E-2

高効率パワー・デバイスの評価

- パワー・デバイスの静特性評価と動特性評価 -

イノベーション・フォーラム 2013





宮崎 強/宮尾 豊





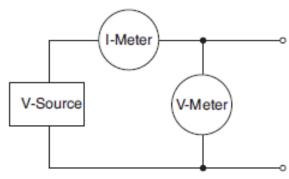
パワー・デバイス静特性評価

- SMUについて
- ケースレーSMUの特長
- 高電圧SMU使用時の注意
- テスト・フィクスチャ
- 統合ソフトウェア
- まとめ

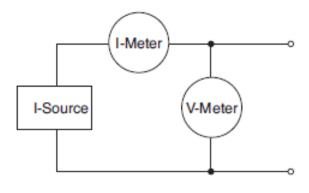




SMUとは



A. Source V



B. Source I

SMU = Source Measure Unit

電圧印加モード:

- ・電圧印加/電流コンプライアンス
- •電圧/電流測定

電流印加モード:

- ・電流印加/電圧コンプライアンス
- •電圧/電流測定

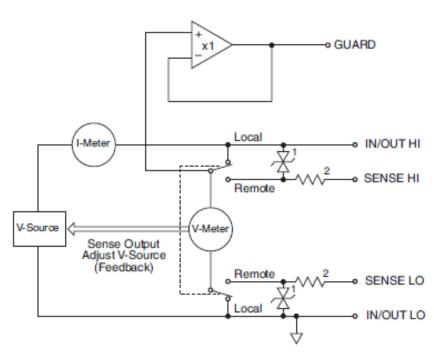
2つのA/Dコンバータ搭載により、電圧と電流を同時測定

⇒ より精密な測定が可能

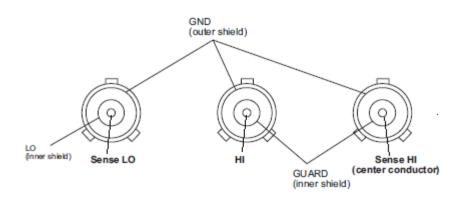




SMUのしくみ



HI、LO、センスHI、センスLO、ガード端子を用意 (ガード端子はと同電位の出力)



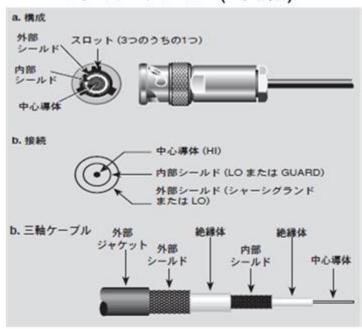
トライアキシャルコネクタの場合





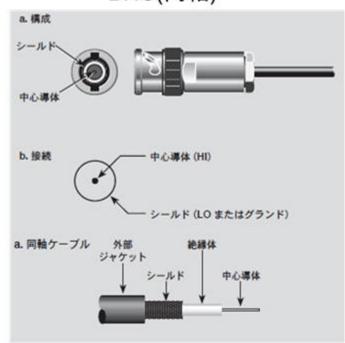
トライアキシャル・コネクタ

トライアキシャル(3同軸)



- ・微小電流測定に使用
- ·DC測定

BNC(同軸)



