E-6

パワー・エレクトロニクス測定のためのプロービング

宮崎 強

Tektronix

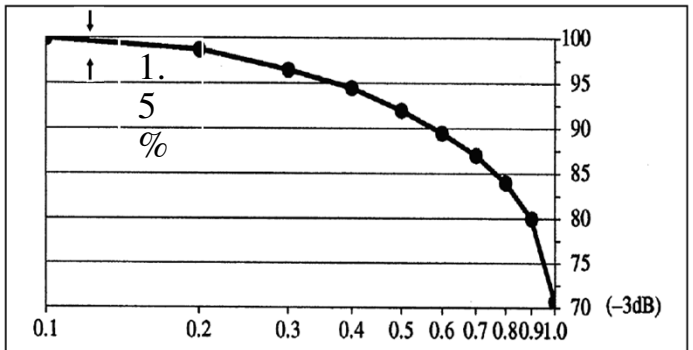
KEITHLEY
A Tektronix Company

1. 周波数特性と立上り時間　その1
周波数帯域1GHz以下のオシロスコープの場合

- 周波数帯域は3dB（約30%）振幅が低下する周波数で規定
  - 現在も同じ
- なだらかな減衰特性
  - パルス信号の観測に際し、リンギングやオーバシュートなどの波形ひずみを発生させない
- この特性のポイント
  - **振幅減小を1.5%に抑えるためには被測定信号の5倍、3%で3倍の周波数帯域が必要**
  - サンプリングを伴うデジタル・オシロスコープではナイキスト周波数以上の成分があるとエイリアシングが発生し、確度が低下
  - 信号の立上り時間が遅くなる（鈍る）

$$T = \sqrt{T_S^2 + T_P^2 + T_O^2}$$

立上り時間測定には信号の立上りに対して4倍早いオシロスコープが必要



最高周波数帯域で正規化した周波数

信号：オシロスコープの立上り時間比	立上り時間増加率
1:1	41%
2:1	12%
3:1	5%
4:1	3%

Tektronix
テクトロニクス／ケースレー　イノベーション・フォーラム2013
KEITHLEY
A Tektronix Company

周波数特性と立上り時間　その2
DPO5000／DPO7000＋TekVPIプローブの場合

- プローブの周波数帯域に合わせてオシロの帯域制限が自動設定される
  - オーバオールの周波数帯域がプローブの周波数帯域と同じになる
  - 高周波でのホワイト･ノイズが低減される
  - チャンネル間の特性バラツキを低減
  - THDP0200、THDP0100、TDP0500、TCP0030、TCP0020などに対応

THDP0200＋DPO7000 の例

オシロスコープの自己校正

- 測定確度（精度）を高めるため、オシロスコープが自動で行う内部調整

信号パス補正（SPC）では、周囲温度の変化、長期的なドリフトなどによる DC 誤差を校正します。 機器のウォームアップ完了後はいつでも実行できます。周囲温度が、10°C 以上変化した場合は、すぐに SPC を実行してください。また、5 mv/div 以下の感度で測定する場合は、週に一度は実行してください。

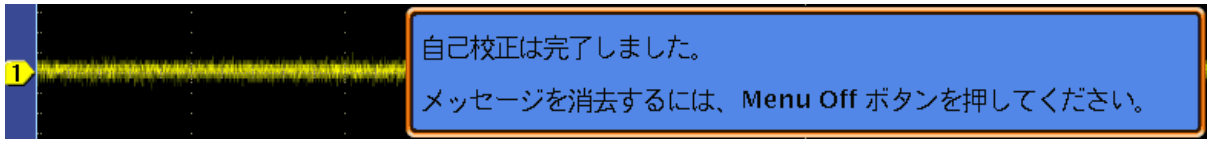
すべてのチャンネルおよび Aux In からプローブおよびケーブルを外してください。

SPC は10 分ほどで終了します。

前回の自己校正は、 417 （稼動）時間前、
11-7月-2008 に実行されました。

室温変化（例10℃）や高感度測定（例5mV/div）を行う場合に実施

- プローブ・ケーブル類をすべて外す
- 実行開始後、10分待つだけ



2. プローブ補正/プローブ校正 (1)
導通電圧測定に影響

- **プローブ補正の手動調整**

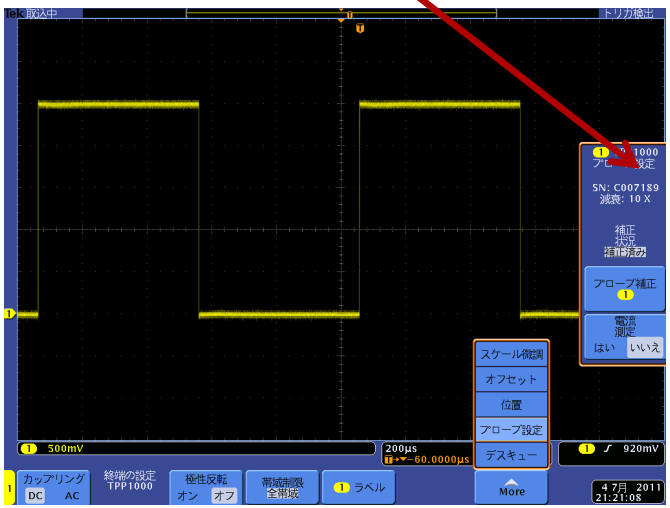
P5100A型など
従来からのパッシブプローブ

プローブ補正を手動にて実施

- **プローブ補正の自動調整**

TPP0850型／TPP1000型など
DPO/MSO4000B/5000シリーズ用
（オシロスコープ側での対応が必要）

プローブ補正の自動調整
（オシロスコープに補正係数を記憶）



プローブ補正/プローブ校正 (2)

- **標準添付の受動プローブ**

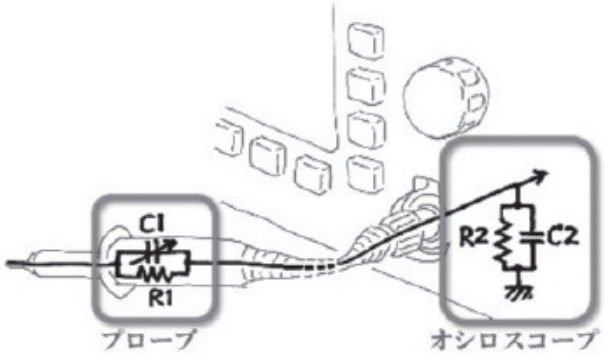
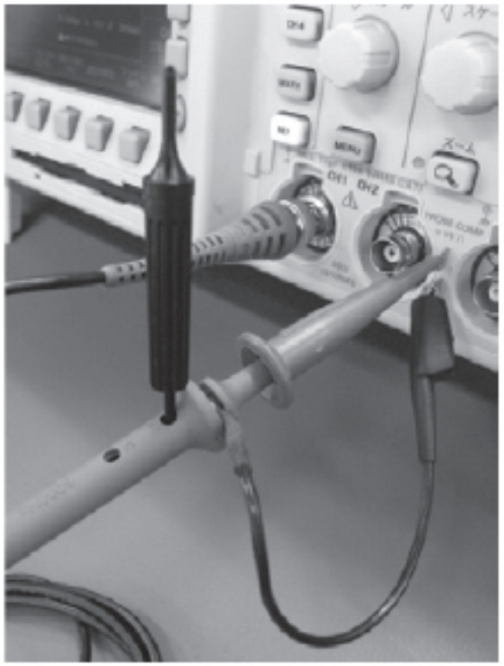


図5 受動プローブとオシロスコープの等価回路



▲写真2 プローブ補正の例

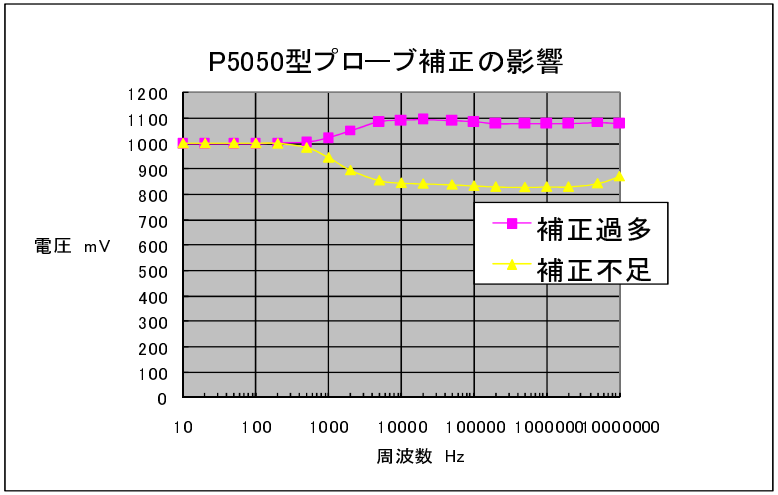
$$R1 \cdot C1 = R2 \cdot C2$$

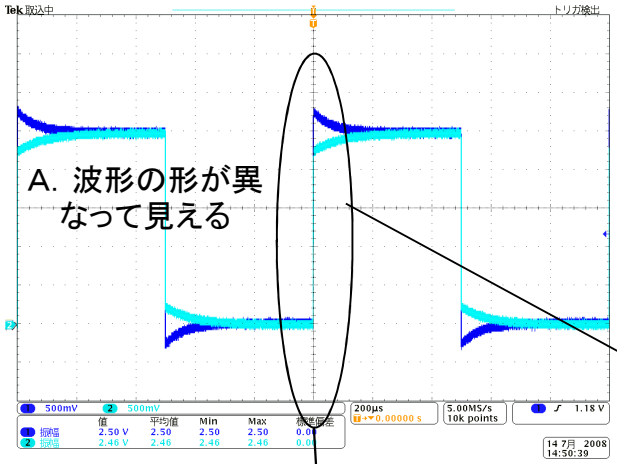
▲ 式1 平坦な周波数特性を得る条件

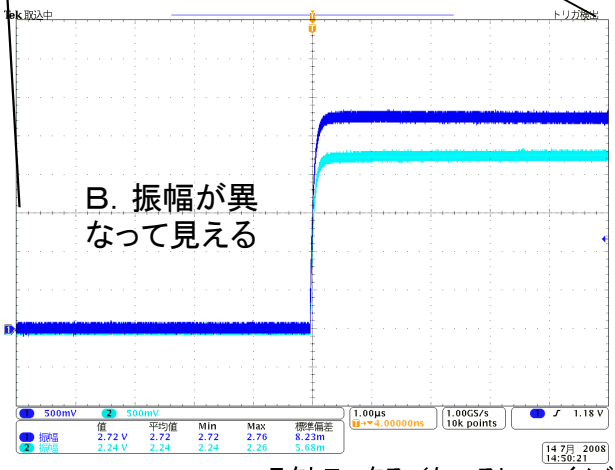
受動プローブとオシロスコープの等価回路

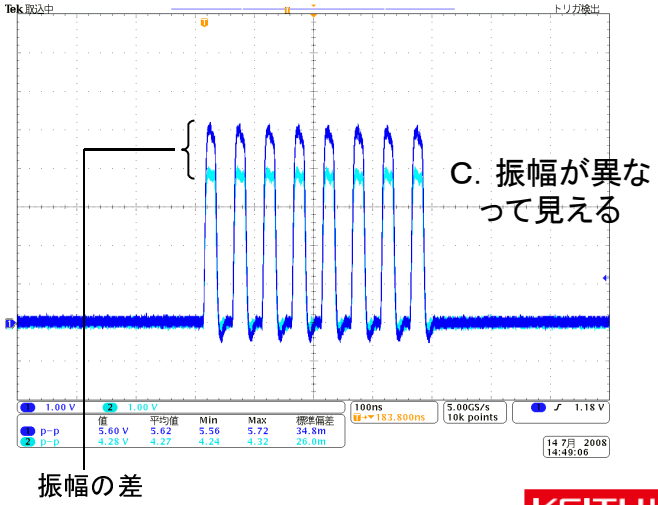
プローブ補正/プローブ校正 (3)

- 受動プローブの補正がずれた場合の周波数特性
- 導通電圧の測定誤差を低減



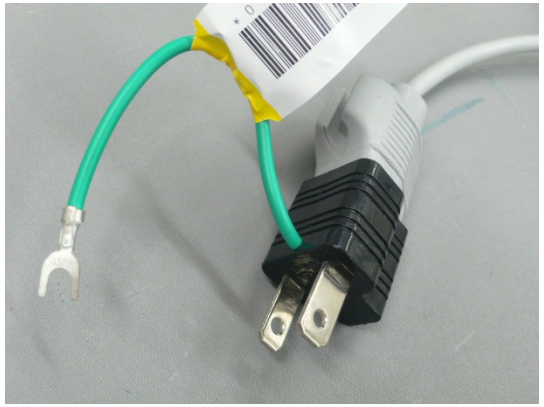




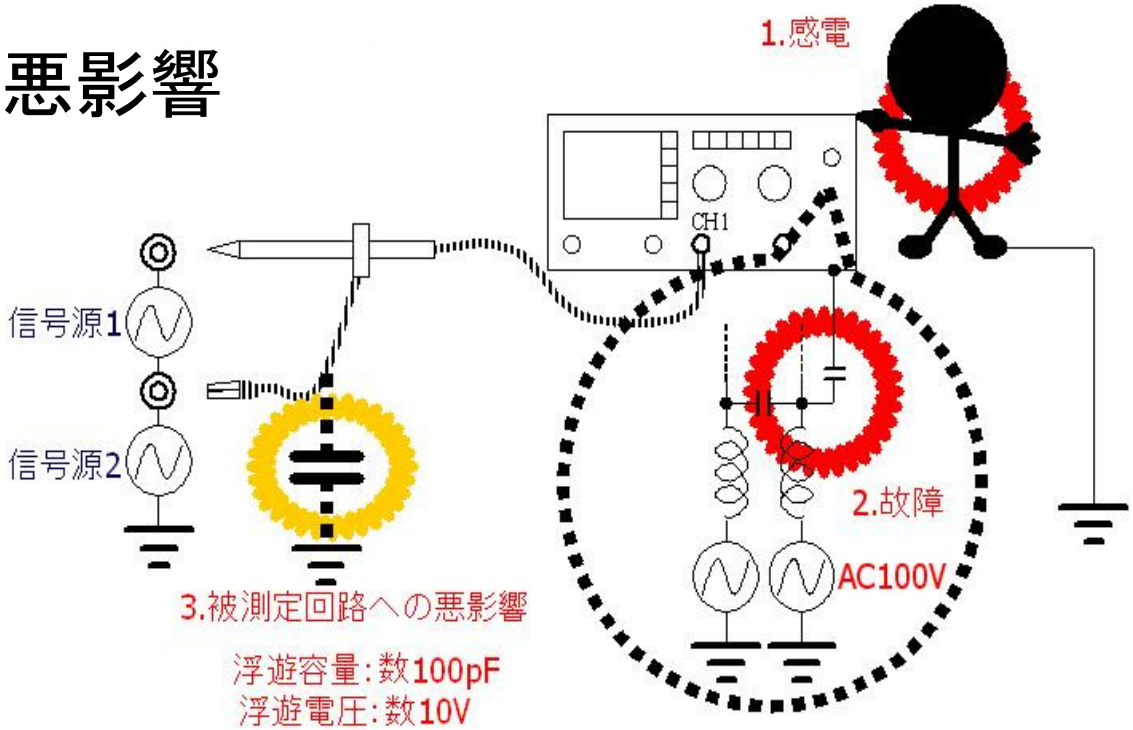


3. フローティング測定に関する注意事項

- 電源のグランドを外し、オシロスコープを浮かせた場合の3つの問題点
  - 感電
  - 電源回路の故障
  - 被測定回路への悪影響
    - 浮遊容量：数百pF
    - 浮遊電圧：数十V



