

# 電源電圧センサを用いない PWMコンバータの有効・無効電力瞬時値比較制御法

富木 広明\* 野口 季彦 近藤 正示 高橋 勲  
(長岡技術科学大学)

Instantaneous Active and Reactive Power Control of PWM Converter without Voltage Sensors

Hiroaki Tomiki, Student Member, Toshihiko Noguchi, Member, Seiji Kondo, Member, Isao Takahashi, Member  
(Nagaoka University of Technology)

## 1. はじめに

PWMコンバータは電源電圧と同期した電流制御を行い、入力力率を1に制御する方式が一般的である。このため電源電圧と線電流の検出は不可欠とされている。線電流の検出は過電流保護機能も兼ねるため除去することはできないが、電源電圧の検出はシステム構成の簡単化と信頼性向上の観点から、センサレス化することが望ましい。このような目的のもとに最近ではコントローラ内部で電源電圧を推定する方式が提案されている<sup>(1)</sup>。

これに対し本論文では、従来の電流制御方式と異なる瞬時有効・無効電力の瞬時値比較制御に基づくPWMコンバータの力率1制御法<sup>(2)</sup>を提案する。この手法は瞬時有効・無効電力の推定値に基づいて電源電圧の推定を行うため電源電圧センサを必要としない。ここではその制御理論を展開し、シミュレーションにより検証した結果、良好な制御特性が得られたので報告する。

## 2. 提案するPWMコンバータの制御法

図1に提案法に基づく電源電圧センサレスPWMコンバータの回路構成を示す。図中のスイッチングテーブルは表1のように構成されており、瞬時有効・無効電力と電源電圧の位相より最適なスイッチングモードを直接選択する。図1に示したPWMコンバータにおいて瞬時有効電力 $p$ 、瞬时无効電力 $q$ は次式で定義される。

$$p = vaia + vbib + vcic \dots\dots\dots (1)$$

$$q = \frac{1}{\sqrt{3}} \{ (vb - vc)ia + (vc - va)ib + (va - vb)ic \} \dots\dots (2)$$

これらの式は電源相電圧 $va, vb, vc$ を必要とする。そこで線電流 $ia, ib, ic$ 、連系リアクトル $L$ 、直流リンク電圧 $V_{dc}$ だけで演算すると、表2および表3のようにPWMコンバータのスイッチングモードに応じた演算式が得られる。ここでは機器パラメータとして $L$ を必要とするため推定値 $\hat{p}, \hat{q}$ と表すことにする。以上のように推定された $\hat{p}$ と $\hat{q}$ を用いて電源電圧の推定値 $\hat{va}, \hat{vb}, \hat{vc}$ は(3)式のように求められる。ただし、 $ia, ib$ は三相二相変換した線電流である。一方、瞬時有効電力指令値 $p^*$ は直流リンク電圧制御系から与え、瞬

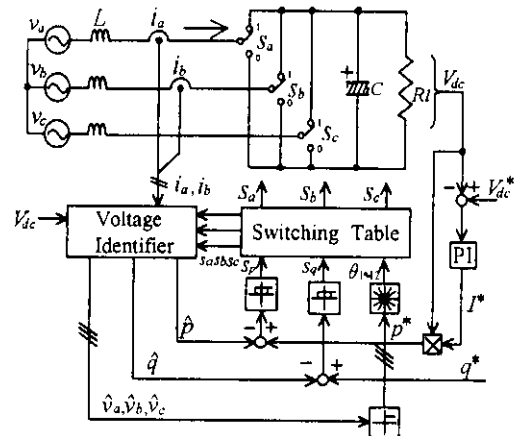


図1 電源電圧センサレスPWMコンバータ  
Fig.1. PWM converter without voltage sensors

表1 スイッチングテーブル  
Table 1. Switching table

$S_p$	$S_q$	$\theta_1$	$\theta_2$	$\theta_3$	$\theta_4$	$\theta_5$	$\theta_6$	$\theta_7$	$\theta_8$	$\theta_9$	$\theta_{10}$	$\theta_{11}$	$\theta_{12}$
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
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

$$\begin{bmatrix} \hat{va} \\ \hat{vb} \\ \hat{vc} \end{bmatrix} = \frac{\sqrt{2/3}}{ia^2 + ib^2} \begin{bmatrix} ia & -ib \\ -\frac{1}{2}ia + \frac{\sqrt{3}}{2}ib & \frac{1}{2}ib + \frac{\sqrt{3}}{2}ia \\ -\frac{1}{2}ia - \frac{\sqrt{3}}{2}ib & \frac{1}{2}ib - \frac{\sqrt{3}}{2}ia \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{p} \\ \hat{q} \end{bmatrix} \dots\dots (3)$$

