

研究や実務に役立つエレクトロニクスの参考書

2026
Summer
No.175

トランジスタ技術 SPECIAL

回路実験もバッチリ! 今さら聞けない基本から測定テクニック, 今どき便利機能まで

3大測定器マスタ! テスタ&オシロ&電源

MULTIMETER &

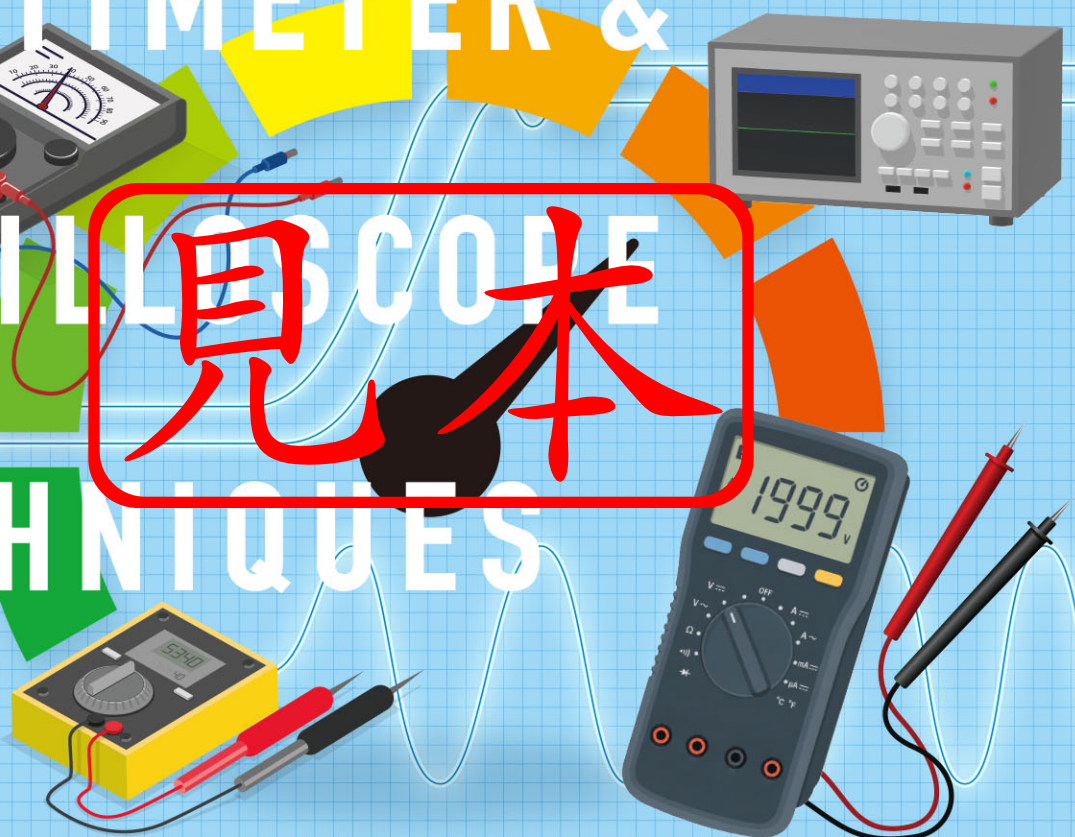
OSCILLOSCOPE

TECHNIQUES

見本

実務
教科書
「学ぶ」を応援!

CQ出版社



超キホン! テスタ&マルチメータの基礎知識

渡邊 潔 Kiyoshi Watanabe

電圧、電流、抵抗を測れる測定器は古くからエンジニアの必携ツールです。ここでは、基本の測定器であるテスタとマルチメータについて解説します。

アナログ・テスタとデジタル・マルチメータそれぞれの特徴

アナログ・テスタとデジタル・マルチメータの特徴を表1に示します。

● 針表示でおなじみ! アナログ・テスタ

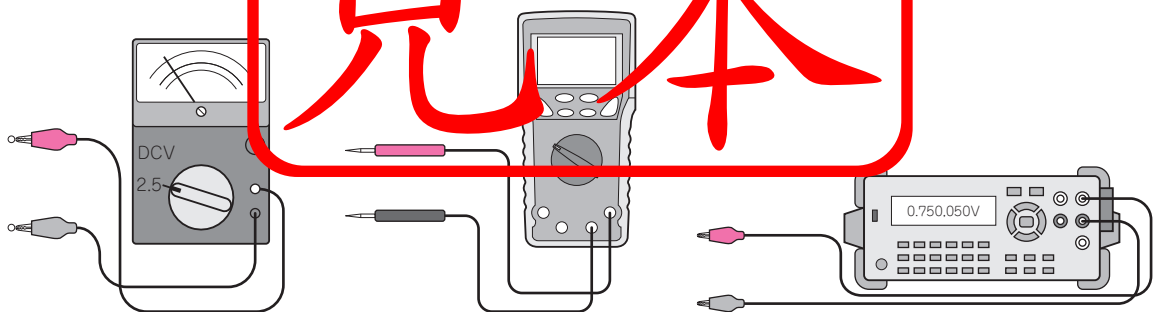
測定器がデジタル化される以前は、針表示のアナログ・テスタ [図1(a)] が主流でした。

