

高精度電力計を支える横河電機の電力校正技術

横河計測株式会社
技術開発本部 第1技術部
橋 勝也

世界のエネルギーの消費量は、年々増加している一方で、化石燃料の枯渇や気候温暖化は一刻の猶予も許さない状況にある。その中でエネルギーとしての電気を効率的に活用していくために、電力を正しく評価できる計測技術の重要性が高まっている。

本稿では、電気機器のわずかな消費電力の改善を評価できる高精度電力計を校正するための国家標準に匹敵する校正技術を紹介する。

1. 電力計と電力校正システムの開発

横河電機は、長年にわたり電力計とその校正システムを開発してきた。第1期の2004年には電力確度0.06%の電力計開発に際し、その確度保証に十分な電力標準を開発した。さらにより高精度の電力計開発に当たり、第2期の2018年には電力確度0.03%を達成するための新たな電力標準を開発した。

世の中に存在しないような高精度の電力計の確度を保証するには、その都度それを校正する体制を整える必要があった。

2. 従来の横河電機電力校正システム

電力校正システムでは、供給する電力は実負荷ではなく、電圧、電流発生器による虚負荷試験の形態となっている。

第1期、従来の校正システムは他の物理標準と同様に、標準電力計が上位標準から物理量をトレースする照合用標準器になって、被校正器にも同じ虚負荷電力を供給し、標準電力計の測定値と被校正器の測定値を直接比較することで校正が行われる。

一般的に電力の校正では、力率1と力率0の条件で校正されるが、従来の電力校正システムでは標準器が力率1 / 0によって異なるシステム構成となっていた。

3. 従来の電力校正システムの校正範囲と不確かさ

力率1の場合、標準電力計で100V / 5Aを計測して、その時の不確かさは約60ppmを実現している。100V / 5Aから校正範囲を拡張



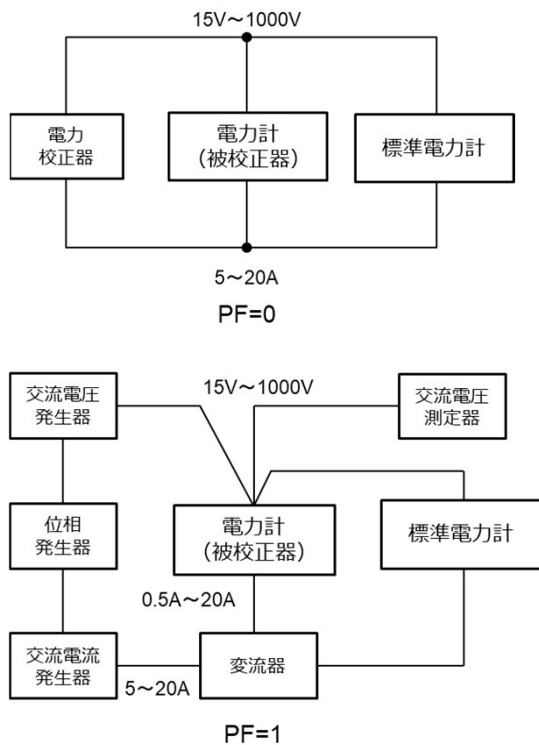


図1 従来の電力校正システム構成

するときには、標準電力計の電圧レンジを変更して、電流は電流変流比を変更することになる。このようにレンジを変更することで不確かさは最大で約80ppmにまで増大していた。



図2 従来の電力校正システム外観

力率0の場合は、校正器の仕様がそのまま反映されて、最小で約70ppm、最大で約90ppmの不確かさとなっていた。

図1に示すように従来の電力校正システムは標準電力計とレンジを拡張するための機器を組み合わせたシステムであるため、電流校正と電力校正で使用する機器数が多く、これが電力範囲を拡張するときには不確かさを増大させる要因になっていた。

4. 新電力校正システム

校正範囲を拡張しても機器の設定レンジに依らない不確かさを得るためにはどうすべきか。従来の電力校正システムの中核であり必須機器であった標準電力計と電力校正器のそれぞれの不確かさを小さくするか、もしくは標準電力計や電力校正器を使用しない新たな方式への抜本的な変更が必要になる。

