

低温域における標準白金抵抗温度計による温度測定に関する検討

小平 和明（日本電気計器検定所 標準部）

1. はじめに

当所における 77 K から 273.15 K の温度域での 25 Ω の標準白金抵抗温度計 (SPRT) の比較校正は、交流抵抗ブリッジと 25 Ω の標準抵抗器を用いて行っている。この測定においては、水の三重点 (TPW) における測定と校正温度 T における測定を同一の装置で行うことにより、SPRT の抵抗比 W の算出⁽¹⁾の際に標準抵抗器の誤差要因を除去できる利点がある。しかしながら、校正温度 T が低くなるにしたがい SPRT の抵抗値が小さくなることから、温度によっては交流抵抗ブリッジの測定感度が低下し測定が困難となることが想定される。

そこで今回、低温域における交流抵抗ブリッジの感度低下を補うための検討を行い、水銀の三重点と窒素の沸点において、TPW での測定時とは異なる定格の標準抵抗器を用いて抵抗測定を行い、その結果から W を算出した場合と従来方法による W を比べ、測定結果に影響があるか調査を行った。

2. 測定の概要

SPRT の交流抵抗ブリッジによる測定は、測定を行う温度 T における SPRT の抵抗値 R_T と、標準抵抗器の抵抗値 R_s との比 R_T/R_s を測定することにより行う (図 1)。

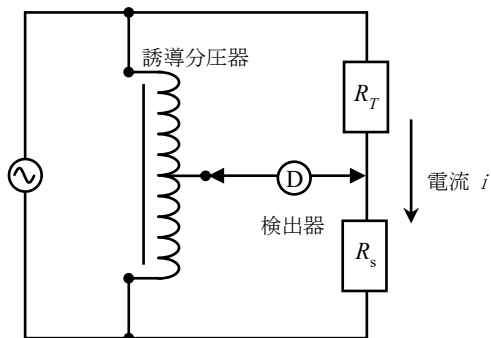


図 1 交流抵抗ブリッジによる SPRT の温度 T における抵抗比測定

SPRT の抵抗比 W を求める場合は、交流抵抗ブリッジにより TPW における SPRT の抵抗値 R_{TPW} と標準抵抗器の抵抗値 R_s との比 R_{TPW}/R_s 及び R_T/R_s を測定し、以下の式によって算出する。

$$W = \frac{\frac{R_T}{R_s}}{\frac{R_{TPW}}{R_s}} = \frac{R_T}{R_{TPW}} \quad (1)$$

(1)式において、 R_s が誤差要因 ε を持っていたとしても、測定の間に ε に変化がなければ、 W は

$$W = \frac{\frac{R_T}{R_s(1+\varepsilon)}}{\frac{R_{TPW}}{R_s(1+\varepsilon)}} = \frac{R_T}{R_{TPW}} \quad (2)$$

となり、誤差要因が除かれ、(1)式と等しくなる。しかしながらこの方法の場合、低温域では R_T が小さくなるため測定装置の感度が低下し、 R_T/R_s の測定が困難となることが想定される。そこで、 R_T の測定に用いる標準抵抗器について、TPW での測定とは異なる定格の標準抵抗器 R_{s2} を用いて測定を行うことを考える。

いま、標準抵抗器 R_s 及び R_{s2} の諸特性が理想的であるとすれば、交流抵抗ブリッジによる抵抗比から TPW における SPRT の抵抗値及び温度 T における SPRT の抵抗値を求める場合、

$$(R_{TPW}/R_s) \times R_s = R_{TPW} \quad (3)$$

及び

$$(R_T/R_{s2}) \times R_{s2} = R_T \quad (4)$$

となる。これらから、温度 T における SPRT の抵抗比 W は、次式となる。

$$W = \frac{\frac{R_T}{R_{s2}} \times R_{s2}}{\frac{R_{TPW}}{R_s} \times R_s} = \frac{R_T}{R_{TPW}} \quad (5)$$

