



しくみを知れば真の波形が見えてくる!今どき機能にパワエレまで

改訂新版

デジタル・オシロスコープ 実践活用法

天野 典 著

このPDFは、CQ出版社発売の書籍
「改訂新版 デジタル・オシロスコープ実践活用法」の一部見本です。
内容・購入方法については、下記のWebサイトをご覧ください。
内容：<https://shop.cqpub.co.jp/hanbai/books/40/49681.html>



見本



イントロダクション

信号波形を「正しく」測定する テクニック習得のススメ

本書の目的は、オシロスコープの性能や機能を100%発揮し使いこなして、電子回路の真の波形を捕らえることです。そのためには、測定器本体やプローブのしくみから理解する必要があります。

動作原理が理解できればスイッチやつまみを設定する意味が分かり、誤った計測をする危険性を大幅に減らせます。逆にしくみを理解していないと、正しく観測できていないかもしれません。

0.1 AUTOやプローブを理解していないとどんな目に遭うか

0.1.1 AUTO機能のしくみを理解していないとどんな目に遭うか

オシロスコープに付いている[オート・セット]ボタンを押せば、電圧感度や時間軸設定などを波形に応じて設定してくれるので簡単に波形が現れます。

でも、ちょっと待ってください！

[オート・セット]ボタンはとりあえず波形を表示するだけで、ほとんどの場合は適切なレンジに設定しなおす必要があります。図0.1に、トリガ信号の選択チャンネルが最適ではないためにチャンネル間の信号の時間関係が分からなくなった例を示します。

0.1.2 プローブのしくみを理解していないとどんな目に遭うか

●グラウンド線が長い

被測定回路とオシロスコープ本体はプローブで結ばれています。プローブには信号を入力する先端部分と、基準電圧(グラウンド)をとるためのリード線があります。

リード線は必ずインダクタンスを持ちます。そのためプローブの入力容量と共振回路を形成し、急峻な電圧変化をする信号が入力された場合、本来存在しない振動(リングング)を表示するおそれがあります。図0.2にプローブのグラウンド線のインダクタンス成分によりオーバーシュート波形を観測した例を、写真0.1に測定に使ったプローブを示します。

グラウンド線はインダクタンスを下げるため、最短にする必要があります。最短の線はメッキ線などで簡単に自作できます。またグラウンド線は外来ノイズを拾うアンテナにもなり得るので、周波数が低い場合でもできる限り最短にする必要があります。

●周波数特性の校正が必要

信号をオシロスコープに導く場合、付属のプローブではなく単なる同軸ケーブルを使うと、オシロスコープの入力端子が持つ入力容量(通常10p~数十pF程度)に、同軸ケーブルの持つ容量(一般に

第1章

時々刻々と変化する信号を測定する デジタル・オシロ

1.1 目的は電圧の時間変化を波形で表示すること

1.1.1 波形を表示する計測器はいくつかある

オシロスコープと同じように波形を観測する専用計測器がいくつかあります。たとえば地震計です。古くは地震の振れで動かないように慣性の大きなおもりにペンを取り付け、地震の揺れに合わせて動く記録紙に地震波形を描きました(図1.1)。

健康診断での定番、心電図もセンサで捕えた信号波形を記録し心臓の動きを診断します。これらもオシロスコープの仲間でしょう。

テレビのニュース番組で時々目にする、ビデオ信号の監視に使われる「波形モニタ」も特殊なオシロスコープと言えるでしょう。

1.1.2 オシロスコープは高速な信号を扱える

地震計や心電図のようなHzオーダの信号を記録するにはペン・レコーダのような「メカ」でも可能ですが、幅広い電気信号を扱うオシロスコープはけた違いに高速な信号も扱います。

そのために、従来のオシロスコープは質量の極めて軽い「電子」を動かしました。それはブラウン管を表示部に使ったもので、アナログ・オシロスコープとして今でも一部で使われています(写真1.1)。

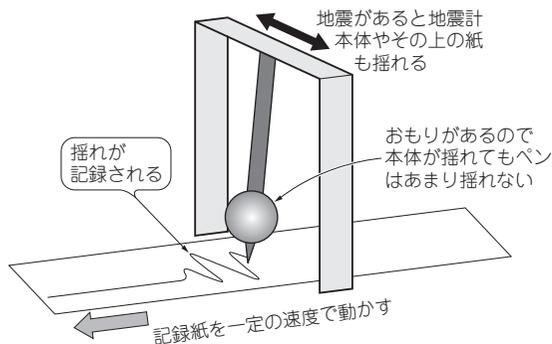


図1.1 地震計の原理
時間波形を記録する

第2章

3大性能指標と カタログに現れない性能

本章では計測器として大事な性能について説明します。

最近のオシロスコープは、とりあえずプローブを入力コネクタに接続して、プローブ先端を観測したい個所に接続（このことをプロービングと言う）すれば、あとは[オート・セット]ボタンを押すだけで波形を表示してくれます。