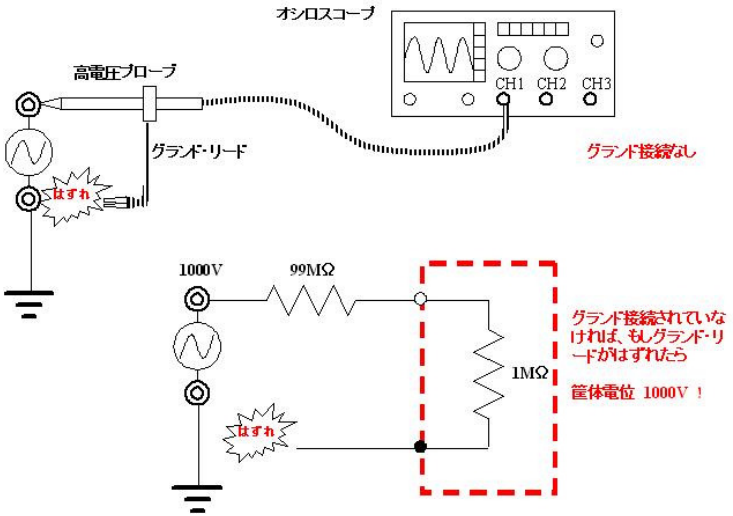
3-2アダプタ



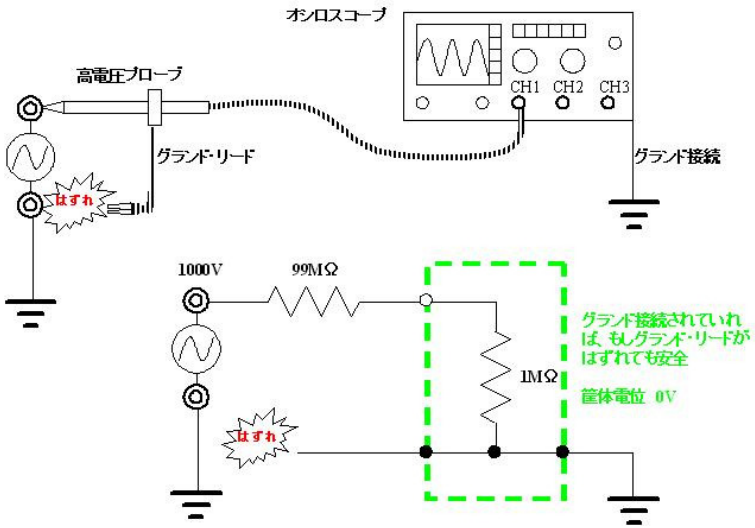
筐体を浮かせることによる3つの問題点

オシロスコープとの接続に関する注意事項

- **グランドと先端、どちらを先に接続?**
  - グランドが先になら良いが、先端が先では筐体に高電圧が発生



  - グランドが外れても、筐体がグランドに接続されていれば安全



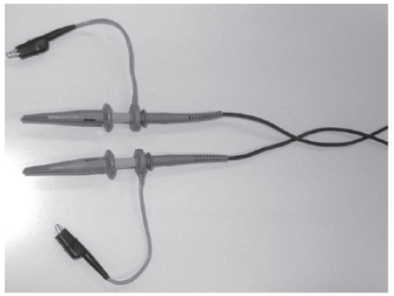
Tektronix
テクトロニクス／ケースレー　イノベーション・フォーラム2013
KEITHLEY
A Tektronix Company

