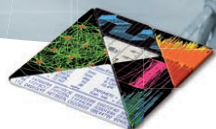


# Agilent 34980A マルチファンクション・ スイッチ／ 計測ユニットによる 正確な抵抗測定

Application Note



テストの限界に挑む  
アジレントのモジュール計測器

34980Aマルチファンクション・スイッチ／計測ユニットにより、抵抗性誤差の原因を容易に特定して、正確な2端子/3端子/4端子抵抗測定を実行できます。

## 概要

複数の抵抗測定を行う際に、補正と制御方法により確度を改善できます。これは特に、測定する抵抗値が非常に小さい場合、または、抵抗値のわずかな変化を検出する必要がある場合に有効です。

このアプリケーション・ノートでは、正確な低抵抗測定を実行できる方法をいくつかご紹介します。ここでは、Agilent 34980Aマルチファンクション・スイッチ／計測ユニットで、内蔵デジタル・マルチメータ(DMM)とプラグイン・マルチプレクサ・モジュールを使用して、正確な2端子/3端子/4端子測定を行う方法の基本的な概要を説明します。



図1. 34980Aマルチファンクション8スロット・スイッチ／計測メインフレーム・ユニットおよびモジュール



## 2端子抵抗測定の問題

2端子抵抗測定は、非常に簡単に行えます。テスト・エンジニアであれば誰でも、ハンドヘルド抵抗計でこの測定を行ったことがあるはずです。2線式マルチプレクサを使用すれば、この基本的な方法を拡張して複数の測定を実行できます。例えば、Agilent 34980Aマルチファンクション・スイッチ/計測ユニットの内蔵DMMと、34921A/34922Aなどの2線式マルチプレクサ・モジュールを使用できます。

図2では、未知抵抗がマルチプレクサとワイヤ経由で抵抗計に接続されています。未知抵抗( $R$ )に、リード・ワイヤの抵抗( $RL$ )と、閉じられているリレーの接触抵抗( $RR$ )を加えたものが、測定される全抵抗値になります。未知抵抗が比較的大きい場合や確度要件が厳しくないアプリケーションの場合は、2端子測定でも十分な可能性があります。

図3のプロットには、 $R$ の値が小さくなるにつれて測定誤差がどのように変化するか示されています。リードとリレーによる余分な抵抗から生じる抵抗誤差は、 $R$ と $RL+RR$ が近い値になるほど無視できなくなります。

リレーとリード抵抗を補正するために、基準抵抗( $R_{ref}$ )を使用することもできます。基準抵抗は一般に $R$ に近い値で、リードの長さがほぼ等しくなるように接続します。この方法では、基準抵抗値とその測定値の差に基づいて誤差を計算し、その誤差を使用して $R$ の測定値を補正します。補正は通常、 $R$ と $R_{ref}$ を続けて測定した後で、ソフトウェアによって行われます。

この方法は、既存の2端子システムの確度を改善するために大幅な変更ができない場合に最適です。小さい基準抵抗も使用でき、場合によってはショートでも問題ありません。信頼できる測定に重要なことは信頼できる基準を用意することで、環境要因の影響を比較的受けにくく、かつ $R$ の値と同じオーダのものが重要です。この方法では、測定結果を信頼するための検証が必要になります。

