

モータ中性点を利用した 昇圧型 DC/AC 変換回路による PM モータ駆動

片桐 敏章*, 伊東 淳一 (長岡技術科学大学)

PM motor driving with a boost type DC/AC conversion circuit using motor neutral point.

Toshiaki Katagiri, Jun-ichi Itoh (Nagaoka University of Technology)

1. はじめに

バッテリーを用いたモータ駆動用インバータは、電気自動車や鉄道車両駆動などで利用されている。しかしバッテリー電圧が低い場合はモータ効率が低下するため、昇圧チョッパを用いてインバータ電圧を昇圧しモータを駆動する。よって、昇圧回路を用いる分だけ装置が大型化し、コストアップなどの問題点が生じる。

著者等は文献(1)において、6 アームのインバータのみで昇圧動作とインバータ動作の両方を可能とする、小型で軽量のモータ駆動用インバータを提案した。また同論文でシミュレーションによりその動作を確認した。文献(1)により提案した回路と同様な回路が、文献(2)においても提案されており、矩形波制御について検証が行われているが、インバータ動作と昇圧動作を同時に行えることについては明らかではない。

本論文では 750W 永久磁石型同期電動機を用いて、提案回路の駆動動作を実験により検証し、良好な結果を得たので報告する。

2. 動作原理

<2.1> 提案回路の動作原理

図 1 に提案回路を示す。提案回路では、バッテリーの正極側を電動機の中性点に、負極側をインバータに接続する。この回路は従来のインバータシステムと同じ素子数でバッテリーの昇圧を行うことができる。

図 2, 及び図 3 に提案回路の正相分等価回路とゼロ相分等価回路を示す。バッテリーは、電動機に対してゼロ相電圧となっているため、電動機のトルクには影響を及ぼさない⁽³⁾。よって、提案回路は三相インバータとして動作する正相分等価回路と、昇圧チョッパとして動作するゼロ相分等価回路とに分けることができる。

昇圧チョッパの動作は、インバータのゼロ電圧ベクトルの期間を利用して行う。図 3 に示すゼロ相分等価回路において、下側スイッチの期間(Mode:I)で電動機のゼロ相インダクタンスにエネルギーを蓄え、上側スイッチの期間(Mode: II)で直流リンクコンデンサにエネルギーを放出する。即ち、電動機のゼロ相インダクタンスを昇圧リアクトルとして利用でき、インバータの下側スイッチが昇圧チョッパの入力スイッチの役割を、上側スイッチが還流ダイオ

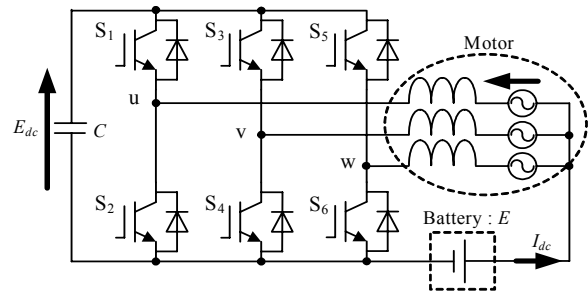


図 1 提案回路

Fig.1. Proposed circuit.

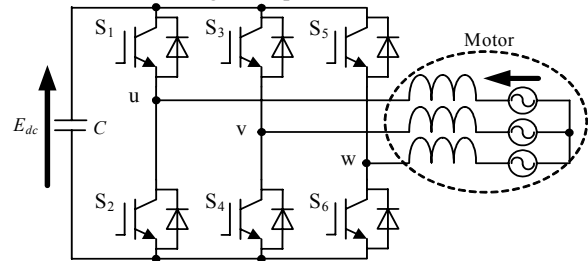


図 2 正相分等価回路

Fig.2. Positive phase equivalent circuit.

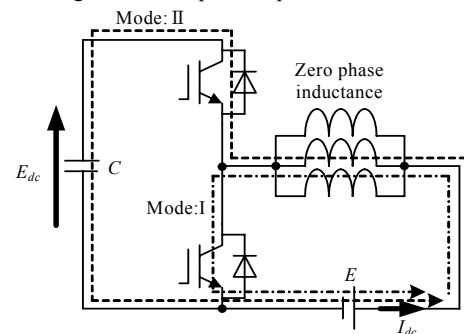


図 3 ゼロ相分等価回路

Fig.3. Zero phase equivalent circuit.

ードの役割を果たす。従って、昇圧回路を用いなくても、昇圧動作とインバータ動作の両方が可能となるため、装置の小型、軽量化が期待できる。

一方、提案回路はモータ電流とスイッチング素子の電流がバッテリー電流の 1/3 倍だけ増加する欠点がある。また、三角波変調を用いる場合、中点電位は直流電圧のほぼ 1/2 となることから、バッテリー電圧と直流電圧の比は 1:2 であることが望ましい。

<2.2> 制御方法

図 2 に制御ブロック図を示す。昇圧チョッパの制御は、直流リンク電圧、およびバッテリー電流を PI 制御器によって

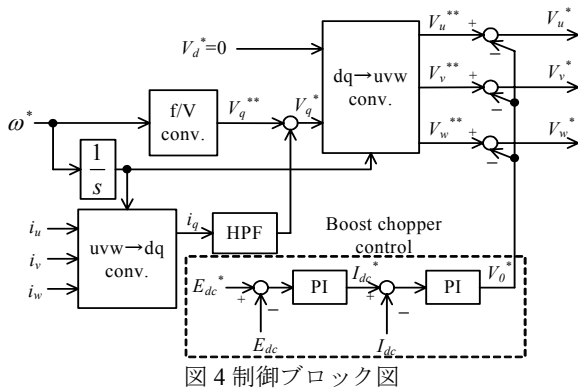


図4 制御ブロック図

Fig.4. Control block diagram.

