

# 3次高調波注入方式の2石形による3相高力率整流回路の簡単化

学生員 芦田 樹\* 正員 伊東 淳一 (長岡技術科学大学)

The Simple Third Harmonic Current Injection Circuit for Three-Phase Diode Rectifier  
with Third Harmonic current Injection Circuit  
Itsuki Ashida\*, Student Member, Jun-ichi Itoh, Member (Nagaoka University of Technology)

A simple third-harmonic current generation circuit with three-phase diode-bridge rectifier is presented in this paper. The proposed circuit generates third harmonic current using only two switches. The valid of the proposed circuit is confirmed with simulations. As a result, the input current waveform is almost sinusoidal waveforms and the T.H.D. of 8.1% is obtained for the input current.

キーワード : 3次高調波電流注入, 3相ダイオード整流器, 高力率, 入力電流高調波

Keywords : Third harmonic current injection, Three-phase diode rectifier, High power factor, Input current harmonic

## 1. はじめに

航空機用電源は、電源周波数が400Hzの高周波電源である。また、航空機内の機器の誤動作を防ぐため、厳しい高調波規制が行われている。高調波対策として一般的なPWM整流器や、アクティブフィルタは、フィードバック制御が必要なため、これらの用途に適さない。一方、ダイオードブリッジの直流部から3次高調波電流を、入力部に注入し、入力電流ひずみ率を改善する方法が注目されている。

直流部の3次高調波発生回路として、ミネソタ整流器など様々な回路<sup>(1)</sup>が提案されている。また、直流部で発生させた高調波電流を入力側に注入する回路についてはトランスや、共振フィルタ、双方向スイッチなどを用いた回路が提案されている<sup>(2)</sup>。

本論文では、スイッチ2個を用いた簡単な構成の3次高調波注入方式の3相高力率整流器を提案する。この回路は、2つのスイッチによる簡単な制御で高調波電流を注入できる上、ミネソタ方式より高い効率が望める。

## 2. 動作原理

### 〈2.1〉 3次高調波注入法

図1に3次高調波注入法の回路図、各電流波形を示す。三相ダイオードブリッジ整流器では出力電流 $i_d$ を一定とした場合、入力電流は $120^\circ$ 導通の方形波となる。3次高調波注入法では、(1)式で表せる3次高調波電流 $i_3$ を直流部から注入することにより、入力電流を正弦波化する。

$$i_3 = -ki_d \sin(3\omega t) \quad (0 \leq k \leq 1) \quad (1)$$

このとき、ダイオードブリッジ整流器から流れる電流 $i_p$ は、 $i_d$ に $i_3$ を加算した波形となる。 $i_a$ は $i_d+i_3$ となるが、ダイオード整流器があるため、図1に示したように $120^\circ$ 期間しか導通しない。この電流をフーリエ級数展開すると、(2)式となり、 $120^\circ$ 導通の方形波に比べ、5次7次成分が減少し、3

次成分が増大する。

$$i_a = \frac{\sqrt{3}i_d}{\pi} \left( 2 + \frac{k}{4} \right) \sin \omega t - \frac{2}{3}ki_d \sin 3\omega t - \frac{\sqrt{3}i_d}{\pi} \left( \frac{2}{5} - \frac{5k}{8} \right) \sin 5\omega t - \frac{\sqrt{3}i_d}{\pi} \left( \frac{2}{7} - \frac{7k}{20} \right) \sin 7\omega t + \dots \quad (2)$$

そこで、 $i_a$ に $2/3i_3$ を加算すると、突出した3次高調波成分が消え、入力電流 $i_u$ は正弦波状になる。ゆえに、(2)式から、入力電流 $i_u$ のひずみ率を計算し、 $k$ の最適値を求めると $k=3/4$ となる。しかし図1に示すように、入力電流は完全な正弦波にはならない。そこで、3次高調波注入法と同様な原理で、最適高調波注入法<sup>(3)</sup>が提案されている。この方法では、最適高調波を計算より求め、制御を行い、それを入力部に注入することにより、入力電流の完全正弦波化を行う。

### 〈2.1〉 提案回路

図2に提案回路を示す。提案回路では、ダイオードブリッジ直流部の二つのスイッチ $S_1$ 、 $S_2$ と、その中点に接続されているリアクトル $L_1$ によって高調波電流を発生させる。 $S_1$ がオン、 $S_2$ がオフの場合、 $L_1$ には、P点とM点の間の電位差が印加され、リアクトル電流 $i_l$ は、直流部から、入力側

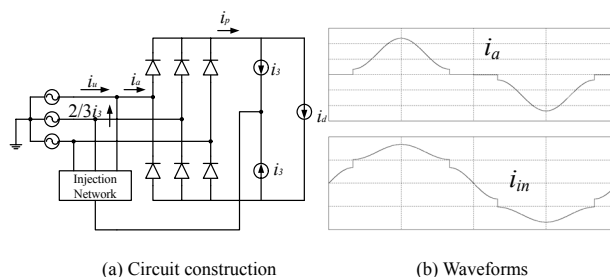


図1 三次高調波注入法

Fig.1. Circuit construction of third harmonic injection

に流れる方向に増加する。逆に  $S_1$  がオフ、 $S_2$  がオンの場合、入力部から、直流部に流れる方向に電流が増加する。これにより、 $i_i$  は図3の制御ブロック図により簡単に制御できる。また、スイッチに流れる電流は  $i_i$  を切り刻んだ短冊状の電流となるが、 $L_f$  と  $C_f$  の LC フィルタにより  $i_s$  はスイッチング周波数成分を取り除かれる。このようにして高調波電流に制御された  $i_i$  は、 $\Delta/Y$  接続のトランスにより均等に各相へ分割され、入力側に注入される。なお、提案回路の注入用トランスおよび  $L_d$  は、高周波電源では商用電源に比べ小型化できる。

