

抵抗計 RM3543

佐藤 達也^{*1}

要 旨

抵抗計RM3543は直流4端子法による抵抗測定器で、10 mΩ～1000 Ωレンジでの低抵抗測定が可能である。最小分解能10 nΩ(10 mΩレンジ)や±0.006%rdg.の高精度(1000 Ωレンジ)、さらに自動機での使用を考慮した高信頼性コンタクトチェック機能などを特長としている。ここに製品の概要、特長、構成などについて解説する。

1. はじめに

近年、電気自動車や太陽光発電などの成長産業において、大電流を高精度に計測する必要性が高まっている。その大電流計測を支える部品が電流検出抵抗器である。特に高性能モータの制御やパワーコンディショナといったその製品の性能を左右するような部分に使用されるため、常に性能の向上が求められている。

それに応えるべく各抵抗器メーカーから、より低抵抗、高精度、そして安定性に優れた新製品の投入が活発に行われてきている。最近では 1 mΩ・1%精度の抵抗器が多くなってきており、さらに今後 0.1 mΩなど低抵抗化が進む傾向にある。

そのような電流検出抵抗器を高い信頼性で量産するために、自動機組み込みに適した高精度・高速な低抵抗計が要求されており、それに応えるべく抵抗計 RM3543 を開発した。

2. 設計コンセプト

電流検出抵抗器の今後のトレンドとなる 0.1 mΩ・1%品を十分に測定できる高精度と、自動機で使用するための高速性、コンタクトチェック機能などの信頼性をコンセプトとして開発した。汎用抵抗器向けの先行モデルとなる抵抗計 RM3542 と合わせて抵抗部品検査市場に対し幅広く対応できるようになった。

3. 機能・特長

(1) 10 mΩレンジ

10 mΩの最小抵抗レンジにて、低抵抗化が進む電流検出抵抗器を最適に測定。超低抵抗レンジながら測定電流を 1 A に抑え、発熱による抵抗値の変



RM3543 の外観

動を極力排除した。また熱起電力をキャンセルする測定方式(OVC = Offset Voltage Compensation 機能)により、環境の微妙な温度変化による測定値の揺らぎや誤差を防止している。

(2) 高精度測定

10 mΩレンジという超低抵抗レンジにおいても±0.06%rdg. ±0.001%f.s.(測定スピード=SLOW, アベレージ=16 回)という高精度を実現した。コンセプトにもした 0.1 mΩ・1%品の検査においても余裕を持って対応することができる。

また 6.5 桁の高分解能、最小分解能 10 nΩ(10 mΩレンジ)となっており、研究開発や品質管理の用途においても活用できる性能となっている。

(3) アベレージ機能

超低抵抗の量産検査においては、検査スピードに配慮しつつも、より安定性が重視される場合も多い。そのような状況を踏まえ、外部環境のノイズ影響を低減してばらつきの小さい測定値を得るためにアベレージ機能を搭載した。

2～32 回まで設定することができ、10 mΩレンジに

^{*1} 技術1部 技術2課

抵抗計 RM3543

においては16回以上のアベレージで、より高い測定精度を保証している。(測定スピード=SLOW のみで規定)

(4) スケーリング機能

金属板のように素子全体がほぼ均一な導電率となっている場合において、図1のように電流注入端子付近では電流密度が高くなり、端子からの距離が離れるに従って均一化してくる。電流密度が高い場所では電位分布も大きな変動となるため、わずかな電圧検出ピンの位置の違いで、大きく抵抗測定値が変化してしまう。安定した測定値を得るためには、電流分布が一樣になる距離を置く必要がある。(図2)

超低抵抗の電流検出抵抗器では金属板と同じような電流分布の性質を持つが、小型化された抵抗部品の測定においてプロービングできる場所は限られており、測定値への影響も少なくない。そのため適正な位置にプロービングができない場合は、以下のスケーリング演算により抵抗部品の仕様抵抗値と測定値の差異を補正することができる。

$$R = A \cdot R_0 + B$$

A:補正係数

B:補正オフセット値

R_0 :抵抗測定値

R:スケーリング後の抵抗値

(5) 高速測定

量産部品を自動機で検査するうえで検査時間の短縮は欠かせないものとなっている。最速1.6 ms (10 Ω レンジ～1000 Ω レンジ)という超高速測定であり、10 m Ω レンジにおいても11 msという高速な測定が可能である。