表示された波形を記録したければ、オシロスコープのUSBコネクタにUSBメモリを挿入し、画像ファイルとして、または波形データをCSVなどのテキスト・データとして保存できます。そのデータはパソコンに持ち込んで処理できます。

しかし問題は、オシロスコープに取り込んだ波形データがどれだけ正確か、ということです。つまり正しく測定できるだけの性能を持っているのかどうかの問題です。オシロスコープやプローブの選択の仕方によっては、数十%の誤差が出てもおかしくありません。

2.1 3大性能その1：周波数帯域

オシロスコープの性能を示す指標にはいろいろとありますが、最初に考慮すべき性能は入力した信号をいかにひずませないか、ということから考えると、周波数帯域です（周波数帯域とひずみの関係についてはここでは割愛）。

アナログ・オシロスコープの時代には、ほとんど周波数帯域だけで性能が決まっていたといっても過言ではありませんでした。

2.1.1 周波数帯域の一般的な考え方

周波数帯域とはどういう意味でしょうか。

アナログ技術が主流だった頃には、いろいろな製品に周波数帯域の表示があり、性能の基準の一つとなっていました。例えば、もはや過去のメディアになりましたがカセット・テープでは、スタンダードタイプと音楽用高音質タイプでは、周波数帯域に差がありました。

現在でも、スピーカやヘッドホンの仕様を見ると、周波数帯域という項目があり、場合によってはグラフも記載されています。

その定義にはいろいろとありますが、信号レベルの周波数応答特性が平坦な部分を基準とし、信号レベルが規定値まで減少する周波数をもって周波数帯域とします。

図2.1に一般的な規定値を-3dBで定義した周波数帯域の例を示します。

第3章

動作原理から見る デジタル・オシロの得意・不得意

3.1 まずはレガシなアナログ・オシロの構造から

機械の性能を引き出すには中身を知ることが一番です。

まずは、アナログ・オシロスコープで基本的な構造を理解しましょう。今でも特定の用途、たとえば映像信号のように、複雑な信号や信号の瞬時の動きを捉えたい場合に便利です。

図3.1がアナログ・オシロスコープの原理です。

3.1.1 信号の振幅方向の表示

コネクタから入力された信号が大きな場合は減衰器（アッテネータ）で減衰されてアンプに入ります。チャンネル別のアンプからの出力信号はチャンネル・スイッチ回路、遅延線を経て出力アンプで数十Vにまで増幅されてCRT（Cathode Ray Tube、ブラウン管）の垂直偏向板に加えられます。

このブラウン管はテレビで使われていたものとはタイプが異なります。雑学として知っておいても損

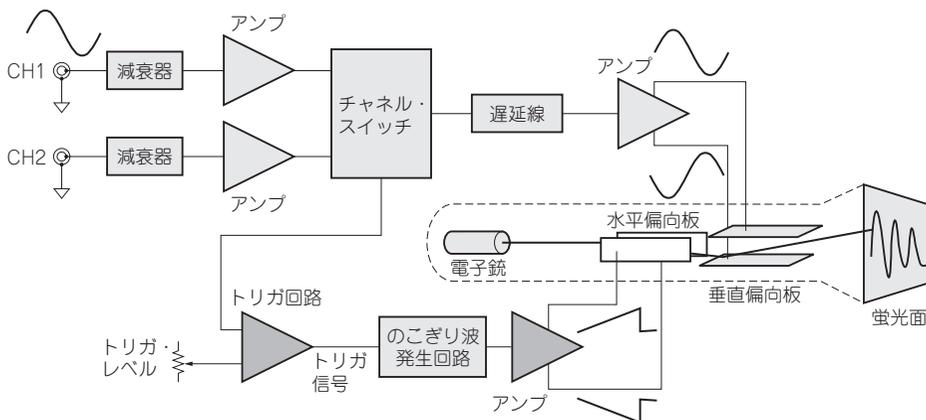


図3.1 アナログ・オシロスコープの原理

CRT（Cathode Ray Tube、陰極線管またはブラウン管）を使っている。電子を曲げて表示させるために信号を増幅して電極に加える

第4章

電圧や時間を「正しく」測定する

オシロスコープで波形を観測する目的は、動作確認からトラブルシュート、さらにはコンプライアンス・テストと呼ばれる規格適合試験までと広い範囲に及びます。

周波数範囲は直流から高周波まで取り扱います。波形形状は、正弦波やパルス波、繰り返し周期性の少ないデジタル・データ列、ビデオ信号に代表される複雑な繰り返し波形、1回しか起こらない放電現象のような単発波形、繰り返し波形の中でまれに起こるような発生頻度の低い波形まで取り扱います。