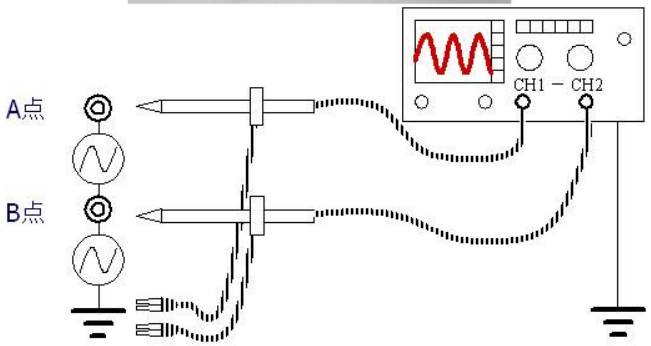
シングルエンド・プローブによるフローティング測定

- **プローブが2本あれば**

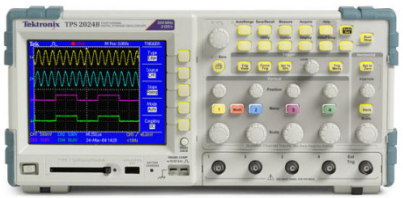
P5100A型　高電圧プローブ

2.5kV　500MHz

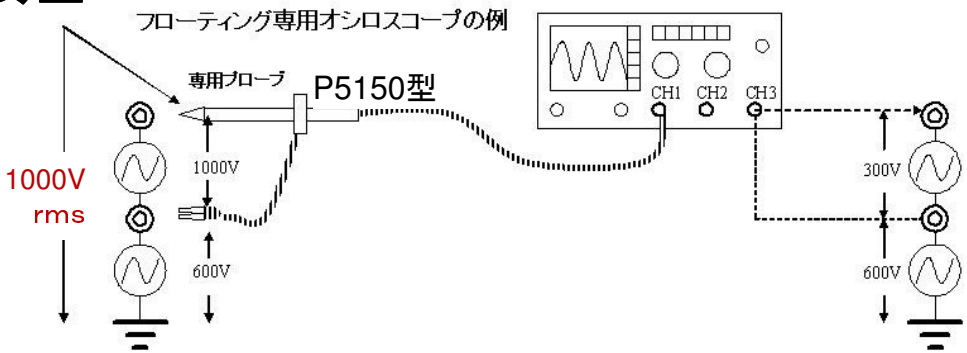




- **専用オシロスコープなら、簡単・安全**



TPS2000/THS3000シリーズ

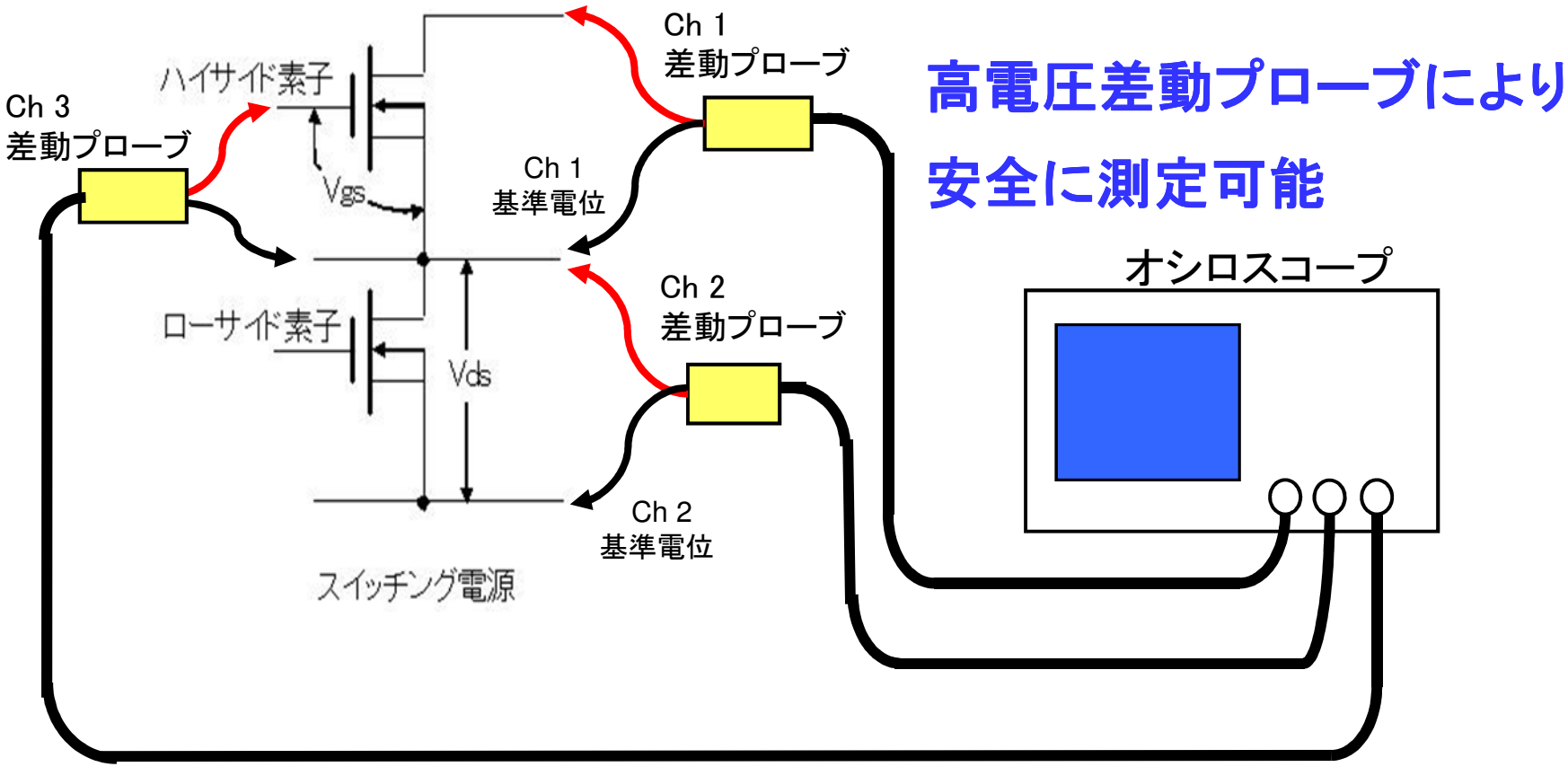


Tektronix

KEITHLEY
A Tektronix Company

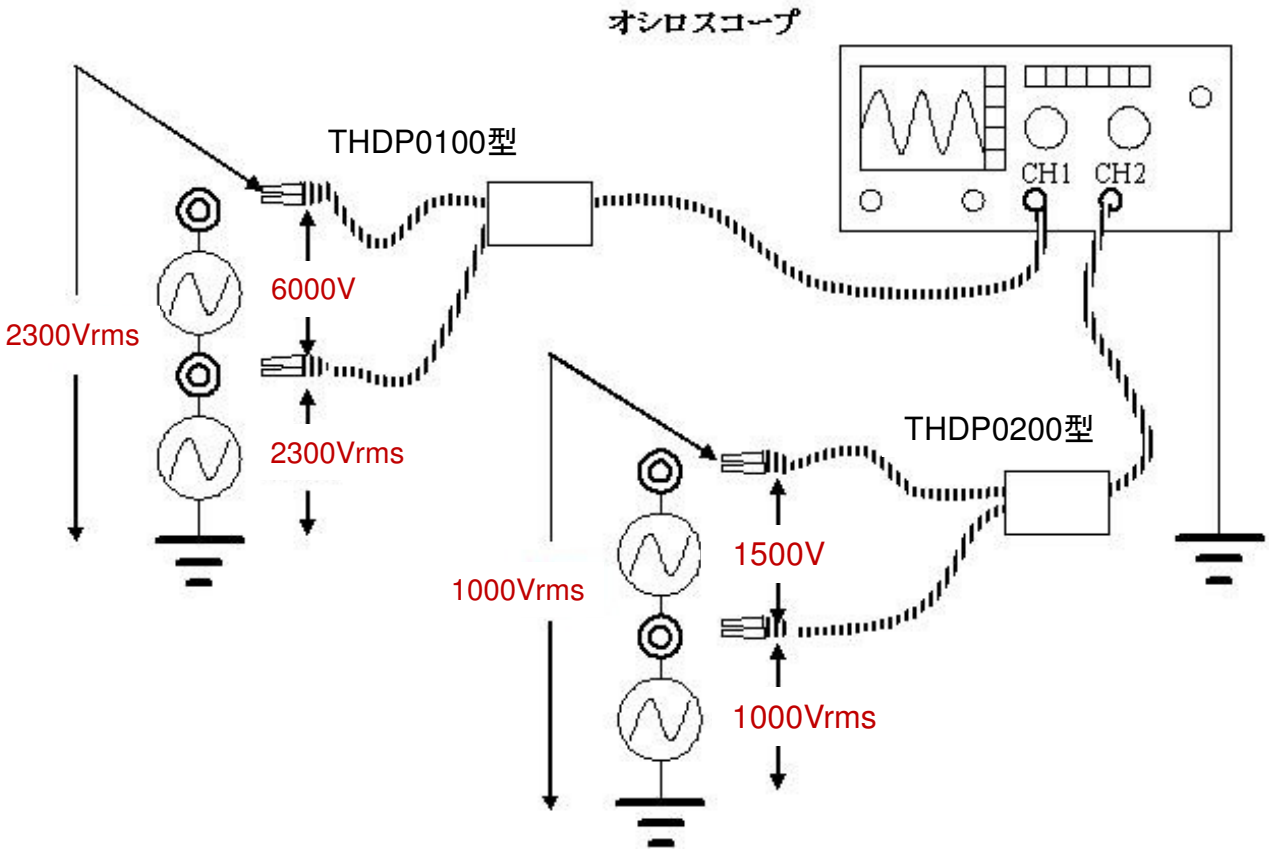
差動プローブによる安全なフローティング測定

- 差動プローブによるフローティング測定
  - CMRRがシングルエンド・プローブ×２本より良い



差動プローブによるフローティング測定の耐圧

- 最大測定可能電圧の例



THDP0200型
高電圧差動プローブ
200MHz、1.5kV

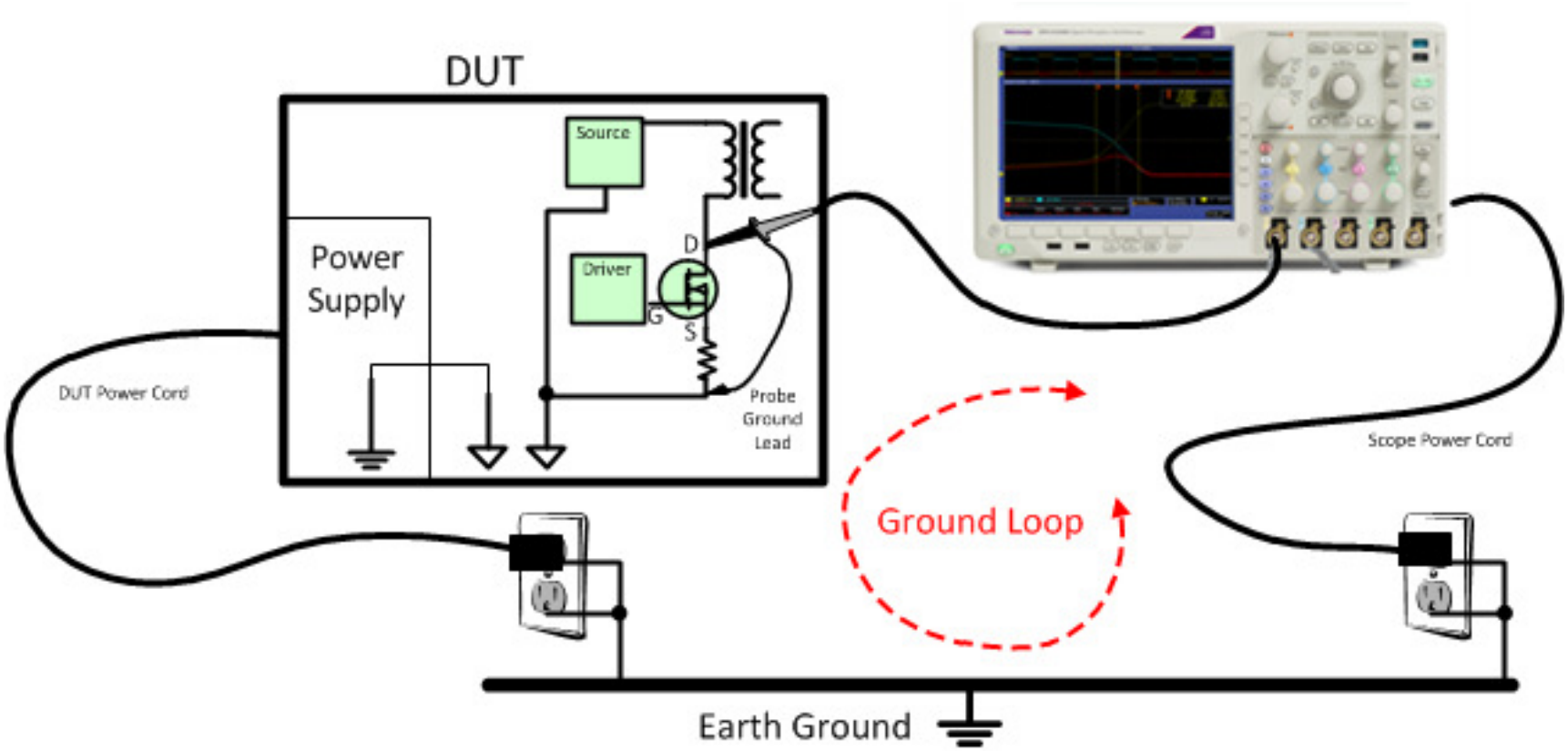
THDP0100型
高電圧差動プローブ
100MHz、6.0kV

・測定の前に0V調整を実行してください

Tektronix
テクトロニクス／ケースレー　イノベーション・フォーラム2013
KEITHLEY
A Tektronix Company

グランドはどのような時にグランドでなくなるのか？

- グランド・ループがプローブによって形成される場合あり
- オシロとDUTのシャーシは通常はアース・グランドに接続
- プローブのグランドはBNCコネクタでオシロのシャーシに接続



広帯域高電圧差動プローブの新製品

広帯域

	TMDP0200型	THDP0200型	THDP0100型
減衰比	25X/250X	50X/500X	100X/1000X
最大差動入力電圧	250X: +/- 750 V 25X: +/- 75V	500X: +/- 1500 V 50X: +/- 150 V	1000X: +/- 6000 V 100X: +/- 600 V
最大コモン・モード電圧	+/- 750 V	+/- 1500 V	+/- 6000 V
最大対地入力電圧	550 V CAT I 300 V CAT III	1000 V CAT II 600 V CAT III	2300 V CAT I 1000 V CAT III
周波数帯域	200 MHz	200 MHz	100 MHz
立ち上り時間	< 1.8 ns	< 1.8 ns	< 3.5 ns
スルー・レート	< 275 V/ns @ 1/250 gain	< 650 V/ns @ 1/500 gain	< 2500 V/ns @ 1/1000 gain
入力インピーダンス	5 MΩ || < 2 pF	10 MΩ || < 2 pF	40 MΩ || < 2.5 pF
ゲイン確度	+/- 2%	+/- 2%	+/- 2%
CMRR （同相モード除去比）	DC: > - 80 dB 100kHz: > - 60 dB 3.2 MHz: > - 30 dB 100 MHz: > - 26 dB	DC: > - 80 dB 100kHz: > - 60 dB 3.2 MHz: > - 30 dB 100 MHz: > - 26 dB	DC: > - 80 dB 100kHz: > - 60 dB 3.2 MHz: > - 30 dB 100 MHz: > - 26 dB
ケーブル長	1.5 m	1.5 m	1.5 m
コネクタ	TekVPI	TekVPI	TekVPI

・周波数帯域が従来品の2倍
・SiC、GaNデバイス使用回路を高確度測定

Tektronix

KEITHLEY
A Tektronix Company

高電圧差動プローブ

	P5202A型	P5205A型	P5210A型	P5200A型
減衰比	20X/200X	50X/500X	100X/1000X	50X/500X
最大差動入力電圧	250X: +/- 640 V 25X: +/- 64V	500X: +/- 1300 V 50X: +/- 130 V	1000X: +/- 5600 V 100X: +/- 560 V	500X: +/- 1300 V 50X: +/- 130 V
最大コモン・モード電圧	+/- 640 V	+/- 1300 V	+/- 3200 V	+/- 1300 V
最大対地入力電圧	450 V CAT Ⅰ 300 V CAT Ⅱ	1000 V CAT II 600 V CAT III	2300 V CAT I 1000 V CAT III	1000 V CAT II 600 V CAT III
周波数帯域	100 MHz	100 MHz	50 MHz	50 MHz
立ち上り時間	< 3.8 ns	< 3.8 ns	< 7.8 ns	< 7.8 ns
スルー・レート	< 240 V/ns @ 1/250 gain	< 590 V/ns @ 1/500 gain	< 2300 V/ns @ 1/1000 gain	< 590 V/ns @ 1/500 gain
入力インピーダンス	5 MΩ || < 2 pF	10 MΩ || < 2 pF	10 MΩ || < 2 pF	40 MΩ || < 2.5 pF
ゲイン確度	+/- 2%	+/- 2%	+/- 2%	+/- 2%
CMRR （同相モード除去比）	DC: >- 80 dB 100 kHz: >- 60 dB 3.2 MHz: >- 30 dB 100 MHz: >- 26 dB	DC: >- 80 dB 100 kHz: >- 60 dB 3.2 MHz: >- 30 dB 100 MHz: >- 26 dB	DC: >- 80 dB 100 kHz: >- 60 dB 3.2 MHz: >- 30 dB 50 MHz: >- 26 dB	DC: >- 80 dB 100 kHz: >- 60 dB 3.2 MHz: >- 30 dB 50 MHz: >- 26 dB
ケーブル長	1.5 m	1.5 m	1.52 m	1.5 m
コネクタ	TekProbe BNC (Level2)	TekProbe BNC (Level2)	TekProbe BNC (Level2)	BNC

1GHz／500MHz高電圧差動プローブ

	TDP1000型	TDP0500型	P6251型
減衰比	5X/50X	5X/50X	5X/50X
最大差動入力電圧	50X: +/- 42 V（30Vrms） 5X: +/- 4.25V（3Vrms）	50X: +/- 42 V（30Vrms） 5X: +/- 4.25V（3Vrms）	50X: +/- 42 V（30Vrms） 5X: +/- 4.25V（3Vrms）
最大コモン・モード電圧	+/- 35 V（25Vrms）	+/- 35 V（25Vrms）	+/- 35 V（25Vrms）
最大対地入力電圧	コモン電圧が+/- 35 Vの範囲内で 50X: +/- 42 V 5X: +/- 39.25V （DC+Peak AC）	コモン電圧が+/- 35 Vの範囲内で 50X: +/- 42 V 5X: +/- 39.25V （DC+Peak AC）	コモン電圧が+/- 35 Vの範囲内で 50X: +/- 42 V 5X: +/- 39.25V （DC+Peak AC）
周波数帯域	1GHz	500MHz	1GHz
立ち上り時間	< 350ps	< 700ps	< 350ps
DCオフセット設定範囲	+/- 42 V	+/- 42 V	+/- 42 V
入力インピーダンス	1 MΩ || < 1 pF	1 MΩ || < 1 pF	1 MΩ || < 1 pF
ゲイン確度	+/- 2%	+/- 2%	+/- 2%
CMRR （同相モード除去比）	>- 55 dB at 30 kHz >- 50 dB at 1 MHz >- 18 dB at 250 MHz	>- 55 dB at 30 kHz >- 50 dB at 1 MHz >- 18 dB at 250 MHz	>- 55 dB at 30 kHz >- 50 dB at 1 MHz >- 18 dB at 250 MHz
ケーブル長	1.5 m	1.5 m	1.5 m
コネクタ	TekVPI	TekVPI	TekProbe BNC （Level2）

高電圧差動プローブの0V調整

- 高電圧差動プローブのゼロ調整手順
  - プローブのプラス入力とマイナス入力を接続（ショートさせる）
  - 調整用ドライバ（マイナス）を使用し、波形の平均値がほぼ0Vになるように調整

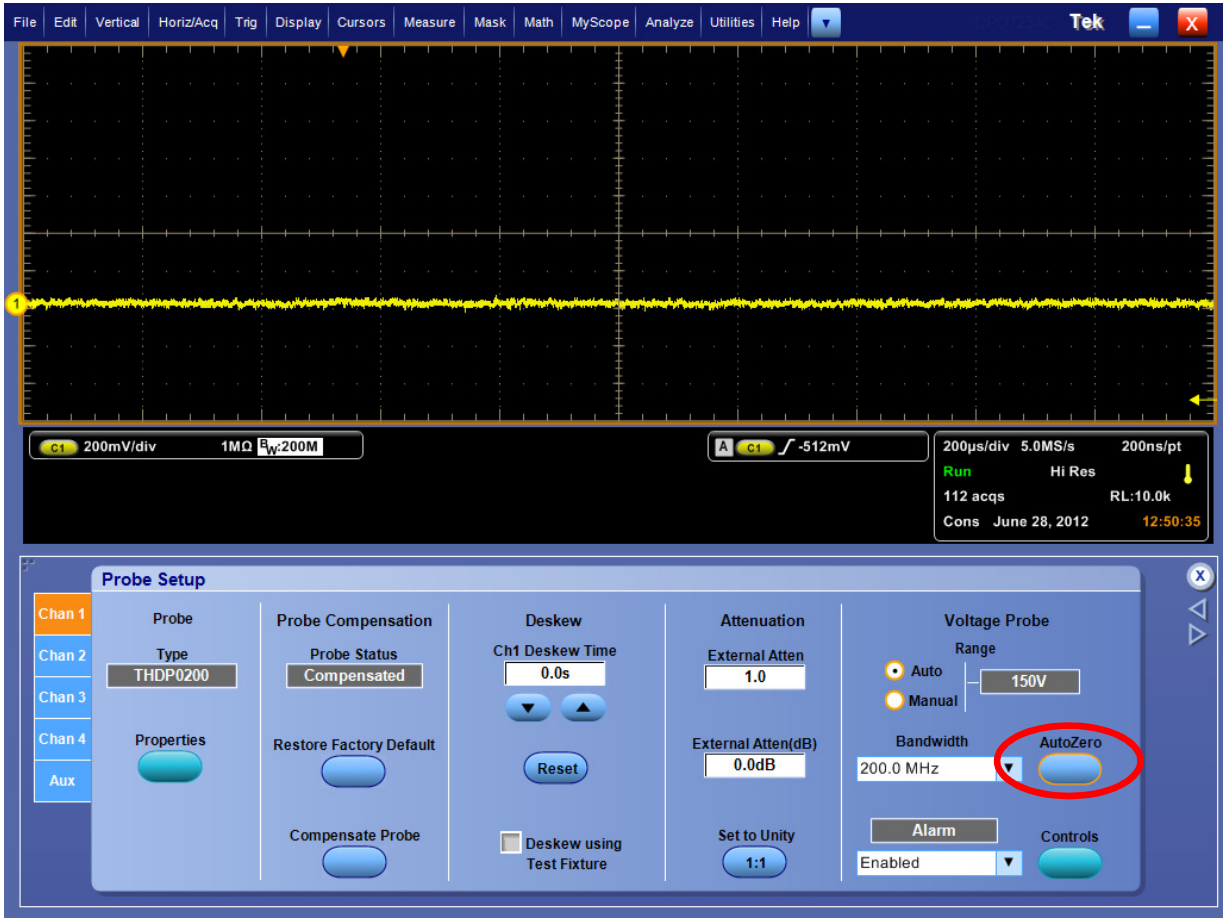
P5205A型　高電圧差動プローブ

THDP0200型、THDP0100型の場合は
オシロスコープの垂直軸メニューの
プローブ設定 ＞ 自動ゼロ で自動調整
を実行

THDP0200型のプローブ校正

① オシロスコープのフロントパネルのProbe Calibration信号にプロービング
② VerticalメニューのProbe Calを選択し、Compensate Probeを実行

