをかける
3. 前後 (原因と影響) をドンと取る

9 ロング・レコードの検索

(1) レコード長(メモリ長)の長さが引き起こすストレス

デジタル・オシロスコープは波形を点で描きます。見せ方の工夫により、波形は線のように見えますが、基本的に点で描かれています。点の数が多ほど表示波形は細かい表現ができ、波形の微細な形を描くことができます。この点の数をレコード長(メモリ長)と呼び、その数は多く(長く)なる一方です。今日 10M ポイント(1,000 万ポイント)ものレコード長も珍しくありません。

同じ細かさで描くのでしたら、長いレコード長は記録時間の拡大に直結しますし、記録時間を固定するなら、長いレコード長は波形をより細かく描くことができます。不良原因の追究(デバッグ)においては長いレコード長が効果的です。ある時点で不良が見つければ、その時点よりさらに時間的に古い時点にその不良の原因がある訳ですので、異常を引き起こす原因をより確実に捕らえるには記録時間が長いに越したことはありません。表示する時間幅を長くしておけば、その中に不良の原因が捉えられている可能性が高くなりますので、デバッグを効率化できます。

と、ここまでは波形をレコード長に取込むまでの話です。実際問題はこの後に生じます。尋常な方法では取込んだ波形を見られないのです。初期のデジタル・オシロスコープのレコード長は 512 ポイントで 1 画面を形成していました。これを 1 ページとすると、2 万倍もの長さのレコード長は、2 万ページに等しい巨大さとなります。想像してください、2 万ページもの本を読めますか? 優れたツールなしでは、ワラの山から一本の針をさがすような非効率な作業となってしまうことがおわかりになるとと思います。

(2) WaveInspector 登場

そこで、専用のツールが必要となります。長大なページを簡単にめくる機能や、興味のあるページにはシオリをはさむ機能や、シオリから次ぎのシオリへジャンプする機能がなくてはならない機能でしょう。もっと便利なのは、全ページに対して検索をかけ、条件に合ったページをピックアップする機能でし

う。これらの機能があって初めて、2 万ページもの長いレコード長が読めるわけです。これらの機能が WaveInspector にすべて集約されています。

< 使用例 >

ここでは、WaveInspector の例をとります。まず、専用のダイヤルとボタンで構成されている点が特筆される特徴です。カーソルや数値代入と兼用させられる汎用ダイヤルではありません。深いメニュー階層に置かれた拡大メニューではありません。使いたいと感じたときにすぐそこにある専用ダイヤル/ボタンです。長いレコード長にギッシリと詰め込まれた無数の波形のどの部分をどのくらい拡大するかも、直感的に専用ツマミを回すだけで OK です。長いレコードの端から端までスクロールするのも PLAY ボタンによる自動スクロールが可能です。スクロール・スピードも直感的にダイヤルをネジるだけです。早くも遅くも逆方向へも思いのままにコントロールできます。

スクロール中に興味深い箇所が見つければ、その箇所にマークを付けることができますので、後ほどマーク箇所に戻ることが簡単にできます。複数のマークが付けられた場合も、矢印ボタン 1 押しで簡単にマークとマークの間をジャンプできますので、興味深い箇所のみを効率的に見ることができます。

「トリガ」と「検索」の関係も完璧です。ある条件に合ったときにある処理をするという点において、「トリガ」と「検索」は似たもの同士です。「トリガ」は、流れる実波形を対象に条件を探し、「検索」は取込み終えた波形を対象に条件を探するという違いだけです。

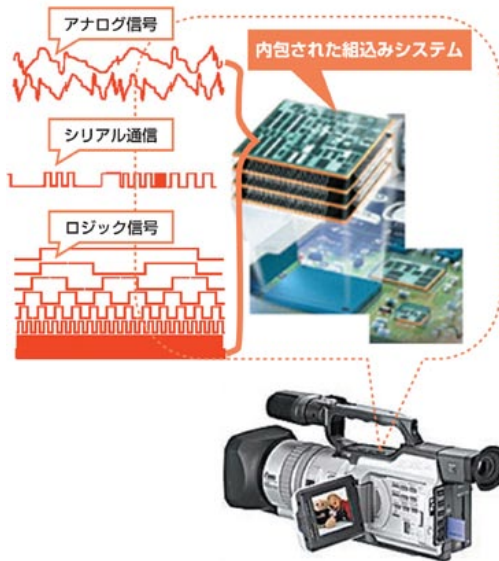
「トリガ」がかり、取込んだレコード長の中をさらに「検索」して、条件を探すこともありますし、逆にレコード長の中から「検索」で見つけた条件を使って、もう 1 度「トリガ」をかけて、波形を取込み直すこともあります。よって、「トリガ」に関する設定内容と「検索」に関する設定内容は、互いにコピーでき、効果的に運用することができます。これらの機能はすべて WaveInspector で行うことができます。



