

E-4

高効率スイッチング電源の評価技術



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

宮崎 強

Tektronix[®]

KEITHLEY
A Tektronix Company

1. スイッチング電源回路に対する要求と測定項目

- 高効率化(電力変換効率の改善)
 - スイッチング・デバイス損失の低減
 - スイッチング損失
 - ON抵抗
 - 磁気部品損失の低減
 - コア損失
 - B-H解析など
 - システム効率向上
- 高信頼性
 - 安全動作領域(SOA)の確認、B-H解析
 - 電圧、電流トランジェント応答
- 負荷変動応答性
 - 制御ループの高速応答
 - PWM制御(変調解析)
- 低ノイズ、耐ノイズ化
 - 電流高調波、リップル、電力品質、周波数解析、EMI

使用される測定器と評価ポイント

下記の全評価項目



オシロスコープ+パワー解析ソフト

デバイスの静特性



パラメトリック・カーブトレーサ

高確度入力/出力電力、効率測定、
電流高調波、電力品質測定

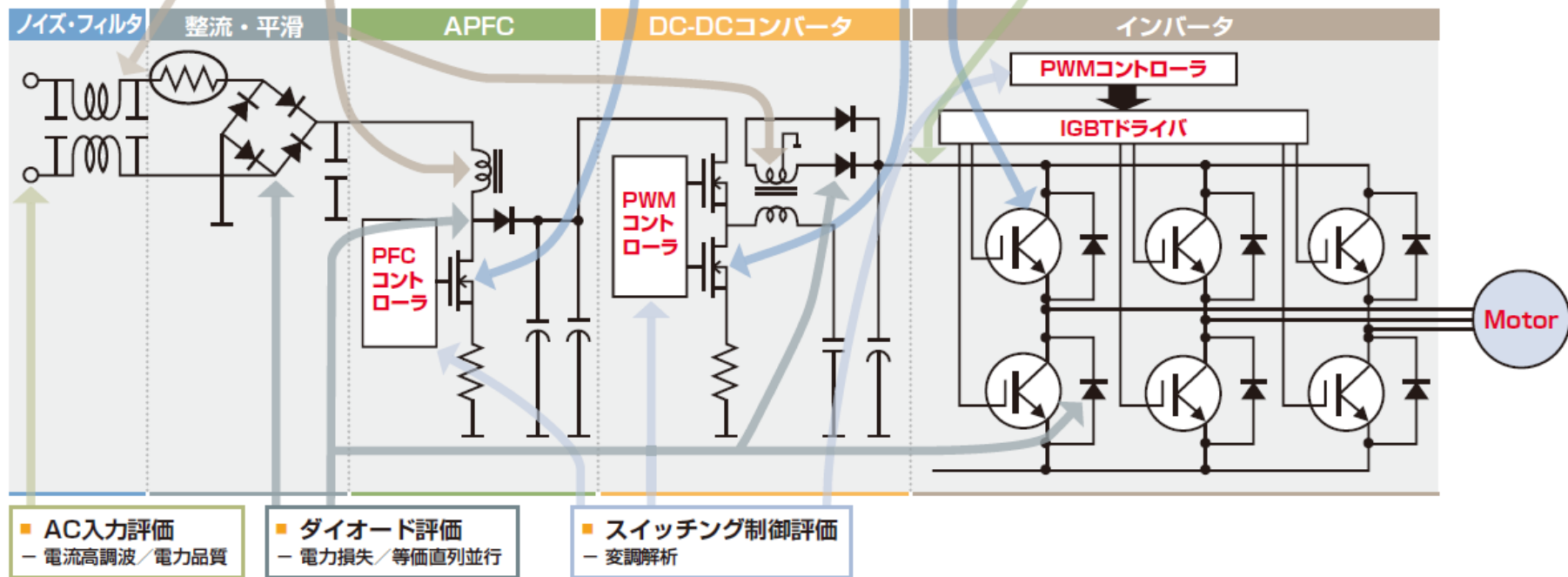


パワー・アナライザ

- 磁気コンポーネント評価
- インダクタンス/電力損失/B-Hカーブ/磁気パラメータ

- スイッチング・デバイス評価
- スイッチング損失/導通損失/安全動作領域 (SOA)

- DC出力評価
- リップル/ターン・オン・タイム



- AC入力評価
- 電流高調波/電力品質

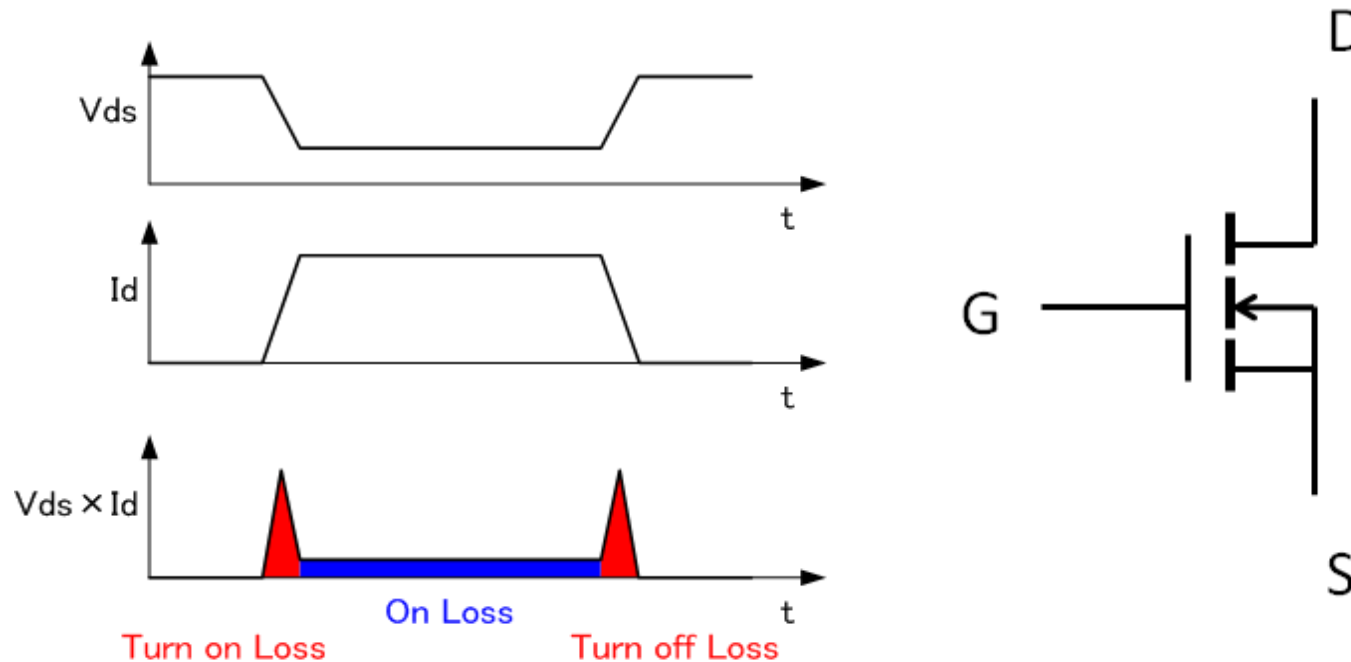
- ダイオード評価
- 電力損失/等価直列並行

- スイッチング制御評価
- 変調解析

スイッチング・デバイスの評価(1)

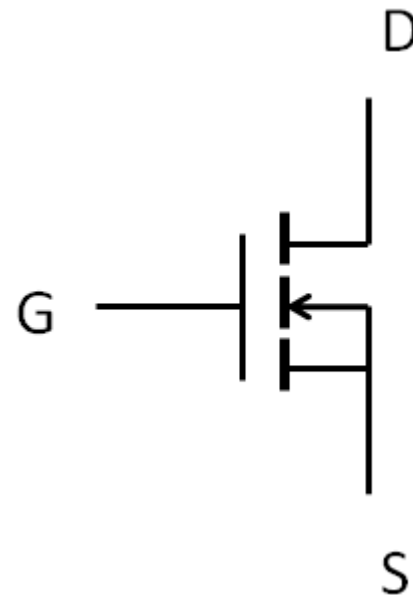
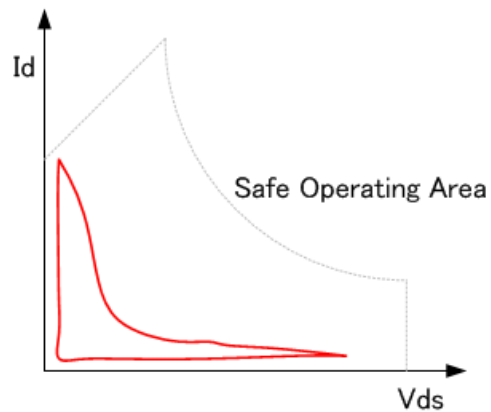
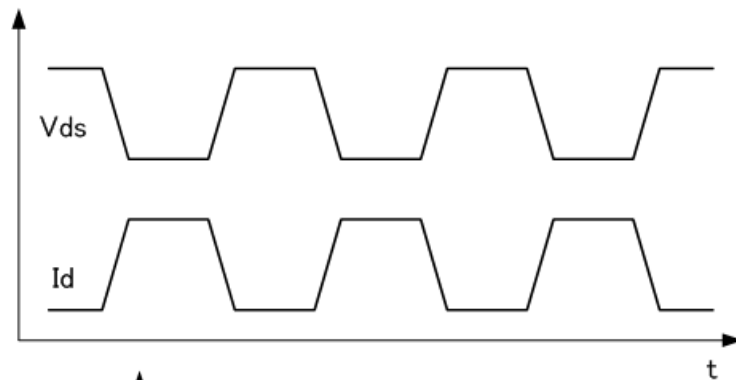
スイッチング損失

- ターン・オン・ロスおよびターン・オフ・ロス
 - パワー・デバイスがON/OFFする時の損失
- 導通損失
 - パワー・デバイスが導通状態の間の損失



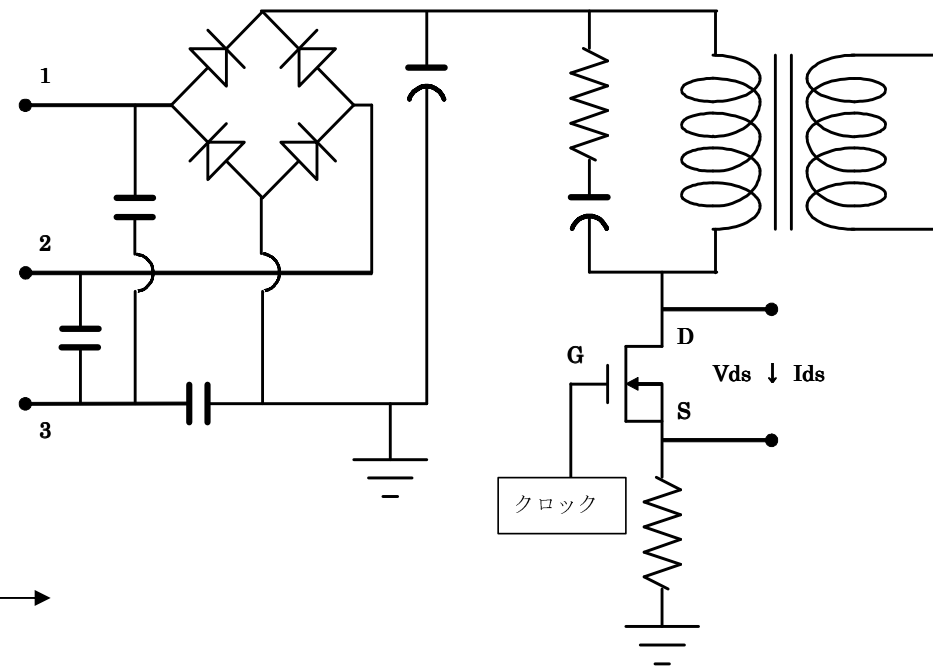
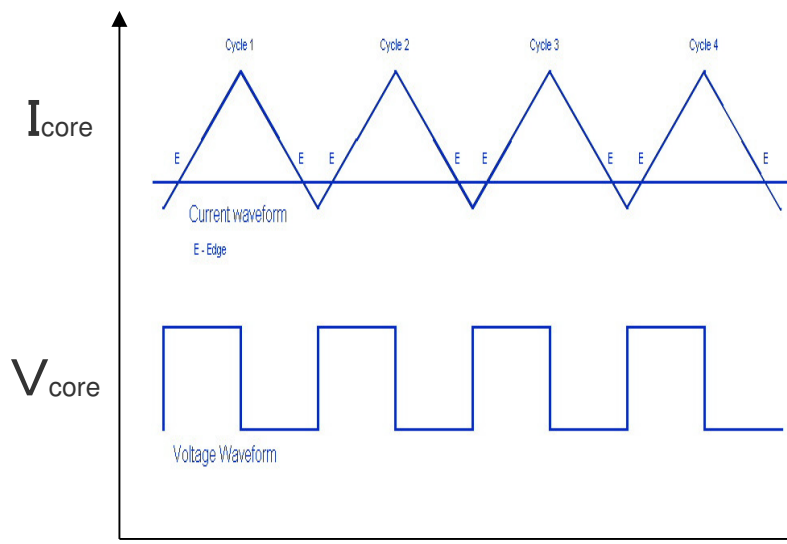
スイッチング・デバイスの評価(2)

- 安全動作領域(SOA)の評価
 - ドレイン・ソース間電圧、電流をX-Y軸にプロット



トランス／コアの評価(1)

- トランス／コアによる電力損失の評価
- スイッチング損失、コア損失を含むトータル損失の評価
- インダクタンス値の測定
 - インダクタンス値は駆動電圧、電流、周波数、波形形状に応じて変化する

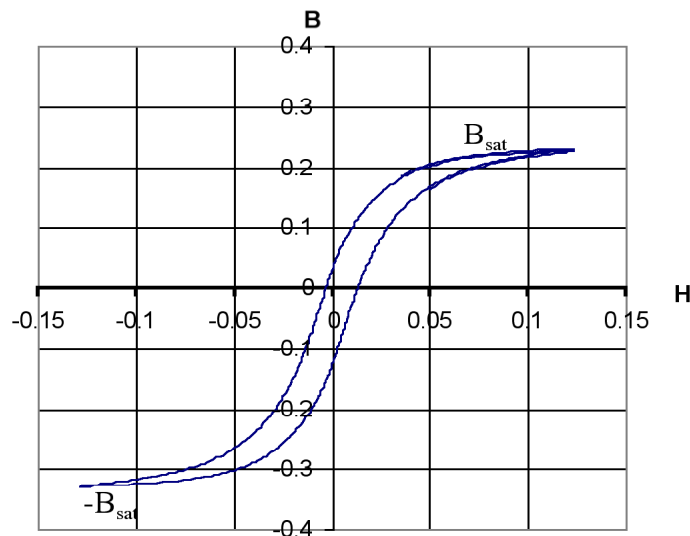


トランス／コアの評価(2)