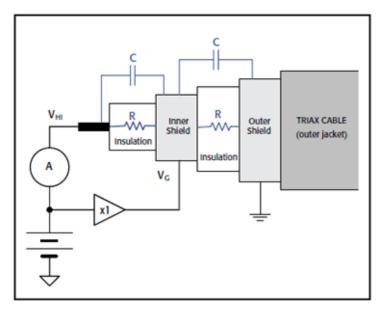
- ・芯線-シールド間の絶縁特性に応じたリーク
- ・CV、パルス測定



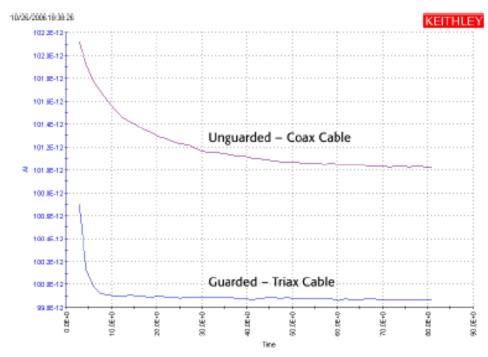


SMUの機能1: ガード

ガード機能:リーク電流を抑える



VHI=VGのため、リーク電流を除去し、Hi-内部シールド間の容量へのチャージを防ぐ



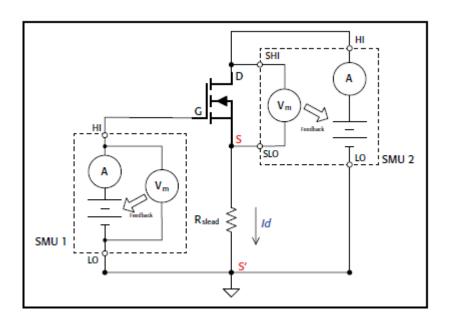
同軸ケーブルと三重同軸ケーブルのリーク電流データ

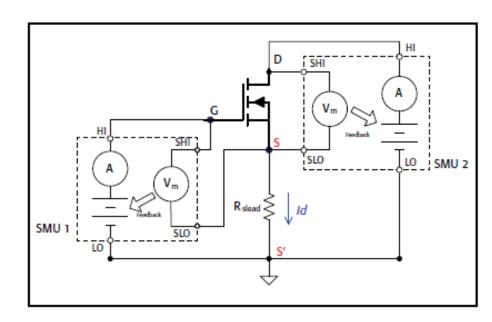




SMUの機能2: リモートセンス

- リモートセンス機能(ケルビン接続):ケーブル等の抵抗値による電圧降下を補正
 - ⇒ より正確な電圧印加/測定が可能





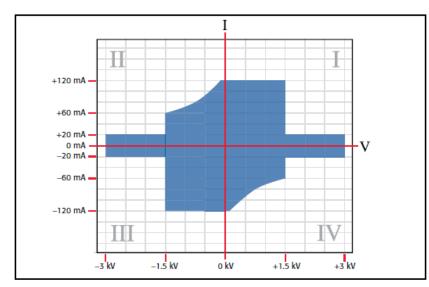
MOSFETの測定でリモートセンスを 使用しない場合(左)とする場合(右)



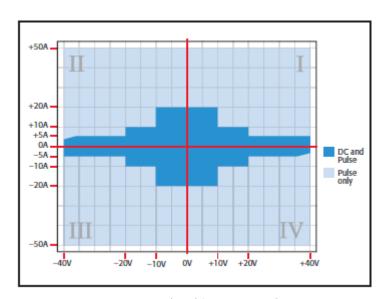


ケースレーのシステム・ソースメータ(SMU)

- 3kVの高電圧SMU(2657A型)
- 50A(パルス)の大電流SMU(2651A型)
- 40Vの標準SMU(1ch版 2601B型、2ch版2602B型)
- 200Vの標準SMU(1ch版 2611B型、2ch版2612B型)
- 200Vの微小電流測定対応SMU(1ch版 2635B型、2ch版2636B型)



3kV@20mA、1.5kV@120mAのレンジ を持つ高電圧SMUの2657A型



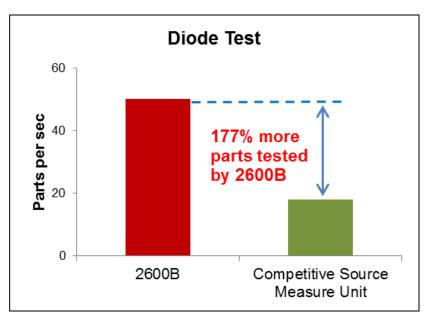
50A@40Vのレンジを持つ大電流SMUの 2657A型(2台で100Aまで対応)





TSP (テスト・スクリプト・プロセッサ)

- ・25万行以上のコード(LUA言語)を機器の内部に保存し、コンパイル/実行が可能
 - 合否判定
 - 複雑な試験の実行
 - 測定データを使った計算など(Vth他)
 - 複数チャンネルの同時制御
- ⇒ コントローラ(PC)との通信回数を最小限にし、試験時間を短縮



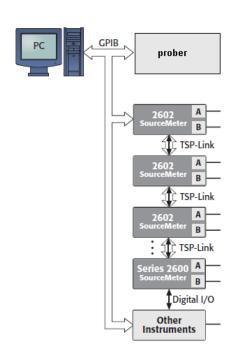
順方向電圧、リーク電流、ブレークダウン電圧の測定を繰 り返し測定した場合の結果 (1秒間に何回繰替せたか)

