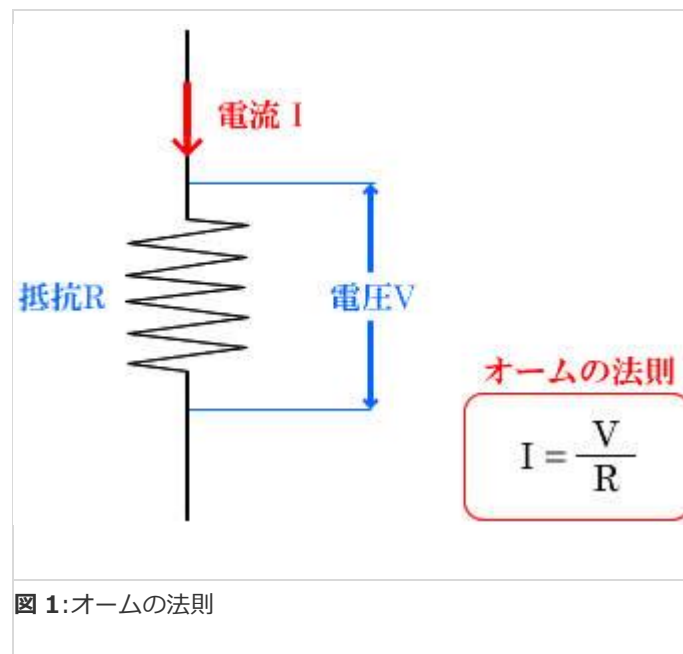


電流プローブと計測の基礎(Tektronix 編)

電圧波形は違うのが当たり前

オームの法則(図 1)により、電流は抵抗器によって電圧に変換することができます。電流波形を観測するとき、電流経路に抵抗器を挿入し電圧に変換後、電圧波形として電圧プローブで観測する手法があります。この手法において陥りやすいまちがいは、抵抗器を安易に純抵抗とみなしてしまうことです。



十分に低い周波数(成分)を扱う場合、抵抗器はほぼ純抵抗とみなせますが、高い周波数になると、抵抗器はもはや純抵抗ではありません。コイル(インダクタンス)を含んだインピーダンスと考えなければなりません。このような場合、抵抗器を流れる電流波形と抵抗器に生じた電圧波形は異なります(図 2)。

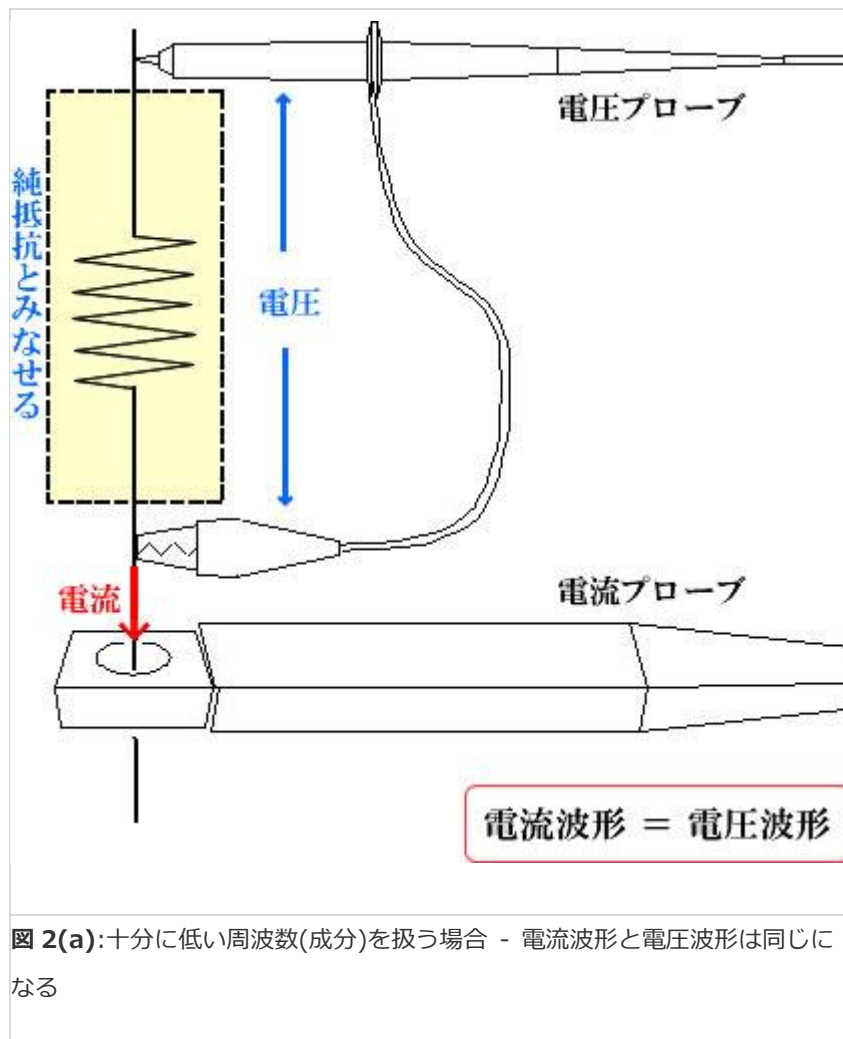
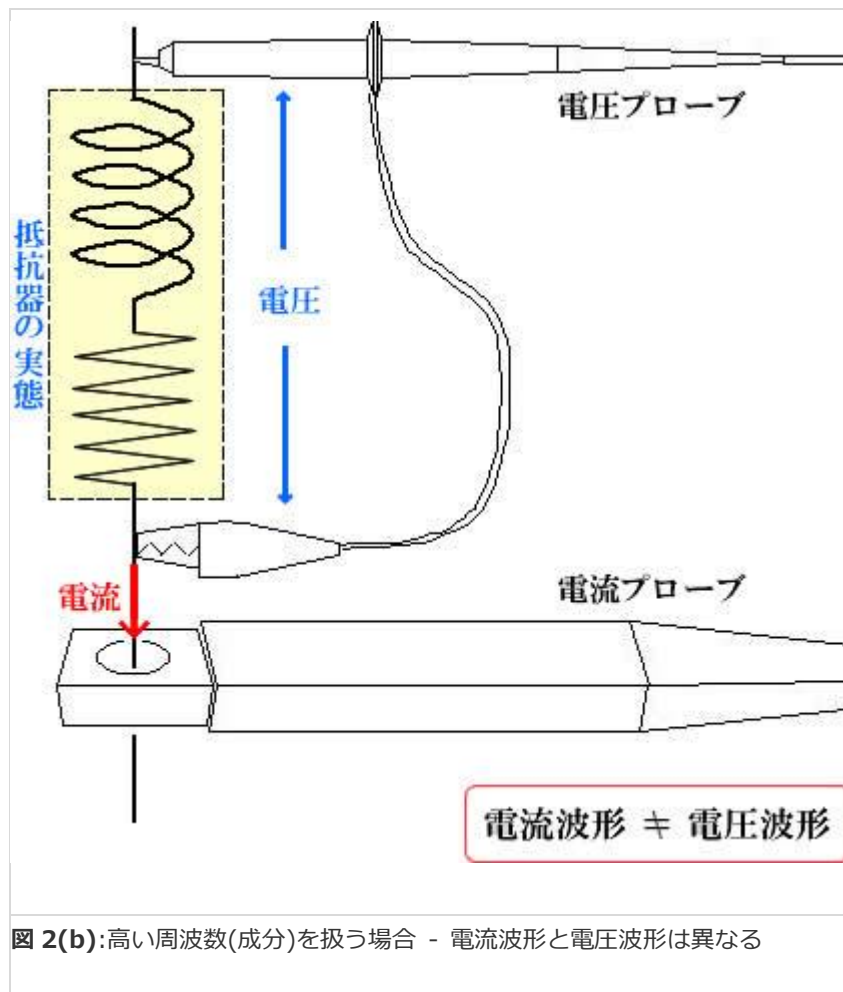


