

15-kW, 150,000-r/min 超高速 PM モータの

時間高調波を考慮した損失特性

藤田 康平*, 野口 季彦 (静岡大学)

Power Loss Characteristics of 15-kW,150,000-r/min Ultra-High-Speed PM Motor Taking Time Harmonics into Account

Kohei Fujita, Toshihiko Noguchi (Shizuoka University)

1. まえがき

高パワー密度化の観点からモータの超高速化は非常に有力なアプローチである。筆者らは大きなエアギャップを特徴とする超高速モータを検討し、電磁界解析を利用して損失をはじめとする種々の電気的特性を評価してきた⁽¹⁾。しかし、これまでの評価は理想的な三相正弦波電流をモータの入力とした場合の評価であり、インバータ駆動時に発生する時間高調波が含まれていない。また、本超高速モータは大きなエアギャップをもつため同期インダクタンスが極めて小さく、電圧源形インバータで駆動した場合に大きな電流リップが発生する。そのため、モータの鉄損や銅損が悪化すると予想される。本稿では理想的な正弦波電流の場合とインバータに起因する時間高調波を考慮した場合で電磁界解析を行い、両者の損失特性を比較評価したので報告する。

2. 時間高調波を考慮した損失特性の比較

表 1 に解析条件と種々のパラメータを示す。本稿では、表に示す条件でシミュレーションを行い、インバータに起因する時間高調波を含んだ電流波形を取得し、それを電磁界解析の入力電流とすることで、電圧源形インバータで駆動する場合のモータ駆動を模擬した。図 1 に(a) 理想三相正弦波電流 (b) 時間高調波を含む三相電流を示す。図 2 に検討する超高速モータの径方向断面図を示す。電磁界解析における損失特性の比較を図 3 に示す。解析結果から、(a) より (b) が全損失で約 150 W 大きいことが確認できる。これは、インバータのスイッチング動作によって発生する時間高調波に起因する電機子磁束によって、特にステータ渦電流損が約 150 W、ロータ保護管渦電流損が約 30 W 増加しているためである。また、時間高調波が電流に加わるため、電流実効値が増加するので銅損も 1 W 増加している。以上から、効率に関しては、(a) が 97 % (b) が 95.9 % と電流高調波により 1.1 % 悪化することが明らかになった。

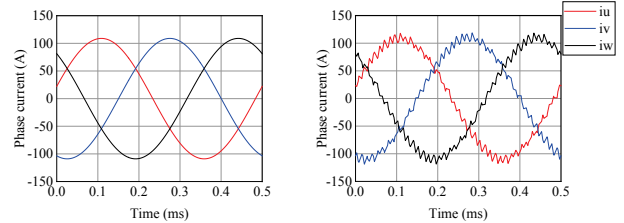
3. まとめ

本稿では、入力が理想三相正弦波電流の場合とインバータに起因する時間高調波を含む電流の場合において、電磁界解析を行い損失特性を比較した。解析結果から、理想的な三相正弦波電流で駆動した場合と比較して時間高調波を含む場合は全損失が 150 W 増加した。また、本稿の検討ではスイッチングにより発生する時間高調波が引き起こすステータ電磁鋼

板のヒステリシスマイナーープや、表皮効果、近接効果は考慮されていないため、実機ではさらに効率が悪化すると考えられる。今後は、解析結果と実測結果の比較評価を行っていく所存である。

Table 1 Simulation conditions and parameters

Output power	12 kW
Rotating speed	120,000 r/min
Torque	1 Nm
DC bus voltage	355.2 V
Stator winding resistance	5.3 mΩ
d-axis inductance	37 μH
q-axis inductance	37 μH
Back e.m.f constant	7.5 mV/rad/s
Switching frequency	40 kHz



(a) Ideal sinusoidal currents. (b) Inverter currents with time-harmonics.

Fig. 1. 3-phase current waveforms

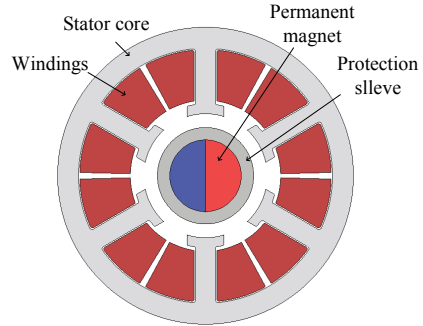


Fig. 2. Cross section of ultra-high-speed PM motor.

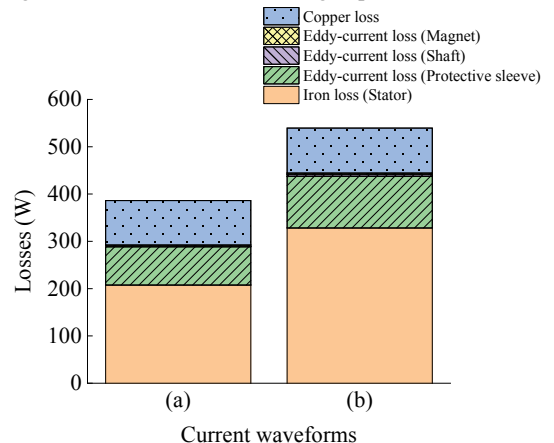


Fig. 3. Comparison of losses analysis results.

文 献

(1) 藤田・野口：電学全大, 5-031 (2019)