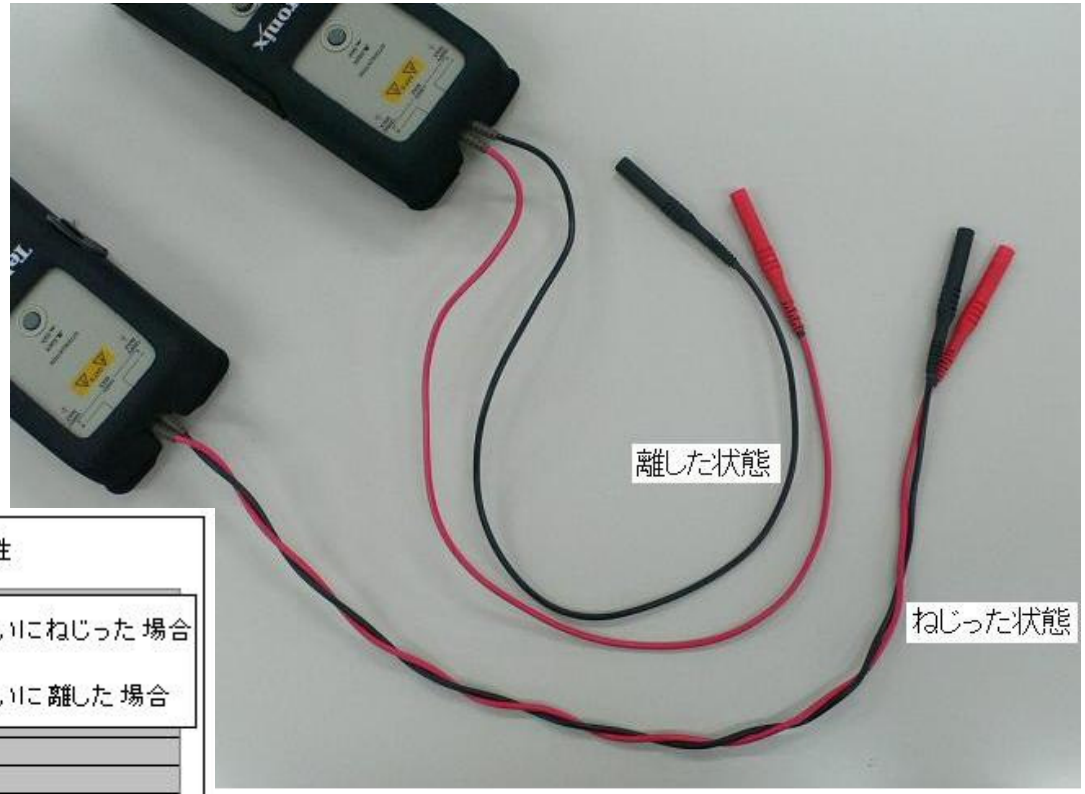
THDP0200型の0V調整

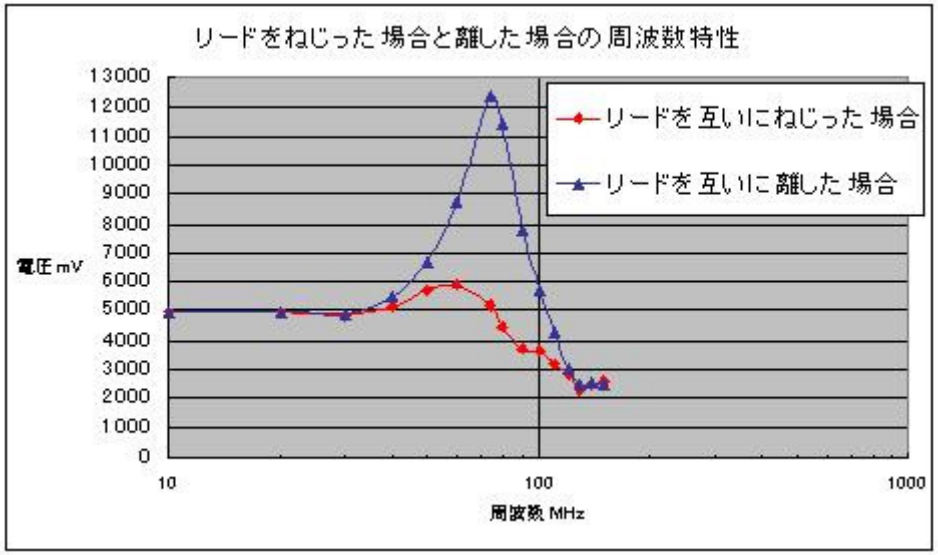


① プローブのプラス入力とマイナス入力を短絡
② VerticalメニューのProbe Calを選択し、AutoZeroを実行

高電圧差動プローブの入力リード線はねじるもの？

- ねじった状態で、スペックを規定

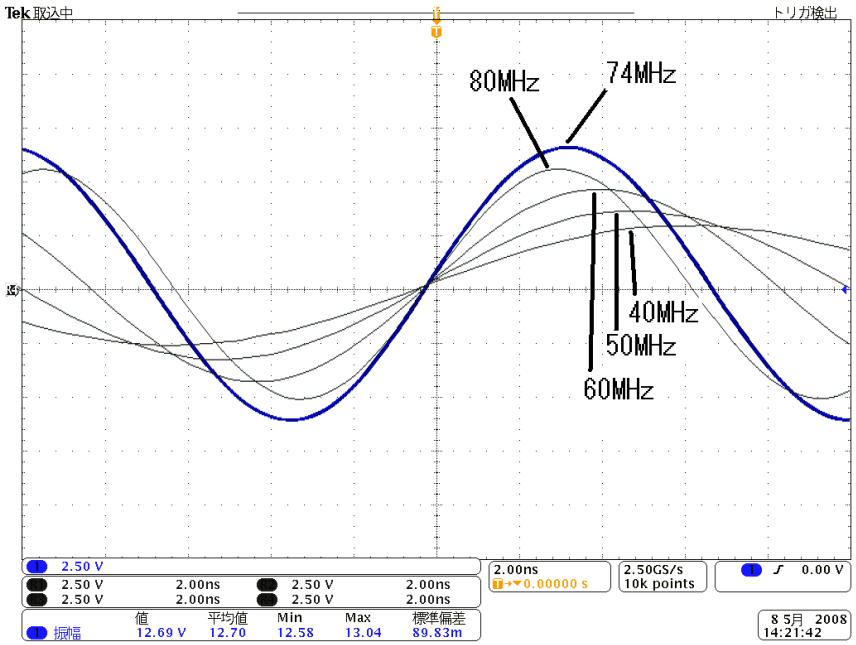




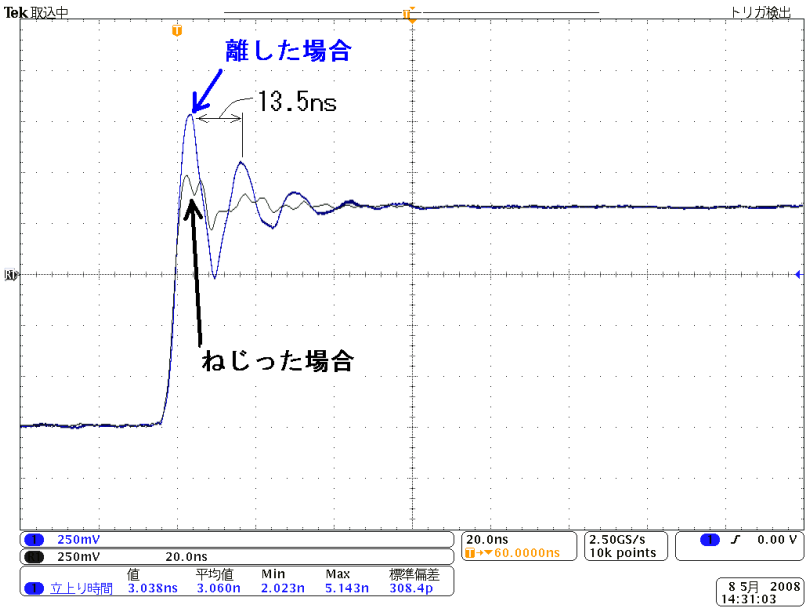
P5205型

高電圧差動プローブの入力リード線はネジるもの？

- 広げた場合の波形振幅誤差とリンギング



40MHz、50MHz、60MHz、74MHz、80MHz の
サイン波を観測したようす

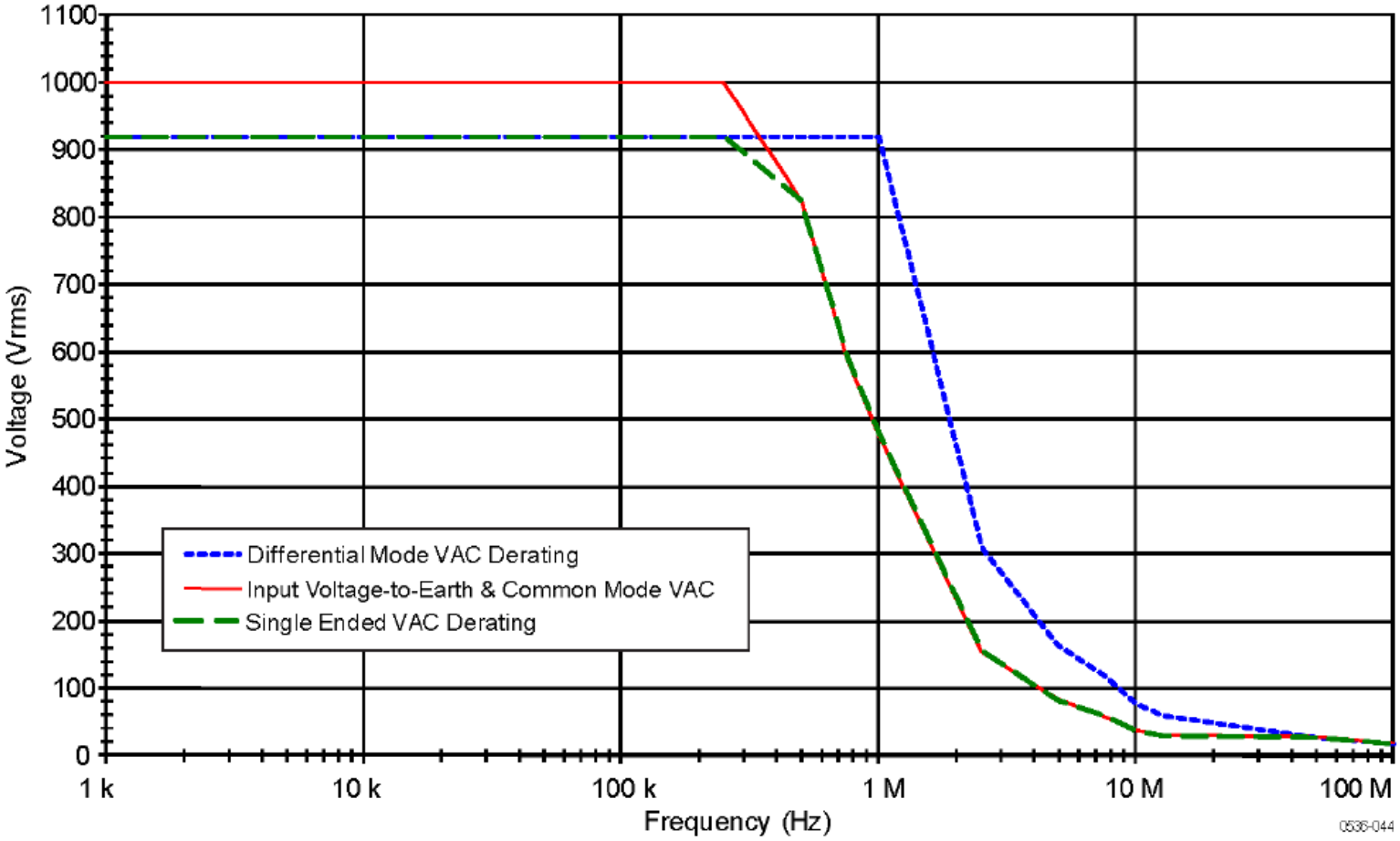


Tektronix

KEITHLEY
A Tektronix Company

ディレーティング・カーブ

- 周波数が高くなると測定可能電圧は小さくなる



P5205A型の ディレーティング・カーブ

高電圧プローブ（シングルエンド）

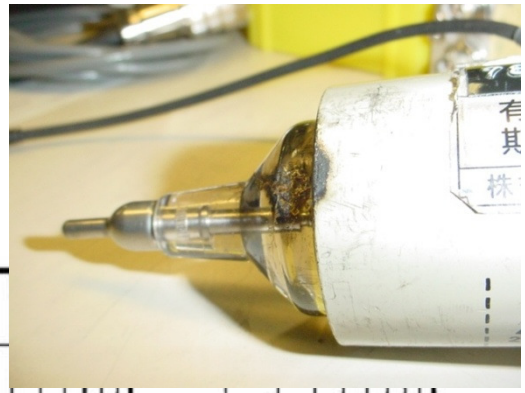
	P5100A型	TPP0850型	P6015A型	P5122型	TPP0502型（高感度・広帯域）
減衰比	100X	50X	1000X	100X	2X
最大入力電圧	2.5kV（DC+Peak AC）	2.5kV（DC+Peak AC）	20kV（DC+Peak AC）	600 Vrms	300 Vrms
周波数帯域	500 MHz	800 MHz	75 MHz	200MHz	500 MHz
立ち上り時間	< 700 ps	< 525 ps	< 4.67 ns	< 2.2 ns	< 700 ps
入力インピーダンス	40 MΩ || < 1.5 pF	40 MΩ || < 1.5 pF	100 MΩ || < 3 pF	100 MΩ || < 4 pF	2 MΩ || < 12.7 pF
ケーブル長	2 m	1.3 m	3 m	1.2 m	1.3 m
コネクタ形状	TekProbe BNC (Level1)	TekVPI（ハード・キー付）	BNC または TekProbe BNC(Opt.1R)	BNC（TPS2000シリーズ専用）	TekVPI（ハード・キー付）