■ B-H特性の解析

－ 磁界強度Hと磁束密度Bによる磁化曲線の解析

- B(磁束密度) : コイル両端電圧の積分値に比例
- H(磁界) : コイル電流に比例
- μ (透磁率) : $B=\mu H$



$$B(t) = \frac{1}{nA} \int_0^t v(t) dt$$

$$H(t) = \frac{n}{l} i(t)$$

n : 巻線数, A : コア断面積, l : 平均磁路長,

$v(t)$: 巻線誘導電圧, $i(t)$: 巻線電流

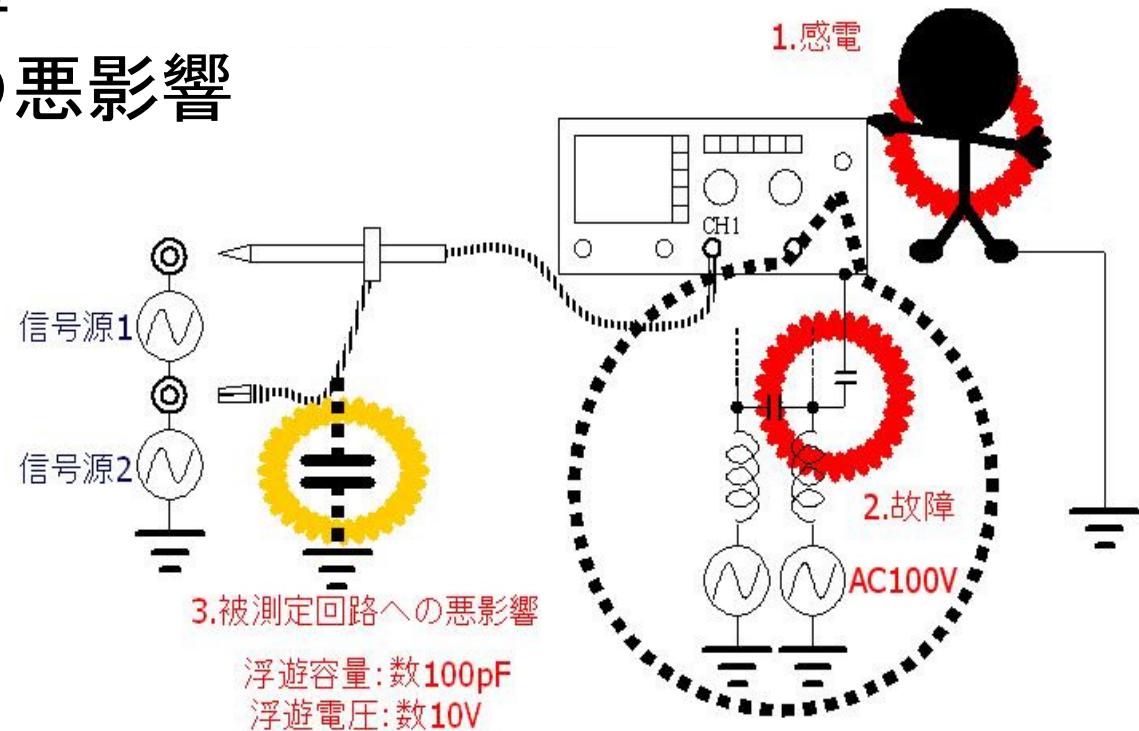
2. 測定上の課題と解決方法

①フローティング測定に関する注意事項

- 電源のグラウンドを外し、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



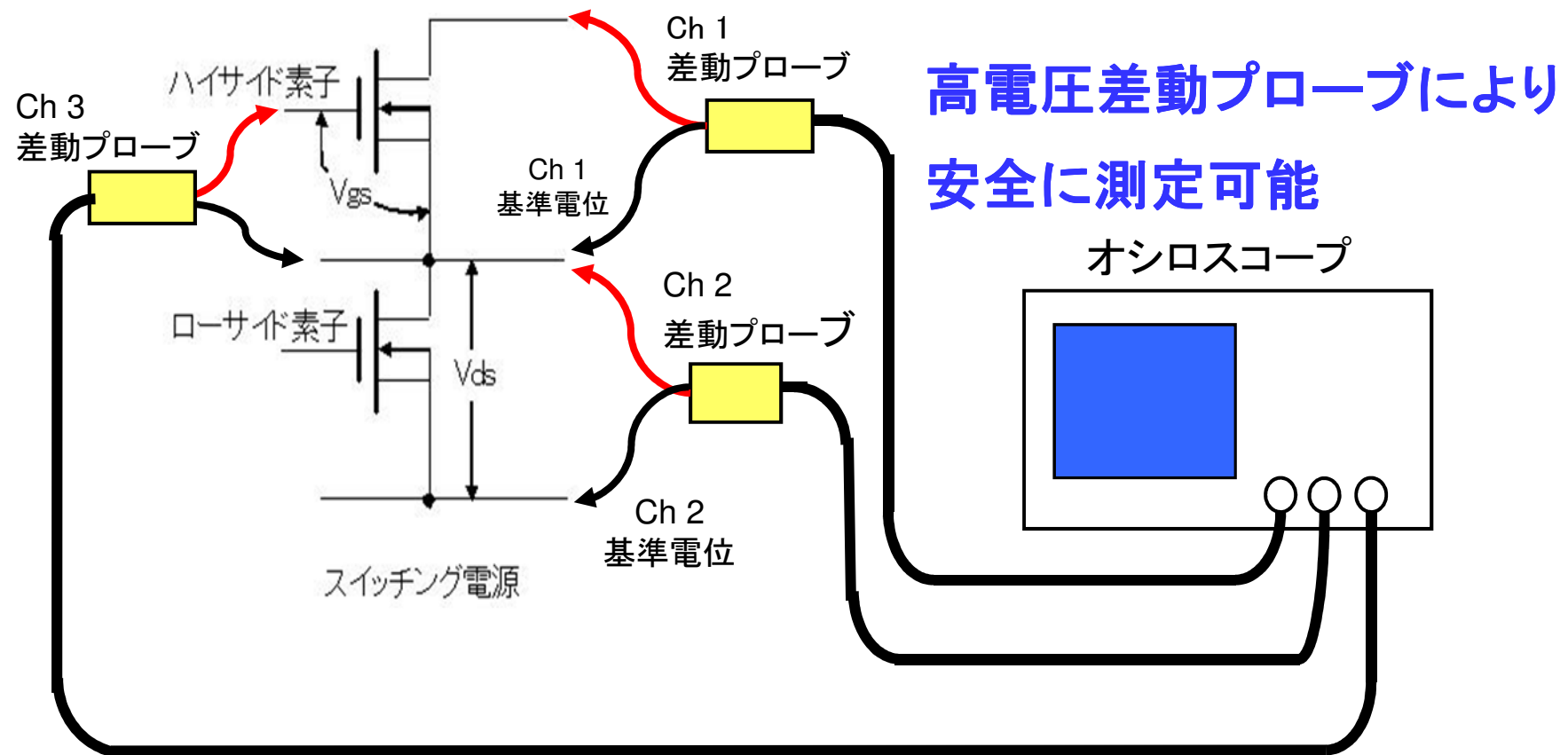
3-2アダプタ



筐体を浮かせることによる3つの問題点

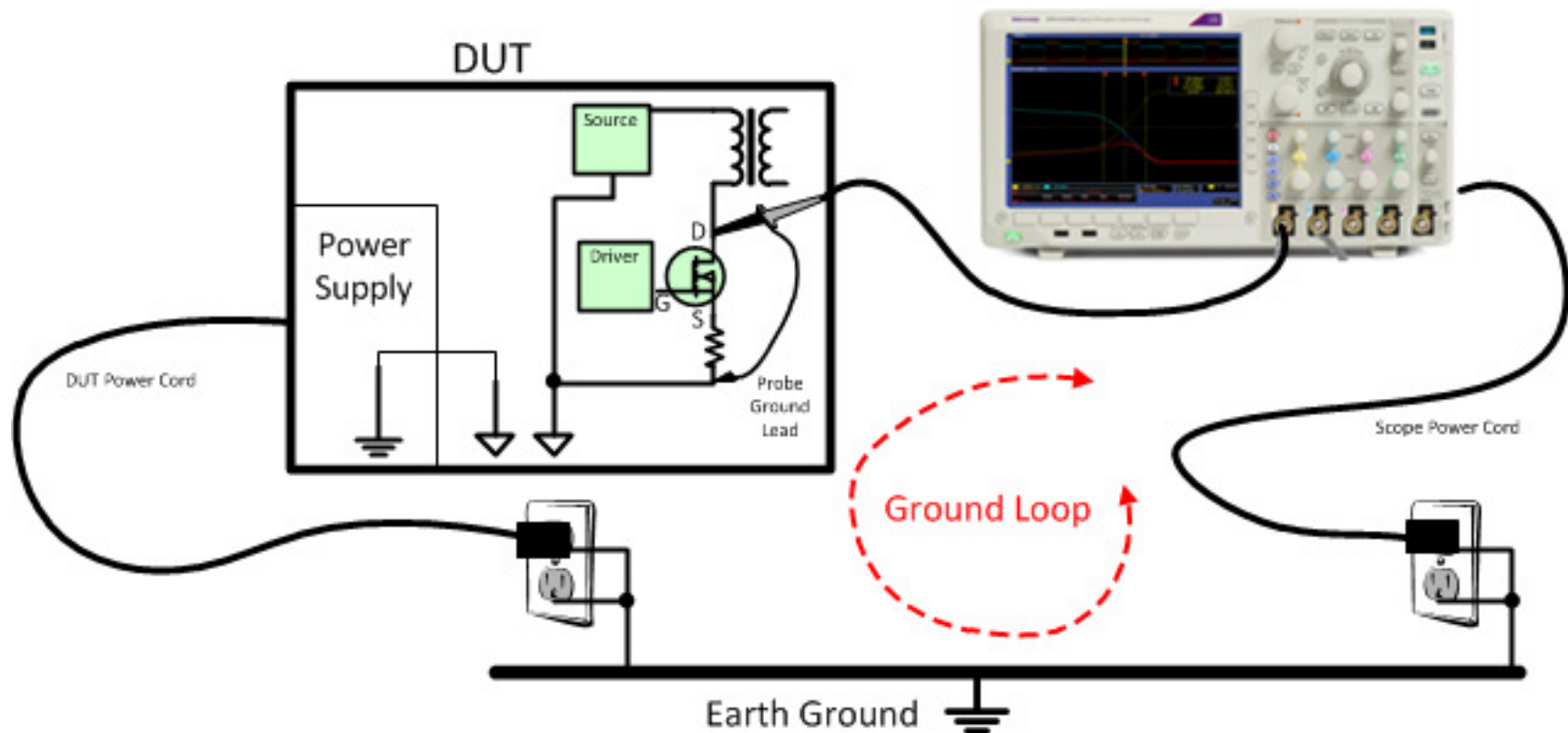
安全なフローティング測定の方法

- 高電圧差動プローブによるフローティング測定



グラウンドはどのような時にグラウンドでなくなるのか？

- グラウンド・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・グラウンドに接続
- プローブのグラウンドは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



	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
入カインピーダンス	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



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 M Ω < 1 pF	1 M Ω < 1 pF	1 M Ω < 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

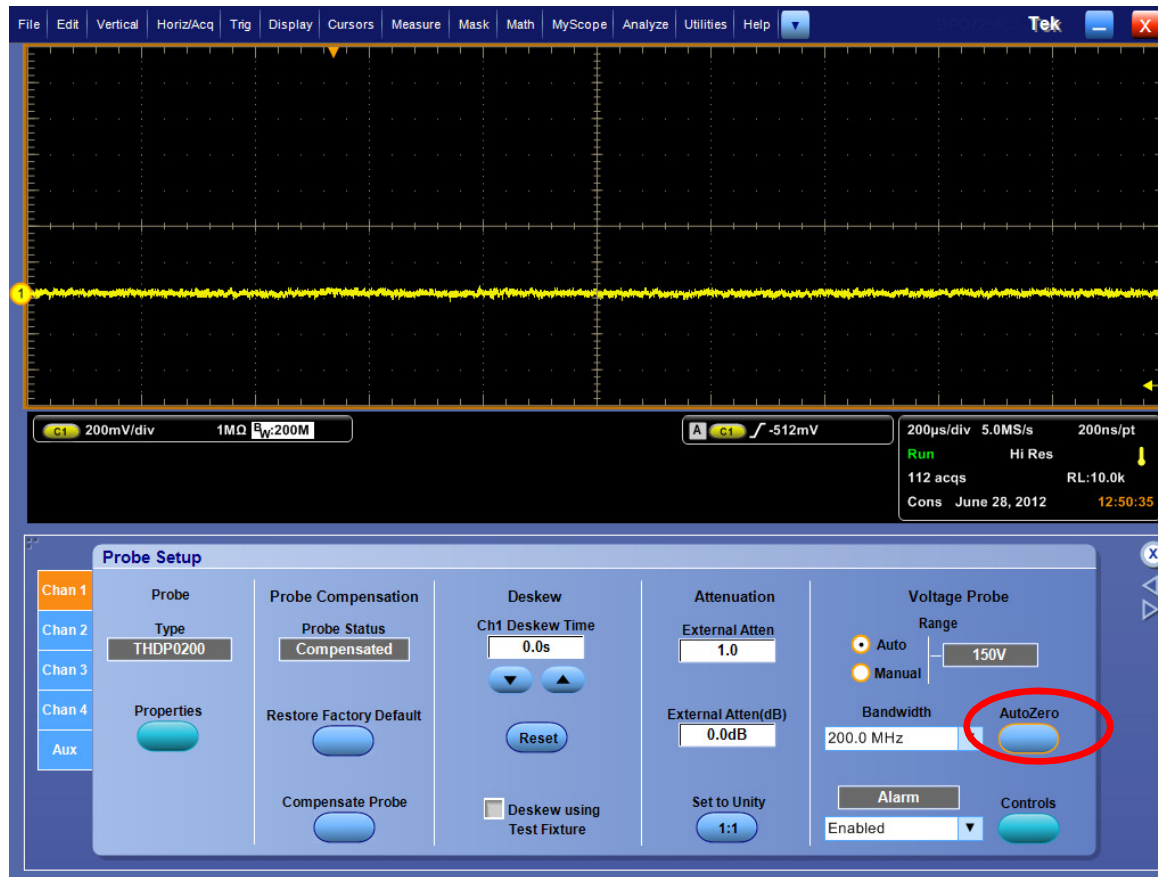
- 高電圧差動プローブのゼロ調整手順
 - プローブのプラス入力とマイナス入力を接続(ショートさせる)
 - 調整用ドライバ(マイナス)を使用し、波形の平均値がほぼ0Vになるように調整



