

プローブ入門書

オシロスコーププローブの基礎 パッシブプローブ編

第1章 パッシブプローブの基礎

第2章 プローブ補正の基礎

ROHDE & SCHWARZ

Make ideas real



第1章

パッシブプローブの基礎



▶ 動画版もご利用ください
(外部サイト YouTube へ移動します)



パッシブプローブの基礎

パッシブプローブとは

オシロスコープのプローブは、主に2つのカテゴリーに分けられます。アクティブプローブとパッシブプローブです。パッシブプローブはパッシブ、つまり、アクティブコンポーネントがないため、動作するうえでオシロスコープからの電源が不要です。

パッシブプローブはきわめて一般的で、通常、廉価品からハイエンド製品まですべてのオシロスコープにパッシブプローブのセットが付属しています。さらに、オシロスコープ間で互換性があり、異なるメーカーのオシロスコープで性能や他の特性が異なっても互換性があります。

また、アクティブプローブと比較すると廉価で、堅牢でもあります。そのため、アクティブプローブは通常ハードケースに収納し、保管や持ち運びに配慮するのに対し、パッシブプローブは通常プラスチックバッグに収納し、保管や持ち運びにあまり気を使う必要はありません。

加えて、パッシブプローブは非常に使いやすいプローブです。複雑な構成もなく、プローブをオシロスコープに接続し、グランドリードを取り付ければ、プロービングを開始できます。

パッシブプローブとは

- ▶ アクティブコンポーネントなし
 - 動作にオシロスコープからの電源が不要
- ▶ きわめて一般的
 - オシロスコープ間で互換性があることが多い
(パフォーマンスが異なってしまう場合もある)
- ▶ 廉価
- ▶ 堅牢
- ▶ 使いやすい



パッシブプローブの減衰比について

パッシブプローブの最も重要な特徴は「減衰比」と呼ばれるものです。具体的には、プローブがどの程度入力信号を減衰させてしまうかということです。入力信号のレベルが大きい場合は、より大きな減衰比を持つプローブが必要になります。

しかしながら、後ほど触れますがプローブの減衰比は負荷と帯域幅にも影響を及ぼします。パッシブプローブにおいて最も一般的な減衰比は 1x と 10x の 2 種類があります。

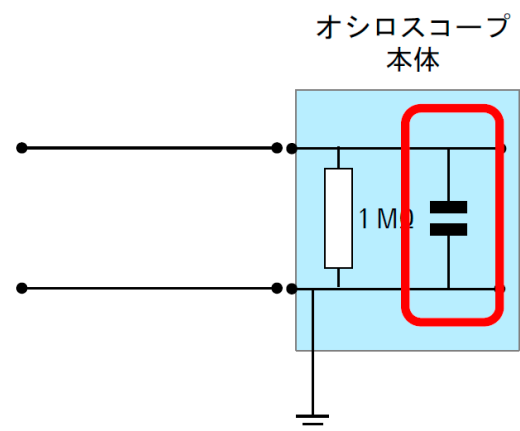
1x プローブについて

1x プローブは単純に、オシロスコープを追加の減衰なしにテストポイントに接続します。つまり、1x プローブは感度が高く、ピーク・ピーク値が 1V 未満など、信号レベルが低い場合には 1x プローブが便利です。

1x プローブは低周波数のアプリケーションにも適しています。なぜならば、1x プローブを使用すると、オシロスコープの入力容量がロー・パス・フィルタとして作用するため、帯域幅が制限されます。つまり、1x プローブを使用することで、測定した低周波信号の高周波ノイズを除去することができます。

1x プローブについて

- ▶ 単純に、オシロスコープをテストポイントに接続
- ▶ 入力信号を追加で減衰させない
- ▶ 高い感度を持つ
 - 入力信号の振幅が小さい場合に便利
(ピーク・ピーク値が 1V 未満など)
- ▶ 低周波数のアプリケーションに使われる
 - オシロスコープの入力キャパシタンスにより帯域幅が制限される
 - 高周波ノイズを除去



