

プローブ入門書

オシロスコーププローブの基礎 プローブテクニック編

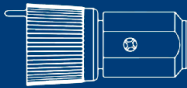
ROHDE & SCHWARZ

Make ideas real



プローブテクニック

パッシブプローブ
の補正



短いグランド
リードの使用



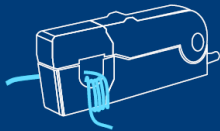
正しい入カイン
ピーダンスの選択

50 Ω | 1 MΩ

電流プローブの
ゼロイングと消磁



複数ループによる
電流測定感度向上



電力測定プローブ
のデスクュー



差動プローブを
使用した差動測定



アクティブプローブ
の使用タイミング



▶ 動画版もご利用ください
(外部サイト YouTube へ移動します)



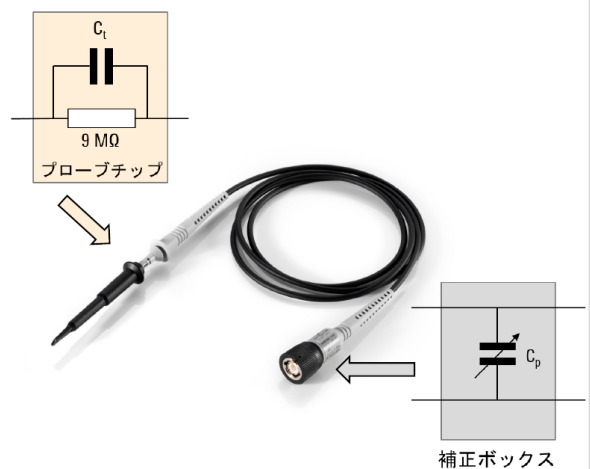
① -1 パッシブプローブの補正

パッシブプローブは、プローブチップには固定の RC 並列ネットワークを搭載し、オシロスコープとの接続部には可変コンデンサを内蔵した補正ボックスを搭載しています。

プローブ補正は、可変コンデンサのキャパシタンス値を調整することで、オシロスコープの固有の入力キャパシタンスを相殺するプロセスです。パッシブプローブの適切な補正は、測定結果において最良の確度とリニアリティを得るために必要不可欠です。

1-1 パッシブプローブの補正

- ▶ パッシブプローブの仕組み:
 - プローブチップに、固定のRC並列ネットワーク
 - オシロスコープとの接続部に、可変コンデンサを内蔵した補正ボックス
- ▶ **プローブ補正**は、オシロスコープの固有の入力キャパシタンスを相殺するプロセス
- ▶ 適切なプローブ補正が、最良の確度とリニアリティをもたらす



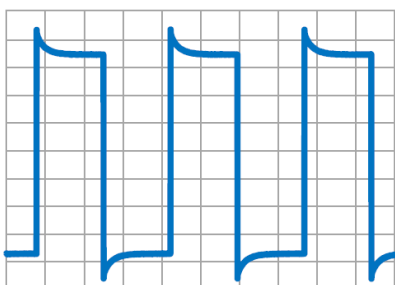
① -2 パッシブプローブの補正方法

ほとんどのオシロスコープは、プローブ補正用に 1000 Hz の矩形波発生器を内蔵しています。矩形波は高周波成分と低周波成分の両方を持つため、プローブ補正に適しています。

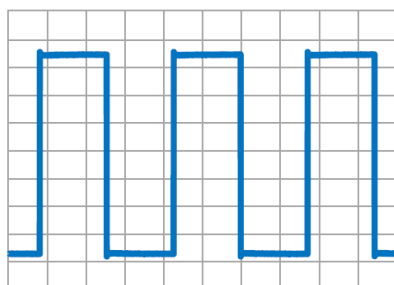
まず、プローブチップを信号源に接続しグランドリードをグランドに接続します。次に、補正信号を表示するようにオシロスコープを設定します。その後、補正ボックスの小さな穴に非導電性のツールを挿入し、回転することで、表示されている矩形波がリニアに近づくようにプローブのキャパシタンスを調整します。

表示される補正信号の上部が水平である場合、プローブは適切に補正されています。過補正のプローブは信号の立ち上がりエッジにオーバーシュートを発生させ、補正不足のプローブは立ち上がりエッジにアンダーシュートを発生させます。

