

## 2400を使ったバリスタの試験

### 概要

バリスタは、サージやスパイクから電子回路を保護するために使われている能動回路保護デバイスです。他の電子デバイス同様、バリスタは製造者の仕様を満足しているかどうかを確かめるために製造試験で検証されるべきいくつかの電気的パラメータを持っています。これらの試験は許容できるスループットを確保するために可能な限り速く行わなければなりません、製品の品質を維持するために信頼性も可能な限り高く保たなければなりません。

これらの試験をするために、普通、DMM・電圧源・電流源のような、いくつかの機器が必要になります。しかし、試験システム中の機器の数が増加するにつれて、全体的な測定プロセスはより遅くなってしまい、スループットが低下します。ひとつのユニットに電源やDMMの機能がすべて入ったものでシステムを作るよりも、DMMと電源を個別に使うシステムを構築すると大幅にラックスペースを占有してしまいます。

加えて、機器のコストが上昇し、個別の機器を3台使うとしたならば、3セット分の機器のコマンドを覚えなければならなくなり、プログラムとメンテナンスが複雑になります。複数の機器と電源を使うとトリガのタイミングがより複雑になり、トリガの不確実さも増します。

2400型デジタルソースメータは高速に電圧や電流を印加し測定することができるので、バリスタのDCの電気的な試験に対して理想的なソリューションとなります。また、ひとつのコマンドを GPIBバスを通して送るだけで一連のテストセットアップが実行されるソースメモリリストが利用できるなど、先進的な機能を提供します。これは GPIBバスを通してやりとりする時間を短くし、スループットを向上させます。これらの試験は、ノミナルバリスタ（ブレイクダウン）電圧、DCスタンバイ（リーク）電流、非線形指数（アルファ）測定を含みます。このアプリケーションノートでは印加/測定サイクルの計算の方法、ブレイクダウンとリーク試験のためのパルスの出力方法、アルファの表示の方法、パス/フェイルストラクチャの設定の方法をはじめとした、2400型における試験セットアップ方法と測定方法を記述しています。これらのテストを自動的に行うためのコンピュータプログラムはケースレーのワールドワイドウェブ（WWW）サイトにあります。もしくはケースレーインストゥルメンツまでご連絡下さい。ここでは、フロントパネル動作モードで試験を行うときのプロセスの概略を紹介しします。

### 試験の種類

ノミナルバリスタ（ブレイクダウン）電圧試験

バリスタのピーク端子電圧とは、決められた期間の決められたDC電流において測定されたバリスタの両端の電圧です。

DCスタンバイ（リーク）電流試験

DCスタンバイ電流は指定されている最大動作電圧を決められた期間バリスタの両端に印加して測定します。最大動作電圧はバリスタの休止状態に対応し、そして最大動作電圧は最大限に許される定常的なDC印加電圧です。

非線形指数（アルファ）試験

バリスタの電圧-電流特性は  $I=kV^\alpha$  で表現されます。ここで、 $k$ は形状から導かれる定数で、 $\alpha$ は非線形指数です。アルファは次の式から計算できます。

$$\alpha = \frac{\log(I_2 / I_1)}{\log(V_2 / V_1)}$$

この測定は、 $I_1 \leq I_2$  という関係の2つの決められた試験電流（ $I_1$ と $I_2$ ）を印加したときのバリスタのそれぞれの両端電圧（ $V_1$ と $V_2$ ）を測定して行います。

一般的なバリスタのI-V特性を図1に示します。グラフ上にバリスタ電圧試験（ $V_n$ ）、スタンバイ電流試験（ $I_d$ ）、非線形指数試験（ $\alpha$ ）の試験ポイントを示します。

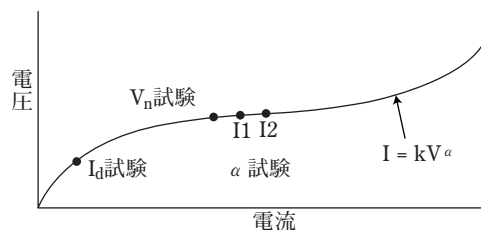


図1. 一般的なバリスタのI-V曲線（両対数グラフ）

### 試験システムの構築

バリスタ電圧、スタンバイ電流、非線形指数、これらの試験は、図2のように、2400型を中心としたバリスタ試験システムを使い自動実行できます。もし要求があれば、この構築されたシステムにスイッチングハードウェアを追加し、複数のバリスタを並列して試験できます。