时无効電力指令値 $q^*$ は直接与える。力率1制御を行う場合には $q^* = 0$ とする。瞬時有効・無効電力の指令値と推定値の誤差や電源電圧の推定値はコンパレータによって量子化され、前述のスイッチングテーブルに入力される。このような構成により瞬時有効・無効電力をPWMコンバータのスイッチングによって直接的に制御する。

## 3. シミュレーション結果

提案する手法により力率1制御を行った場合の定常特性を図2に示す。ここで用いた主回路のパラメータは表4のとおりである。これより、実際の瞬時電力 $p, q$ と推定した瞬時電力 $\hat{p}, \hat{q}$ は良く一致し力率1制御が実現されていること

表 2 スイッチングモードと瞬时有効電力

Table 2. Switching mode and instantaneous active power

$S_a, S_b, S_c$	瞬时有効電力 $\hat{p}$
1, 0, 0	$L(\frac{di_a}{dt}i_a + \frac{di_b}{dt}i_b + \frac{di_c}{dt}i_c) + V_{dc}i_a$
1, 1, 0	$L(\frac{di_a}{dt}i_a + \frac{di_b}{dt}i_b + \frac{di_c}{dt}i_c) - V_{dc}i_c$
0, 1, 0	$L(\frac{di_a}{dt}i_a + \frac{di_b}{dt}i_b + \frac{di_c}{dt}i_c) + V_{dc}i_b$
0, 1, 1	$L(\frac{di_a}{dt}i_a + \frac{di_b}{dt}i_b + \frac{di_c}{dt}i_c) - V_{dc}i_a$
0, 0, 1	$L(\frac{di_a}{dt}i_a + \frac{di_b}{dt}i_b + \frac{di_c}{dt}i_c) + V_{dc}i_c$
1, 0, 1	$L(\frac{di_a}{dt}i_a + \frac{di_b}{dt}i_b + \frac{di_c}{dt}i_c) - V_{dc}i_b$
0, 0, 0	$L(\frac{di_a}{dt}i_a + \frac{di_b}{dt}i_b + \frac{di_c}{dt}i_c)$
1, 1, 1	$L(\frac{di_a}{dt}i_a + \frac{di_b}{dt}i_b + \frac{di_c}{dt}i_c)$

表 3 スイッチングモードと瞬时无効電力

Table 3. Switching mode and instantaneous reactive power

$S_a, S_b, S_c$	瞬时无効電力 $\hat{q}$
1, 0, 0	$\frac{1}{\sqrt{3}} \left\{ 3L(\frac{di_c}{dt}i_b - \frac{di_b}{dt}i_c) - V_{dc}(i_b - i_c) \right\}$
1, 1, 0	$\frac{1}{\sqrt{3}} \left\{ 3L(\frac{di_b}{dt}i_a - \frac{di_a}{dt}i_b) + V_{dc}(i_a - i_b) \right\}$
0, 1, 0	$\frac{1}{\sqrt{3}} \left\{ 3L(\frac{di_a}{dt}i_c - \frac{di_c}{dt}i_a) - V_{dc}(i_c - i_a) \right\}$
0, 1, 1	$\frac{1}{\sqrt{3}} \left\{ 3L(\frac{di_c}{dt}i_b - \frac{di_b}{dt}i_c) + V_{dc}(i_b - i_c) \right\}$
0, 0, 1	$\frac{1}{\sqrt{3}} \left\{ 3L(\frac{di_b}{dt}i_a - \frac{di_a}{dt}i_b) - V_{dc}(i_a - i_b) \right\}$
1, 0, 1	$\frac{1}{\sqrt{3}} \left\{ 3L(\frac{di_a}{dt}i_c - \frac{di_c}{dt}i_a) + V_{dc}(i_c - i_a) \right\}$
0, 0, 0	$\frac{1}{\sqrt{3}} \left\{ 3L(\frac{di_b}{dt}i_a - \frac{di_a}{dt}i_b) \right\}$
1, 1, 1	$\frac{1}{\sqrt{3}} \left\{ 3L(\frac{di_b}{dt}i_a - \frac{di_a}{dt}i_b) \right\}$