10x プローブについて

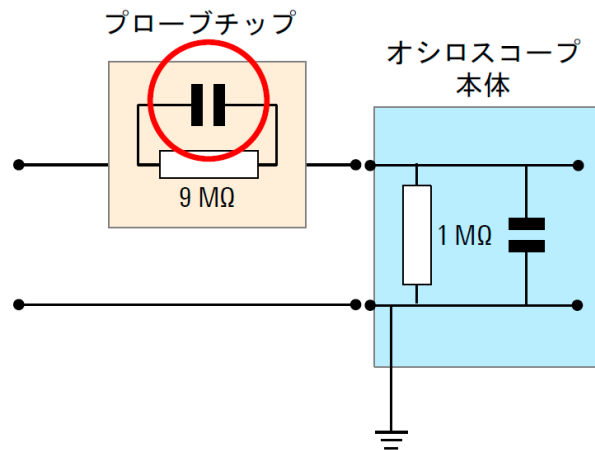
10x プローブは、ほとんどのオシロスコープに付属する「標準的な」プローブです。これらのプローブでは、通常、電圧ディバイダーとして作用するようにプローブチップに $9\text{ M}\Omega$ の抵抗器を組み込みます。これにより、入力信号の振幅を 10 分の 1 に減衰するので、10x プローブは高電圧測定に適しています。

そして、減衰の追加により、オシロスコープの入力インピーダンスも 10 倍に増加するため、10x プローブでは 1x プローブよりも回路負荷が小さくなります。

10x プローブのさらなる利点の 1 つに、帯域幅が 1x プローブよりも、はるかに広いことが挙げられます。10x プローブのプローブチップにはキャパシタンスが入っており、オシロスコープ固有の入力キャパシタンスの相殺に役立ちます。このことは、方形波やパルス信号のような高周波成分のある信号を測定する際に特に重要になります。

10xプローブについて

- ▶ 入力信号の振幅を10分の1に減衰
 - 高電圧測定に適している
- ▶ 入力インピーダンスを10倍に増幅
 - 1xプローブよりも回路負荷が小さい
- ▶ 帯域幅が1xプローブよりもはるかに広い
 - プローブチップのキャパシタンスはオシロスコープの入力キャパシタンスの相殺に役立つ
 - 矩形波やパルス信号のような信号を測定する際に重要



自動プローブ検出機能について

一部のオシロスコープは、プローブが 1x なのか、10x なのかを検出し、自動で設定を調整することができます。その仕組みは、多くの 10x プローブにはオシロスコープにつなげる側に金属ピンがあるため、オシロスコープの入力ポートにある感知リングにこれが接触することで、オシロスコープは 10x プローブが使用されていることを知ることができます。

プローブやオシロスコープがこのような自動検出機能に対応していない場合は、10x プローブや、より高い減衰比を持つプローブを使用するときに手動でオシロスコープを設定しなければなりません。



上：入力ポートにある感知リング

下：10x プローブの金属ピン

切換可能プローブについて

パッシブプローブの中には、切換可能プローブと呼ばれる、側面のスイッチを切り替えることで 1x プローブまたは 10x プローブとして使用することができる製品もあります。オシロスコープは通常、スイッチがどちら側にあるのかを判別することはできないので、切換可能プローブを使用する場合はオシロスコープの設定を手動で調整する必要があります。



