高周波駆動正弦波コンバータの設計法

学生員 池 上 延 宏 (東京工芸大学)

学生員 荒 井 聖 (東京工芸大学)

正 員 中 野 博 民 (東京工芸大学)

正 員 難 波 江 章 (東京工芸大学)

Design of High Frequency Driven Converter with Sinusoidal Input Current

Nobuhiro Ikegami, Student Member, Sei Arai, Student Member,
Hirotami Nakano, Member, Akira Nabae, Member
(Tokyo Institute of Polytechnics)

キーワード：波形改善、高周波駆動、コンデンサ分割方式、小型軽量化

1. はじめに

先に、回路構成が簡単で制御が容易な新規な正弦波コンバータが提案された。そして、その正弦波コンバータを用いることにより、高い入力力率が得られるだけでなく、入力電流波形が効果的に改善されることが明らかとなった⁽¹⁾⁽²⁾。

しかしながら、その正弦波コンバータの設計方法は、未だ明確化されていない。

そこで、本論文では、その設計法を示すと共に、高周波化により提案の正弦波コンバータの小型軽量化を達成する。

2. 基本原理

(上図において $L = L_1 = L_2$ 、 $C = C_1 = C_2$)

図1 回路構成

Fig.1. Proposed circuit configuration.

図1に本装置の回路構成を示す。本装置は電源電圧をコンデンサで分圧し、系統に直列に接続したリアクトルと直流出力側に接続した2つのスイッチング素子で構成される。またスイッチング素子にMOSFETを用い、電源周波数に比べ遥かに高い周波数で交互にオン、オフを繰り返

す。本装置の出力直流電流理論式は(1)式となる⁽³⁾。ただし、電源電圧を $e_s = E_s \sin \theta(t)$ 、出力直流電圧を E_d 、昇圧比を $\alpha = E_d / E_s$ 、 T_{sw} をスイッチング周期とする。

$$I_d = \frac{E_s T_{sw}}{4\pi L} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{\sin^2 \theta}{2\alpha - \sin \theta} d\theta \quad \dots (1)$$

3. LC設計法

本装置の系統に直列に接続したリアクトル L_1 、 L_2 と電源電圧を分圧する分割コンデンサ C_1 、 C_2 は図2に示す手順で設計する。リアクトル L_1 、 L_2 のインダクタンスは負荷の電圧及び電流を決め、スイッチング素子の性能と効率の兼ね合いからスイッチング周波数 f_{sw} を決定することによって(2)式より設計する。

$$L = \frac{T_{sw} E_d}{4\pi I_d \alpha} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{\sin^2 \theta}{2\alpha - \sin \theta} d\theta \quad \dots (2)$$

(2)式の積分式は昇圧比 α の関数となるので(3)式のように置き換えることができる。

$$L = \frac{T_{sw}}{4\pi} \frac{E_d}{I_d} G(\alpha) \quad \dots (3)$$

従って、(3)式よりスイッチング周波数を高くする程リアクトルを小型軽量化できる。また、 $G(\alpha)$ は(4)式のように、図3に示すように非線形関数である。

$$G(\alpha) = -\left(\pi + \frac{1}{\alpha}\right) + \frac{8\alpha}{\sqrt{4\alpha^2 - 1}} \left\{ \tan^{-1} \frac{-1+2\alpha}{\sqrt{4\alpha^2 - 1}} - \tan^{-1} \frac{-1}{\sqrt{4\alpha^2 - 1}} \right\} \dots (4)$$

図2 設計法
Fig.2. Design.

図3 $G(\alpha)$ - α 特性
Fig.3. Characteristic of $G(\alpha)$.

図4 分割コンデンサ電圧波形
Fig.4. Capacitor voltage waveform.

また、分割コンデンサ C_1 、 C_2 のキャパシタンスは、(5)式より設計する。但し、(5)式の n はコンデンサの両端の電圧 V_c とコンデンサの充放電によるリップル分電圧 ΔV_c との比 $V_c / \Delta V_c$ を示す。

$$C = \frac{T_{sw}^2}{4L} \left\{ \frac{1}{\cos^{-1} \left(1 - \frac{1}{n} \right)} \right\}^2 \dots (5)$$

以上の設計法に基づき、回路の設計例を示す。

まず、電源電圧を $e_s = 100\sqrt{2} \sin \theta(t)$ [V] とし、負荷の直流出力電圧 $E_d = 150$ [V]、出力直流電流 $I_d = 0.6$ [A] とする。また、スイッチング周波数を 100 [kHz] とすると(3)式よりリアクトルのインダクタンスは $L_1 = L_2 = 120$ [μ H]

となる。そしてコンデンサのキャパシタンスは、リップル分電圧 ΔV_c を分割コンデンサの両端の電圧の最大値の20%となるように $n = V_c / \Delta V_c$ を5に設定すると、(5)式より $C_1 = C_2 = 0.4$ [μ F] となる。設計したこれらの回路定数により測定した電源電圧と分割コンデンサ電圧波形を図4に示す。図より設計どりの結果を得ている。

このように、LCの値を簡単に設計できる。

4. おわりに

先に発表された回路構成が簡単で制御が容易な新規な整流回路において、明確な設計法を示した。また、高周波駆動することにより回路が小型化できることを示した。

(平成6年2月25日受付)

文 献

- (1) 荒井 聖・中野博民・難波江章：「正弦波コンバータ」、平成5年電気学会産業応用全国大会、pp. 407~410
- (2) 荒井 聖・中野博民・難波江章：「新しい単相入力電流正弦波整流回路の解析」、電気学会半導体電力変換研究会資料、SPC-93-67, 71 (平成5年10月)
- (3) 池上延宏・荒井 聖・中野博民・難波江章：「高周波駆動正弦波コンバータ」、SPC-94-17 (平成6年1月)

池上 延宏 (学生員)

昭和45年4月7日生。平成元年3月長野県立赤穂高等学校卒業。同2年東京工芸大学工学部電子工学科入学。現在に至る。

荒井 聖 (学生員)

昭和43年12月24日生。平成4年3月東京工芸大学工学部電子工学科卒業。同年4月同大学院工学研究科電子工学専攻修士課程入学。現在に至る。

中野 博民 (正員)

昭和32年7月31日生。同55年3月長岡技術科学大学電子機器工学課程卒業。同57年3月同大学院工学研究科修士課程修了。同62年3月名古屋大学大学院工学研究科博士課程修了。平成5年東京工芸大学助手。工学博士。半導体電力変換器の研究に従事。

難波江 章 (正員)

大正13年9月13日生。昭和22年9月東京大学電気工学科卒業。同26年9月(株)東芝入社。同58年4月長岡技術科学大学教授。平成2年東京工芸大学教授。工学博士。
IEEE Fellow. 昭和60年、平成3年電気学会論文賞。'91 IEEE-IAS Tr.Paper Award. 平成5年電気学会業績賞。