

交流電圧波形の非接触計測による電力算出の検討

横山 哲也

Study on AC Power Calculation by Non-Contact Measurement

Tetsuya YOKOYAMA

あらまし 設備機器の電力の見える化は、電気使用量を把握することができ、かつムダの発見によるコスト削減につながる有益な手段と考えられる。このため、機器設備の改修を必要とせず容易に取り付け可能なセンサを用いて、見える化を実現することは重要である。本研究では、非接触での交流電圧波形計測による電力算出について検討したので報告する。

キーワード 電力算出, 見える化, 非接触計測

1. はじめに

設備機器の電力の見える化は、電気使用量を把握することができ、かつムダの発見によるコスト削減につながる有益な手段と考えられる。そのため、本研究では機器設備の改修を必要とせず容易に取り付け可能なセンサを用いて、容易にデータを収集・蓄積できるシステムを開発している。

電力を計測するには電流と電圧の計測が必要となる。電流はクランプ計を用いて非接触で計測できるが、電圧は通常、端子金属部や電線の芯線に計測部位を直接接触させて計測する必要があるため、取り付け時に感電や、端子間の短絡による回路遮断等が発生する可能性がある。そのため、非接触の計測器が用意されているが、設備毎に設置するには費用がかかるといった問題がある。

そこで、本研究では非接触で電力を算出する方法を検討したので報告する。

2. 電力算出方法

2.1 基本コンセプト

非接触での交流電圧計測による電力算出方法として、電線の被覆に箔を巻き、芯線と箔間に生じる静電容量を利用して電圧波形を計測する方法^[1]がある。本研究ではこの方法を参考に電力を算出する。

図1に、箔に抵抗を接続し、抵抗にかかる電圧を計測す

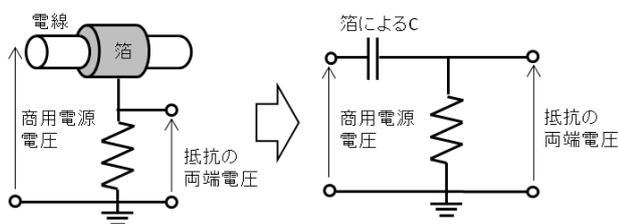


図1 電線被覆への箔の巻きつけとその計測回路

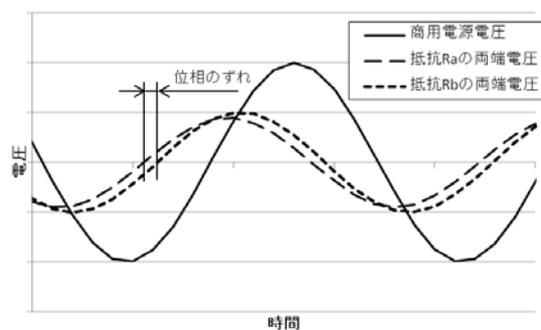


図2 電源電圧位相と異なる位相 (イメージ図)

る回路を示す。抵抗にかかる電圧は、電線に流れる交流電圧に対して位相の異なる電圧波形となる(図2)。このときの位相差は、箔に生じる静電容量 C と抵抗 R の値及び周波数で決まる。これより、値の異なる抵抗 R_a, R_b で電圧を計測すると、図2のようにずれた位相となる。本研究ではこの位相のずれを利用して、非接触で電線にかかる商用電源電圧の波形ピーク時の位相角(時間)を求める。電圧の実効値および周波数が既知とすれば、ピーク時の位相角をもとに角度をずらすことで瞬時電圧がわかり、電線に流れる電流を計測して電圧と掛け合わせることで、電力を算出することができる。

2.2 電力算出手順

本手法ではマイコンと電圧計測回路を用いて、商用電

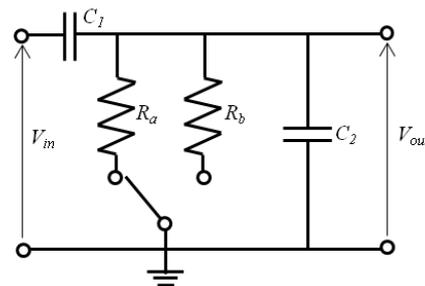


図3 電圧計測の回路

源電圧の波形ピーク時の位相角を求める。図3に電圧計測の回路を示す。\$V_{in}\$は商用電源電圧、\$V_{out}\$は抵抗の両端電圧でマイコンのAD入力となる。\$C_1\$は電線に箔を巻いたときの静電容量、\$R_a\$、\$R_b\$は箔に接続した抵抗である。抵抗にはマイコンからの指示で入り切りできるスイッチが接続されている。\$C_2\$は計測線の静電容量である。

図3の回路のゲインを式(1)に示す。

$$\begin{aligned} \left| \frac{V_{out}}{V_{in}} \right| &= \frac{\omega C_1 R}{\sqrt{1 + \omega^2 R^2 (C_1 + C_2)^2}} \\ &= \frac{C_1}{(C_1 + C_2) \sqrt{\alpha^2 + 1}} \end{aligned} \quad (1)$$

