

B-6

SMUを使ったDC設計検証方法



山崎 健一

Tektronix[®]

KEITHLEY
A Tektronix Company

DC設計検証で直面する課題

- 回路設計のDC検証中にアナログ & デジタル回路設計者が直面する課題
 - 複数の計測器を設定するのは煩雑
 - 試験の検証には時間がかかる
 - マニュアル操作は間違えるリスクがある
 - 自動化にはプログラミングが必要
 - コストがかかる
 - 時間がかかる

ソース・メジャー・ユニットSMUを使用したDC設計検証方法

- SMUは次の能力を緊密に統合したものの:
 - プログラマブル電流源 ~ プログラマブル電圧コンプライアンス付
 - プログラマブル電圧源 ~ プログラマブル電流コンプライアンス付
 - 精密電圧測定 ~ GΩ入力抵抗
 - 精密電流測定 ~ 電圧降下は無視できる
- 自動化ソフト & SMUが検証ベンチに付加価値を付ける:
 - ほとんどの試験は1台か2台のSMUで十分
 - 設定はすぐ行えて簡単
 - 設定検証はほとんど必要なし
 - 自動測定はヒューマンエラーを防止
 - すぐ簡単に設定 & 試験ができ、プロジェクトを短縮
 - デザイン検証のトータルコストを削減

DC設計検証中に行われる一般的な試験

- I_{DDQ} を測定(ICの待機電流)
- 負荷変動率を試験(プログラマブル負荷)
- ダイオードの特性評価(ブレークダウンとリークを含む)
- 超微小抵抗を測定する
- バッテリまたは電気二重層キャパシタを充放電
- モバイル機器の充放電

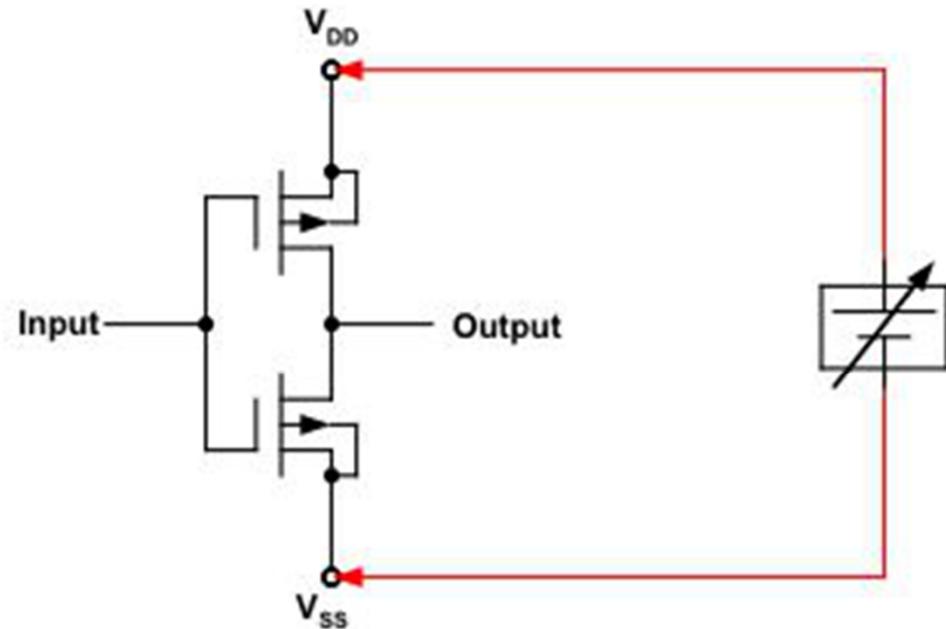
I_{DDQ}(ICの待機電流)の測定

- I_{DDQ}を測定(ICの待機電流)
- 負荷変動率を試験(プログラマブル負荷)
- ダイオードの特性評価(ブレークダウンとリークを含む)
- 超微小抵抗を測定する
- バッテリまたは電気二重層キャパシタを充放電
- モバイル機器の充放電

I_{DDQ}(ICの待機電流)の測定

- ハンドヘルド/ポータブル機器のバッテリー寿命を最大にするため、待機時の消費電流を最小にするニーズが高まっている。待機時の消費電流測定の第一はI_{DDQ}
- この試験は、入力をV_{DD}またはV_{SS}につなぎ、出力をオープンにして、CMOS ICのV_{DD}電源の電流を測定する。
- 一般的なベンチセットアップは:
 - プログラマブル電源
 - 電流計
- 精密なI_{DDQ}測定は電流測定とは独立して電圧を精密に制御することで最適化される。従来の方法では電源と計測器を複雑に結線して行う必要がある。

