

## 2400を使った抵抗ネットワークの試験

## 概要

抵抗ネットワーク製造試験の目的は、それらが最終的なパッケージされた形になったときに確認するのはもちろん、可能な限り早く、生産する素子の性能を製造の各工程で確認するためです。出荷されるすべての製品が製造者のスペックに合っていることを保証するために、試験は勿論信頼できるものでなければなりません。

ほとんどの場合、抵抗ネットワークの測定はそれぞれの抵抗エレメントに対して行われます。抵抗の測定は一定の電流が電圧を与えて行われます。これらの試験を行うには、ネットワークのなかのそれぞれのエレメントへの電源（ソース）と測定信号（メジャー）を切り換えるスイッチング機器が必要になります。

2400型デジタルソースメータは、スタンダードな4線式とスプリットケルビン法、および6線式ガード付抵抗測定をする機能をもっており、また一定の電流を流す方式にも、一定の電圧を印加する方式にも対応しています。ケースレー社の7001型や7002型スイッチングシステムと2400型デジタルソースメータを組み合わせると、広範囲の抵抗ネットワークデバイスの試験に最適です。

高速な生産試験のスループットを得るために、2400型は自動化されたデバイスハンドラとのダイレクトインターフェイスを持っています。内蔵の合否判定機能は、試験結果に基づいたネットワーク抵抗の高速な選別を可能にします。7段階のカテゴリで、100ステップまでの合否パターンを、それぞれの個別のエレメントに対し指定することができます。

このアプリケーションノートでは、2400型と7001型スイッチメインフレームと7019型マトリックスカード等を使った抵抗ネットワーク試験システムの組み上げ方とその設定方法を述べます。特に8ピンのデュアルターミネーターネットワーク抵抗の試験をする6線式ガード付抵抗測定システムの概要を述べます。さらに、このノートでは、基本的なネットワーク抵抗であるアイソレート型、バス型、R/2Rラダー型、デュアルターミネーター型の4種類のすべてについての測定原理について述べます。このアプリケーションノートは、どのように2400型が高速な生産試験の要求に応えるのかも説明します。ネットワーク中のひとつの素子の試験は、スイッチングと測定と信号処理の時間を含めて、約10ms秒で完了します。

## 試験について

普通は、抵抗ネットワークの試験は次の3つの一般的な測定カテゴリのうちの一つになります。

- ・ スタンダードな4線式ケルビン測定
- ・ 6線式ガード付抵抗測定またはデルタ抵抗測定
- ・ Y結線抵抗測定またはベリードノード抵抗測定（スプリットケルビン測定とも呼ばれます）

測定される抵抗値は、0.5%から10%の確度を条件として、5Ωから1MΩの範囲が可能です。

すべての試験は一定の電流が電圧を使って行われる基本的なシングルポイントの抵抗測定です。2400型は、どちらか一方の方法（定電圧印加、定電流印加）を使うこともできますし、二つの方法を切り換えながら行うことも可能です。2400型は、生産者の仕様に合うように、また最高の確度および信頼性と測定のスピードを保証するために、印加値と測定レンジを調節することができます。2400型はスプリットケルビン測定において、最大1MΩまでのリード線抵抗に対応できます。

デバイス試験はすべて、ネットワーク抵抗のなかのそれぞれの抵抗エレメントに機器を接続するために、スイッチングを使用しています。標準的な試験の設定のために、『テストシステムの構成』の章を参照してください。

2400型は、電圧係数などの、さまざまな製品の信頼性試験を行えます。これらの試験の方法についてより多くの情報が必要な時は、ケースレーアプリケーションノートNo.805“2400を使った個別抵抗の試験”を参考にして下さい。

4つのタイプのネットワーク抵抗デバイスに対して、ケースレーはさまざまな測定技術を提供します。

## アイソレート型とバス型抵抗ネットワーク

アイソレート型抵抗ネットワークとバス型抵抗ネットワークの試験をするのはひとつの抵抗素子を試験することと同じです。スタンダードな4線式ケルビン接続はリード線抵抗の影響を受けないようにするために使われます。2400型のセンシング回路は、精度の良い4線式測定を実行するために $10^{10}\Omega$ 以上の入力インピーダンスを有しています。デジタルマルチメータ（DMM）や抵抗計とは違った特長を持つ2400型は、抵抗ネットワークメーカーの製品の仕様に合わせるために、定電

