

インダイレクトマトリックスコンバータの 軽負荷領域における運転特性改善法

久保田 洋平*, 野口 季彦 (静岡大学)

Operation Characteristics Improvement of Indirect Matrix Converter at Low-Load Range
Yohei Kubota, Toshihiko Noguchi (Shizuoka University)

1. まえがき

筆者らはこれまでに空調機器の電源高調波を改善することを目的とし、入力電流の総合歪率 (THD) を優先的に改善するインダイレクトマトリックスコンバータの制御法を検討するとともに、シミュレーションでその動作確認を行ってきた⁽¹⁾。本稿では実験検証により提案する進み電流補償法の効果を確認したので報告する。

2. 制御原理

<2・1> インダイレクトマトリックスコンバータの制御

図 1 および図 2 に主回路と制御ブロック図を示す。入力電流 i_r , i_s , i_t を電源電圧の位相情報を基に同期回転座標上で制御する。入力電流振幅指令値に相当する i_d^* は出力電力を入力電圧で除することにより求めることができる。

$$i_d^* = \frac{v_a^* i_a + v_b^* i_b}{\sqrt{v_a^{*2} + v_b^{*2}}} \quad (1)$$

入力力率 1 制御を行なうには i_q^* を 0 とする。dq 各軸の偏差を PI 制御器に入力することにより、マトリックスコンバータで作り出す電流指令値 j_α^* と j_β^* が得られ、空間ベクトル変調を行なう。出力側も電流 i_u , i_v , i_w を回転座標上で制御する。入力側の電流形整流器の電流経路を常に確保し、入力電流の高調波を抑制するために出力側では一相変調を行う。また、整流器側とインバータ側で位相を $\pi/2$ ずらした二相三角波キャリアを用いることにより、整流器側のゼロ電流出力モードとインバータ側のゼロ電圧出力モードの衝突を回避し、出力電流の歪を軽減する。マトリックスコンバータは出力の影響がそのまま入力側に反映されるため、結果的に入力電流歪の改善につながる。

<2・2> 進み電流補償法

マトリックスコンバータは入力フィルタによって発生する無効電流を含めて入力力率 1 制御を行なわなければならない。マトリックスコンバータが生成する電流ベクトルを I_{mc} 、フィルタにより発生する無効電流ベクトルを I_c 、入力電流ベクトルを I_s とする。これらの電流の間には、

$$I_s = I_{mc} + I_c \quad (2)$$

の関係がある。 I_c は次式で表すことができる。

$$I_c = \frac{V_s / \sqrt{3}}{j \left(\omega L_f - \frac{1}{\omega C_f} \right)} = \text{const.} \quad (3)$$

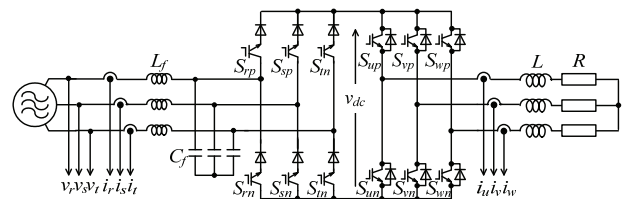


図 1 インダイレクトマトリックスコンバータ
Fig. 1. Indirect matrix converter.

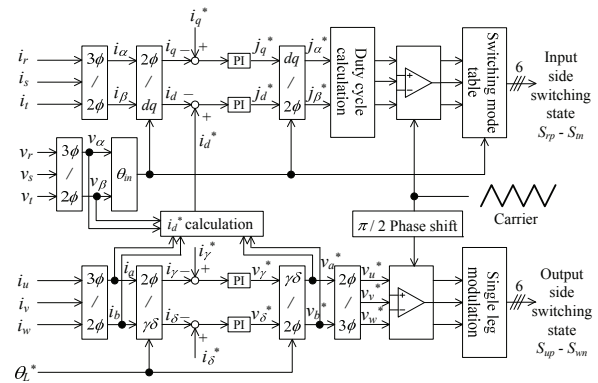
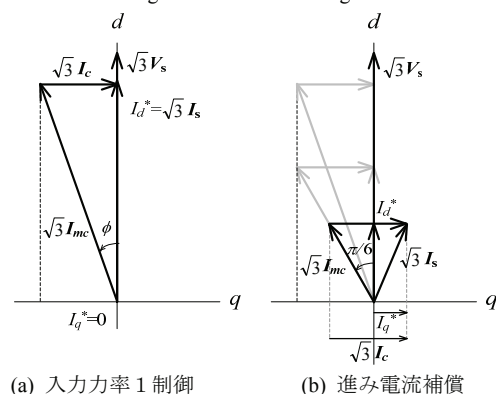


図 2 制御ブロック図
Fig. 2. Control block diagram.



(a) 入力力率 1 制御 (b) 進み電流補償

図 3 入力電流ベクトルの関係

Fig. 3. Relationship among input current vectors.

表 1 主回路の電気的パラメータ
Table 1. Electric parameters of power circuit.