I_{DDQ} (ICの待機電流)の測定

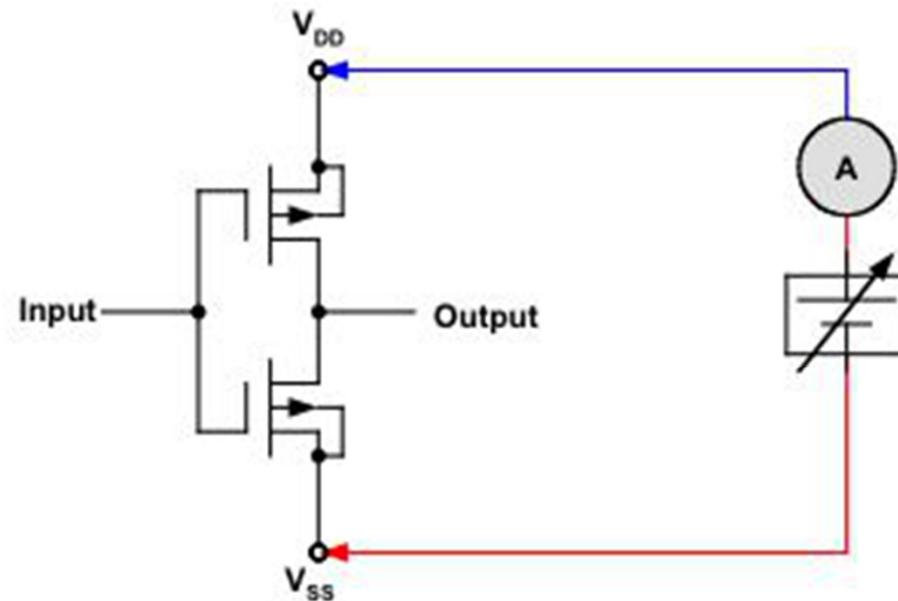


デバイスをバイアスする

Test
Time



I_{DDQ} (ICの待機電流)の測定

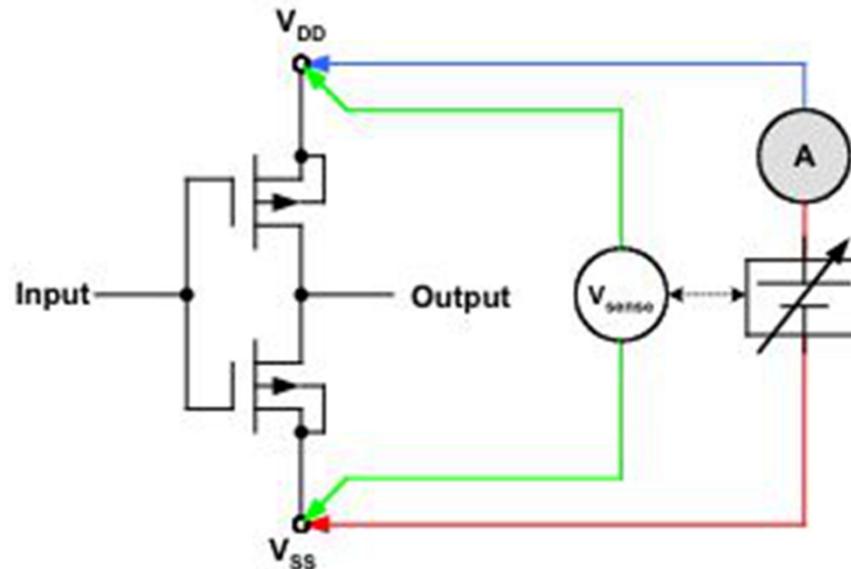


直列に電流計を挿入し電流を測定

Test
Time



I_{DDQ} (ICの待機電流)の測定

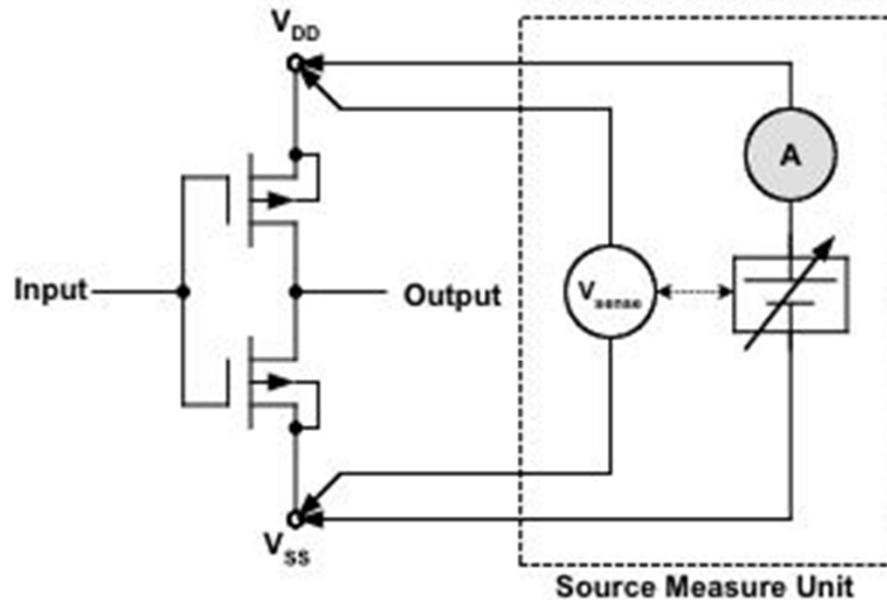


電流計の電圧降下分を打ち消すためにリモートセンスを使用

Test
Time



I_{DDQ} (ICの待機電流)の測定



- SMUの場合
 - リモートセンスにより、正確な電圧測定
 - フィードバックによる正確な印加測定
 - 広い印加測定レンジ($\mu A \sim A$)
 - コンプライアンス機能により、被測定物を保護

Test
Time



Done!

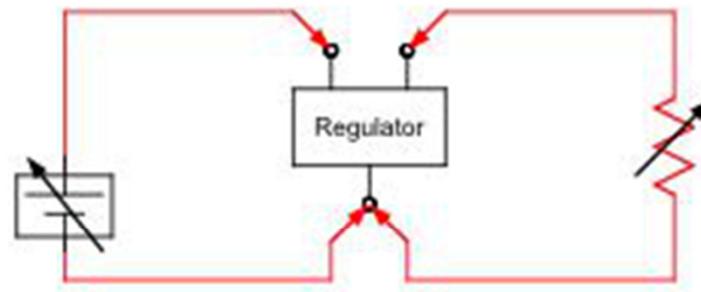
負荷変動率の試験 (プログラマブル負荷)

- I_{DDQ} を測定(ICの待機電流)
- 負荷変動率を試験(プログラマブル負荷)
- ダイオードの特性評価(ブレークダウンとリークを含む)
- 超微小抵抗を測定する
- バッテリまたは電気二重層キャパシタを充放電
- モバイル機器の充放電

負荷変動率の試験 (プログラマブル負荷)

- バッテリ動作機器の数が増えると、パワー管理されたデバイスの需要が増える。様々なバッテリー放電状態とパワー消費レートを設計の多くの局面で把握しておかなければならない
- この試験は、入力電圧のレンジ設定と出力負荷条件、出力電圧と入出力電流を記録する
- 一般的なベンチセットアップは:
 - プログラマブル電源
 - プログラマブル負荷
 - 電流計
 - DMM
- 負荷変動率試験では多くの測定が必要。自動化しないと、試験は非常に時間がかかり、エラーが起こりやすい

負荷変動率の試験 (プログラマブル負荷)

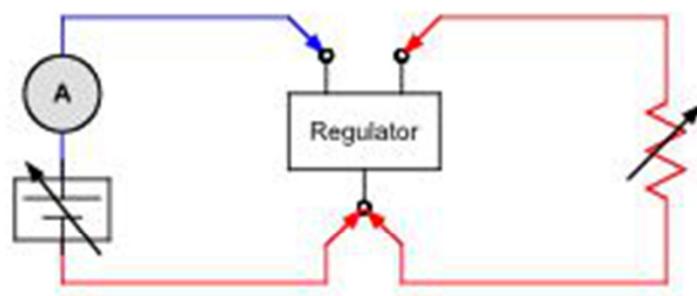


レギュレータはプログラマブル電圧源からパワーを与えられ、プログラマブル負荷をドライブ

Test
Time



負荷変動率の試験 (プログラマブル負荷)

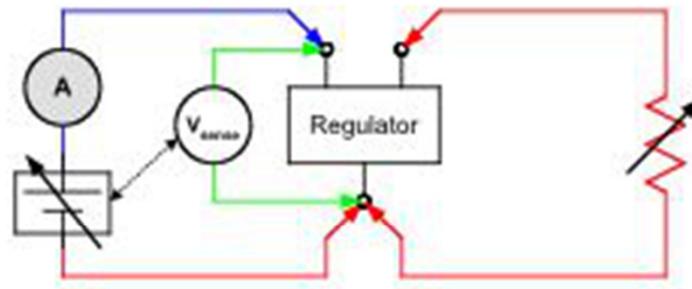


電流計で入力電流を測定

Test
Time



負荷変動率の試験 (プログラマブル負荷)

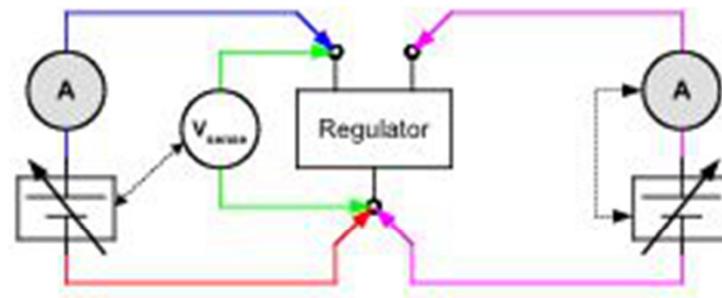


電流計の電圧降下分を打ち消すためにリモートセンスを使用

Test
Time



負荷変動率の試験 (プログラマブル負荷)

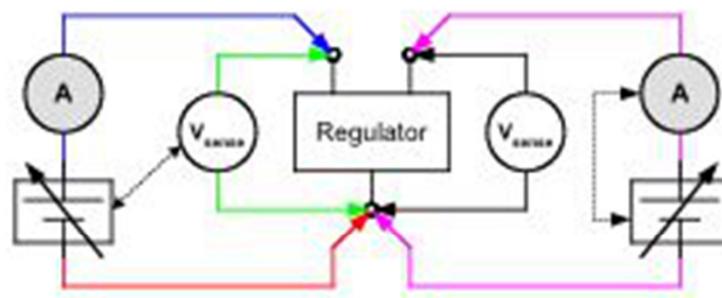


プログラマブル負荷とは、実際は電圧源 (0Vを印加)
～プログラマブル電流リミッタ付 (コンプライアンス回路)

Test
Time



負荷変動率の試験 (プログラマブル負荷)

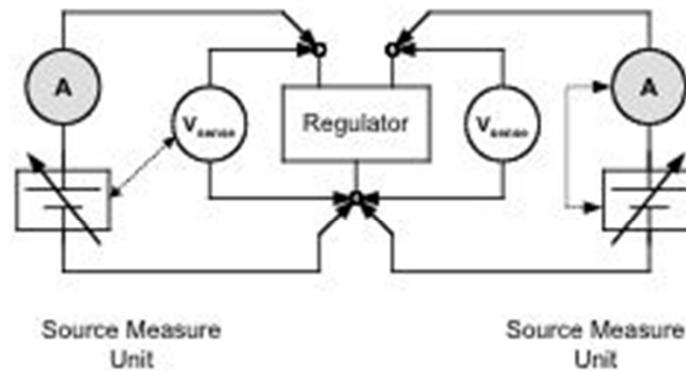


安定化された出力を測定するために電圧計を追加

Test
Time



負荷変動率の試験 (プログラマブル負荷)



- SMUの場合
 - リモートセンスにより、正確な電圧測定
 - フィードバックによる正確な印加測定
 - 広い印加測定レンジ($\mu\text{A} \sim \text{A}$)
 - コンプライアンス機能により、被測定物を保護

Test Time



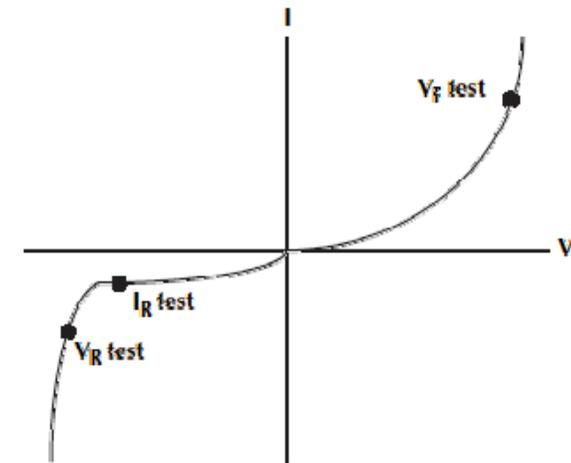
Done!