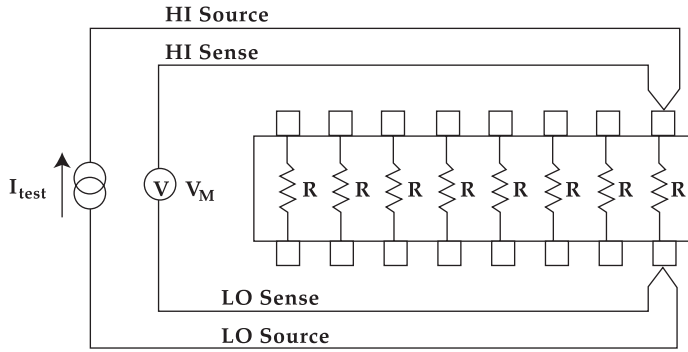


図1 アイソレーテッド型・バス型抵抗ネットワーク

流測定法と定電圧測定法での印加値を任意に調節することができます。

バスネットワークのためのコモンバスの抵抗チェックの仕方についてはR/2Rラダーの章を参照してください。

## R/2Rラダー抵抗ネットワーク

R/2Rラダー抵抗ネットワークでは、測定される抵抗は他の抵抗の間に埋め込まれます。この部分を測定するために抵抗の端子にアクセスしなければなりません。

このタイプのネットワークの各抵抗エレメントを測定するために、従来からのケルビン接続は4つの線に分配しなければなりません（ここからはスプリットケルビンと呼ぶ）。Rsと2Rsを通して試験をしたい素子にアクセスすると、センスラインとソースラインに無視できない大きさの抵抗が加わってしまいます。これは、従来の4線式抵抗計を使った試験では、解決の難しい問題点となります。ほとんどの抵抗計は、4線式抵抗測定において許される最大のリード線抵抗は1kΩか又はレンジの10%です。それゆえ、これらの抵抗計を使うのは、2Rの値が200kΩにもなるので、適切な方法ではありません。

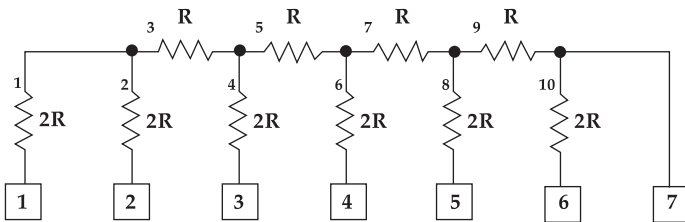
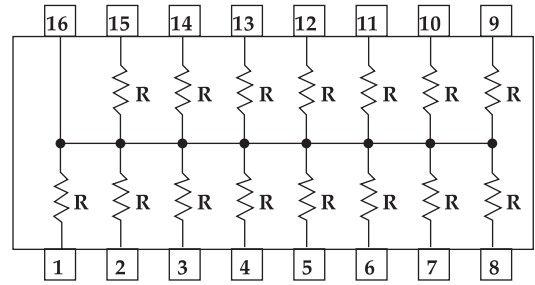


図2 R/2Rラダーネットワーク



この問題を解決するひとつの方法は、電流源と電圧計を別々に用意し使うことです。もうひとつの方法は、簡単にプログラムすることができ、より速い応答が得られる、ひとつの機器の中に二つの機器をまとめた、2400型を使うことです。このメータは両方のソースモードで評価された精度において1MΩまでのリード線抵抗を許容しています。この2つの機能に加え、その高いセンス入力抵抗は、この測定の問題を解決します。

この測定技術を表現するために、図2の抵抗No3の抵抗を測定する場合のステップを示しましょう。

測定をするために、図3に示すように、ソースLOは抵抗No2（ピン2）、ソースHIは抵抗No4（ピン3）、センスLOは抵抗No1（ピン1）、センスHIは抵抗No6（ピン4）に接続します。思い出してほしいのは、センス入力のインピーダンスが高く、センスのリード線には測定に悪影響を与える電流は流れません。よって、抵抗No1,5,6は気にしなくてよいこととなります。

