

空間ベクトル変調を適用した直接電力制御形 PWM 整流器

正員 佐藤 明 学生員 佐野甲治 正員 野口季彦 (長岡技術科学大学)

Direct-Power-Controlled PWM Rectifier Using Space Vector Modulation

Akira Sato, Member Koji Sano, Student Member Toshihiko Noguchi, Member (Nagaoka University of Technology)

This paper describes a direct-power-controlled PWM Rectifier using Space Vector Modulation (DPC-SVM). This strategy is based on instantaneous active and reactive power control. Validity of the proposed technique was examined through various computer simulations. DPC-SVM exhibits several features, such as a simple algorithm, constant switching frequency, and particularly it provides sinusoidal line current without implement current minor loop.

キーワード：直接電力制御法，空間ベクトル変調

Keywords：Direct Power Control (DPC), Space Vector Modulation (SVM)

1. はじめに

PWM 整流器の制御法として、電流マイナーループにより電源電圧と同相となるように電流制御を行い、直流バス電圧を一定、入力力率を 1 に制御する手法がよく知られている。一方、筆者らはこれまで瞬時電力に着目した直接電力制御法を提案し、その有効性を実験により確認してきた⁽¹⁾。本稿ではこれまで検討してきた直接電力制御法に空間ベクトル変調を適用したシステムを新たに検討し、計算機シミュレーションよりその基本的な制御特性を確認したので報告する。

2. 制御原理とシステム構成

2.1 基本原理

図 1 に PWM 整流器のモデル図を示す。ここで、PWM 整流器はスイッチングのない理想電源としている。PWM 整流器の出力電圧 v_c を次式とする。

$$v_c = kv_i (\cos \varphi - j \sin \varphi) \tag{1}$$

ここで k ：振幅， φ ：位相差。

電源電流 i_i は(2)式で表すことができる。

$$i_i = \frac{kv_i \sin \varphi}{\omega L} - j \frac{v_i (1 - k \cos \varphi)}{\omega L} \tag{2}$$

瞬時有効電力 P ，瞬時無効電力 Q は下式で導出される。

$$P = \frac{kv_i^2 \sin \varphi}{\omega L} \tag{3}$$

$$Q = \frac{v_i^2 (1 - k \cos \varphi)}{\omega L} \tag{4}$$

例えば入力力率を 1 にする場合、瞬時無効電力 Q を 0 と

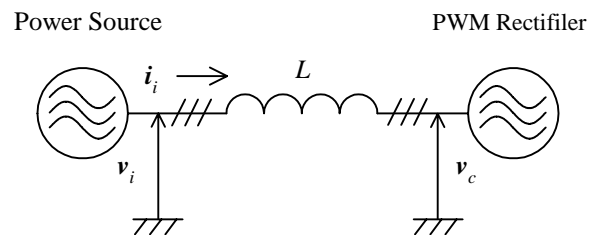


図 1 PWM 整流器のモデル図

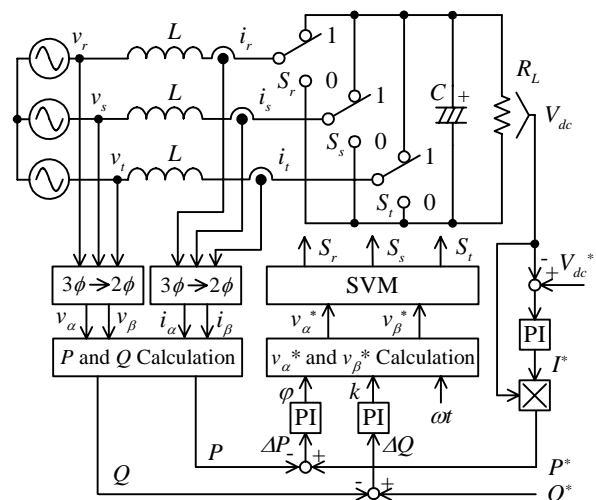


図 2 空間ベクトル変調を適用した PWM 整流器のブロック図

すればよく、(5)式となる。

$$k \cos \varphi = 1 \tag{5}$$

上式において、位相差 φ が小さく $\cos \varphi$ の変化が少ないので、瞬時無効電力は振幅 k を変えることにより制御し、瞬時有効電力は位相差 φ を変えることにより制御できること

がわかる⁽²⁾。

2・2 制御システム構成

図 2 に本制御システムのブロック図を示す。本制御法では交流電源側の瞬時有効電力と瞬时无効電力を算出し、フィードバック制御を行う。

電源電圧・電流を検出し、それぞれ三相 - 二相変換を行う。得られた v_α, v_β と i_α, i_β より、(6)を用いて瞬時有効電力 P 、瞬时无効電力 Q を求める。

$$\begin{bmatrix} P \\ Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_\alpha & v_\beta \\ v_\beta & -v_\alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_\alpha \\ i_\beta \end{bmatrix} \quad (6)$$