図2. 2400型をベースとしたバリスタ製造試験システム

図2のように、2400型はGPIB出力とデジタルI/O出力の両方を持っています。デジタルI/O出力ポートはほとんどの部品ハンドラへ直接信号を送ったり信号を受信したりできます。HiとLoの測定リミット値はデジタルソースメータにセットでき、2400型で測定されたバリスタと比較できます。2400型のデジタルI/OポートからのTTLレベルの信号はデバイスが“パス”か“フェイル”かを示します。これらの“パス”／“フェイル”リミットはGPIBバスを通してコンピュータへ送られるか、フロントパネルから直接人に読まれるか、バリスタの高速なピンソート（分別）用ハンドラによって検出されます。2400型は部品ハンドラと直接インターフェイスすることができ、ハンドリング動作をしているあいだPCは必要なく、新しいバリスタがテストフィクスチャにセットされている間に試験のデータをPCにダウンロードし記録することができます。

以下のアルゴリズムはバリスタ試験システムの動作に関するステップを記述しています。これは、一度にひとつのバリスタがテストフィクスチャにセットされ、測定後に順次補給される場合を想定しています。

1. オペレータはバリスタの巻リールが正しいところにセットされていて、試験の準備ができていることをPCに伝えます。
2. PCは2400型の動作を‘開始’させます。
3. 2400型はハンドラから‘試験開始’のトリガがくるまで待ちます。
4. ハンドラは、テストフィクスチャにバリスタがセットされ試験の準備ができたことを示す‘試験開始’のトリガ信号を送ります。
5. 2400型は“パス”／“フェイル”を決定し、それぞれの試験のデータをセーブするという順序に従ってバリスタ試験を実行します。試験の項目はノミナルバリスタ電圧試験、DCスタンバイ電流試験、非線形指数試験です。
6. 2400型は“パス”／“フェイル”ステータスとテスト終了信号をハンドラへ送り、PCへも試験データを送ります。（動作は並列的に見える）
7. チューブやリールに残るバリスタのために3-6のステップを繰り返します。
8. 2400は‘アイドル状態’に戻る。オペレータはハンドラに新しいバリスタのチューブかりールをセットします。

9. 必要があれば1-8を繰り返します。

## // GPIBバス操作

ここには、三つの基本的なバリスタの試験と、それぞれの試験のデバイスがパスかフェイルかの表示のセットアップと、実行のプログラムを書くときのいくつかの一般的なステップを記述します。それぞれのテストセットアップはソースメモリの中にストアされることに注意して下さい。ソースメモリはフロントパネルからではなく、GPIBバスからのみプログラムすることが可能です。

1. GPIBと2400型をイニシャライズする。
2. 2400型の三つの試験に共通するパラメータをセットする（例えば、オートゼロ、データフォーマット、その他）。
3. ノミナルバリスタ電圧試験の定義
  - a. ソース、レンジ、ディレイ値を2400型にセットする。
  - b. 2400に電圧測定モードを命じる。つまりセンスレンジとコンプライアンスをセットする。
  - c. それぞれのパス／フェイルの結果のためのデジタル出力のビットパターンとリミット値をセットする。
  - d. ノミナルバリスタ電圧試験のセットアップをソースメモリのロケーション#1にセーブする。
4. DCスタンバイ電流試験を定義する。
  - a. 電圧印加を2400型に命じる。つまり、ソース値、レンジ、ディレイをセットする。
  - b. 電流測定モードを2400型に命じる。つまり、センスレンジ、コンプライアンスをセットする。
  - c. それぞれのパス／フェイルの結果のためのデジタル出力ビットパターンとリミット値をセットする。
  - d. DCスタンバイ電流試験のセットアップをソースメモリロケーション#2にセーブする。
5. アルファ試験の定義をする。
  - a. 電流印加#1を2400型に命じる。つまり、ソース値、レンジ、ディレイをセットする。
  - b. 電圧測定#1を2400型に命じる。つまり、センスレンジ、コンプライアンスをセットする。
  - c. アルファ試験#1のセットアップをソースメモリのロケーション#3にセーブする。
  - d. 電流印加#2を2400に命じる。つまり、ソース値、レンジ、ディレイ、をセットする。
  - e. 電圧測定#2を2400に命じる。つまり、センスレンジ、コンプライアンスをセットする。
  - f. アルファ試験#1のセットアップをソースメモリのロケーション#4にセーブする。