図 2(a):十分に低い周波数(成分)を扱う場合 - 電流波形と電圧波形は同じになる



実際に周波数帯域 20MHz のオシロスコーププローブシステムにおいて、インダクタンスの影響を見てみましょう。純抵抗に 46cm のケーブルを加えるだけでインダクタンスは増加し、電流波形と電圧波形にはっきりとした差がでます。電流波形は立ち上りが鈍り、電圧波形はオーバシュートを生じます(図 3)。

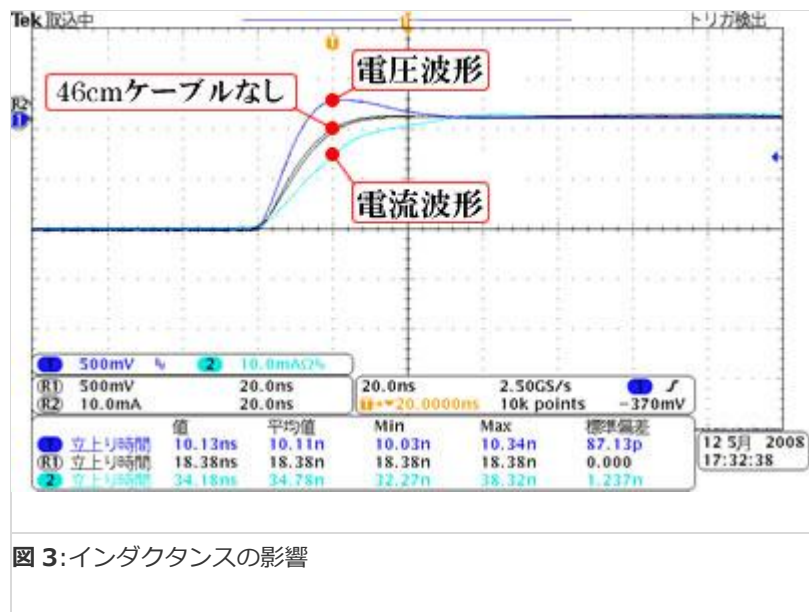


図 3: インダクタンスの影響

このシステムにおいて数十 cm 分のインダクタンスがあるだけで、抵抗器を挿入する手法は、電流波形の観測に向かないことが分かります。もっと高い周波数を扱うシステムならば、もっと小さなインダクタンスによって同様の状況となります。抵抗器を挿入する方法では、いかにインダクタンスを軽減できるかが成否を決定します。

こんなとき電流プローブを使わないと失敗する

電流の観測において、直接電流を観測するに越したことはありません。電流波形を観測するために作られたプローブが「電流プローブ」です。ケーブルに流れる電流がつくる磁束を捉え、電圧に変換します。既述の電圧プローブ群(受動プローブ、アクティブプローブ、差動プローブ、高電圧差動プローブ、高電圧プローブなど)とは、かなり動作が異なります。磁束を捉えるための検出部はコイルを巻いたトランスです。トランスのコアを通過する被測定ケーブルは、トランスの 1 回巻きの一次巻線