減衰比を切り替えるスイッチ

まとめ

- ▶ パッシブプローブは、オシロスコープ用プローブの中で最も一般的なタイプです。
- ▶ パッシブプローブは廉価で、堅牢であり幅広いアプリケーションにおける操作性に優れています。
- ▶ パッシブプローブ間での最大の差別化要因は減衰比、すなわち、プローブがオシロスコープへの入力信号の振幅をどの程度減衰させるかという点です。最も一般的な減衰比は 1x と 10x の 2 つです。
- ▶ 1x プローブは入力信号の振幅を減衰させないので小さな信号に適していますが、帯域幅が限られています。
- ▶ 入力信号の振幅を 10 分の 1 に減衰させる 10x プローブは大きな信号に適しており、帯域幅が広く、回路にかかる負荷が 1x プローブよりも小さくなります。10x プローブは、ほとんどのオシロスコープに付属する最も標準的なプローブです。
- ▶ 入力信号を減衰させるプローブを使用するとき、正しいオシロスコープ設定を使用することが重要です。そして一部のオシロスコープは、接続されているプローブの減衰比を自動的に検出することができます。
- ▶ 手動で減衰比を 1x から 10x に、10x から 1x に切り替えることができるプローブも存在します。

第 2 章

プローブ補正の基礎



▶ 動画版もご利用ください
(外部サイト YouTube へ移動します)



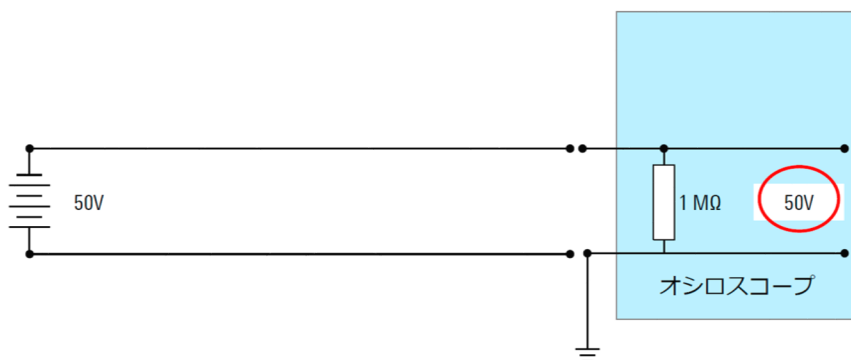
10x プローブの基本構造

プローブ補正について説明する前に 10x プローブの基本構造について解説します。50 V の直流電源を測定する場合を例にとって考えてみます。この基本的な測定系（図 1）において、1 M Ω の入力抵抗を持つように設計されたオシロスコープは、50 V すべてを測定することになります。

もし測定する電圧を 10 分の 1 に減らしたい場合は、9 M Ω の抵抗を組み込み、単純な電圧ディバイダーとして作用させることで実現できます（図 2）。これによりオシロスコープは 5 V の電圧のみを計測します。基本的な 10x プローブにおいて、この 9 M Ω の抵抗器はあらかじめプローブ本体に組み込まれています。

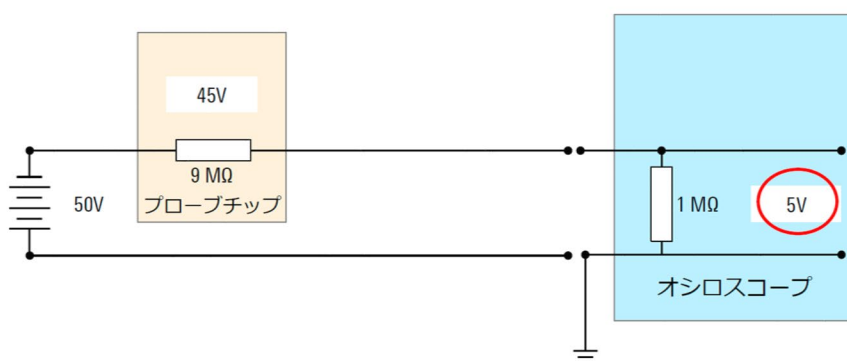
しかしながら、10x プローブを使用したシンプルな測定においても 2 つの問題が生じます。