- g. 電圧#1と電圧#2の値を関数（ファンクション）の中へ読み込む：  
（CALC1:MATH:NAME'VARALPHA'）。この関数は自動的にアルファ値を計算する。
  - h. それぞれのパス/フェイルの結果のためのデジタル出力ビットパターンとリミット値をセットする。
6. トリガモデルをセットアップする
  7. 試験を開始する
  8. データをストアする。

## // 方法と技術

システムにおいて2400型デジタルソースメータを使うことにかかわるステップのいくつかにはソース/メジャーのスピードサイクルを計算することやブレークダウンやリークテスト、アルファを計算するための演算ファンクションそしてリミットストラクチャを設定することが含まれます。

## // ソース/メジャーのスピードを計算する方法

スピードは製造用試験機器の最も重要な側面のひとつです。2400型は1msでひとつのソース/メジャーサイクルを完了することができます。いくつかの要素がソース/メジャースピードに影響を及ぼすので、2400型がターンオンする実際の時間を計算する必要がありますし、とりわけDUTへのソース時間を厳密に設定することが重要であればなおさらです。ソース/ディレイ/メジャーのタイミングチャートは図3の通りです。この例はオートゼロ機能はターンオフで、そしてただひとつのファンクション（例えば電流）が測定される時のものです。

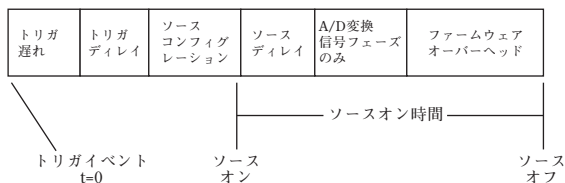


図3. ソース/ディレイ/メジャータイミングチャート

トリガ遅れはトリガイイベントが現れたポイントから2400型がそれを検出するポイントまでの時間です。これは約225  $\mu$ sです。

トリガディレイはトリガイイベントとソースの設定が現れるポイントの間の時間です。このディレイはユーザが0.0000sから999.9999sまで設定可能です。

ソースコンフィギュレーションはソースのDACを設定するための時間です。これは約50  $\mu$ sです。

ソースディレイはソースコンフィギュレーションと最初のA/D変換の間のディレイ時間のことです。オートディレイを有効にしてあるときは、ユーザー定義のソースディレイに100  $\mu$ sが加算されます。この値はユーザーが0.0000sと999.9999sの間で選択できます。

A/D変換は決められたA/D変換フェーズを測定するための時間です。

例の中では、シグナルフェーズはオートゼロがターンオフなのでただ測定するだけです。オートゼロは測定の度に精度の高い電圧リファレンスを測定することによりゼロドリフトを補償します。オートゼロをターンオフして、測定サイクルのシグナルフェーズが実行されるだけだと、測定時間は短縮されます。

ファームウェアオーバーヘッドは、A/Dの伝達、読み値のキャリブレーション、その他のソース・ディレイ・メジャーのサイクルのふるまいのために必要な動作に要する時間です。この時間はこのタイミングダイアグラムには表現していません。

この例のソースオン時間を決定するために、次の式を使います：

$$\text{ソースオン時間} = \text{ソースコンフィギュレーション} + \text{ソースディレイ} + \text{A/D変換} + \text{ファームウェアオーバーヘッド}$$

ここで

$$\text{トリガー遅れ} = 225 \mu\text{s max.}$$

$$\text{ソースコンフィギュレーション} = 50 \mu\text{s max.}$$

$$\text{A/D変換} = [\text{NPLC設定} \times (1/\text{電源周波数})] + 185 \mu\text{s}$$

$$\text{ファームウェアオーバーヘッド} = 640 \mu\text{s (Source I)}$$

$$300 \mu\text{s (Source V)}$$

例：ソースディレイ = 0  $\mu$ s

$$\text{NPLC設定} = 0.08\text{PLC}$$

$$\text{電源周波数} = 60\text{Hz}$$

$$\begin{aligned} \text{ソースオン時間} &= 50 \mu\text{s} + 0 + [0.081/60 + 185\text{us}] + 640\text{us} \\ &= 2.2\text{ms} \end{aligned}$$

タイミングの式はフィルタとオートレンジはオフになっていることを前提としています。従ってこれらがオンになっているときはソース/ディレイ/メジャーサイクルの時間はさらに増えます。

