

交流電圧波形の非接触計測による電力算出の検討(第2報)

横山 哲也

Study on AC Power Calculation by Non-Contact Measurement (2nd Report)

Tetsuya YOKOYAMA

あらまし 加工機の電力の見える化は、加工機の動力を把握できることから、負荷変化などの異常を検出することができる。そのため、センサを内蔵していない加工機においては、設備の改修を必要とせず容易に取り付けが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。本研究では容易に電力を算出するにあたり、非接触で交流電圧波形の位相の推定を試みた。

キーワード 電力算出, 見える化, 非接触計測

1. はじめに

加工機の電力を測定することで、加工機の動力を推定することができる。動力の変化は加工負荷の変化と関係するため、加工機の異常検出や予防保全を行うには電力の監視は重要である。

古い加工機には、センサが内蔵されてないため、後付けでセンサを取り付けることになる。電力を計測する際は、電圧と電流を計測する必要がある。電流はクランプセンサを用いれば非接触で計測でき、かつ取り付けが容易である。しかし電圧は計測部位を端子や電線の芯線に接触させて計測しなければならず、場合によっては感電や短絡による回路破壊が発生するおそれがある。そのため、非接触で電圧を計測する計測装置が用意されているが、加工機毎に備え付けて使用するには費用が問題となる。

上記問題を解決するため、前報告では電線の被覆に箔を巻き、非接触で電圧波形を計測し、電力の算出を試みた^[1]。しかし計測回路の入力抵抗が大きく、ノイズの影響で電力値に誤差が含まれていた。本報では入力抵抗を小さくし推定方法を見直すことで、商用電源の交流電圧波形の位相を推定できるか検討した。

2. 交流電圧波形の位相の推定方法

非接触での計測方法として、電線の被覆に箔を巻き、芯線と箔間に生じる静電容量(コンデンサ)を利用して電圧波形を計測する方法^[2]がある。その手法を参考に、以下の方法で交流電圧波形の位相を推測する。

図1に示すように電線の電圧線、中性線の被覆に箔を巻き、その間を抵抗で接続する。この配線の等価回路は、図2に示すコンデンサ C_1 C_2 と抵抗 R のハイパスフィルタの構成となる。このときの抵抗の両端電圧の位相は、商用電源電圧に対して進み位相となり(図3)、位相差 θ_d は式(1)で表

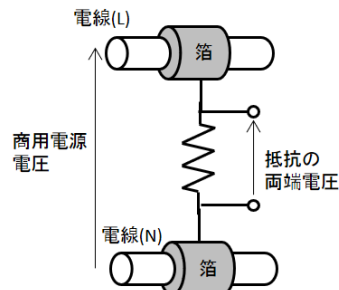


図1 電線被覆への箔の巻き付けと抵抗の配線

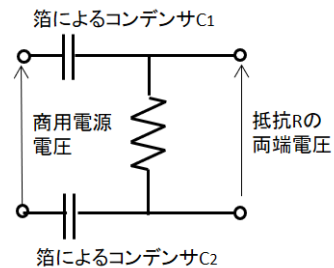


図2 等価回路

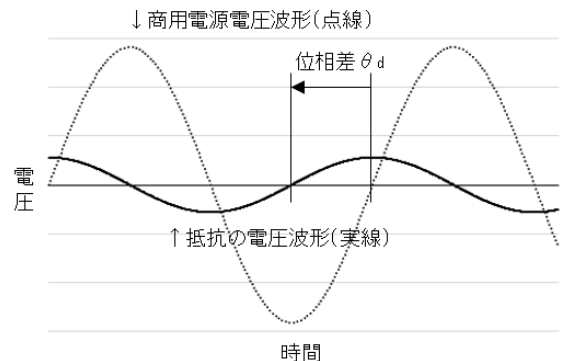


図3 商用電源波形と抵抗の電圧波形

することができる。

$$\theta_d = \tan^{-1}\left(\frac{1}{\omega CR}\right) \quad (1)$$

式中の ω は角周波数で、 C は以下のとおりである。

$$C = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$$

本研究では式(1)の抵抗 R を小さくすることで、抵抗電圧の位相は90度進んでいると仮定する。計測した波形に対して90度の遅れ位相の波形を生成すれば、商用電源電圧の位相に近似できる。これより交流電圧波形を模擬することができ、クランプセンサによる電流波形との積により、有効電力を算出することができる。ただし、本手法は位相を推定するだけで電圧の大きさは求めることはできないため、模擬した波形の実効値は商用電源電圧の実効値と仮定することとする。