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

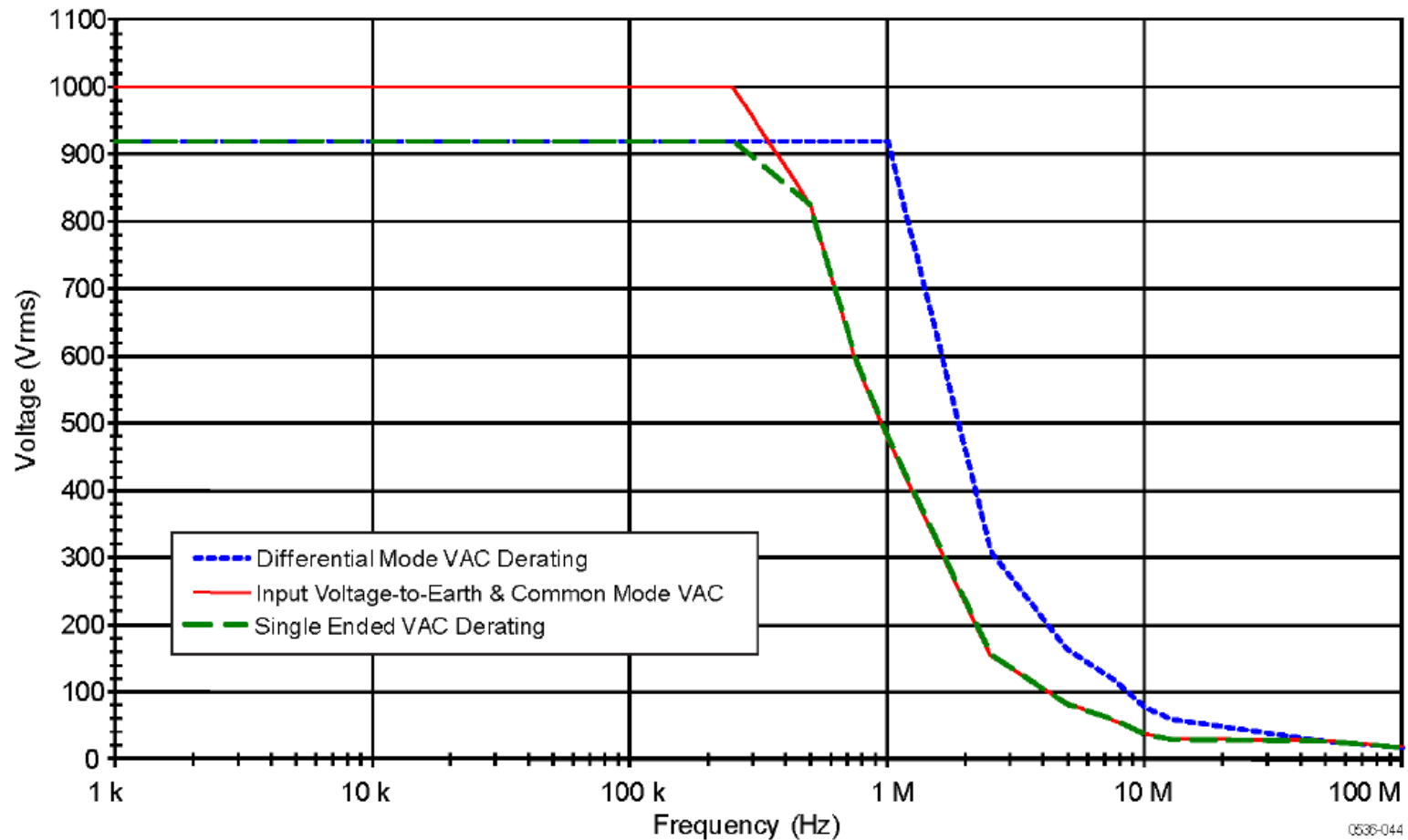
THDP0200型の0V調整



- 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

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)

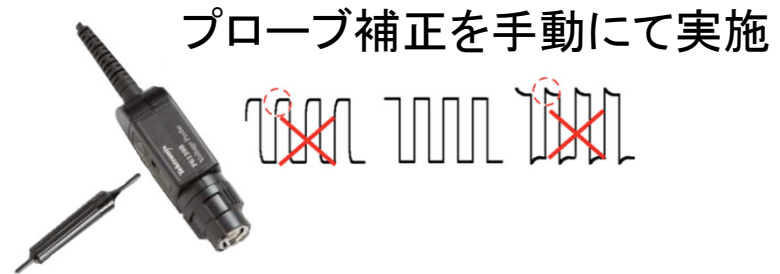
ハード・キー付きTekVPIは、MSO/DPO5000シリーズおよびMSO/DPO4000Bシリーズ、MDO4000シリーズ専用



プローブ補正/プローブ校正 (1)

- 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

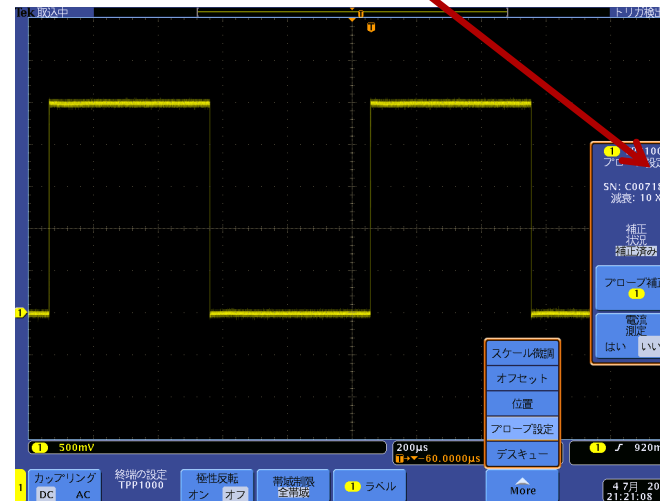


- プローブ補正の自動調整



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)



▲写真2 プローブ補正の例

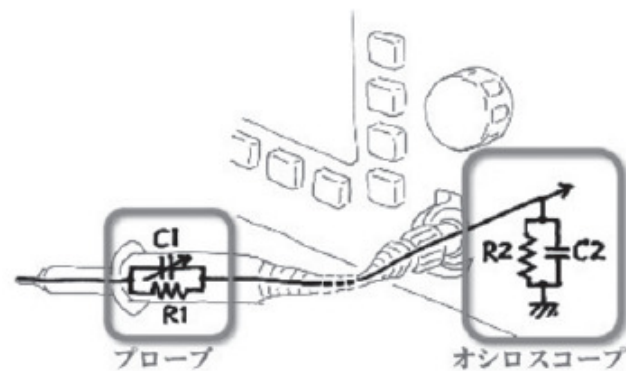


図5 受動プローブとオシロスコープの等価回路

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

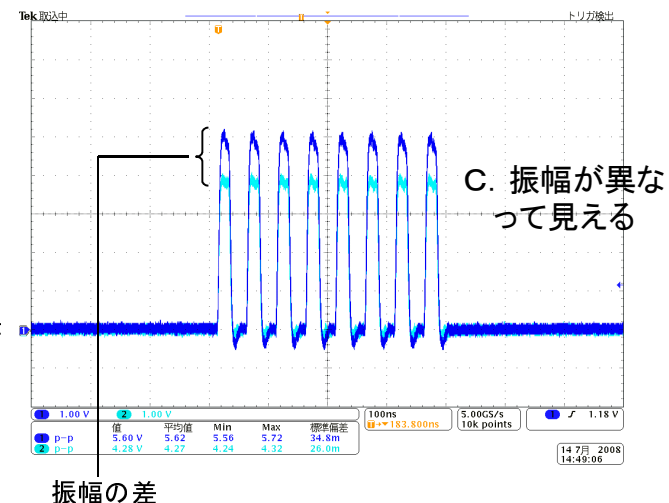
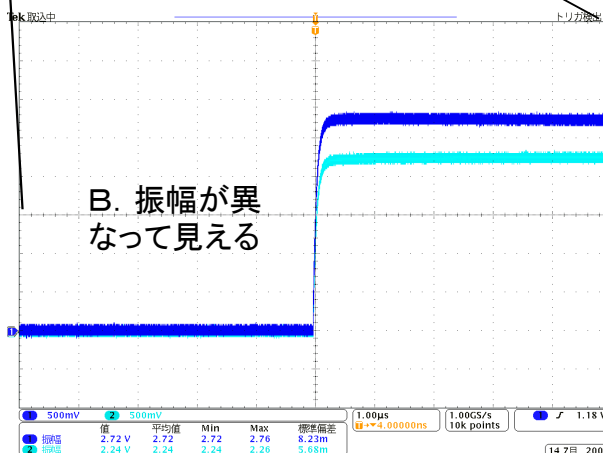
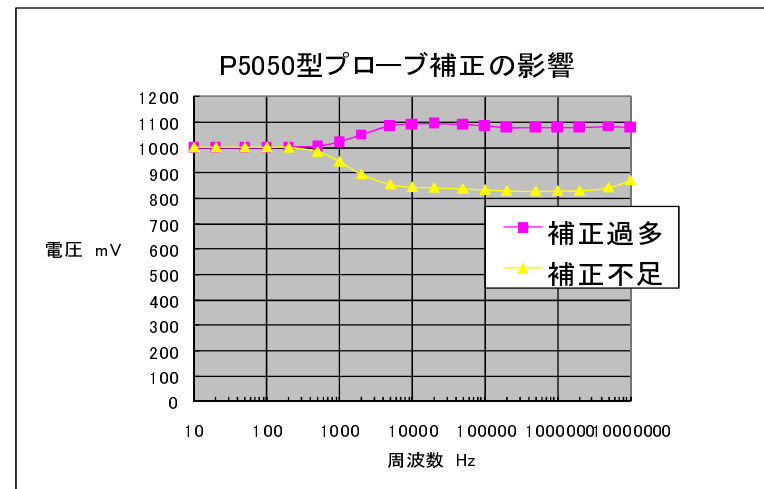
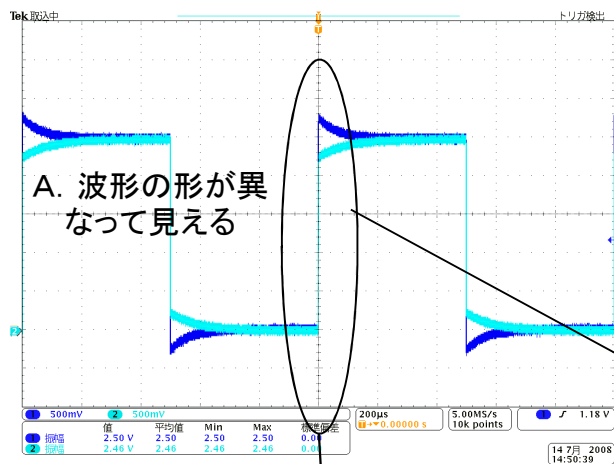
▲式1 平坦な周波数特性を得る条件

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)

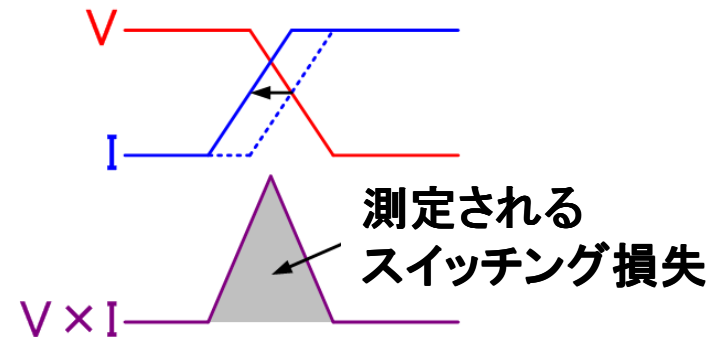
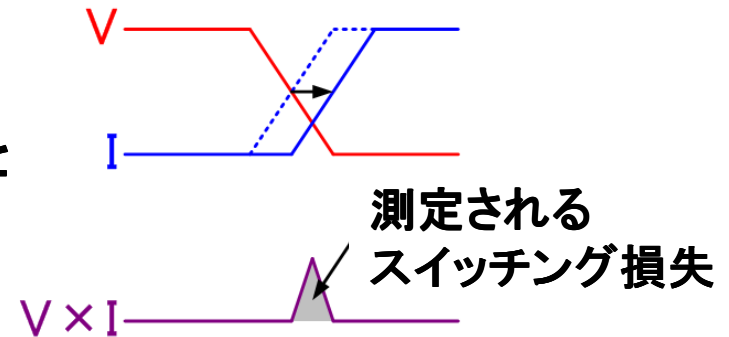
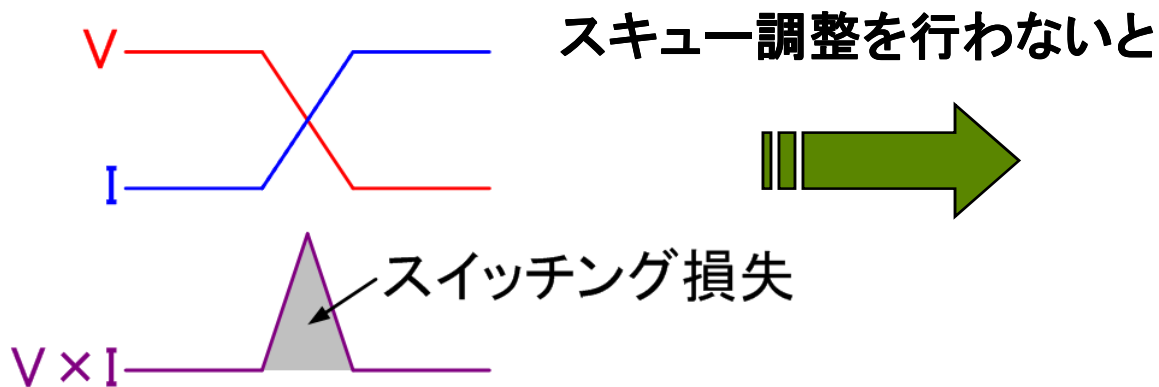
プローブ補正はスイッチング損失測定に影響