このため、オシロスコープという計測器で精度良く計測するためには、オペレータのスキルに依存する部分がかかなり多くなります。

本章は、オシロスコープのいろいろな機能を使って、より正確で確実な波形取り込みを行うための手法を説明します。

4.1 測定に必要な「レコード長」を選ぶ

4.1.1 「レコード長」は周波数帯域と違ってやりくりできる

第2章で説明した通り、オシロスコープには以下の3大性能があります。

- 1) 周波数帯域
- 2) サンプル・レート
- 3) レコード長

どれも大事な性能ですが、信号を正しく計測するためには譲れない約束があります。

まず、周波数帯域は絶対に外せません。被計測信号の持つ周波数成分を通過できないと波形の形が変わってしまいます。サンプル・レートは信号が持つ最高周波数成分の2倍以上のサンプル・レートがなければなりません。この二つは信号の計測品質を保つ上では必ずクリアしなければなりません。

レコード長は、短くても何とかなる場合が少なくありません。確かにサンプル・レートを適正に保ったまま、長時間のデータを全部取り込もうとすると長いレコード長（ロング・レコード）が必要です。しかし、トリガやディレイ機能を工夫し、必要なエリアだけに絞って取り込みをすれば、レコード長は短くて済むことがあります。

例えば、図4.1に示すような超音波を加えてからエコーが戻って来るまでの時間計測があります。簡単に考えるとロング・レコードが必要です。しかし、オシロスコープは適度なディレイをかけてから波形データを取り込めます。加えたパルスでトリガをかけた後、取り込みウィンドウの中での反射波の位置を正確に求めてディレイ時間を正確に設定すれば、短いレコード長でも波形を取り込めます（図4.2）。

第5章

便利な「自動パラメータ測定」と 落とし穴

デジタル・オシロスコープは波形をデジタル・データとして内部に取り込みます。以前は GPIB などのバスを使って、外部のパソコンに波形データを転送し、波形を解析しなければならなかったことでも、プロセッサの進歩によりオシロスコープ単体でいろいろな処理ができるようになりました。波形パラメータを自動的に測定する機能はその好例です。しかし、取り込まれた波形データが正しくなければ、いくら計算をしても無駄になります。本章は波形パラメータ演算の活用を説明します。

5.1 デジタル・オシロが便利な点…パラメータの自動計算&表示

デジタル・オシロスコープの便利な点は、周波数、振幅、立ち上がり時間などの波形パラメータ(図5.1)を自動的に算出して表示してくれることです。より正しい値を求めるために自動測定のアプローチを理解しましょう。

パラメータ演算は図5.2に示されるアルゴリズムで行われます。各種パラメータの求め方は次の通りです。

- ① 波形データを各電圧レベルから見て、密度が高い「ロー・レベル：0%」と「ハイ・レベル：100%」を見つける。
- ② 上記の結果から10%、50%、90%のレベルを算出する。
- ③ これらのレベルに相当するポイントを探す。通常、ぴったりと合う点はないので近似アルゴリズムで求める(図5.3)。
- ④ 信号の1周期は左から見て最初の50%クロス点と三つ目のクロス点の時間差とする。
- ⑤ 立ち上がり時間は左から見て最初の10%クロス点と90%クロス点の時間差とする。