10 シリアル・バスの解析

(1) シリアル・バスって何？

波形の形を観測したり、波形のパラメータ（大きさや時間）を測定する機能と比べると、シリアル・バス解析機能はちょっと毛色が違います。I²C や CAN や RS232C などのシリアル・バスを流れるデータを読み解き（デコード）、表示する機能です。シリアル・バスとは、I²C、SPI、CAN、LIN や RS232C のように規格化された「低速シリアル信号」の流れるバスのことです。シリアル信号と呼ばれますので、1本の信号線で伝送されるように誤解されがちですが、規格によっては2本の信号線や3本の信号線を要します。複数の信号線がバスを形成する状態からシリアル・バスと呼ばれます。



シリアル通信とアナログ通信の違い（イメージ図）

(2) シリアル・バス解析

シリアル・バス解析機能を持つオシロスコープは、データの内容をデコードする点でプロトコル・アナライザの機能を持ったオシロスコープとすることができます。シリアル・バスを流れる信号を規格にしたがいデコードします。デコードしたデータの表示の仕方に2通りあり、シリアル・バスを流れる実波形に沿わせるようにデコード値を表示することもできますし、デコード値のみを一覧表（イベント・テーブル）にして表示することもできます。不具合の原因追及（デバッグ）過程において、ソフトウェアの内容に特化してデバッグを進める場合にはイベント・テーブルが効率的ですし、他の波形との因果関係を追跡する場合には実波形に沿わせた表示が役に立ちます。

Time	Identifier	DLC	Data	CRC	Missing Ack
-2.03ms	549	1	A1	110B	
-1.74ms	55F	7	Remote Frame	308B	
-1.57ms	110E0000	3	57 00 3E	308B	
-1.27ms	301	1	FF	110B	
-1.01ms	55F	7	A2 56 EF 00 17 D2 88	308B	
-806us	10E	2	C4 06	308B	
-493us	70E	4	0E ID of AA	110B	
-246us			Error Frame		
-38.0us	110E0000	1	75	308B	
270us	301	2	A1 FF	110B	
523us	70E	4	Remote Frame	308B	
730us	110E0000	1	57	308B	
1.04ms	549	1	C8	110B	
1.29ms	55F	2	F7 70	308B	
1.50ms	70E	4	02E F0K2	308B	
1.81ms	549	2	B4 CD	110B	
2.06ms	301	1	F0	308B	
2.27ms	55F	6	EF 00 ID of 56 A1	308B	
2.37ms	10E	3	07 2F 30	110B	
2.53ms	70E	3	1F F0K2	308B	
3.03ms	549	1	4C	308B	

イベント・テーブル

オシロスコープがシリアル・バス解析機能まで持つに至った背景には、組み込みシステムの隆盛があります。コンピュータを内蔵しながらも、コンピュータの存在を意識させない機器を組み込みシステムと呼びますが、冷蔵庫からロケットまで、今日の多くの機器が組み込みシステムです。これら組み込みシステムの内部で使用されるICなど多くのデバイスは、シリアル・バスによるコントロールを用いています。シリアル・バスによるコントロールは設計の効率化に大いに寄与しますが、一旦不具合が生じるとやっかいです。オシロスコープで波形を観測しても、データがシリアル列として連続するだけで、何が何やら全くわかりません。

古くから、オシロスコープはいろいろな機器の設計から製造、検査と多くの局面で不具合のデバッグに使われてきましたが、波形を見るだけのオシロスコープでは、ことシリアル・バスの解析に関しては無能でした（シリアル・バスの解析機能が可能になる前は、I²C信号なら、クロック・エッジごとにデータのHI/LOを記録して、I²Cのプロトコルに従い手作業により、データの内容をデコードしなければなりませんでした）。とても時間のかかる非効率な作業を強いることになります。ところが、シリアル・バス解析機能を持つオシロスコープは、そんな作業を一瞬にしてこなします。