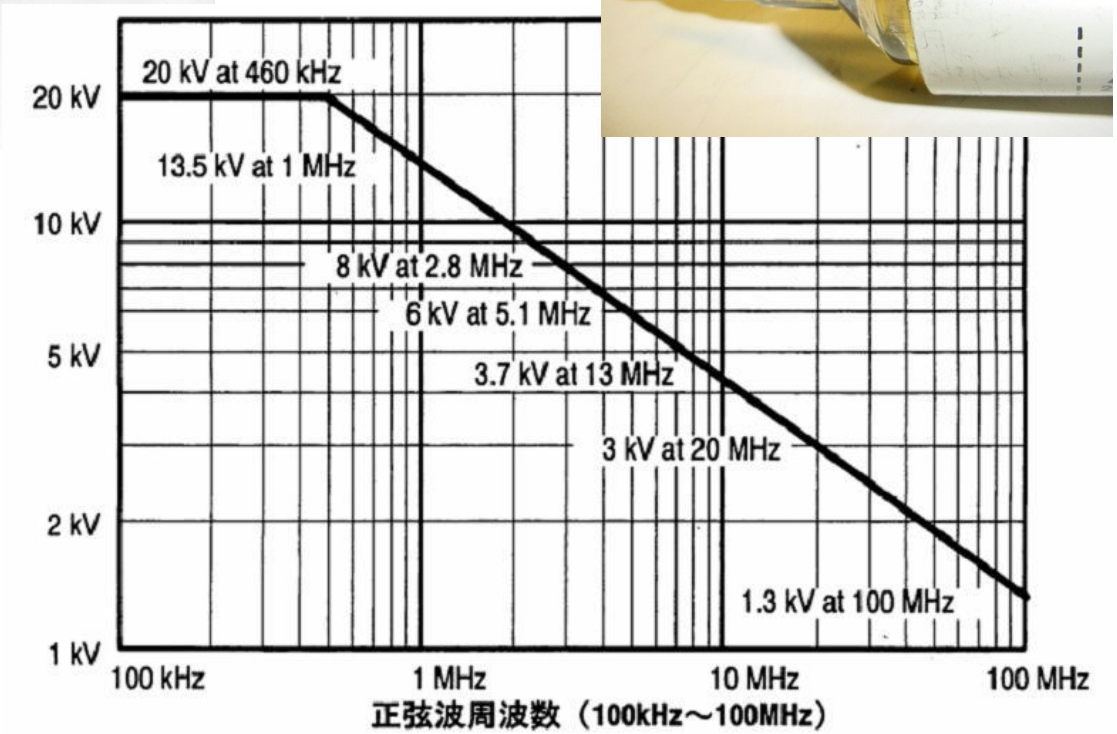
ハード・キー付きTekVPIは、MSO/DPO5000シリーズおよびMSO/DPO4000Bシリーズ、MDO4000シリーズ専用

高圧プローブの仕様と注意事項

- 最大入力電圧20kVのプローブ何Vまで印可できる？

高い電圧による絶縁破壊の例





最大入力電圧とは

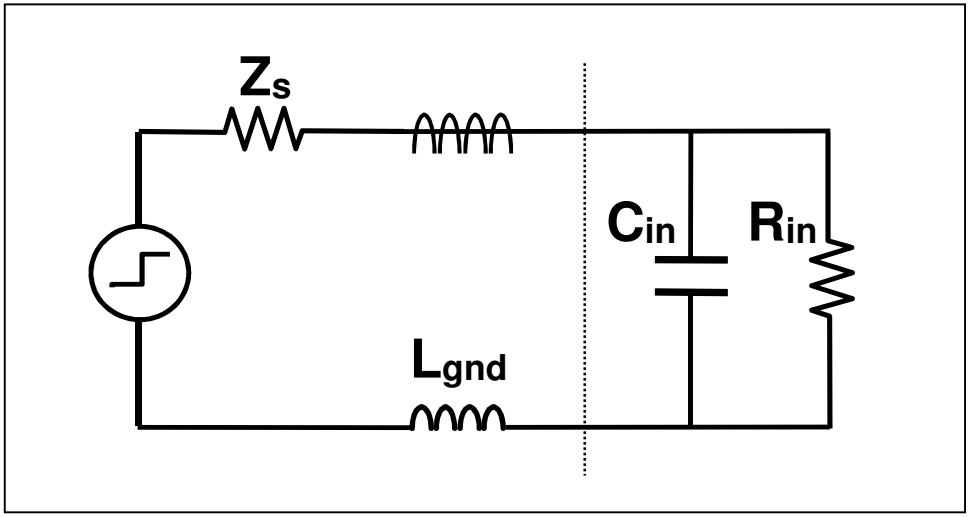
- 高い周波数では
  20kVは印加できない
- 高い周波数においては
  火傷も注意

4. グランド・リードの影響

- **長いグランドリードを使用すると**
  - 入力容量Cinとグランド・リードのインダクタンスLgndから形成される共振回路により、表示波形に周波数fのリンギングが発生
  - リード・インダクタンスの効果はプローブ・チップ側でも発生
    プローブ・チップ側のL成分の方が波形に与えるインパクトは大きい
  - Lを小さくすると、共振周波数が高くなり、リンギングを低減

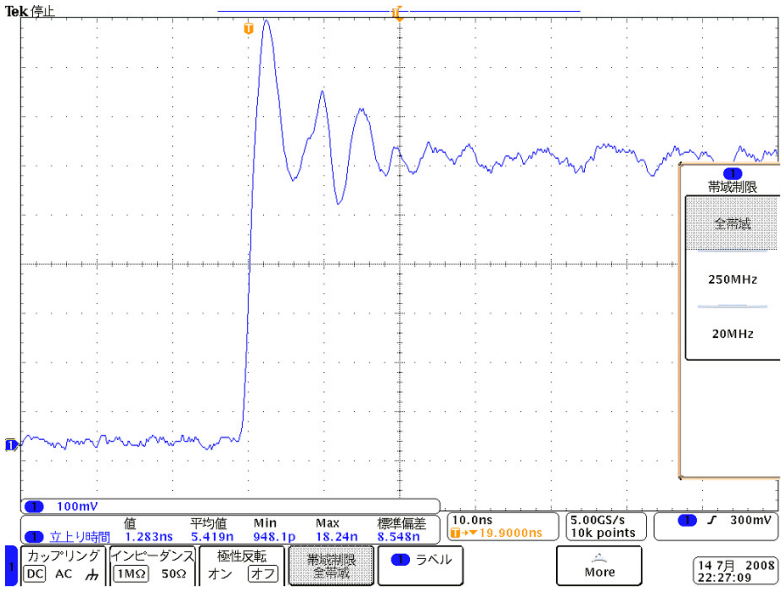
$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{C_{in} L_{gnd}}}$$

- L ≒ 20nH/inch(0~7.5cm)
- C ≒ C_{in}+1pF/inch

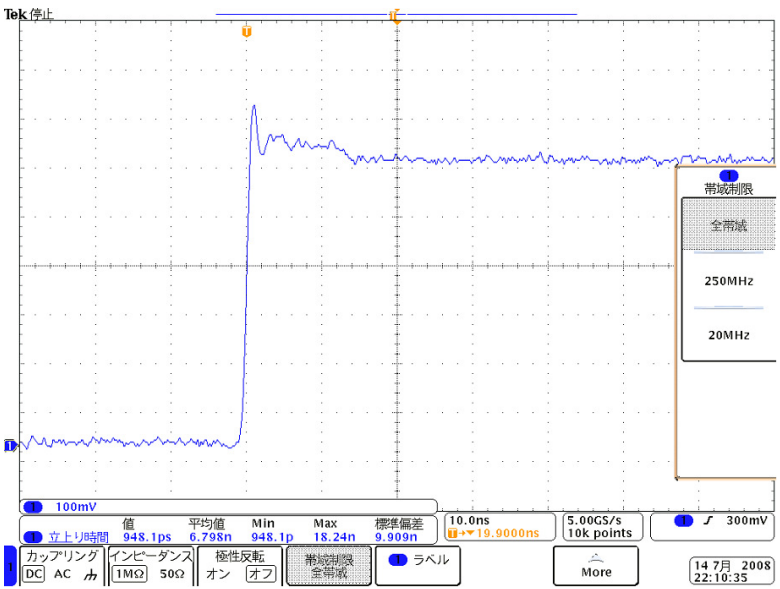


グランド・リードの影響

- 長いグランド・リードを使用するとリンギングが発生



グランド・リードが長い場合



グランド・リードが短い場合

グランド・リードの影響

- グランド・リードを最短にするためのアクセサリ

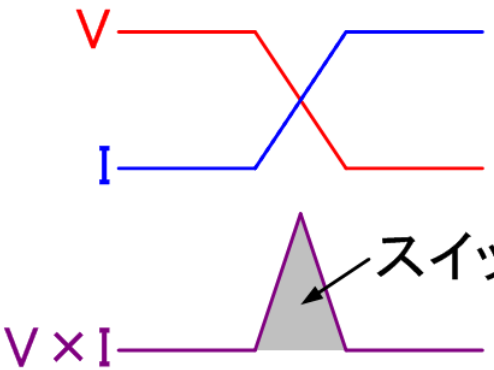
TPP0850型

214-5298-00

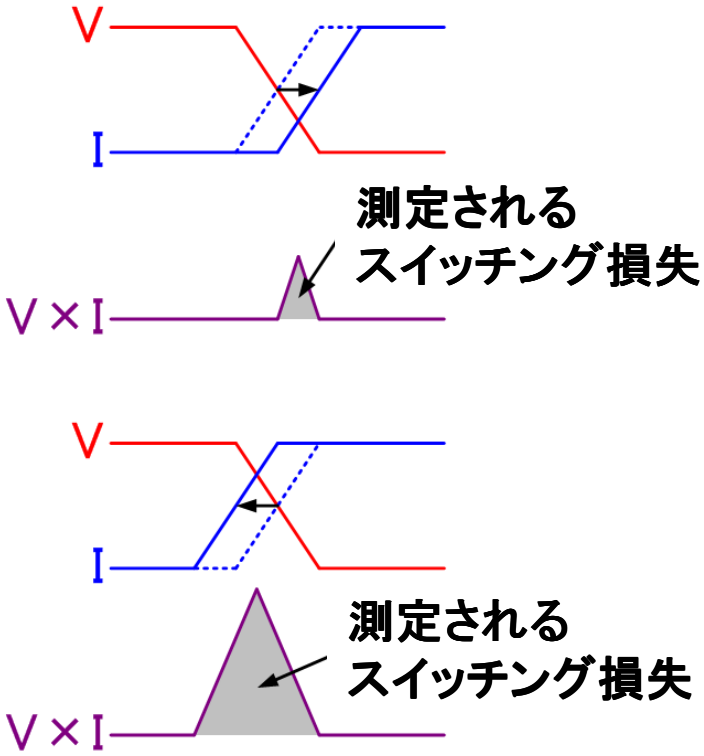
214-5299-00

5. プローブ・デスキューの重要性

- プローブは時間的遅れをもっている
  - 各プローブに合わせたスキュー調整が必要（遅延差の補正）
  - 電流プローブと電圧プローブのデスキュー



スキュー調整を行わないと



Tek-DPG型
Deskew Pulse
Generator

Deskew
Fixture
（067-1686-00）

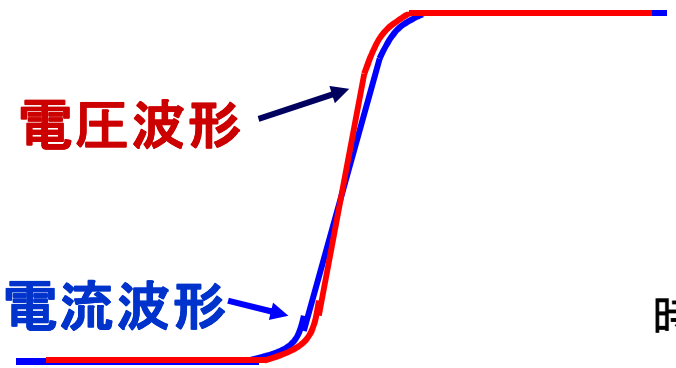
Tektronix

KEITHLEY
A Tektronix Company

参考:プローブの正確なスキュー調整

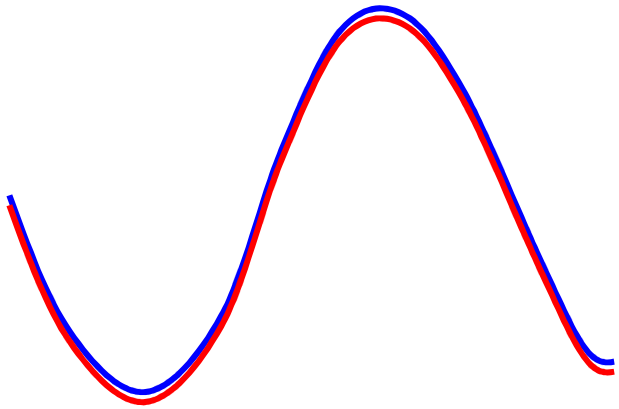
- 立上り始めのコーナーを正確に合わせるのは困難
- 電流プローブと電圧プローブの位相差をゼロにする為には
  - デスキュー・フィクスチャを使用し、まずパルス波形で調整
  - 次に高速サイン波形で微調整

（位相差ゼロにするか振幅の50%を揃えるかは目的に応じる）



パルス波形で調整

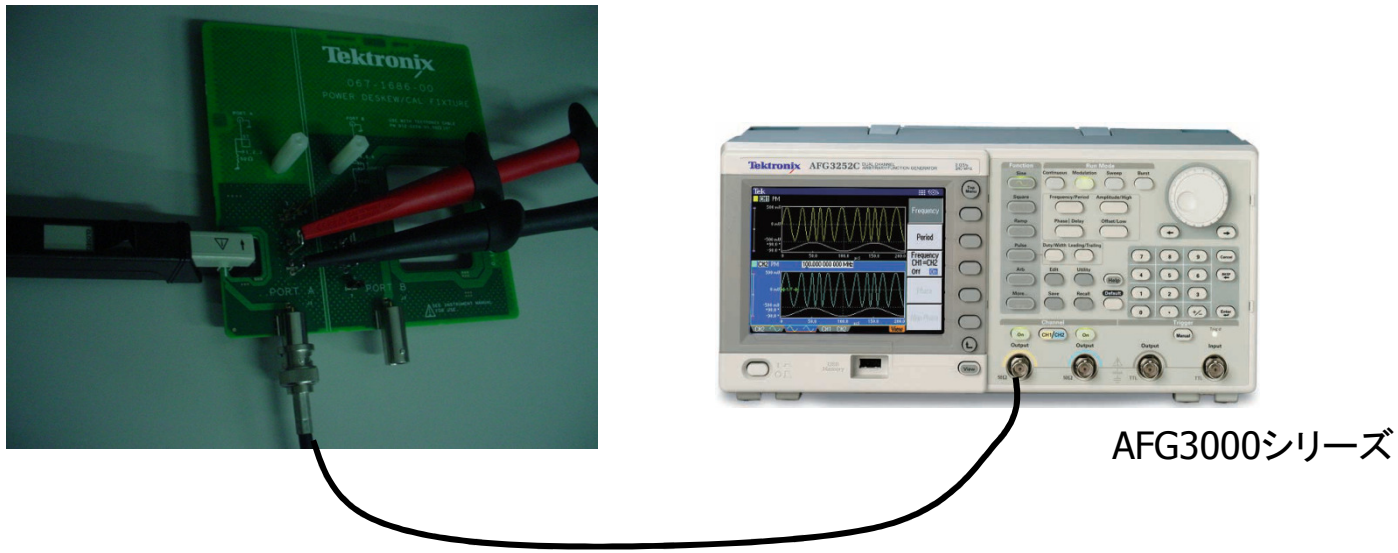
時間軸を拡大し



サイン波形で調整

参考：プローブ・デスキュー用接続

- 電流プローブとフィクスチャの矢印の向きを同じにする
- AFG3000シリーズの設定
  - FunctionをPulseに設定
  - 周波数　1MHz程度、振幅　4V程度



