

モータ動力線を用いたエンコーダ直流給電システムの全動作領域での動作検証

中垣 拓海*, 中田 祐樹, 渡辺 大貴, 伊東 淳一 (長岡技術科学大学),
 桐淵 岳 (オムロン株式会社), 森本 茂雄 (大阪公立大学)

Experimental Verification of Power Supply System using Motor Power Line
 for the Encoder across All Operating Areas

Takumi Nakagaki, Yuki Nakata, Hiroki Watanabe, Jun-ichi Itoh (Nagaoka University of Technology),
 Takeshi Kiribuchi (OMRON Corporation), Shigeo Morimoto (Osaka Metropolitan University)

1. はじめに

永久磁石同期電動機(PMSM)で高精度な制御が要求される場合にはエンコーダが用いられるが、エンコーダは電力変換器からのワイヤで接続される。しかし、複数のモータを使用する環境や電力変換器とモータ間が長距離の環境では、配線の煩雑化や配線長増加によるコスト増加、ノイズ増加が課題となる。この問題を解決する一手法として、モータの回転を利用して発電するバッテリーレスエンコーダが提案されている⁽¹⁾。しかし、本手法では低回転速度において十分な電力を発電できない。

そこで著者らは、モータ動力線に変流器を直列接続し、モータ電流を利用したエンコーダ給電システムを提案している⁽²⁾。本システムには、エンコーダへ安定した直流電力を供給するための整流回路と安定化回路が必要である。文献(3)は、整流回路とスイッチ1つから成るDC-DCコンバータで、理想電源により検証されているが、高速および高トルクの動作領域を想定しており、モータを用いて全領域での動作検証は行っていない。

本論文では、変流器の二次側にダイオード整流回路と1石DC-DCコンバータから成るDC-DCコンバータを接続し、全動作領域で所望の電圧と電力が得られることを確認したので報告する。

2. 変流器を用いたエンコーダ給電システム

図1にモータ電流を用いたエンコーダ給電システムを示す。本システムは変流器一次側をモータ動力線に直列接続し、変流器二次側にAC-DC変換回路である三相ダイオード整流回路、出力電圧安定化のためのDC-DCコンバータを接続する。DC-DCコンバータは1つのスイッチを用いた簡単な構成とし、PI制御で出力電圧を一定に制御する。本論文では、エンコーダへの出力を10.0V、1.00Wとして、簡単化のため負荷は抵抗で模擬した。モータは、定格出力100W、定格速度3000r/min(1.0p.u.)、定格電流1.5A(1.0p.u.)のPMSMを使用した。

表1に使用する変流器のパラメータを示す。変流器は周波数25Hz(回転数300r/min)、電流実効値を1.5Aとして、文献(3)に基づき設計した。

図2にエンコーダ給電システムにおける動作領域を示す。

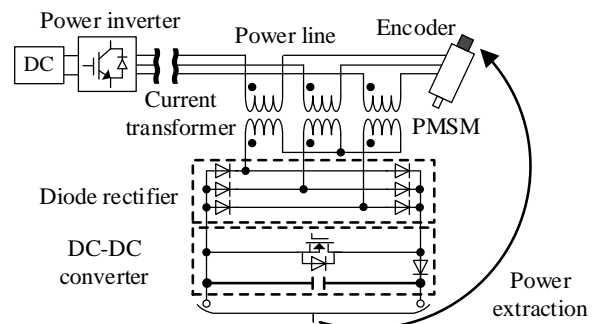


Fig. 1. Configuration of the power supply system with three-phase diode rectifier for the encoder.

Table 1. Parameter of current transformer.

Parameters	Symbol	Value
Number of turns	N_1, N_2	17/316 turns
Magnetizing inductance	U	4.80 mH
	V	4.79 mH
	W	4.83 mH
Window area of the core	S_w	5.50 cm ²
Effective cross-section of the core	A_e	2.64 cm ²
Effective relative magnetic permeability of the core	μ_e	5100 —

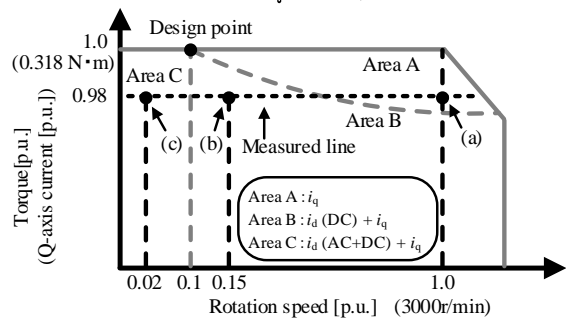


Fig. 2. N-T map in the power supply system for the encoder.

