回転座標変換を用いた正弦波出力インバータ

学生員 岡村 善次 (東京工芸大学)

正 員 中野 博民 (東京工芸大学)

正 員 難波江 章 (東京工芸大学)

Sinusoidal Output Inverter Using Rotating Coordinate Transformation
Yositsugu Okamura, Student Member, Hirotami Nakano, Member, Akira Nabae, Member
(Tokyo Institute of Polytechnics)

キーワード：正弦波出力インバータ、回転座標変換、電磁波障害、フィードバック

1. まえがき

インバータ機器の高周波スイッチング化に伴い、電磁波障害、端子電圧の上昇、鉄損、騒音などが生じ、近年問題となっているが、筆者らは、これらを改善するため、インバータの出力高調波をフィードバックして出力電圧と出力電流を可変周波数の正弦波にする方法について研究してきた。そして、電圧フィードバックに用いるハイパスフィルタに回転座標変換を適用することにより、従来までの方式に比べインバータの出力特性を大幅に改善することができたので以下に報告する。

2. 従来方式

図1 従来方式のブロック図

Fig.1 System Diagram of Conventional method.

図1⁽¹⁾に従来方式のシステム図を示す。このシステムは、電圧形インバータ、LCフィルタ及び電圧フィードバックから成っている。

電圧形インバータの出力側に、スイッチング周波数付近の高調波を取り除くため、点線で囲まれているLCフィルタを取り付けている。しかし、LCフィルタだけしか用いていないと、負荷、または外乱により、LCフィルタの共振周波数成分の高調波が現れると、負荷にかかる電圧が発振してしまうので、発振を抑えるために電圧フィードバ

ック制御を行っている。これは、各相の負荷にかかる電圧を検出し、ハイパスフィルタにより高調波成分だけを取り出し、PWM変調（三角波変調方式）を行うための基準正弦波から引くという制御を行っている。これにより、インバータに一種のアクティブフィルタのような機能を持たせて、出力電圧を正弦波に保たせる。

3. 出力特性

図1に示したシステムで電圧指令値を V^* 、出力電圧を V としたときの入出力の伝達関数を求めると、次のようになる。但し、 Z_L はLCフィルタのLのインピーダンス、 Z_0 はLCフィルタのC及び負荷の合成インピーダンスであり、インバータのゲインを1として考える。また、 ω_c はハイパスフィルタのカットオフ周波数である。

$$V = \frac{Z_0}{Z_L + Z_0} \left(V^* - K \frac{s}{s + \omega_c} V \right)$$

$$\frac{V}{V^*} = \frac{1}{1 + \frac{Z_L}{Z_0} + K \frac{s}{s + \omega_c}} \quad \dots \dots (1)$$

(1)式より、ボード線図を描くと図2のようになる。

(a)は、LCフィルタのみで、電圧フィードバック制御を行っていない場合であるが、図を見て分かるように、スイッチング周波数付近の高調波を抑える事ができるが、LCフィルタの共振周波数成分の高調波は、逆に増幅されてしまう。

(b)は、従来方式の電圧フィードバック制御を行った場合である。電圧フィードバック制御を行うことによって、LCフィルタの共振周波数成分の高調波の増幅を抑える事ができるが、ゲイン、位相の特性が悪くなり、この状態では、インバータの出力周波数を高くすると、出力電圧低下、

位相遅れなどの問題を生じる。

これらの問題の原因は、電圧フィードバックに用いるハイパスフィルタによるものである。インバータの出力周波数を高くして行くに従って、ハイパスフィルタによって基本波周波数成分を取り除くことができなくなり、わずかではあるが、基本波周波数成分がフィードバックされてしまい、その結果出力電圧低下、位相遅れが生じる。

図2 ボード線図
Fig.2 Bode Diagram.

4. 回転座標方式

図3 座標変換方式のブロック図
Fig.3 System Diagram of Coordinate Transformation method.

従来方式での位相遅れや電圧降下の原因は、ハイパスフィルタにあるので、本提案のフィルタを改善する方式により、これらの問題を解決できる。

図4は、電圧フィードバックに用いるフィルタに回転座標変換を用いたときのシステム図である。本方式は、検出した各相の電圧を、3相2相変換をした後、回転座標変換を用いて、静止座標上から回転座標上に変換し、ハイパスフィルタを通し、回転座標→静止座標、2相→3相と逆変換を行い高調波成分を検出し、基本波へフィードバックしている。本方式を用い、負荷にかかる電圧を、基本波周波数で回転する回転座標上に変換すると、基本波周波数成分は直流量となり、その他の周波数成分のみが交流量となるので、回転座標上でフィルタを通せば基本波成分を完全に取り除く事ができる。

5. 実験結果

図4に実験結果を示す。(a)は、従来方式による実験結果で、(b)は、座標変換方式による実験結果であり、各方式とも、出力周波数200Hz時の波形である⁽²⁾。

図を見ても分かるように、従来方式のものは、出力電圧は、ほぼ正弦波になっているが、出力電圧低下や、位相遅

れがかなり目立っている。しかしながら、座標変換方式を用いたほうは、指令通りの出力を得られている。

図4 実験結果
Fig.4 Experimental result.

6. むすび

電圧フィードバックに用いるフィルタに回転座標変換を適用することにより、従来方式で問題となっていた、出力周波数の増加に伴って生じる出力電圧低下、位相遅れを改善することができることを確認した。

(平成5年11月24日受付)

文献

- (1) A. Nabae, M. Kitamura, Y. Okamura, F. Z. Peng
"A Novel Inverter With Sinusoidal Voltage and Current Outputs"
1992 IEEE/IAS Annual Meeting Conference Record, p.867-871
- (2) 岡村、中野、難波江「正弦波電圧・電流出力インバータの制御方式の改善」 平5電気学会半導体電力変換研資、SPC-93-74

岡村 善次 (学生員)

昭和44年9月5日生。平成4年3月東京工芸大学工学部電子工学科卒業。同年4月同大学大学院工学研究科電子工学専攻修士課程入学、現在に至る。

中野 博民 (正員)

昭和32年7月31日生。同55年3月長岡技術科学大学電子機器工学課程卒業。同57年3月同大学院工学研究科修了。同62年3月名古屋大学大学院工学研究科博士課程修了。平成5年東京工芸大学助手。工学博士。半導体電力変換器、無効電力補償システムの研究に従事。

難波江 章 (正員)

大正13年9月13日生。昭和22年9月東京大学電気工学科卒業。同26年9月(株)東芝入社。同58年4月長岡技術科大学教授。平成2年東京工芸大学教授。工学博士。IEEE Fellow。昭和60、平成3年電気学会論文賞。'91 IEEE-IAS Tr. Paper Award。平成5年電気学会業績賞。