式中の\$\omega\$は角周波数で、\$\alpha\$は以下のとおりである。

$$\alpha = \frac{1}{\omega R (C_1 + C_2)}$$

位相角\$\theta\$は式(2)で求まる。

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{1}{\omega R (C_1 + C_2)} \right) = \tan^{-1}(\alpha) \quad (2)$$

スイッチを使い、抵抗\$R_a\$と\$R_b\$を切り替えた際のゲイン比は、式(1)より以下のとおりになる。

$$\left| \frac{V_{out}}{V_{in}} \right|_a \bigg/ \left| \frac{V_{out}}{V_{in}} \right|_b = \sqrt{\frac{\alpha_b^2 + 1}{\alpha_a^2 + 1}} \quad (3)$$

マイコンのAD入力を用いて電圧波形のピーク値を求めることで、ゲイン比を計測から求めることができる。また、商用電源であることから周波数は既知であり、AD変換を一定サンプリングで行い、\$R_a\$接続時と\$R_b\$接続時の時系列の電圧波形データをマイコンのメモリに記録し、2つの波形データを比較することで、位相角のずれ量\$\theta_{ab}\$を計測値から求めることができる。これにより、本手法は以下に記載する手順を踏むことで、\$C_1, C_2\$の値を求めることなく、かつ電圧波形のピーク値をマイコンのAD入力範囲内になるように\$R_a, R_b\$を調整するだけで済む回路構成となる。

計測によりゲイン比および位相角のずれ量がわかることから、式(3)を用いて、以下の手順に基づいて電圧のピーク位相角を求める。

- 1) 初期値となる位相角\$\theta_a\$を決める。
- 2) 計測で求めた位相角のずれ量\$\theta_{ab}\$と位相角\$\theta_a\$より、位相角\$\theta_b\$が決まる。
- 3) 三角関数表(tan)より位相角\$\theta_a, \theta_b\$の\$\alpha_a\$と\$\alpha_b\$を求める。
- 4) 式(3)よりゲイン比を求める。
- 5) 計測で求めたゲイン比と、計算で求めたゲイン比の誤差を求め、その値がこれまでの誤差最小値と比べ小さければ更新し、そのときの角度を記録する。
- 6) 位相角\$\theta_a\$の値を増分して2)に戻る。位相角\$\theta_a\$がある値に達したら処理を終える。

上記手順により求まる最小誤差時の角度を、位相角と見做す。なお、\$\theta_a\$の初期値は、探索範囲の最小値とした。

これより、箔を巻いた電線にかかる商用電圧のピーク位相角(時間)を知ることができ、商用電源の電圧実効値を既知とすれば、瞬時電圧が求まる。瞬時電圧とクランプ型電流センサで計測した電流値から、瞬時電力が計算でき、単位時間積分することで電力が算出できる。

3. 検証

本手法の検証を行うため、単相誘導電動機を無負荷で回転させた時の消費電力を算出した。本手法ではマイコンを用いて1秒あたり数サンプリングで1周期分の電力を計算しているため、過去1秒間で算出した値の平均をもとに、1秒間の電力を算出している。また、電流測定にクランプ型電流センサを使用しており、被測定電流とセンサ検出電流の間に位相差が存在するため、正弦波の電流が流れる想定のもとで、あらかじめ実測により位相差を特定し電力計算に反映している。なお、本手法での商用電源電圧の実効値は100[V]と仮定した。

表1 電力の算出結果

	平均値[W]	標準偏差[W]
本手法	35.1	1.54
電力計	33.4	0.22

表1に本手法で算出した電力の平均値および標準偏差を示す。比較として市販の電力計を用いて計測した結果も示す。電力計の値を真値とすると、本手法の平均値には誤差が含まれており、ばらつきも大きい。その理由は、抵抗\$R_a, R_b\$の値が330[KΩ], 1[MΩ]と大きいためノイズの影響を受けやすく、計測で求めるゲイン比と位相角のずれ量\$\theta_{ab}\$に誤差が含まれたためと考えられる。なお、電力計で計測した電圧実効値は100[V]を超えていることから、本手法と電力計の実質的な誤差は表1より大きくなる。

4. まとめ

本研究では機器設備の改修を必要とせず容易に取り付け可能なセンサを用いて、非接触での交流電圧波形計測による電力算出方法を検討した。電線に箔を巻き、値の異なる抵抗を用いて、電線に流れる交流電圧の波形を非接触で計測することで電力算出は可能であるが、その算出結果に誤差とばらつきがあることがわかった。電力算出の精度向上を図るには、ノイズの影響を受けない計測が課題となる。

文献

- [1] 佐藤光, "ワイヤレスセンサシステム", 東京電機大学出版局, 2012.