以上のことから、商用電源の交流電圧波形を推測するには、抵抗電圧の計測波形に対して位相が90度遅れた波形を生成する必要がある。ただし、抵抗電圧の振幅は小さくノイズが混入しているため、ここでは三角関数の直交性を利用して、以下の手順で波形を生成する。

- ・計測した抵抗電圧波形の時系列データAと、正弦波(商用電源周波数)の1周期の時系列データBとで内積をとる。このとき、図4のようにデータBの位相をずらしながら内積を求め、内積値0となるデータBを求めることで、データAと直交する位相差90度の正弦波を特定する。
- ・上記操作で求まる正弦波の候補として、位相差180度の波形2つが該当する。このため、2つの波形をともに90度ずらして時系列データAと内積をとり、内積値の正負で位相遅れ90度の正弦波を特定する。
- ・特定した正弦波の値が0で、傾きが正のときの位相角を θ_0 とし、 θ_0 を基準に正弦波を生成する。

上記手順により、商用電源に対応した波形を生成することができる。

3. 推定結果

本手法の検証を行うため、推定した交流電圧波形と商用

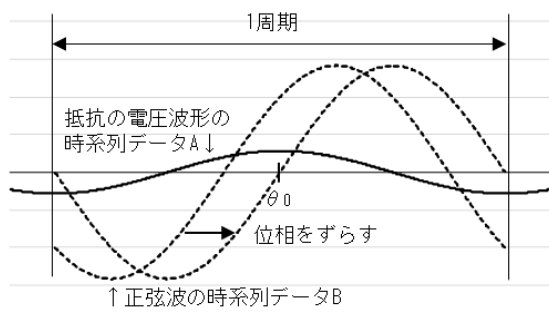


図4 抵抗の電圧波形と正弦波の時系列データ

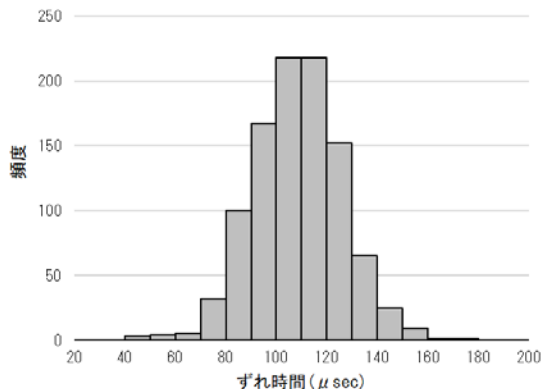


図5 本手法と商用電源電圧波形とのずれ時間

電源の電圧波形のずれ時間を計測した。

2章で記述した処理内容をマイコンで実装し、箔間の抵抗値は3.3K Ω とした。ただし、抵抗の両端電圧が小さいため、計装アンプを設けて波形を増幅し、マイコンのAD入力に与えた。位相角 θ_0 はマイコンのタイマー機能を用いて、一定時間間隔で推定した。また、位相角 θ_0 の推定精度をあげるため、過去に求めた位相角 θ_0 の時系列データから回帰式を計算し、位相角 θ_0 を求め直した。

推定した波形と商用電源の波形とのゼロクロス(交流電圧波形が0Vと交差するタイミング)のずれ時間の分布を図5に示す。このときのずれ時間の平均値は109 μ secで、角度にすると2.35度であった。また、ずれ時間の分布はひと山型となっており、標準偏差は17.5 μ secであった。ずれ時間が生じる理由は、商用電源電圧の高調波による波形のひずみが抵抗電圧の波形にも計測され、その結果、内積計算から求まる位相角 θ_0 に誤差が生じたと考えられる。

4. まとめ

本報では、センサを内蔵していない加工機において容易に電力を算出できる手法を構築するため、非接触で交流電圧波形の位相を推定する方法を検討した。本手法では電線に箔を巻き、抵抗を接続したシンプルな構成で、抵抗の両端電圧を計測することで交流電圧波形の位相を推定できることがわかった。また、推定結果を検証したところ、推定した波形と商用電源電圧の波形には、2.35度の位相角のずれがあった。

今後の課題として、推定結果の精度向上や安定性の評価が挙げられる。

文献

[1] 横山哲也, “交流電圧波形の非接触計測による電力算出の検討”, 岐阜県情報技術研究所研究報告 第17号, pp.60-61, 2015.
 [2] 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.