

直接電力制御法に基づく電流形 PWM 整流器の 特定高調波有効電力抑制法

学生員 佐野甲治 正員 野口季彦 (長岡技術科学大学)

Specific Harmonic Power Suppression of Direct-Power-Controlled Current-Source PWM Rectifier

Kohji Sano, Student Member, Toshihiko Noguchi, Member (Nagaoka University of Technology)

This paper discusses operation characteristics of specific harmonic active power suppression, and realizes improvement of input line current waveforms in a current-source PWM rectifier based on direct-power-control. As a result, the proposed strategy effectively restrained the fifth- and the seventh-harmonics of the input line currents and demonstrated improvement of the total harmonic distortion by 4.88pt through computer simulations.

キーワード：電流形 PWM 整流器, 直接電力制御, リレー制御, 瞬時電力, 高調波電力抑制

Keywords : Current-source PWM rectifier, direct-power-control, relay control, instantaneous power, harmonic power suppression

1. はじめに

筆者らはこれまでに PWM 整流器のスイッチングモードと瞬時有効・無効電力を直接関連づけて瞬時値制御(リレー制御)し, 直流バス電流と総合入力力率を制御する直接電力制御法を提案した⁽¹⁾。

本稿では直接電力制御法に基づく電流形 PWM 整流器において, 有効電力の特定高調波を抑制し入力電流波形の改善を実現する手法を検討する。提案する手法を計算機シミュレーションにより検証し, 従来法の運転特性と比較して低次高調波が効果的に抑制できることを確認したので報告する。

2. 特定高調波電力抑制法

(2-1) 電流形 PWM 整流器の直接電力制御法

図1に直接電力制御法に基づく電流形 PWM 整流器のブロック線図を示す。まず, 電源相電圧と電流に三相-二相絶対変換を施し, v_α , v_β および i_α , i_β を得る。これらの値を用いて, (1)より整流器の入力側における瞬時有効電力 P と瞬时无効電力 Q を算出する。

$$\begin{bmatrix} P \\ Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_\alpha & v_\beta \\ v_\beta & -v_\alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_\alpha \\ i_\beta \end{bmatrix} \quad (1)$$

瞬時有効電力指令値 P^* は直流バス電流制御系から, 瞬时无効電力指令値 Q^* は外部から直接与え, 総合入力力率を 1 とするために $Q^*=0$ とする。 P^* と P の偏差 ΔP , Q^* と Q の偏差 ΔQ をそれぞれヒステリシス要素により 2 値化し量子化信号 S_p , S_q を得る。また, 電源相電圧位相も 6 つの領域 θ_n に

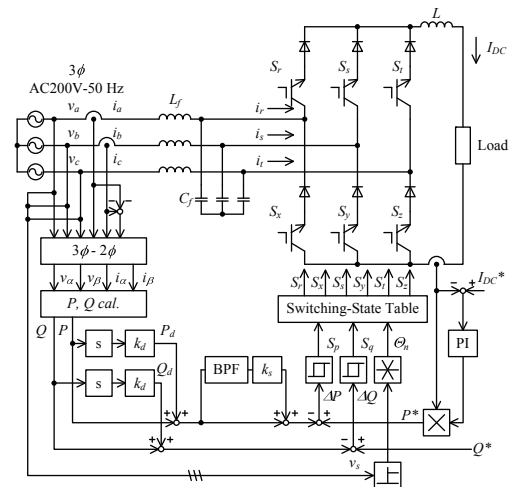
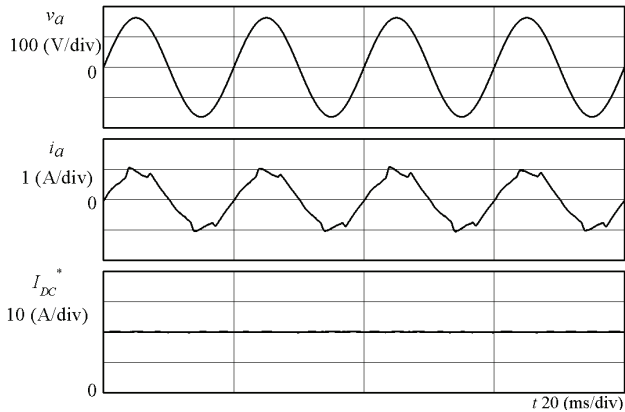


図1 システム構成
Fig. 1. System configuration.

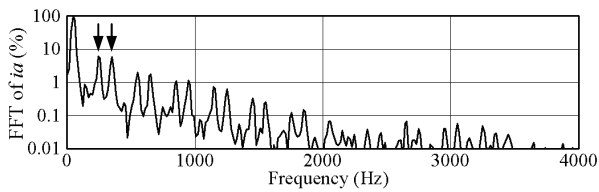
		$S_r \uparrow$	$S_x \uparrow$	$S_s \uparrow$	$S_y \uparrow$	$S_t \uparrow$	$S_z \uparrow$
S_p	S_q	θ_1	θ_2	θ_3	θ_4	θ_5	θ_6
0	0	SOO	OOS	OSO	SOO	OOS	OSO
0	1	ONP	PNO	PON	OPN	NPO	NOP
1	0	PON	OPN	NPO	NOP	ONP	PNO
1	1	PNO	PON	OPN	NPO	NOP	ONP

図2 スwitchングテーブルの構成
Fig. 2. Configuration of switching-state table.