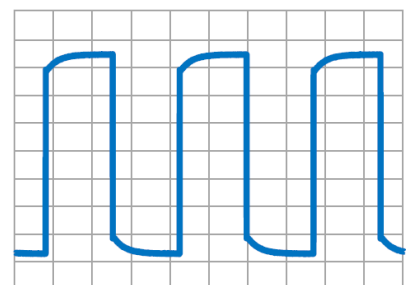
過補正の場合



適切に補正した場合



補正不足の場合



② 短いグランドリードの使用

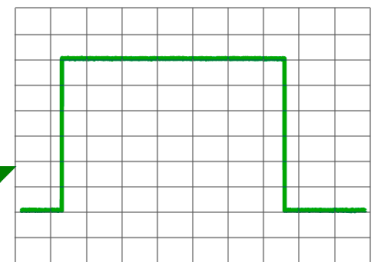
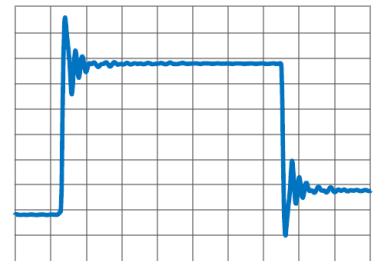
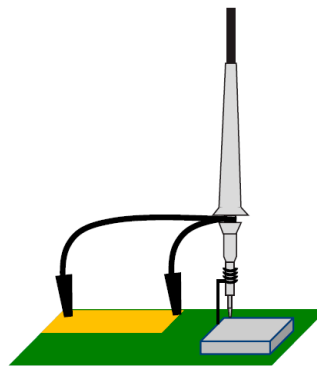
パッシブプローブはシングルエンドであり、グランドに対する電圧を測定するため、グランド接続が必要です。パッシブプローブの場合、このグランド接続は通常、ワニ口クリップ付きのグランドリードを介して行われます。そして、このリード線を可能な限り短くすることが重要です。

グランドリードが長い場合、測定信号にインダクタンスが加わります。このインダクタンスは高周波成分に影響し、矩形波タイプの信号ではリングングやオーバーシュート、アンダーシュートを発生させる可能性があります。

測定ポイントの近くに接地点がある場合は、着脱可能なばね状のグランドリードを使用することで、グランド接続の長さを最小限に抑えることができます。

2 短いグランドリードの使用

- ▶ パッシブプローブは「シングルエンド」
 - グランド接続が必要
- ▶ ほとんどのパッシブプローブには、ワニ口クリップ付きのグランドリードが付属
- ▶ リード線は可能な限り短くする
- ▶ 長いグランドリードは、測定信号にインダクタンスを与える
- ▶ 高周波成分に影響
 - 矩形波タイプの信号ではリングングやオーバー/アンダーシュートが発生
- ▶ 接地点が測定ポイントに近い場合は、ばね状のグランドリードを使用



③ 正しい入力インピーダンスの選択

一部のオシロスコープでは、入力インピーダンスを 50 Ω と 1 MΩ から選択できます。これはオシロスコープのインターフェースを通じてチャンネルごとに設定可能です。

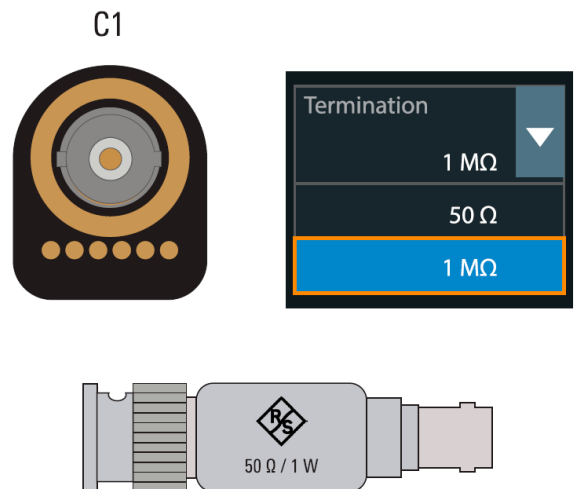
オシロスコープの標準入力インピーダンスは 1 MΩ であり、パッシブプローブを使用する場合はこの設定が適切です。オプションの 50 Ω は、アクティブプローブを使用する場合、または BNC ケーブルを使用してチャンネルを直接接続する場合に最もよく使用されます。多くの測定機および RF デバイスは、50 Ω を標準入力インピーダンスとしています。

