

プローブ入門書

オシロスコーププローブの基礎 アクティブプローブ編

ROHDE & SCHWARZ

Make ideas real



アクティブプローブの基礎



▶ 動画版もご利用ください
(外部サイト YouTube へ移動します)



アクティブプローブの基礎

アクティブプローブとは

一般的に、「アクティブ」とは動作する上で電源供給が必要であることを意味します。この定義に従うと、差動プローブや多くの電流プローブも電源供給が必要なため、アクティブプローブに該当します。

しかしながら、ほとんどのオシロスコープユーザーにとってアクティブプローブとは、シングルエンド FET プローブを想像されることが多いと思います。そのため、本書でもこれ以降は、アクティブプローブという言葉により狭義の、シングルエンド FET プローブを意味する言葉として使用します。

アクティブプローブの概要

その名前が示す通り、アクティブプローブはアクティブコンポーネントないしパワーコンポーネントをプローブチップに搭載しており、FET つまり電界効果トランジスタを採用しているのが一般的です。

アクティブプローブの最も優れた利点の一つに、広い周波数範囲にわたって負荷が極めて小さいことが挙げられます。つまりアクティブプローブの極めて低い入力キャパシタンスが、高い入力インピーダンスにつながります。もう一つの利点は、アクティブプローブが広いオフセット範囲を可能にする点です。これら2つの利点につきましては後ほど詳しく解説します。

アクティブプローブは通常、独自のインターフェースを搭載しているため、オシロスコープが自動的にプローブを検出し校正することができます。プローブへの電力は、この独自のインターフェースを通してオシロスコープから供給されるか、外部電源から供給されます。

ほとんどのアクティブプローブは使用するにあたり、オシロスコープのチャンネルの入力インピーダンスを 50Ω に設定する必要があります。

また、本書ではオシロスコープでの測定にアクティブプローブを用いる方法について解説しますが、いくつかのアクティブプローブはオシロスコープ以外の測定器、たとえばスペクトラム・アナライザでの測定にも使用できます。

アクティブプローブについて

- ▶ アクティブプローブはアクティブコンポーネントを有する
 - 通常はFET/電界効果トランジスタをプローブチップに採用
- ▶ 広い周波数範囲にわたって負荷が極めて小さい
 - 入力キャパシタンスが極めて低く 高い入力インピーダンス
- ▶ 広いオフセット範囲をもたらす
- ▶ オシロスコープが自動的にプローブを検出し校正可能
- ▶ 電源供給が必要
 - オシロスコープ/外部電源から供給
- ▶ オシロスコープチャンネルの入力インピーダンスを 50Ω に設定
- ▶ いくつかのアクティブプローブは他の測定器で使用可能 (スペクトラム・アナライザなど)



プローブの負荷について

理想的なオシロスコープ用プローブは被測定回路の一部にはならず、測定する信号をひずませることもありません。

しかしながら、プローブの入力インピーダンスが低い場合、プローブの中を電流が流れ、回路に対して高い負荷がかかるため、測定した波形をひずませます。加えて高い負荷がかかるため、プローブを被測定回路に接続すると、回路の動作に影響を与えてしまうこともあります。

オシロスコープ用プローブによる負荷は、主にプローブのキャパシタンスに起因するものです。そのためプローブが大きな入力キャパシタンス値を有していると、信号がひずみます。特に高周波数成分が減衰され、振幅と波形に影響を及ぼします。

アクティブプローブの負荷について

アクティブプローブの利点の一つに、回路負荷を低減することが可能な点が挙げられます。

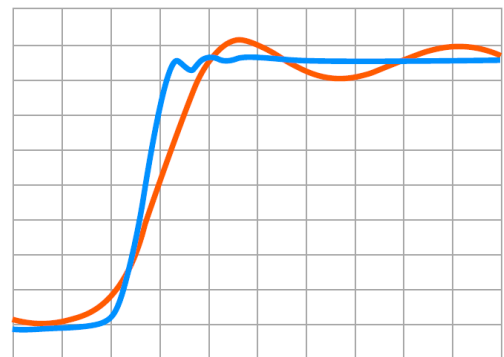
アクティブプローブのプローブチップにはアンプが搭載されているため、極めて低い入力キャパシタンス値を実現しています。昔ながらのパッシブプローブは2桁ピコファラド程度の入力キャパシタンスを有していますが、アクティブプローブの入力キャパシタンスは通常1桁ピコファラド以下です。