50V 直流電源の測定系（プローブ無し）



（図 1）

50V 直流電源の測定系（10x プローブ使用）



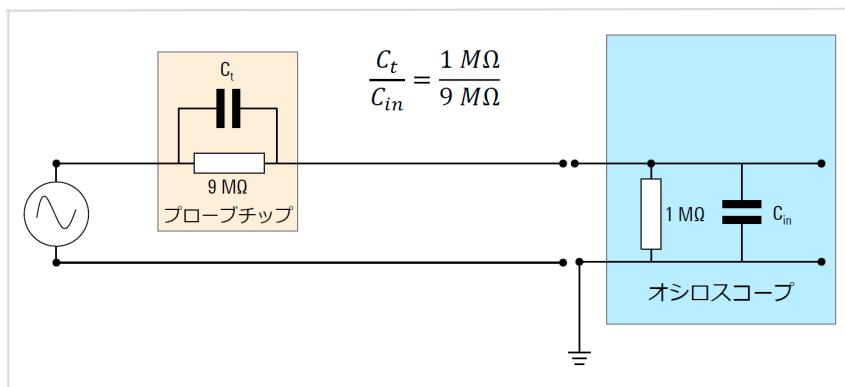
（図 2）

問題点 1：入力キャパシタンスの相殺

最初の問題点は、すべてのオシロスコープは、その入力抵抗に応じて一定量の固有の入力キャパシタンスを備えていることです。通常このキャパシタンスは、2 桁台前半のピコファラッド程度です。

直流のみを測定する場合、これは問題になりません。しかし交流の測定（図 3）では、周波数が高くなるにつれて入力キャパシタンス C_{in} がローパスフィルタとして振る舞い始めるので、非常に問題となります。

プローブチップ内に、 C_t と C_{in} の比が抵抗比の値と反比例となるようなキャパシタンス C_t を持つコンデンサを組み込むことで、この影響を相殺することができます。



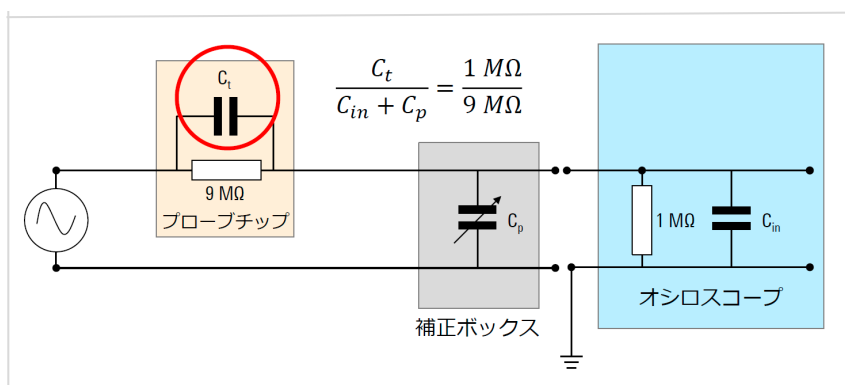
(図 3)

問題点 2： C_t の値

もう一つの問題は C_t をどのような値に設定すべきかということです。これは、 C_{in} の値に依存するため、オシロスコープごとに異なります。

最もシンプルな解決方法は、プローブチップ内に組み込むコンデンサを可変コンデンサにすることです。しかしこの解決方法は、ほとんどの場合において、実用的ではありません。

そのため、代わりの手法として調整可能なキャパシタンス C_p を持つ可変コンデンサをプローブに搭載し、 C_t と $C_{in} + C_p$ の比が抵抗比の値と反比例となるようにします（図 4）。これは、簡単な道具を使うことで容易に調整ができる「補正ボックス」と一般には呼ばれているものです。この可変コンデンサを追加することで、私たちは比較的フラットな周波数応答を実現するためのプローブを補正することができるのです。これがほとんどの 10x プローブで採用されている方式です。



(図 4)