ダイオードの特性評価 (ブレイクダウンとリークを含む)

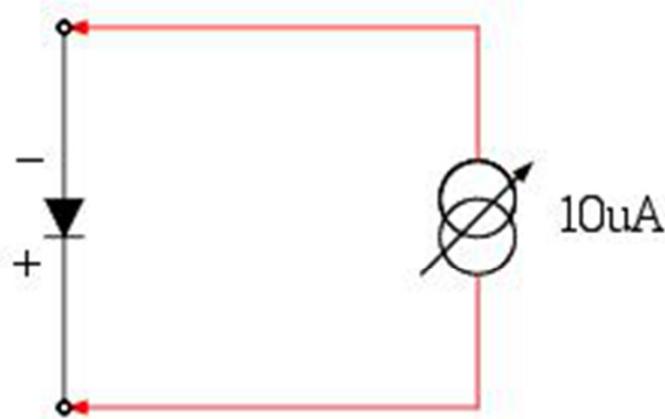
- I_{DDQ} を測定(ICの待機電流)
- 負荷変動率を試験(プログラマブル負荷)
- **ダイオードの特性評価(ブレイクダウンとリークを含む)**
- 超微小抵抗を測定する
- バッテリまたは電気二重層キャパシタを充放電
- モバイル機器の充放電

ダイオードの特性評価 (ブレークダウンとリークを含む)

- ダイオードの特性評価は基本で、設計検証によく行われる
- 一般的なダイオードの特性評価は、3つの基本的な試験が行なわれる
 - 順方向電圧(VF)
 - ブレークダウン電圧試験(VR)
 - リーク電流試験(IR)
- 一般的なベンチセットアップ
 - 電流源
 - 電圧源
 - DMM
- ダイオードの特性評価の最大の課題は、超微小電流測定と同時に大電流順方向電圧降下測定を一つのセットアップで行うこと



ダイオードの特性評価 (ブレークダウンとリークを含む)

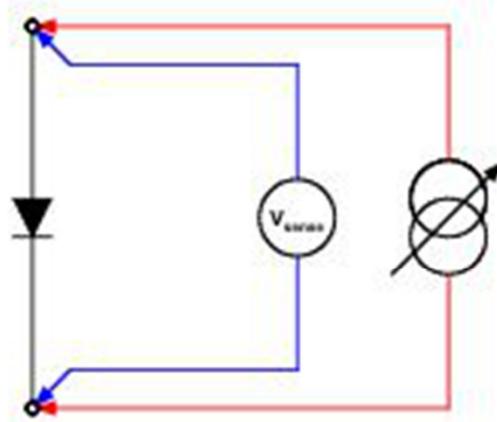


逆バイアス用電流源
～ブレークダウンさせる高コンプライアンス電圧付

Test
Time



ダイオードの特性評価 (ブレークダウンとリークを含む)

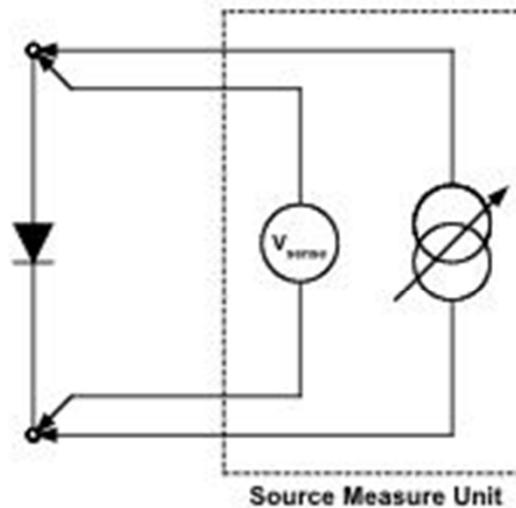


電圧計をブレークダウン測定に使う

Test
Time



ダイオードの特性評価 (ブレークダウンとリークを含む)



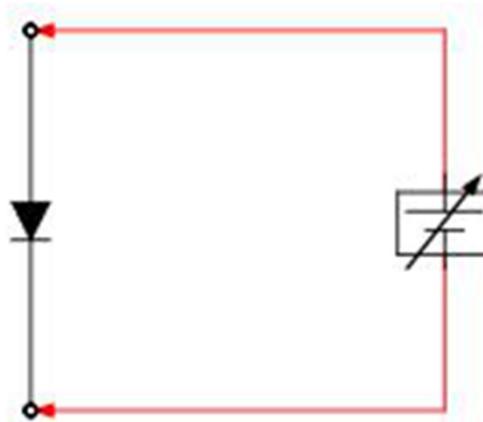
- SMUの場合
 - リモートセンスにより、正確な電圧測定
 - フィードバックによる正確な印加測定
 - 広い印加測定レンジ($\mu\text{A} \sim \text{A}$)
 - コンプライアンス機能により、被測定物を保護

Test
Time



Done!

ダイオードの特性評価 (ブレークダウンとリークを含む)

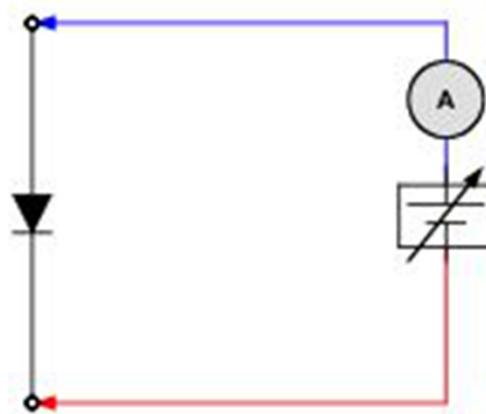


電圧源を、逆方向ブレークダウン電圧の80%から
順方向公称電圧値までスイープ

Test
Time



ダイオードの特性評価 (ブレークダウンとリークを含む)

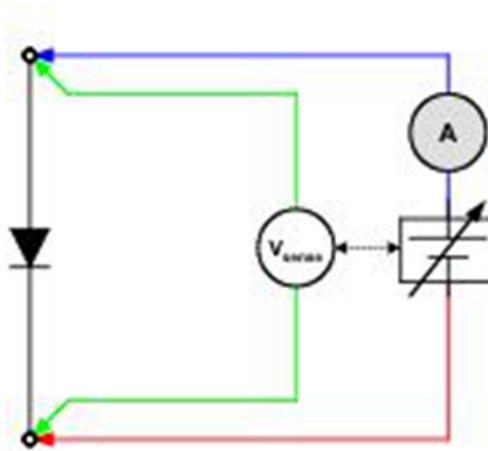


順方向および逆方向電流を測定するよう
電流計を直列に挿入

Test
Time



ダイオードの特性評価 (ブレークダウンとリークを含む)

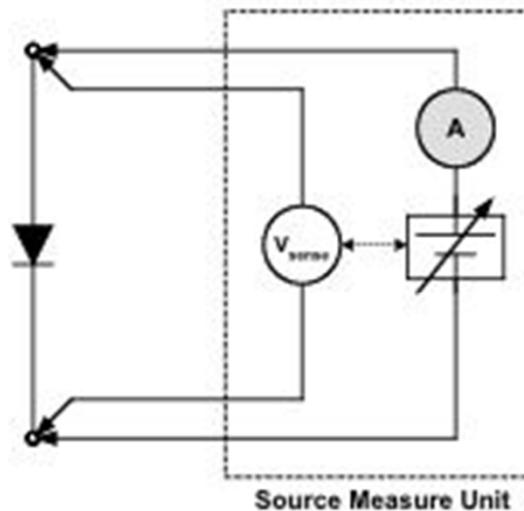


電流計の電圧降下分とリード線の $I \times R$ ドロップを打ち消すために、リモートセンスを使用

Test
Time



ダイオードの特性評価 (ブレークダウンとリークを含む)