< 使用例 >

組み込みシステムのエンジニアの守備範囲は広く、「ソフトウェアは正しく動作しているのか？」「ハードウェアは正しく動作しているのか？」「特定のコマンド・データを送った時のシステムの振る舞いは？」と多方面に気を配らなくてはなりません。シリアル・バス解析機能を持つオシロスコープは、ソフトウェアの動作（例えば、特定のコマンド・データがバスに流れた）を感知することができますし、その後続くハードウェアの動作（例えば、ICの出力波形）を確認することができます。ソフトウェアの動作がおかしい（例えば、特定のコマンド・データがバス

に現れない) 場合は、その前に流れたデータの内容を読み解き、原因(例えば、プログラムの不備)を見つけることもできます。

シリアル伝送方式は、データが時間方向に結合された形です。単純に言うと、8ビットの並列伝送方式をシリアルの伝送方式にすれば、8倍超の長さになります。したがってシリアル・バスの解析には長い記録長を必要とします。記録長に関しては、今日のオシロスコープの多くは十分な長さ持ちますが、問題は、その長い記録長をストレス無く使いこなすツールを装備しているかどうかです。WaveInspectorのようなツールなしでは、長い記録長を扱う作業は、ワラの山から一本の針を探すような非効率な苦痛の満ちたものとなってしまいます。逆にWaveInspectorのようなツールがあれば、検索やマーク付け機能により、シリアル・バスに流れる特定のデバイスを指定したり、特定の動作を指定したりできますので、ストレスなく効率的にデバッグを進めることができます。



11. MSOによるバスの解析

(1) MSOは並列・バスの解析に最適

並列・バスの解析機能を持つオシロスコープはMSOと呼ばれ、簡易型ロジック・アナライザ機能を内包しています。2~4チャンネルの通常のアナログ入力部に加え、多チャンネルのデジタル信号(1か0という2進の論理値を持つ)を扱うデジタル入力部を持ちます。デジタル入力部のチャンネル数は各メーカーのモデルにより、8~32チャンネル程の数になります。



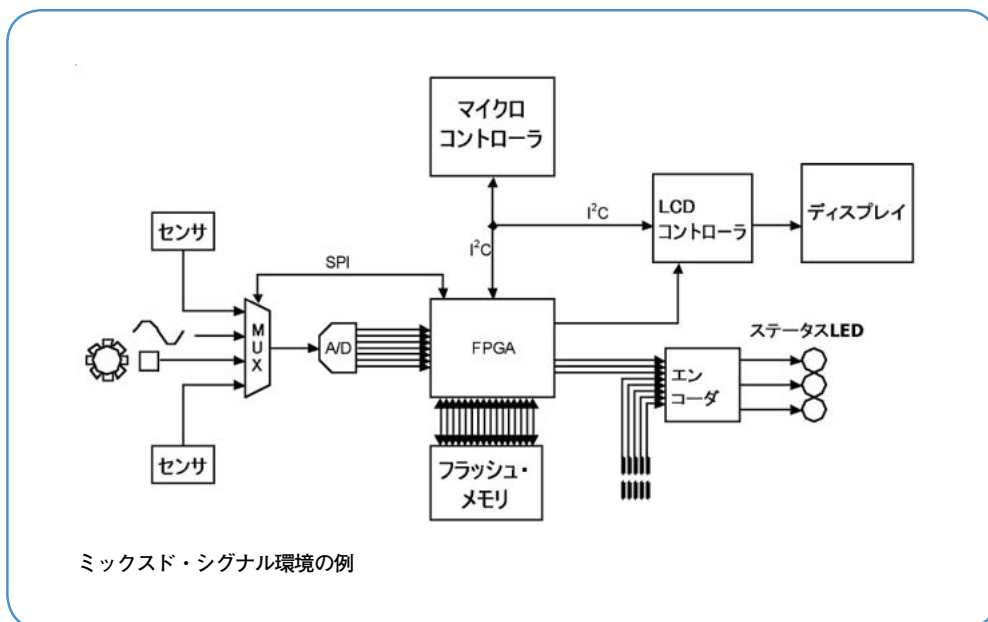
MSO オシロスコープの例

デジタル入力部は主にロジック回路に接続され、論理動作の解析を行います。8ビットや16ビットの並列・バス(例えば、CPUアドレス・バスやデータ・バス)をモニタすることもできますし、数ビットの並列・バス(例えば、マルチ・プレクサの入力コントロール・バス)を解析することもできます。観測できるチャンネル数が大きく増え、バスの内容をデコードすることによる解析力が上がりますので、デバッグ用途に広く使われるようになりました。