横河電機は、新たな電力校正システムとして後者の方法を選択し、電力を算出する物理量の組み立てによって電力校正する方式を取り入れることにした。

電力は他の物理標準と違い、電圧、電流、力率という3つの物理量で成り立っている。電圧 (U)、電流 (I)、位相角 (Φ)・力率 (cosΦ) とすると電力 (P) は下記の式で表せる。

$$P=UI\cos\Phi$$

新電力校正システムでは、これら3つの物理量に立ち返って不確かさの改善を行った。

力率1の場合は、電圧と電流振幅のそれぞれで高い精度の校正の不確かさを実現するための方式を検討した。

電圧校正は、上位標準器を使用することで十分な不確かさが得られる。一方電流校正は、従来の電力校正システムでは標準電力計の校正値から電力-電流換算によって電流校正をしていたが、新電力校正システムでは、周囲環境の影響を受けにくい新規開発の高安定なシャント抵抗を介して、電流校正を行うようにした。

力率0の場合は、電圧と電流の時間差である位相の制御が重要になるので、位相の設定精度を向上させるために高分解能の位相発生システムを構築した。

位相差の設定不確かさを改善するために、電流側では同じくシャント抵抗を介した方法で必要な不確かさを確保し、電圧側では低容量で高分圧比の誘導分圧器を開発した。更にロックインアンプを使用して電圧電流間位相を制御し位相差ゼロを基準にするゼロ位相測定を行う方法を採用した。

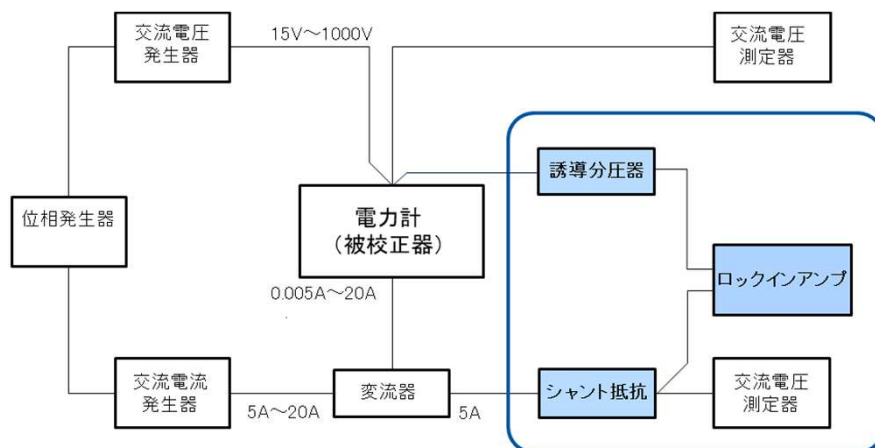


図2 従来の電力校正システム外観

新電力校正システムの構成図を（図3）に示す。従来の標準電力計に代わり、新電力校正システムでは、誘導分圧器、シャント抵抗、ロックインアンプ、電圧測定器を用いて標準測定側の機能を構築する。その測定不確かさは、以下の構成要素の組合せで決定されることになる。

これら正規化信号の差がゼロになるように位相と振幅を制御してゼロ位相を設定する。位相は0.1m°分解能の高分解能位相発生システムで制御し、振幅は電圧／電流発生器で制御する。差電圧測定にはロックインアンプを使用し、位相差を正確に測定するようにした。

各機器の位相誤差を補正して、被校正器への入力位置における位相差がゼロとなる電圧と電流を設定する構成である。

・シャント抵抗器

シャント抵抗は周波数特性が良好な同軸タイプの構造を採用するとともに、温度変化の影響を受けにくいものとしている。公称値は0.2Ωで、5A入力、1V出力を定格として設計した。抵抗値不確かさは23μΩ/Ω（k=2）、位相誤差は-0.2μradで不確かさは9.4μrad（k=2）である。

温度特性は、5ppm/°C未満で、抵抗値の経時変化は十分小さいことを確認している。

このように、電圧、電流、位相校正による電力校正システムを構築して、3つの物理量から電力の不確かさを求めることができるようになった。

・誘導分圧器

各電圧レンジに対応した10：1～1000：1の分圧比を備えている。入力容量は数百pFの低容量で電圧発生器が容易に駆動できるように設計した。位相の電圧直線性は約1m°を実現している。