$$R_3 = V_R / I_{\text{test}} = V_M / I_{\text{test}}$$

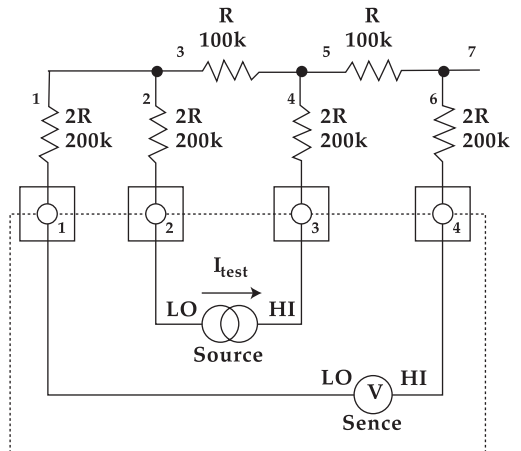


図3 4線式抵抗のスプリットケルビン式接続

100kΩと200kΩの両方からなるR/R2ラダーを受け持っているセンス回路でのトータルの直列抵抗は、抵抗No3を測定する場合には、500kΩにもなります。10μAの試験電流のときは、抵抗No3の両端で測定される電圧は1Vになります。抵抗No2と抵抗No4に2Vの電圧がかかり、ソースによって発生されるトータルの電圧は5Vとなることに注意してください。2400型はそれぞれのソースの“リード線”抵抗に5Vまでの電圧発生が許容できます。

この同じ技術はバス抵抗ネットワークデバイスのコンモンバスターチェックをするためにも使われます。

注意：ネットワーク中のそれぞれの素子の試験をするために、システムは4本の測定および印加のリード線をネットワークの各々のピンに接続することができなければなりません。詳細は“テストシステムの構成”を参考にしてください。

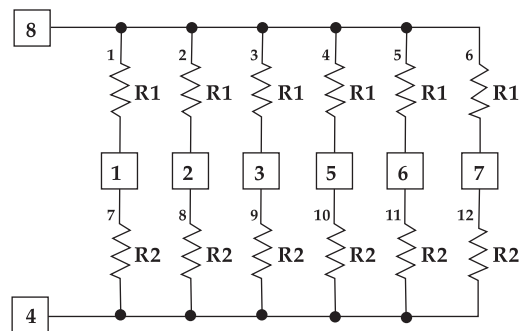


図5 図4の電気的等価回路

この問題を解決するには、直並列抵抗に流れる電流がなくなるようにピン4のところをピン1と同じ電位になるように電圧を印加して並列抵抗をガードし無効にすることです。すべての試験電流はピン1からピン8へ流れます。十分なドライブ電流をもった低インピーダンスのガードバッファを加えることにより、抵抗No1は正確に測定されます。2400型は、この種のガードバッファを内蔵しています。

## デュアルターミネータ抵抗ネットワーク

デュアルターミネータ抵抗ネットワークは、それぞれの独立した抵抗が、平行して電流が流れる他の抵抗のループによってブリッジされています。ループを物理的に切ることは不可能です。普通の方法では、試験電流は、試験したい抵抗エレメントの他、並列に寄生する抵抗にも流れ、測定値は実際の値よりも小さくなってしまいます。

8ピンのデュアルターミネータデバイスを図4に示します。図5は、このデバイスの電気的な等価回路です。

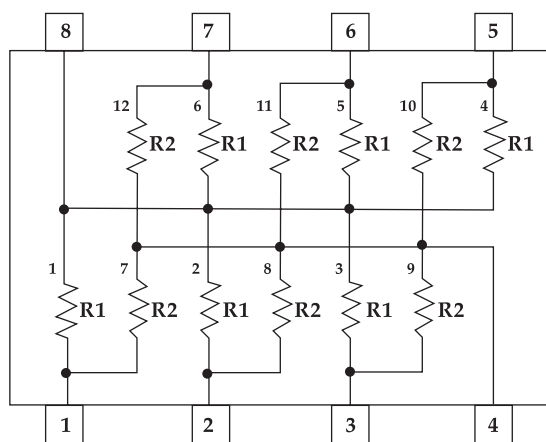


図4 8ピンデュアルターミネータネットワーク

この例では、抵抗No1（ひとつめのR1）は、4線式抵抗測定用のHIのペアをピン1に、LOのペアをピン8に接続することによって測定されます。電流は試験をしているR1のHIからLOに流れるのと同様に、直並列ループの中の他のR1とR2を流れます。メータの読み値はひとつめのR1の実際の値よりも低くなってしまいます。