として働きます。トランスのコアにあらかじめ n 回巻かれたコイルが二次巻線となり磁束を捉えて電流を発生します。その電流が負荷抵抗により電圧に変換され、オシロスコープに入力されます(図 4)。

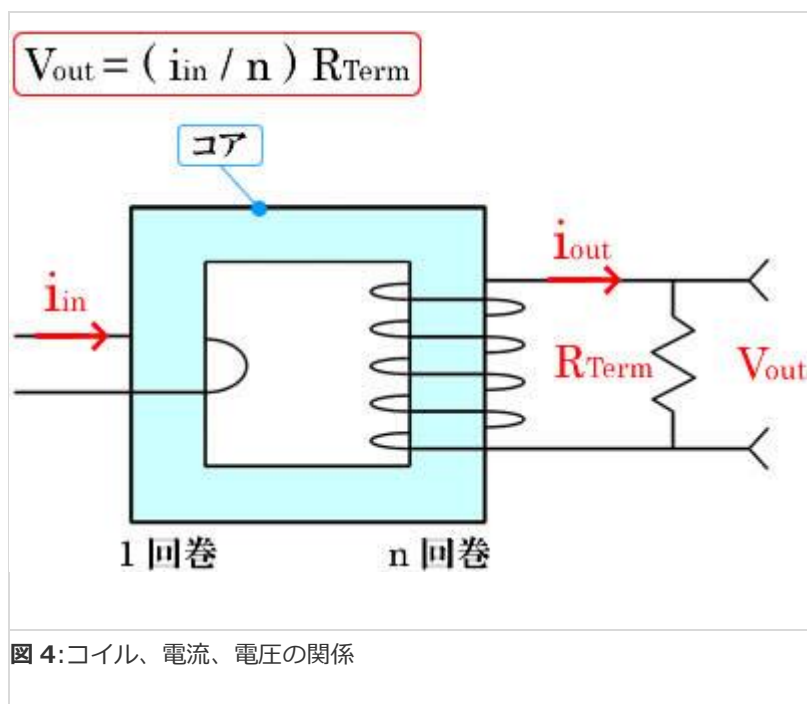


図 4: コイル、電流、電圧の関係

被測定経路に抵抗器を挿入して抵抗器の電圧降下を測る手法では、抵抗器を入れるため回路を切断しなければなりませんし、抵抗器を入れること自体が被測定回路の動作を乱します。それに比べると、電流プローブを用いた測定は、回路に与える影響の少ないより正確な測定が可能となります(図 5)。

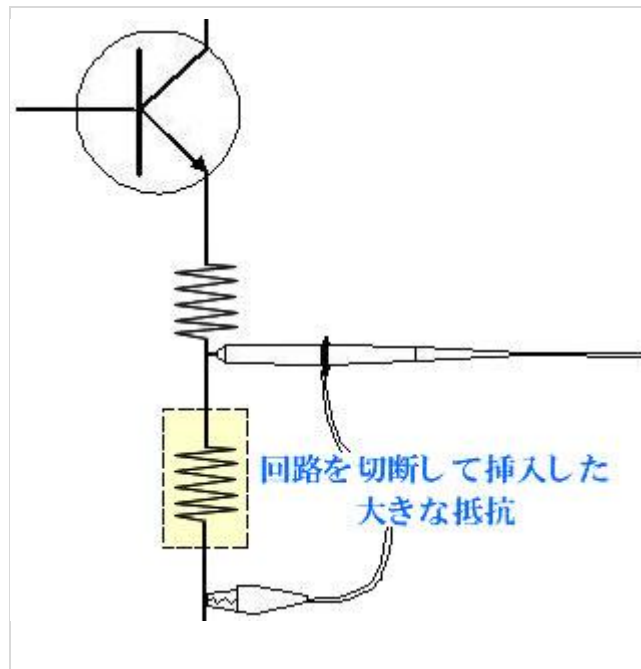


図 5(a):回路を切断して大きな抵抗を挿入する測定方法

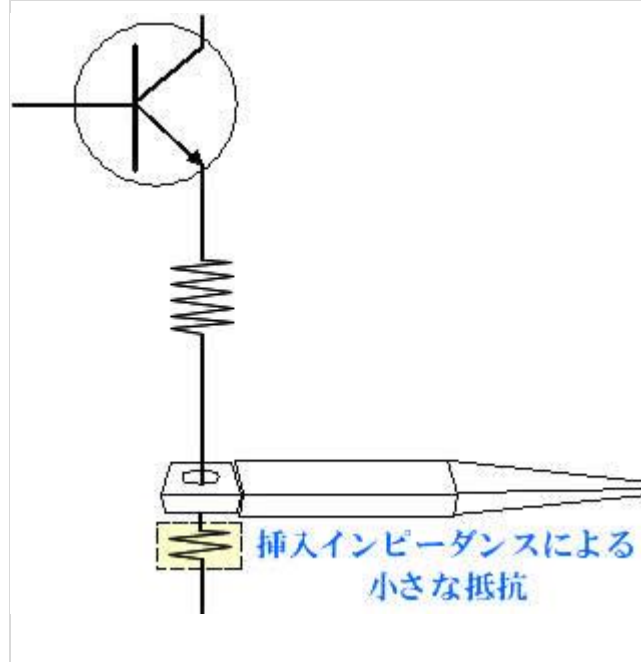


図 5(b):電流プローブを用いる測定方法

なお、電流プローブを回路に取り付けることは、被測定回路に小さなインピーダンスを挿入することになり、わずかながらも被測定回路の動作を乱します。そのインピーダンスを「電流プローブの挿入

インピーダンス」と呼び、プローブごとに規格されています。挿入インピーダンスは総じて小さな値となります。

低い周波数に気を付ける!!