図3(a)に電流指令の作成方法を、図3(b)に電流制御ブロック図を示す。注入する電流指令はゼロ相分であり、電流指令の三相包絡線から電流指令を生成する。本方式ではゼロ相電流のみしか制御しない。

提案回路をミネソタ整流器と比較すると、以下の特徴が挙げられる。

1. リアクトルに流れる電流が約半分であり、交流リアクトルでよい。
2. 直流側にダイオードが無いため、効率がよい。
3. 電流センサが一つでよい。

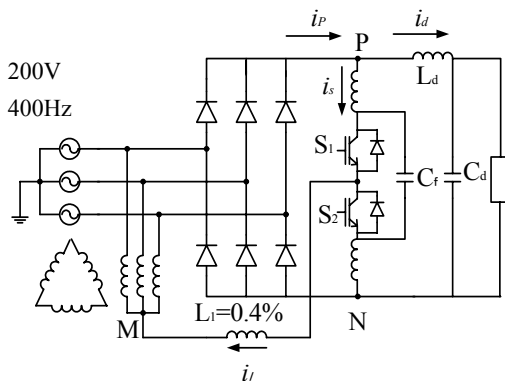
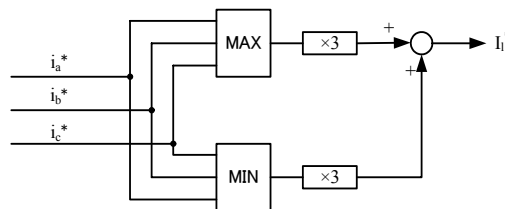
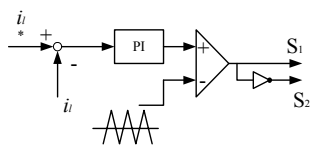


図2 回路構成

Fig.2. Circuit construction.



(a) Calculation method in current command.



(b) Current controller.

図3 制御ブロック図

Fig.3. Control block diagram.

### 3. シミュレーション結果

図4に1kVA出力、 $L_1=0.4\%$ 、スイッチング周波数20kHz、フィルタのカットオフ周波数6.5kHz、最適高調波注入方を用いたときの入力電圧、入力電流、リアクトル電流、出力電圧、入力電流の高調波解析結果を示す。

このシミュレーション結果より、入力電流がほぼ力率1の正弦波状になっていることが確認できる。また、このときの入力電流  $i_{in}$  のひずみ率は5.3%となった。この電流ひずみ率の悪化原因として、フィルタによる位相のずれがある。

### 4. まとめ

本論文では、高周波電源用の簡単な構成の3相ダイオードブリッジ整流器用3次高調波発生回路を提案し、シミュレーションにより、入力電流波形が改善できることを明らかにした。今後は、フィルタの最適化、および、実機による検証を行っていく予定である。

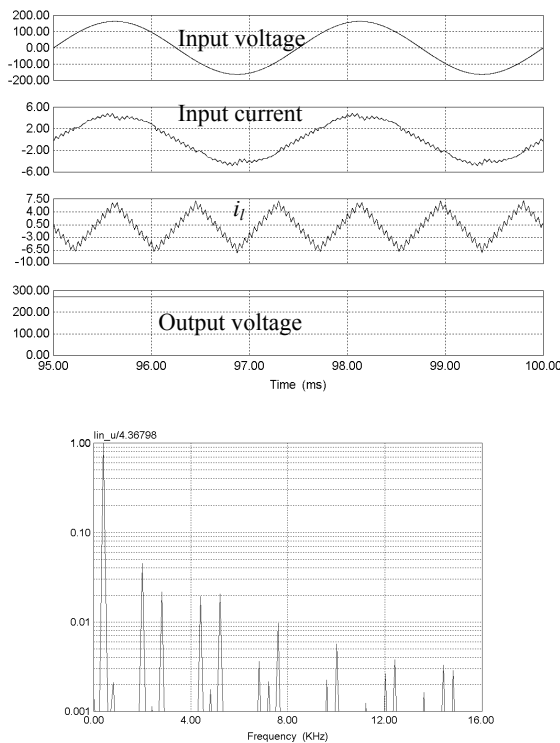


図4 シミュレーション波形  
Fig.4. Simulated waveforms.

## 文 献

- (1) Naik,R, Rastogi,M, Mohan,N: "Third-harmonic modulated power electronics interface with three-phase utility to provide a regulated DC output and to minimize line-current harmonics", Industry Applications,IEEE Transactions, Volume 31, Issue 3 Page(s):598 – 602 (1995)
- (2) Predrag Pejovic;"Two Three-Phase High POWER Factor Rectifiers that Apply the Third Harmonic Current Injection and Passive resistance Emulation", IEEE Transactions on Power Electronics, Volume 15, No.15; Page(s):1228 – 1240 (2000)
- (3) Y. Nishida; "A New Simple Topology for Three-Phase Buck-Mode PFC Rectifier", Proc. IEEE APEC, Page(s):531 – 537 (1996)