- 受動プローブの補正がずれている場合の周波数特性
- 補正しないプローブによる誤差



② プローブ・デスキューの重要性

- プロ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
 - 使用する倍率設定で調整



Tek-DPG型
Deskew Pulse
Generator



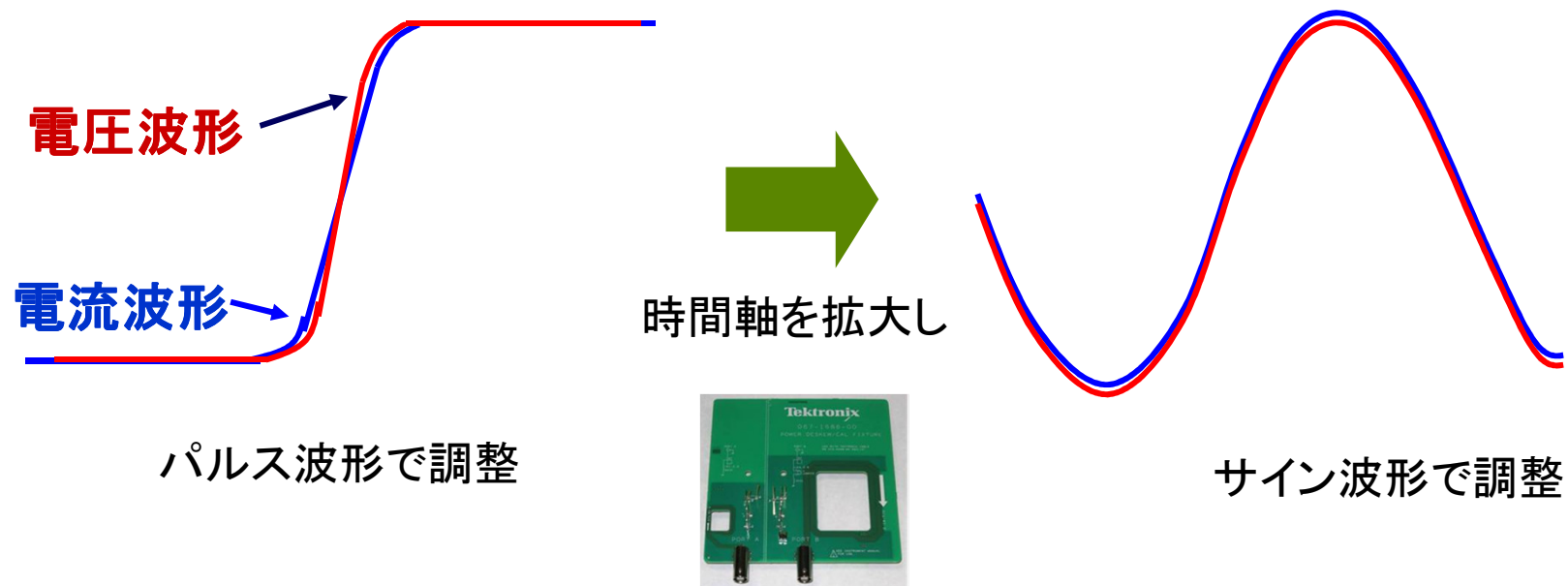
Deskew
Fixture
(067-1686-00)

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

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)



電流プローブの新製品



	TCP202A型	TCP0020型	TCP2020型
周波数帯域	DC~50 MHz	DC~50 MHz	DC~50 MHz
立ち上がり時間	≤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属)



電流プローブ



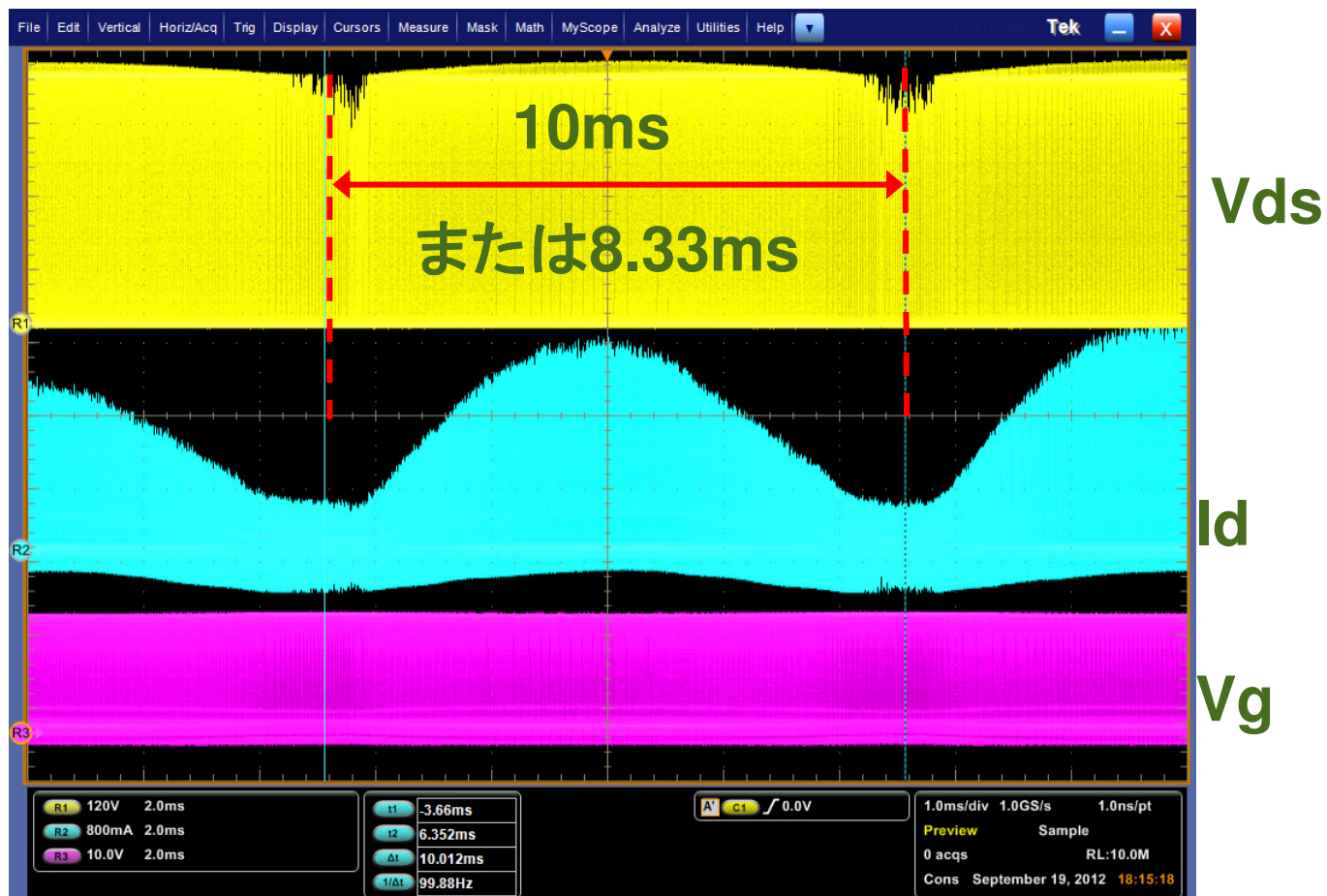
	TCP0030A型	TCP0150型	TCP404XL型
周波数帯域	DC~120 MHz	DC~20 MHz	DC~2 MHz
立ち上り時間	≤2.92 ns	≤17.5 ns	≤175 ns
最大測定可能連続電流	30 A _{RMS} @ 30Aレンジ 5 A _{RMS} @ 5Aレンジ	150 A _{RMS} @ 150Aレンジ 25 A _{RMS} @ 25Aレンジ	500 A _{RMS} (非連続: 750 A _{DC})
最大ピーク・パルス電流	50 A @ 30Aレンジ	500 A @ 150Aレンジ	750 A
最大電流時間積	500Aμs @ 30Aレンジ	15000Aμs @ 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。



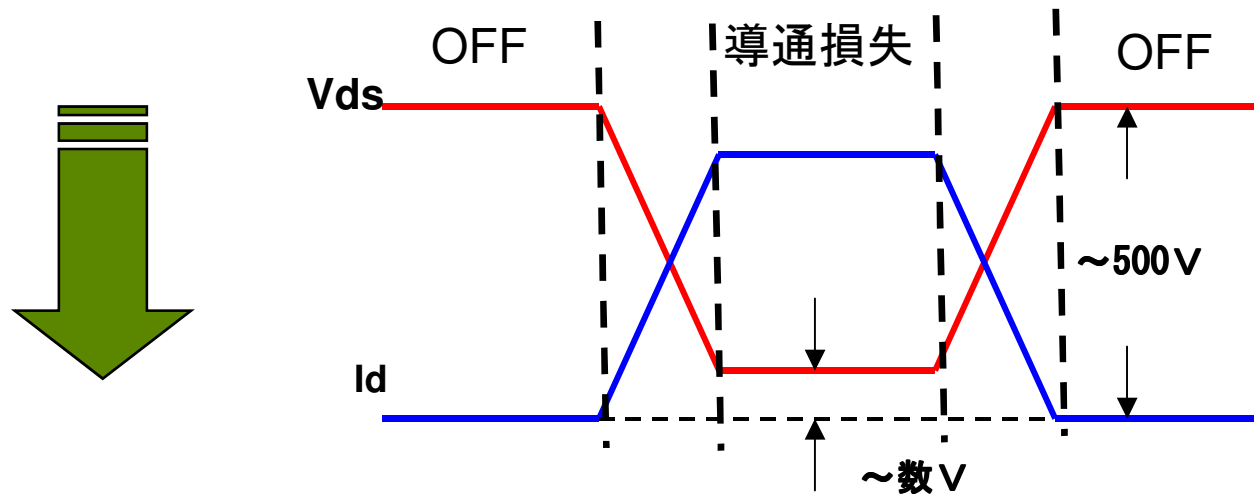
③ PFC付きスイッチング電源評価

- 高速サンプル・レートとロング・レコード長が必要
 - 商用電源周期分の波形データの捕捉と解析



④ 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



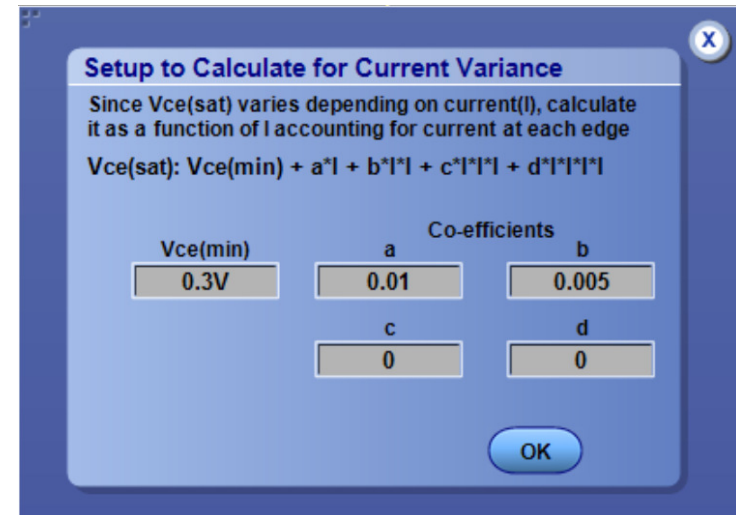
- ON抵抗 (R_{ds}) より $I_d^2 \times R_{ds}$ にて測定
- IGBTでは V_{ce-sat} を一定値として使用

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(DPOPOPWR)

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⇒DPOPOPWR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))



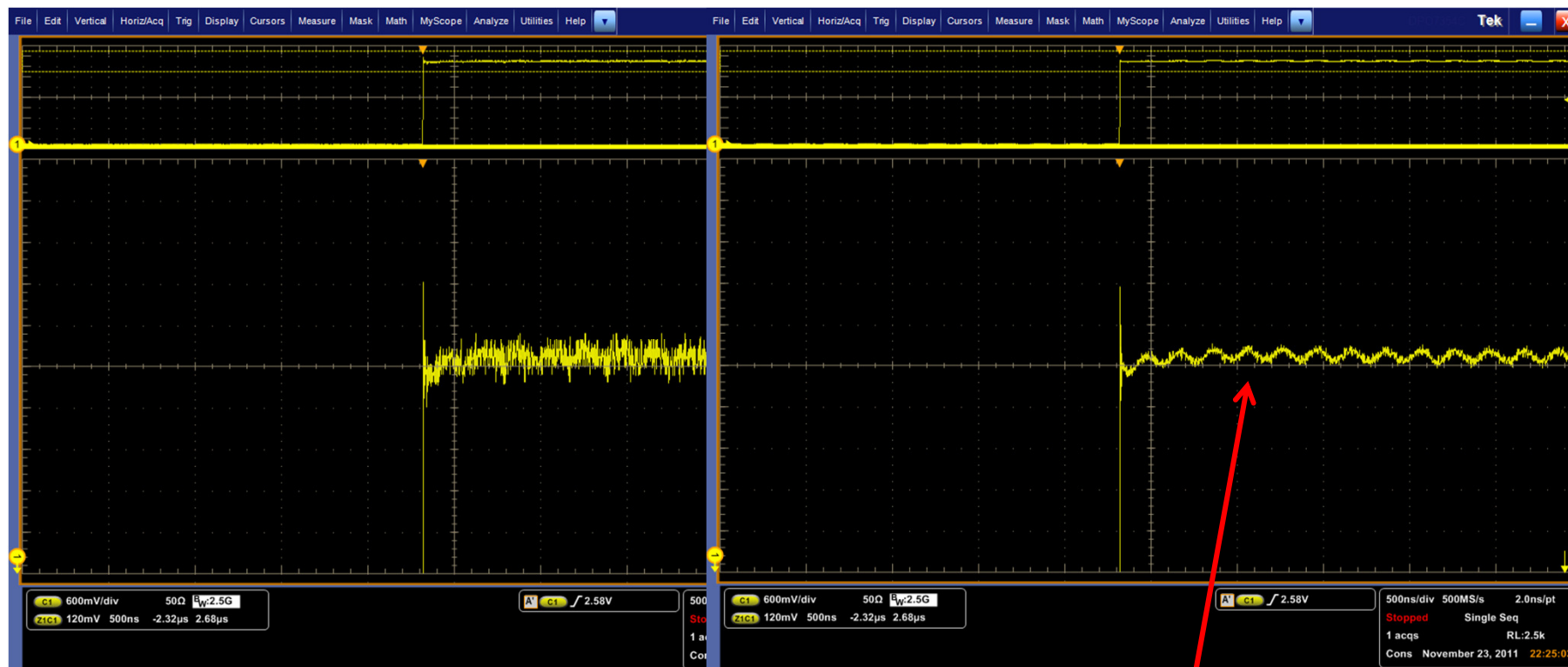
Turn on、Turn off、
Total Avg損失を自動測定

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

参考：オシロの取込みモード

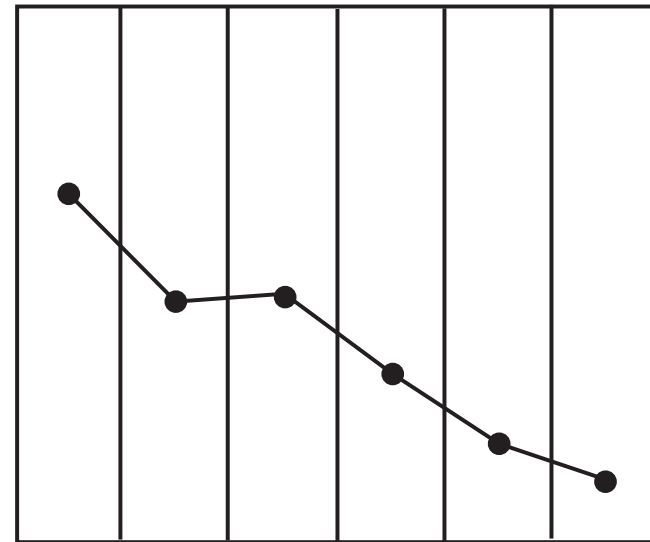
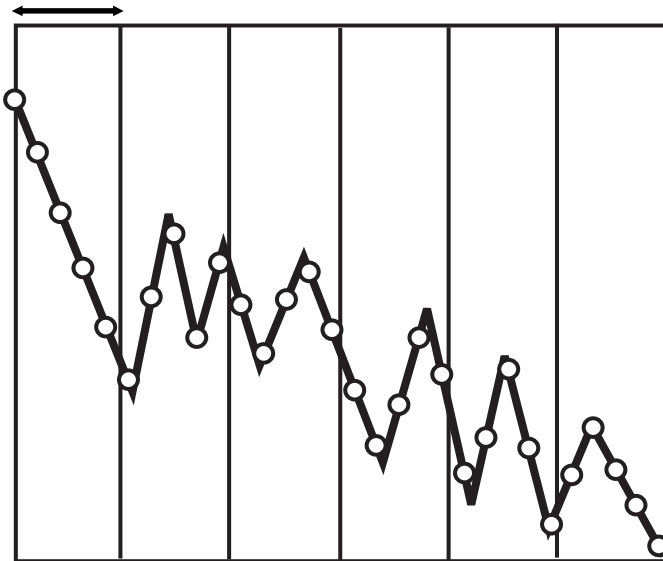
ハイレゾ・モードはどのような処理をしているの？