電圧プローブではほとんど気にする必要のないことですが、電流プローブでは低い周波数の観測において注意が必要です。検出部にトランスを使う構造なので、多くの電流プローブは直流および低い周波数の信号を検出が得意ではありません。このようなプローブを「AC 電流プローブ」と呼びます。

周波数が低くなるにつれて検出感度が下がり、波形の振幅や波形の形に影響が表れます。120Hz の低域周波数帯域をもつ AC 電流プローブを例にとると、サイン波形状の周波数 50Hz の電流は AC 電流プローブで検出すると実際より小さくなり 60%以下の振幅にしか見えません(図 6)。

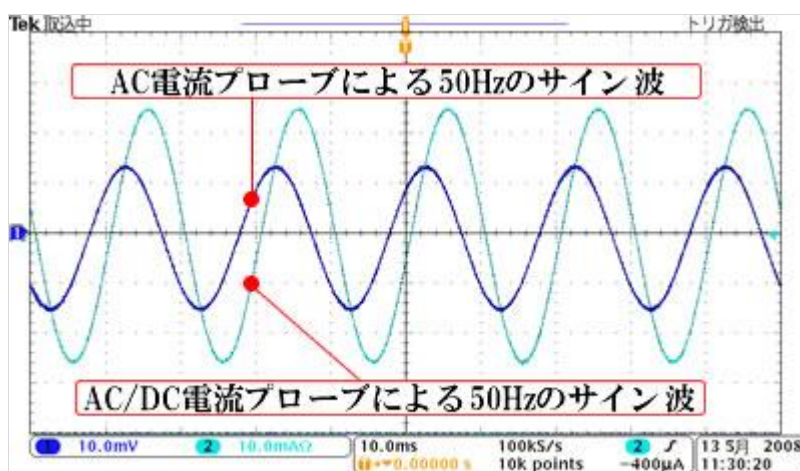


図 6: 電流プローブでは低い周波数の観測において注意が必要

電流波形が矩形波の場合は周波数が低くなるにつれ、波形の形が違って見えます(図 7)。これらの形が電流プローブによるものと気付かなければ、まちがった測定をしてしまいます。

