

直接電力制御法による 電流形 PWM コンバータの運転特性

学生員 中富奏明* 正員 佐藤 明 正員 野口季彦 (長岡技術科学大学)

Operation Characteristics of Direct-Power-Controlled Current-Source PWM Converter

Somei Nakatomi*, Student Member, Akira Sato, Member, and Toshihiko Noguchi, Member (Nagaoka University of Technology)

This paper describes operation characteristics of direct-power-controlled current-source PWM converter. As a result of experimental tests, total power factor higher than 99 % and efficiency more than 89 % were confirmed. These experimental results prove that the direct power control strategy is applicable to the current-source converter, which is a dual circuit of the common voltage-source converter.

キーワード：直接電力制御法，電流形 PWM コンバータ，スイッチングテーブル，実験検証

Keywords : direct power control, current-source PWM converter, switching table, experimental verification

1. はじめに

筆者らは電流形 PWM コンバータに直接電力制御法を適用したシステムを検討し、計算機シミュレーションによりその妥当性を検証してきた。

本稿では、直接電力制御法による電流形 PWM コンバータの基本的な運転特性を実験的に検証したので報告する。

2. 制御原理

<2.1>システム構成 Fig. 1 に直接電力制御法を用いた電流形 PWM コンバータのシステム構成を示す。本システムでは、検出した電源電圧 v_a, v_b, v_c と電源電流 i_a, i_b, i_c に絶対変換を施し、二相量 v_a, v_b および i_a, i_b を得る。これらの値を用いて、交流側の瞬時有効電力 P と瞬时无効電力 Q を(1)により算出する。

$$\begin{bmatrix} P \\ Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_a & v_b \\ v_b & -v_a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \end{bmatrix} \quad (1)$$

一方、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る。 P^* と P, Q^* と Q の偏差 DP, DQ はヒステリシス要素で二値化し量子化信号 S_p, S_q とする。また、電源電圧位相も 6 つの領域 n に量子化して検出する。 S_p, S_q および n の組み合わせに応じて PWM コンバータのスイッチングモード S_a, S_b, S_c をスイッチングテーブルで直接決定することにより P と Q のリレー制御を行う。ここで、各レグのスイッチング関数を以下のように定義する。

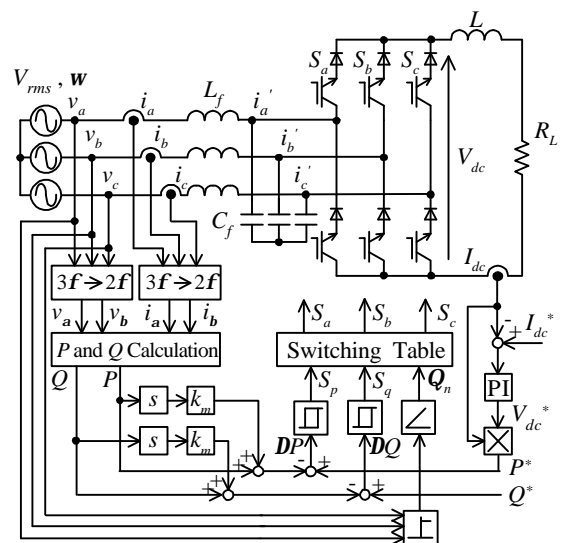


Fig. 1. Block diagram of direct-power-controlled current-source PWM converter.

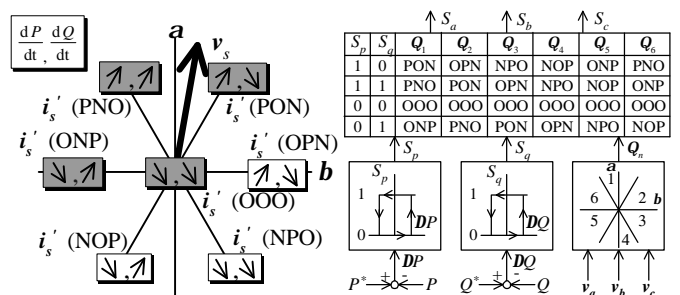


Fig. 2. dP/dt and dQ/dt in 1. Fig. 3. Switching table and regulators.

$S_{a,b,c} =$ P: 正側スイッチオン, 負側スイッチオフ
 O: 正側, 負側スイッチオン (またはオフ)
 N: 正側スイッチオフ, 負側スイッチオン

<2.2>スイッチングテーブルの構成法 まず, (2), (3)により各電源電圧位相領域 n における各スイッチングモードに対する有効, 無効電力の傾き $dP/dt, dQ/dt$ を算出する。

$$\frac{dP}{dt} = \sqrt{2}V_{rms} I_{dc} \{S_1(K_1 \cos \omega t - \omega K_2 \sin \omega t) + S_2(K_1 \sin \omega t + \omega K_2 \cos \omega t)\} \quad (2)$$

$$\frac{dQ}{dt} = \sqrt{2}V_{rms} I_{dc} \{S_1(K_2 \cos \omega t + \omega K_1 \sin \omega t) + S_2(\omega K_2 \sin \omega t - K_1 \cos \omega t)\} \quad (3)$$

$$\therefore S_1 = S_a - \frac{1}{2}S_b - \frac{1}{2}S_c, \quad S_2 = \sqrt{\frac{3}{2}}S_b - \sqrt{\frac{3}{2}}S_c$$

$$K_1 = \frac{1}{L_f C_f} \cos \frac{1}{\sqrt{L_f C_f}} t, \quad K_2 = -\frac{1}{\sqrt{L_f C_f}} \sin \frac{1}{\sqrt{L_f C_f}} t$$