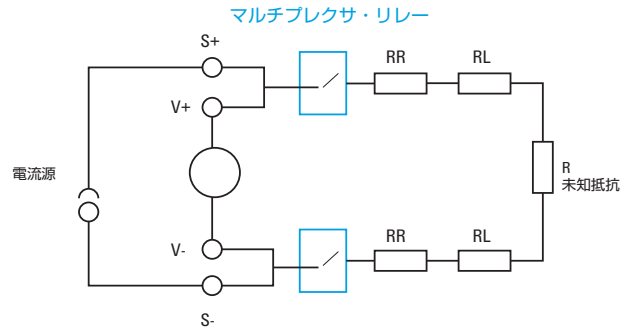


図2. 2端子法。RRはリレー接触抵抗、RLはリード抵抗。Rは測定対象の抵抗。

## 2端子法の誤差

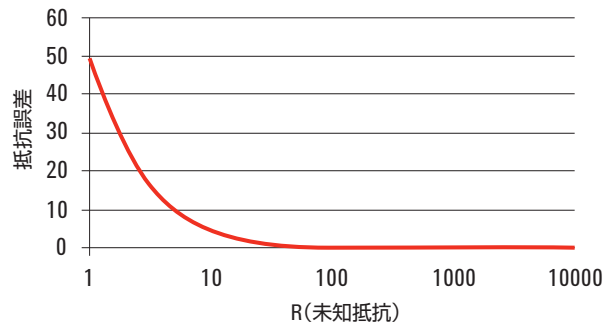


図3. 2端子誤差。

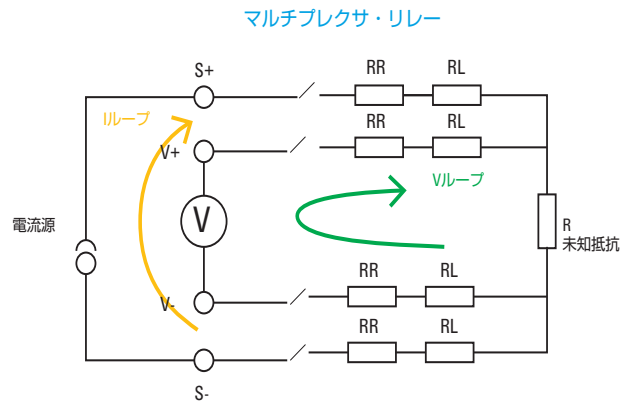


図4. 4端子法。1つのループでRに電流を流しながら、低電流のVループでRの電圧降下を測定します。電圧計のインピーダンスが高いため、Vループの電流は小さく、RRとRLは無視できるので、Rを正確に測定できます。

## 4端子法の利点

より正確な抵抗値を得るには、2端子測定法ではなく4端子測定法を使用します。4端子法では、電流源用の1対のワイヤと、電圧センス用の1対のワイヤを並列に使用します(前ページの図4参照)。電流源ワイヤでは、リード・ワイヤ、リレー・ワイヤ、 $R$ による電圧降下が生じます。電流は一定なので、 $R$ による電圧降下は、電流と抵抗の値に完全に依存します。電流源は一般に確度が高いため、安定して高い確度と精度が得られます。もう1対のワイヤは、 $R$ を測定する電圧ループを構成します。電圧計の抵抗は非常に大きい(10 M $\Omega$ 程度)ので、リード・ワイヤの抵抗 $RL$ とリレーの抵抗 $RR$ は測定にほとんど影響しません。確度は $R$ に依存せず、2端子法に比べて通常1,000倍以上高くなります。この天才的な測定法は、1855年にケルビン卿によって発明されました。

## 外部電流源

抵抗測定を行う場合、 $i^2R$ による発熱を抑えるため、電流を制限します。34980Aの場合、最大電流は1 mAです。場合によっては、熱に弱い抵抗やセンサの過熱を防ぐために電流を1 mA未満に減らす必要があり、逆に、低電圧の検出精度を改善するためには電流を増やす必要があります。このような場合は、外部電流源を使用します。最高の結果を得るには、高精度で安定した外部電流源が必要です。このような条件が容易に実現できない場合は、基準抵抗を使用して電流を計算する方法があります。この場合、基準抵抗をマルチプレクサで電圧計に接続して両端の電圧を測定し、その後 $R$ の両端の電圧を測定します。この2つの測定値を使用して、 $R$ を計算できます。

## 次善の策としての3端子法

4端子法よりも測定コストを下げる方法として、図5に示す3端子構成が使用できます。旧型のテスト機器には、3端子デバイスの測定に特化したホイートストーン・ブリッジ入力回路が内蔵されていました。34980Aに内蔵されているような最近のDMMは、古い回路デザインによる制限がなく、より正確な4端子測定が可能になっています。3端子測定の補正は4端子法ほど強力ではありませんが、2端子法よりは測定確度が向上します。