制御する。これにより、ゼロ相電圧指令 V_0^* を得る。

一方、モータの出力電圧は V/f 制御にダンピング制御を付加する。そして、得られた出力電圧指令にゼロ相電圧指令 V_0^* を重畳する。これをインバータ指令とし三角波と比較する。

3. ゼロ相インダクタンス

表 1 に、実験に使用した永久磁石同期電動機のパラメータを示す。電動機のゼロ相インダクタンスは、電動機の各相を短絡し、中性点との間に交流電源を印加して測定した。

その結果、ゼロ相インダクタンスは 2.0mH の値を有していることが分かった。また、図 5 に示すように飽和特性は見られなかった⁽⁴⁾。この結果より、ゼロ相インダクタンスは漏れインダクタンスが支配的であることが予想できる。よって、ゼロ相インダクタンスは空芯リアクトルと同様な特性を示すことが確認できた。

4. 実験結果

図 6 に示すような、モータ中性点とインバータ間に抵抗負荷を接続した回路により、提案回路の動作検証を行った。この回路は、バッテリーへの充電動作を模擬している。また、設備の都合によりモータを発電機動作させることができないため、直流部に電源を結線している。ただし、入力電圧は $E_{dc}=100V$ 、モータ速度指令は 300rpm とする。

図 7 に実験結果を示す。上から入力電圧、出力電圧、電動機電流である。電動機電流は直流電流が重畳された波形となっている。また、出力電圧はインバータ電圧の 1/2 の電圧が得られていることが分かる。ただし出力電圧は、モータ回転数の 3 倍周期でリップルが生じているが、これは PM モータの逆起電力の影響であると考えられる。

5. まとめ

本論文では、文献(1)において提案した小型で軽量のモータ駆動用インバータの駆動動作を、永久磁石型同期電動機を用いて検証した。今後は、昇圧チョップの制御を付加した提案回路において、動作検証を行う。

表 1 使用した永久磁石同期電動機の定数

Table1. Specifications of test PM motor.

Rated power	750W	Rated voltage	175V
Rated current	3.3A	Poles	6
Rated frequency	90Hz	Rated speed	1800rpm

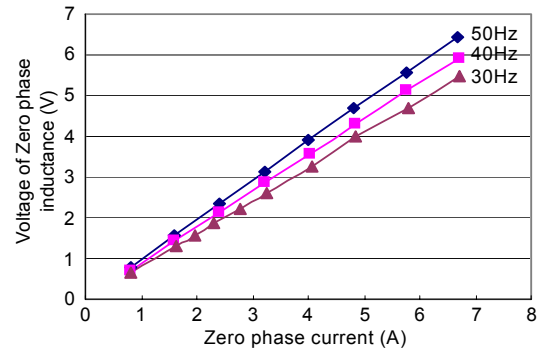


図 5 ゼロ相インダクタンスの V-I 特性(750W 同期機)
Fig.5. V-I characteristic of Zero phase inductance (750W, PM).

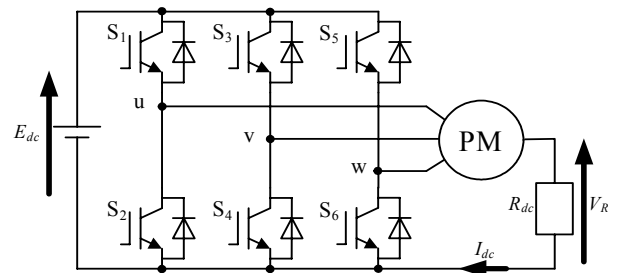


図 6 実験回路

Fig.6. Experimental circuit.

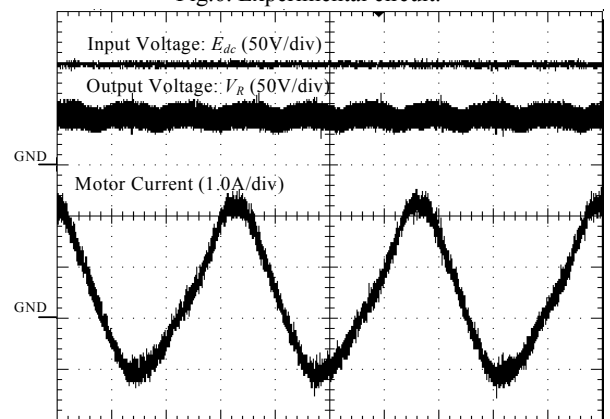


図 7 実験結果 (20ms/div)

Fig.7. Experiment results (20ms/div).

参考文献

- (1) 片桐, 伊東: 「モータ中性点を利用した直流三相変換回路」 北陸支部, A-54, 2006
- (2) 守屋, 中井, 稲熊, 佐々木: 「モータ中性点を利用した DCDC コンバータとその制御方法」 電気学会全国大会, 4-079, 2004
- (3) 伊東, 石井: 「負荷中性点を用いた単相高力率コンバータによる永久磁石同期電動機駆動」 電学論 D, 121 巻 2 号, 2001
- (4) 片桐, 伊東: 「電動機中性点を利用した直流三相変換回路の昇圧動作の検証」 電気学会東京支部新潟支所研究発表会, IV-8, 2006