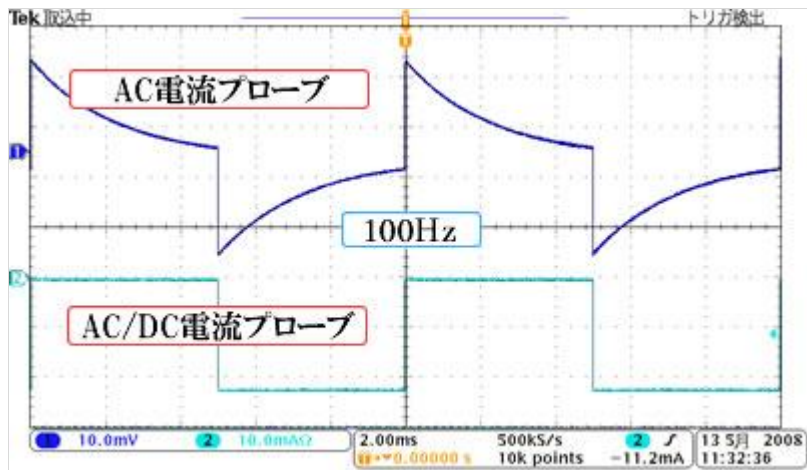


図 7(a):高い周波数の場合 - 100Hz 付近

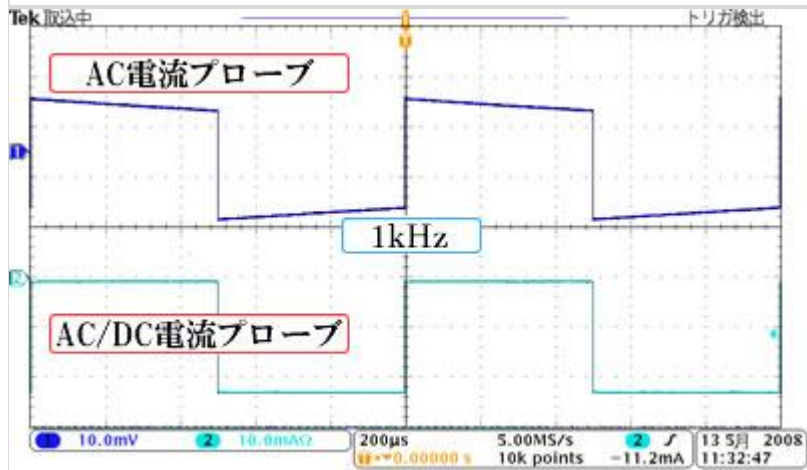


図 7(b):低い周波数の場合 - 1kHz 付近

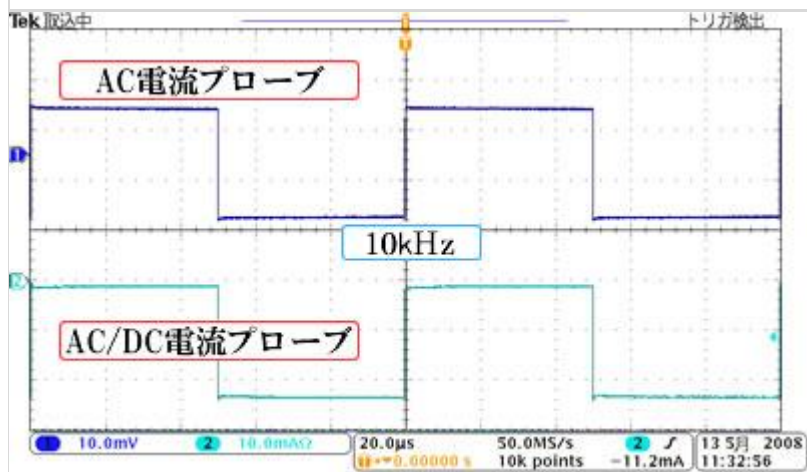


図 7(c):低い周波数の場合 - 10kHz 付近

AC 電流プローブに直流が重畳した場合も注意が必要です。直流が重畳すると、低い周波数がさらに検出できなくなり、さらに矩形波の形が変形します(図 8)。

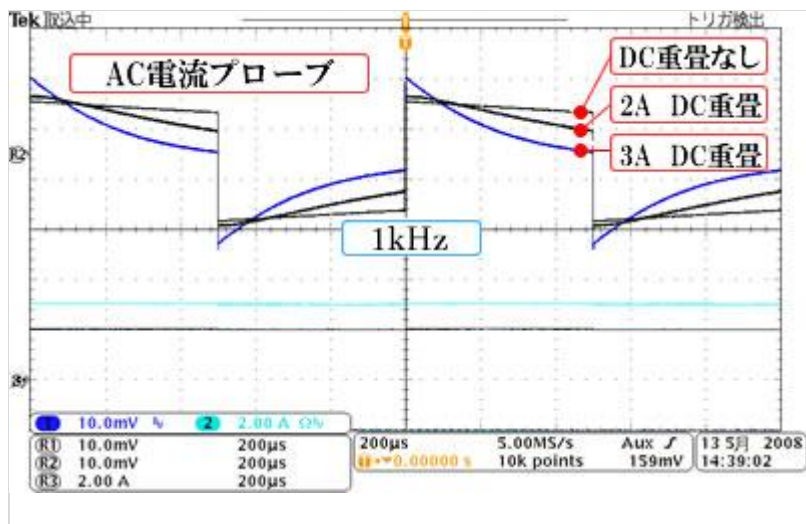
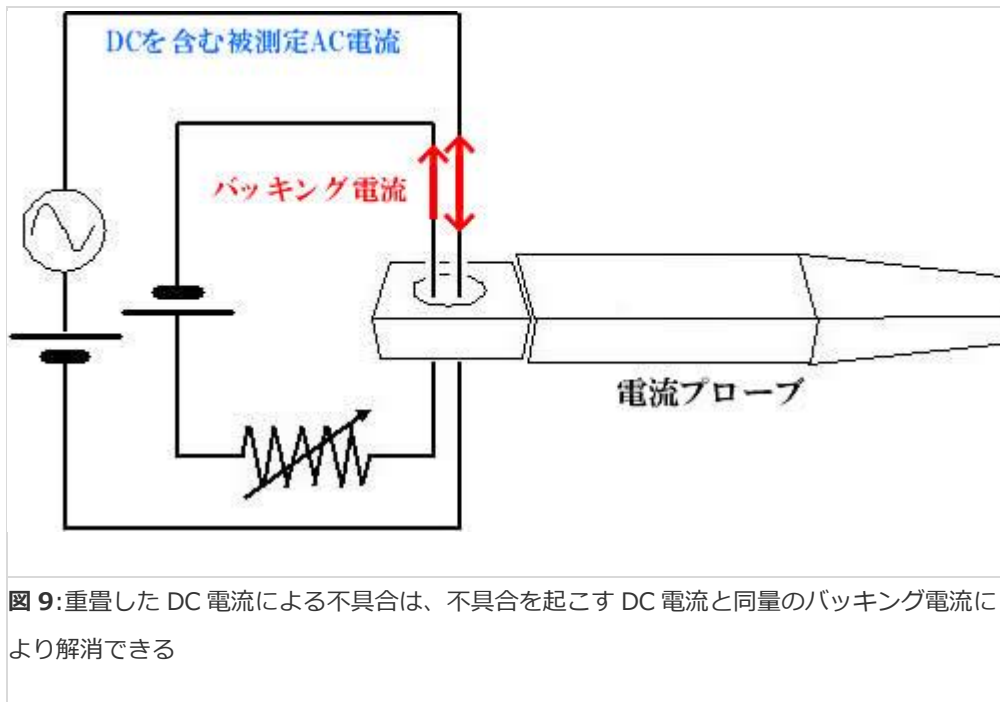


図 8:AC 電流プローブに直流が重畳した場合

このように波形が変形してしまっは、真の波形とはほど遠くなり、正しい測定ができません。重畳した DC 電流による不具合は、不具合を起こす DC 電流と同量の逆電流(バックアップ電流)を流すことにより解消できます(図 9)。



DC も測れる電流プローブ

AC 電流プローブにとって DC および低い周波数はやっかいなものですが、これらを苦しめない電流プローブがあります。「AC/DC 電流プローブ」と呼ばれるプローブで、DC(および低い周波数)測定において、感度の低下もなく波形の変形もありません。DC(および低い周波数)を検出するホール素子をコアに内包しており、つねに DC(および低い周波数)をキャンセルするように逆電流を流すことにします。これにより、AC 電流プローブで見られた諸問題を解決しています。AC/DC 電流プローブは、DC および低い周波数の信号に対する煩わしさから開放され、さらに高域周波数帯域も最高 120MHz まで伸びている理想的な電流プローブといえます(写真 1)。