## RTDセンサ

抵抗性温度デバイス(RTD)とは、図6に示すように、抵抗が温度に応じておおむねリニアに変化するセンサです。この種のセンサは3端子デバイスなので、一般的に3端子法で測定されます。RTDの抵抗の期待値は、0  $^{\circ}\text{C}$ で100  $\Omega$ (または1,000  $\Omega$ )であり、温度感度は0.00385  $\Omega/\Omega/^{\circ}\text{C}$ (欧州曲線)または0.00392  $\Omega/\Omega/^{\circ}\text{C}$ (米国曲線)です。34980AのDMMは両方の曲線をサポートしています。

現在は、抵抗値が小さく、最高の確度を得る必要があるため、4端子法が最も多く用いられています。Callendar-Van Dusen式を使用して非線形性を補正すれば、さらに高い確度を得られます。この方法と、熱電対およびサーミスタ温度測定の詳細については、『実用的な温度測定、Application Note 290』(カタログ番号5965-7822JAJP)を参照してください。

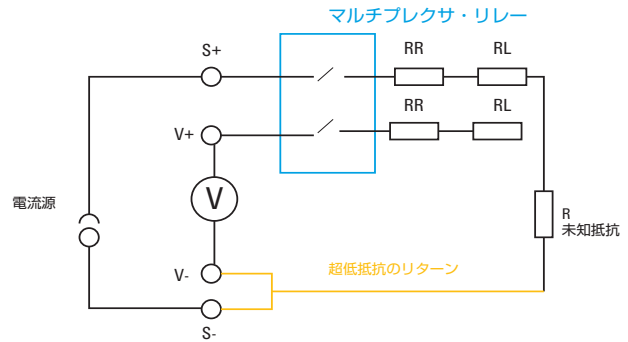


図5. 3端子法。

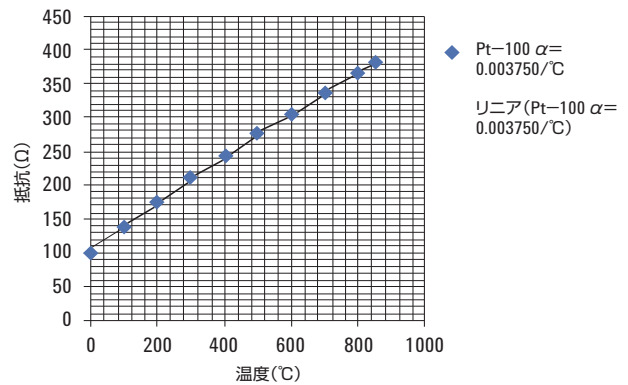


図6. リニア(Pt-100  $\alpha=0.00385/^{\circ}\text{C}$ )

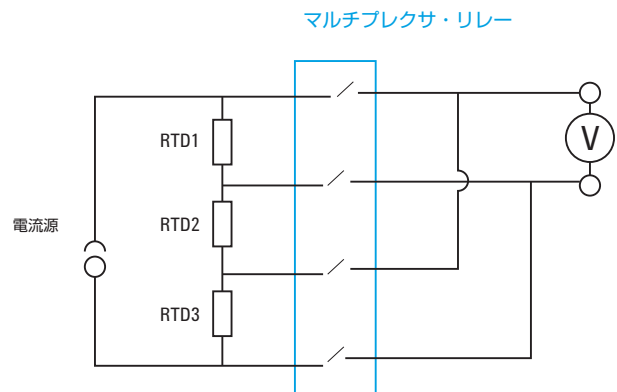


図7. 外部電流源との直列RTD構成。

RTD測定を実行するもう1つの方法が、前ページの図7に示されています。この方法では、複数のRTDを直列に接続し、高精度の電流源から電流を流します。それぞれの両端の電圧降下を、マルチプレクサ経由で測定します。これは擬似的な4端子システムで、マルチプレクサのリレーと接続リードによる抵抗誤差を最小化できます。