基本は直流電流計で、電圧測定時には直列に抵抗が入る構造です。電圧計に要求される入力抵抗はあまり高くはありません。抵抗を測定する際にはテスト・リード先端を短絡し、ゼロ調整をする必要があります。

精度は高くありませんが、導通チェックでは針が瞬時に振れて確認しやすいメリットがあり、1台持って

表1 性能と機能の比較

| | アナログ・テスタ | デジタル・マルチメータ (ハンディ型) | デジタル・マルチメータ (ベンチトップ型) |
|-----------|------------------------------|---|---|
| 桁数 | 針とメモリで読み取り | 3~5桁が中心 | 6~7桁が中心 |
| 基本DC精度 | 3%程度。高感度時の入力抵抗は大きい点に注意 | 0.1~0.5%が多い | 0.01%程度 |
| 交流電圧測定 | 数十Hz~数百kHz。高感度時の入力抵抗は大きい点に注意 | 測定対象は商用電源周波数が多い。低価格モデルは平均値表示。実効値表示の場合もクレスト・ファクタ(波高率)の制限が大きい | 数十Hz~数百kHz。クレスト・ファクタが比較的大きな場合でも実効値表示が可能 |
| 電流測定 | 直流電流 | 多くのモデルで可能 | 直流電流、交流電流に対応 |
| 抵抗測定 | 2端子測定 | 2端子測定 | 2端子測定、および低抵抗向けの4端子測定対応モデルが多い |
| 容量測定 | - | 一部のモデルで可能 | 多くのモデルで可能 |
| 温度測定 | - | 一部のモデルで可能。専用温度プローブ使用が多い | 一般の温度センサ(サーミスタ)を使用できるモデルが多い |
| 通信機能/外部制御 | - | 一部のモデルで可能 | 多くのモデルで可能 |



(a) アナログ・テスタ

(b) ハンディ型デジタル・マルチメータ

(c) ベンチトップ型デジタル・マルチメータ

図1 基本の測定器…アナログ・テスタとデジタル・マルチメータ

テスタ&マルチメータの正しい選び方・測り方

渡邊 潔 Kiyoshi Watanabe

電圧値、電流値、抵抗値などを測定できる電子計測器の基本中の基本といえる測定器がテスタです。さらにマルチメータは以下の項目の測定機能をもつのが一般的です。

- 直流電圧、● 直流電流、● 交流電圧
- 交流電流、● 抵抗

測定機能を限定した1000円未満の製品から、お手ごろの数千円の機種、数十万円の高級機まで、さまざまな製品があります。

高級機はデジタル・マルチメータ(DMM)などの名称で販売されています。価格によって測定値の確からしさ(確度)や機能には大きな差がありますが、動作原理に違いはありません。

● 表示桁数が多いと確かな値が測れそうだが…

ベンチトップ型のマルチメータで電圧を測ると、写真1のように何桁も表示されるので、その値を信じてしまいそうになりますが、いつでも十分な確度が得られるわけではありません。

昔使われていた針式テスタの動作原理を理解するところから始めて、テスタ&マルチメータの誤差について理解を深めていきましょう。



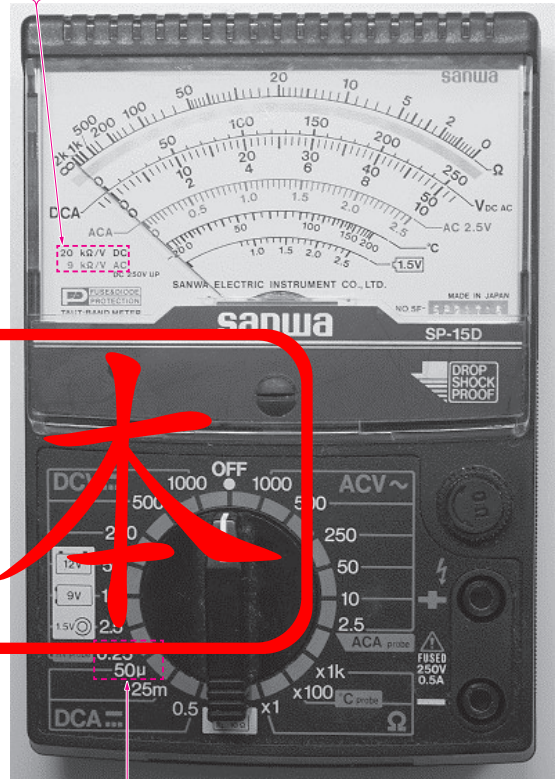
写真1 高級なデジタル・マルチメータは表示桁数が多いそれだけ確度が高いのだが、使い方が悪いと正確さは損なわれる

導通チェックにオススメ「針式テスタ」

● 一瞬の動作/導通にも敏感に針が動く

接触不良のチェックには、針式のマルチメータ(針式テスタ)の導通チェック・レンジをお勧めします。導通具合の変化に対して針の動きが敏感なので、例えばケーブルを引っぱったときの一瞬の導通あるいは断

