

交流直接変換器に適用する転流シーケンスの改善

学生員 小岩 一広* 正員 伊東 淳一*

Improvement of Commutation Sequence for AC-AC Direct Converter

Kazuhiro Koiwa*, Student Member, Jun-ichi Itoh*, Member

This paper discusses a commutation sequence in which the next switching interrupts the commutation. In order to avoid a commutation failure, it is necessary to prevent the simultaneous turning on or turning off of some switches. In particular, this simultaneous turning on or off occurs when four commutation patterns are interrupted during the same commutation period. Thus, the commutation patterns should be considered as the worst case. Improving the commutation sequence increases the efficiency by 1.6%.

キーワード : 交流直接変換器, マトリックスコンバータ, 転流

Keywords : AC-AC direct power converter, matrix converter, commutation

1. はじめに

近年, 交流から交流へ直接変換できるマトリックスコンバータ(以下, MC)の研究が盛んに行われている。MC は大容量の電解コンデンサを持たないため, 小型, 軽量化および長寿命が期待できる。しかし, MC などの交流直接変換器は電圧源を短絡および電流源を開放しないように転流する必要があり, 動作が複雑である。

交流直接変換器の転流方法は多数提案されており, 基本的な転流の動作を言及した論文は報告されている⁽¹⁾⁽²⁾。しかし, インバータのデッドタイムより複雑なシーケンスであるため, 転流期間中に次のスイッチングが割り込む可能性がある。つまり, A のスイッチから B のスイッチへの転流期間に, B のスイッチから C のスイッチへ切り替わるパターンが現れる。上述のパターンを想定していない場合, 電圧源短絡および電流源開放によりスナバ損失の増大やスイッチの破壊を招く恐れがある。したがって, 基本的な転流の動作だけでなく, 転流期間中に次のスイッチングが割り込んだ際に電圧源短絡および電流源開放しないような転流パターンも考慮する必要があるが, これまでこの現象を扱った文献は著者らの知る限りない。

本稿では, 転流中に生じる次のスイッチングの転流シーケンスに着目し, 転流失敗を回避する方法を提案する。その結果, 効率を 1.6% 改善したので報告する。

2. 転流の原理

(2.1) 転流の基本動作

図 1 に交流直接変換器である MC の回路を示す。MC の入

力側には電圧源が, 出力側には電流源が接続される。そのため, MC はフィルタキャパシタ C_f を短絡および負荷側の電流源を開放しないようスイッチングする必要がある。

図 2(a)に MC の単相分の等価回路を示す。本稿では, 電源電圧の大小関係を監視して転流する電圧転流を取り扱う⁽²⁾。つまり, 電源電圧の大きさによって最大相, 中間相および最小相に各スイッチを割り振り, 転流パターンを検討する。

図 2(b)に基本的な 4 ステップの転流パターンを示す。電圧転流は, 電源電圧の大小関係によってスイッチングする順序を切り替えることで, 電圧源を短絡および電流源を開放しないように転流する。しかし, MC は 1 キャリア周期中に 3 回または 4 回スイッチングするため, スwitch のオン時間が短い。その結果, 4 ステップの転流期間中に次のスイッチングが割り込む可能性がある。

(2.2) 転流期間中に次のスイッチングが割り込んだ場合

図 2(c)に転流期間中に次のスイッチングが割り込んだ際のスイッチングパターンを示す。転流中のスイッチングを考慮していない場合, 全スイッチオフとなり電流源が開放する可能性がある。また, 同タイミングで複数のスイッチが切り替わることで, スwitching 素子のターンオン時間(およびターンオフ時間)によっては電圧源の短絡または電流源の開放を招く。その結果, 過電圧または過電流が原因

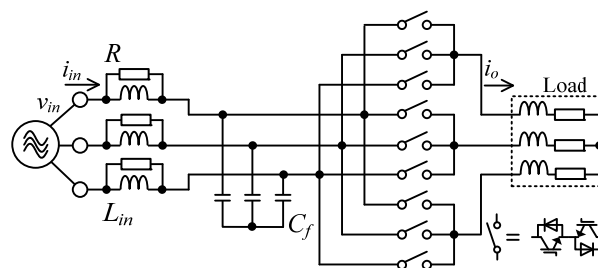


Fig. 1. Circuit configuration of the matrix converter.

* 長岡技術科学大学
〒940-2188 新潟県長岡市上富岡町 1603-1
Nagaoka University of Technology.
1603-1, Kamitomioka, Nagaoka 940-2188, Japan.

で、スイッチング素子が破壊する。

図 2(d)に転流中の次のスイッチングを考慮したスイッチングパターンを示す。S_{1A}と S_{2B} または S_{3B}, および S_{2A}と S_{3B}を同時にオンすると電圧源が短絡し, S_{1A}, S_{2A}, S_{3A}がすべてオフすると電流源が開放するため, どんなときも下記のパターンは避ける。

$$\begin{cases} \text{SHORT} : (S_{1A} \& S_{2B}) | (S_{1A} \& S_{3B}) | (S_{2A} \& S_{3B}) \\ \text{OPEN} : \neg[(S_{1A} | S_{2A} | S_{3A}) \& (S_{1B} | S_{2B} | S_{3B})] \end{cases} \dots\dots(1)$$