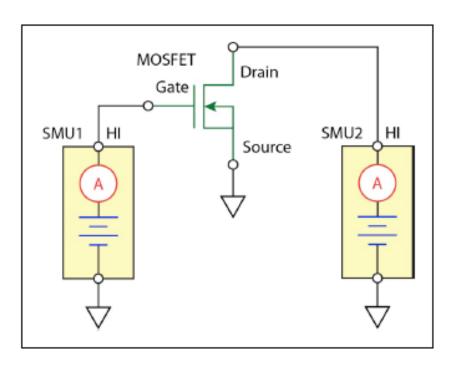




TSP-Link機能

- ・最大64SMUまでをグループ化(TSP-Link機能を持ったモデル)
- ・LANケーブル接続
- ・500ns未満のSMU間同期





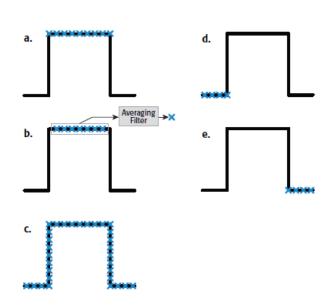
TSP-Linkにより複数chのSMUを正確かつ簡単に制御



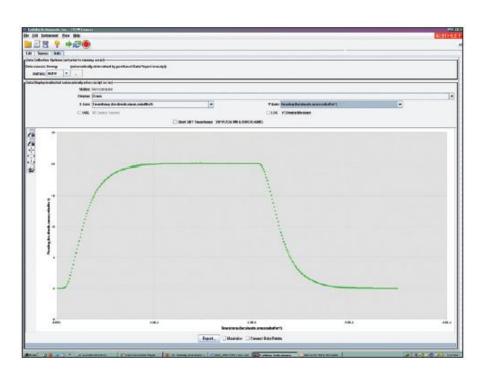


高速ADCモード

- •18ビット1M サンプリングの高速 ADCモード
- ⇒ 熱特性などの過渡現象のモニタが可能



サンプリング時間、アベレージング、測定タイミング の設定が可能



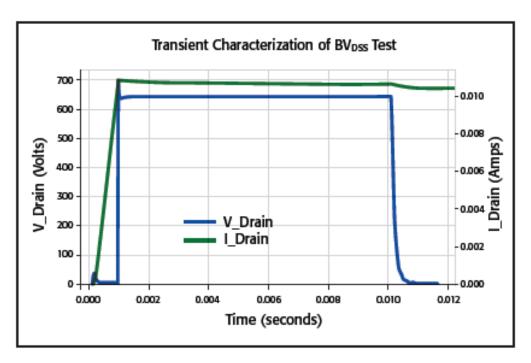
高速ADCモードで測定したパルス波形





高速ADCモード使用例:高電圧測定

•BVpssなどのブレークダウン電圧測定を電流パルス試験で簡単測定



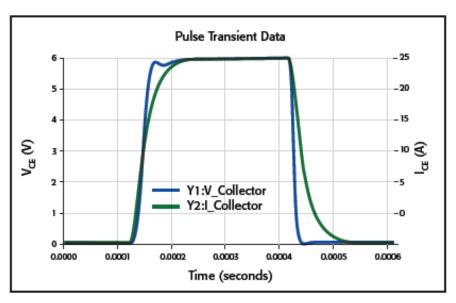
10mA、10msパルス波形を10µ sサンプリングで測定した場合



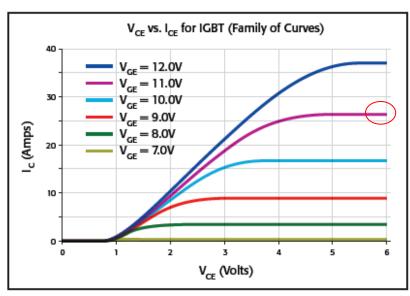


高速ADCモード使用例:高電流測定

・測定タイミングを簡単確認



IGBT(Vce-Ice)25A、300µ sパルス波形を測定した場合



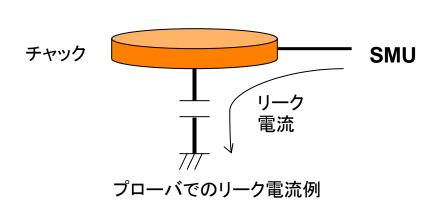
IGBTのVcEーIcE特性曲線

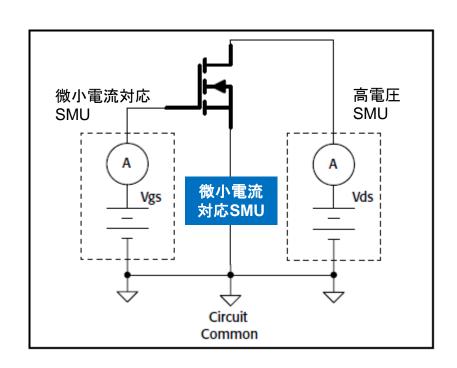




高電圧SMU使用時の注意点:微小電流測定

- 高電圧試験でスペック以上の電流測定が必要な場合
- ⇒ ソース、エミッタ端子などに微小電流対応SMUを追加



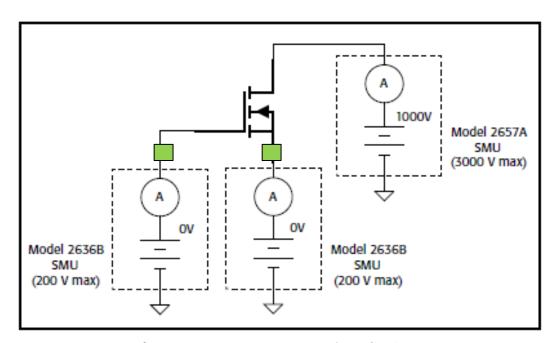






