

氏名(本籍・生年月日) 昆 盛太郎(茨城県 昭和55年6月14日)  
学位の種類 博士(工学)  
学位記番号 乙 第230号  
学位授与の日付 平成26年9月30日  
学位授与の要件 信州大学学位規程 第5条第2項該当  
学位論文題目 シャント抵抗標準に関する計測技術の研究とその応用

論文審査委員 主査 教授 佐藤敏郎 教授 上村喜一  
教授 橋本佳男 准教授 曾根原誠  
白井照光(日本電気計器検定所)

## 論文内容の要旨

シャント抵抗器とは低抵抗器の一種で高精度電流測定に用いられる。諸特性が既知であるシャント抵抗器は電流測定の基準としても使用できるため、電気・電子機器に関する省エネ技術の開発・発展や、これら機器の高調波電流の上限を定める国際規格への対応などの観点から、その標準の開発と供給が望まれていた。特に、近年ではスマートグリッド関連技術の開発に伴って電流の精密測定ニーズが急激に増加しており、シャント抵抗器の果たす役割はこれまで以上に重要になっている。そこで本研究では、次の4点を目的として、シャント抵抗標準の開発とこれを応用した研究を実施した。

- (1) 電流比較型のシャント抵抗校正装置を開発し、シャント抵抗標準を確立する。
- (2) 他国の校正・測定能力と同等以上の精度を実現する。具体的には拡張不確かさ  $10 \mu\Omega/\Omega$  以下の不確かさでシャント抵抗器の校正が可能な装置を開発する。
- (3) シャント抵抗器の抵抗成分のみならず、位相角についても同時に測定可能な装置を開発する。
- (4) 開発したシャント抵抗標準の応用・利用例を示し、シャント抵抗標準が実際に産業にとって役立つことを実証する。

まず、標準器となるシャント抵抗器を製作し、直流抵抗標準を用いてシャント抵抗器の直流抵抗値を評価した。さらに、シャント抵抗の測定は通常の抵抗測定と異なり、電流を入力して行うため、この影響について調査した。その結果、まず、製作したシャント抵抗器の公称値からのずれは極めて小さく、直流抵抗の絶対値は時間の経過とともに増加する傾向にあることが示唆された。また、シャント抵抗器に使用している抵抗素子の温度上昇は入力電流の周波数に依存しないことがわかった。

次に、ここで製作したような、精度の高いシャント抵抗器を校正するために、電流比較型のブリッジ回路を用いたシャント抵抗校正装置を開発した。まず、その数学モデルを構築し、電流比較型のブリッジ回路を用いたシャント抵抗校正装置を用いることで、シャント抵抗器の交流抵抗成分および位相角の測定が可能になることを理論的に明らかにした。次に、この校正装置を実現するために必要となる各機器・要素を開発し、その性能を評価した。これにより、電流比較型のブリッジ回路を用いたシャント抵抗校正装置を実現した。

さらに、開発した電流比較型のブリッジ回路を用いたシャント抵抗校正装置について、その不確かさを評価した。その結果、本装置の最高測定能力は、周波数45 Hz-65 Hzにおいて、交流抵抗成分で $4.2 \mu\Omega/\Omega$ 、位相角成分については $9.2 \mu\text{rad}$ であることがわかった。周波数の増加に伴い測定の不確かさは増加するが、開発したシャント抵抗校正装置の測定能力は他国の測定能力と比較しても遜色なく、世界最高水準の測定能力であることを示した。

次に、開発したシャント抵抗校正装置によるシャント抵抗器の校正結果について、その妥当性を確認した。交流抵抗成分においては、交直差によるシャント抵抗器の校正結果との比較、位相角成分においては、等価回路モデルによる推定を用いてこれを実施した。その結果、交流抵抗成分については、異なる二つの方法によって測定された結果が、不確かさの範囲内ですべて一致した。また、位相角成分についても、推定される位相角の周波数特性と校正結果が同様の傾向を示した。これにより開発したシャント抵抗校正装置は問題なく動作していると判断した。以上より、シャント抵抗標準を開発し、実現した。

さらに、開発したシャント抵抗標準を利用した応用研究を実施した。これにより、シャント抵抗標準はさまざまな電流測定、電力測定技術への応用が可能であることを示した。特にシャント抵抗標準を基準とした、センサや電流源の精密評価はこれらの性能評価において極めて有効な手段である。また、そのほかにもシャント抵抗標準を利用した研究例があり、開発したシャント抵抗標準は今後も電流計測に係る多くの研究に利用されていくものと考えられる。

以上より、本研究では、位相成分についても同時測定可能な電流比較型のブリッジ回路を用いたシャント抵抗校正装置および標準シャント抵抗器を開発し、世界最高水準のシャント抵抗標準を実現するとともに、本研究が実際に産業に役立つことを実証した。

今後の課題としては、より一層の産業への貢献のために、測定可能範囲の拡大や、国際整合性の確保などの取り組みが挙げられる。