量子化して検出する。あらかじめ各領域 θ_n における整流器のスイッチングモードに対する時間的変化率 dP/dt , dQ/dt の極性を算出しておき, S_p , S_q がそれぞれ 1 であれば電力増加, 0 であれば電力減少となるように図2のスイッチングテ

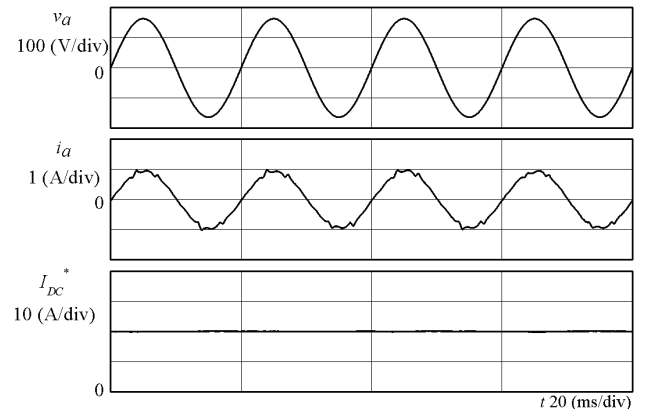


(a) 電源相電圧, 電源電流, 直流バス電流
(a) v_a , i_a , and I_{DC} .

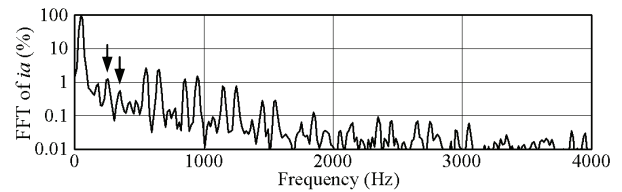


(b) 入力電流の周波数スペクトル
(b) Frequency spectra of i_a .

図3 従来法のシミュレーション結果
Fig. 3. Simulation results of conventional method.



(a) 電源相電圧, 電源電流, 直流バス電流
(a) v_a , i_a , and I_{DC} .



(b) 入力電流の周波数スペクトル
(b) Frequency spectra of i_a .

図4 提案法のシミュレーション結果
Fig. 4. Simulation results of proposed method.

ープルを構成する。

ここで、各スイッチングモードは次のように定義される。

P: $S_r, S_s, S_t = \text{ON}$ かつ $S_x, S_y, S_z = \text{OFF}$

O: $S_r, S_s, S_t = \text{OFF}$ かつ $S_x, S_y, S_z = \text{OFF}$

S: $S_r = S_x = \text{ON}$ または $S_s = S_y = \text{ON}$ または $S_t = S_z = \text{ON}$

N: $S_r, S_s, S_t = \text{OFF}$ かつ $S_x, S_y, S_z = \text{ON}$

また、整流器の入力 LC フィルタにより、入力電流に共振周波数成分が生じる問題がある。そこで、図 1 のように有効電力と無効電力の微分値を加えることによりフィードバック補償を施し、共振周波数成分のダンピングを図る⁽²⁾。

(2.2) 有効電力の特定高調波抑制法

従来直接電力制御法では、軽負荷時に電源電流に歪みが生じる。これは選ばれるスイッチングモードにより所望のヒステリシス幅に ΔP と ΔQ を収めることができないためである。この結果、有効電力には電源電圧周波数の $6m$ 倍の高調波がリップルとして発生する。ここで、電源電圧を平衡した基本波成分のみとすれば、電源電流に $n = (6m \pm 1)$ 次の高調波成分が含まれる。ただし、 m は整数とする。本稿では、このような有効電力の特定高調波成分に対してバンドパスフィルタ(BPF)を用いて取り除き、特定高調波のみを抽出する。このバンドパスフィルタ(BPF)から得られた特定高調波成分を k_s 倍($k_s > 1$)したものに対して、フィードバック補償を施すことにより、特定高調波有効電力の抑制を図る。

3. 計算機シミュレーションによる検証

提案する手法の妥当性を確認するため、計算機シミュレーションによる検証を行った。シミュレーション条件は、

入力フィルタ L_f : 2.7 mH および C_f : 40 μF , 直流リアクトル 40 mH とした。従来法において直流バス電流指令値 $I_{DC}^* = 10$ A, 無効電力指令値 $Q^* = 0$ var, 負荷を 230 W, 有効・無効電力のヒステリシス幅をそれぞれ 100 W, 100 var としたときのシミュレーション結果を図 3 に示す。(a)は電源相電圧, 電源電流, 直流バス電流, (b)は電源電流の FFT 解析結果を示す。電源電流波形のピーク付近で大きなリップルが発生していることがわかる。このときの入力電流 THD は 9.28%であった。同様の条件で有効電力フィードバックに BPF を置き、その中心周波数を 300 Hz として $k_s = 9$ 倍のゲインを付加した場合のシミュレーション結果を図 4 に示す。電源電流波形の歪は大幅に改善され、直流バス電流にも大きなリップルは見られず、良好に制御できていることがわかる。FFT 解析結果から電源電流の 5 次, 7 次高調波が低減され、THD は 4.4%に改善されることが確認された。

4. まとめ

本稿では、直接電力制御法に基づく電流形 PWM 整流器の特定高調波有効電力抑制法を計算機シミュレーションにより検討した。本手法を適用することにより電源電流の総合歪率を、4.88 pt 改善できることを確認した。

文 献

- (1) 佐藤・野口:「電流形 PWM コンバータの直接電力制御法」H16 年電気学会全国大会講演論文集, 4, 38-39
- (2) 大西・皆本:「瞬時電流ベクトル直接制御方式三相電流形 PWM コンバータ」電学論 D, 115, 8, 984-989 (1995)