誤った入力インピーダンスは測定信号の振幅に影響を与える可能性があるため、正しい入力インピーダンスを選択することが重要です。例えば、入力インピーダンスを 50 Ω ではなく 1 MΩ に設定すると、予想される電圧の 2 倍になります。また、入力インピーダンスを 1 MΩ ではなく 50 Ω に設定すると、最大安全入力電圧がはるかに低くなります。

一部のオシロスコープは 50 Ω の入力インピーダンスを標準搭載していません。この場合は、必要に応じて特別なフィードスルーアダプターを使用することで 50 Ω 入力インピーダンスを実現できます。

3 正しい入力インピーダンスの選択

- ▶ 一部のオシロスコープでは、入力インピーダンスを選択可能
 - 50 Ω または 1 MΩ
- ▶ 1 MΩ は標準インピーダンスで、パッシブプローブ使用時に選択
- ▶ 50 Ω はアクティブプローブ使用時や、チャンネルを直接接続する場合に選択
- ▶ 誤った入力インピーダンスは、測定信号の振幅に影響
 - 最大安全入力電圧も制限
- ▶ 50 Ω を標準搭載していない場合は、フィードスルーアダプターを使用



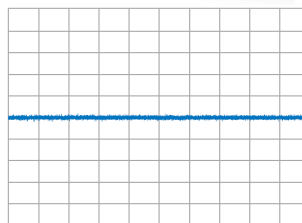
④-1 電流プローブのゼロイング

理論上、電流プローブは、電流が存在しないときに0アンペアを示します。しかし、温度およびその他の環境条件により、電流プローブのゼロ点は時間が経つにつれて変化してしまう可能性があります。ゼロ点を修正する作業を、ゼロイングと呼びます。

ゼロイングの実施には2種類の方法があります。独自仕様でないインターフェースを持つプローブの場合、ゼロイング用のノブやホイールは通常プローブ自体に組み込まれています。通常、独自のインターフェースを持つプローブでは、オシロスコープのメニューまたはコントロールを使用してゼロイングを実行できます。一部のオシロスコープには、正しいオフセット量と方向を自動的に適用する機能もあります。最良の測定確度を得るためには、電流測定を行う前に電流プローブのゼロイングを行うことをお勧めします。

4-1 電流プローブのゼロイング

- ▶ 電流プローブは、測定された電流に比例する電圧を生成
- ▶ 電流が流れていない場合、電流プローブは0アンペアを読みとらなければならない
- ▶ 温度やその他の環境的要因により、時間が経つにつれて基準となるゼロ点の位置が変化
- ▶ ゼロイングによりゼロ点を校正
- ▶ 電流プローブのゼロイングは以下の方法で実行
 - 本体に備え付けのゼロオフセットノブを使用
 - 接続先のオシロスコープを操作
 - 自動で調整可能な機種もある
- ▶ 測定前に電流プローブのゼロイングを必ず実施



④-2 電流プローブの消磁

電流プローブの強磁性コアは、電流が存在しない場合でも、ある程度の磁気またはフラックスを持ち続けてしまうことがあります。これは、オンとオフが切り替わる電流を測定するためにプローブを使用した後にしばしば発生します。この残留磁気は、オフセットを引き起こし、測定結果に大きな影響をもたらします。

したがって、最新のプローブのほとんどは、プローブ本体に備え付けのボタンかオシロスコープのユーザーインターフェースを介して消磁を実行できます。これによりプローブ内の残留磁気を消去する、ランダムな磁場を生み出す特別な波形が生成されます。電流プローブを使用する場合は、ゼロイング実行前と測定を行う前のタイミングでプローブを消磁することをお勧めします。

4-2 電流プローブの消磁

- ▶ 電流が存在しないにもかかわらず、プローブの強磁性コアが磁気（「フラックス」）を持ち続けることがある
 - オンオフが切り替わる電流の測定後に発生しやすい
- ▶ オフセットを引き起こし、測定結果に大きな影響をもたらす可能性がある
- ▶ ほとんどの電流プローブは消磁を実行可能
 - ランダムな磁場を発生する特別な波形が生成され、プローブ内の残留磁気を消去
 - 通常ほんの数秒で完了
- ▶ ゼロイングや測定を行う前に、電流プローブを必ず消磁