## リレー接点の抵抗の考察

一見すると、電気機械式リレーやアーマチュア・リレーは比較的単純なデバイスであり、閉じた状態の接触抵抗は無視できるように思われます。しかし実際には、接触抵抗は、電流、リレーの動作回数、経年変化に応じて変化する可能性があります。リレーの動作時には、ケースに収納された1組の金属が何回も接触していることを考えれば、問題の性質を理解できます。図8に示すように、電気接点の品質は、材料の構造と環境の性質によって決まります。

リレーの接点に使用される材料は大きく進歩していますが、それでもリレーの性能に影響するトレードオフがあります。リレーの接点に関する一般的な問題としては、擦過腐食、酸化、汚染、エレクトロマイグレーションがあります。

擦過腐食とは、接点が繰り返し閉じることにより、材料が削り取られることです。これは基本的には摩耗のメカニズムで、表面の荒れや穿孔の原因となります。形状の変化により接触面積が小さくなれば抵抗が増加します。接点が酸化することもあります。酸化物は一般に電気を通しにくいいため、これも抵抗の増加につながります。ケースやリレーの材料の構造によりガス抜けが発生して、接点が汚染されることもあります。また、湿気がリレー容器内に侵入して、接点の表面を汚染したり酸化したりすることもあります。過大な電圧や電流も、接点の劣化につながります。このため、テスト・エンジニアは、電気機械式リレーを使用する際、リレー接点により抵抗が増加する可能性があることに注意する必要があります。

### マルチプレクサの基本

マルチプレクサは、リレーのマトリクスを使用して、測定対象の抵抗を測定機器(この場合は34980Aの内蔵DMM)にシーケンシャルに接続します。一般的に、リレーと34980Aの内部接続は非常に安定していて、低抵抗です。抵抗測定誤差の主な原因はリレーの接点です。

### まとめ

抵抗測定には、いくつかの方法があります。抵抗値が非常に大きい場合や確度があまり重要でない場合は、低コストの抵抗測定として単純な2端子抵抗測定を使用できます。この方法は各測定で1つのチャンネル・ペアしか使用しない



図8. リレー接点。

め、複数の抵抗を測定したりマルチプレクサを使用したりする際に、被試験デバイス(DUT)とDMMの間の配線を単純化できる利点があります。

より正確な測定が必要な場合は、4端子法が推奨されます。4端子法では、内部経路の抵抗とDUTのリード抵抗を除去することにより、最高の抵抗測定確度が得られます。4端子法では通常、1つの測定に対して2つのチャンネルが必要です。さらに、これに代わる別の方法が、『Application Note 概要 - Agilent 34923A/34924Aマルチプレクサを使用した正確な2端子抵抗測定』(カタログ番号5991-2332JAJP)に紹介されています。

精密抵抗測定アプリケーションにマルチプレクサを使用する場合は、シングル・ポイント測定の場合よりも問題が増えます。測定する抵抗の値、リード抵抗、 $i^2R$ による発熱の他に、テスト・エンジニアはマルチプレクサの構成とリレーの性能を考慮しなければなりません。また、マルチプレクサ・チャンネルの数と抵抗測定の精度の間のバランスも必要になります。

## その他のリソース

- 『実用的な温度測定、Application Note 290』  
カタログ番号5965-7822JAJP
- 『Agilent 34923A/34924Aマルチプレクサを使用した正確な2端子抵抗測定 Application Note 概要』  
カタログ番号5991-2332JAJP
- 『34980A Measurements Made Easy Application Note』  
カタログ番号5991-1464EN
- 『Agilent 34980Aマルチファンクション・スイッチ/計測ユニット Datasheet』  
カタログ番号5989-1437JAJP
- 『Agilent PXI/AXIeモジュール製品 総合カタログ』  
カタログ番号5990-7367JAJP