高電圧SMU使用時の注意点:保護回路

- 被測定物がショートした際に、200VSMUに高電圧が印加される可能性
- 保護回路が必要



保護回路が必要

高電圧SMUと他のSMUを使用する例



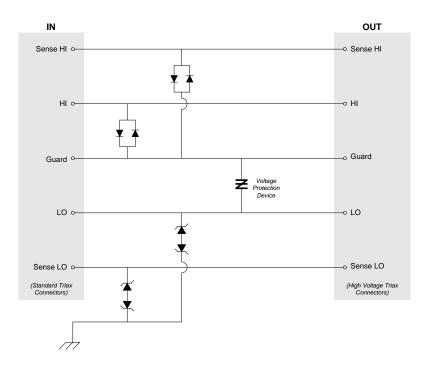


保護回路モジュール 2657A-PM-200

- 抵抗を使わない低リーク保護回路(0.05pA未満/V)
- 保護回路を接続したまま、オン特性(1.5Aまで)の測定が可能



2657A-PM-200型 保護回路モジュール



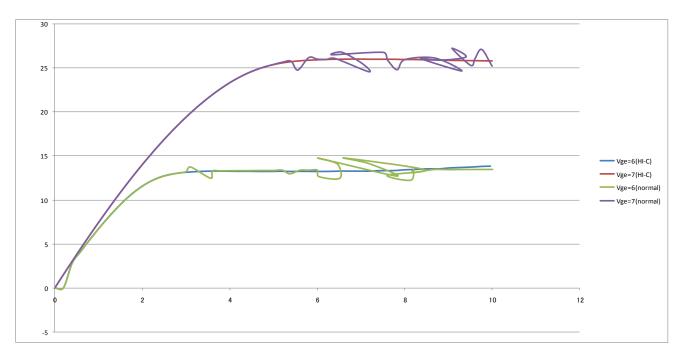
2657A-PM-200型 等価回路





発振対策

パワーデバイス(IGBTやパワーMOSFET)は発振を起こしやすい ⇒ ハイキャパシタンス・モードで外部対策は不要



パワーMOSFETのId-Vd測定でゲートに接続したSMUをノーマル・モード、ハイ キャパシタンス・モードに設定した場合の特性曲線



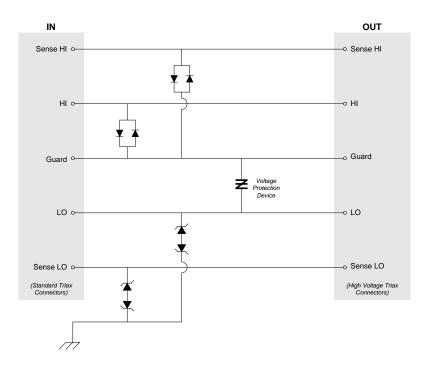


テスト・フィクスチャ 8010型

- 抵抗を使わない低リーク保護回路(0.05pA未満/V)
- ⇒ 保護回路を接続したまま、オン特性(1.5Aまで)の測定が可能



2657A-PM-200型 保護回路モジュール



2657A-PM-200型 等価回路



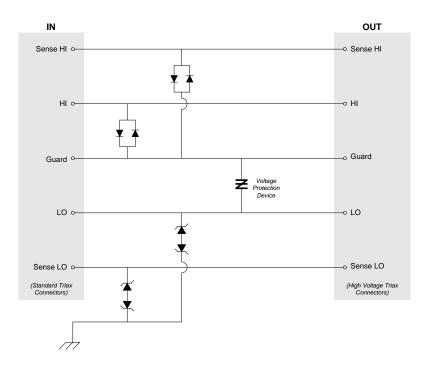


保護回路モジュール 2657A-PM-200

- 抵抗を使わない低リーク保護回路(0.05pA未満/V)
- 保護回路を接続したまま、オン特性(1.5Aまで)の測定が可能



2657A-PM-200型 保護回路モジュール



2657A-PM-200型 等価回路





保護回路モジュール 2657A-PM-200

対応モデル

- 3kVSMU
- 50ASMU x 2台