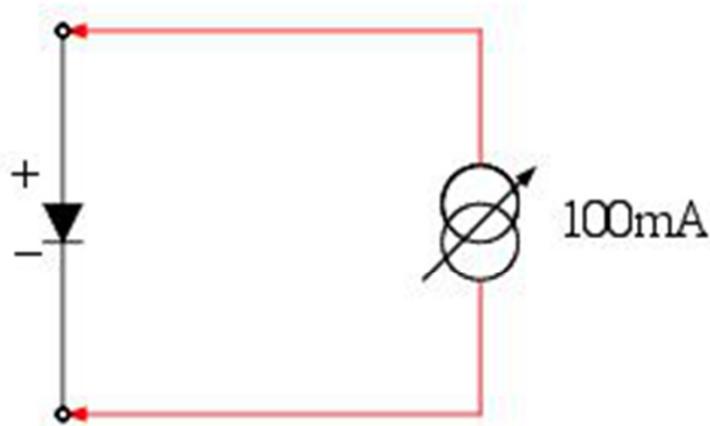
- SMUの場合
 - リモートセンスにより、正確な電圧印加測定
 - 広い測定レンジ($\mu\text{A} \sim \text{A}$)の電流測定
 - コンプライアンス機能により、被測定物を保護

Test
Time



Done!

ダイオードの特性評価 (ブレークダウンとリークを含む)

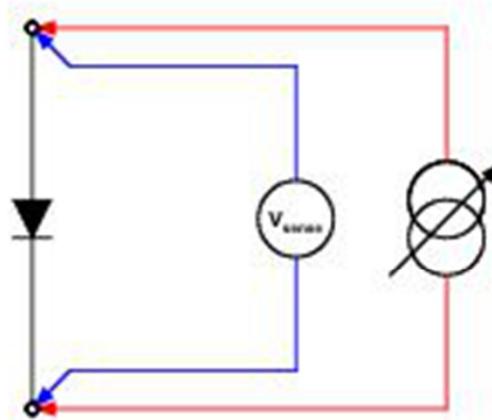


電流を順方向に100mA印加する

Test
Time



ダイオードの特性評価 (ブレークダウンとリークを含む)

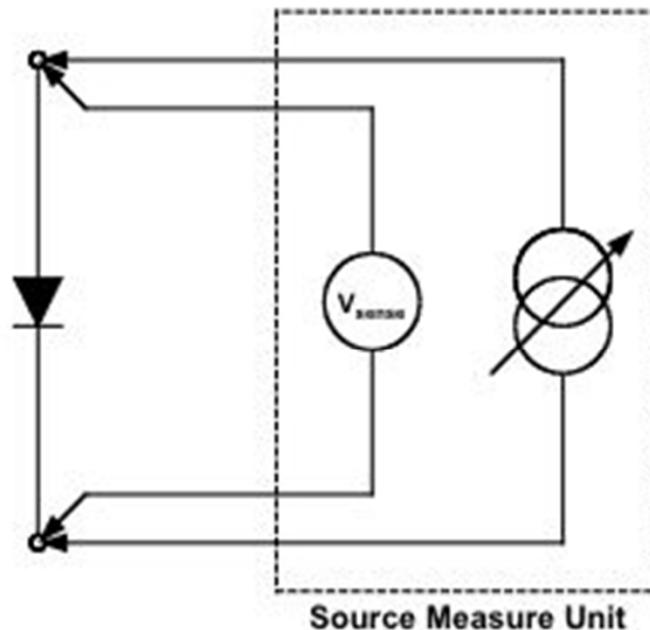


電圧計を順方向電圧測定に使う

Test
Time



ダイオードの特性評価 (ブレークダウンとリークを含む)



- SMUの場合
 - リモートセンスにより、正確な電圧測定
 - フィードバックによる正確な印加測定
 - 広い印加測定レンジ($\mu\text{A} \sim \text{A}$)
 - コンプライアンス機能により、被測定物を保護

Test
Time



Done!

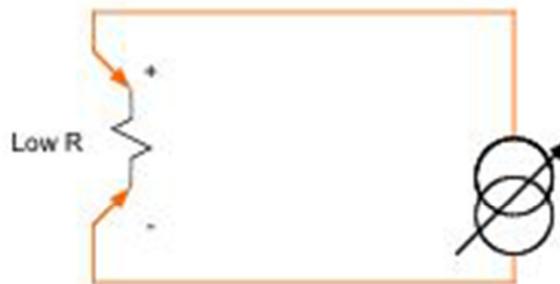
微小抵抗測定

- I_{DDQ} を測定(ICの待機電流)
- 負荷変動率を試験(プログラマブル負荷)
- ダイオードの特性評価(ブレークダウンとリークを含む)
- **超微小抵抗を測定する**
- バッテリまたは電気二重層キャパシタを充放電
- モバイル機器の充放電

微小抵抗測定

- エネルギー効率を評価するとき、結線の微小抵抗測定が要求される
- 微小抵抗測定はDMMが扱える以上の大電流、および熱起電力のキャンセルが必要
- 一般的なベンチセットアップ:
 - バイポーラ電流源
 - DMMまたはナノボルトメータ
- 従来のDMMは微小抵抗は測定できない。ミリオーム測定は大電流を必要とし、それが熱起電力をもたらす。オフセット補償法は測定誤差を軽減するが、試験を複雑にする

微小抵抗測定

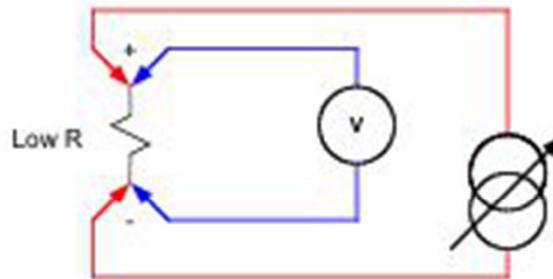


微小抵抗測定には抵抗両端に十分な
電圧降下を生じさせる大電流が必要

Test
Time



微小抵抗測定

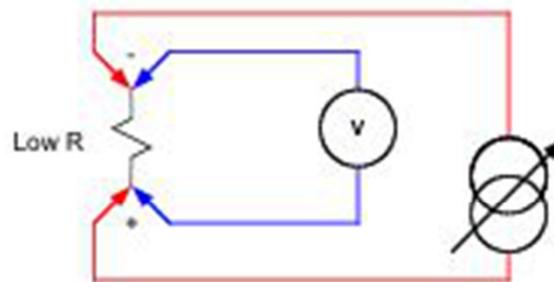


微小電圧降下の測定に電圧計を使う

Test
Time



微小抵抗測定

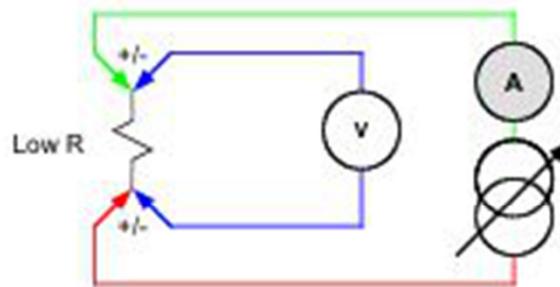


熱起電力をキャンセルするよう、
電流源を反転する

Test
Time



微小抵抗測定

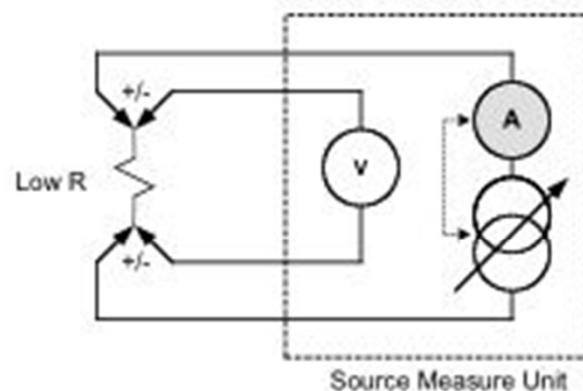


電流計を電流源と直列に挿入する。
理由は測定確度の方が出力確度よりも優れているため

Test
Time



微小抵抗測定



- SMUの場合
 - リモートセンスにより、正確な電圧測定
 - フィードバックによる正確な印加測定
 - 広い印加測定レンジ($\mu\text{A} \sim \text{A}$)
 - コンプライアンス機能により、被測定物を保護

Test Time



Done!