  - FunctionをSineに変更
    - 小電流用電流プローブ（TCP0030）の場合、約10MHzで確認
      大電流用電流プローブ（TCP404XL）の場合、約4MHzで確認

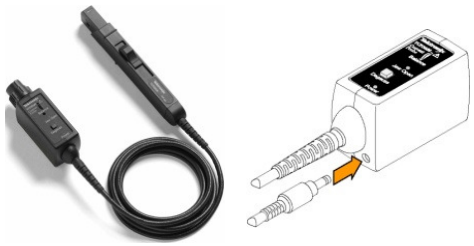
参考：プローブ・デスキューの実行

- プローブ・デスキュー時の注意点
  - 高電圧差動プローブの倍率設定（x50、x500など）は、実際の測定で使用するレンジにしておく
    - 場合によっては、VerticalメニューのProbe CalでプローブのScale設定をAutoではなく、Manualに設定
  - 高電圧プローブのフィルタを使用する場合は、プローブ・デスキュー実行時にも同じ設定にしておく
  - 電流プローブのレンジ（5A、30Aなど）は、実際に使用するレンジにしておく
    - 場合によっては、VerticalメニューのProbe CalでプローブのScale設定をAutoではなく、Manualに設定
  - オシロスコープ本体のフィルタを使用する場合は、プローブ・デスキュー実行時にも同じ設定にしておく
  - オシロスコープの波形取り込みモードはアベレージに設定
    - AFG3000のトリガ出力でオシロのトリガを掛ける

電流プローブの新製品

新製品

	TCP202A型	TCP0020型	TCP2020型
周波数帯域	DC～50 MHz	DC～50 MHz	DC～50 MHz
立ち上り時間	≤7 ns	≤7 ns	≤7 ns
最大連続電流	15 $A_{DC + Peak AC}$	20 A_{RMS} (28 A_{peak})	20 A_{RMS} (28 A_{peak})
最大ピーク・パルス電流	50 A (パルス幅 ≤ 10 μsの時)	100 A (パルス幅 ≤ 10 μsの時)	100 A (パルス幅 ≤ 10 μsの時)
最大感度 (オシロの設定が1 mV/divの時)	10 mA／div	10 mA／div	10 mA／div
裸線測定電圧	150 V CAT II	150 V CAT II	150 V CAT II
測定可能導体直径	5 mm	5 mm	5 mm
ケーブル長	2 m	2 m	2 m
DC ゲイン確度	< 1%（標準値） < 3%（全レンジでの保証）	< 1%（標準値） < 3%（全レンジでの保証）	< 1%（標準値） < 3%（全レンジでの保証）
コネクタ形状	TekProbe BNC (Level2)	TekVPI	BNC （外部電源アダプタ付）



Tektronix

KEITHLEY
A Tektronix Company

電流プローブ

新製品

、	TCP0030A型	TCP0150型	TCP404XL型
周波数帯域	DC～120 MHz	DC～20 MHz	DC～2 MHz
立ち上り時間	≤2.92 ns	≤17.5 ns	≤175 ns
最大測定可能連続電流	30 A_{RMS} @ 30A レンジ 5 A_{RMS} @ 5A レンジ	150 A_{RMS} @ 150A レンジ 25 A_{RMS} @ 25A レンジ	500 A_{RMS} (非連続:750 A_{DC})
最大ピーク・パルス電流	50 A @ 30A レンジ	500 A @ 150A レンジ	750 A
最大電流時間積	500Aμs @ 30A レンジ	15000Aμs @ 150A レンジ	規定なし
最大感度 (オシロの設定が1 mV/divの時)	1 mA／div	5 mA／div	1A／div
測定可能導体直径	5 mm	21mm×25 mm	21mm×25 mm
ケーブル長	2 m	2 m	8 m
DC ゲイン確度	< 1%（標準値） < 3%（全レンジでの保証）	< 1%（標準値） < 3%（全レンジでの保証）	< 1%（標準値） < 3%（全レンジでの保証）
コネクタ形状	TekVPI	TekVPI	TCPA400型が必要 TekProbe BNC(Level2) またはBNC

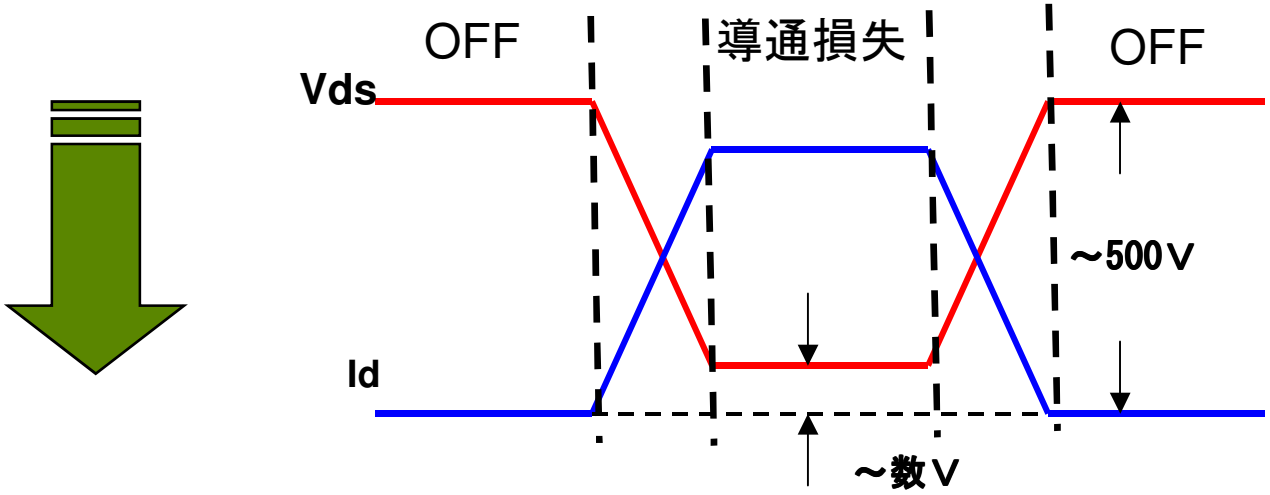
他にもTCP300シリーズや
A622型もあります。

Tektronix

KEITHLEY
A Tektronix Company

5. 垂直軸分解能の向上

- いかにして測定精度を上げていくか？
- スイッチング損失と導通損失の同時測定
  - オシロスコープ：8ビット（256分解能）
  - 0～500V：約2V分解能

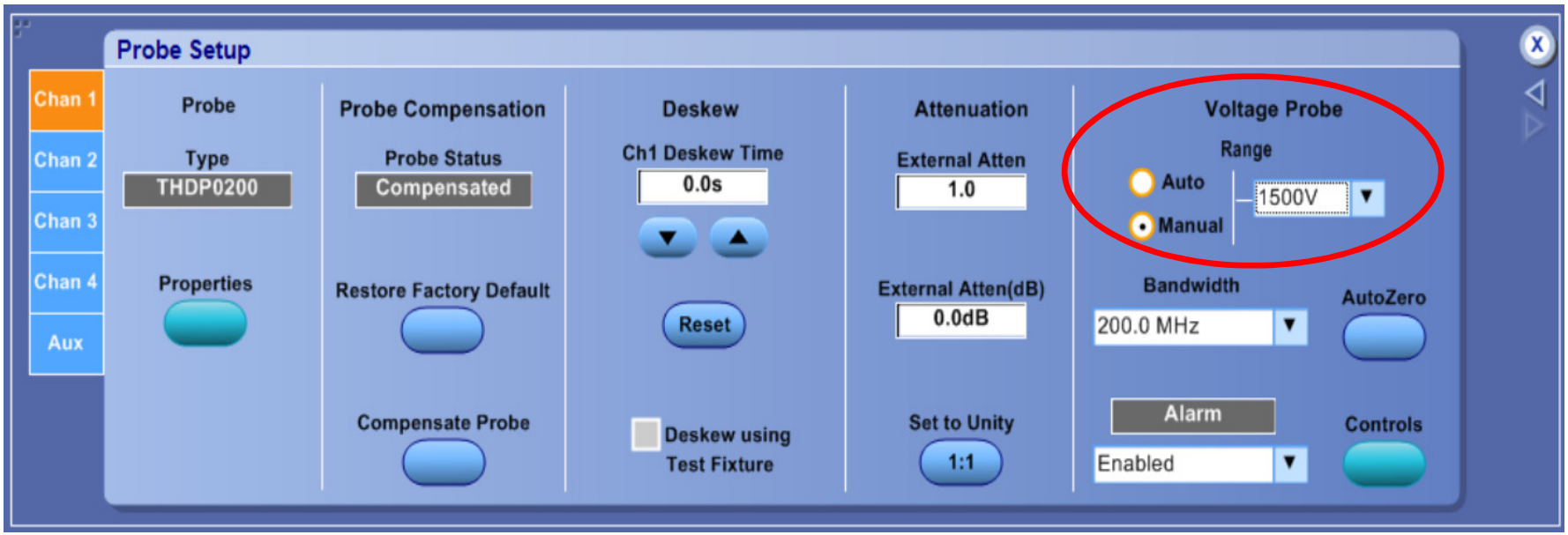


- ON抵抗（Rds）より$Id^2 \times Rds$にて測定
- IGBTではVce-satを一定値として使用

Tektronix
テクトロニクス／ケースレー　イノベーション・フォーラム2013
KEITHLEY
A Tektronix Company

V(sat)、RDS(on)の測定

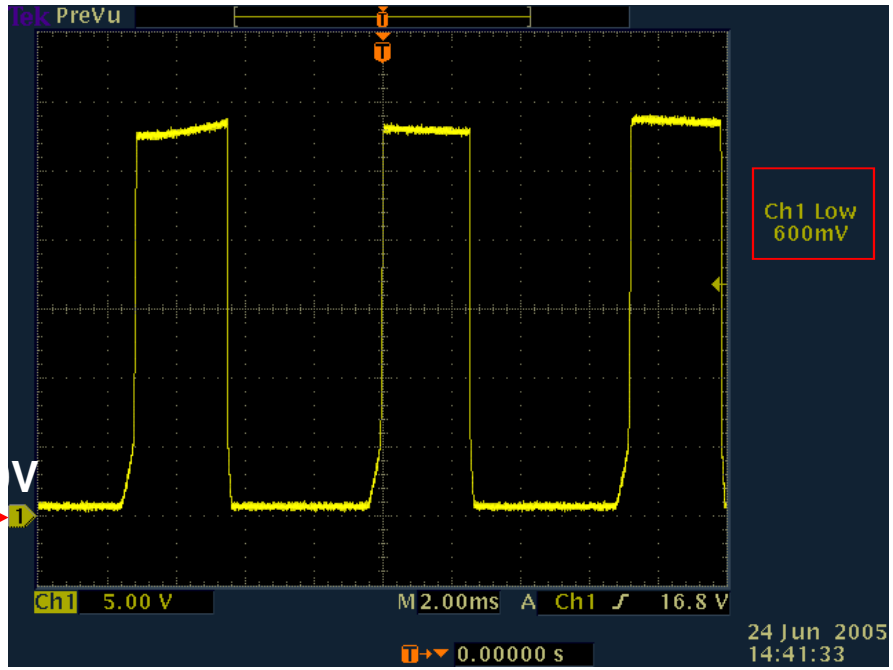
- オーバードライブ時の注意点
  - 高電圧差動プローブの倍率設定（x50、x500など）は、信号のスイング全体を測定出来るレンジに設定しておく
    - VerticalメニューのProbe CalでプローブのScale設定をAutoではなく、Manualに設定（DPO/MSO5000、DPO7000の場合）



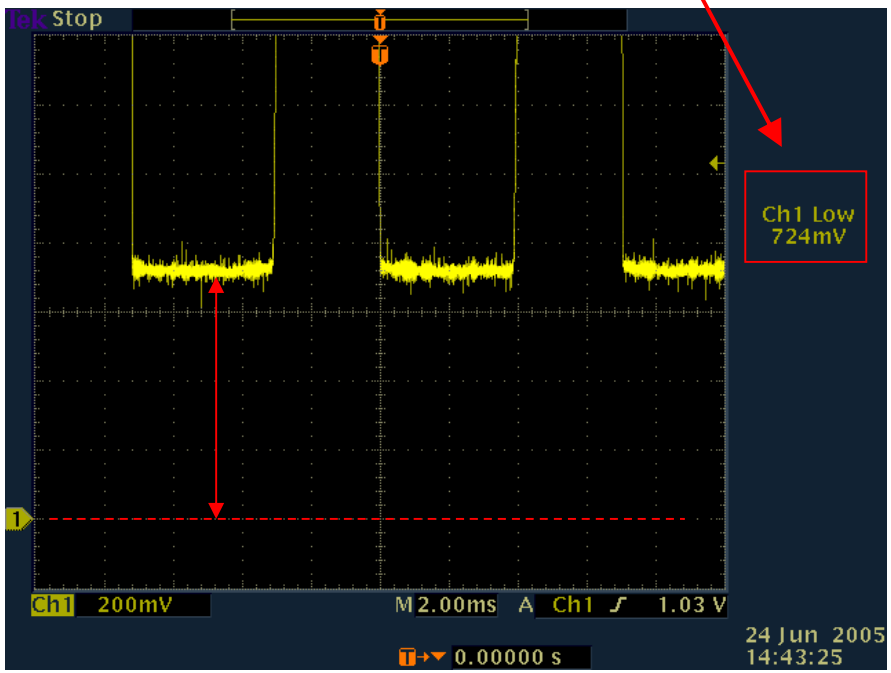
オーバドライブ・リカバリ

- 比較的影響が少ない例

充分な測定分解能



5V/div



200mV/div

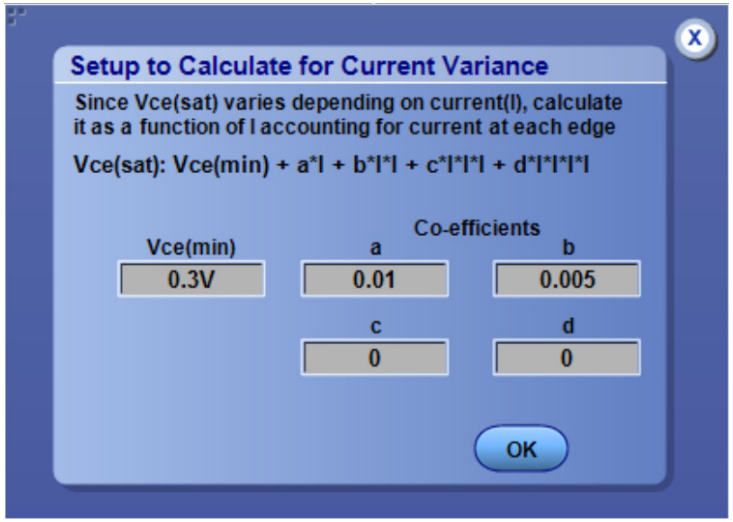
電流の関数式により、12ビット分解能を超えた測定
VCE(sat)、RDS(on)を電流の関数式で定義（DPOPWR）