入力抵抗の表示。DCでは20 k Ω /V、ACでは9 k Ω /V



このポジションは0.25 V_{DC}かつ50 μ A_{DC}

写真2 往年の「針式テスタ」…電圧レンジと電流レンジの両用ポジションがある
電圧レンジとして見ると、入力電圧が内部抵抗で電流に変換されている

オシロスコープの基本操作

渡邊 潔 Kiyoshi Watanabe

オシロスコープを目の前にして、多数のつまみとスイッチ、そしてメニューの多さに戸惑うのではないのでしょうか。必要最低限の使い方について説明します。

まず必要なオシロとプローブの補正

オシロスコープのプローブは補正(コンベンセーション)作業を施さなければ、信号を正しく測ることはできません。

新品の場合でもメーカーは補正作業を行っていません。オシロスコープの各チャンネルと個々のプローブを組み合わせての補正が必要だからです。

その原因はオシロスコープの各チャンネルの入力容量に若干のズレがあるからです。そのためプローブとチャンネルの組み合わせは決めておく方がベターです。プローブのアクセサリには各チャンネルの色に合わせたリングが同梱されているので、これを使用するとよいでしょう。



写真1 補正用の信号にプローブを当てて見ながら調整ドライバーで回しながら波形をフラットにする
調整位置はBNCコネクタ側の製品もある

● プローブの補正方法

オシロスコープにはプローブ補正用の信号(約1 kHzの方波)が用意されています。プローブを接続し「AUTO」ボタンを押すと方波が表示されるので、上下がフラットかどうかを確認し、ずれている場合は調整用ドライバー(プローブに付属)で調整します(写真1、図1)。

フラットにすれば周波数特性がフラットになります(図2)。プローブを適切に補正してある状態で10 MHzのクロックを測定したところ、振幅は3.48 Vでした。

● もし補正できていないと…振幅すら正しく測れない

もしも過補正のまま高い周波数の信号を観測すると本当の振幅よりも大きく表示されます。逆に補正不足の場合は、小さく表示されてしまいます(図3、図4)。

オシロスコープの電圧精度は2%程度ですが、プロ

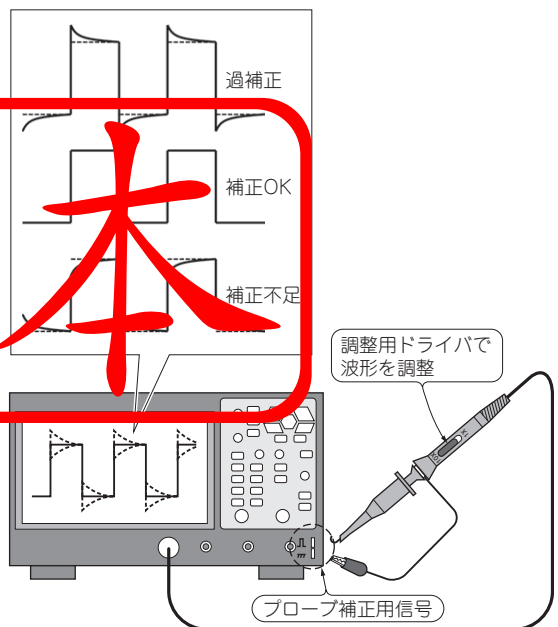


図1 プローブの補正方法

オシロスコープで 波形を測るメカニズム

渡邊 潔 Kiyoshi Watanabe

オシロが波形を測る基本メカニズム

● しくみを理解して自分に必要な性能を選ぶ!

オシロスコープの性能は周波数帯域で示されます。エントリー・クラスのオシロスコープは50 MHz～200 MHz程度、ビジネス・クラスでは200 MHz～1 GHz程度、さらにシリアル・バスのコンプライアンス・テストや、DDRの評価用には数GHz以上の周波数帯域になります。

適切な性能のオシロスコープを選択するために、オシロスコープの動作原理を説明します。図1は4チャンネル・オシロスコープの内部構造です。現在の製品の多くはアナログ部、デジタル部はそれぞれIC化されています。A-D変換器の入力レンジは固定されているため、入力信号は減衰器、増幅器で適切なレベルに変換されA-D変換されます。つまり信号は、アナログ部の周波数特性の影響を受けることになります。オシロスコープの周波数帯域とは、このことを言います。

● 必要な周波数帯域とサンプル・レートの関係

オシロスコープの周波数特性を図2に示します。周波数帯域数GHz超の高速オシロスコープ以外では、ガウシアン特性に近似しています。

周波数特性は直流から平坦ですが、周波数帯域とは感度が-3 dB、つまり約70%に減少する周波数になります。つまり周波数帯域100 MHzのオシロスコープで100 MHzの正弦波を観測すると、本来の振幅の70%で表示されます。100 MHzの信号は確認できませんが、振幅は信用できないことになります。

パルス信号を観測する場合はどうなるでしょうか。立ち上がり時間が十分に短いパルスを入力した場合、図3に示すように立ち上がり/立ち下がりがなまった波形になります。信号が振幅の10%から90%まで遷移する時間を立ち上がり時間といいます。