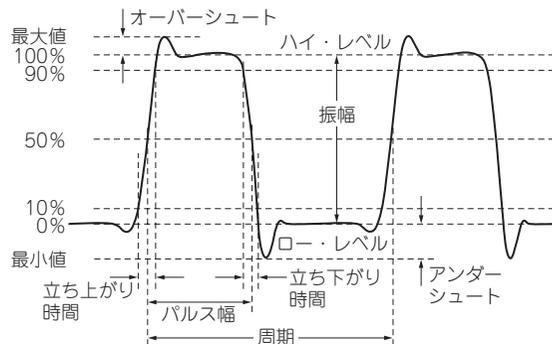


図5.1 デジタル・オシロスコープは周波数や振幅、立ち上がり時間などの波形パラメータを自動的に算出できる

第6章

正しい波形測定に欠かせない「トリガ」のテクニック

6.1 オシロの測定を左右する…「トリガ」とは何ぞや

観測したい信号には次のようにいろいろな特徴があります。

- 常に同じ信号を繰り返す場合
- 1回しか起きない場合
- 繰り返しの中に時々変化がある場合
- 非常に長いデータ列

これらのように時間とともに流れ去っていく信号のある瞬間を捕らえるのがトリガです(図6.1)。

トリガはオシロスコープの確度にはあまり影響を及ぼさないことが多いのですが、目的とする信号を確実に捕らえなければ話になりません。トリガの使いこなしはオシロスコープの使い方の基本であり、オシロスコープの性能をフルに引き出せるかどうかは、トリガを使いこなせるかどうかにかかっていると言っても過言ではありません。

トリガ回路はオシロスコープだけでなく、周波数カウンタやスペクトラム・アナライザのゲーテッド・スイープなどで広く使われている回路で、オシロスコープではとりわけ大切な役目を持ちます。それは、高性能・高機能なオシロスコープほど、多くのトリガ機能を持つことから分かります。

最近では、比較的安価なオシロスコープでも、ずいぶんとたくさんのトリガ機能を持っています。しかし、高額なオシロスコープを仕事で使っている方でも、拡張トリガ機能を使いこなしている方は多くはないと思います。

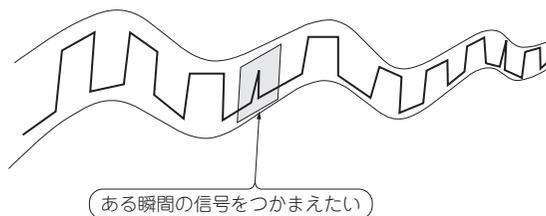


図6.1 流れ去っていく時間のある瞬間を捕らえるのがトリガ

第7章

不要なノイズを減らす基本テクニック

実際に波形を取り込もうとしても、非常にノイズが多かったり、また信号が複雑で希望するポイントでトリガがうまくかからなかったりというケースによく出くわします。ノイズが多いならアベレージをかける、これは正しい手法なのですが、アベレージは正しく行わないとエラーを生み出します。

本章は、アベレージなどを使ってノイズを減らして信号成分を取り込む手法、安定してトリガをかける方法を紹介します。

7.1 周波数帯域は必要なぶんだけ

7.1.1 信号を計測する場合はノイズを減らしたい

図7.1に示されるように、観測する信号は必ず、信号+ノイズの形で存在しています。

ノイズにも種類があり、図7.2に示すように信号に依存しないランダム・ノイズ、外来ノイズなどと、信号と相関のある特定のノイズなどに分けられます。ここではランダム・ノイズを減らして信号成分を取り込む手法を考えます。

7.1.2 周波数帯域が広ければよいわけではない

オシロスコープは信号とノイズを区別しないですべてを同時に表示します。さらにオシロスコープ内部で発生する熱雑音も加わります。このような信号を周波数スペクトラムで考えると図7.3のようにな

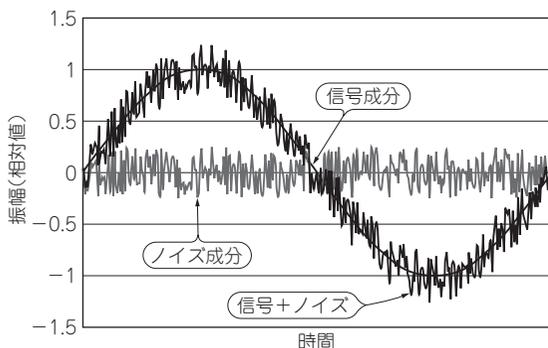


図7.1 見える信号は真の信号とノイズの和

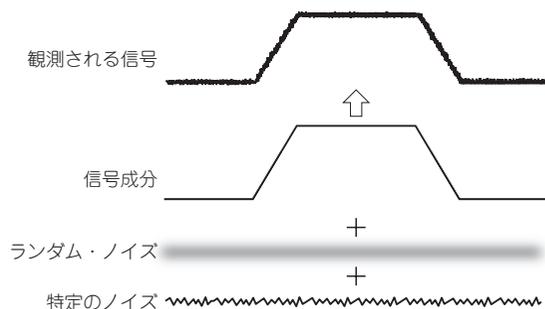


図7.2 観測される信号に含まれる成分

第8章

FFT機能を使った周波数解析

8.1 いまどきオシロに付いているFFT機能

8.1.1 前後をつなげて繰り返し信号のように解析

プロセッサの能力が向上し、パソコンの力を借りなくてもオシロスコープ自体でフーリエ変換 (FFT) が行えるようになりました。フーリエ変換とは、時間領域のデータを周波数領域に変換する演算です。基本となっているのは標本化定理です。