- 200VSMU x 3台

特長:

- 内部配線用コネクタは4mmバナナ・コネクタ
- スイッチング特性測定にも使えるオシロスコープ プローブ用の挿入口



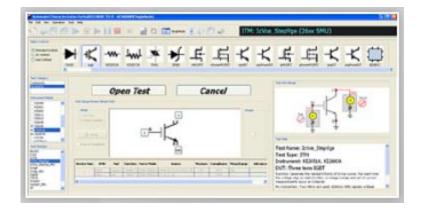
8010型パワー・デバイス用テスト・フィクスチャ

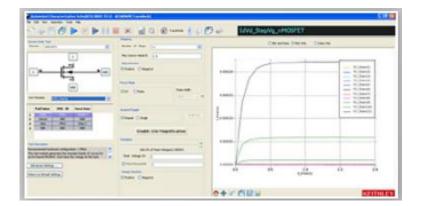




統合ソフトウェア:制御機能

- ケースレー23X、24xx、26xx、4200SMU
- デバイスと代表的な試験ライブラリ
- カーブトレーサのような操作が可能な トレースモード
- 各社セミオート/オートプローバ制御
- テクトロニクス社オシロスコープ制御
- 温度コントローラなどの外部機器制御
- Python言語によりユーザー・モジュール作成 可能(GUI作成ツールも用意)



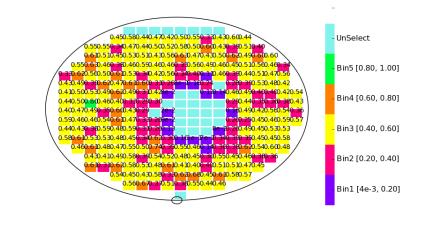




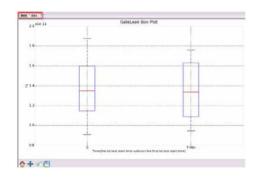


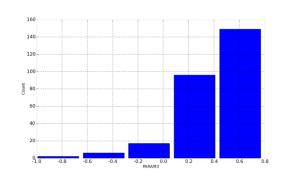
統合ソフトウェア:解析機能

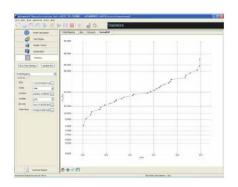
- 測定データの計算
- グラフ解析(カーソル、接線)
- ウエハ面内分布(ビニング)
- ロット分析
- 寿命分析
- その他



Variable:PARAM3











静特性評価のまとめ

- 3kVSMU、50ASMUにより最大3kV、または100Aまでの試験に対応
- 保護回路、テスト・フィクスチャ、その他ツールでシステム構築が簡単
- 統合ソフトウェアのデバイス・ライブラリと各デバイス用の試験モジュールにより、簡単制御
- 統合ソフトウェアの解析機能で解析にかかる工数を削減
- TSP機能により、複雑なシーケンスの信頼性試験や高速測定が必要な製造試験にも対応