実際の 10x プローブ

こちらが実際の 10x プローブとなります。左側が $9\text{ M}\Omega$ の抵抗器と固定コンデンサを内蔵したプローブチップで、右側が可変コンデンサを内蔵した補正ボックスです。ほとんどの場合、この可変コンデンサはオシロスコープとの接続部の近くに設置されています。



パッシブプローブとアクセサリ

プローブ補正とは

プローブ補正とは、プローブのキャパシタンスを調整し、オシロスコープ固有の入力キャパシタンスの影響を補正するプロセスです。測定結果に実現可能な中で最高の確度やリニアリティを求めるならば、プローブの適切な補正が不可欠です。

プローブ補正とは

- ▶ プローブ補正とは、プローブのキャパシタンスを調整し、オシロスコープ固有の入力キャパシタンスの影響を相殺する（補正する）プロセス
- ▶ プローブの適切な補正により、最高の確度やリニアリティを備えた測定結果を得ることができる



プローブ補正はなぜ必要なのか？

プローブの補正が十分でないと、大きく分けて2種類の不正確な測定結果につながります。

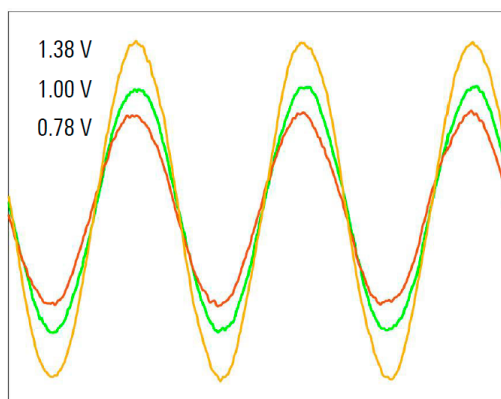
1つ目は不正確な振幅です。例えば、下の波形が示すように、適切に補正されたプローブ（緑線）による測定に比べ、補正不足なプローブ（赤線）または過補正なプローブ（黄線）による測定では、低い周波数であっても顕著な振幅変動が見られます。

プローブ補正が適切に行われなかった場合の2つ目の影響は、波形の歪みです。具体的には、パルス信号の立ち上がり時間と立ち下り時間の変化です。

重要なのは、これらの不確かさは、周波数が高くなるにつれて大きくなるということです。

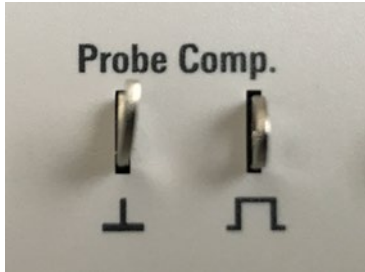
プローブ補正はなぜ必要なのか？

- ▶ プローブ補正の目的は、よりリニアな周波数応答を得ること
- ▶ プローブの補正が十分でないと、不正確な測定結果につながる：
 - 不正確な振幅
 - 波形の歪み(立ち上がり／下がり時間)
- ▶ 周波数が高くなるにつれて、不確かさも増大



プローブ補正の方法について

実際どのようにしてプローブを補正するのでしょうか。ほとんどすべてのオシロスコープには内蔵の矩形波発生器が備わっており、通常は 1000 Hz の周波数で信号を発生させます。大抵の場合「プローブ補正」のラベルが貼られているか、矩形波とグラウンド（GND）の記号でその位置が示してあります。



まず、プローブチップを矩形波の発生器に接続し、プローブのグラウンドリードをグラウンドに接続します。



次に、非導電性のドライバーまたはツールを使用して 矩形波補正信号がなるべく整った矩形になるように調整します。



補正信号の様子

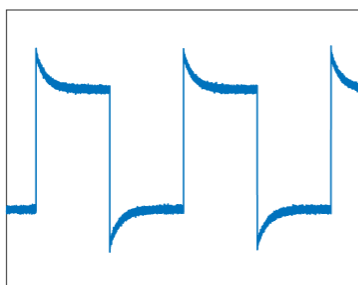
原則として、プローブが適切に補正されると、下図のように補正信号の上部が水平になります。

