

スイッチングテーブルによる PWMコンバータの有効・無効電力瞬時値比較制御法

正員 野口 季彦 (長岡技術科学大学)
 学生員 富木 広明 (長岡技術科学大学)
 正員 近藤 正示 (長岡技術科学大学)
 正員 高橋 勲 (長岡技術科学大学)
 准員 勝俣 純 (東光電気工事株式会社)

Instantaneous Active and Reactive Power Control of PWM Converter by Using Switching Table

Toshihiko Noguchi, Member, Hiroaki Tomiki, Student Member, Seiji Kondo, Member,
 Isao Takahashi, Member (Nagaoka University of Technology), Jun Katsumata, Associate (Toko Electrical Construction Co., LTD.)

キーワード: PWMコンバータ, 瞬時電力, 瞬時値比較制御, ヒステリシス要素, スwitchingテーブル

1. 緒言

従来, PWMコンバータは電源電圧と同期して電流制御を行うことにより力率1制御を実現している。これに対して本稿ではPWMコンバータのスイッチングモードと有効・無効電力を直接関連づけて瞬時値比較制御する手法を提案し, 従来方式との比較検証を実験的に行う⁽¹⁾。

2. 制御システムの構成

図1にスイッチングテーブルによる有効・無効電力瞬時値比較制御形PWMコンバータの構成を示す。本方式では電源の瞬时有効電力 P と瞬时无効電力 Q を次式により演算し, それらのフィードバック制御を行う⁽²⁾。

$$P = v_a i_a + v_b i_b + v_c i_c \dots \dots \dots (1)$$

$$Q = v_b i_a - v_a i_b \dots \dots \dots (2)$$

ただし, v_a, v_b や i_a, i_b は相数変換を施した電源電圧と電流である。本方式では瞬时有効電力の目標値 P^* を直流リンク電圧制御系から与え, 瞬时无効電力の目標値 Q^* は外部から直接与える。特に力率1制御を行う場合は $Q^* = 0$ とする。これらの偏差はヒステリシス比較要素で量子化信号 S_P, S_Q (1で電力増加, 0で電力減少) とする。さらに電源電圧位相も次式のような12の領域に量子化する。

$$(n-2)\pi/6 \leq \theta_n < (n-1)\pi/6 \quad \therefore n=1,2,\dots,12 \dots \dots (3)$$

以上の量子化信号 S_P, S_Q, θ_n を表1のスイッチングテーブルに入力し, それらの組み合わせに応じて一義的に定めた最適スイッチングモード($S_a S_b S_c$)を選択する。いま,

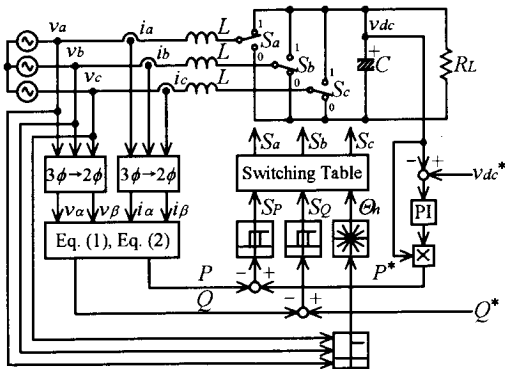


図1 有効・無効電力瞬時値比較制御形PWMコンバータ
 Fig. 1. PWM converter for instantaneous power control.

電源電圧ベクトルを V_s , V_s とコンバータ出力電圧ベクトルの位相差を φ , V_s を基準とした振幅比を k とすれば,

$$P = kV_s^2 \sin \varphi / \omega L \dots \dots \dots (4)$$

$$Q = (k \cos \varphi - 1)V_s^2 / \omega L \dots \dots \dots (5)$$

と表される⁽³⁾。したがって, k および φ を操作することにより P と Q の制御が可能である。 k はPWMコンバータの零電圧ベクトル(000), (111)とそれ以外の電圧ベクトル(001)~(110)を交互に出力することにより操作し, φ は(001)~(110)を切り換えることにより操作する。表1のスイッチングテーブルは, 良好なPWMパターンが得られるように以上の操作を複合して構成したものである。