立ち上がり時間 T_r と周波数帯域 f_{BW} の間には、

$$T_r [\text{ns}] = \frac{350}{f_{BW} [\text{MHz}]} \dots\dots\dots (1)$$

の関係があります。周波数帯域100 MHzの場合、立ち

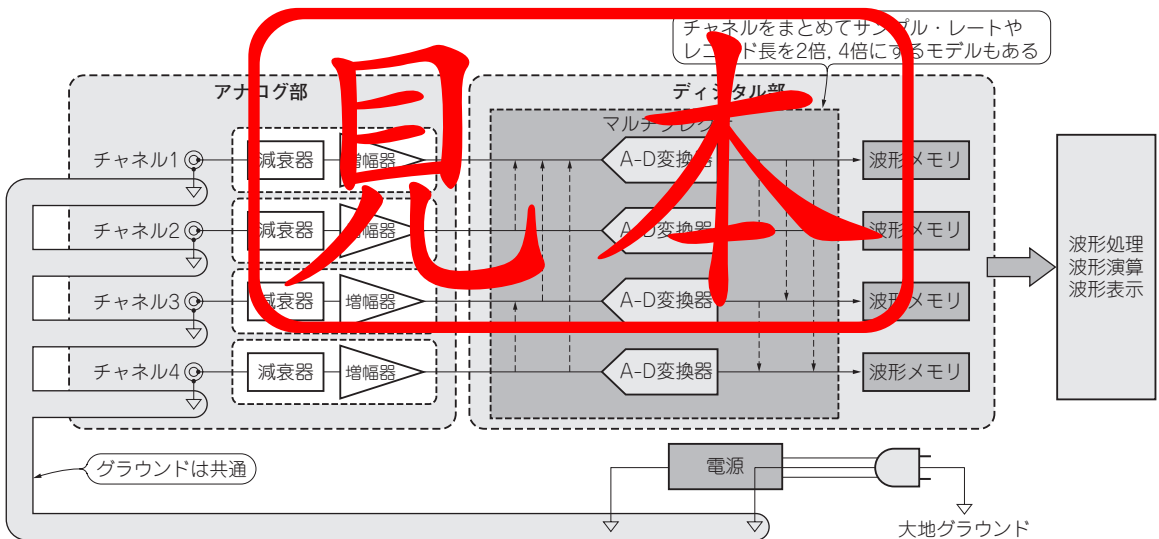


図1 オシロスコープの基本構造…グラウンドは共通に設計されている

ワンステップ上の オシロの使い方

渡邊 潔 Kiyoshi Watanabe

入力カップルとオフセットの使い分け

オシロスコープの電圧軸のコントロールには、

- 入力カップル(AC/DC)
- 電圧感度(V/div)
- 垂直ポジション
- オフセット

があります。ここでは直流電源(USB充電器)の観測を通して、設定項目の使い分け(特に垂直ポジションとオフセットの使い分け)を解説します。

入力カップル(結合)のDC/ACは以下の意味です。

- DC…入力された信号の直流から交流まですべての周波数成分を取り込む
- AC…入力された信号の交流成分のみ取り込み、直流成分はブロックする

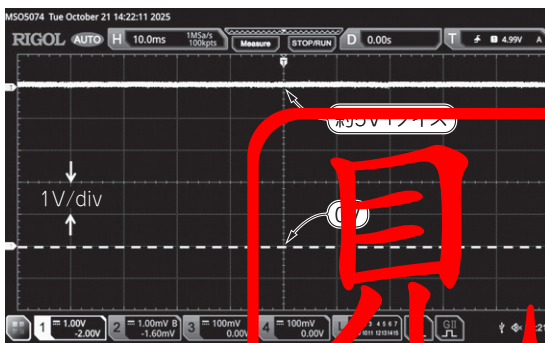


図1 DCカップルで直流レベルを表示

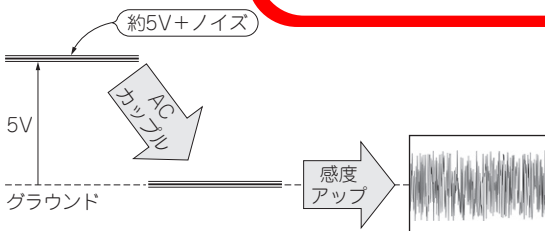


図2 ACカップルの効果

● 直流5Vを観測する

はじめに、ノイズの重畳した直流5Vを観測します。図1では、

- 入力カップル: DC
- 電圧感度: 1 V/div
- 垂直ポジション: -2(1 V/divなので-2 V)
- オフセット: 0 V

とします。5Vは0Vラインの5目盛り上に、ノイズのため若干太く表示されています。

● 電圧感度を上げてノイズ成分を観測する

ここでノイズ成分を観測するために電圧感度を上げます。単に電圧感度を上げるだけだと、5Vラインが画面上方へ消えてしまい観測できません。

そのため以下のように変更します。

- 入力カップル: AC
- 電圧感度: 50倍の20 mV/div
- 垂直ポジション: 0(センター)
- オフセット: 0 V

こうすることで、図2のようにノイズ成分だけを観測することができます。実際の波形が図3です。

ACカップルでは図4のように直列にコンデンサが挿入されて、直流成分をブロックします(コンデンサと入力抵抗によりハイパス・フィルタが形成される)。このため電圧感度を上げることができます。