一方、有効電力指令値 P^* は直流バス電圧制御系から与える。すなわち、直流バス電圧 V_{dc} とその指令値 V_{dc}^* の偏差から PI 制御器を介して得られた I^* と V_{dc} との積から得る。瞬时无効電力指令値 Q^* は外部より直接与える。そして、 P^* と Q^* と Q の偏差 $\Delta P, \Delta Q$ を PI 制御器に入力し位相差 ϕ 、振幅 k を得る。そして $\phi, k, \omega t$ から PWM 整流器出力電圧指令値 v_α^*, v_β^* を(7), (8)式から算出する。

$$v_\alpha^* = kv_{rms} \cos(\omega t - \phi) \quad (7)$$

$$v_\beta^* = kv_{rms} \sin(\omega t - \phi) \quad (8)$$

そして、得られた v_α^*, v_β^* に空間ベクトル変調を施すことにより各レグのスイッチングパターン S_r, S_s, S_t を得る。

3. シミュレーション結果

本制御法の基本的な制御特性を確認するために計算機シミュレーションを行った。シミュレーション条件は電源電圧 200 (Vrms)、連系リアクトル 5 (mH)、平滑コンデンサ 2200 (μ F)、直流バス電圧指令値 400 (V)である。負荷条件は 5 (kW) 0 (kW) 5 (kW)としている。

図 3 に無効電力指令値 $Q^* = 0$ (var) 図 4 に $Q^* = 1000$ (var) , 図 5 に $Q^* = -1000$ (var)としたときの波形を示す。図 3 において、無効電力は 0 (var)に制御されているため、電源電流は電源電圧と同相で正弦波状になり、直流バス電圧は一定に制御されていることがわかる。図 4, 5 においては無効電力指令値を 1000 (var)または-1000 (var)としているため、負荷 0 (W)区間に無効電流が流れているが、DC バス電圧、有効・無効電力は良好に制御していることが確認できる。

4. まとめ

本稿では筆者らがこれまで検討してきた直接電力制御法に空間ベクトル変調を適用した場合のシステム構成を新たに検討した。そして、計算機シミュレーションにより、その基本的な制御特性を確認した。

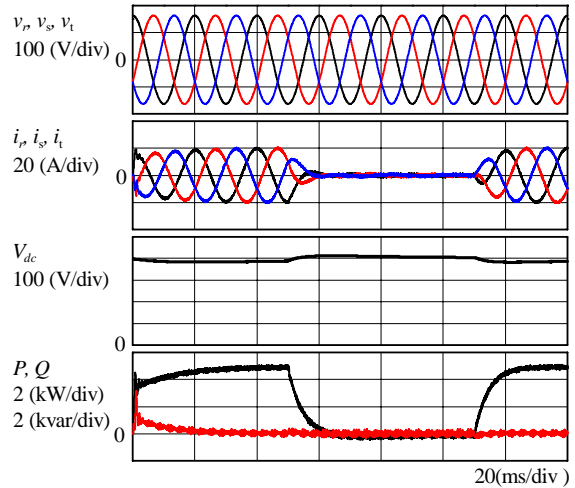


図 3 シミュレーション結果 ($Q^* = 0$ var)

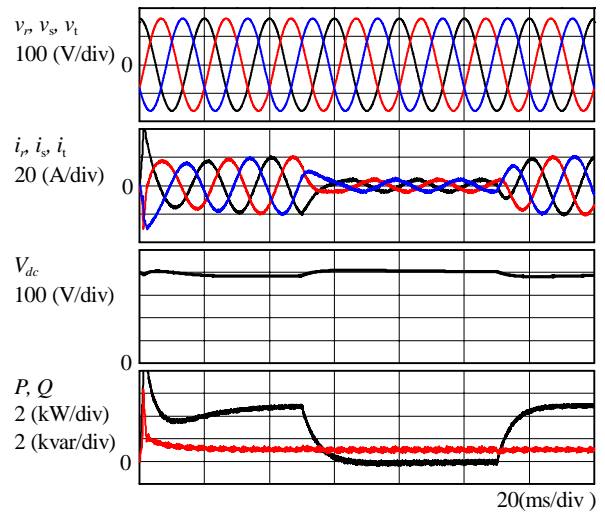


図 4 シミュレーション結果 ($Q^* = 1000$ var)

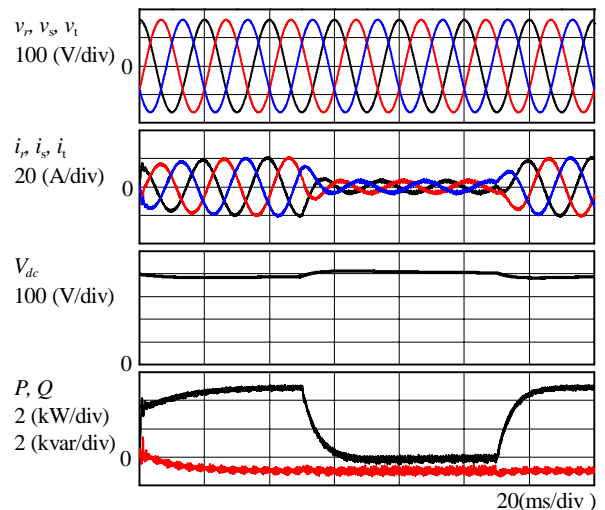


図 5 シミュレーション結果 ($Q^* = -1000$ var)

参考文献

(1) 野口季彦, 佐藤 明, 竹内大裕:「直接電力制御形 PWM 整流器の平滑コンデンサ小容量化と不平衡電源における運転特性」, 電学論 D, 126, 2, pp.103 - 108 (2006)

(2) 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」, pp. 216 - 217 (1987)