サンプル・レートを f_s 、レコード長を L とした場合、FFTの演算結果は次のようになります。

- 周波数上限はナイキスト周波数である $f_s/2$
- データ数は $L/2$
- 周波数分解能は $(f_s/2) / (L/2) = f_s/L$

つまりサンプル・レートの半分までの周波数が解析でき、レコード長が長ければ周波数分解能が高くなります。しかし、レコード長が長くなるとFFTの演算量が多くなり、演算時間が大幅に増加します。

FFTの良いところは、信号が繰り返し信号であろうと単発信号であろうと関係なく周波数解析をできることです。なぜかという、FFTは図8.1のようにレコードの最初と最後をつなげて、まるで繰り返し信号であるとみなして解析するからです。

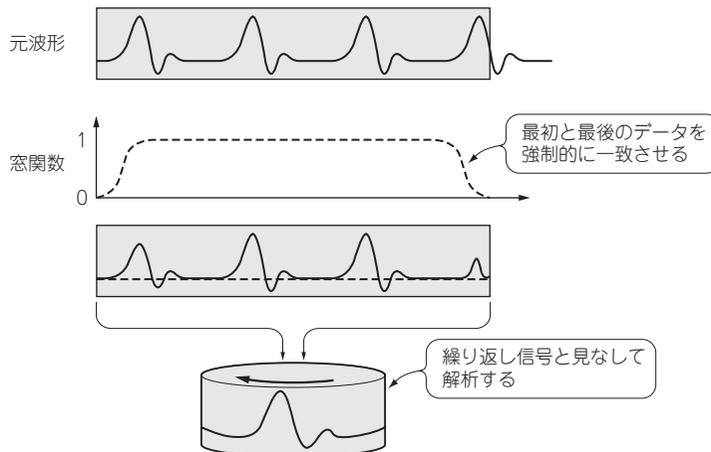


図8.1 FFTの概念

第9章

「プローブ」で信号を正しく取り出す

オシロスコプの役目は「見えない電気信号を見ること」、そしてオシロスコプを使いこなすということは「波形を正しく取り込む」スキルを持つことです。

オシロスコプと切っても切れない関係にあるのがプローブです。何となく付属品のイメージがありますが、プローブは被測定回路とオシロスコプを結ぶ大切なインターフェースです。何を測りたいのか、何を優先したいのかによって、プローブを変えることが大事です。本章はプローブについて説明します。

9.1 「測る」ということが自体が誤差を招く

正しく計測したいのに誤差を招くとはどういう意味でしょうか。コップのお湯の温度を測る場合を想定してみましょう。

図9.1のように二つの温度計があります。一つは細くて、熱容量が小さいタイプ、もう一つは太くて熱容量が大きいタイプです。お湯の温度は50℃くらい、温度計は室温で保存されていたとします。この二つの温度計を使って別々に温度を計測します。

結果はどうなるでしょうか。細い温度計の方が高めの計測結果になるはずですが、温度計は室温で保存されていたので自身の温度は20℃くらいですから、多少なりともお湯の温度を下げちゃいます。家庭風呂は浴槽のお湯の量が多くないので、少し熱いと思っても、いざ体を沈めるとぬるくなるのと同じです。

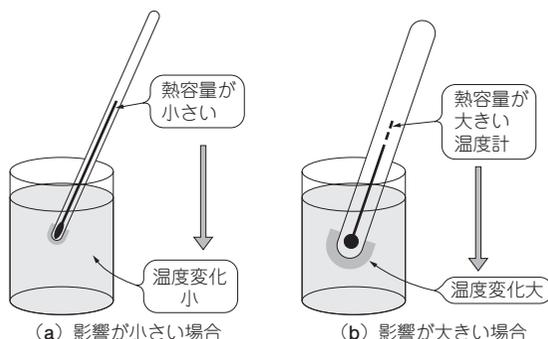


図9.1 温度計により測りたい温度が変わってしまう

第10章

電源回路の基本測定テクニック

10.1 電源ラインの配線インピーダンスによる悪影響

10.1.1 電源回路の出力は低電圧化と大電流化が進む

ACアダプタそのものの消費電力も重要で、ちりも積もれば全体では大変な電力消費量になります。米国ではACアダプタだけで発電所何基分かの電力を消費すると言われていました。そのため待機電力、動作時の電力を含めたトータルでの消費電力を抑えた設計が求められます。