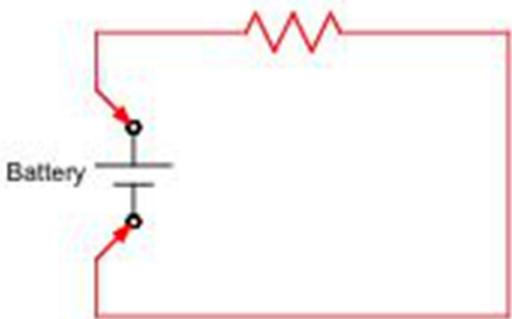
バッテリーまたは電気二重層 キャパシタを充放電

- I_{DDQ} を測定(ICの待機電流)
- 負荷変動率を試験(プログラマブル負荷)
- ダイオードの特性評価(ブレークダウンとリークを含む)
- 超微小抵抗を測定する
- **バッテリーまたは電気二重層キャパシタを充放電**
- モバイル機器の充放電

バッテリーまたは電気二重層 キャパシタを充放電

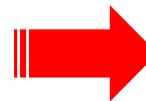
- 様々な負荷条件でのバッテリーの振る舞いを、ポータブル機器設計の妥当性検証のために、把握するべきである
- この試験は出力電圧と充放電レートを記録しながら、様々な条件下でバッテリーを充放電する必要がある
- 一般的なベンチセットアップ:
 - プログラマブル電源
 - プログラマブル負荷
 - 電流計
 - DMM
- 従来のソリューションは電源と負荷の複雑な調整を必要とした。バッテリーを放電するために負の電流を印加すると、放電終了後、バッテリー電圧が極性を反転し致命的な試料破壊を招く

バッテリーまたは電気二重層 キャパシタを充放電

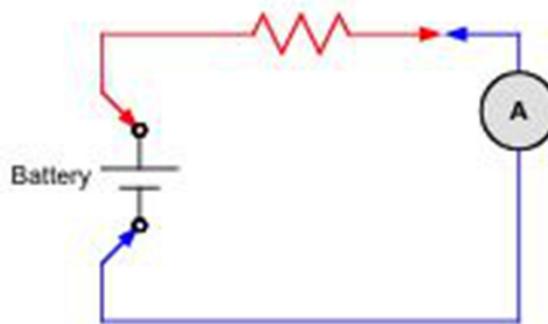


抵抗性放電

Test
Time



バッテリーまたは電気二重層 キャパシタを充放電

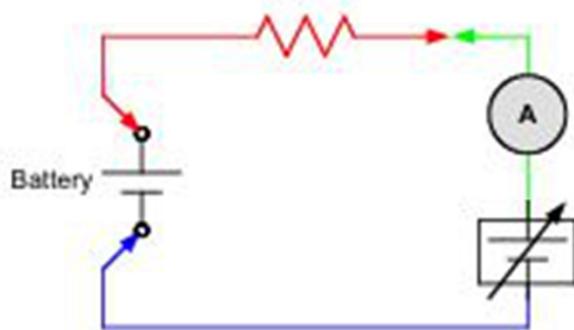


電流計が放電レートを測定

Test
Time



バッテリーまたは電気二重層 キャパシタを充放電

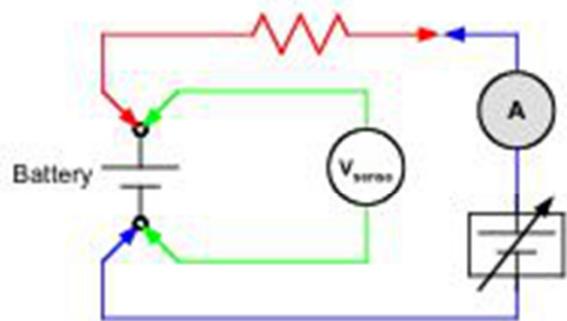


プログラマブル電源で充電と放電が可能

Test
Time



バッテリーまたは電気二重層 キャパシタを充放電

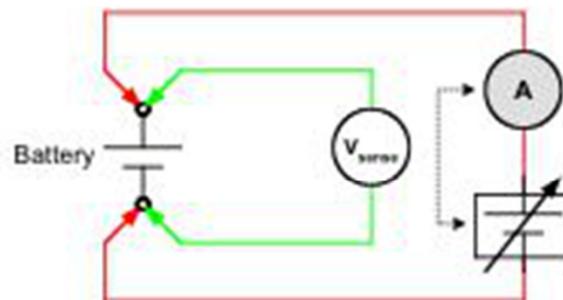


電圧計でバッテリーの直列抵抗がわかる

Test
Time



バッテリーまたは電気二重層 キャパシタを充放電

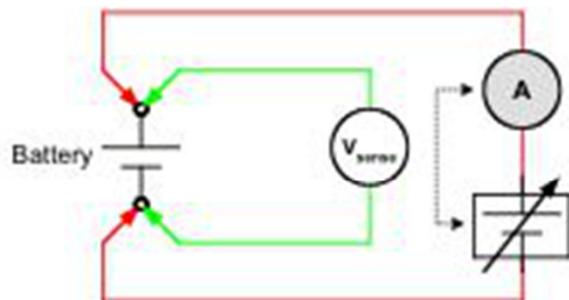


プログラマブル電流コンプライアンス付で
0Vを出力するとプログラマブル負荷を形成する...

Test
Time



バッテリーまたは電気二重層 キャパシタを充放電

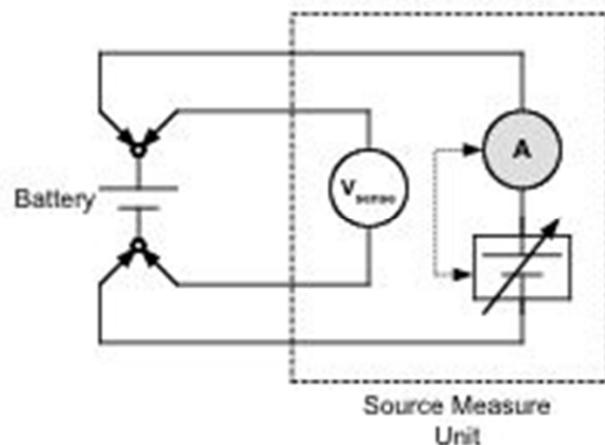


... そして、充電レートも制御できる

Test
Time



バッテリーまたは電気二重層 キャパシタを充放電



■ SMUの場合

- リモートセンスにより、正確な電圧印加測定
- 広い測定レンジ($\mu\text{A} \sim \text{A}$)の電流測定
- シンク動作により充電動作も対応
- コンプライアンス機能により、被測定物を保護

Test
Time



Done!