Input Voltage	3 ϕ , 200 V, 60 Hz
Input LC Filter	$L_f = 1.2$ mH, $C_f = 20$ μ F
Load	$R = 12$ Ω , $L = 3.7$ mH
Output Frequency	40 Hz
Carrier Frequency	10 kHz

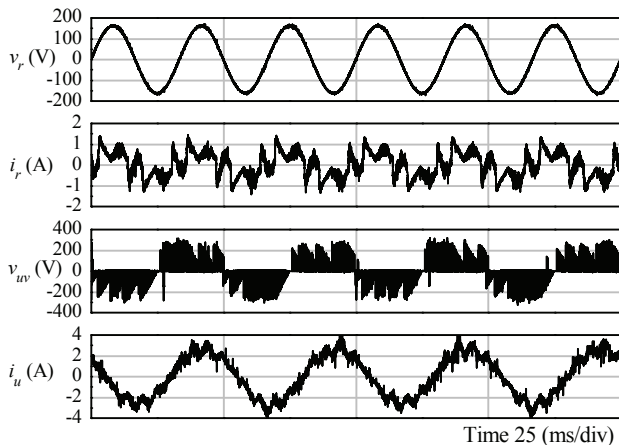


図 4 140 W 出力時の実験波形 (従来法)

Fig. 4. Experimental result at 140-W output (conventional).

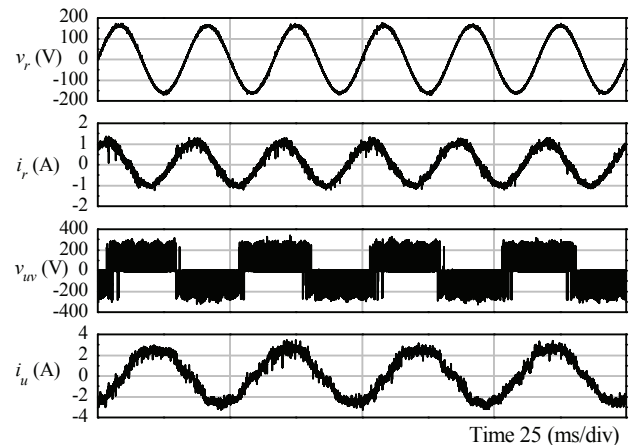


図 5 140 W 出力時の実験波形 (提案法)

Fig. 5. Experimental result at 140-W output (proposed).

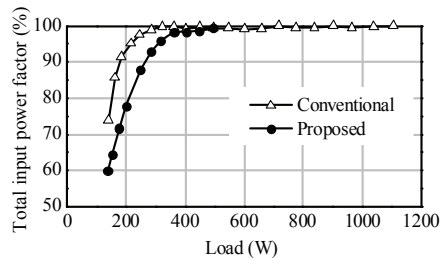


図 6 総合入力率

Fig. 6. Total input power factor.

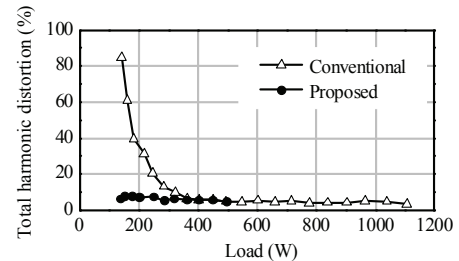


図 7 総合入力歪率

Fig. 7. Total harmonic distortion of input current.

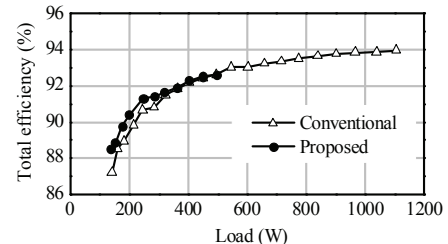


図 8 総合効率

Fig. 8. Total efficiency.

図 3(a)は各電流の関係を示したベクトル図である。この無効電流が原因となり、入力率 1 制御を行うと軽負荷時に直流バス電圧が負極性となる出力モードが選択される。インダイレクトマトリックスコンバータは実際に直流バスが存在するため負極性モードを出力できず入力電流が歪む。そこで、図 3(b)に示すように $\phi > \pi/6$ となる軽負荷領域では $\phi = \pi/6$ と制限をかけてこれを回避する。よって I_q^* は、

$$I_q^* = \begin{cases} 0 & \left(\phi \leq \frac{\pi}{6} \right) \\ \sqrt{3}I_c - \frac{1}{\sqrt{3}}I_d^* & \left(\phi > \frac{\pi}{6} \right) \end{cases} \quad (4)$$

と与え、重負荷時には入力率 1 制御、軽負荷時には進み電流補償を施す。

3. 実験検証

表 1 に示すパラメータを用い実験検証を行った。進み電流補償の適用条件となる負荷は 524 W 以下である。図 4 と図 5 から従来法と提案法の 140 W 出力時における実験結果を示す。補償を施さないと、基本波入力率は 1 に制御できるが、直流バスに負極性パルスを出すことができないため大きな歪が発生する。一方、補償を施すと基本波率は悪化するが高調波が大幅に減少している。図 6~8 に総合入力率、THD、総合効率の比較を示す。負荷 140 W 出力時において従来法の入力率は 73.8%、THD は 84.6% であるが、提案法では入力率 59.8% と 14 ポイントほど低下するもの

の、THD は 6.09% と劇的に改善される。効率は従来法が 87.3% に対し提案法では 88.6% と 1.3 ポイント改善した。これは、提案法では率を悪化させたことにより基本波の銅損は増加するが、それを上回って高調波により発生する銅損を大幅に抑制できた結果であると考えられる。

4. まとめ

本稿ではインダイレクトマトリックスコンバータの軽負荷領域において、進み電流補償を施して入力電流波形を改善する手法を検討した。実験では負荷 140 W 出力時に、入力率は 14 ポイントほど低下するものの、THD は 78 ポイント、効率は 1.3 ポイント改善できることを確認した。

文 献

- (1) 久保田・野口:「インダイレクトマトリックスコンバータの入力率と電源高調波改善法」, 半導体電力変換/モータドライブ合同研究会, SPC-11-111 (2011)