またFAST/MEDIUM/SLOWと3段階のスピード設定に加え、積分時間設定やアベレージ機能の設定などでタクト重視の高速測定から安定性重視の測定まで、目的にあわせて柔軟に対応できる設計となっている。

(6) コンタクトエラー検出

通常の計測器ではDUT (Device Under the Test) に対して確実なプロービングが理想であるが、量産検査の自動機においては安定しない場合もあり、測定値が不安定になる要因であった。自動機での使用を前提としたRM3543では、プロービングエラーを検

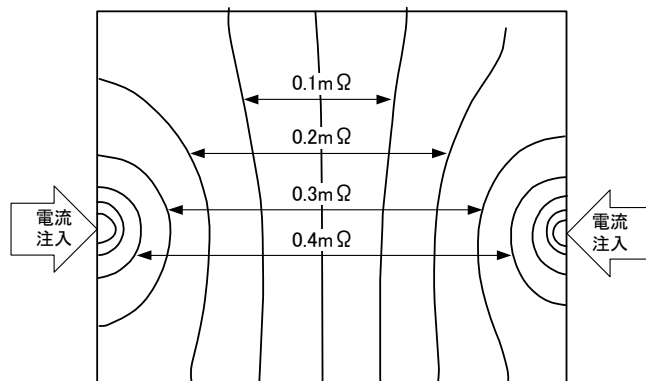


図1 金属板(W300×L370×t0.4)での電流分布 (端点に1 A の電流を注入し、50 μ V ごとに等電位線をプロット)

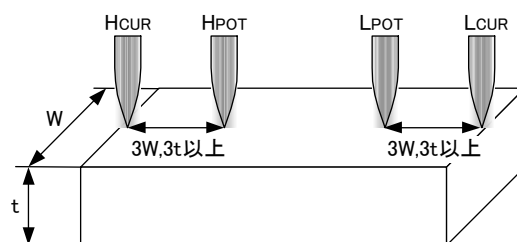


図2 幅や厚みがある場合のプロービング位置 (プローブ間隔は”JIS C2525 金属抵抗材料の導体抵抗及び体積抵抗率試験方法”¹⁾を参考とした)

出するコンタクトチェック機能を備えた。これにより不安定な測定値を排除し、信頼性の高い測定値を得ることができる。また交流式コンタクトチェック回路となっており、測定期間のすべてにおいてチェック動作を行っているため、前後のみチェックする機種と比較してさらに高い信頼性となっている。

(7) 接触改善機能

常に安定したプローブ接触を維持するために、測定前にDUTとプローブ接触面の不純物を除去するDC電流による接触改善機能を搭載している。

プローブピンへの負担も考慮し、17 mA～50 mA(4段階)の改善電流を選択できる。

(8) リトライ機能

プローブの接触不良などがあった場合、コンタクトチェック機能によってエラーにすることができるが、その分歩留まりが下がってしまう。そこで正常な測定値が得られるまで測定を繰り返す(最大タイムアウト時間50 ms)リトライ機能を用意した。