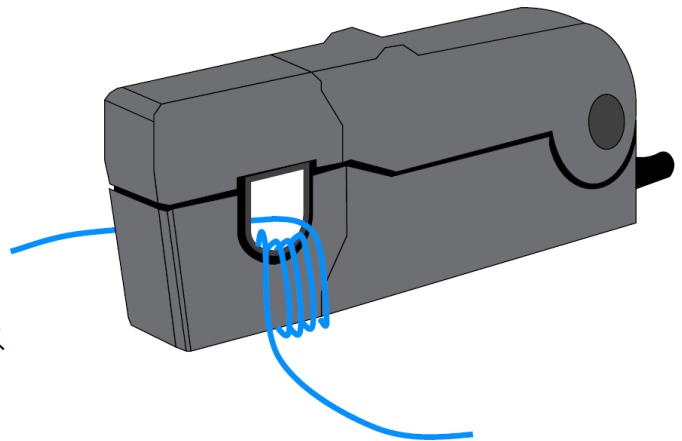
⑤ 複数ループを使用した電流測定感度の向上

ケーブルをプローブに何重にも巻き付けることで、電流測定感度を向上させることができます。プローブの感度は巻き付けた回数に比例するように向上していきます。ケーブルを4重に巻き付ければ、プローブの感度は4倍になります。ただし、オシロスコープはケーブルが何回巻き付けられているのかを認識することができないため、適切なスケール値を手動でオシロスコープに入力する必要があります。

一方で、プローブの挿入インピーダンスは巻き付けた回数の2乗に比例するように増加していきます。つまり、ケーブルを4重に巻き付けた場合プローブの挿入インピーダンスは16倍になります。しかし、この増加した挿入インピーダンスは、依然として非常に小さい値であり、低い電流レベルでの測定にはあまり影響を及ぼしません。

5 複数ループを使用した電流測定感度の向上

- ▶ ケーブルをプローブに何重にも巻き付けることで電流測定の感度が向上
 - プローブの感度は巻き付けた回数に比例して向上
 - (例) 4回巻 = 4倍の感度
 - 巻き付けた回数を手動で必ずオシロスコープに入力
- ▶ 挿入インピーダンスは巻き付けた回数の2乗に比例して増加
 - (例) 4回巻 = 16倍の挿入インピーダンス
 - 電流レベルが低い場合、測定に重大な影響を及ぼすことはない



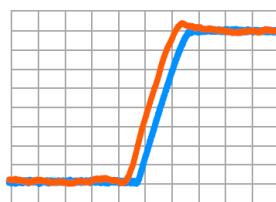
⑥ 電力測定用電圧・電流プローブのデスキュー

電力測定では電圧と電流の両方を同時に測定する必要があるため、電流プローブと電圧プローブを同時に使用することが多くなります。その際、それぞれのプローブリード内で信号の伝播時間に差があるために、測定電圧波形と測定電流波形との間に時間オフセットまたは「スキュー」が存在することがあり、このスキューは誤った電力測定結果をもたらす可能性があります。

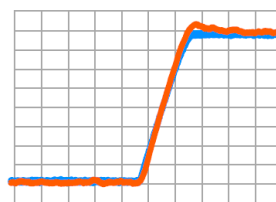
電圧プローブと電流プローブを特別なデスキュー用フィクスチャに接続し、フィクスチャが生成する時間調整された電圧パルスと電流パルスと同時に測定することで、スキューを検出し補正することができます。これらのテスト信号間にスキューが存在する場合、適切なデスキュー値をオシロスコープに入力することで、電流波形と電圧波形が重なり合い、その後の測定におけるスキューの影響を取り除くことができます。

6 電力測定用電圧・電流プローブのデスキュー

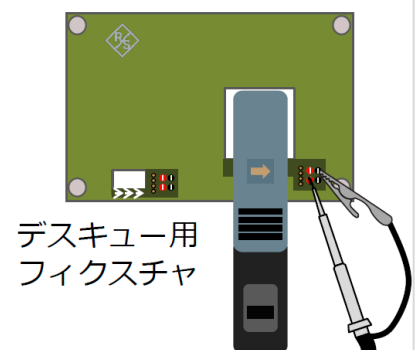
- ▶ 電流プローブは、電力（電圧×電流）測定の際によく使用
- ▶ 測定電圧波形と測定電流波形との間に**スキュー**が存在することがある
 - プローブリード内の伝播時間の差が原因
 - スキューは誤った測定結果をもたらす可能性がある
- ▶ デスキュー用フィクスチャを用いてスキューを検出し補正
 - 時間調整された電圧パルスと電流パルスを生成