写真 1:AC/DC 電流プローブの例 - Tektronix 製 TCP0030 型

小さな電流を測定するには

電流プローブはかなり高感度ですが、 μA (マイクロアンペア)程度の小さな電流になると振幅が足りず、波形がノイズに埋もれます。このような場合、微小電流の流れるリード線をコアに複数回巻きつけると、巻き数に比例して振幅を大きくすることができます(写真 2)。

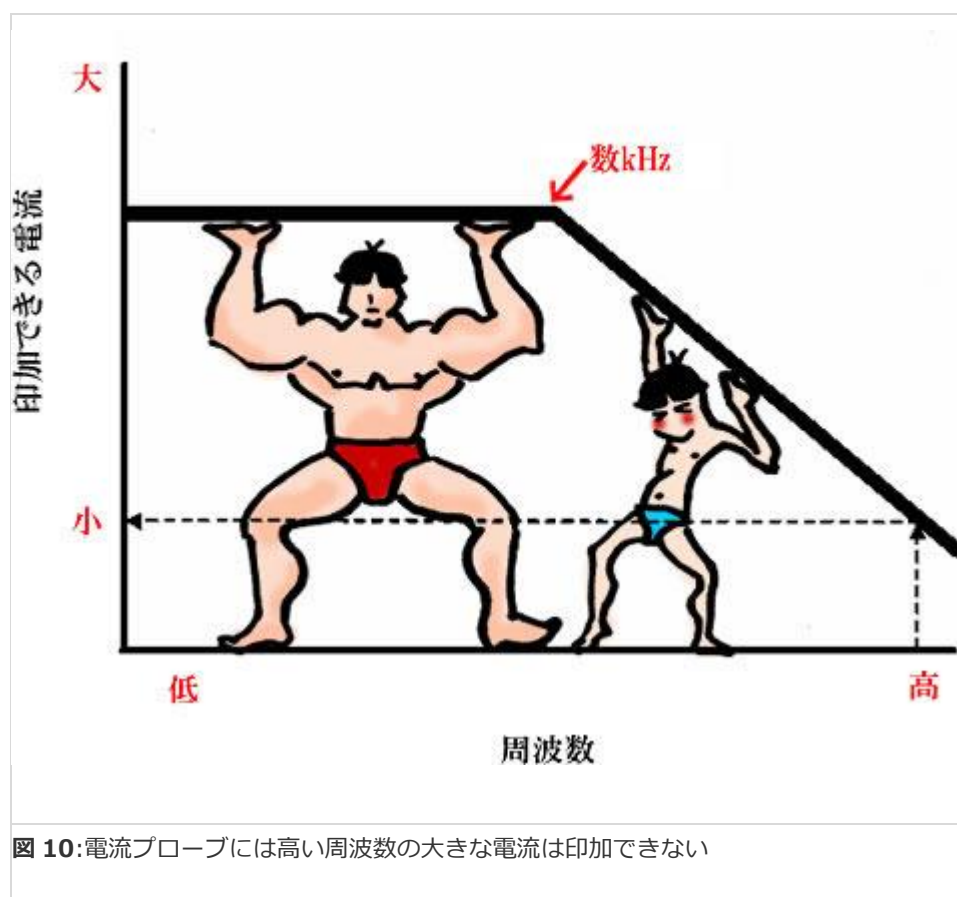


写真 2:リード線をコアに複数回巻きつける

ただし、多少難があり、挿入インピーダンスが増加します。n 回巻くと、挿入インピーダンスは 1 回巻きの n の 2 乗倍になります。挿入インピーダンスの増加による影響も考慮する必要がありますが、振幅増加には有効な手段です。

高い周波数の大きな電流は苦手 - 壊れるぞ!!

電流プローブには、高い周波数の大きな電流は印加できません(図 10)。



実際の電流プローブ(写真 3)を例にとって説明します。



写真 3:電流プローブの例 - Tektronix 製 TCPA300 シリーズ

このプローブは最大連続ピーク電流 212A をうたう大型のプローブで、大電流測定によく使われます。

このプローブに周波数 1MHz のピーク電流 100A を印加できるでしょうか。212A のプローブなので、100A の電流なら「できる」と思うかもしれませんが、答えは「できない」です。それは 1MHz という高い周波数が原因です。高い周波数においてプローブに印加できる電流は低下します。最大連続ピーク電流とはそのプローブに印加できる連続電流の最大の値を意味し、この値は低い周波数において実現できる値なのです。