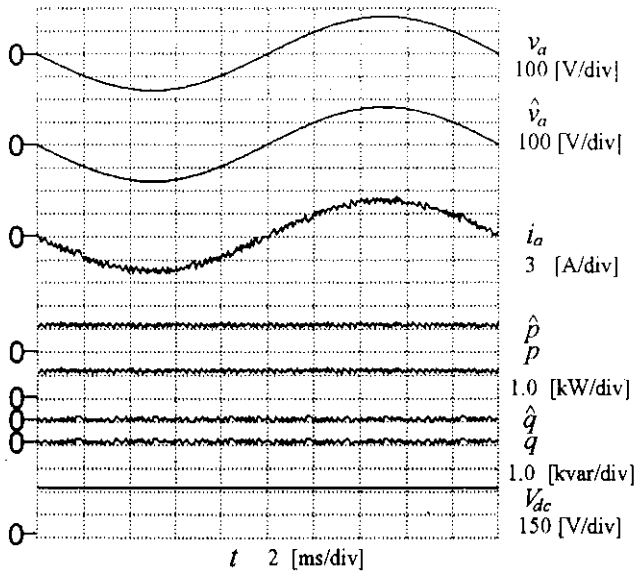


図 2 電源電圧センサレス制御時の定常特性

Fig.2. Steady state characteristics

がわかる。図 3 は直流リンク電圧指令値を 300 [V] から 320 [V] にステップ的に変化させた場合の過渡特性である。このような過渡状態においても推定演算は正確に行われ、力率 1 制御が実現されている。

#### 4. まとめ

本論文では、瞬时有効・無効電力の瞬時値比較制御を行う電源電圧センサレス PWM コンバータの力率 1 制御法について述べた。シミュレーションを実施した結果、定常状態だけでなく過渡状態でも力率 1 制御が可能であることを確認した。今後は実機検証を行う所存である。

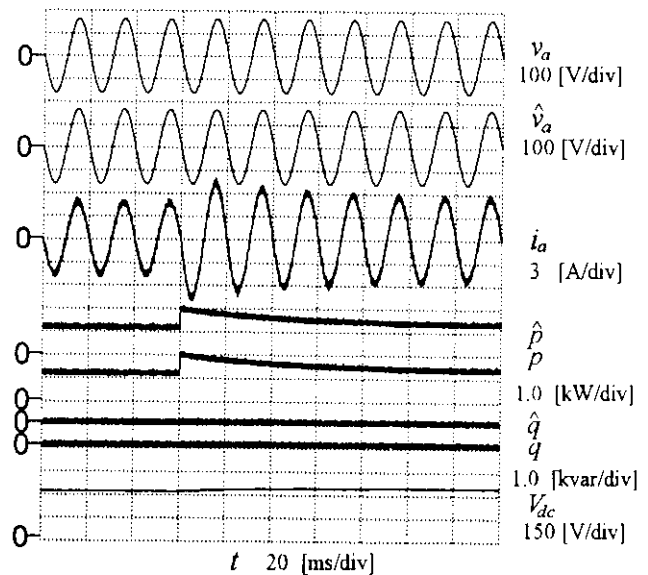


図 3 電源電圧センサレス制御時の過渡特性

Fig.3. Transient characteristics

表 4 主回路のパラメータ

Table 4. Electrical parameters of power circuit.

連系リアクトル	2.5 [mH]
直流平滑コンデンサ	4700 [ $\mu$ F]
負荷抵抗	80 [ $\Omega$ ]
スイッチング周波数	8 [kHz]
系統電源	200 [V], 50 [Hz]
直流リンク電圧指令値	300 [V]

#### 文献

- (1) 竹下・小林・松井：「電源電圧センサレス三相 PWM コンバータの一方式」電学論 D, 114, 1211~1219 (平 6-12)
- (2) 冨木・野口・近藤・勝俣：「PWM コンバータの瞬時電力直接制御法」電学産応全大, 305~308 (平 7-8)