● 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。

サンプル・インターバル



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

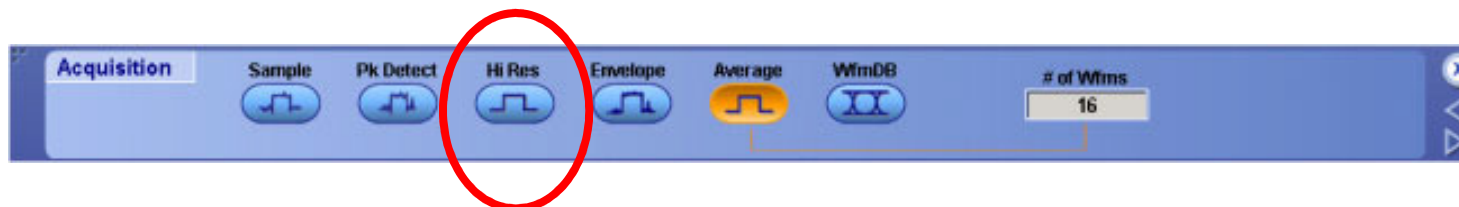
- SOA解析、磁気コンポーネント測定、スイッチング損失測定に効果的
- 処理結果を直接メモリに保存するため、レコード長を有効使用
- 1sec/divなどの遅い時間軸、ロール・モードでも使用可能

参考：ハイレゾ・モードによる垂直軸分解能の向上

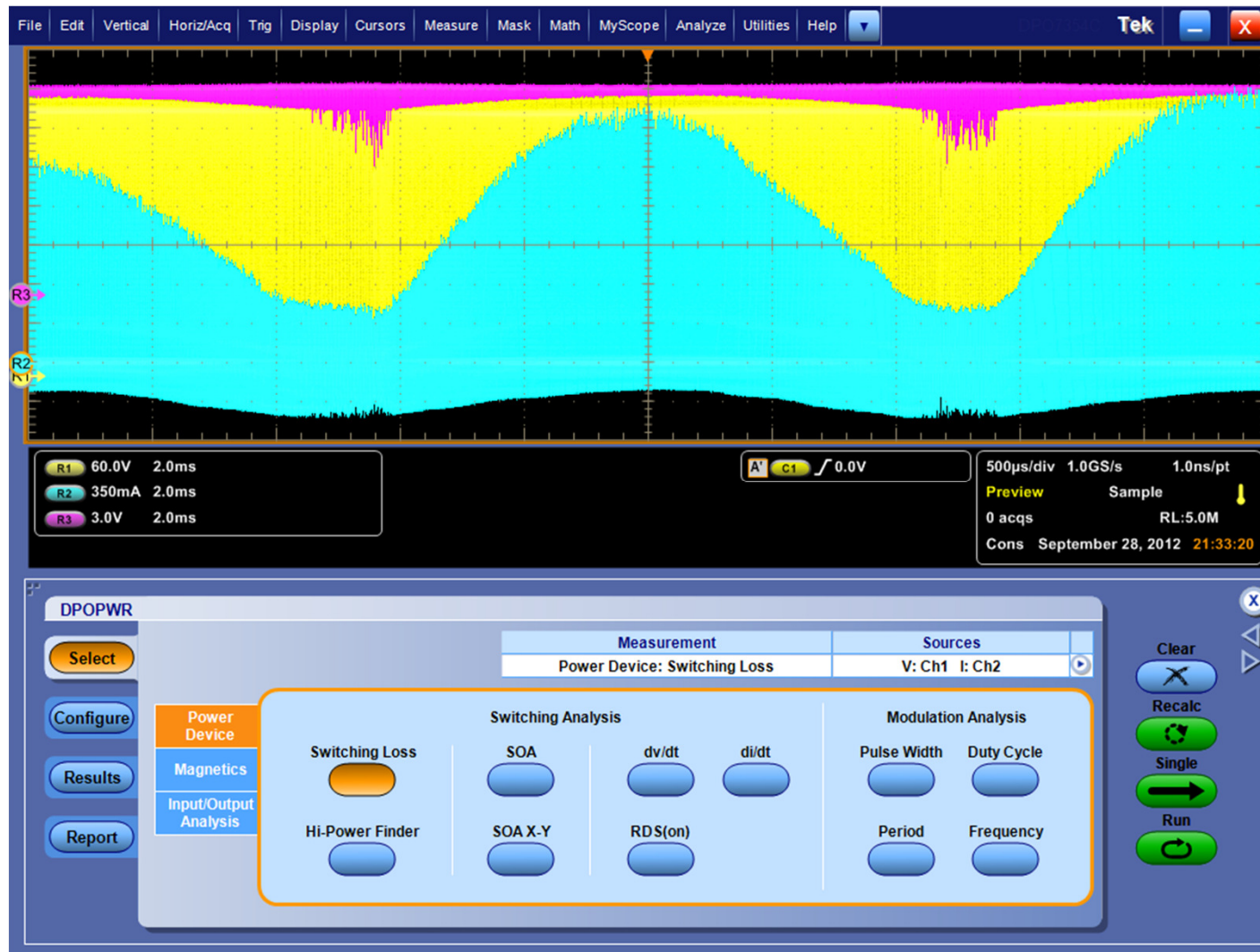
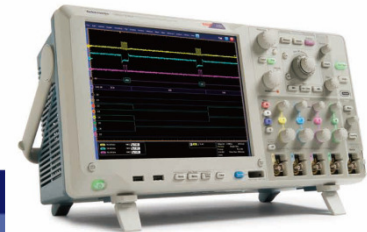
- ハイレゾ・モードの表示ビット分解能 = $8 + 0.5 \times \log_2 N$
N = (内部最高サンプル・レート ÷ 設定サンプル・レート)
- 2 byte メモリ(16ビット)の内、1ビットはサイン・ビットであるため、計算上は15ビットまで増えるが、まるめ誤差などを考慮すると、最高13ビット相当まで改善可能
- 周波数帯域 = $0.44 \times$ 設定サンプル・レート に制限