(2) 組み込みシステムはミックスド・シグナル環境

組み込みシステムにおいては、センサ出力などのアナログ信号(連続的に変化する量を持つ)も、シリアル・バスや並列・バスを流れるデジタル信号(1か0という2進の論理値を持つ)も使われます。例えば1つの基板上において、センサ出力を受けA/D変換したデバイスがI²CやSPIなどシリアル・バス経由でデータを転送し、CPUからの並列・バスがそれらをコントロールする。このようなアナログもデジタルも混在した環境をミックスド・シグナル環境と呼ばれます。

組み込みシステムにおいては、アナログ・デジタル混在するハードウェアに加え、シリアル・バスを流れるソフトウェアおよび並列・バスを流れるソフトウェアが複雑に絡み合います。組み込みシステムのデバッグが困難を極めることは容易に想像できます。



ミックスド・シグナル環境の例

(3) MSO の用途はパラレル・バスの解析のみに非ず

この環境において効果的なデバッグを行うキーは、チャンネル数の限られたアナログ入力部と豊富なチャンネル数を持つデジタル入力部の使い分けです。デジタル信号だからといって常にデジタル入力部につないでいるだけでは、見えるものも見えません。デジタル信号も不良動作の原因追及をするデバッグ時においては、アナログ入力部に接続して、波形の挙動を詳細に観測しなければなりません。アナログ入力部による詳細な観測を行って初めて、メタ・ステーブル状態やグリッチの発生がわかるのです。

逆に、I²C や SPI のようなシリアル・バスを流れる信号を常にアナログ入力部につないでおこうとすると、2～4チャンネルしかないアナログ入力部はすぐに一杯になってしまいます。例えば、シンプルな組み込みシステムにおいても、I²C と SPI が同時に使われることはよくありますが、信号線2本のI²C と信号線3本のSPIを同時にアナログ入力部につなぐことができません。このような時、シリアル・バス解析をデジタル入力部に任せることにより、アナログ入力部に空きをつくることができます。空きができたアナログ入力部を本来の目的である、詳細な波形の挙動観測に向けることができます。

MSO の用途はパラレル・バスの解析のみならず、シリアル・バスの解析にも使える優れたものです。デジタル入力部とアナログ入力部を使い分ける効果的な運用により、不良の原因を追突するデバックを最高に効率的にこなす最高のツールなのです。

WaveInspector のようなツールを兼用することも効率化に大いに寄与します。デコードした内容により検索やマーク付けを行うことができます。これにより、シリアル・バスやパラレル・バスに流れる特定のデバイスを指定したり、特定の動作を指定したりできますので、効率的にデバックを進めることができます。

最後に

電気信号の挙動を見る目的で生まれたアナログ・オシロスコープはそれまでのどの装置より、電気信号に対する観測力に優れ、多くの産業の発展に貢献しました。デジタル・オシロスコープへの変化過程において「波形を数値化する」測定力を持ち、オシロスコープはさらに大きく進化しました。




その後もお客様からの要求に応え続けることにより、オシロスコープは「流れるデータの内容を吟味する」解析力さえ備えるに至りました。用途の観点から見ても、「波形を観測しその性質を知る用途」に加え、「不具合原因を探るデバック用途」、「波形の良否判定による自動化用途」、「規格適合性を知るコンプライアンス用途」と、オシロスコープの用途は拡大してきました。

今日のオシロスコープは、もはや波形を見るだけの装置と考えるはいけません。オシロスコープに満載された豊富な機能を活用するだけで、皆様の仕事を大きく効率アップさせることのできる魔法のツールです。「知らなかった機能を使う」ことで効率アップが図れます。この入門書では一歩進んだオシロスコープの活用方法をご紹介します。基礎編の「オシロスコープの基本を身につける」とあわせて、ぜひ仕事の効率アップに役立ててください。