一方、パソコンやデジタル・テレビなどの性能向上には、高速の演算処理が必須になりました。そのためプロセッサが大量の電力を消費するようになりました。

データ・レートの高速化とEMI特性を両立するため、ロジック回路の電圧スイングと電源電圧は図10.1に示すようにどんどん低下しています。以前は5Vだった電源電圧が、今では1.2Vも当たり前です。

しかし、プロセッサの消費電力は劇的に低下することはありません。「電力=電圧×電流」ですから、電圧が下がって電力が変わらなければ電流が増えることになります。そのため配線インピーダンスが電源電圧に与える悪影響が大きな問題になり、図10.2で示されるように、ケーブルやプリント・パターンの持つ抵抗成分やインダクタンス成分が無視できなくなってきました。

例えば、ICの電源端子にデカップリング用のコンデンサを取り付けますが、このコンデンサはできるだけ端子の近傍に取り付けしないと誤動作の原因になります。これは配線のインダクタンス成分が悪さをする典型的な例です。

10.1.2 分散電源で負荷変動による電源電圧の変動を抑える

電源の負荷変動の問題は電源と配線の両方に対策を施さなければなりません。従来の設計では図10.3

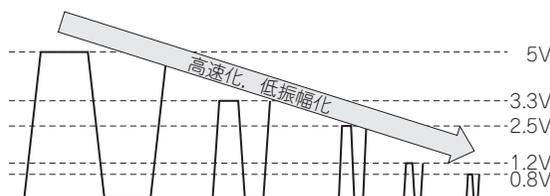


図10.1 ロジック信号の高速化に伴い動作電圧は低下する一方

第11章

パワエレ/スイッチング回路の測定テクニック

11.1 オシロスコープによる3相電圧波形の測定

商用電源の周波数に同期して回転する工業用モータとは異なり、インバータと組み合わせるモータはさまざまな回転数、トルクで動作するため電圧、電流は大きく変化します。

電力の測定では多入力電力計が使われますが、波形レベルの解析では絶縁入力レコーダがおもに使われます。また、高電圧差動プローブを使うことでも測定は可能です。

図11.1は三相モータの相電圧を測定している例です。近年では6~8チャンネル入力のオシロスコープが登場し、電流プローブと組み合わせて三つの相の電圧、電流を測定することが可能になりました。

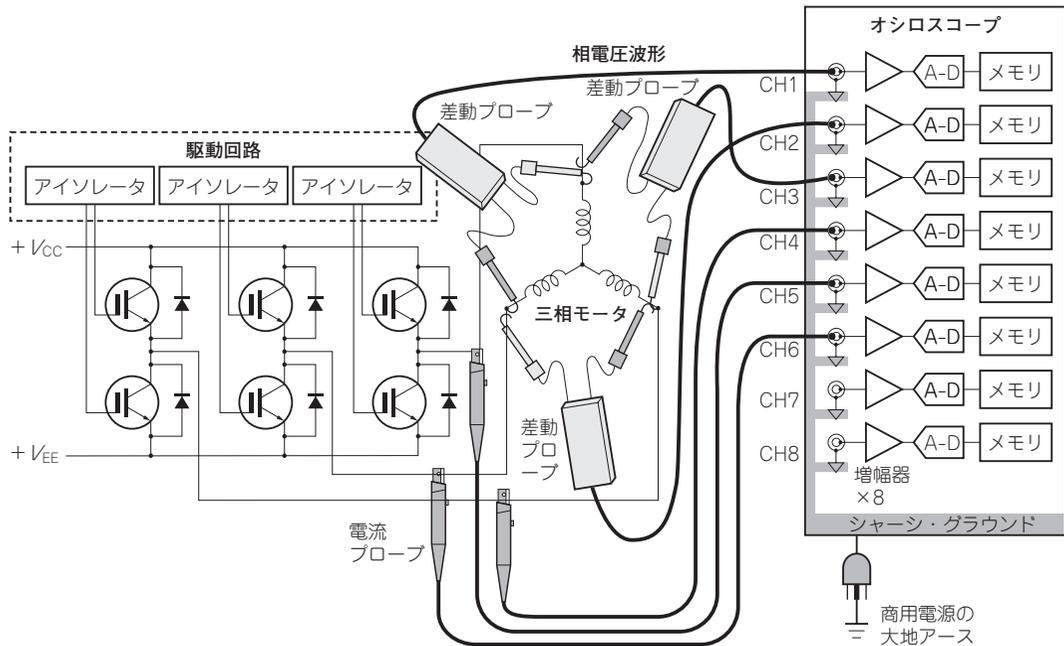


図11.1 三相モータの駆動電圧測定

U, V, W 各相間の電位差を高電圧差動プローブで測定。絶縁入力レコーダであれば通常のパッシブ・プローブか高電圧プローブで測定できる。ただし絶縁入力であっても完全ではなく、コモン・モード除去には制限がある