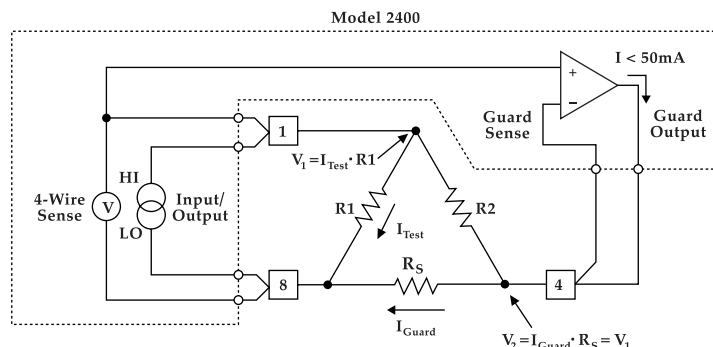


図6 デュアルターミネータネットワークに接続された2400型

本質的には、2400型のガードバッファはその入力間の電圧をほぼ0Vに保つ増幅率1のアンプです。ピン4の電圧がピン1と同電位になるまで、Rsに電流を流すことにより、これを行います。Rsは回路中に残るすべてのR1とR2が形成する等価的な合成抵抗です。ガード出力のリード線に生じる電圧効果による誤差を除去するために、ガード出力をフィードバックコントロールをするガードセンスと呼ばれるバッファの反転入力を、ピン4にも接続します。

6線式ガード付抵抗測定でスイッチングシステムを使い各々の線を試験対象に分配する方法は、4線式抵抗測定と同様に行います。リード線のペアは任意のデバイスのピン（HIセンス/HIソース、LOセンス）に切り換えられます。

図4に示した8ピンデュアルターミネータのためのスイッチングシーケンスは、以下のようになります。

- ・すべてのR1の測定:LOのペアはピン8に接続され、ガードのペアはピン4に接続されます。HIのペアは測定する残りのピンをスキャンします。
- ・すべてのR2の測定:LOのペアはピン4に接続され、ガードのペアはピン8に接続されます。HIのペアは測定される残りのピンをスキャンします。

2400型のガードバッファは、210Vの最大電圧時に50mAまで供給することができます。これは、与えられたデバイスを試験するときの最大電圧および最大電流です。独立した素子の測定をするために使われる最大の試験電流と電圧を計算するためには、ガードペアとLOペア間のシャント抵抗がわからなければなりません。抵抗にかけられる最大電圧は次のように計算します： $V_{max} = R_S \cdot 50mA$ 。ここで $V_2 = V_1$ なので、これが測定対象の独立した抵抗エレメントにかけられる最大電圧です。

## テストシステムの構成

下図にアウトラインを示したネットワーク抵抗試験システムは12ピンまでの広範なネットワーク抵抗デバイスを検査することができ、60ピンまでのデバイスに拡張できます。8ピンのデュアル・ターミネータを例に説明します。

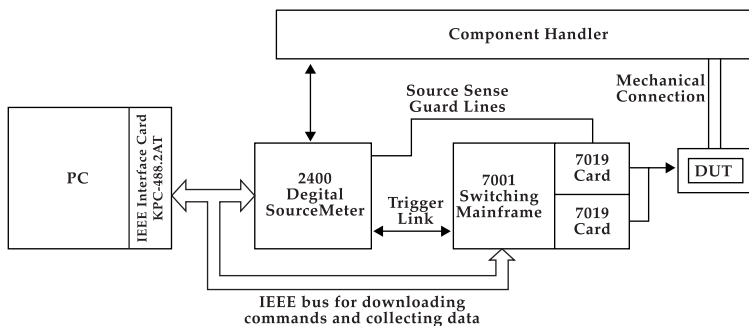


図7 抵抗ネットワーク試験システム

2400型ソースメータと7019型スイッチカードを装着した7001型スイッチングメインフレームおよびGPIBボードを装着したPC（パソコン）を取り巻くシステム構成を図7のブロックダイアグラムに示します。このシステムはユーザが用意したハンドラ（全自動部品搬送装置）とインターフェイスすることができます。PCは各機器にテストシーケンスをダウンロードし、統計的なデータを収集します。

7019型スイッチングカードはネットワーク抵抗デバイスの試験専用設計されています。1極リレーをデュアル3×6マトリクスに配置し、4線測定やケルビン測定と同様に6線抵抗測定も容易に行うことができます。広範なネットワーク抵抗の試験用途に最適です。