今回の調査では、(1)式と(5)式により求めたそれぞれの W を比較し、標準抵抗器を含む測定系の違いによる影響を調査した。

本調査における測定温度は、安定した温度状態が得られる水銀の三重点温度と窒素の沸点温度近傍とした。25 Ω の SPRT を

使用し、TPW における測定には 25 Ω の標準抵抗器を用い、水銀の三重点温度及び窒素の沸点温度近傍での測定には 10 Ω 及び 25 Ω の標準抵抗器を使用した。また、測定結果に対し自己加熱補正²⁾を行うために 2 種類の電流で測定を行ったが、TPW の測定においては 1 mA 及び $\sqrt{2}$ mA で測定を行い、他の温度での測定については 1 mA 及び $\sqrt{2}$ mA、2 mA 及び $2\sqrt{2}$ mA、5 mA 及び $5\sqrt{2}$ mA、10 mA 及び $10\sqrt{2}$ mA で測定を行った。本稿では電流 1 mA、2 mA、5 mA、及び 10 mA を基本電流と呼ぶこととする。なお、本調査においては、25 Ω の標準抵抗器を用い、1 mA 及び $\sqrt{2}$ mA で測定した結果を自己加熱補正して求めた W を基準値とした。

3. 測定結果の比較

はじめに、水銀の三重点における SPRT の抵抗比 W の測定結果を表 1 に示す。

表 1 水銀の三重点温度における各測定による SPRT の抵抗比 W

	1 mA	2 mA	5 mA	10 mA
25 Ω	0.844 164 8	0.844 164 9	0.844 165 1	0.844 165 0
10 Ω	0.844 164 9	0.844 165 5	0.844 165 2	0.844 165 3

表 1 の結果について基準値と比較すると、温度換算で 0.2 mK 以内で一致している。

つづいて、窒素の沸点温度近傍での SPRT の抵抗比 W の測定結果を表 2 に示す。

表 2 窒素の沸点温度近傍における各測定による SPRT の抵抗比 W

	1 mA	2 mA	5 mA	10 mA
25 Ω	0.188 685 2	0.188 685 3	0.188 686 6	0.188 684 7
10 Ω	0.188 685 6	0.188 686 0	0.188 685 2	0.188 686 1

測定結果は、基準値の測定温度に補正したものである。これらの測定結果についても、0.2 mK 以内で一致している。

表 1 及び表 2 の結果から、今回の 2 つの温度において、TPW 測定時と異なる定格の標準抵抗器と電流で測定を行った場合でも、測定結果に大きな差はないことがわかった。今回の測定において、交流抵抗ブリッジの各抵抗で生じる電圧は、 R_T 側で最大で約 298 mV、最小約 4.7 mV、 R_S 側で生じる電圧は最大約 354 mV 及び最小約 10 mV である。したがって、測定時に少なくともこの範囲の測定電圧が得られていれば、より低温域においても交流抵抗ブリッジを使った温度測定が可能であると考えられる。

4. 校正の不確かさへの影響

前述のように、従来の方法である(1)式による W の算出では、標準抵抗器 R_S に誤差要因 ϵ があつたととしても、 W を算出する際には(2)式に示すように誤差要因が除去できる。しかしながら、異なる定格の標準抵抗器を用いて(5)式により W を求める場合、使用する標準抵抗器 R_S 及び R_{S2} の誤差要因が R_{TPW} 及び R_T に影響する。したがって、この方法で校正を行った場合、測定条件の違いに起因する R_S 及び R_{S2} の不確かさを考慮する必要がある。

5. おわりに

今回、交流抵抗ブリッジを用いた SPRT による温度測定について、測定感度の低下が問題となる低温域での測定を想定し、交流抵抗ブリッジに接続する標準抵抗器の定格を、測定する温度により変えて抵抗比 W を求め、従来方法による W と比較してどのような影響があるか調査を行った。その結果、それぞれの W について有意な差は見られなかった。今回行った調査での測定温度は、従来方法で測定を行ってもブリッジの測定感度に問題がない温度域であるが、得られた結果から、より低温域での交流抵抗ブリッジを用いた温度測定についての見通しを得ることができた。

参考文献

- (1) 計量研究所,「1990 年国際温度目盛 (ITS-90)」, 計量研究所報告, Vol.40, No.4, pp.307-358 (1992-10)
- (2) 櫻井弘久, 田村收, 新井優,「1990 年国際温度目盛に関する補足情報」, 計量研究所報告, Vol.41, No.4, pp.307-358 (1992-10)

(2021 年 2 月 17 日受付)