また, スwitchング時に一つのスイッチのみをスイッチングするように転流パターンを決定することで, 複数のスイッチの同時スイッチングを回避する。たとえば, 図 2(d)のようなスイッチングパターンの場合, 転流中の転流ステップ A では, 次のスイッチングが割り込む直前の転流パターンを参考に, S_{1B}, S_{2A}および S_{3A}をオン状態とする。次に, ステップ B では S_{1A}がオフ状態で電圧源が短絡することはないため, S_{2B}をオンする。最後にステップ C では, すでに S_{3A}がオン状態であり, 負荷電流の還流経路は確保されているため, S_{2A}をオフすることができる。特に, ワorstケースを想定すると, 1回の転流期間に4つの転流が割り込むが, 上記と同様なシーケンスで転流パターンを決める。

3. 実験結果

図 3(a)に転流改善前の MC の動作波形を示す。また, 1 kW の RL 負荷を用いた。なお, キャパシタ電流はロゴスキーコイルを用いて測定した。従来の転流中の転流を考慮しない転流方式では, キャパシタ電流および出力電圧にサージ電流およびサージ電圧が発生している。これは, 転流中に発生した次のスイッチングにより全スイッチがオフまたは複数のスイッチが同時に切り替わることで負荷電流の還流経路がなくなるためである。

図 3(b)に転流改善後の MC の動作波形を示す。結果より, 転流失敗による過電圧なしに MC が動作していることを確認できる。しかし, サージ電流が電源電圧の大小切り替わり時に発生している。これは, 監視している電圧の誤差により電圧源が短絡するパターンになっているためである。上記の原因による過電流を防止するためには, 電圧転流と電流転流を組み合わせた複合転流を採用する方法がある⁽²⁾。

図 4 に MC の効率特性を示す。なお, 図には転流中の転流を考慮する前後の効率特性をそれぞれ示した。結果より, 改善前と比較して転流改善後の効率は定格電力時に 1.6%向上している。これは, 転流中の転流を考慮したことにより, 転流失敗によるスナバ損失や導通損失の増加を抑制しているためである。したがって, MC 本来の性能を得るためには基本の 4 ステップの転流パターンだけでなく, 転流中に次のスイッチングが割り込んだ際, 前後の転流遷移状態を参考に, 転流パターンを決定することが重要である。

4. まとめ

本稿では, 転流中の次のスイッチングを考慮することで,

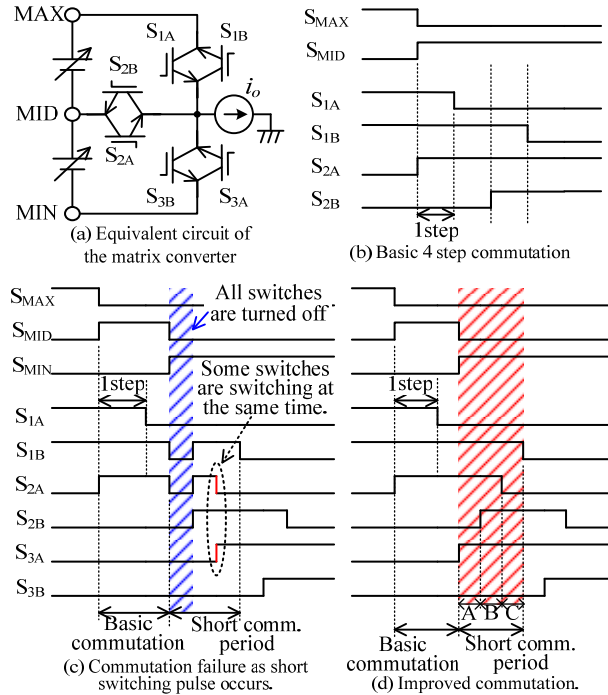


Fig. 2. Commutation patterns for a matrix converter.

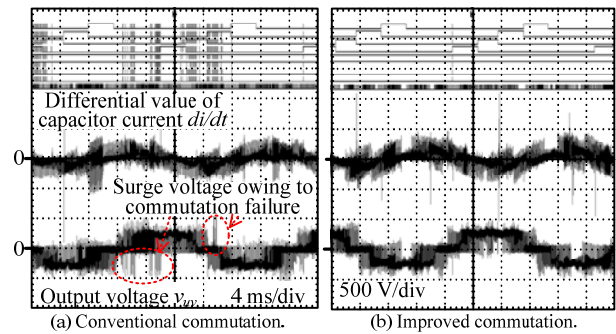


Fig. 3. Operation waveforms of the matrix converter.

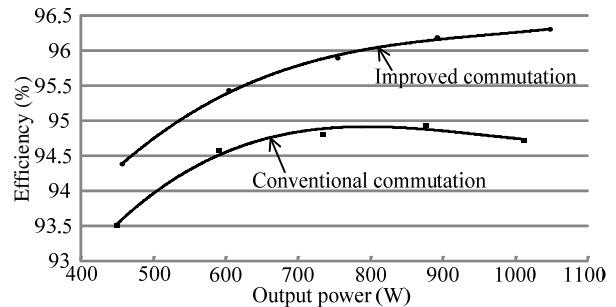


Fig. 4. Efficiency comparison between the conventional and improved commutation.

効率の改善や素子破壊を防止できることを明らかにした。今後は, 転流中の転流により発生する転流誤差を検討する。(平成●●年●月●日受付, 平成●●年●月●日再受付)

文 献

- (1) L. Empringham, P. Wheeler, J. Clare: "Power Density Improvement and Robust Commutation for a 100 kW Si-SiC Matrix Converter", EPE2009, pp. 1-8 (2009)
- (2) 加藤・伊東: 「MC の転流失敗を激減する新しい転流方式の開発」, 電学論 D, Vol.127 No.8 pp.829-836 (2007)