## テストシーケンス

このシステムはPCもしくは別のGPIBコントローラにより制御されます。今までGPIBバスは研究用途向けの遅いコミュニケーションバスであると言われていましたが、2400型や7001型のような測定機器を用いることでこの状況はまったく変わってきます。これらの測定機器はそれ自身で十分にインテリジェントな機器であり、生産ラインのニーズに合わせるためにGPIBのスピードの問題を解決しそれを上回るためのメモリ、トリガハンドシェイク、高速データ転送能力を持っています。このシステムはネットワークエレメントあたり10msのスループットで自動試験を実行することができます。

ネットワーク抵抗の試験プログラムのシーケンスを次に示します。

- ・オペレータにネットワーク抵抗のパーツ番号の入力を要求します。
- ・データベースからそのパーツの試験条件を引出します。
- ・2400型ソースメータと7001型スイッチングメインフレームの各設定条件を計算します。
- ・各機器に設定条件をダウンロードします。
- ・オペレータに試験するデバイス数の入力を求めます。
- ・オペレータに試験のスタートを要求します。
- ・ここで各機器にコントロールを任せます。
- ・2400型はハンドラからテスト開始の信号が入るまで測定を待ちます。
- ・DUT（被試験物）が正しく測定可能状態になったことをハンドラから知らせると、2400型と7001型は互いにハンドシェイクをし、ネットワーク抵抗の個々の抵抗エレメントを順次測定していきます。また2400型は各エレメントに対してリミットテストを実行します。100種類までの異なるリミット値を設定することが可能です。
- ・ネットワーク抵抗のすべての抵抗エレメントの測定が終了すると、ハンドラにテスト終了の信号を出力し、Pass/Failのパターンを送ります。個々の抵抗エレメントの測定値は先に演算処理を進めるためすでにPCに転送されています。
- ・PCは設定したデバイス数のテストがすべて終了するまでその処理を繰り返します。

ここで気付いていただきたい重要なポイントは測定に関するコントロールと個々のエレメントに対してのスイッチングがこれらの機器のみで実行されていることです。 GPIBバスやPCのオーバーヘッドタイムは一切必要としません。

ん。ネットワーク内の1つのエレメントに対してトータルで、6つのクロスポイントをクローズする必要があります。7001型のチャンネルメモリにより、それぞれの抵抗に対するリレーパターンをストアすることができます。

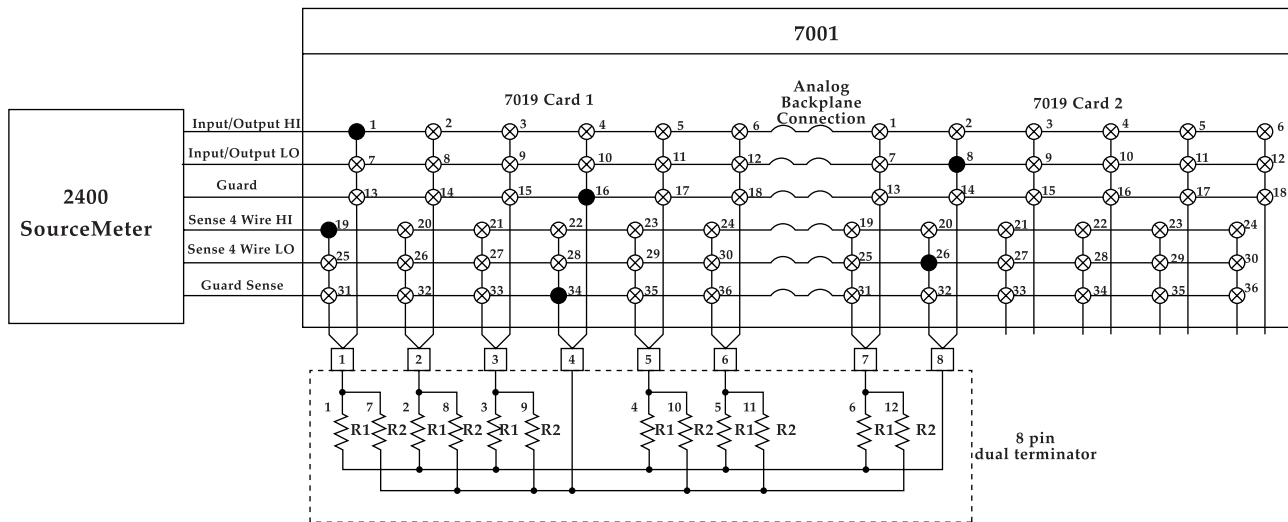


図8 8ピンデュアルターミネータネットワークと2400型の接続 (2枚の7019スイッチカード使用)