3. 実験システムと実験結果

本方式と従来方式の制御特性を比較するために表2に示す同一の主回路を用いて実験を行った。なお, 電源高調波の影響を除去するため純正弦波電源装置を利用した。

まず, PWMコンバータの出力波形を図2(a)~(c)に示す。これより従来の瞬時電流比較方式は正負両極性にスイッチングを行う期間が見られ, 無駄なスイッチングを行っていることがわかる。この方式では各相のスイッチングが独立して行われるため, 必ずしも最適なスイッチングモードが選択されているとは言えない。これに対して三角波キャリア変調方式や本方式ではこのような現象はまったく見られず, 良好なPWMパターンが得られている。また,

表1 スwitchingテーブル

Table 1. Switching table.

S_P	S_Q	θ_1	θ_2	θ_3	θ_4	θ_5	θ_6	θ_7	θ_8	θ_9	θ_{10}	θ_{11}	θ_{12}
0	0	101	100	100	110	110	010	010	011	011	001	001	101
	1	100	110	110	010	010	011	011	001	001	101	101	100
1	0	101	111	100	000	110	111	010	000	011	111	001	000
	1	111	111	000	000	111	111	000	000	111	111	000	000

表2 主回路の電気的定数
 Table 2. Electrical parameters of power circuit.

連系リアクトル	2.5[mH]
直流リンク平滑コンデンサ	4700[μF]
主スイッチング素子	I G B T
スイッチング周波数	8 [kHz] (2 [kW]出力時)
系統電源	200[V], 50[Hz]
直流リンク電圧指令	300[V]

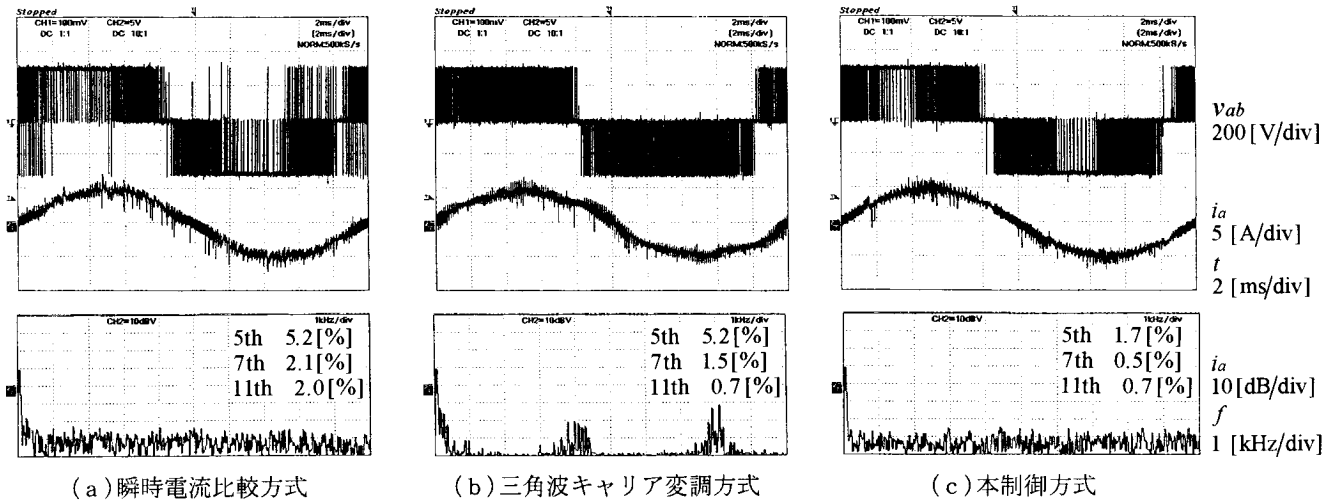


図2 各制御方式のコンバータ出力波形
Fig. 2. Converter output waveforms of each method.