提案システムの動作領域は、エンコーダへの電力供給に寄与する電流の大きさと周波数により、3つに分類される。変流器を Area A で仕様を満たせるように設計しているため、Area A は追加の電流重畳なしで電力をエンコーダに供給できる。Area B はモータ電流が不足するため、d 軸電流を重畳することで電力供給を可能にする。Area C は周波数が低すぎるため、d 軸電流に交流成分を重畳して、電力供給を可能にする。交流成分の振幅は変流器の出力電圧が所望電圧を満たすように設定する。

Area C では、モータ電流の周波数が低く、変流器の励磁インダクタンスのインピーダンスが小さくなるので、モータ電流の大部分が励磁分になる。そのため、変流器二次側へは十分な電流が伝送されない。そこで、d 軸により高い周波数の交流成分を重畳することで変流器二次側への電流伝送を可能にする。しかし、トルクが定格値となる条件では q 軸電流が最大となり、さらに d 軸電流を重畳するため、モータ電流は定格を超過する。特に、モータ電流の周波数がゼロに近く、モータ電流が 1.41p.u. に達する。交流成分の周波数はモータの基本周波数以上かつ電流制御系のカットオフ周波数以下の範囲で設定する。本論文では、カットオフ周波数 2 kHz の 1/10 である 200 Hz で設定した。

3. 実験結果

図 3 にトルクが 0.98p.u. 一定の条件におけるモータの回転速度に対する出力電圧特性を示す。図 3 より、d 軸電流の重畳がない場合、回転速度の低下に伴い、出力電圧が 10.0 V 未満に減少することが確認できる。そのため、低回転速度では、エンコーダの駆動電力が得られない。一方で、d 軸電流を重畳した場合、低回転速度の領域においても、一定の出力電圧が得られ、エンコーダ電源として利用できる。

図 4 に図 3 の各動作領域における動作波形を示す。上段の波形が dq 軸電流、下段の波形が出力電圧を表している。座標変換は相対変換を適用した。

図 4(a)に Area A(3000 r/min)における動作波形を示す。本領域では、指令値として 2.08 A の q 軸電流のみを与えている。回転速度が高いため、d 軸電流の重畳なしで 10.0 V の出力が得られる。

図 4(b)に Area B(450 r/min)における動作波形を示す。この領域では、2.08 A の q 軸電流指令のみでは、出力電圧が 10.0 V を下回る。そのため、d 軸電流指令を -0.37 A とする。この条件では、モータ電流の実効値が定格値と一致し、10.0 V の出力を実現できる。

図 4(c)に Area C(60 r/min)における動作波形を示す。この領域では、q 軸電流指令を 2.08 A、d 軸電流指令を -0.42 A の直流成分と振幅 2.73 A、周波数 200 Hz の交流成分を重畳する。d 軸電流に交流成分を重畳することにより、10.0 V の出力が実現できる。ここで、回転数が低いため、出力電圧にモータ回転数の 6 倍成分のリプルが発生する。このリプルは変流

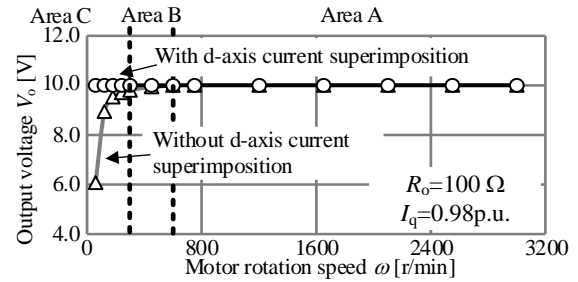
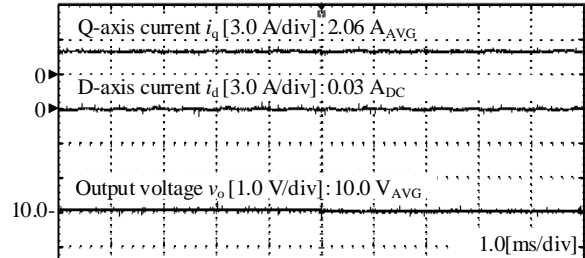
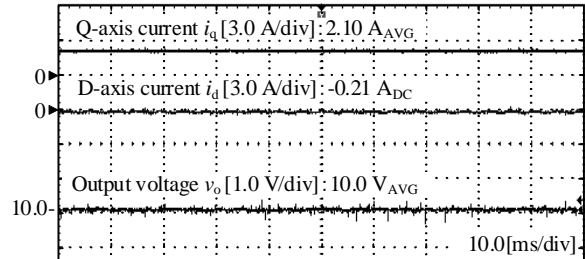


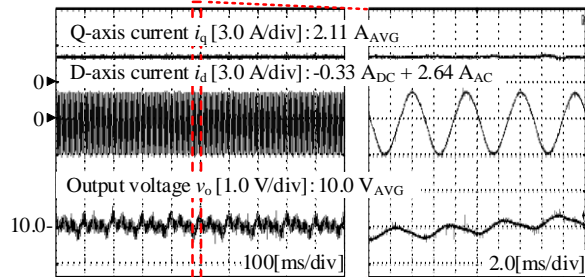
Fig. 3. Speed characteristics at 0.98p.u. torque.



(a) Operating waveforms in area A(3000 r/min)



(b) Operating waveforms in area B(450 r/min)



(c) Operating waveforms in area C(60 r/min)

Fig. 4. Operating waveforms in each superimposed area.

器を所望電圧で設計していることにより、DC-DC コンバータの入力電圧が不足し、過変調で動作するため発生する。さらに、図 4(c)の動作点においては、モータ電流は 1.96-A(1.31p.u.)に増大する。実際にはエンコーダに供給する電力によって、電流は調整できるので、間欠運転または、変流器の設計により、過熱を回避する。

以上より、それぞれの電流重畳領域において、10.0 V の出力を実現した。今後は、d 軸電流の重畳法の改善と、Area C を考慮した変流器の設計法を検討する。

文 献

- (1) 安川電機, <https://www.yaskawa.co.jp/newsrelease/product/22535> (2016)
- (2) 桐淵 他, 電学論 D, Vol.144, No.144, pp.613-621 (2024)
- (3) 中垣 他, SPC-24-154, MD-24-100 (2024)