SiC、GaNを使用した高効率回路の電力損失測定

- 12ビットでも導通損失は測定できない⇒DPOPWRで高確度測定
  - VCE(sat)を最高4次の電流関数式で定義

$$VCE(sat) = VCE(min) + a \times I + b \times I^2 + c \times I^3 + d \times I^4$$

  - 導通損失＝電流×VCE(sat)　または　（電流）^{2} ×（RDS(on)）

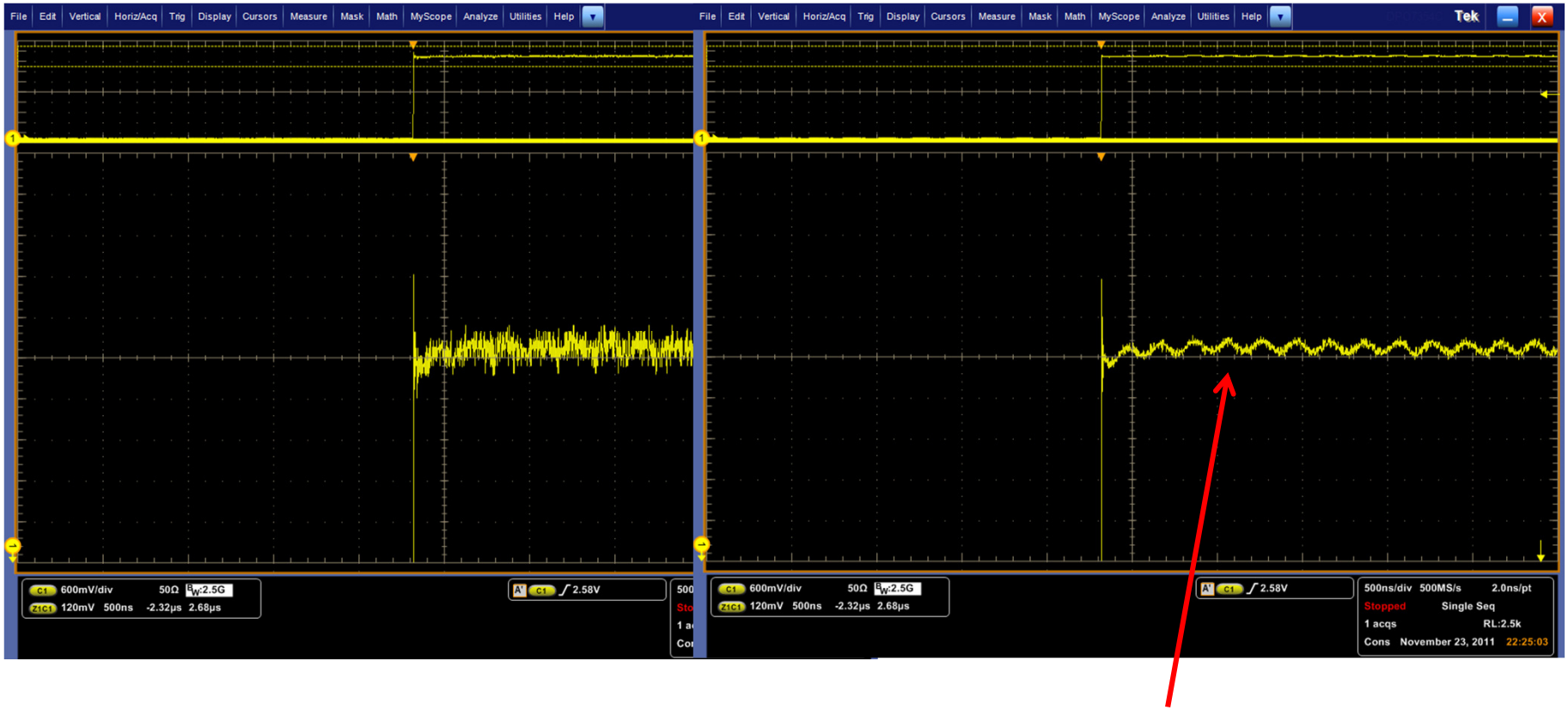


Turn on、Turn off、
Total Avg損失を自動測定

ハイレゾ・モードによる垂直軸分解能の向上

- ノイズに埋もれていた成分も測定可能

サンプル・モード　　ハイレゾ・モード



ホワイト・ノイズに埋もれていた成分も測定可能

Tektronix

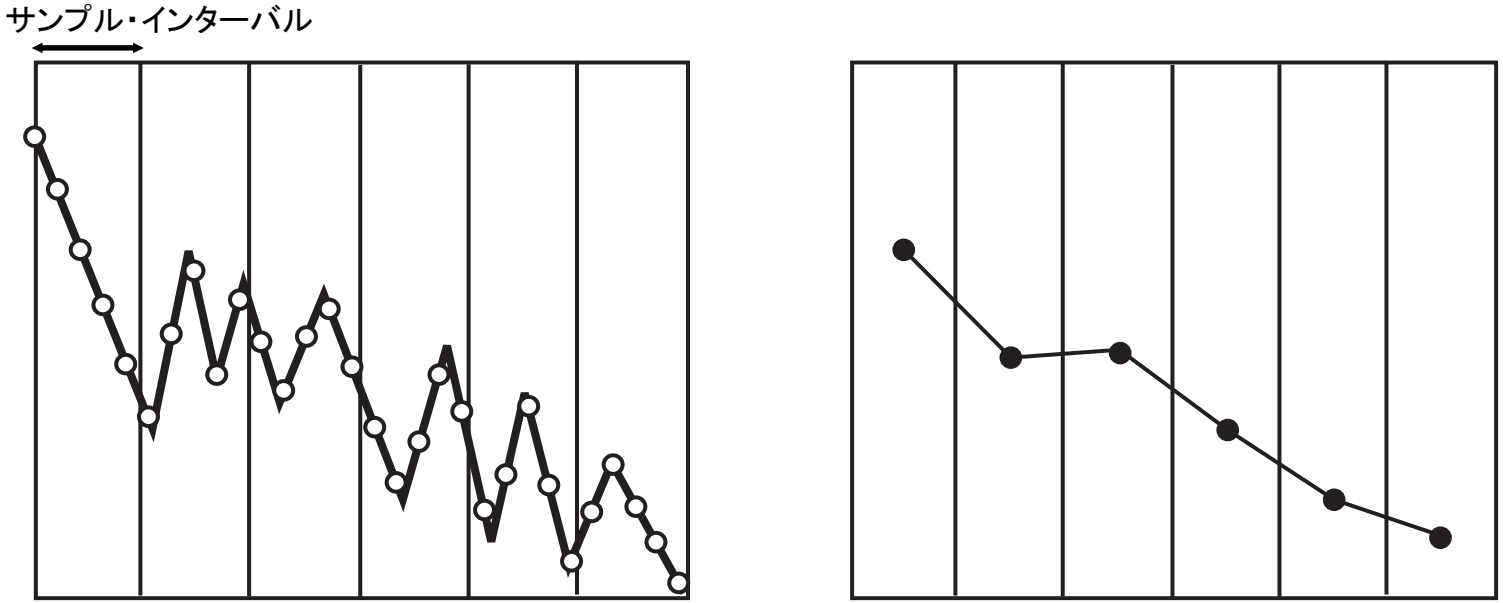
KEITHLEY
A Tektronix Company

参考：オシロの取込みモード
ハイレゾ・モードはどのような処理をしているの？

- ハイレゾ(Hi-Res)・モード

各インターバル内で平均を取り、その平均値をメモリに格納します。

ノイズの多い単発信号でもノイズを除去することができます。



内部でデジタイズされたサンプル・ポイント　　画面表示されたサンプル・ポイント

- SOA解析、磁気コンポーネント測定、スイッチング損失測定に効果的
- 処理結果を直接メモリに保存するため、レコード長を有効使用
- 1sec/divなどの遅い時間軸、ロール・モードでも使用可能

参考: ハイレゾ・モードによる垂直軸分解能の向上

- ハイレゾ・モードの表示ビット分解能 ＝ 8＋0.5 × log_2N
  N = (内部最高サンプル・レート ÷ 設定サンプル・レート)

- 2 byte メモリ(16ビット)の内、1ビットはサイン・ビットであるため、計算上は15ビットまで増えるが、まるめ誤差などを考慮すると、最高13ビット相当まで改善可能

- 周波数帯域 ＝ 0.44 × 設定サンプル・レート に制限

Tektronixのハイレゾ・モードの特長

- 真のハイレゾのため、上記Nの値が大きいほど、ビット分解能とS/Nが向上
- ハイレゾ処理結果を波形メモリに直接保存するため、レコード長が減少しない

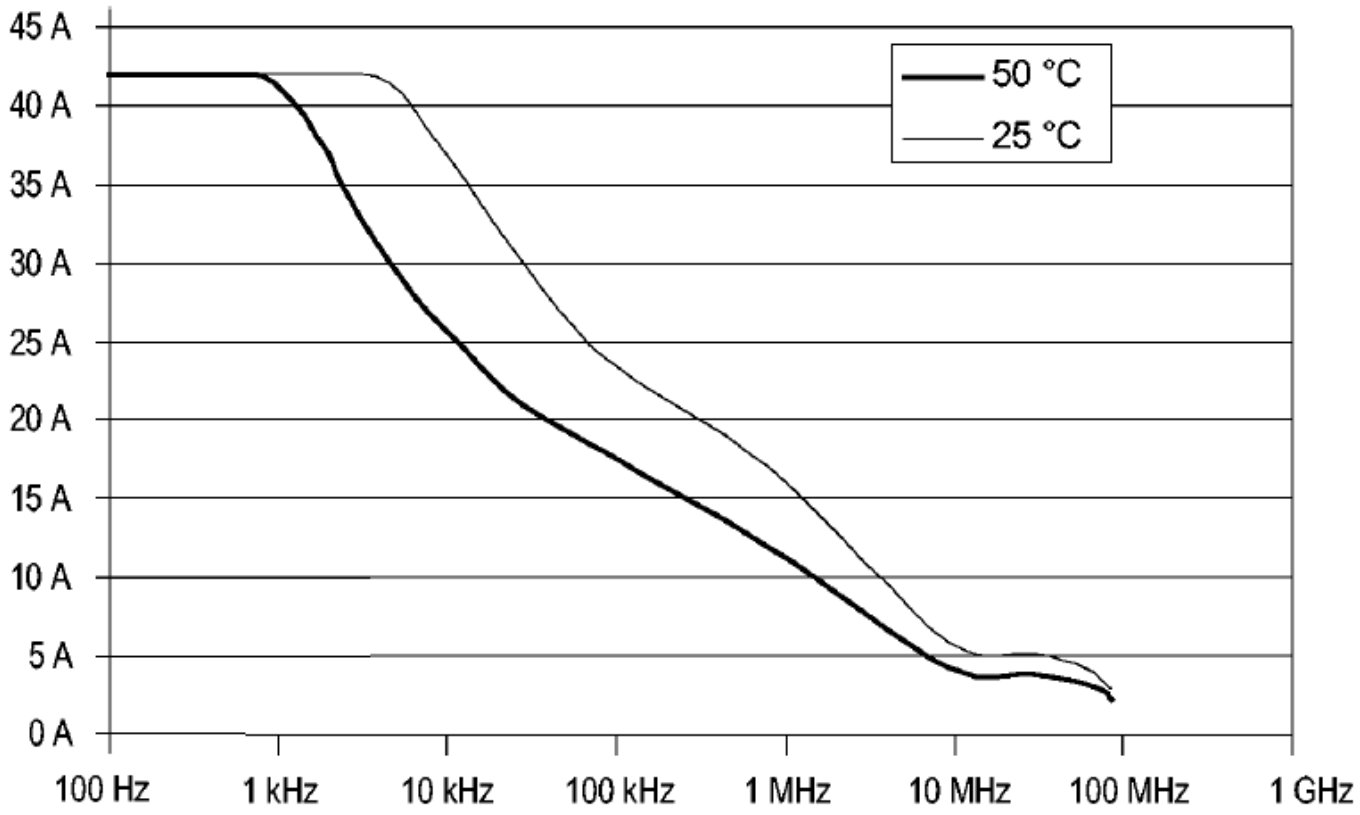
6. 電流プローブの性能と使いこなし
電流プローブの電流制限

TCP0030型 DC～120MHz 30Arms 電流プローブの仕様
(テクトロニクス社の取扱説明書より)

特性	説明
最大連続電流 ー DC および低周波数	5 A 範囲: 5 A RMS 30 A 範囲: 30 A RMS
最大ピーク電流	50A (最大ピーク・パルス)
表示 RMS ノイズ	≦75μA RMS. (限界測定帯域幅 20MHz の場合)
挿入インピーダンス	(図 2 参照)
アベレーション	<50ns: ≦10%p-p >50ns: ≦5%p-p
信号遅延	～ 14.5 ns
裸線での最大電圧	絶縁された導体上のみで使用
最大電流時間積	5A 範囲: 50A·μs 30A 範囲: 500A·μs
DC ゲイン精度	<3% (代表値 <1% (+23° C ± 5° C の場合))
立上り時間(10% ～ 90%)	≦2.92 ns
帯域制限	DC ～ 120 MHz

