

モータ高調波鉄損最小化を目的とした評価関数の検討

学生員 西川 滉大* 学生員 熊谷 崇宏 上級会員 伊東 淳一 (長岡技術科学大学)
 正員 山根 和貴 正員 山田 伸明 正員 名和 政道 (株式会社 豊田自動織機)

A Study on Evaluation Function to Minimize Harmonic Iron Losses for Motor

Kodai Nishikawa, Takahiro Kumagai, Jun-ichi Itoh, Senior Member (Nagaoka University of Technology)

Kazuki Yamane, Nobuaki Yamada, Masamichi Nawa (Toyota Industries Corporation)

キーワード：モータ損失, 最適パルス, 鉄損

Keywords : Motor loss, Optimum pulses, Iron loss

1. はじめに

電動機の高速度化, 多極化による出力電圧の高周波化, 低インダクタンス化を背景に, 高調波銅損と鉄損の増加が懸念されている。高調波銅損は最適なスイッチングパターンにより低減できることが確認されている⁽¹⁾。一方, 高調波鉄損は評価関数を磁束密度の高調波解析結果から導出⁽²⁾したものが多く, 高速な計算が困難である。そこで, 本稿では, 高調波解析を用いない PWM 下におけるインダクタの鉄損の評価関数を導出し, 実機により妥当性を確認する。

2. インダクタンスの鉄損の評価関数の導出

図 1 に同期 PWM 適用時の相電圧波形を示す。今回, $\pi/2$ 毎に対称性を持つ同期 PWM を対象とした。直流中間電圧を E_{dc} , スwitchingする位相を $\alpha(i=0, 1, \dots, m)$ とする。なお, M パルス PWM の場合, $m = M/2 + 1$ となる。線間電圧は単極性を有するため, B-H 曲線においてマイナーループは発生しない。そのため, 鉄損はメジャーープにおける磁束密度の最大値により推定できる。よって, 鉄損の評価関数はスイッチング位相を用いて, 飽和磁束密度 B_{sat} で基準化した(1)式で表される。

$$\phi_{pu} = \frac{1}{B_{sat}} \sum_{k=1}^{2m-1} \frac{1}{N \cdot A} \int_{\beta_{k-1}}^{\beta_k} v_{in}(\theta) d\theta \dots\dots\dots (1)$$

N は巻き数, A は断面積, β_k は α_i より一意に決定する線間電圧のスイッチング位相⁽¹⁾である。

3. 実験結果

図 2 に, 今回作成したインダクタを示す。2 次側に補助巻線を巻き, PWM 印加時の 1 次電流と 2 次電圧から鉄損を計算した。また, 変調率 0.5 のランダムな PWM を 12 パターン作成し, 評価関数の精度を鉄損との相関により評価した。ここで比較対象とする従来の磁束高調波成分による評価関数⁽²⁾は, 飽和磁束密度 B_{sat} で基準化され, (2)式で表される。

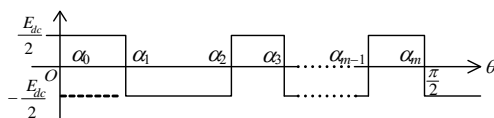


Fig. 1. Phase voltage waveform at synchronous PWM(1/4 cycle).



Core material	35A440
Cross sectional area	95 cm ²
Gap length	4 mm
Number of tuens	62
Core volume	262 cm ³
Inductance	1.78 mH
Input DC voltage	283 V

Fig. 2. Exterior appearance and specifications of measured inductor.

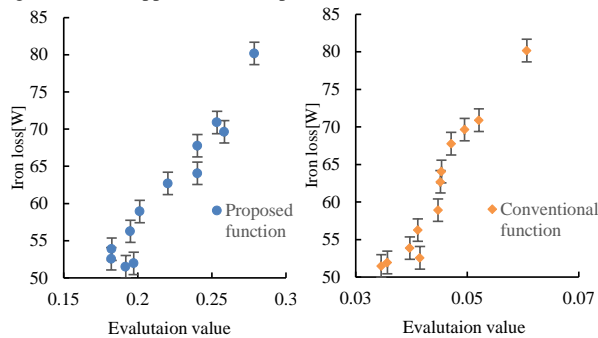


Fig. 3. Characteristics of iron loss and evaluation value.

$$\phi = \sum (kB_k / B_{sat})^2 \dots\dots\dots (2)$$

ここで k は高調波次数, B_k は k 次高調波磁束密度である。

図 3 に PWM 印加時のインダクタの鉄損と(1)式及び(2)式による評価値の結果を示す。この時, 鉄損と(1)式及び(2)式それぞれによる評価値の相関係数は 0.968, 0.964 であり, (1)式は従来法と同程度の精度を持つ評価関数であるといえる。今回は磁束密度が B-H 特性に線形性が強い領域で検証を行ったが, 飽和磁束密度に近く非線形性が強い領域では提案手法の方がより精度が出せる可能性がある。

文 献

- (1) 伊藤他, 半導体電力変換研究会, SPC-19-026, pp.33 - 38 (2019)
- (2) 山崎他, 電学論 D, Vol.127, No.8, pp.837 - 843 (2007)