このような低い入力キャパシタンスにより、アクティブプローブは高い入力インピーダンスを有しており、回路への負荷を低く抑えることができます。例えば下図のように、アクティブプローブを使用した場合のリングングは、パッシブプローブを使用した場合よりもかなり小さくなります。この現象は高周波の測定においてより顕著に現れます。

したがってアクティブプローブは、パッシブプローブを使用すると大きな負荷がかかってしまう高インピーダンス回路の測定に最適です。

アクティブプローブの負荷について

- ▶ アクティブプローブは回路負荷を低減可能
- ▶ プローブチップにはアンプが搭載されているので、極めて低い入力キャパシタンス値を実現
 - パッシブプローブは2桁ピコファラド程度
 - アクティブプローブは1桁ピコファラド以下
- ▶ 低い入力キャパシタンスにより、高い入力インピーダンスを実現し回路への負荷を低く抑える
 - 少ないリングング
 - 高周波の測定においてより顕著
- ▶ アクティブプローブは高インピーダンス回路の測定に最適
 - パッシブプローブを使用すると大きな負荷がかかってしまう



橙 = パッシブプローブ使用時

青 = アクティブプローブ使用時

プローブの帯域幅について

オシロスコープと同様に、プローブにも帯域幅、すなわち、プローブが信号の振幅を正確に計測できる周波数の範囲が存在します。帯域幅は通常、振幅応答が 3 dB 低下する周波数と定義されます。

一般的に、測定対象物がオシロスコープに要求する帯域幅の、少なくとも 1.5 倍の帯域幅を持つプローブを用意する必要があると言われています。つまり、あるアプリケーションが 500 MHz の帯域幅を持つオシロスコープを必要とする場合、750 MHz 以上の帯域幅を持つプローブを用意する必要があります。

プローブの帯域幅が広ければ広いほど、高周波の信号や高周波数成分を含む信号の測定において減衰を抑えることができます。特に複数の周波数成分からなる信号の測定においては、周波数成分ごとに異なる減衰がかかることで波形がひずむため、プローブの帯域幅が広いことは非常に重要です。

アクティブプローブの帯域幅について

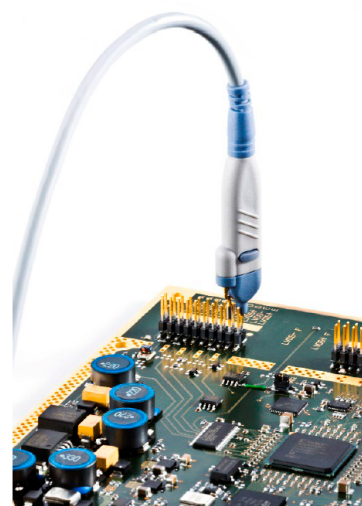
ほとんどの場合、アクティブプローブはパッシブプローブに比べて広い帯域幅を有しています。パッシブプローブの帯域幅が通常数十ないし数百 MHz であるのに対し、アクティブプローブの帯域幅は多くの場合、数 GHz に及びます。

プローブの帯域幅はプローブの負荷と大きな関係があります。前述の通り、プローブの入力キャパシタンスが高い場合、周波数が高くなると急激にプローブが与える負荷が大きくなります。そして、アクティブプローブは入力キャパシタンスが低くなるように設計されているため周波数の測定でもプローブの負荷を抑えることができます。