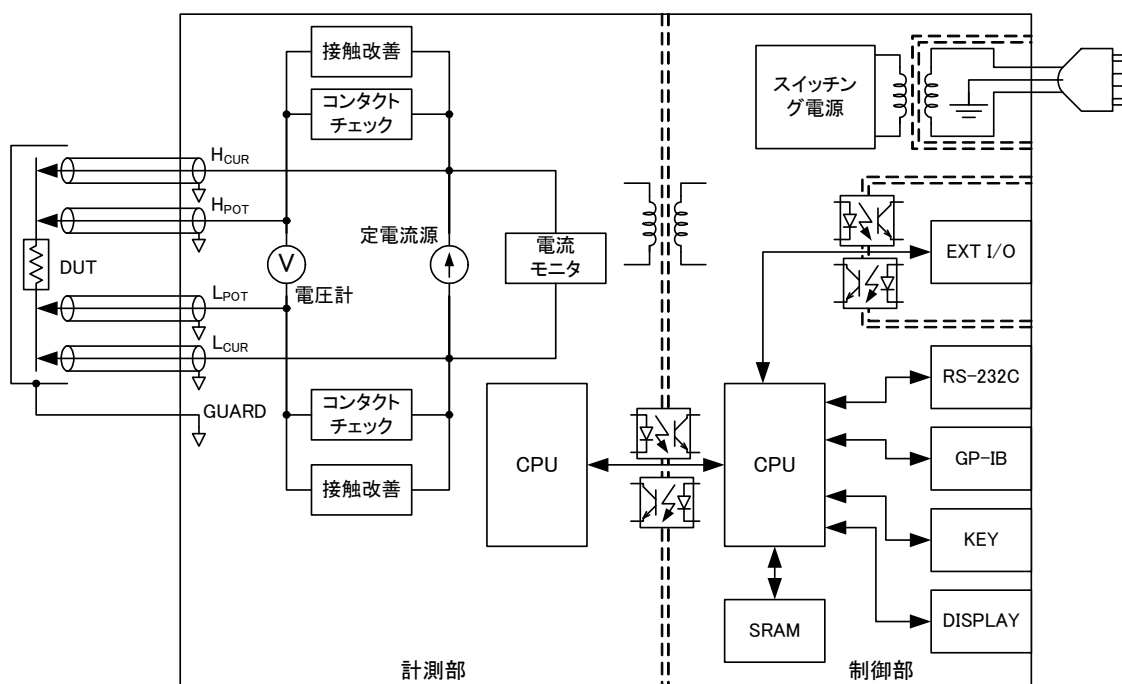


図 3 ブロック図

4. 構成

図 3 に全体のブロック図を示す。ユーザインタフェースをつかさどる制御部と、絶縁された計測部、EXT I/O 部から成る。

4.1 測定回路

測定レンジに応じた定電流を H_{CUR} 端子から L_{CUR} 端子に流し、 H_{POT} 端子と L_{POT} 端子間の電圧を検出することで抵抗値を求めている。0402 サイズの面実装部品などはプローブの接触圧を上げることが難しいため、プローブと DUT 間の接触抵抗は高くなる傾向にある。測定回路を図 4 のような構成とすることで、増幅器 A_2 の働きにより接触抵抗が存在しても L_{POT} 端子は 0 V に保たれるので、電圧計 A_3 の CMRR は実効的に大きくなり、数十 Ω の接触抵抗下でもミリオームオーダーの抵抗値を安定して測定できる。

熱起電力の影響を排除するためオフセット電圧補正(OVC)を行っている。図 5 のように、まず試料に電流を正方向に流して $R_X I + V_{TEMP}$ を測定し、続いて逆方向に流して $-R_X I + V_{TEMP}$ を測定し(V_{TEMP} は熱起電力を示す)。

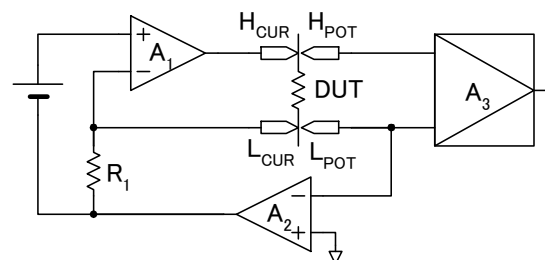


図 4 抵抗測定回路

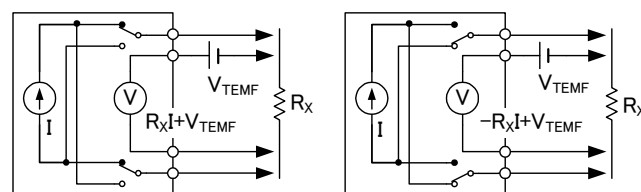


図 5 オフセット電圧の補正方法

$$\frac{(R_X I + V_{TEMP}) - (-R_X I + V_{TEMP})}{2} = R_X I$$

を真の測定値として表示している。

RM3543 では高速スイッチング技術を採用することで、10 Ω レンジ～1000 Ω レンジではわずか 1.6 ms で接触改善から、コンタクトチェック、オフセット電圧を補正した測定が可能となっている。

抵抗計 RM3543

また電流検出抵抗器は、小型化・低抵抗化が進み、より小さな電力でより小さな抵抗を測定することが求められている。RM3543では、低雑音に設計された電圧計とオフセット電圧補正機能により、より低い電力負荷でも高い安定性が得られている。