パワー・デバイスの動特性評価

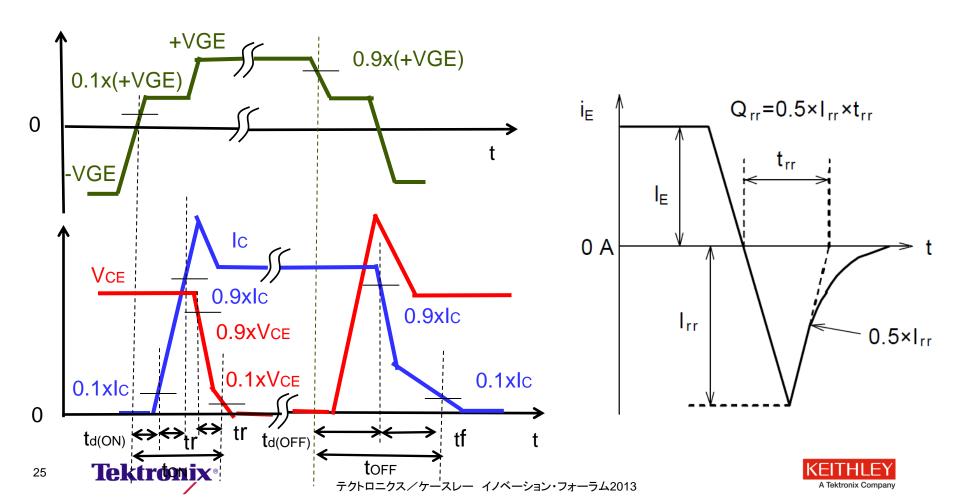
- パワー・デバイスのスイッチング・パラメータ
- 動特性測定ソフトウェア
- プローブのグランド・リードの影響
- プローブ補正
- 差動プローブの0V調整
- まとめ





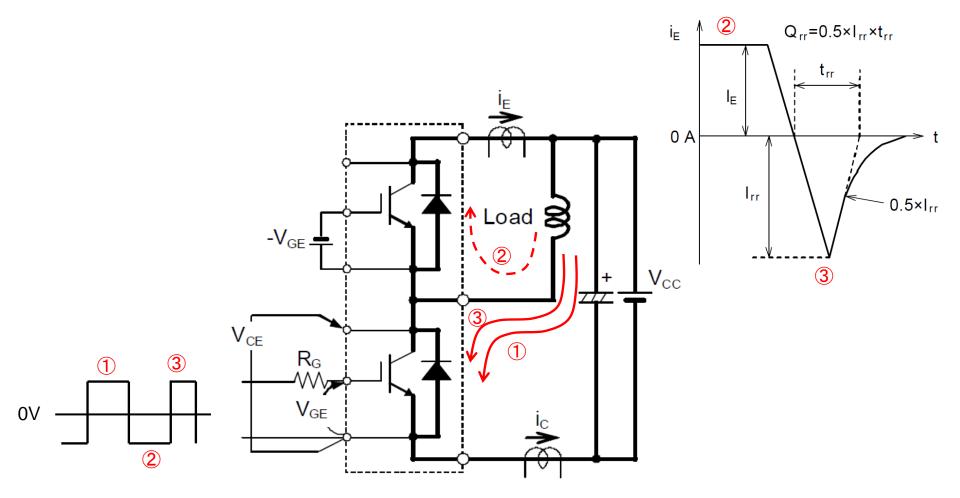
パワー・デバイスのスイッチング・パラメータ

- ターン・オンおよびターン・オフのタイミング
- ダイオードのリカバリ特性



ダイオードのリカバリ特性評価

■ 上側アームのダイオードの評価に必要な駆動例







動特性測定ソフトウェア(スイッチング・パラメータ測定)

- IGBT-Town(スイッチング特性測定ソフトウェア)
 - DPOPWRのユーザに提供できるAEウェア
 - DPO7000、DPO/MSO5000シリーズ上または外部PCで動作
 - Toff、td(off)、Eoff、dl/dt、dV/dt、Err、Qrr、trrなどを自動測定
 - 動特性評価に要する時間を大幅に短縮
- デバイスのばらつき評価