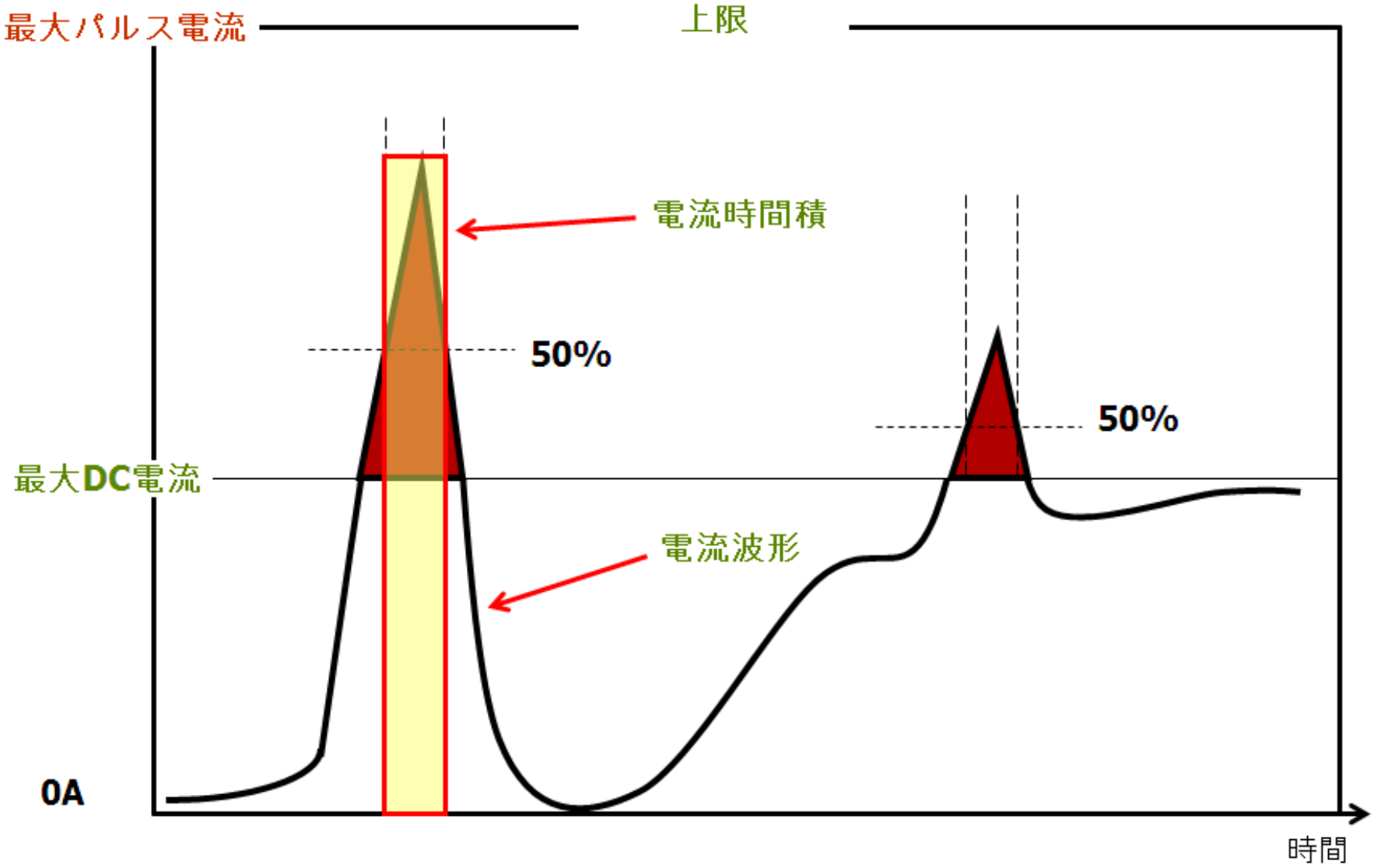
電流プローブのディレーティング・カーブ

- 周波数が高くなると測定可能電流は小さくなる



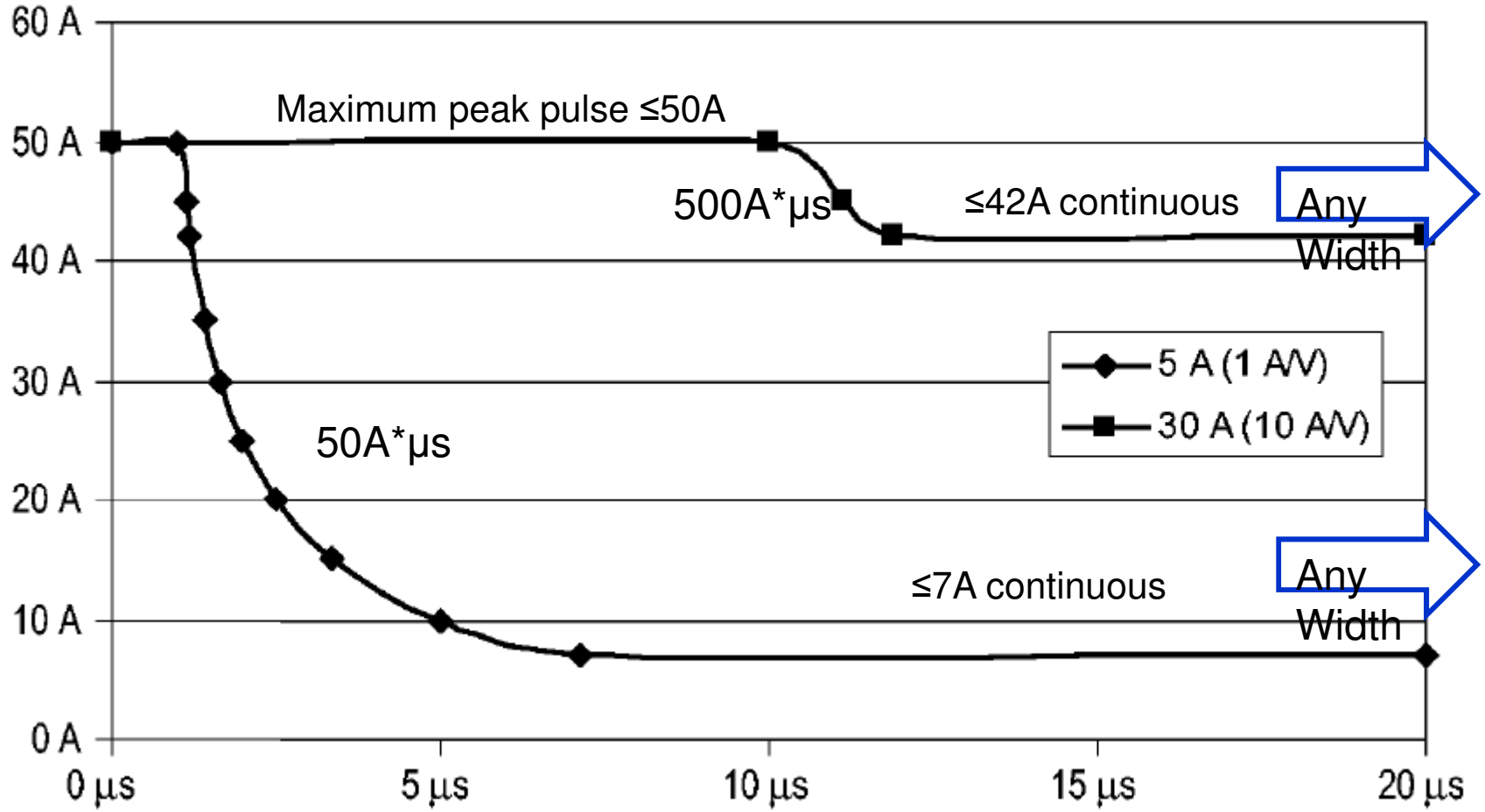
TCP0030型のディレーティング・カーブ

電流プローブの測定限界（電流時間積）



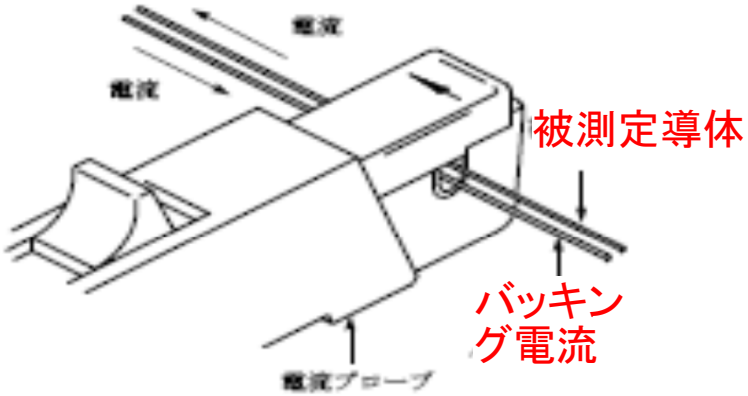
電流プローブの測定限界　～　パルス幅とピーク電流

TCP0030型の最大パルス電流とパルス幅

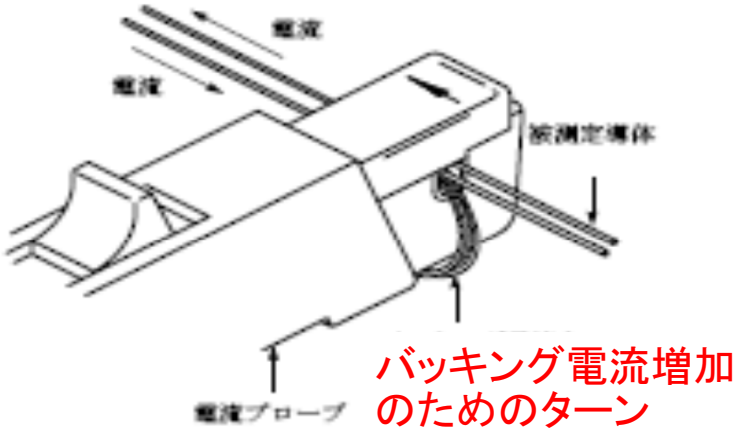


電流プローブの測定レンジの拡張

- DC範囲の拡大

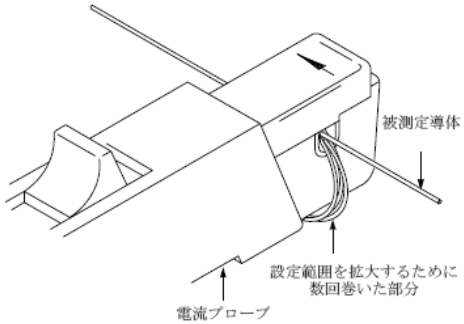


(1) オフセット（バッキング）電流の追加



(2) オフセット電流の拡大

- 感度の拡大
  - Nターンすれば感度はN倍
  - 挿入損失と周波数帯域に注意
  - 約20nH／インチ
  - 10ターン巻くと100μA／div
    （TCP0030型の場合）



感度を拡大するためのターン

Tektronix
テクトロニクス／ケースレー　イノベーション･フォーラム2013
KEITHLEY
A Tektronix Company

電流プローブの性能と使いこなし

- 外来ノイズの影響の低減
  - 同じ型名の電流プローブを2本使用する
  - 1本はch1に接続し、通常通りプロービング
  - 残りの1本はch2に接続し、被測定導体を通さないで1本目のプローブの近傍に置き、外来ノイズのみをピックアップする
  - Ch1－Ch2により外来ノイズの影響を低減
- 寄生インダクタンスの影響低減
  - トランスやチョーク・コイルが接続されている側のMOSFETやIGBTのリードを延長してクランプ
  - 太めのリードを使用

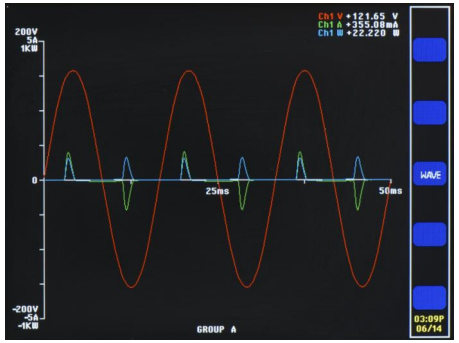
電流プローブの性能と使いこなし

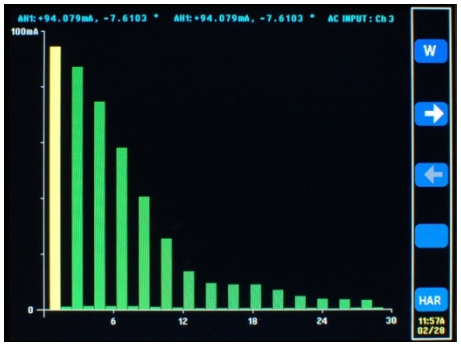
- 電流プローブ使用時の注意点
  - 床に落とすなどの衝撃を与えない
  - 最大測定可能電流値を超えた信号を測定しない
  - プローブ・システムの電源投入後、20分程度後から測定開始（20分エイジング）
  - 測定前に回路から外し、クランプを閉じた状態で
デガウスとDCバランスの調整実施
特に、こまめにDCバランスの確認、調整を実施
電流を0Aに出来る場合は、回路にクランプしたまま調整
  - 測定する電流の方向と電流プローブの矢印の向きを合わせる

参考：高確度パワー・アナライザ PA4000型

新製品

- 業界初の**スパイラル・シャント技術**（Spiral Shunt™ ）(特許申請中)
  - 広範な電流レベル、周波数、環境温度に対して安定した測定を実現
- μWからkWまで、標準で広い測定レンジを+
  - 待機電力から大電力まで1台で
- クレストファクタ10でも高い測定確度
- 基本測定確度 0.04%
- 高調波測定、モーター解析機能は標準装備
- 三相、単相、DCの変換効率測定





Tektronix

KEITHLEY
A Tektronix Company

パワーエレ測定のためのプロービングのまとめ

- 受動プローブのプローブ補正を実行
- グランド接続は最短に
- 高電圧差動プローブの0V調整を実行
- 電流プローブの消磁と0A調整を実行
- プローブ・デスキューを実行
- 周波数帯域不足は、立上り時間、電力損失、サージなどの測定誤差の要因
- 電圧プローブも電流プローブもデレーティング・カーブに注意
- 高電圧差動プローブも電流プローブも信号振幅に適したレンジに設定
- 放射ノイズの評価には、近接界プローブを使用

本テキストの無断複製・転載を禁じます。テクトロニクス/ケースレーインスツルメンツ
Copyright © Tektronix, Keithley Instruments. All rights reserved.

www.tektronix.com/ja
www.keithley.jp/

Twitter @tektronix_jp
Facebook http://www.facebook.com/tektronix.jp

Tektronix KEITHLEY A Tektronix Company

Tektronix KEITHLEY A Tektronix Company