デスキュー前



デスキュー後



⑦ 差動プローブを使用した差動測定

オシロスコーププローブは通常、グラウンドに対する電圧を測定し、これは一般にシングルエンド測定と呼ばれます。しかし、非接地の2点間の電圧を測定する差動測定を行いたい場合も多くあります。

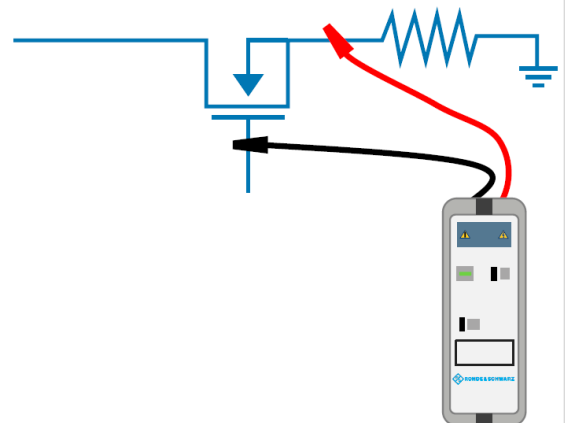
差動測定を行う1つの方法は、2本のシングルエンドプローブを使用することです。2点におけるグラウンドに対する電圧をそれぞれ測定し、オシロスコープの演算機能を用いて、2つのチャンネルの入力電圧を引き算することで、2点間の差動電圧を算出します。これは一般に疑似差動測定と呼ばれます。

より良いアプローチは、内部に差動増幅器を有し、2つの接続点における電圧間の差に対応する電圧を生成する差動プローブを使用することです。

差動プローブは、任意の2点間の電圧を測定できることに加えて、コモンモードノイズ、つまり両方の入力に共通のノイズを排除するため、より高い確度を提供できます。また、偶発的または不注意なグラウンド接続によって発生する大電流から、デバイスとオペレータの両方を保護します。

7 差動プローブを使用した差動測定

- ▶ オシロスコーププローブはグラウンドに対する電圧を測定(「シングルエンド」)
- ▶ 非接地の2点間の電圧を測定する2つの方法:
 - 2本のシングルエンドプローブを使用し演算
 - 「疑似差動」
 - 差動プローブを使用
 - 内部に差動増幅器を有する
- ▶ 差動測定に差動プローブが最適である理由
 - より高い確度を提供(コモンモードノイズの除去)
 - デバイスとオペレータの両方を保護



⑧ 要求の厳しい測定アプリケーションでのアクティブプローブの使用

その名前が示すように、アクティブプローブは、プローブチップ内に FET（電界効果トランジスタ）のようなアクティブコンポーネントを搭載しています。

アクティブプローブは、パッシブプローブよりもはるかに低い入力容量を実現しており、通常、パッシブプローブが数十 pF であるのに対して、アクティブプローブは 1 pF 以下です。この低い入力容量には、2 つの大きな利点があります。

第一に回路負荷の低減です。これにより、測定信号をスコープ上でより忠実に再現しながらも、回路動作への影響を低く抑えることができます。

もう一点はより広い帯域幅の実現です。これは高速信号、特に矩形波やパルス波のような高周波成分を持つ信号をより正確に測定する上で必要になります。

さらに、一部のアクティブプローブは、信号に比較的大きなオフセット範囲を適用することもできるため、電源リップルのような、大きな DC 信号上の小さな AC 信号を測定しようとするときに非常に便利です。このように、アクティブプローブは、多くの要求の厳しい測定アプリケーションにおいて、最適な選択肢となります。

8 要求の厳しい測定アプリケーションでのアクティブプローブの使用

- ▶ アクティブプローブは、アクティブコンポーネントをプローブチップ内に搭載
 - 通常、電界効果トランジスタ(FET)
- ▶ アクティブプローブは、パッシブプローブ(数十pF)よりもはるかに低い入力容量を実現(<1pF)
 - 回路負荷の低減：測定信号を忠実に再現しつつ、回路動作への影響を低く抑える
 - 広い帯域幅：高速信号や高周波成分を持つ信号をより正確に測定（例：矩形波やパルス波）
- ▶ 大きなオフセット範囲を適用
 - 大きなDC信号上の小さなAC信号を測定する場合に有効（例：電源リップル）



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