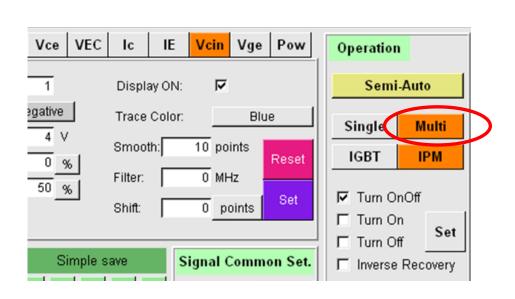


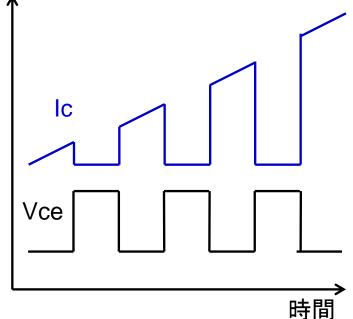


マルチ・バーストでのスイッチング・パラメータ測定

- **IGBT-Town**
 - マルチ・バースト波形での一括測定にも対応
 - ターン・オンとターン・オフを複数のスイッチングで一括測定
 - 測定結果をCSVファイルにエクスポート
 - 被測定回路の駆動は、お客様の回路を使用

IGBT-Townは駆動回路を持たない ↑









プローブのグランド・リードの影響

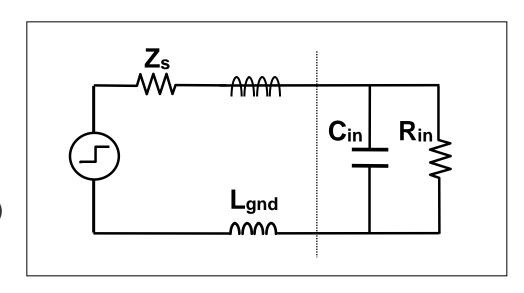
長いグランドリードを使用すると

- 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

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

L = 20nH/inch(0~7.5cm)

 $C = C_{in}+1pF/inch$

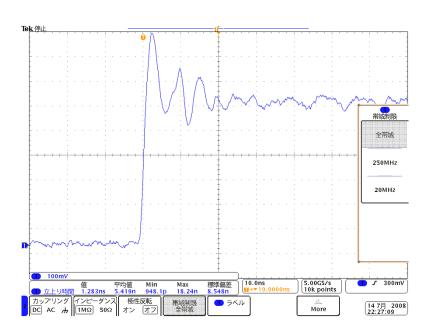






グランド・リードの影響

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 800MHz 2.5kV 高電圧プローブ



P5100A型 500MHz 2.5kV 高電圧プローブ



部品番号: 214-5298-00



部品番号:214-5299-00



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) プローブ補正を手動にて実施

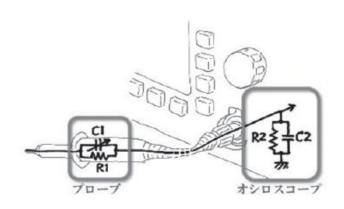
プローブ補正の自動調整 (オシロスコープに補正係数を記憶)







プローブ補正/プローブ校正 (2)



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

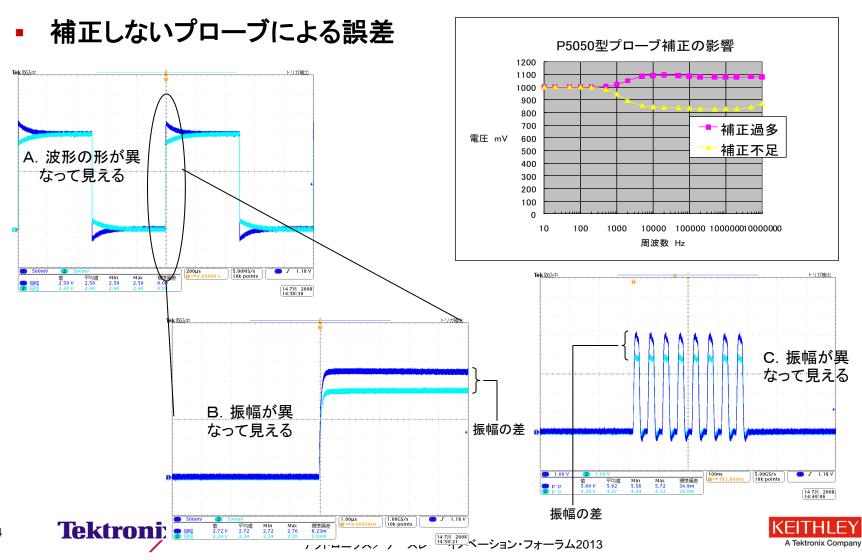
$$R1 \cdot C1 = R2 \cdot C2$$

▲ 式1 平坦な周波数特性を得る条件



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、Vce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