図3 ACカップルで感度を上げて観測

オシロスコープとその聴診器「プローブ」をひもとく

渡邊 潔 Kiyoshi Watanabe

医者が患者の体の調子を診るときは、聴診器を使って小さな鼓動を耳に運んで頭で判断します。同じように、電子回路の調子を調べるときは「プローブ」と呼ばれる特別なケーブルを使って電気信号をオシロスコープに送り、モニターで波形を観察します。

理想的なプローブは、次の2つの条件を満たします。

- 測りたいターゲット回路の動作や信号に影響を与えない
- 信号をひずませたり雑音を加えたりしないでオシロスコープまで運ぶ

現実のプローブは、ターゲットと同じく電子部品を組み合わせて作られています。ターゲットの正しい波形をオシロスコープに正しく伝え、正しく観察するためには、その造りや測定の手続き、さらにはその調整の方法を理解しなければなりません。 〈編集部〉

電子回路に気づかれないプローブがいい

- オシロで見ているのは本当の波形ではなく、近いもの

お湯に冷たい温度計を突っ込むと、温度計によってお湯の温度が下がって、本来の温度を測ることができません。電子回路にプローブを当てて信号を拾うときも同様のことが起きます。

図1に示すのは、観測ターゲットを単純化した信号源モデルです。これは出力抵抗 R と容量 C をもつ電圧源です。出力端には、 R と C で積分された波形が現れ

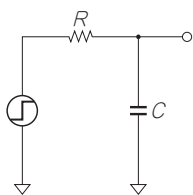


図1 測定ターゲット(信号源)は電圧源/抵抗/コンデンサの組み合わせに単純化できる

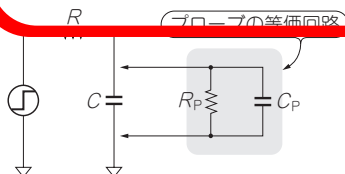


図2 プローブをつなぐとターゲットの負荷になり本来の動作を狂わせる R_P はできるだけ大きく、 C_P はできるだけ小さいほうがいい

ます。

この出力端にプローブを接続するとどうなるでしょうか(図2)。

プローブの入力抵抗 R_P が、信号源の出力抵抗に比べて無視できないほど小さいと、オシロスコープに送られる信号の振幅が本来より小さくなります。また、プローブの入力容量 C_P が信号源の容量に対して無視できないほど大きいと、オシロスコープに送られる信号の立ち上がり部は本来よりなまります。

このように、プローブのもつ抵抗分や容量分は、オシロスコープに届ける信号の形を変えてしまう可能性があります(図3)。

- コネクタが同じだからと使ってはいけないBNCなどの汎用同軸ケーブル

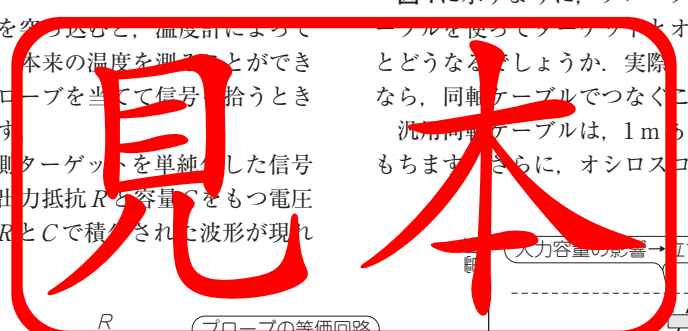
プローブのケーブルは、高周波回路などで利用されている「同軸」と呼ばれる構造です(ただし過渡特性の改善のため、芯線に数百 Ω/m の抵抗値をもたせてあり、汎用の同軸ケーブルとは別物)。

図4に示すように、プローブではなく汎用の同軸ケーブルを使ってターゲットとオシロスコープをつなぐとどうなるでしょうか。実際、センサとレコーダの間なら、同軸ケーブルでつなぐことがあります。

汎用同軸ケーブルは、1mあたり約100 pFの容量をもちます。さらに、オシロスコープの入力端子は、グ



図3 プローブをつなぐとターゲット回路の立ち上がりが鈍ったり振幅が小さくなったりする。この現象を負荷効果と呼ぶ



ノイズの影響を受けない グラウンド&波形の測り方

渡邊 潔 Kiyoshi Watanabe

本章では、準備の整ったプローブを実際のプリント基板に接続する方法を説明します。プローブをプリント基板に接触させるときは、ターゲット回路とオシロスコープの基準電位を合わせるグラウンド・リードや測定作業を円滑にする先端フックなどを装着します [図1(a)]。これらのアクセサリが実際の回路の波形を大きくひずませてしまいます。

本章では、アクセサリを装着してターゲットに接触させるときに起きる問題点とその解決方法を紹介します。 〈編集部〉

プローブをつなぐと 立ち上がりの速い信号はイチコロ

図1(b)のように、パルス・ジェネレータが出力した信号を50Ωの同軸ケーブルでオシロスコープのCH1入力に接続します。CH1の入力は50Ωで終端します。パルス・ジェネレータが送信デバイス、オシロスコープが受信デバイスです。