図 11 は TCP303 型(TCP300 シリーズの電流プローブ)の「デレーティング特性」と呼ばれるグラフです。

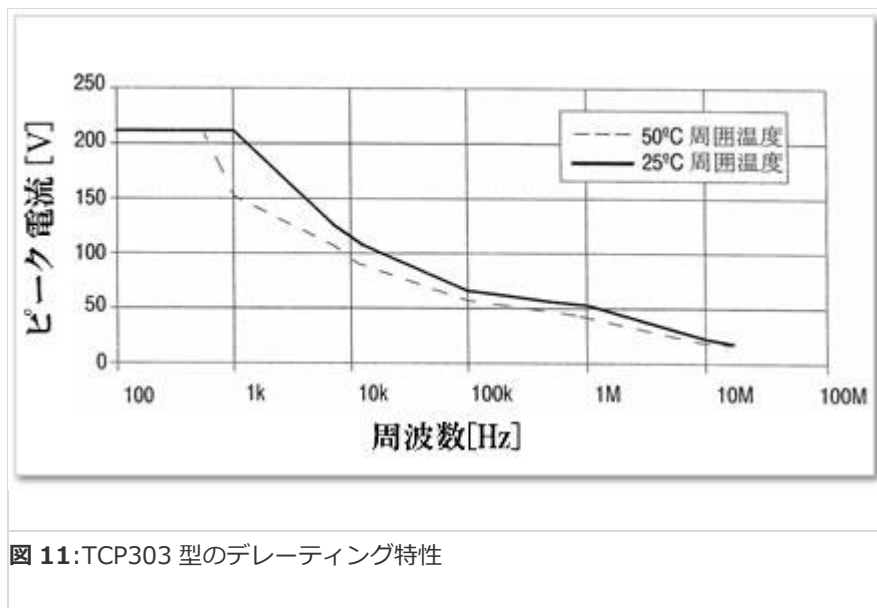


図 11: TCP303 型のデレーティング特性

周波数と印加できる電流の関係を示しています。1kHz より低い周波数において印加できる電流は最大 212A ですが、1kHz を超えて周波数が高くなると、だんだん小さくなり始めます。グラフから読み取ると 1MHz においては約 50A しか印加できないことが分かります。

電流時間積に要注意

連続した電流ではなく、単発的に流れる細いパルス性の電流なら、最大連続ピーク電流を超えてさらに大きな電流を印加することができます。TCP303 型について、どのくらいのパルス幅ならどのくらいのピーク電流が印加できるかを図 12 に示します。

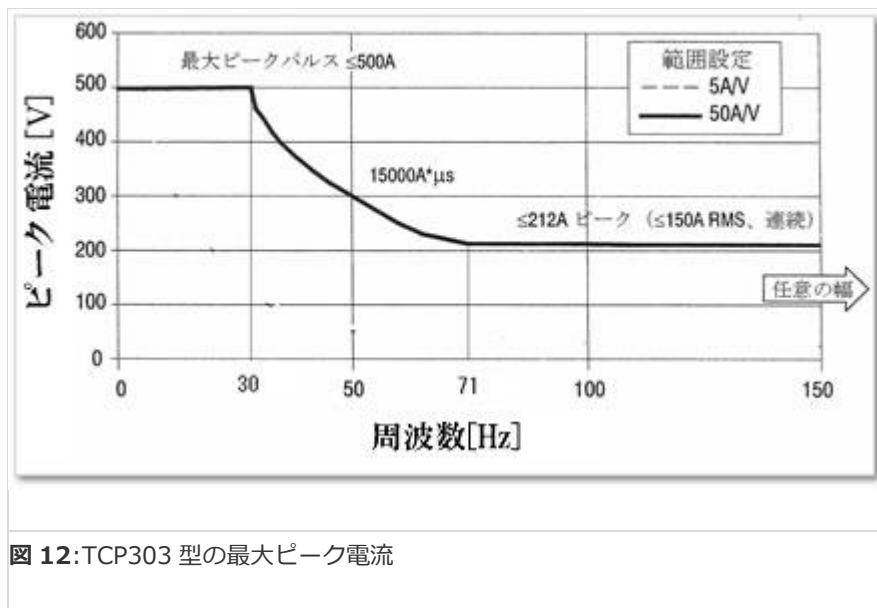


図 12:TCP303 型の最大ピーク電流

最大で 500A を超えることはできませんが、パルス幅が細くなるにつれ 212A 以上の電流が印加できることが分かります。図 12 中の「15000A*μs」が「電流時間積」と呼ばれる値です。パルス幅とピーク電流の積が 15000 を超えない条件で、例えば 30μs なら 500A が、71μs なら 212A が印加できます。ただし、連続しない単発パルスについてのみの適応となります。

プローブが熔ける!!

大電流の測定においては、プローブの発熱に考慮し、測定時間は短時間に留めなくてはなりません。

写真 4 は発熱によりプローブが溶けた例です。



写真 4:プローブの発熱に注意

プローブケーブルの長さに注意

電力測定においては、電流プローブと電圧プローブを使用します。電流波形と電圧波形との掛け算によって電力波形を作ることが測定のスタートです。多くのユーザは電流プローブと電圧プローブの選択に際し、それらの伝播遅延時間(信号がプローブに印加されてからオシロスコープに到達するまでの時間。ケーブルの長さや内部回路により決まる)には無頓着です。伝播遅延時間に差があれば、電流波形と電圧波形との時間差が生じ、計算した結果(電力波形)が正しく作れません(図 13)。