確度は積分時間（NPLC）に依存するので、測定スピードと確度の間に直接的な関係があるタイミングの式に注意すべきです。より速いスピードでは、より低い精度の測定となります。

ソースオフ時間を決めるものは、イベントトリガ、演算関数、リミットの使用によりさらに複雑になります。ソースオフ時間はフロントパネルからでもバスからでも、トリガディレイで調節することができます。これは特にパルスを作るときに便利です。

## ブレークダウン電圧またはリーク電流測定のためのパルスを出力させる方法

ブレークダウン電圧またはリーク電流は決められたDC電流・電圧のパルスをバリスタにかけて測定します。多くの要素がこれらのパルスのタイミングに影響を及ぼすので、波形を正確に計算することが重要です。そのために、オン時間の式を解かなければなりません。

これはとても良く表された例です。この式で始めるのが良いかと思います。

ソースオン時間≡ソースコンフィギュレーション  
+ソースディレイ+A/D変換  
+ファームウェアオーバーヘッド

### 例1. フロントパネルから1msのパルスを設定する。

- 2400を工場出荷時のデフォルト状態に戻す。  
押す：MENU  
選ぶ：SAVE SETUP(enter)  
RESET(enter)  
BENCH(enter)  
押す：ENTER 2回 ベンチデフォルト状態にするため  
押す：EXIT 2回 測定ディスプレイに戻るため
- 2400を要求されるソース値と測定レンジをキー入力  
で設定する。
- オートゼロをオフにする。  
押す：MENU  
選ぶ：GENERAL(enter)  
選ぶ：A/D CONTROLS(enter)  
選ぶ：AUTO-ZERO(enter)  
選ぶ：OFF(enter)  
押す：EXIT 3回 メインの測定ディスプレイに戻るため  
1msのパルスのために、一番短い積分時間
- (NPLC)0.01を使う。NPLCを0.01に変えるために  
押す：SPEED  
選ぶ：FAST(enter)  
表示桁数を3.5桁に減らす点に注意。  
ソースディレイのためのソースオン時間の式を解く。
- 上述の値を用いて、60Hz電源周波数とソースVモード  
を使うと式は以下ようになる：  
$$\begin{aligned} \text{ソースディレイ} &= 1\text{ms} - 50 \mu\text{s} - [(0.01 \times 1/60) \\ &\quad + 185 \mu\text{s}] - 300 \mu\text{s} \\ &= 0.298\text{ms} \end{aligned}$$
  
ソースディレイの分解能は100  $\mu\text{s}$ なので、300  $\mu\text{s}$   
を使います：  
押す：CONFIGそして次のどちらか  
I SOURCE or V SOURCE  
選ぶ：DELAY(enter)  
矢印キーでディレイ時間を入力し(ener)  
押す：EXIT メイン測定ディスプレイに戻るため

- オートレンジはタイミングに影響を及ぼすので、AUTO  
キーを押してこれをオフにする。
- FILTERキーを押してフィルタをオフにする。FILTアナ  
ウンシエータはまもなく消える。(注：フィルタの工  
場出荷時設定はオフである)
- ソースを1ms後にシャットオフするために、次のように  
してオートオフの機能をイネーブルにしておく。  
押す：CONFIGそして OUTPUT  
選ぶ：AUTO-OFF(enter)  
選ぶ：ENABLE(enter)  
押す：EXIT メイン測定ディスプレイに戻るため  
に
- OUTPUTかTRIGキーを押すとパルスが出力される。  
1msのオン時間とトリガディレイ値に基づくオフ時間  
を持ったパルス列が開始する。
- 要求される値へオフ時間を変更する。いろいろな要素  
がソースのオフ時間に影響を及ぼすことを思い出して  
ください。  
押す：CONFIGそして次に TRIG  
選ぶ：Trig-Layer(enter)  
選ぶ：DELAY(enter)  
要求されるディレイ時間を入力する (enter)  
押す：EXIT 2回 メイン測定ディスプレイに戻るため
- アウトプットオフステートがNORMALのときには、  
出力は流せる電流の量に制限があるので、2400型に  
接続していることによって、出力は放電するための  
トリガディレイ時間よりもさらに長い時間がかかる  
ことがあります。ソースV使用時のみにおいては、より速  
いセトリング時間を得るために、アウトプットオフ  
ステートをZEROにします。これはソースの値を0にし  
ますが、しかしプログラムした値に電流コンプライア  
ンスを維持します。アウトプットオフステートをZERO  
にするには：  
押す：CONFIGそして次に OUTPUT  
選ぶ：OFF-STATE(enter)  
選ぶ：ZERO(enter)  
押す：EXIT 測定ディスプレイに戻るため  
押す：OUTPUT 出力をオンに戻すために