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

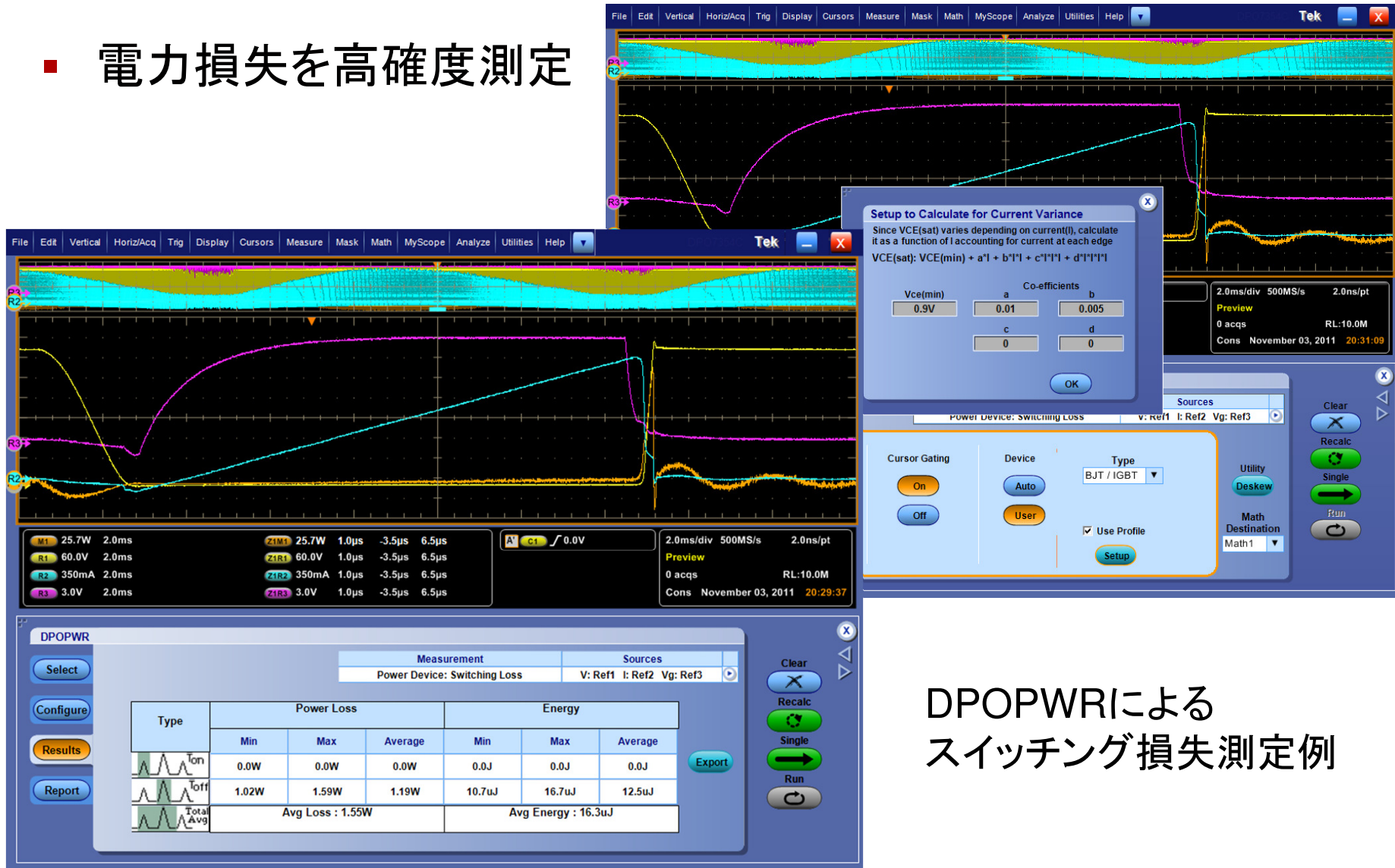


3. パワー解析ソフトウェアによる測定例 DPOPOPWRによる測定



VCE(sat)、RDS(on)を電流の関数式で定義

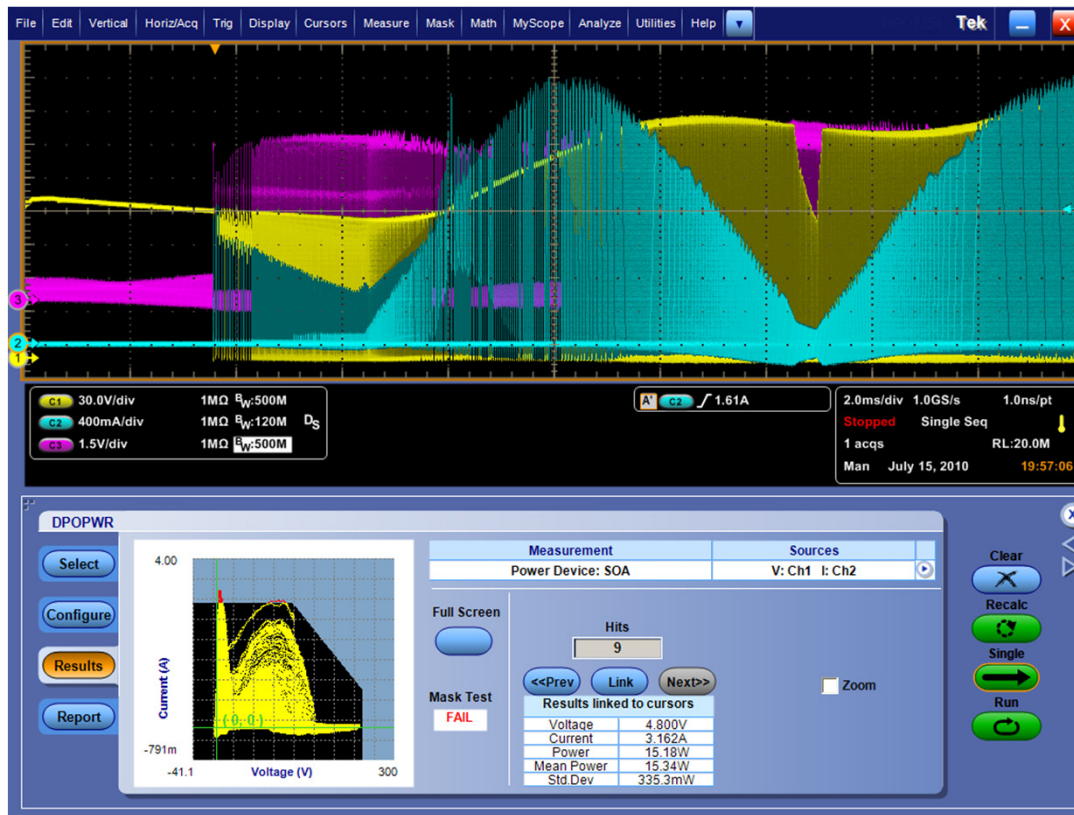
- 電力損失を高確度測定



DPOPWRによる
スイッチング損失測定例

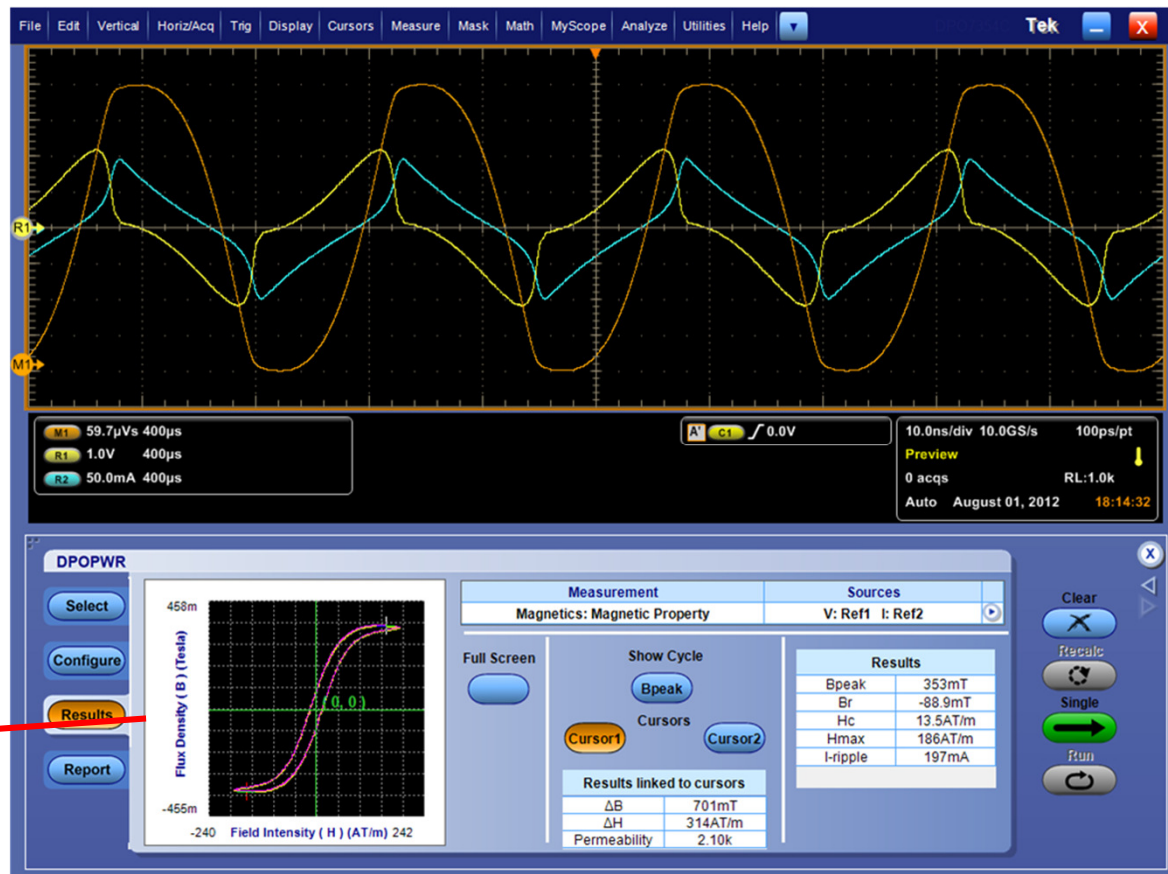
安全動作領域 (SOA) の評価

- Vds、IdをXY表示
- SOAマスク・テスト
- SOAプロットと時間軸波形の自動リンクにより違反波形を特定



磁気コンポーネントのB-H解析 (DPOPWR)

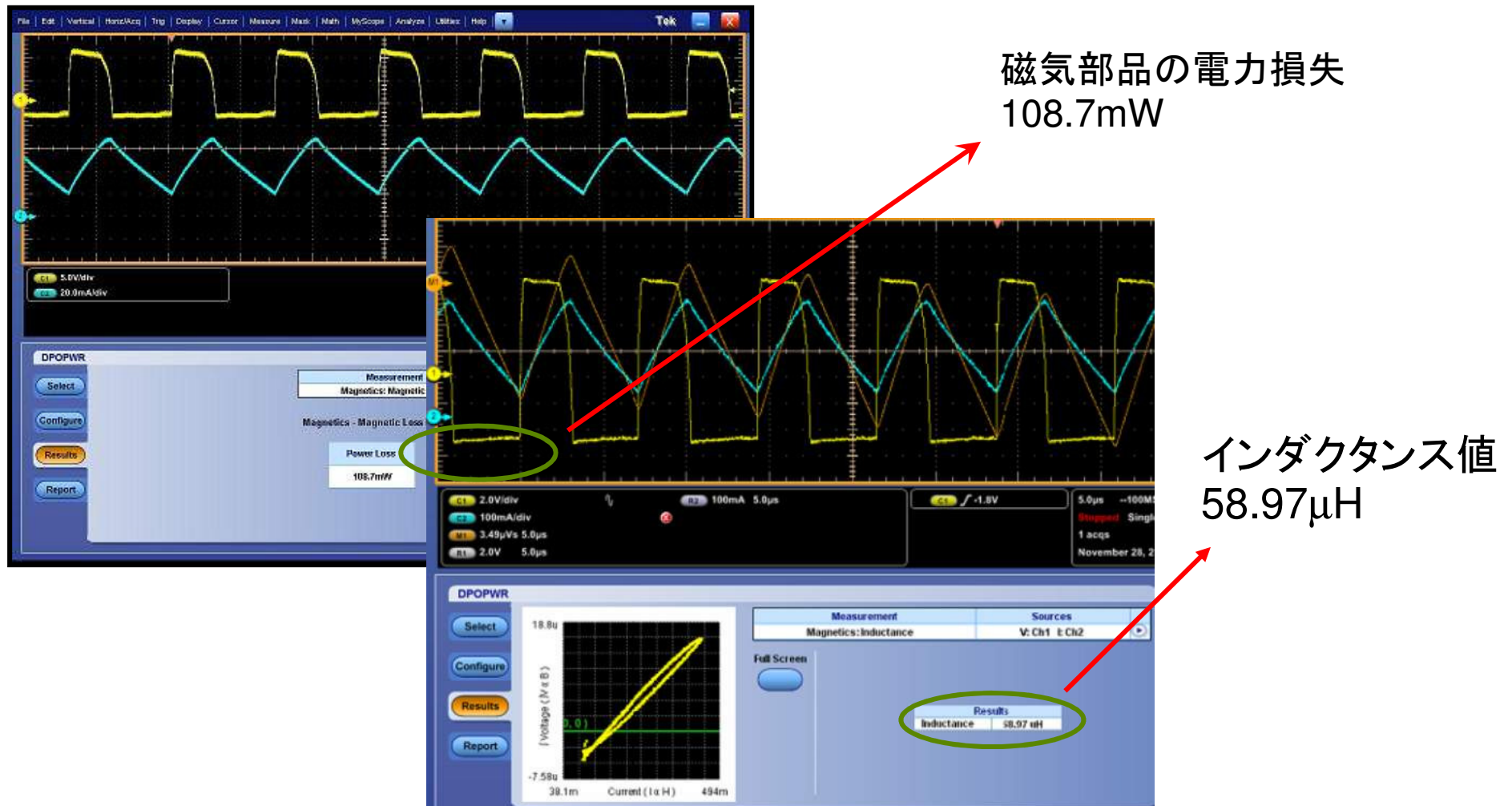
- B-H ヒステリシス・カーブの表示、解析
- 磁気パラメータ測定
 - 透磁率
 - 残留磁束密度
 - 最大磁束密度
 - 最大磁界強度
 - 保磁力
- マグネティック損失
- インダクタンス値



B-H ヒステリシス・カーブ

磁気コンポーネントの電力損失測定例

- 動作している周波数、電流、電圧条件での電力損失、インダクタンス値



磁気コンポーネントの電力損失

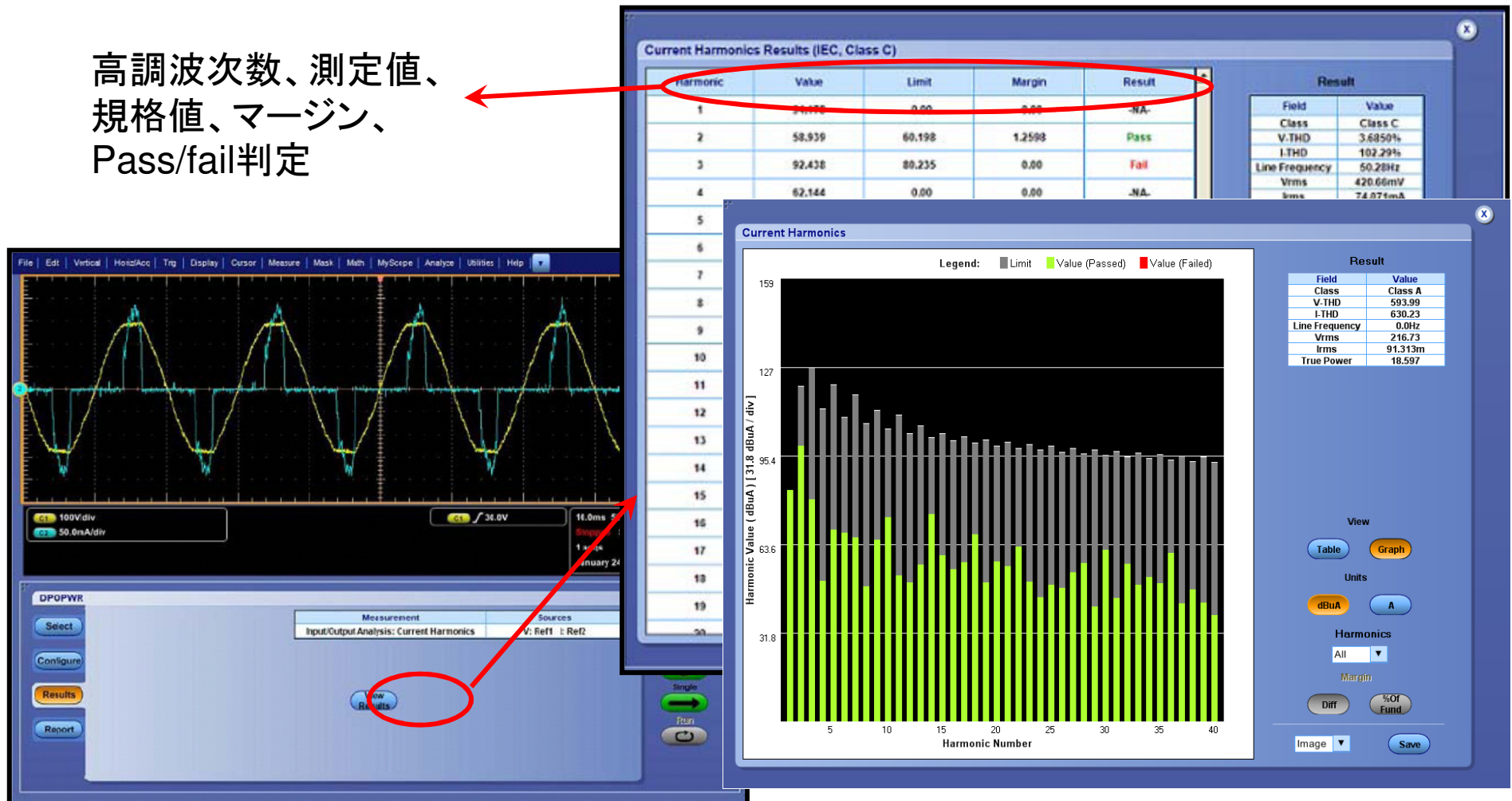
- 鉄損
 - ヒステリシス損
 - 周波数に比例して増加
 - 渦電流損
 - 周波数の2乗に比例して増加
- 銅損
 - 抵抗損
 - リッツ線の隣接効果
 - 漏れ磁束による導体内渦電流損

DPOPWRでは、トータルのマグネティック電力損(鉄損+銅損)を測定

電流高調波の規格測定 (DPOPWR)