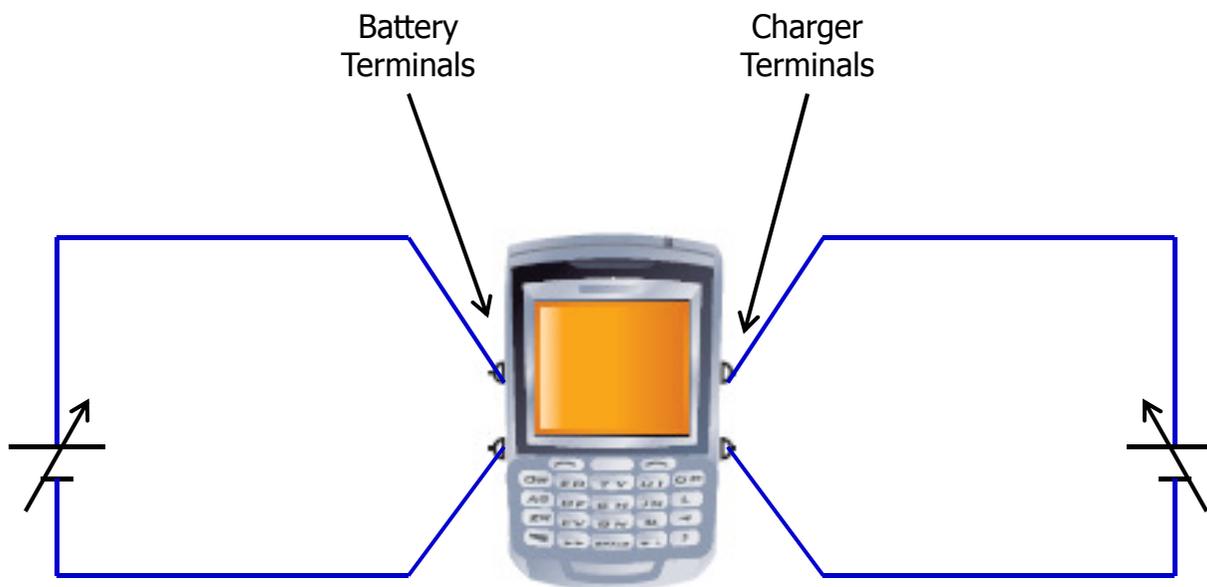
モバイル機器の充放電

- I_{DDQ} を測定(ICの待機電流)
- 負荷変動率を試験(プログラマブル負荷)
- ダイオードの特性評価(ブレークダウンとリークを含む)
- 超微小抵抗を測定する
- バッテリまたは電気二重層キャパシタを充放電
- **モバイル機器の充放電**

モバイル機器の充放電

- モバイル機器には、バッテリー駆動、充電機能があり、その充放電の特性を把握する必要がある
- 一般的なモバイル機器の充放電特性は、2つの基本的な試験が行なわれる
 - － 消費電流
 - － 充電機能の確認
- 一般的なベンチセットアップ
 - － プログラマブル電源
 - － プログラマブル負荷
 - － 電流計
 - － DMM
- 充放電試験では多くの測定が必要。自動化しないと、試験は非常に時間がかかり、エラーが起こりやすい