ディスプレイ上ではセトリング時間はより速いこと  
に注意してください。ZEROモードにおいては、たとえ  
出力が停止しても動作中の回路が接続状態になっており、  
それゆえ“ZER”が表示されるのです。  
注意：フロントパネルからの操作では連続した矩形波  
が得られます。しかし、GPIBバスからコントロールし  
た場合は矩形波は2500サイクルまでに限られます。



12. オシロスコープを使って電圧ソースのオンとオフの時間を検証します。もし必要ならば、ソースディレイとトリガディレイを使って調整をします。

13. 連続波よりも単発波を出力したいときは：

押す：CONFIG そして次に TRIG  
選ぶ：ARM-LAYER(enter)  
選ぶ：ARM-IN(enter)  
選ぶ：MANUAL(enter)  
押す：EXIT 2回 メイン測定ディスプレイにもどるために  
押す：TRIG 2回 単発パルスを出すために  
押す：TRIG 次のパルスを発生させるために

プログラムされたディレイ時間の後はOUTPUTランプは消えることに注意してください。

## // アルファ値を表示させる方法

2400型はフロントパネルにアルファ ( $\alpha$ ) 値を自動的に計算し表示できます。アルファ機能は次のようにしてセットアップされます。

### 例2. アルファ値を表示する

はじめに、例1のステップ1のように2400型を工場出荷時設定に戻します。次に必要な電圧コンプライアンスと測定レンジを入力します。次に、必要な電圧コンプライアンスと測定レンジを入力します。

押す：CONFIG そして次に FCTN  
選ぶ：VAR=ALPHA(enter)  
I<sub>1</sub>の値を入力する(enter)  
I<sub>2</sub>の値を入力する(enter)  
押す：EXIT メインディスプレイに戻るために  
押す：FCTN "MATH"モードにするために  
(MATHアナウンシェーターに注意する)  
押す：OUTPUT 測定を開始するために

ディスプレイは連続的に測定しアルファ ( $\alpha$ ) 値を表示します。バリスタはすぐに加熱するのでOUTPUTキーを押して測定サイクルをターンオフします。

TRIGキーを1度押す度に一つのアルファを読むためには：

押す：CONFIG そして次に TRIG  
選ぶ：ARM-LAYER(enter)  
選ぶ：ARM-IN(enter)  
選ぶ：MANUAL(enter)  
押す：EXIT 2回 メイン測定ディスプレイに戻るため  
押す：OUTPUT ソースをオンにするため  
押す：TRIG 2回 アルファ測定をひとつ得るため  
押す：TRIG 1回 次のアルファ測定をするため  
押す：OUTPUT ソースをオフするため

ALPHAファンクションをオフするには、別のファンクションキーを押す。(例えばVメジャーまたはIメジャー)

## // フロントパネルからリミットを設定する方法

ハイとローの測定リミット値を2400型に設定しておき、2400型が測定した値をそれらと比較することができます。これらのリミットはフロントパネルから直接設定することができます。2400型のデジタルI/Oポートの出力から発生するTTLレベルの信号はテストがパスしたかフェイルだったかを知らせます。

二つの例はフロントパネルからのリミットストラクチャの設定を説明しています。例3は測定器がコンプライアンスに達したかどうかによって測定器のディスプレイにパスかフェイルの表示をする方法、例4はデジタルI/Oポートからパス/フェイルの信号を出す方法を記述しています。