同軸ケーブルの終端にはTコネクタがあり、伝送されている波形をCH2に取り込んで確認します。信号

の周波数は50 MHz、立ち上がり時間は約2 nsにセットします(図2)。プローブを挿入する前の波形とプローブの影響を受けた後の波形を比べます。

オシロスコープに付属している周波数帯域350 MHzの10:1プローブをTコネクタに接続します(写真1)。プローブは市販されているそのままの状態、つまり標準のグラウンド・リード、フック・チップが装着されたままです。

プローブが理想的なら、次の2つが同時に成立するはずですが。

- (1) プローブを挿入しようがしまいが、CH1の波形は変化しない
 - (2) プローブによる観測波形(CH2)はCH1と一致する
- 図3に測定結果を示します。次のことがわかります。

- CH1(上側)の元の波形がなまる
- CH2(下側)のプローブを通った波形は元の波形と違う

私たちがオシロスコープで見るのは、図3の下の波形です。パルス・ジェネレータから出ている波形(図2)とは大きく異なります。

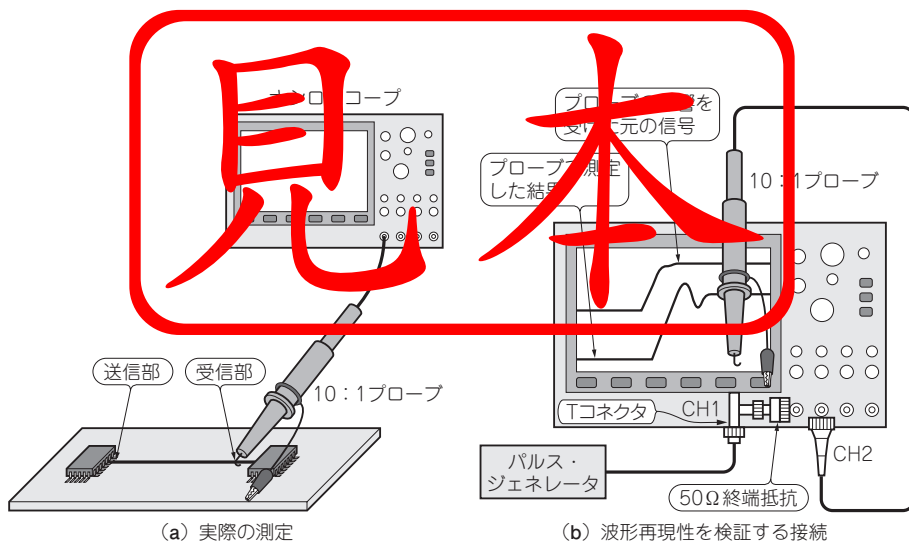


図1 プローブをつなぐとパルス信号の立ち上がり部がひずむことを実験で確認する

実験に不可欠… 安定化電源の選び方

渡邊 潔 Kiyoshi Watanabe

電子回路の実験を行うためには、電源供給が必要不可欠です。電子回路の動作を支える電源を正しく選ぶことは、実験を進める上のキーといえるでしょう。不適切な電源を使って実験を始めてしまうと、原因不明のトラブルに見舞われることもあります。

安定化電源を正しく選ぶには

● 出力定格

安定化電源を選ぶ際には、まず次に示す3点の出力

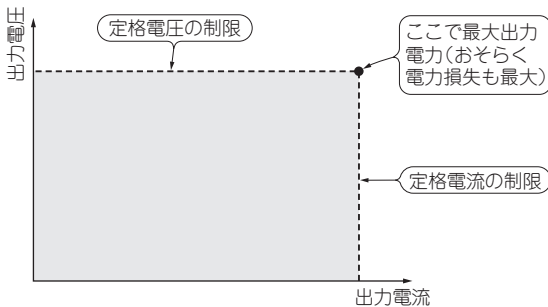


図1 安定化電源の大半は定格電力の制限を受けない。通常は定格電圧、定格電流の範囲で使える。最大出力時以外は電力定格に余裕がある

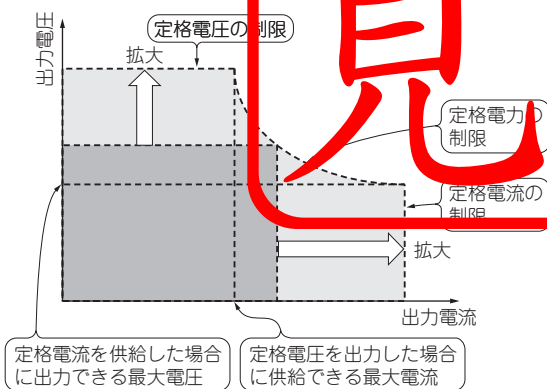


図2 定格電力での制限がある安定化電源の出力範囲。電力が問題ない範囲で電圧や電流の出力範囲を広げてある、と考えることもできる

定格に着目します。

- 定格電圧…供給できる最大電圧
- 定格電流…供給できる最大電流
- 定格電力…供給できる最大電力

多くの安定化電源は、図1のように電圧と電流の間に関係なく、どちらも定格まで設定できます。定格電圧かつ定格電流のとき最大電力を出力します。

一部の製品には、図2のように定格電力による制限があります。出力する電圧/電流によって、定格電流/定格電圧を出力できない場合があります。これは制限があると考えられるのではなく、電力を超えない範囲で、定格電圧や定格電流に自由度を設けた設計だと考えることもできます。使用目的に応じて、電圧か電流のどちらかを大きくできる便利な機能、というわけです。