Fig. 2 に例として領域 1 における計算結果を示す。この結果より操作量として最適なスイッチングモードを選択する。Fig. 3 に以上の手続きに基づいて構成された最適スイッチングテーブルと制御器を示す。

3. 実験結果

実験は電源電圧 100 (V), 入力フィルタ L_f : 2 (mH)および C_f : 40 (mF), 直流リアクトル 40 (mH)として行われた。Fig. 4 に直流バス電流指令値 3.5 (A), 無効電力指令値 0 (var), 負荷 270 (W)における電源電圧, 電源電流, PWM 電流波形を示す。無効電力が 0 (var)に制御されているため, 結果的に電源電流が電源電圧と同相となり, 力率 1 制御が達成されている。このときの総合入力力率は 99.5 (%)であった。また, 直流バス電流も指令値通りに一定制御されている。Fig. 5 に電源電流の FFT 解析結果を示す。高調波成分は広く分散しており, 突出した高調波成分は見られない。Fig. 6 に総合入力力率を, Fig. 7 に総合効率を示す。総合入力力率は最大で 99.5 (%), 総合効率は最大で 89.5 (%)となった。効率が全般的に低いのは電源電圧が低く, 各レグの直列素子数が多いことと直流リアクトルにおける銅損と鉄損が大きいためである。

4. まとめ

本稿では直接電力制御法による電流形 PWM コンバータの基本特性を実験的に検証した。これまで筆者らは, 電圧形コンバータの直接電力制御法について種々の検討をしてきたが, その双対である電流形コンバータにも直接電力制御法が適用できることを実機により確認した。今後は, 電源電圧をさらに高くして運転特性を検証し, 各種制御特性の改善を図る。

参考文献

[1] 佐藤 明・野口季彦: 「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, vol. 4, p.p. 38-39

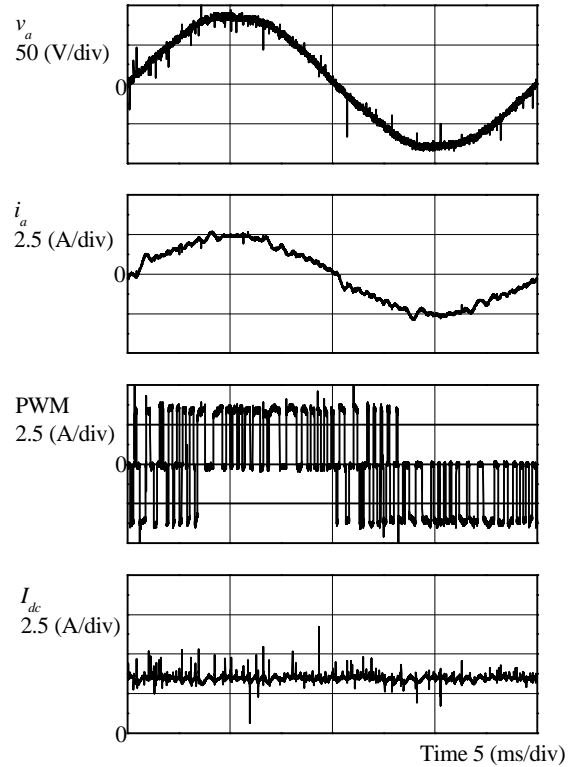


Fig. 4. Experimental results.

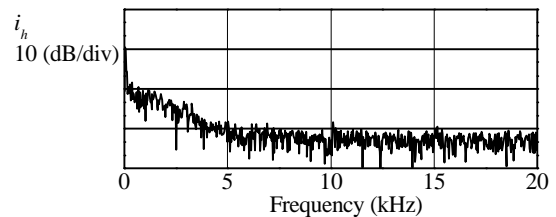


Fig. 5. Frequency spectra of power source current.

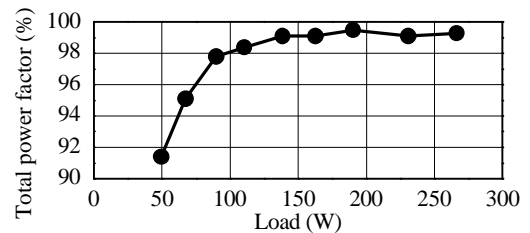


Fig. 6. Total power factor.

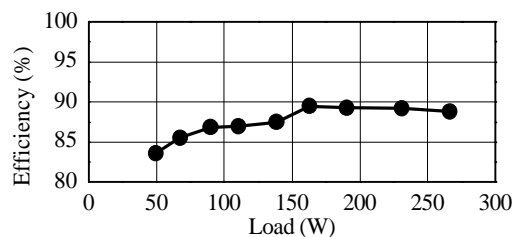


Fig. 7. Total efficiency.