「デバッグ時間は、もっと減らせる」 MSO/DPO ポータブル・シリーズ・オシロスコープ

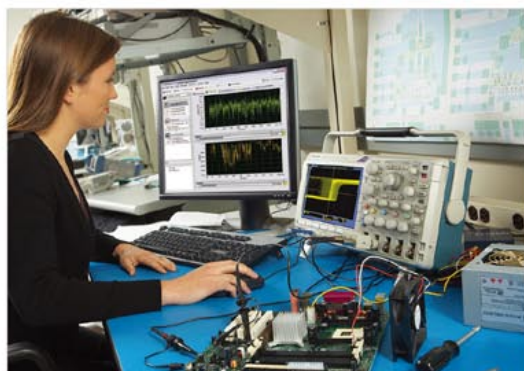
複雑化する組み込みシステムのデバッグには、アナログ/デジタル、シリアル/パラレルを同時に観測できる MSO が必要です。この機会にぜひご検討ください。

シリーズ仕様比較			
特長	MSO/DPO4000シリーズ	MSO/DPO3000シリーズ	MSO/DPO2000シリーズ
周波数帯域	1GHz、500MHz、350MHz	500MHz、300MHz、100MHz	200MHz、100MHz
アナログ入力数	4	4または2	4または2
デジタル入力数	16 (MSOシリーズ)	16 (MSOシリーズ)	16 (MSOシリーズ)
レコード長	10Mポイント	5Mポイント	1Mポイント
画面サイズ	10.4型 (XGA)	9型 (WVGA)	7型 (WQVGA)
シリアル/パラレル・バス解析	I ² C、SPI、CAN、LIN、FlexRay、USB、RS-232、I ² S、パラレル	I ² C、SPI、CAN、LIN、RS-232、I ² S、パラレル	I ² C、SPI、CAN、LIN、RS-232、パラレル
その他のトリガ/解析	パワー解析、HDTVビデオ・トリガ	パワー解析、HDTVビデオ・トリガ	-
寸法/質量	幅：439mm 高さ：229mm 奥行：137mm 質量：5kg	幅：417mm 高さ：203mm 奥行：147mm 質量：4kg	幅：377mm 高さ：180mm 奥行：134mm 質量：3.6kg
通信ポート	CompactFlash (1)、USBデバイス(1) USBホスト(2)、LAN(1)、XGAビデオ(1)	USBデバイス(1) USBホスト(1)、LAN(1)、XGAビデオ(1)	USBデバイス(1)、USBホスト(1)

National Instruments社製 LabVIEW SignalExpress™ Tektronix Editionソフトウェアを標準装備*1

テクトロニクス「ベンチ計測器ファミリ」

オシロスコープ **ファンクション・ジェネレータ** **マルチメータ** をPCで一元管理



*1 標準装備のソフトウェアはベーシック・バージョンであり、別売のプロフェッショナル・バージョンとはご利用いただける機能が異なります。詳しくはWEBサイトで：www.tektronix.co.jp/signal_express

テクトロニクスの「ベンチ計測器ファミリ」は、共通のソフトウェアNI LabVIEW SignalExpress™ Tektronix Editionにより、PCから、オシロスコープ、任意波形/ファンクション・ジェネレータ、DMMをコントロールできます。測定結果をPCにロギングしたり、PC上で同時に複数の測定結果を確認することもできます。値はExcelなどの表計算ソフトに出力可能です。

さらに別売のプロフェッショナル・バージョンをご利用いただければ、演算やヒストグラムなどの解析機能が利用できます。任意波形/ファンクション・ジェネレータと連動させた出力波形のスweep、リミット・テストの自動化も可能です。



AFG3000シリーズ

MSO4000シリーズ

DMM4000シリーズ

「オシロスコープ10倍活用術」— こんな便利な機能があったのか！

動画で、冊子で、オシロスコープのすべてを紹介するテックファン専用ページ「オシロスコープ10倍活用術」。役立つコンテンツをご自由にダウンロードいただけます。

この入門書に類似の内容を動画でもご覧いただけます。

www.tektronix.co.jp/tekfan



日本テクトロニクス株式会社

www.tektronix.com/ja

〒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

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)

46Z-24916-0