

電流不連続モードを使った 一石三相高力率整流回路の一方式

Single Switch Three-phase Power Factor Correction Circuit with Discontinuous Current Mode

芦田 樹*, 伊東 淳一, (長岡技術科学大学)

Itsuki Ashida, Jun-ichi Itoh, (Nagaoka University of Technology)

1. はじめに

近年, 入力電流の高調波規制のため, 波形改善形整流器は様々な方式が提案されている⁽¹⁾⁻⁽³⁾. 最も一般的なブリッジ型 PWM コンバータ, スイッチ数が少なく, 最も回路構成が簡単な, 1 石型昇圧形三相コンバータ等がある。しかし, 航空機用電源などの, 周波数が 400~800Hz の高周波電源において, 電流をフィードバック制御する方式では高速応答が必要のため, 高調波を低減することは困難である。一方, 不連続モード形三相整流器では制御が電源周波数に依存しないため, このような高周波に適すると思われる。

本論文では, 電流不連続モードを使った一石三相高力率整流回路の一方式を提案する。この回路は, 使用するスイッチ素子が 1 個で, 比較的簡単に入力電流を正弦波とすることができる。そのうえ, 従来の 1 石昇圧形三相コンバータに比べ, 入力電圧に対する出力電圧の制約が大幅に改善されている。また, 提案回路では三相トランスを使用するが, 電源が高周波の場合, 商用電源に比べてトランスを小型化できる。

2. 動作原理

図 1 に, 提案する一石型直列チョップパ回路形三相整流器を示す。電源を三相トランスに接続し, トランスの二次側にダイオードブリッジ, IGBT1 個を用いて, スイッチングのタイミングが三相同時の双方向スイッチを構成する。以下に回路動作について説明する。

図 2 はスイッチオン時とオフ時の等価回路を示している。スイッチがオンの時には, 図 2(a) に示す電流経路となり, 電源からトランスを介してリアクトルにエネルギーが供給される。

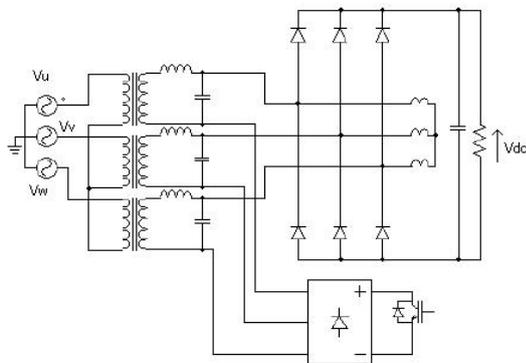
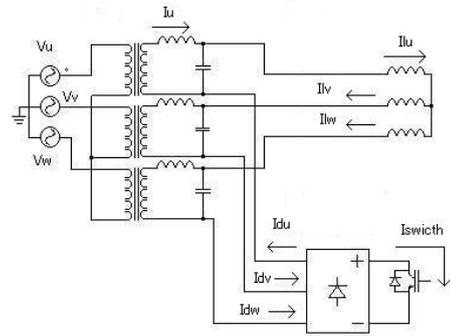
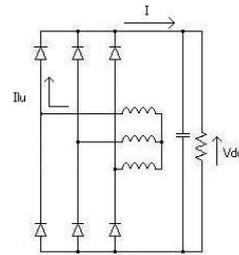


Fig.1 Proposed circuit with single switch.



(a) Equivalent circuit in case of Switch-on



(b) Equivalent circuit in case of Switch-off

Fig.2 Circuit operation.

スイッチオフ時には図 2(b) の電流経路となり, 電源を介さずにリアクトルから負荷にエネルギーが供給される。このため, 入力電流に直流電圧 V_{dc} が影響を与えない。よって入力電流は入力電圧に比例し正弦波となる。

フィルタのコンデンサは, スナバの役割もかねており, このコンデンサによって, 配線のインダクタンスにより発生するサージを吸収する。

提案回路は不連続モードで動作する。不連続モードはスイッチング周期内にリアクトル電流が零にならなければならないため, スイッチングのオンデューティの最大値に制限がある。提案回路の動作は, スイッチが 1 個である以外は, 直列チョップパ回路形三相コンバータ⁽¹⁾と同様である。このため, 最大デューティ比も直列チョップパ回路形三相コンバータと同様に以下の式より求められる。

$$D \leq \frac{V_{dc}}{V_{dc} + \sqrt{6}V_u} \quad (1)$$

また, 入力電力も直列チョップパ回路形三相コンバータ⁽¹⁾と同様に以下の式で求められる。

$$P_{in} = \frac{3V_u^2 D^2}{2Lf_s} = \frac{3V_u^2 T_{on}^2 f_s}{2L} \quad (2)$$

この式からわかるように、入力電力はデューティ比の二乗に比例し、スイッチング周波数 f_s に反比例する。

提案回路では、直流電圧のみを検出し、PI 調節器により直流電圧指令値と一致するようにデューティ比制御を行う。電流制御ループを必要としないため、電源周波数に影響されずに制御を行うことができる。