4.2 接触改善回路, 測定異常監視

接触改善回路, 測定異常監視は RM3542 の技術を踏襲している。²⁾

4.3 電源構成

測定部は制御部から絶縁されておりノイズの影響を受けづらくなっている。メイン電源部には 100 V～240 Vとワイド入力のスウィッチング電源を使用しており、海外工場へ設備を移動した場合もそのまま使用することができる。

5. 特性

出荷検査においては繰り返し精度が重要なファクタとなる。

図 6 は最高感度レンジとなる 10 mΩレンジにおけるゼロポジションのばらつきデータ(DUT ヘプローピングをした状態のまま 100 回測定を繰り返した), 図 7 は 1 mΩを測定したデータである。SLOW かつアベレージ回数を 16 回に設定することにより、 $3\sigma=0.02\ \mu\Omega$ に収まっており、0.1 mΩの電流検出抵抗器であっても、 $3\sigma=0.02\%\text{rdg.}$ の繰り返し精度を得られることがわかる。このとき、計測時間は 640 ms(電源周波数設定 60 Hz)である。

図 8 は 10 mΩレンジのフルスケール近辺を FAST かつアベレージなしで測定したデータである。計測時間は 11 ms と高速にもかかわらず、 $3\sigma=0.24\ \mu\Omega$ ($=0.0024\%\text{rdg.}$)と安定している。

6. おわりに

RM3543 は自動機に組み込んで使用する低抵抗計として、超低抵抗への対応、高確度測定、そしてコンタクトチェックなどによる高い信頼性を備える、非常に完成度の高い製品となった。今後伸びゆく電流検出抵抗器の量産検査を支え、汎用抵抗器用 RM3542 と共に抵抗部品の検査において世界中で活躍することを願う。

寺島 隆幸^{*2}

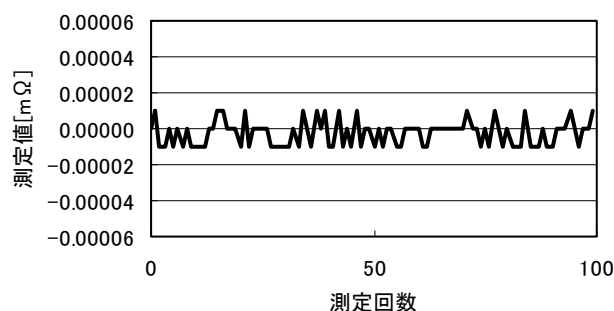


図 6 10 mΩレンジばらつき(0 Ω測定)
SLOW, AVE=16 回

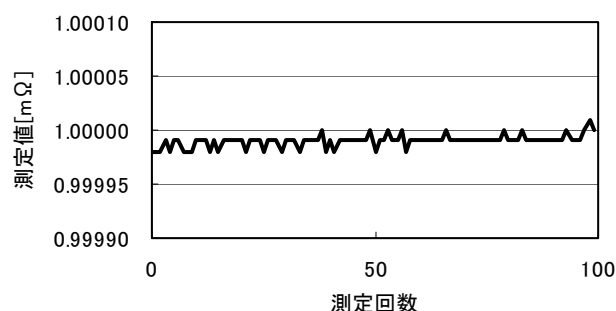


図 7 10 mΩレンジばらつき(1 mΩ測定)
SLOW, AVE=16 回

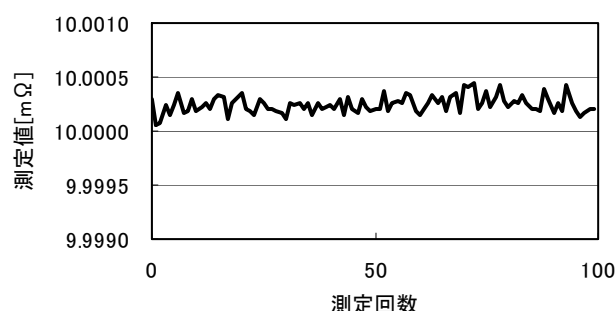


図 8 10 mΩレンジばらつき(10 mΩ測定)
FAST, AVE=OFF

参考文献

- 1) JIS:C2525 金属抵抗材料の導体抵抗及び体積抵抗率試験方法, 3 (1999)
- 2) 寺島隆幸:抵抗計RM3542, 日置技報, VOL.31 2010 NO.1, 7/10 (2010)

*2 技術1部 技術2課