プローブの過補正は、信号の立ち上がりエッジのオーバーシュートを引き起こし、補正不足は立ち上がりエッジのアンダーシュートを引き起こします。プローブの過補正または補正不足のどちらの場合も、波形が整った矩形になるまで補正コンデンサを調整します。通常、これはほんの少しの調整で済みます。

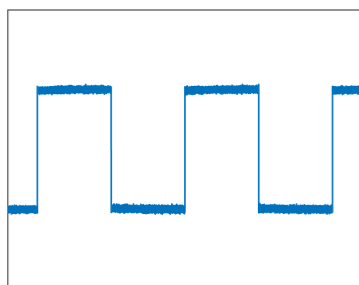
プローブ補正で矩形波が使用されるのは、低周波から高周波までの周波数成分を広く含んでいるためです。

プローブ補正の例

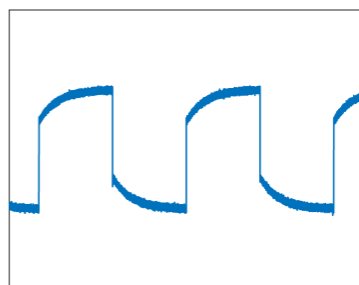
過補正の場合



適切に補正した場合



補正不足の場合



プローブ補正のタイミングについて

プローブは、最初に使用する前か、重要な測定を行う前には補正する必要があります。

オシロスコープはそれぞれ入力キャパシタンスが異なるため、プローブを違うオシロスコープに付け替えるときは常に補正を行う必要があります。同じオシロスコープの別ポートに付け替えるだけであれば、通常、補正は不要です。

信号の周波数が高ければ高いほど、プローブ補正の重要性は増すので、高い周波数の信号を測定する際は特にプローブ補正に注意してください。

トラブルシューティング

プローブ補正はとてもシンプルです。プローブを補正する際に困ったら、以下の二つのことを確認してみてください。

まず、矩形波補正信号が適切に表示されており、安定しているかを確認してください。ほとんどの場合、オシロスコープのオートセット機能が矩形波補正信号を適切に表示し、安定させてくれます。

次に、プローブチップが矩形波の発生器に、プローブのグランドリードがグランドに正しく接続されているかを確認してください。

また、お使いのオシロスコープに適していないプローブを使用していると、補正を行うことができない場合があります。プローブ補正によるキャパシタンスの調整にも限度がありますので、オシロスコープの入力キャパシタンスにもよりますが、他社製のプローブを完全に補正することはできない可能性があります。

一般的には、プローブ補正は手間がかからず、すぐに終わる作業なので 測定を始める前にプローブを補正することを忘れないでください。

トラブルシューティング



- ▶ 矩形波補正信号が適切に表示されており、安定しているかを確認
 - グランドの接続もお忘れなく！
- ▶ プローブ補正によるキャパシタンスの調整にも限度がある
 - オシロスコープの入力キャパシタンスにもよるが、「他社製」のプローブを完全に補正することはできない可能性がある

まとめ

- ▶ プローブ補正とは、プローブとオシロスコープのキャパシタンスの比を調整するプロセスです。
 - ▶ 未補正のプローブは、振幅やパルス形状などの面で、測定の不正確さにつながる可能性があります。
 - ▶ 最初に使用する際や、重要な測定を実施する際は、常にプローブを補正する必要があります。
 - ▶ プローブ補正の手順は簡単です。
-
- ✓ はじめに、プローブをオシロスコープに組み込まれているプローブ補正信号発生器およびグランドに接続します。
 - ✓ 次に、信号が整った矩形になるまで非導電性のドライバーまたはツールを使用して補正コンデンサを調整します。

測定マイスターカレッジ

基本的な測定器の基礎を横断的に学べる e ラーニングサイト