## オーダ情報

モデル	概要	
<b>メインフレーム：最大8個のプラグイン・モジュールを搭載可能</b>		
34980A	マルチファンクション・スイッチ／計測メインフレーム	DMMオプション、BenchLink Data Loggerソフトウェア、ユーザ・ガイドが収録されたCD-ROM、電源コード、クイック・スタート・パッケージが標準で付属
34832A	BenchLink Data Logger Proソフトウェア	標準付属ソフトウェアのアップグレード版。リミット・チェック機能や解析機能が追加され、複雑なアプリケーションにも対応可能
マルチプレクサ・モジュール		モジュール・コネクタ オプションのターミナル・ブロック、ケーブル、コネクタ・キット
34923A	40/80チャンネル・リード・マルチプレクサ	50ピンDsub(オス)、2個 3492xターミナル・ブロック(スクリュー・コネクタ付き) Y1135A：1.5 m、50ピン・メス/オスDsubケーブル Y1136A：3 m、50ピン・メス/オスDsubケーブル Y1139A：50ピン(メス)ソルダ・カップ・コネクタ・キット
34924A	70チャンネル・リード・マルチプレクサ	78ピンDsub(オス)、2個 3492xターミナル・ブロック、はんだ接続用にはオプション001、スクリュー・コネクタ用にはオプション002 Y1137A：1.5 m、78ピン・メス/オスDsubケーブル Y1138A：3 m、78ピン・メス/オスDsubケーブル Y1140A：78ピン(メス)ソルダ・カップ・コネクタ・キット

## ソフトウェア情報

サポートされているオペレーティング・システム	Microsoft Windows 98 SE/NT/2000/XP
ソフトウェア・ドライバ	Windows NT/2000/XP用のIVI-CおよびIVI-COM Labview
使用可能なプログラミング・ツールおよび環境	Agilent VEE Pro、Agilent T&M Toolkit (Visual Studio.NETが必要) National Instruments社のTest Stand、Measurement Studio、LabWindows/CVI、Labview、Switch Executive Microsoft Visual Studio.NET、C/C++、Visual Basic 6
Agilent IOライブラリ	バージョン14以上
<b>Agilent BenchLink Data Loggerソフトウェア</b>	
オペレーティング・システム	Windows 2000 SP4、XP SP2
コントローラ	推奨：Pentium 4、800 MHz以上、 最小：Pentium III、500 MHz

34980Aのプラグイン・モジュールとアクセサリの一覧については、データシート(カタログ番号5989-1437JAJP)を参照してください。

[www.agilent.co.jp](http://www.agilent.co.jp)  
[www.agilent.co.jp/find/modular](http://www.agilent.co.jp/find/modular)  
[www.agilent.co.jp/find/34980a](http://www.agilent.co.jp/find/34980a)

### Agilent のソリューション・パートナー・プログラム

[www.agilent.co.jp/find/solutionspartner](http://www.agilent.co.jp/find/solutionspartner)

Agilent Advantage Services  [www.agilent.co.jp/find/advantageservices](http://www.agilent.co.jp/find/advantageservices)

  
[www.agilent.co.jp/quality](http://www.agilent.co.jp/quality)

## テストの限界に挑む

### Agilentのモジュール計測器

PICMGおよびPICMGロゴ、CompactPCIおよびCompactPCIロゴ、AdvancedTCAおよびAdvancedTCAロゴは、PCI Industrial Computers Manufacturers Groupの登録商標です。“PCIe”および“PCI EXPRESS”は、PCI-SIGの登録商標/サービス・マークです。

アジレント・テクノロジー株式会社  
 計測お客様窓口：TEL 0120-421-345

●記載事項は変更になる場合があります。  
 ご発注の際はご確認ください。

© Agilent Technologies, Inc. 2014  
 Published in Japan, April 24, 2014  
 5991-2788JAJP  
 0000-00DEP



**Agilent Technologies**