第12章

定番シリアルI²C・SPI解析

12.1 定番シリアル・バスI²CとSPIの基礎知識

パソコンには、さまざまなアプリケーション・ソフトウェアが用意されており、目的に合った動作が行えるようになっています。

しかし、世の中の大多数を占めるパソコン以外の機器は、ある決まったソフトウェアで動作しています。例えば、テレビ、洗濯機、冷蔵庫などの電器製品、また大きなものでは自動車も内部にはマイコンを内蔵しており、独自のファームウェアで動作しています。このような機器を、組み込み機器と呼ぶことがあります。

そして、機器内部のデバイスの制御には、比較的低速なシリアル・バスがよく使われています。

I²CやSPIという名前を耳にされた方も多いでしょう。これらは代表的なシリアル・バスです。またカー・エレクトロニクスではCAN (Controller Area Network) やLIN (Local Interconnect Network) が世界標準として使われています。

機器の動作を確認するためには、これらシリアル・バスのデータを解析する必要が出てきます。

一方、HDMI (High-Definition Multimedia Interface) のように音声や動画信号を扱うには、時間当たりの情報量がけた違いに多いため、シリアル・バスで伝送するためにはギガ・ビット・クラスの高速バスが必要になります。波形観測にはNRZ (Non Return to Zero) の場合、最低でもデータ・レートの2.5倍以上 (クロック周波数の5倍) の周波数帯域が必要になります。

ここでは制御が目的のシリアル・バスを扱います。I²CやSPIなら今までのオシロスコープで十分に対応できるスピードです。

チップ間のデータやコマンドの伝送に使われるI²CとSPIの特徴について簡単にお話しましょう。

12.1.1 I²Cの概要

I²CとはInter Integrated Circuitの略です。テレビのコントローラと周辺機器を接続するための低価格な方法として、フィリップス (現NXPセミコンダクターズ) により開発されました。現在では、組み込みシステムのデバイス間の通信における標準規格として広く使われています。

バスの構造は単純な2線式で、双方向のシリアル・クロック (SCL) とデータ (SDA) から構成されます。実質的に20から30個のデバイスを接続することができます。伝送レートは100kbps (標準モード)、400kbps (ファスト・モード)、3.4Mbps (高速モード) と物理層から見れば低速であるため、反射の影

第13章

高速シリアル信号の測定テクニック

最近では高速シリアル・バスの登場により、数GHz、場合によっては10GHz以上の周波数帯域がオシロスコープに求められるようになりました。

基本計測クラスのおシロスコープの使いこなしを解説してきましたが、本章では、高速信号の測定にあたり注意しなければならないポイント、機器の接続方法、そしてオシロスコープの性能表の見方などをお話します。

13.1 高速シリアルがどんどん増えている背景

13.1.1 伝送量の増加にともないバスの基板占有面積が増加

デジタル・データの処理は平行で行われてきました。そのため8ビットのデータであれば8本のバス、16ビットのデータであれば16本のバスでデータを送る平行バスという手法が長い間使われていました。

単位時間に送れるデータ総量（伝送帯域幅ともいう）は、「ビット速度×バスの数」です。処理するデータの容量は増え、技術の進化により速度も速くなり、バス幅はどんどん広くなりました。

いわば高速道路のようにスピードを上げ、車線の数をどんどん増やして、交通量の増加に対応したようなものです。バスの幅が広くなるにつれ、次第にボードを占めるバスの面積が無視できなくなりました。ボード間を接続するケーブルの幅も広がります。ケーブルは邪魔者になり、冷却のための空気の流れを阻害することにもなりかねません。

また速度の点でも各ビットのエッジ・タイミングをきちんと合わせるためには、各ビットの配線長を等長にしなければなりません。限られたボード面積では限界があります。

13.1.2 特性面や機器間の接続にも問題発生

高速化にともない、インピーダンスの不整合による波形の乱れも問題になってきました。

機器の接続でも問題があります。デジタル家電の世界で考えてみましょう。以前は同軸ケーブル1本でコンジット・ビデオ信号を送りましたが、デジタルになるとRGB3色、それぞれが8ビット、合計で24本のケーブルが必要になります。このような太いケーブルでDVDプレーヤとテレビやプロジェクタを接続することは現実的ではありません。