3. 実験結果

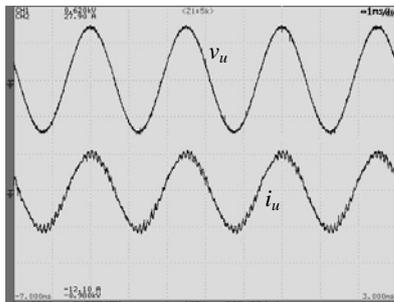
表 1 に実験条件を示す。提案回路は不連続形コンバータであるため、装置容量は比較的小容量を想定している。

図 2 の実験結果から入力電流波形は、入力電圧と位相が合った良好な正弦波になっている。また、リアクトル電流より、不連続モードで動作していることが確認できた。

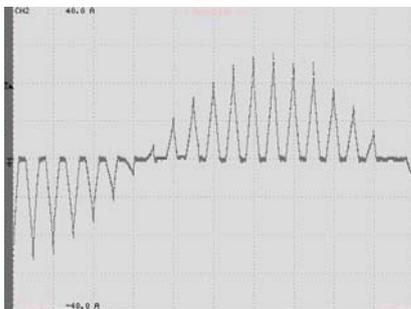
図 3 に示すように 1kW 出力で、効率 89.6%、力率 99% が得られた。提案回路では、リアクトルに全エネルギーを注入すること、三相トランスを用いていることから、他の回路方式に比べ効率がやや低下する。

Table1 Parameter of experiment circuit

Switching frequency	10kHz
Input line voltage	200V
Line frequency	400Hz
Reted voltage	350V
Reted current	2.86A
Output power	1kW
Pressure up reactor	0.616%
Input filter reactor	0.5mH
Input filter condenser	3.3 μ F



(a) Input voltage and current (200V/div, 5A/div, 1ms/div)



(b) Waveform of reactor current i_u (10A/div, 200 μ s/div)

Fig.2 Experimental results.

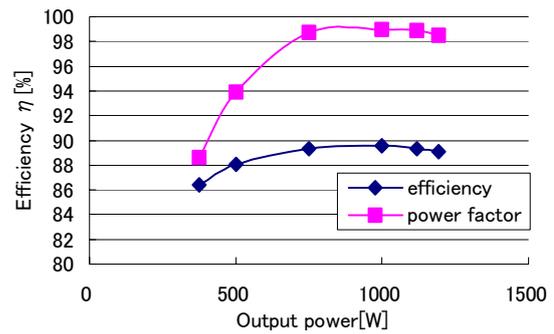


Fig.3 Efficiency and input power factor

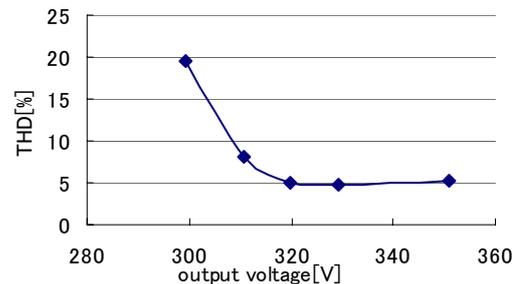


Fig.4 Relation between output voltage and THD

図 4 のように電流ひずみ率は 320V 以上で約 5%であった。従来の一石昇圧形三相コンバータでは、ひずみを低減するために出力電圧を入力電圧に対して 2~3 倍にしなければならない。これは出力電圧が入力電圧に対して小さい場合、入力電流が入力電圧に比例しないためである。しかし、提案回路では、この出力電圧の制約を大幅に改善していることが確認できる。320V 以下でひずみが大幅に増加する原因は、入力フィルタによる電圧リップルにより平滑コンデンサに突入電流が流れるためである。

4. まとめ

本論文では、直列チョップ回路形三相コンバータのスイッチタイミングが3個同時であることから、一石型直列チョップ回路形三相整流器を提案した。この提案回路は高周波でも電圧制御ができることを示した。実験では1kW出力で、効率89.6%、力率99%、ひずみ率約5%が得られた。今後の課題としては、ターンオフ時のスイッチングロスを抑えるために、ソフトスイッチングの導入、また、入力フィルタのコンデンサがスナバをかねているため、フィルタの最適化があげられる。

文献

- (1) 伊東・藤田：「三相直列チョップを用いた三相コンバータ」電学論D, 119巻5号, (平成11)
- (2) 中野・佐藤・難波江：「フィードバック制御を行わない一石型昇圧整流回路の入力電流波形改善効果」, 電学論D, 116巻6号, (平成7)
- (3) 五十嵐・高橋：「スイッチ素子1個の単層スイッチング電源入力電流波形改善」, 電学論D, 117巻8号, (平成9)