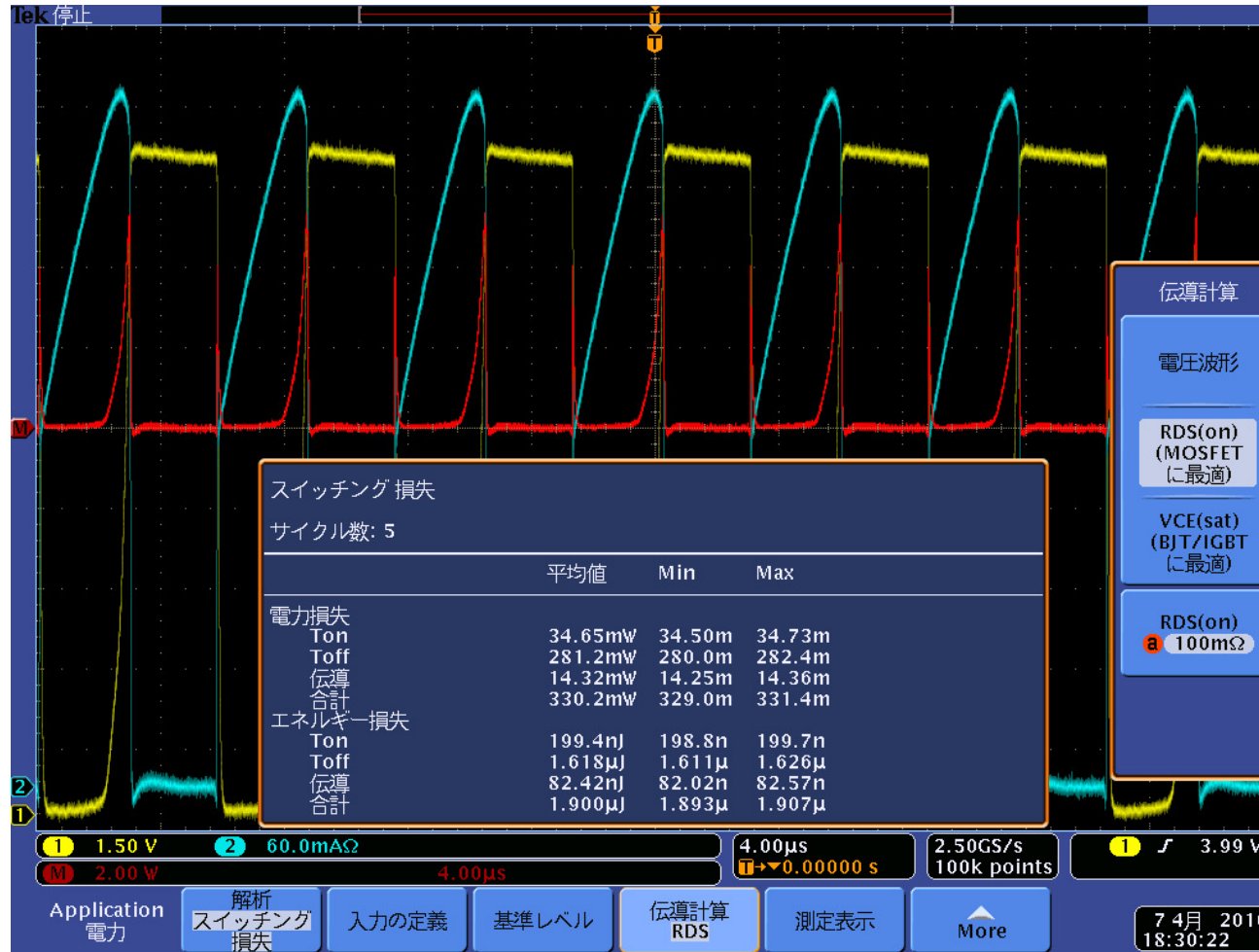
- IEC-EN61000-3-2、Amd14、MIL1399規格に対応

高調波次数、測定値、
規格値、マージン、
Pass/fail判定



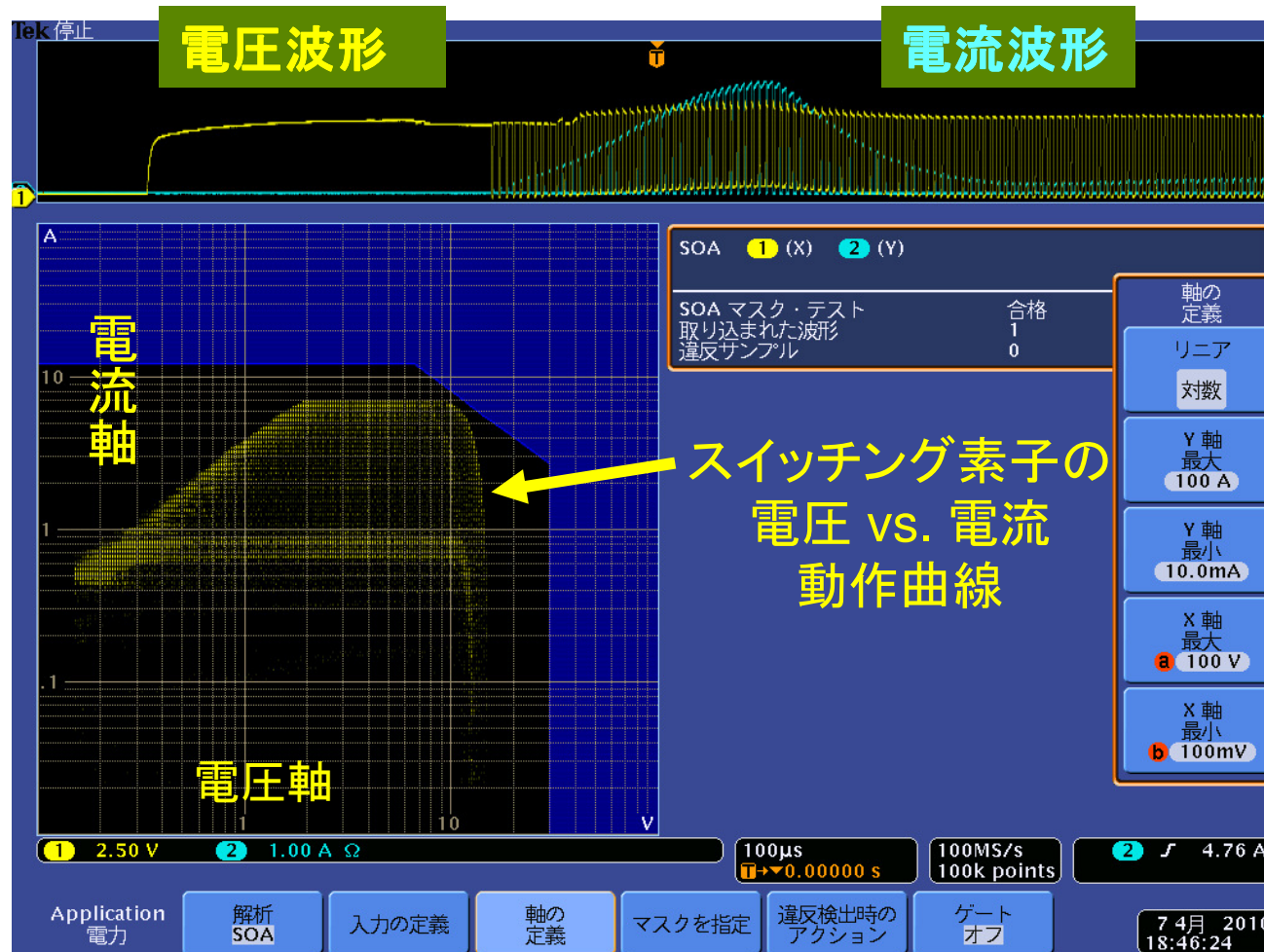
参考：DPO/MSO/MDO4000シリーズによる測定例 1

- DPO4PWRによるスイッチング・ロスの自動測定



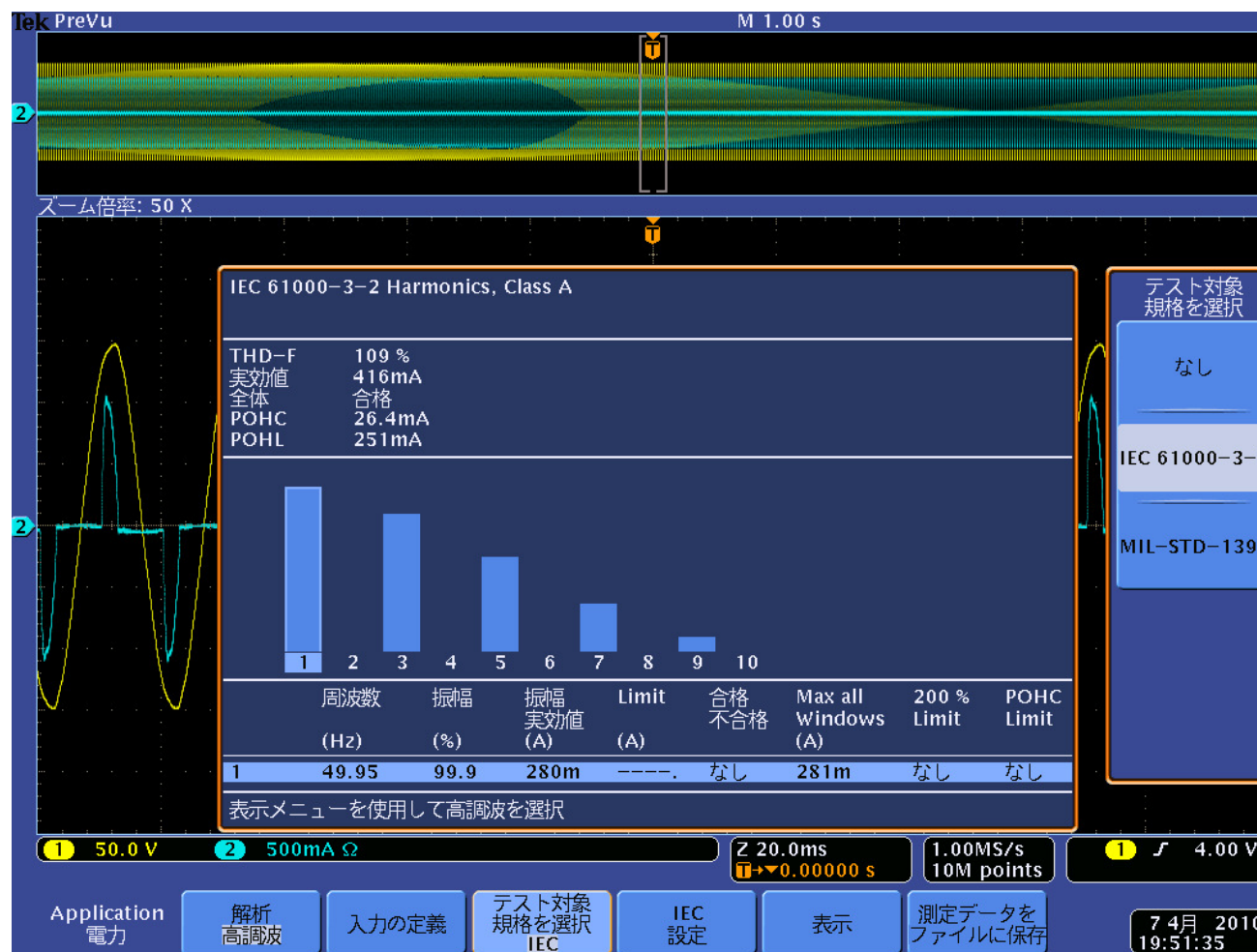
参考：DPO/MSO/MDO4000シリーズによる測定例 2

- DPO4PWRによるSOAの評価



参考：DPO/MSO/MDO4000シリーズによる測定例 3

- DPO4PWRによる電流高調波テスト(グラフ表示)



4. 電流プローブの性能と使いこなし

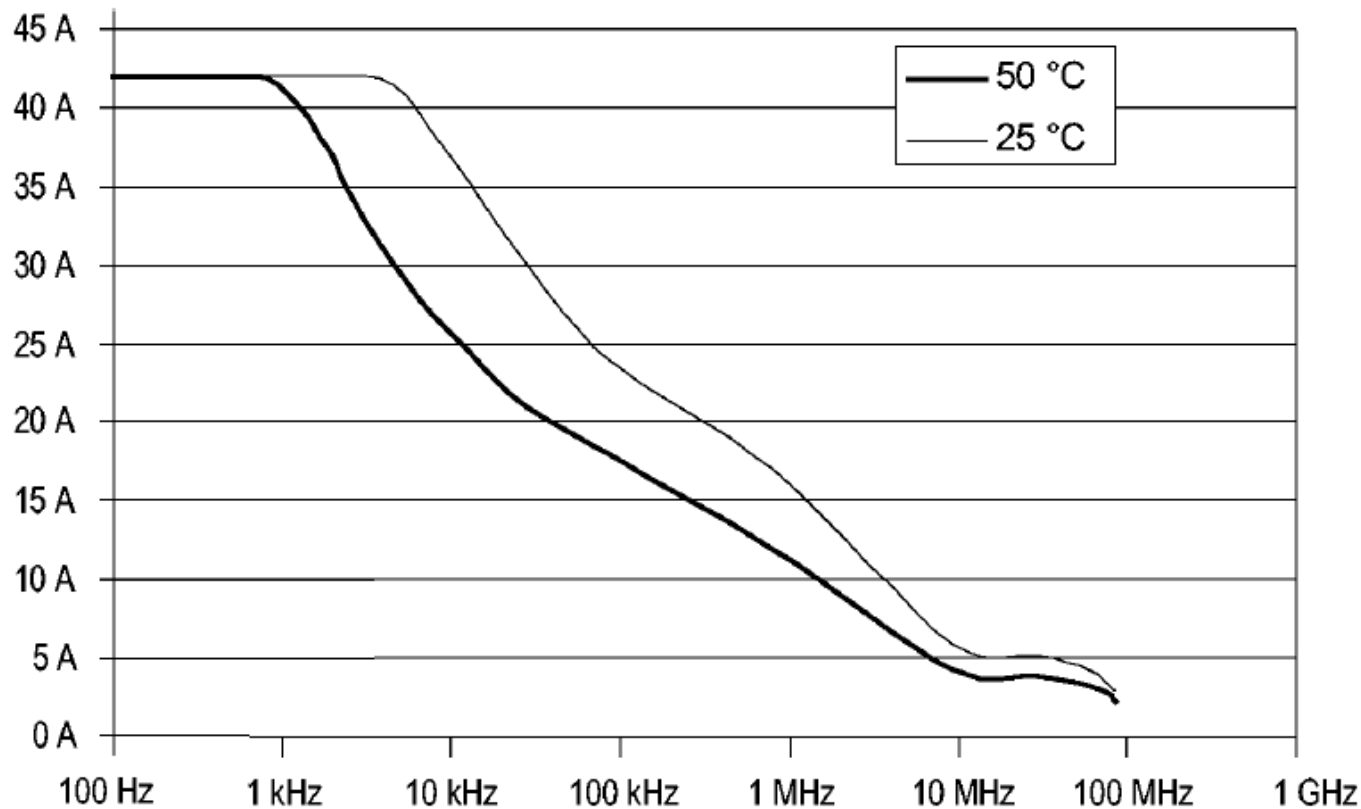
電流プローブの電流制限

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 – 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