### 例3 コンプライアンスによるパス/フェイル

- 例1のステップ1のように2400型を工場出荷時設定に戻します。
- 使用するファンクションを選ぶ。例えば、ソースIとメジャーV。
- リミット1をセットアップする。(注：リミット1は単純に測定がコンプライアンスに入っているかないかをテストするだけです。)コンプライアンスの状態はアプリケーションによってパスにするかフェイルにするかを定義できる。  
押す：CONFIG そして LIMIT  
選ぶ：LIMIT-1(enter)
- もし2400型がコンプライアンスに達したらテストはフェイルであると表示する。  
選ぶ：FAIL-MODE(enter)  
選ぶ：IN(enter)  
もし、デジタルI/Oポートを使うなら、ここでビットパターンを選び(入力し)、そうしないのなら：  
押す：EXIT 1回
- リミット1のコントロールをイネーブルにする。  
選ぶ：CONTROL(enter)  
選ぶ：ENABLE(enter)  
押す：EXIT 2回 測定ディスプレイに戻るため
- パス/フェイルモードを始める  
押す：LIMIT パス/フェイルモードをアクティブにするため

デバイスを接続し、OUTPUTをターンオンにする。ディスプレイが“PASS”または“FAIL”と表示しているかに注意します。

#### 例4 デジタルI/Oポートからパス/フェイルの信号を出す

この例においては、ノミナルバリスタ電圧値が135Vから165Vの間にあるときはパスとなります。値がこれらの境界の外側ならフェイルです。リミット2のハイとローの値だけが使われます。

リミットテストチャートは次の通りです：

リミット	値	パターン	動作
V<LOLIM	V<135	1110	DIGOUT#1=LOW 他は全てHI
LOLIM<V<HILIM	135<V<165	1101	DIGOUT#2=LOW 他は全てHI
V>HILIM	V>165	1011	DIGOUT#3=LOW 他は全てHI

以下のこれらはパス/フェイルの信号をハンドラに送るためのステップです：

1. 例1のステップ1のように2400型を工場出荷時設定に戻します。
2. 必要なソースとコンプライアンスの値を選ぶ。
3. リミット2を設定する。  
押す：CONFIG そして次に LIMIT.  
選ぶ：LIMIT-2(enter)  
押す：CONTROL(enter)  
押す：ENABLE(enter)
4. ローリミット値とビットパターンを決める。  
押す：LOLIM(enter)  
ローリミット値を入力する。例えば135(enter)。  
デジタル出力パターンを入力して(enter)。
5. ハイリミット値とビットパターンを決める。  
押す：HILIM(enter)  
ハイリミット値を入力する。例えば165(enter)。  
デジタル出力パターンを入力して(enter)。  
押す：EXIT 1回 リミットメニューに戻る
6. 部品がリミットテストをパスしたときのためのビットパターンを設定する。  
選ぶ：PASS(enter)  
デジタル出力ビットパターンを入力し(enter)。
7. いくつかのハンドラは測定サイクルが終わったということを示す信号を必要とする：  
選ぶ：DIGOUT-CLEAR(enter)  
選ぶ：ENABLE(enter)  
ディレイ時間を入力する(enter)。  
デジタル出力ビットパターンを入力する。  
押す：EXIT 1回 測定ディスプレイに戻る。

## サンプルプログラム

ノミナルバリスタ電圧、スタンバイ電流、非線形指数試験を行うためのプログラムがすでに作成されています。バリスタ電圧は1mAの試験電流を流し、135Vと150Vに設定した電圧リミットの上限と下限を持っています。DCスタンバイ電流は125Vにおいて200 $\mu$ Aの上限電流リミットで測定されます。アルファ測定のための2つのテスト電流は0.01Aと0.1Aです。アルファの値は0から50の間でなければなりません。いままで述べてきた事と同じような内容のこのプログラムは10個のデバイスを試験できます。コンピュータ用のファイルとしてサンプルプログラムを手に入れるためにケースレーのワールドワイドウェブサイト

(<http://www.keithley.com>) にアクセスするか、またはケースレーインストゥルメンツへご連絡ください。

## 機器のリスト

以下の機器はバリスタの製造試験システムを組み上げ、プログラムを走らせるのに必要なものです。

1. ケースレー2400デジタルソースメータ
2. KPC-488.2型インターフェイスカードがインストールされたパソコン
3. テストフィックスチャを持った部品ハンドラ
4. GPIBケーブル
5. DB-9デジタルI/Oハンドラインターフェイスケーブル(2400とハンドラを接続するため)
6. テストフィックスチャと2400を接続するテストリード

## 別のシステム案

2400型が提供している機能を置き換えるために電源と測定器を個別に用いることでバリスタ製造試験のための別の試験システムを構成することができます。200V以上の電圧を必要とする様なバリスタの試験にはケースレー237型ソースメジャーユニットのような高電圧電源と個別の測定器を同様に使って行えます。