参考:P6015A型 20kV高電圧プローブのプローブ補正



P6015A型高電圧プローブ

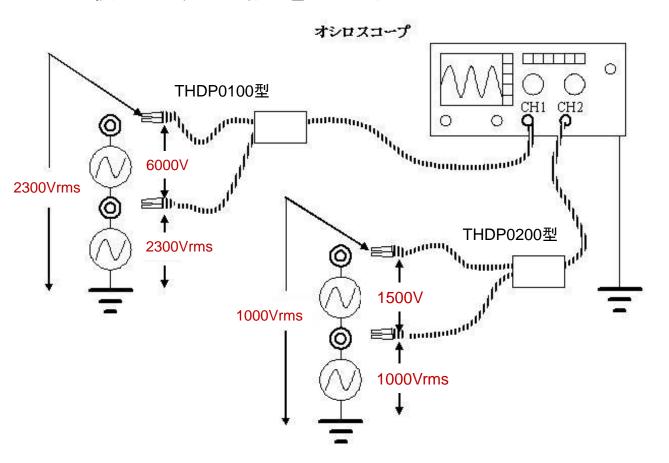
P6015A型のコンペンション・ボックス





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OV調整を実行してください





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OVになるように調整



P5205A型 高電圧差動プローブ

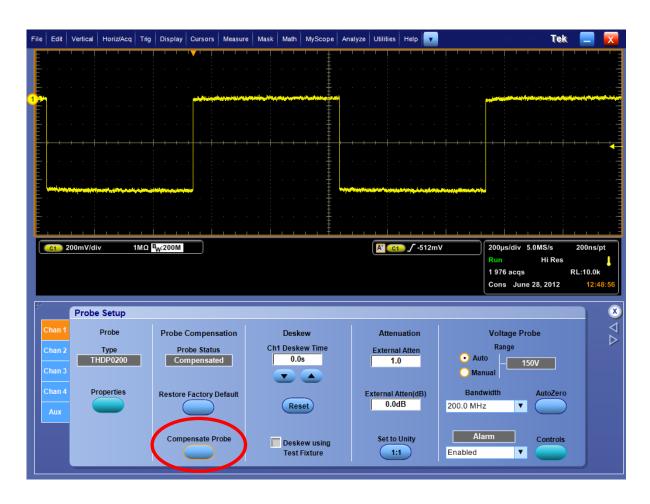
0V調整用トリマ

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

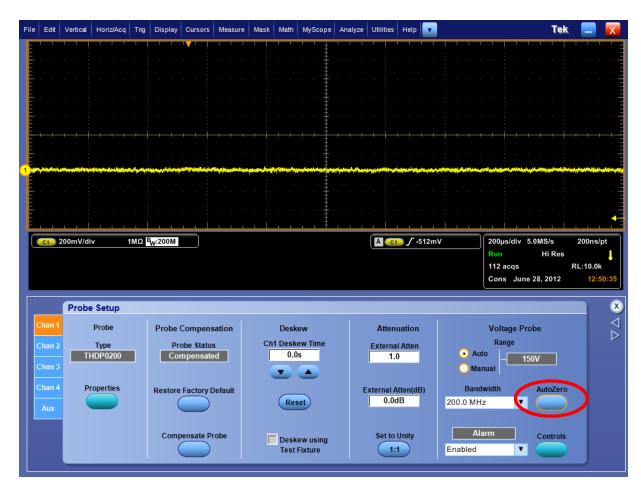


- ① オシロスコープのフロントパネルのProbe Calibration信号にプロービング
- ② VerticalメニューのProbe Calを選択し、Compensate Probeを実行





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





動特性評価のまとめ

- スイッチング・パラメータ測定ソフトウェア IGBT-Townにより測定を効率アップ
- 高電圧プローブのグランド・リードを最短にして測定する
- プローブ補正を確認する
- 高電圧差動プローブの0V調整を実行する





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/