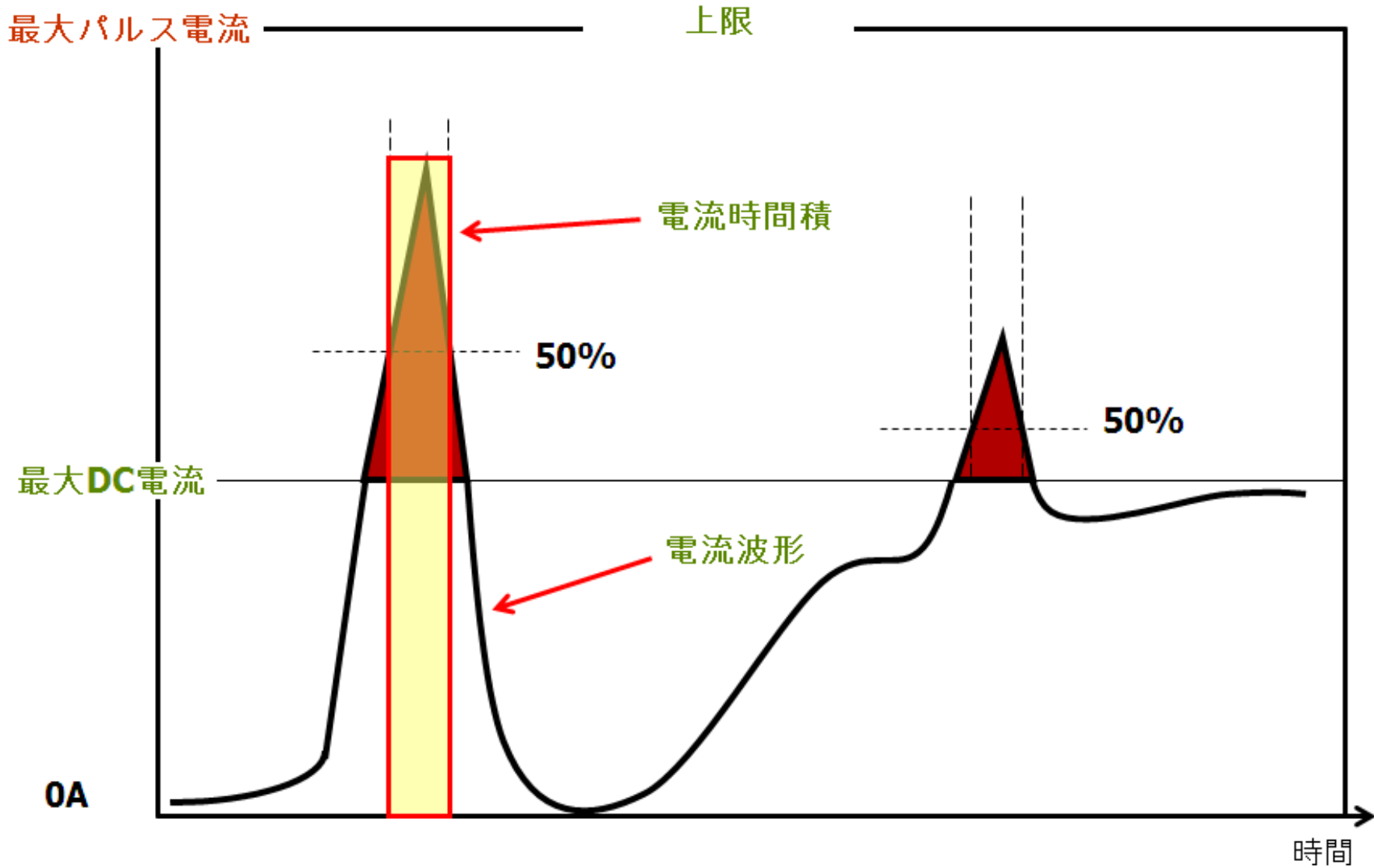
電流プローブのディレーティング・カーブ

- 周波数が高くなると測定可能電流は小さくなる



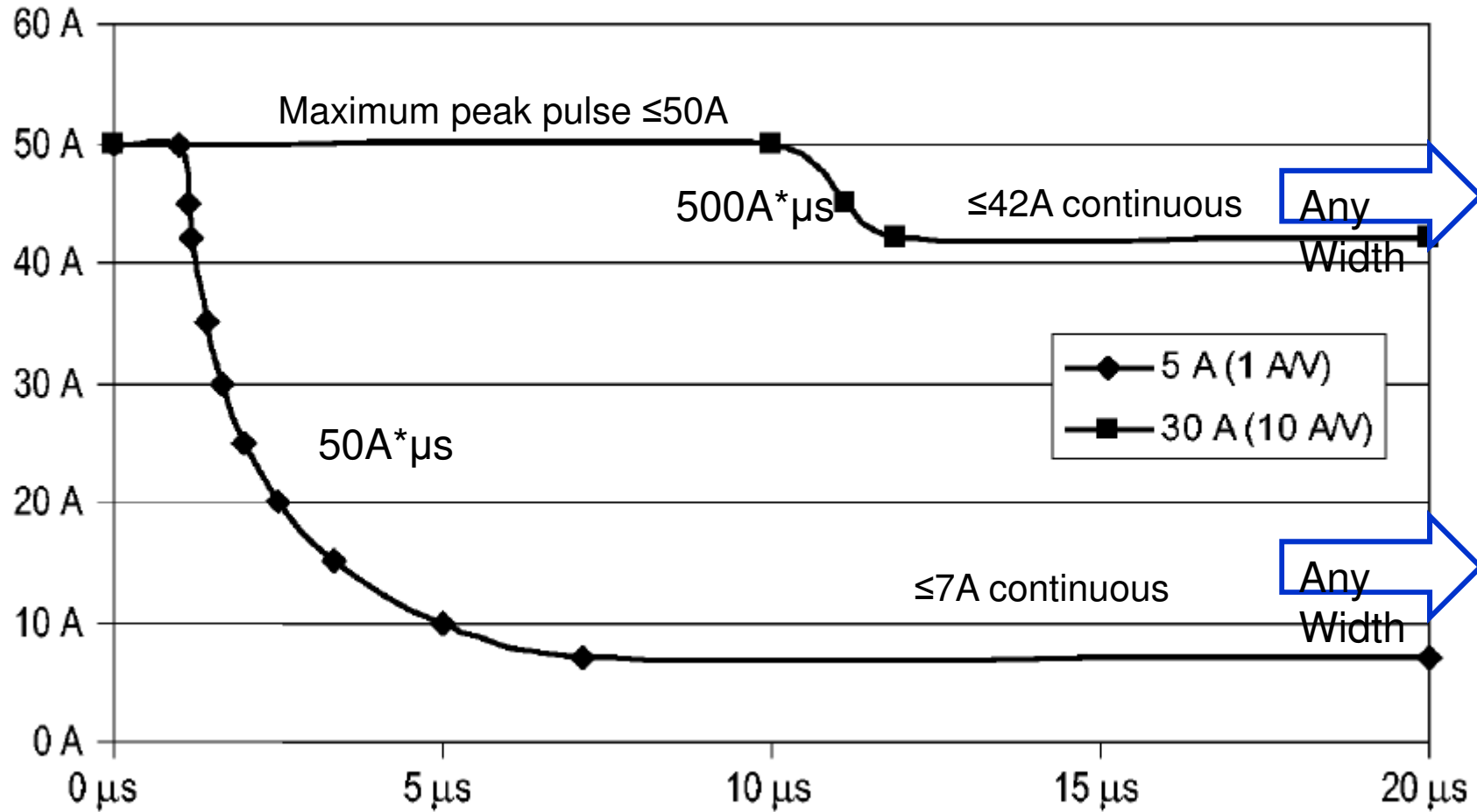
TCP0030型のディレーティング・カーブ

電流プローブの測定限界(電流時間積)



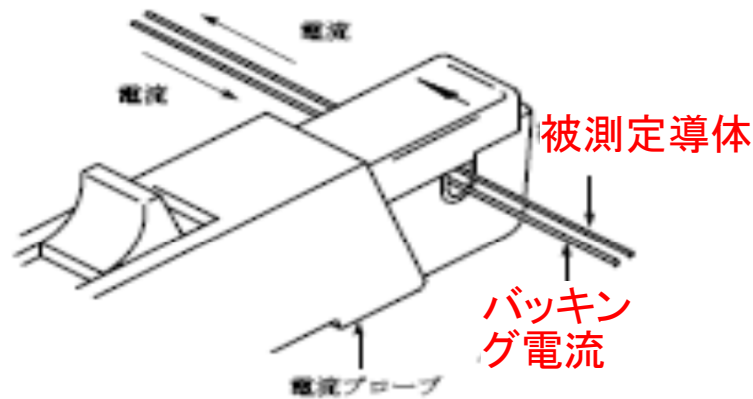
電流プローブの測定限界 ~ パルス幅とピーク電流

TCP0030型の最大パルス電流とパルス幅

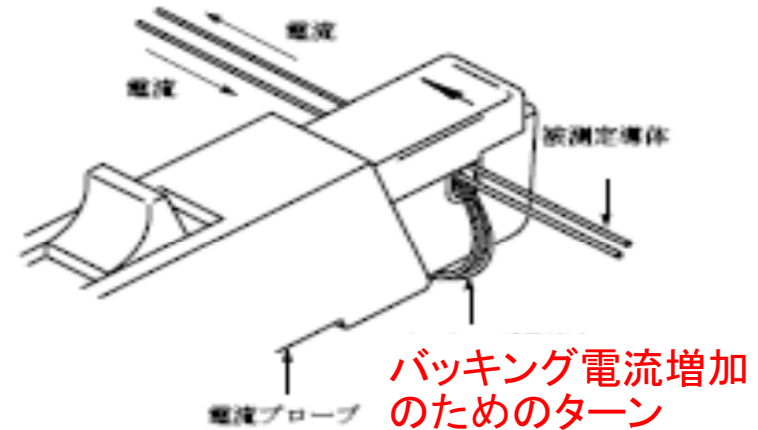


電流プローブの測定レンジの拡張

■ DC範囲の拡大



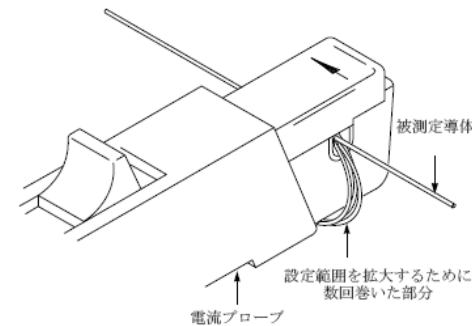
(1) オフセット(バックニング)電流の追加



(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
- 20ターン巻くと50 μ A/div
(TCP0030型の場合)



感度を拡大するためのターン

電流プローブの性能と使いこなし

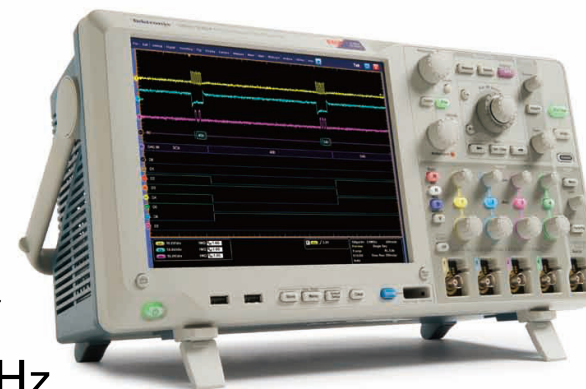
■ 電流プローブ使用時の注意点

- 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：パワー解析用推奨構成 — 1

オシロスコープ

- MSO/DPO5000シリーズ+パワー計測パッケージ
 - 周波数帯域： 350MHz、500MHz、1GHz、2GHz
 - 最高サンプル・レート： 4ch同時 5GS/s
 - レコード長： 4ch同時 12.5M、2ch同時 25M（標準）
（オプションで 4ch同時 125M、2ch同時 250M）
 - パワー解析パッケージ Opt.PS2
 - ・ DPOPWR パワー解析ソフトウェア (Opt.PWR)
 - ・ TCP0030A型 電流プローブ (30Arms 120MHz)
 - ・ THDP0200型 高電圧差動プローブ (1500V 200MHz)
 - ・ デスキュ・フィクスチャ (067-1686-xx)



PFC付き電源解析用途の場合は

- THDP0200型 × 1本を追加（合計2本）
 - ゲート信号へのプロービング用



参考：パワー解析用推奨構成 ー 2

オシロスコープ

- MDO/DPO/MSO4000シリーズ + DPO4PWR
 - 周波数帯域：350MHz、500MHz、1GHz
 - 最高サンプル・レート：5GS/s
 - レコード長：4ch同時 20M
 - パワー解析モジュール DPO4PWR



電流プローブ

- TCP0030A型 × 1本
 - 最大電流：30Arms 波数帯域：DC～120MHz

高電圧差動プローブ

- THDP0200型 × 2本
 - 耐圧：差動1500V、対地1000Vrms
 - 周波数帯域：200MHz



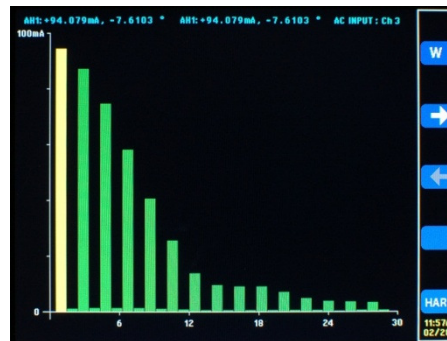
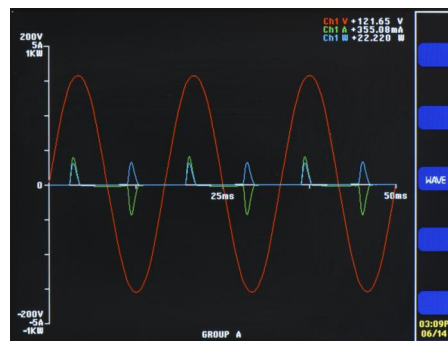
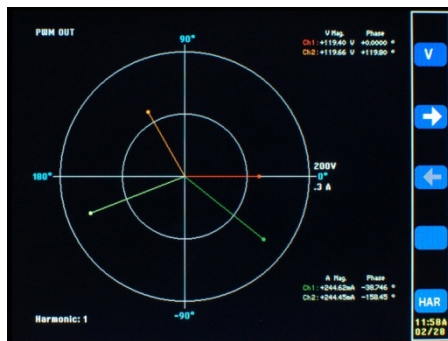
デスクュ・フィクスチャ

- デスクュ・フィクスチャ(067-1686-xx)、TEK-DPG型(ジェネレータ)

高確度パワー・アナライザ PA4000型



- 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カバー
 - 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、单相、DCの変換効率測定



Ch1	PWM OUT	Sum	AC INPUT
Batt	22.755 W	3.5988 W	26.354 W
Vrms	138.85 V	139.03 V	138.94 V
Arms	241.63 mA	241.03 mA	371.33 mA
VA	33.551 VA	33.569 VA	89.364 VA
Var	24.654 VA	33.375 VA	85.389 VA
Freq	26.449 Hz	26.449 Hz	43.356 VA
PF	0.6782	0.1072	0.2949
Vcl	2.2337	2.2066	60.011 Hz
dcl	1.3584	1.4328	0.5502
Vlbd	1.9678 %	1.8139 %	95.403 mA
Albd	3.3732 %	2.9895 %	Alp -7.7309
			12.588 02/28

Tektronixのパワー解析ソリューションの特長

- 広帯域高電圧差動プローブ/高電圧プローブにより高効率回路に対応
 - 業界唯一 周波数帯域200MHz 1.5kV 高CMRRの高電圧差動プローブ
 - 業界唯一 2.5kV 800MHzのTPP0850型、2.5kV 500MHzのP5100A型
- 高電圧差動プローブも電流プローブもプローブ倍率を自動識別
 - オシロスコープに装着するだけで自動識別、適正な単位表示
 - 測定ミスを防止でき、安全で確実な測定が可能
- 微小電流から大電流まで、広いダイナミック・レンジをカバー
 - 広帯域かつ高感度により、確度の高い測定が可能
 - TCP0030A型:120MHz、1mA/div ~ TCP0150型:20MHz、5mA/div ~
 - 大電流プローブもアンプ内蔵でコンパクトなため、持ち運びが容易 (TCP0150型)
- スwitchング損失だけでなくSOAのマスク・テストにより、信頼性向上
- 磁気部品の電力損失測定
 - 高効率電源にとって、磁気部品の電力損失は無視できない
- 放射ノイズと時間軸波形との相関を特定 (MDO4000シリーズ)
- 高確度パワー・アナライザにより、変換効率、システム・レベルの評価に対応



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

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

 **Twitter** [@tektronix_jp](https://twitter.com/tektronix_jp)
 **Facebook** <http://www.facebook.com/tektronix.jp>