・高分解能位相発生

電力発生側の電圧／電流位相分解能は0.1m°で、任意の位相に設定できる。この設定分解能は力率0で1.7ppmに相当する。また電圧／電流の位相安定度は、0.38m°/hで、力率0で約7ppmに相当する。

・ゼロ位相設定

誘導分圧器とシャント抵抗器で電圧信号と電流信号を正規化し、



図4 新電力校正システム外観

力率1での不確かさは、従来システムでは60ppmから80ppmであったが、新システムでは50ppmから60ppmに改善した。力率0では、70ppmから90ppmの不確かさが、30ppmに改善した。特に、各校正範囲内における不確かさの差が縮小し、全域で同程度の不確かさを達成できたことで、力率1で0.03%、力率0で0.02%の電力計校正が可能になった。

参考までに、トレーサビリティ体系図を図5に示す。電力値標準に代わり、新開発の電圧／電流／位相それぞれを校正するシステムでは、国家標準からのトレースもそれぞれの物理量でトレースすることになる。

被校正器用の作業用標準電力計は、生産や修理、校正に使われるため、横河マニュファクチャリングのみならず横河電機の主要海外拠点に配備され、横河計測の電力測定器の電力標準器として使われている。

5. まとめ

横河電機は、従来の標準電力計による電力校正の比較法から、複数の物理量の組み立てによる電力標準システムを確立することができた。新しいシステム構築に際して、電圧校正の不確かさ改善、シャント抵抗の開発、誘導分圧器の開発、高位相分解能設定の開発を行ってきた。また、位相校正方法を新たに確立し、力率1にて位相を設定するゼロ位相測定方法も開発した。

このように新たに開発した電力校正技術によって可能になった0.03%級の高精度電力計は、世の中の様々な場所で稼働している産業機器や家庭電化製品、電力設備などのより高い消費電力効率の開発に貢献する。

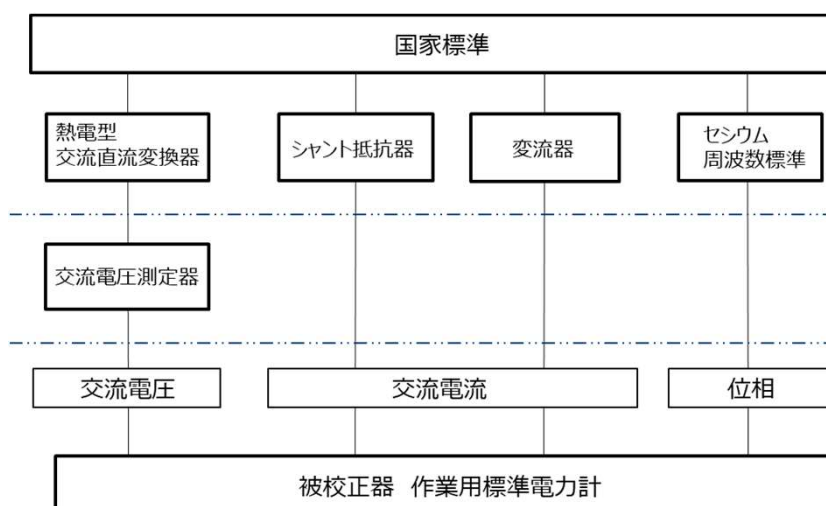


図5 新電力校正システムのトレーサビリティ体系図

横河計測株式会社

YMI-KS-MI-S06

本社 〒180-8750 東京都武蔵野市中町2-9-32 TEL:0422-52-5544 FAX:0422-52-6462
ホームページ <https://www.yokogawa.com/jp-yimi/>

製品の取り扱い、仕様、機種選定、応用上の問題などについては、カスタマサポートセンター ☎0120-137-046 までお問い合わせください。
受付時間：祝祭日を除く、月～金曜日／9:00～12:00、13:00～17:00 E-mail: tmi-cs@csv.yokogawa.co.jp

記載内容は2020年5月1日現在のものです。また、お断りなく変更することがありますのでご了承ください。価格には別途消費税が加算されます。
All Rights Reserved. Copyright © 2020, Yokogawa Test & Measurement Corporation [Ed:01/d]