## 機器間の配線について

2400型とスイッチングカード間の配線とDUTとスイッチングカード間の配線の方法について簡単に概要を示します。具体的なピン出力、結線等の詳細については2400型、7001型、7019型のユーザマニュアルを参照ください。

図7にイラストで機器間の接続形態について示します。各測定機器とPC間は標準的なGPIBケーブルで接続します。ケースレー社のトリガ・リンクケーブルを使用して2400型と7001型を接続します。ユーザから支給されるデバイスハンドラの9ピンケーブルを2400型のDsub9ピンコネクタ (メス) に接続します。

2400型の6本の測定線は7019型スイッチングカードの列側に接続し、7001型の内部でカード間の列をすべて接続します。行側はハンドラのテストフィクスチャに接続します。図8に詳細を示しますので参照してください。7019型カードは1枚当たり6本までのデバイスピンを扱うことができます。ノイズによる干渉を防ぐためには、短くシールドされたケーブルを使用することが重要です。

## スイッチングシーケンス

試験の説明の章で述べたように、デュアルターミネータの測定では、デバイスピンへLOのペア、HIのペア、Guardのペアを切り替える必要があります。1つのピンへ接続するためには、2つのリレーがクローズされなければなりません。

図8では、最初のR1を測定するためにクローズされるリレーが、●で示されています。

以下のスキニングシーケンスは、図4に示されるネットワークを測定するために、用いられます。

抵抗	カード1	カード2
1	1,,19,16,34	8,26
2	2,20,16,34	8,26
3	3,21,16,34	8,26
4	5,23,16,34	8,26
5	6,24,16,34	8,26
6	16,34	1,19,8,26
7	1,19,10,28	14,32
8	2,20,10,28	14,32
9	3,21,10,28	14,32
10	5,23,10,28	14,32
11	6,24,10,28	14,32
12	10,28	1,19,14,32

図9

## 2400型のセットアップ

デュアルターミネータに対しての試験の詳細について述べます。2400型のガードバッファの最大ガード電流は、50mAです。8ピンR1/R2、180/390Ωのデュアルターミ

ネータの例における電源部の電流設定値を計算すると、最大電圧は以下のように計算できます。

$$R_S = (180 + 390) \Omega / 5 = 114 \Omega$$
$$V_{\max} = R_S \cdot 0.05 \text{A} = 5.7 \text{V}$$

R1に対する最大印加電流、あるいは測定電流は

$$I_{\max} = 5.7 / 180 \Omega = 31.7 \text{mA}$$

R2の場合

$$I_{\max} = 5.7 \text{V} / 390 \Omega = 14.6 \text{mA}$$

R1に対して最大31.7mAを与え、R2に対して最大14.6mA与えると、これらの最大値を下回るために、R1,R2両方に対する印加電流は、10mAとします。また、2400型の測定レンジは、精度よく、そしてレンジの変更を避けるため、テスト信号をフルスケールに近く維持する2Vレンジが最適です。また、同様に、定電圧モードの場合、1.8Vのテスト電圧の選択により、10mA測定レンジが使用できます。もちろん、最大消費電力は、別の制約要因となります。

試験システムの制約となるもう一つの要因は、用いられるスイッチングスピードを維持するため、7019型カードは、リードリレーを使用しています。リレーの寿命を最大にし、メンテナンスコストを最小にするため、2400型は、コールドスイッチングをします。コールドスイッチングにより、2400型は、ソースオートクリアとゼロインピーダンススタンバイモードが実行されます。ソースオートクリアファンクションは、プログラムした印加と測定時間の後、自動的に出力を切る機能です。

## サンプルプログラム

図4に示されるネットワークデバイスの試験を実行するサンプルプログラムが用意されています。一方、アプリケーションによって異なる要求に対応するよう、プログラムに変更を加える必要があるかもしれません（コントローラやデバイスハンドラなど）。このプログラムは、その様なアプリケーション用にプログラムを開発するためのよい雛型となるはずです。

サンプルプログラムをデジタルファイルとして必要なときは、ケースレーのワールドワイドウェブサイト (<http://www.keithley.com>) かftpサーバ (<ftp://ftp.keithley.com/pub/instr/SourceMeter/resnet.bus>) で入手できます。