したがって、アクティブプローブは高周波の信号や立ち上がり時間の速い信号、矩形波やパルス信号などの高調波成分の測定に適しています。

アクティブプローブの帯域幅について

- ▶ アクティブプローブはパッシブプローブに比べて格段に広い帯域幅を有する
 - 数 GHz に及ぶ
- ▶ プローブの帯域幅は負荷と大きな関係がある
 - プローブの入力キャパシタンスが高い場合、周波数が高くなると急激に負荷が大きくなる
 - アクティブプローブは入力キャパシタンスが低い
- ▶ アクティブプローブは以下の測定に最適:
 - 高周波の信号
 - 立ち上がり時間の速い信号
 - 矩形波やパルス信号



オフセット範囲について

一般的にオシロスコープを使用するときは、対象の信号をディスプレイの垂直方向中央に配置し、画面の垂直軸の大部分を占めるようにスケールを調整します。これにより、オシロスコープの ADC の性能を最大限に活用できます。

しかしながら、AC 成分が小さく、DC オフセットが大きい信号の測定、例えば DC 電源の出力電圧中のリップルの計測では、このような設定が難しい場合があります。

一つの解決方法としてチャンネルの AC カプリングを有効化し、DC 成分を除去する方法がありますが、同時にドリフトなどを観測することも不可能になります。

もう一つの解決方法として、チャンネルにオフセットを適用し、信号をディスプレイの垂直方向中央に配置する方法があります。オフセットが適用され信号が画面中央に移動したのち、信号の AC 成分を詳細に観測できるように垂直軸スケールを細かく設定します。この手法による制限において重要なポイントは、最大オフセット範囲は垂直軸スケールの設定に依存することです。垂直軸スケールが小さい場合、オフセット範囲は狭まります。

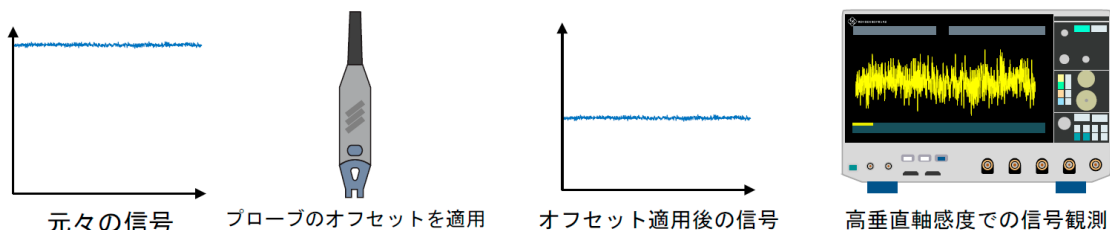
アクティブプローブのオフセット範囲

多くのアクティブプローブには、プローブそのものにオフセットを適用する機能があります。このオフセットはオシロスコープのオフセット範囲からは切り離されたものであり、オシロスコープの垂直軸スケール設定からも独立しているものです。つまり、オシロスコープのオフセットが十分でない場合でも、プローブのオフセットを適用し、信号を垂直方向中央に配置することができます。

プローブのオフセットは垂直軸スケール設定による制限を受けないため、プローブのオフセットを適用することで、広いオフセット範囲を維持しつつ高い垂直軸感度で信号を観測できます。さらに現可能な垂直軸分解と信号をより詳細に観測する能力の向上につながります。

アクティブプローブのオフセット範囲

- ▶ 多くのアクティブプローブはプローブそのものにオフセットを適用可能
 - オシロスコープのオフセット範囲から切り離されている
 - オシロスコープの垂直軸スケール設定からも独立
- ▶ プローブのオフセットを適用して信号を垂直方向中央に配置可能
- ▶ プローブのオフセットを適用することで、広オフセット範囲かつ高垂直軸感度で信号を観測可能
 - 垂直軸分解と信号をより詳細に観測する能力を向上



まとめ

- ▶ シングルエンド FET プローブはパッシブプローブに比べて多くの点で優れています。
 - 低負荷
 - 広い帯域幅
 - 広いオフセット範囲
- ▶ 高周波成分を含む信号の測定に最適です。
- ▶ 動作する上で電源供給が必要で、ほとんどが独自のインターフェースを有しています。
- ▶ 一方、高価で、電圧範囲が狭く、壊れやすいので扱いには注意が必要です。

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