モバイル機器の充放電

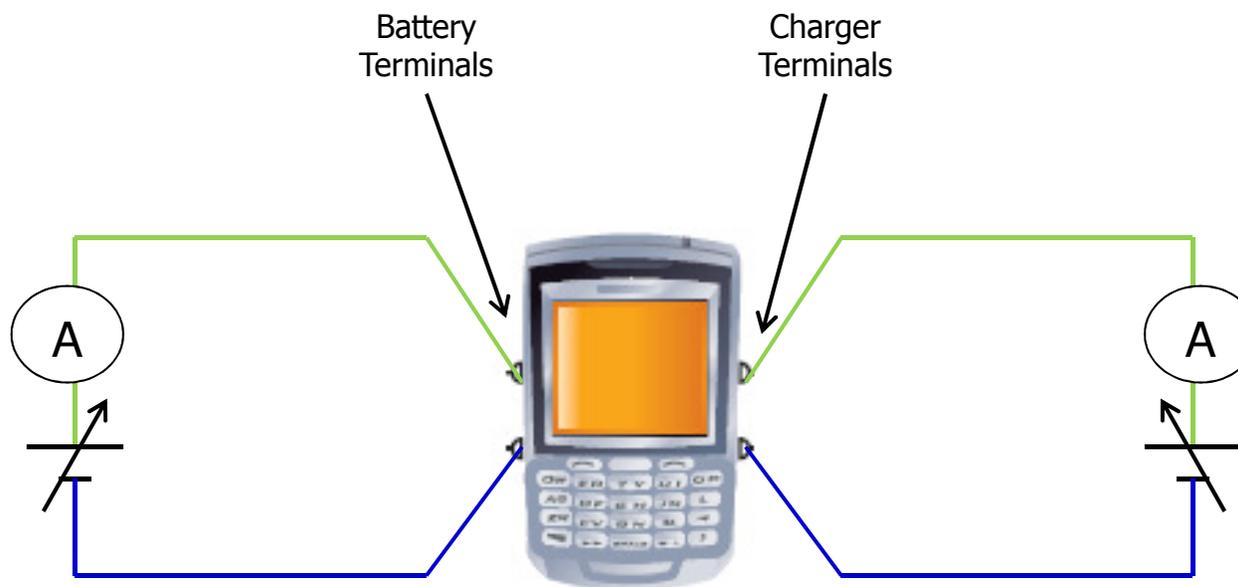


プログラマブル電源で充電と放電が可能

Test
Time



モバイル機器の充放電

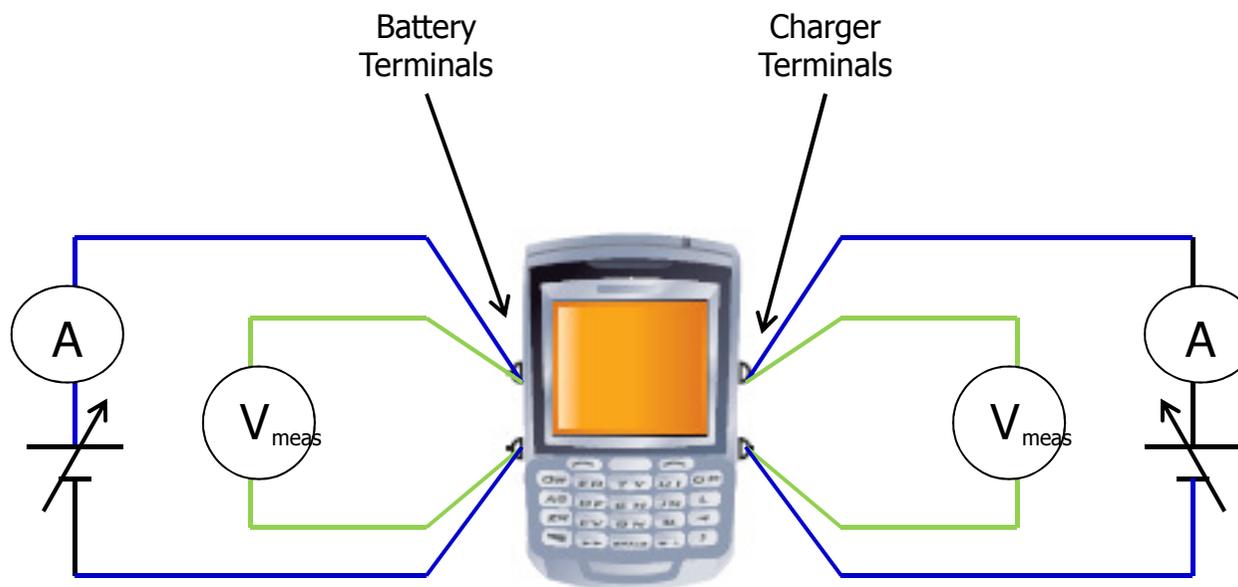


電流計で電流を測定

Test
Time



モバイル機器の充放電



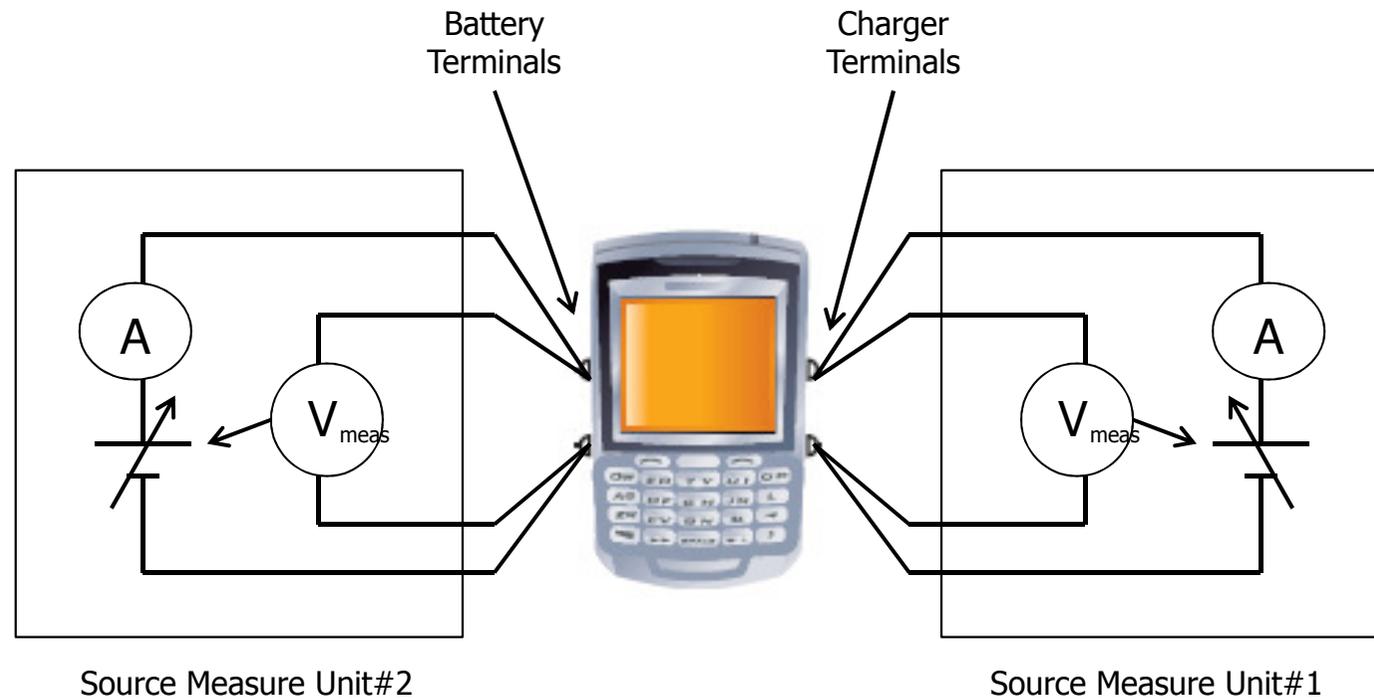
Source Measure Unit#1

電流計の電圧降下を打ち消すために電圧計で電圧測定

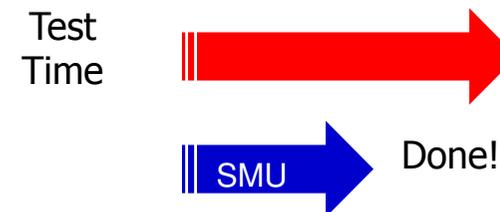
Test
Time



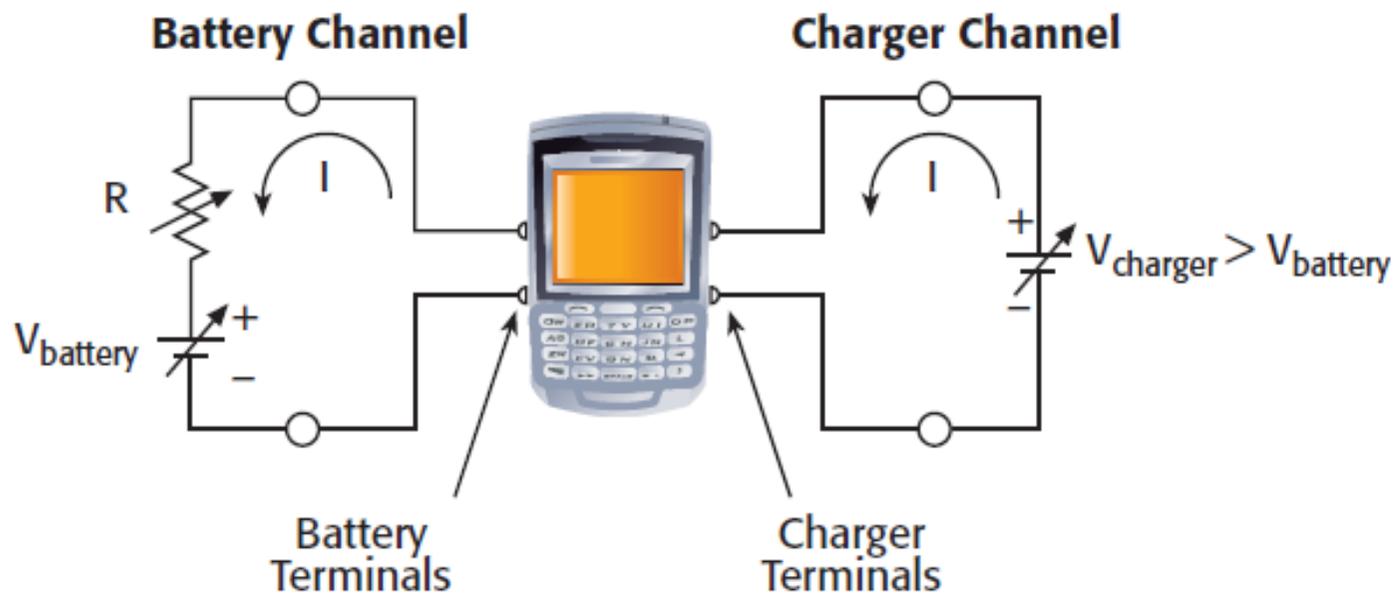
モバイル機器の充放電



- SMUの場合
 - リモートセンスにより、正確な電圧印加測定
 - 広い測定レンジ($\mu A \sim A$)の電流測定
 - シンク動作により充電動作も対応
 - コンプライアンス機能により、被測定物を保護



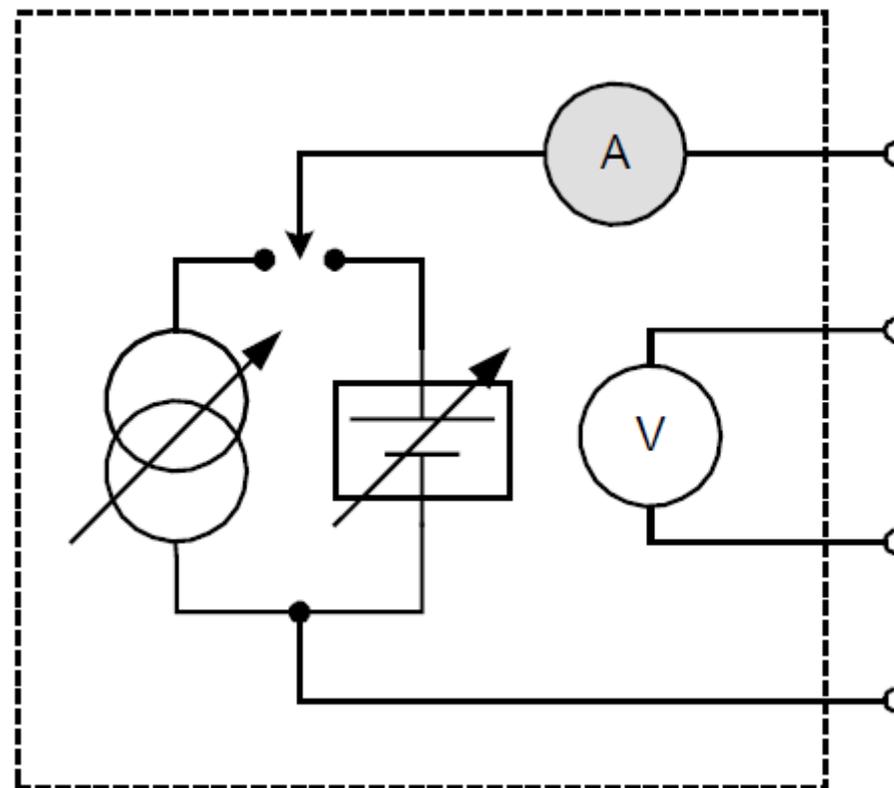
モバイル機器の充放電 (バッテリーシミュレータの場合)



- バッテリシミュレータの場合
 - 出力抵抗可変(0~1 Ω 、10m Ω 分解能)
 - 消費電流測定(0.85/0.84~60秒、1m秒分解能)
 - 最大3Aのシンク動作

これらの全ての試験をシンプルに

- ソース・メジャー・ユニット
 - 自動計測機器に共通
 - 様々な形態が入手可
 - マルチチャンネルユニット
 - シングルチャンネルユニット



ケースレー製品の場合(SMU)