## 典型的な誤差の要因

システムにおける誤差の要因は、決められているシステムエラーとランダムなエラーに分けることができます。システムエラーは、測定器やスイッチングデバイス、ケーブル

の引き回しが原因のエラーで、ランダムなエラーは、環境からや、測定デバイスからのノイズの結果です。

抵抗ネットワークの精度使用によって、以下の記述が当てはまるか、当てはまらないかが決まります。起こりえる誤差の要因に関する詳細な説明が必要なときは、ケースレー社の高感度測定ハンドブックを参照してください。

## ノイズ

製造を行う環境では、電気的ノイズは重大な問題です。蛍光表示管、機械、部品ハンドラのようなアンテナとして働く大きな金属の物体や、他のノイズの要因は測定回路に小さな電圧をもたらします。

これらの影響を最小限にするため、すべての測定リードにはシールドされたケーブルを使用する必要があります。この事は、2400型からスイッチングカードや、カードから部品ハンドラのテストフィクスチャへの結線を含みます。1つのシールドと複数のコンダクタを持つケーブルがお奨めです。シールドされない限り、ツイストペアケーブルは、お奨めできません。

ケーブルのシールドは、グラウンドが単一の場所で接続されるよう、アースグラウンドに対しスター型で接続されなければなりません。2400型のLO入出力端子とコンポーネントハンドラのシャーシはアースグラウンドに接続されなければなりません。

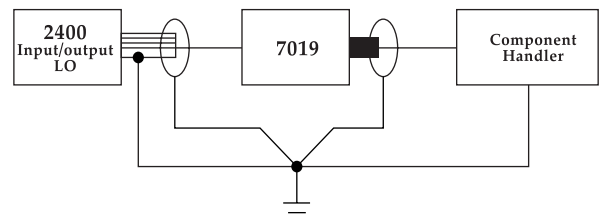


図10

扱う電圧レベルはノイズフロアより十分高くなければなりません。測定電圧を高めれば高めるほど、S/N比は高まります。そのことにより、ノイズの影響を受けにくい測定をすることができます。

ノイズの影響を少なくするもう1つの方法は、測定時間を長くすることです。2400型では、0.01PLCから10PLCまでの測定時間（積分時間）に調整できます。（PLCは1電源周期）電源周期の整数倍（1、2、5、etc）を積分時間として用いることで、電源に起因する誘導ノイズを大幅にキャンセルできます。詳細は、2400型の取扱説明書とデータシートを参照してください。

## オフセット

テストフィクスチャによって発生する熱的オフセットに加えて、スイッチングシステムと2400型もシステムに対して、温度に依存するオフセットを追加する可能性があります。大量で精密でない部品の試験の場合、これらのオフセットに起因する誤差は、最終的には重大ではありません。しかし、より高精度な測定が要求される場合、2400型をエンハンスドオームモードに設定し、オフセット補償抵抗測定をさせ、熱的オフセットを除去します。一般に、この手法は、ある決められたソースレベルでの抵抗値を測定し、ソースをかけないで測定された抵抗値を差し引き行われます。ソースをかけないで測定された電圧が熱起電力を示しています。

## ガード電流

2400型は、50mAまでのガード電流を印加する事ができます。回路抵抗が低すぎてガード電流が50mAを越える場合、セルフリセッティングサーマルヒューズにより、ダメージから回路を守ります。しかし、読み値は不正確となります。GuardとソースLO間の抵抗とソースHIとソースLO間の抵抗の比により、一般的なデルタ式で、有効な最大印加/測定電流が求められます。

$$I_{\max} = (R_S / R_{HI-LO}) \cdot 0.05A$$

## ガードバッファオフセット

前述のデュアルターミネータ抵抗ネットワークの章で記述した通り、ガードバッファにより、4線センスHIとガードセンス間の電圧は、0V近くに保持されます。しかし、そこには150 $\mu$ V以下の微小な電圧差が残っています。

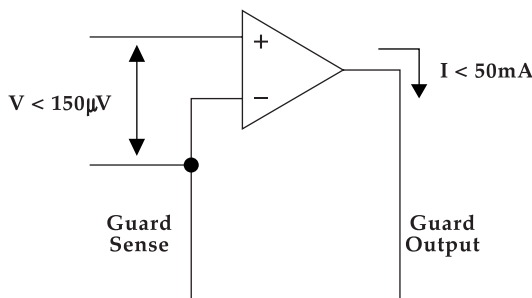


図11

この微小電圧により、GuardとHIリード間の抵抗に、電流が流れます。この電流は、印加あるいは測定電流から差し引かれ、微小な誤差を生じます。この誤差は以下の式で求められます。

$$\text{error}_{\max} = [150 \times 10^{-6} V / (R \cdot I_{\text{Test}})] \cdot 100\%$$