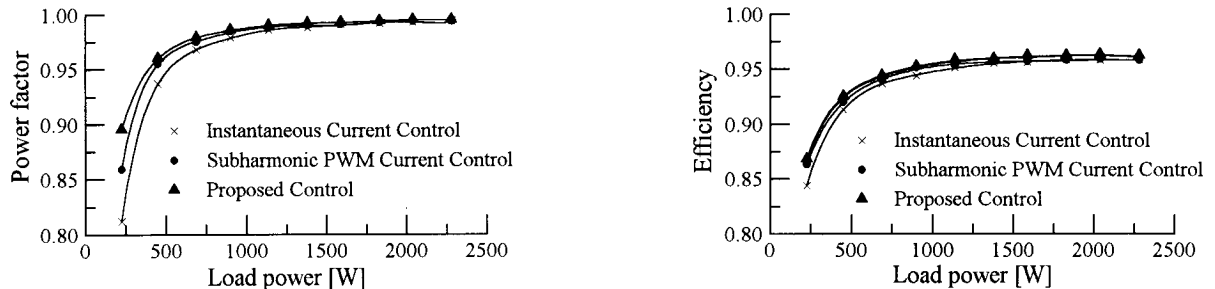


図3 各制御方式の総合力率と効率
Fig. 3. Power factor and efficiency of each method.

電流波形の周波数分析結果からは、本方式が突出した高調波成分を含まず分散していることがわかる。これは(a)に低次高調波成分が多いことや(b)で側帯波成分が顕著であることとは対照的である。

次に各方式の総合力率と効率を図3に示す。最大力率についてはいずれも99.4[%]以上の値が得られた。負荷の減少に伴い力率は低下するが、本方式は軽負荷時においても高い力率を実現している。一方、効率においては本方式が最大96.2[%]と最も高く、どのような負荷条件においても良好な効率特性を維持する。実験では瞬時電流比較方式に対して最大2.4[%]の改善が見られた。

4. 結言

本稿ではスイッチングテーブルを用いたPWMコンバータの有効・無効電力瞬時値比較制御法について従来方式と制御特性を比較検証した。その結果、本方式は最適なPWMパターンを生成するため電流の高調波成分が分散し高調波損失の点で優れることや、負荷率によらず力率、効率の点でも従来方式を凌駕することが確認された。

(平成 7年10月 5日受付)

文 献

- (1) 富木広明, 野口季彦, 近藤正示, 勝俣 純: 「PWMコンバータの瞬時電力直接制御法」 電学産心全大, 305~308(平7-8)
- (2) 大西徳生, 山内治之: 「電源瞬時電力脈動低減方式アクティブフィルタ」 電学論D, 111, 921~929(平3-11)

(3) 半導体電力変換方式調査専門委員会編: 「半導体電力変換回路」 電学(昭62-3)



野口 季彦

(正員) 1959年10月23日生まれ。82年3月名古屋工業大学電気工学科卒業。同年4月東京芝浦電気(株)入社(91年3月まで勤務)。86年3月長岡技術科学大学大学院工学研究科修士課程修了。91年4月岐阜工業高等専門学校講師。94年4月長岡技術科学大学助手、現在に至る。



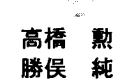
富木 広明

(学生員) 1972年11月5日生まれ。平成7年長岡技術科学大学電気系在学中。PWMコンバータの瞬時電力制御法およびセンサレス制御法に関する研究に従事。



近藤 正示

(正員) 1950年6月9日生まれ。73年3月名古屋大学電子工学科卒業。73年4月日立製作所入社。78年3月東京大学生産技術研究所技官。81年4月同助手。91年4月長岡技術科学大学助教、現在に至る。工学博士。主として電動機と電力変換器の制御に関する研究に従事。



高橋 勲

(正員) 1996年2月号参照。



勝俣 純

(准員) 1972年8月27日生まれ。95年3月長岡技術科学大学電気・電子システム工学卒業。95年4月東光電気工事株式会社入社、現在に至る。