第14章

アクティブ・プローブの正しい使い方

14.1 アクティブ・プローブの基礎知識

補正された標準プローブを適切に使用すればかなり正しい計測が行えます。それでも入力インピーダンス、特に入力容量は10pF程度であっても、被測定回路に与える影響は無視できません。

しかも、プローブの周波数帯域は25Ωソース・インピーダンスで定義されています。回路のインピーダンスがこれより高い場合が多く、実際の周波数帯域はプローブの入力容量の影響で低くなることもあります。

著者は、数十MHzを超える場合には、標準プローブでは性能不足になる可能性が高いと感じています。決して安価なものではありませんが、アクティブ電圧プローブをもっと活用しましょう。

アクティブ電圧プローブは以前、入力段にFETを使っていたことから「FETプローブ」と呼ばれることがあります。

現在では、必ずしもFETを使用しているとは限らないため、アクティブ（能動）素子を使用しているという意味でアクティブ・プローブと呼ばれます。

14.1.1 内部構成

アクティブ電圧プローブの構成図を図14.1に示します。

プローブ先端部（プローブ・ボディ）にアンプが入っています。入力部には入力感度を適正にするためのアッテネータ部があります。

アンプの出力は低い出力インピーダンスを持っており、50Ωの伝送路（同軸ケーブル）でオシロスコープ入力部まで信号を伝えます。オシロスコープの入力インピーダンスは50Ωで使用します。

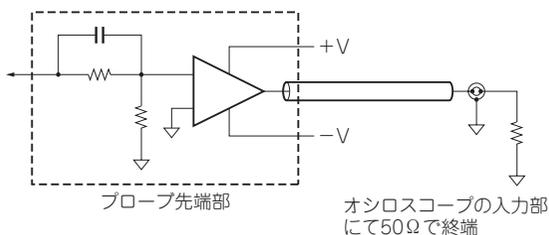


図14.1 アクティブ・プローブの内部構造

- 本書記載の社名、製品名について－本書に記載されている社名および製品名は、一般に開発メーカーの登録商標です。なお、本文中ではTM, ®, ©の各表示を明記していません。
- 本書掲載記事の利用についてのご注意－本書掲載記事は著作権法により保護され、また産業財産権が確立されている場合があります。したがって、記事として掲載された技術情報をもとに製品化をするには、著作権者および産業財産権者の許可が必要です。また、掲載された技術情報を利用することにより発生した損害などに関して、CQ出版社および著作権者ならびに産業財産権者は責任を負いかねますのでご了承ください。
- 本書に関するご質問について－文章、数式などの記述上の不明点についてのご質問は、必ず往復はがきか返信用封筒を同封した封書でお願いいたします。勝手ながら、電話でのお問い合わせには応じかねます。ご質問は著者に回送し直接回答していただきますので、多少時間がかかります。また、本書の記載範囲を越えるご質問には応じられませんので、ご了承ください。
- 本書の複製等について－本書のコピー、スキャン、デジタル化等の無断複製は著作権法上での例外を除き禁じられています。本書を代行業者等の第三者に依頼してスキャンやデジタル化することは、たとえ個人や家庭内の利用でも認められておりません。

JCOPY 〈社〉出版者著作権管理機構委託出版物

本書の無断複製は著作権法上での例外を除き禁じられています。複製される場合は、そのつど事前に、出版者著作権管理機構(電話03-5244-5088, FAX 03-5244-5089, e-mail: info@jcopy.or.jp)の許諾を得てください。

改訂新版 デジタル・オシロスコープ実践活用法

2010年 5月15日 初版発行
2020年 4月 1日 第7版発行
2024年 5月15日 改訂第1版発行

© 天野 典 2024
(無断転載を禁じます)

著 者 天 野 典

発行人 櫻 田 洋 一

発行所 CQ出版株式会社

東京都文京区千石4-29-14 (〒112-8619)

定価はカバーに表示してあります。
ISBN978-4-7898-4968-5

☎ 03-5395-2123 (出版部)

☎ 03-5395-2141 (販売部)

乱丁・落丁本はご面倒でも小社宛てにお送りください。
送料小社負担にてお取り替えいたします。

編集担当者 上村 剛士, 小串 伸一

本文 DTP 西澤 賢一郎

印刷・製本 三共グラフィック株式会社

Printed in Japan

ISBN978-4-7898-4968-5

C3055 ¥2400E

CQ出版社

定価 2,640円(本体2,400円)⑩



改訂新版

デジタル・オシロスコープ実践活用法