このエラーがテスト結果に重大な影響を与えるなら、この誤差を最小限にする2400型オフセット補償モードを使用することができます。

## センスとソース間の最大電圧

R/R2ラダーネットワークのところで注意を喚起したように、HIとLO端子の両方のソースとセンスの間で許された5Vの最大リミット電圧があります。それぞれのリード線の最大抵抗値は既知でなければならぬので、もし、このリミットを越えても、2400型はそれをチェックすることができます。

以下の計算は測定誤差を避けるために使われています。

$$I_{\max} = 5V / R_{\max}$$

$R_{\max}$  はソースライン1本における最大のリード線抵抗です。例えば、もし  $R_{\text{SourceLO}} = 200k\Omega$ 、 $R_{\text{SourceHI}} = 350k\Omega$  のとき、最大試験電流及び測定電流は  $5V / 350k\Omega = 14\mu A$  となります。Rで測定される電圧は2.8Vです。

## ケーブルの容量値

DUTまでのケーブルが持つキャパシタンスは2400型とスイッチングシステムの内部容量に並列に寄生します。約100k $\Omega$ までの抵抗値では、普通この効果は軽微であり、特別に考慮する必要はありません。100k $\Omega$ 以上では、ケーブルによる時定数の増加を小さくするために電圧印加/電流測定の手法を使います。

## 直列抵抗値

アイソレート型とバス型抵抗ネットワークを試験することは、ひとつの抵抗を測定することと非常に似ています。これらのデバイスの測定の誤差が直列抵抗によるときの一般的な原因はケーブル抵抗やスイッチングシステム（リレー抵抗）、そしてハンドラのプロービング接触抵抗（テストフィクスチャ）です。

リード線抵抗の影響を最小にするために、高入力インピーダンスを持った4線式抵抗計を使います。これはDUTにかかった電圧が測定されたとき、仮想的に電流がセンスラインに流れない事を保証します。そして、直列抵抗誤差は効果的に除去されます。2400型はこの試験で適切な測定器です。なぜなら、2400型は定電流、定電圧モード両方で  $10^{10}\Omega$  の入力インピーダンスを持っているからです。

## 使用機器のリスト

1. ケースレー2400型デジタルソースメータ
2. ケースレー7001型スイッチメインフレーム
3. ケースレー7019型6線抵抗スイッチカード(2)
4. ケースレーKPC-488.2(AT)型GPIBインターフェイスカード  
ケースレー8501-1型トリガーリンクケーブル
5. ケースレー7007-1型シールド付GPIBケーブル(2)
6. ケースレー7011-KIT-R型コネクタキット
7. パナナプラグ(6)
8. 9ピンDINコネクタ
9. 9芯コンピュータケーブル
10. シールド付6芯ケーブル#22AWG
11. シールド付24芯ケーブル#22AWG

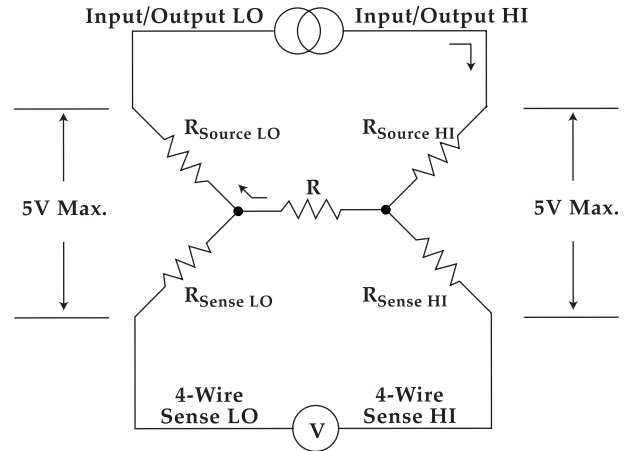


図12

### 警告

リモートセンスをしているとき、センスリードを開放するとOUTPUT HIとGUARD端子に支障を招く電圧が発生することがあります。また外部の回路に損傷を与える可能性があります。いつも、リモートセンスを有効にする前にセンスリードが確実に接続されていることを確かめてください。パワーが供給されている間は決して接続を変えないでください。パワーを切り接続を変えるときは、外部の電源が放電しているか、またはそのリード線がはずされているかを確かめてください。