● ノイズと負荷変動応答

電源の性能として出力定格を押さえた上で、図3に示す、ノイズと負荷変動に対する応答を確認します。

▶ ノイズの種類と量

入手可能な最もノイズが少ない電源は電池です。厳密には、アルカリ電池、ニッケル水素電池などの種類で多少の差はありますが、総じて低ノイズです。グラウンド・ループが存在しない点もメリットです。安定化電源のノイズは以下の2点があります。

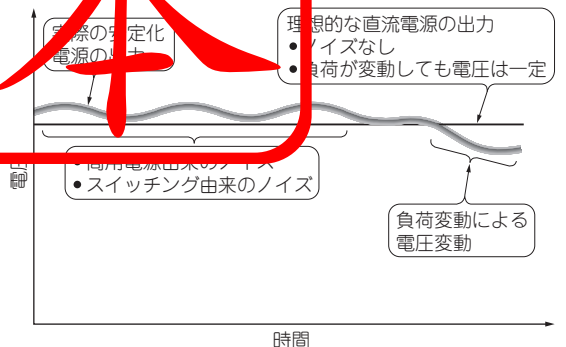
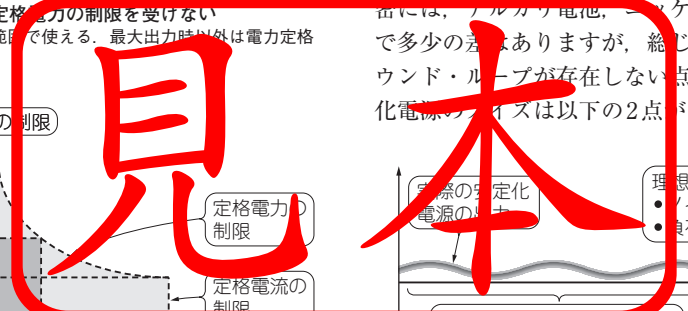


図3 現実の電源は理想電源とは違う。測定器としての電源にはこれらの性能が保証されている



今どきオシロの便利機能①… ロジック入力&信号出力

渡邊 潔 Kiyoshi Watanabe

オシロスコープは、基本機能である波形の観測&記録以外の機能も使える製品が増えていきます。

「ロジック信号観測」もできる オシロスコープMSO

MSO(ミックスド・シグナル・オシロスコープ)と呼ばれる製品は、信号をアナログ波形として取り込むオシロスコープ機能とは別に、オシロスコープと同期してロジック信号を取り込むロジック・アナライザ機能が追加されています。このロジック・アナライザ機能は「チャンネル数が足りない」、「ロジック信号として“H”/“L”だけわかればよい」場合に使います。

例えば、シリアル・インターフェースI²Cバスの観測をオシロスコープのチャンネルで行うと、シリアル・クロック(SCL)とシリアル・データ(SDA)で2チャンネルを使ってしまいます。SPIインターフェースならクロック(SCLK)、データ入力(SDI)、データ出力(SDO)

の3チャンネルも使います。I²CやSPIの信号は速度も速くないため、ロジック入力で処理すればオシロスコープの入力を使わずに済みます。

ファンクション・ジェネレータ付きの オシロスコープもある

ロジック入力に加えてファンクション・ジェネレータが搭載された機種も増えています(図1)。

単体のファンクション・ジェネレータが搭載している外部変調機能、シーケンス機能などはなく、比較的単純な信号発生機能のことが一般的です。

その代わりに、オシロスコープと合体したメリットとして、オシロスコープで取り込んだ波形を再現できる機能があります。オシロスコープの波形メモリのデータをファンクション・ジェネレータの波形メモリに取り込み、出力します。