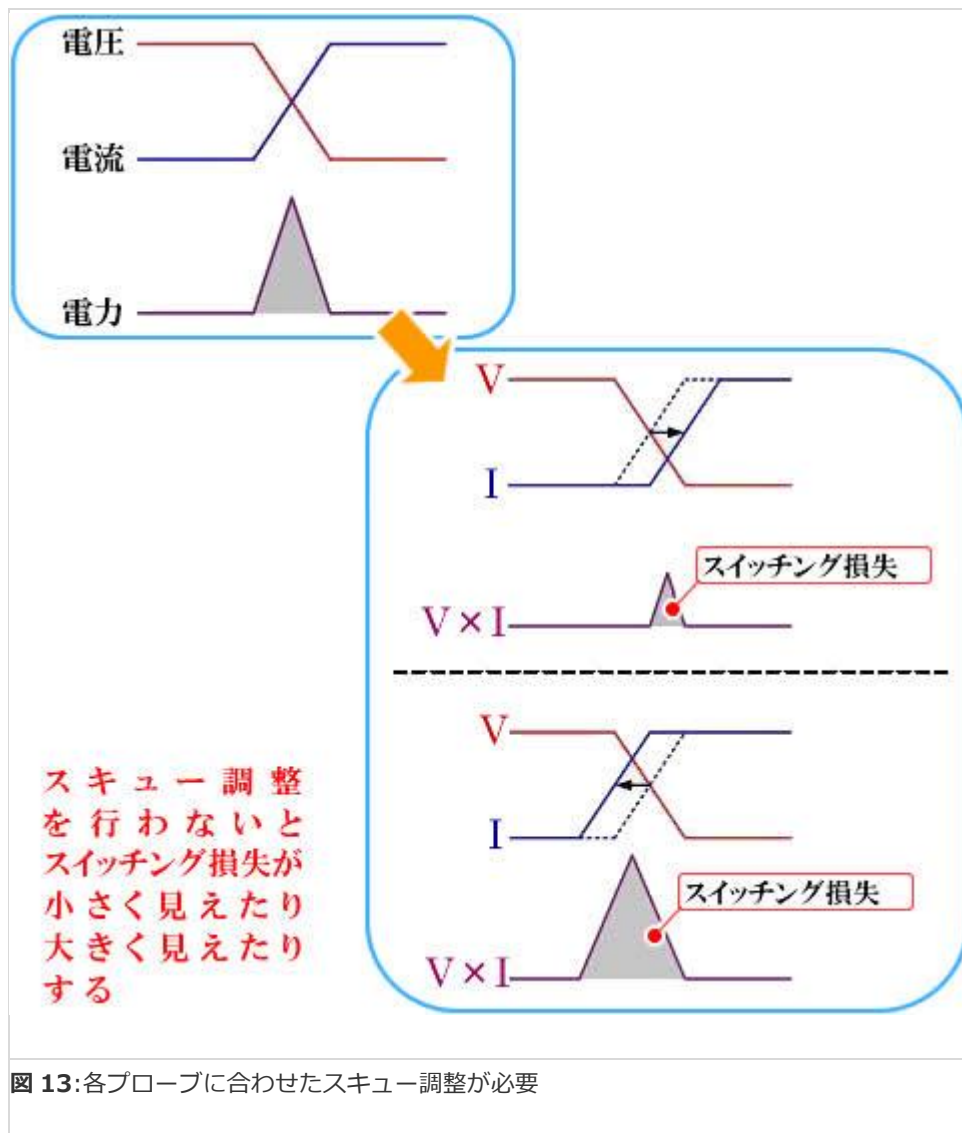
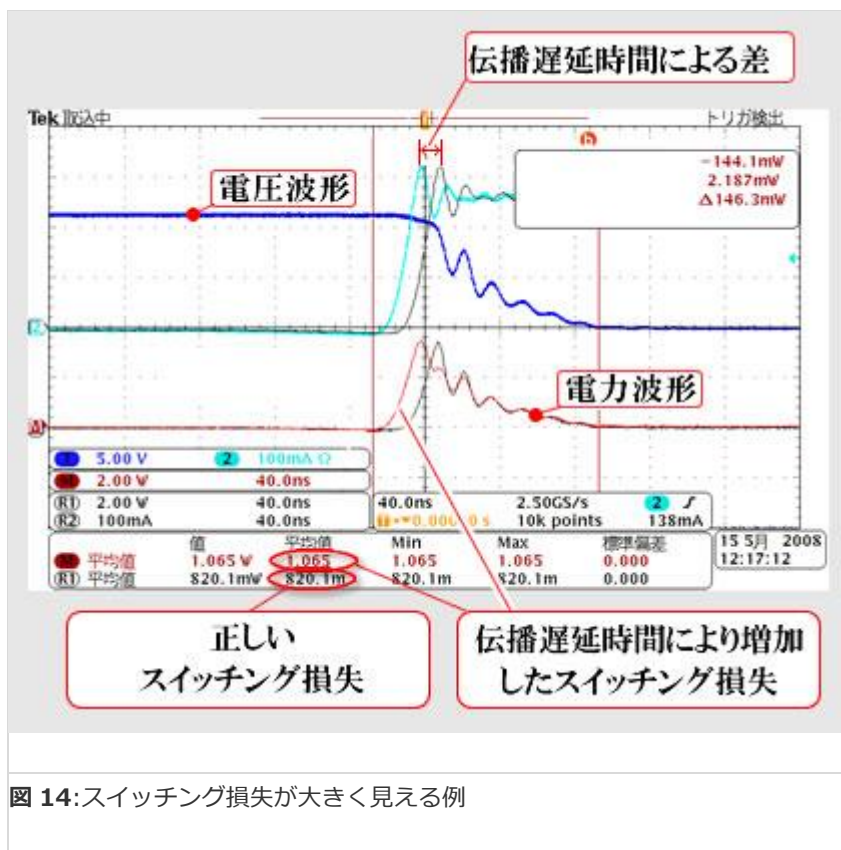


図 14 は伝播遅延時間に 10ns の差があるだけで 20% 以上もスイッチング損失が大きくなってしま

例です。プローブの伝播遅延時間の差による問題を解決するには、時間差をキャンセルする機能(デ

スキュー機能)をもつオシロスコープが有効です。



皆様の仕事のお役に立てれば幸いです。