- 2400型(ベーシック) 20W
 - 1 μ A, 10 μ A, 100 μ A, 1mA, 10mA, 100mA, 1A レンジ
 - 200mV, 2V, 20V, 200V
- 2410型(高電圧) 20W
 - 1 μ A, 10 μ A, 100 μ A, 1mA, 10mA, 100mA, 1Aレンジ
 - 200mV, 2V, 20V, 1000V
- 2420型(大電流) 60W
 - 10 μ A, 100 μ A, 1mA, 10mA, 100mA, 1A, 3Aレンジ
 - 200mV, 2V, 20V, 60V
- 2430型100W (1kW パルス)
 - 10 μ A, 100 μ A, 1mA, 10mA, 100mA, 1A, 3A, 10A*レンジ
 - 200mV, 2V, 20V, 100V

*パルスのみ



ケースレー製品の場合(SMU)

- 2601/2/4B型(高電流) 40W
 - 100nA, 1uA, 10uA, 100uA, 1mA, 10mA, 100mA, 1A, 3A, 10A*レンジ
 - 100mV, 1V, 6V, 40V
- 2611/2/4B型(ベーシック) 30W
 - 100nA, 1uA, 10uA, 100uA, 1mA, 10mA, 100mA, 1A, 1.5A, 10A*レンジ
 - 200mV, 2V, 20V, 200V
- 2634/5/6B型(微小電流) 30W
 - 100pA**, 1nA, 10nA, 100nA, 1uA, 10uA, 100uA, 1mA, 10mA, 100mA, 1A, 1.5A, 10A*レンジ
 - 200mV, 2V, 20V, 200V

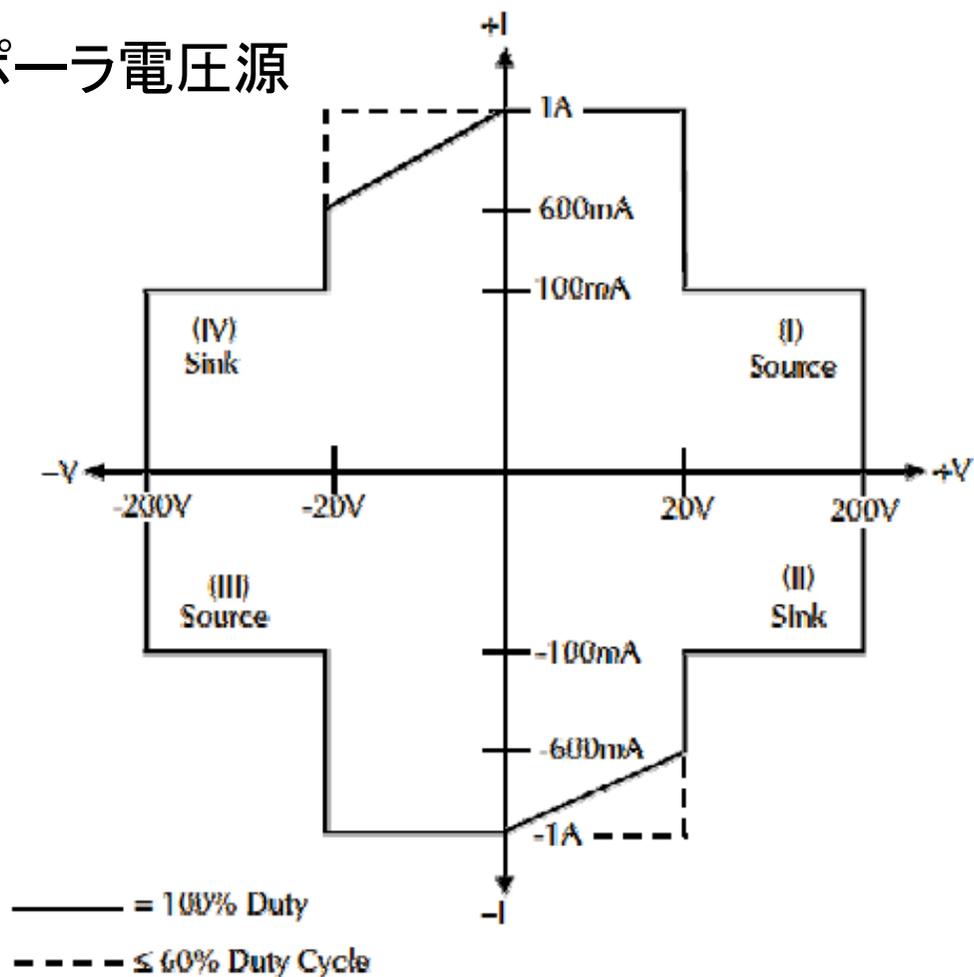
*パルスのみ

**2635/6B測定レンジのみ



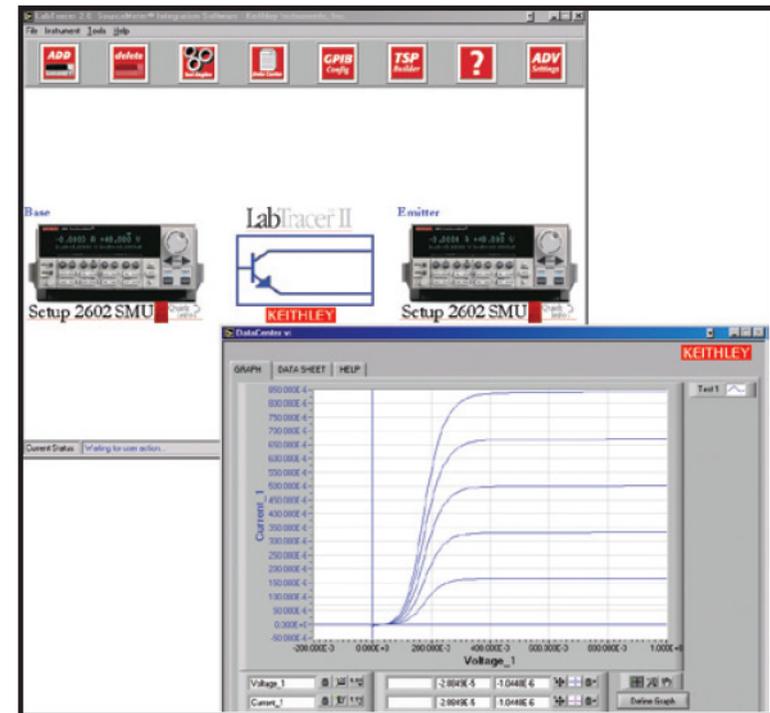
Keithley 2400/2600Bシリーズ

- 電圧コンプライアンス付バイポーラ電流源
- 電流コンプライアンス付バイポーラ電圧源
- 電流・電圧測定
- 基本電圧測定確度0.015%
- 基本電流測定確度0.03%



LabTracer2 –フリーダウンロード

- 4台までの2400/2600Bシリーズを簡単コーディネート&制御
- 測定結果をグラフ表示
- 測定結果をスプレッドシート表示
- 測定結果をファイルに保存
- www.keithley.jpから無償ダウンロード



要約

- SMUは回路の設計検証を簡単、高速、シンプルにする
- 電源とDMMをSMUに置き換えると設計検証のセットアップが簡単になる
- セットアップ時間を短くし全体の確度を改善する機器は他にほとんどない
- 検証試験の自動化はSMUによりシンプルになり、プログラムもシンプルで簡単になる

関連資料

- 2400を使ったダイオードの試験
- 2400を使ったバッテリーの充放電試験
- 2400を使った抵抗ネットワークの試験
- 2400を使った太陽電池のI-V特性試験
- 2400を使ったバリスタの試験
- IDDQ Testing and Standby Current Testing with the Series 2400 SourceMeter
- Device Characterization Techniques Using Keithley SourceMeter Instruments with LabTracer Software
- DC Production Testing of OLED Displays
- DC Electrical Characterization of RF Power Transistors
- VCSEL Testing with the Model 2400 SourceMeter Instrument
- Production Testing of High-Intensity, Visible LEDs
- High-Throughput DC Production Test of Telecommunications Laser Diode Modules

www.keithley.jpではSMUを活用した様々なアプリケーションノートや
技術情報をご覧になれます

オンラインセミナー

その他の試験技術やソリューションをカバーするセミナー:

- Understanding Measurement Uncertainty
- Tips, Tricks, and Traps for Advanced SMU DC Measurements
- How to Make Sensitive DC Measurements
- How to Get the Most from Your Low Current Measurement Instruments

www.keithley.jpのイベントからその他のオンラインセミナーを
参照いただけます。



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>