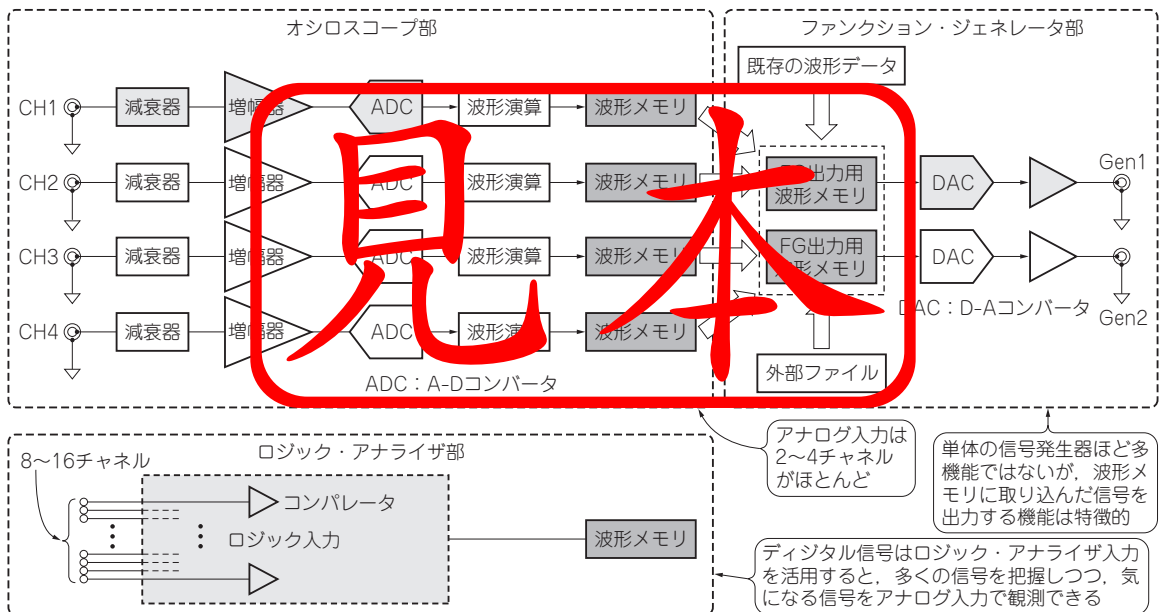


図1 ロジック・アナライザやファンクション・ジェネレータを取り込んだ多機能オシロスコープも珍しくない

その①… デジタル信号発生器

渡邊 潔 Kiyoshi Watanabe

今どきの信号発生器は

- 昔のファンクション・ジェネレータはアナログ式
数MHz程度までの信号発生器としてファンクション・ジェネレータがよく使われます。古くは周波数設定がメカ・ダイヤルのアナログ式で、そのころの構造は図1です。発振回路によって三角波を生成し、波形整形回路でサイン波やパルス波などの関数波形を作っていました。しかし、このような古典的構成のファンクション・ジェネレータはいまどき使われていません。
- 今はデジタル化されて任意波形出力もできる
近年の信号発生器はデジタル式になり、性能が飛

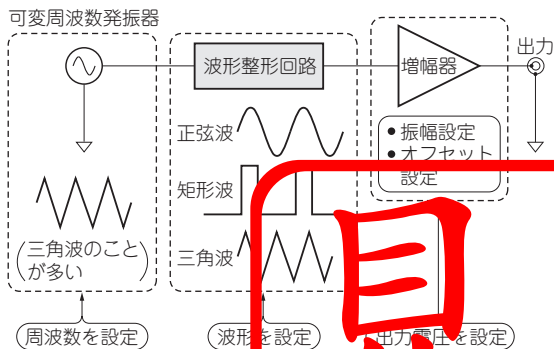


図1 古典的なファンクション・ジェネレータのしくみ

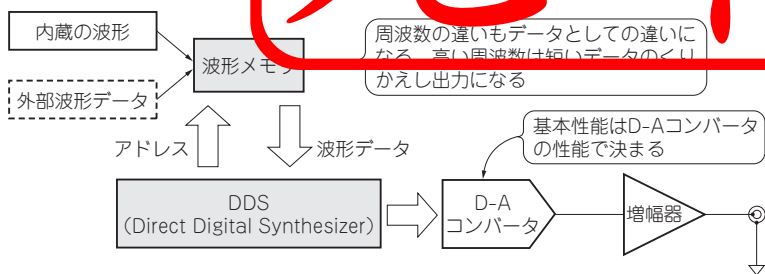


図2 デジタル化された今どきのファンクション・ジェネレータのしくみ

躍的に向上しました(表1)。今のファンクション・ジェネレータの心臓部は、DDS(Direct Digital Synthesizer)とD-A変換器です(図2)。

DDSにて周波数設定に応じたタイミングで波形メモリから波形データを取り出し、D-A変換器に送ってアナログ波形を作り出します。波形メモリには関数波形や基本波形のデータが組み込まれています。

▶メモリ範囲内なら任意の波形も出力できる

ファンクション・ジェネレータの特徴はD-A変換器を利用した任意波形の生成です。D-A変換器のサンプル・レートと波形メモリ長の制限はありますが、メーカーの供給するアプリケーションのほか、MATLABやExcelなどで作ったCSVファイルも利用できます。

● オシロスコープに内蔵されることも増えてきた

ハンディ・オシロスコープの中には、ハンディの利便性を生かせるように、ファンクション・ジェネレータも内蔵している製品があります。

USBマルチ測定器のAnalog Discoveryの信号発生器も任意波形を出力できます。

使い方や選び方のポイント

- 2チャンネル出力だとグラウンドは共通のことが多い
市販されているほとんどのファンクション・ジェネレータの信号グラウンドは、筐体から絶縁されてい

表1 代表的なファンクション・ジェネレータの出力波形と周波数範囲

| 波形 | 発振周波数 |
|------|-------------------|
| 正弦波 | 0.01 μHz ~ 30 MHz |
| 方形波 | 0.01 μHz ~ 15 MHz |
| パルス波 | 0.01 μHz ~ 15 MHz |

このPDFは、CQ出版社発売の「トランジスタ技術SPECIAL No.175」の一部見本です。
内容・購入方法などにつきましては以下のホームページをご覧ください。

内容 <https://shop.cqpub.co.jp/hanbai/books/MSP/MSP202607.html>

購入方法 <https://www.cqpub.co.jp/order.htm>

CQ出版社

