パルス面積変調を応用した 単相昇圧形 DCM コンバータの入力電流波形改善法

正員 茂木 進一 (東京電機大学)

学生員 中嶋 理絵 (東京電機大学)

正員 前田 明志 (東京電機大学)

An Improving Method of Input Current Waveform on
Single-phase DCM Boost Converter applying Pulse-Space-Modulation
Shin-ichi Motegi, Member, Rie Nakajima, Student Member and Akeshi Maeda, Member
(Tokyo Denki University)

キーワード：単相昇圧形, 電流断続方式, 入力電流波形改善, パルス面積変調

1. まえがき

近年、電流断続モード(DCM)で動作する単相一石式昇圧形整流器は主回路や制御方式が簡単等の特長から広く検討されている⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾。しかし、昇圧比が小さい領域では入力電流の歪みが大きくなる難点がある。これに対して、PWMを用いて Duty 比を変化させる方法⁽¹⁾⁽²⁾や、直流インダクタ電流のピーク値を制御する方法⁽³⁾等が提案されているが、制御がやや複雑になる。

そこで、本稿では、筆者らが先に提案したパルス面積変調⁽⁴⁾を応用した入力電流波形の一改善法を提案する。本提案に依れば、インダクタ電流の検出を必要とするものの、歪みのない入力電流波形を得ることが可能となる。

2. 主回路構成

図1に、単相昇圧形高力率コンバータを示す。本主回路は単相電源 v_s 、単相ダイオードブリッジ($D_1 \sim D_4$)、高調波フィルタ(L_F , C_F)、直流インダクタ L_d 、昇圧用スイッチ SW_S 、昇圧ダイオード D_O 、直流フィルタキャパシタ C_O 及び直流負荷抵抗 R_O により構成されている。

図1 単相昇圧形高力率コンバータ
Fig.1. Single-phase high-power-factor converter with boost operation.

3. 制御・変調原理

本提案入力電流波形の改善法では、先に筆者らが提案したパルス面積変調を応用した制御・変調法を採用している。以下では紙面の都合上、制御・変調原理の詳細と式①の導出は割愛し、同制御式、図2のモデル波形及び図3に示す制御・変調器の構成と動作について簡単に紹介する。

図2のモデル波形は、電流検出器を介して検出した直流インダクタ電流 i_L 、同期正弦波発振器(OSC.)より得た単相電源電圧 v_s と同相の入力電流指令値 i_s^* の絶対値 i_b^* 及びスイッチ SW_S のスイッチングパルス v_{GS} をあるスイッチング周期において拡大した波形である。本提案制御・変調法では、あるスイッチング周期に於ける直流インダクタ電流 i_L の ON 期間面積 $S_{ON(K)}$ 、OFF 期間面積 $S_{OFF(K)}$ 及び入力電流指令値 i_s^* の絶対値 i_b^* の面積指令値 $S(K)$ から式①に従って次スイッチング周期の ON 期間面積指令値 $S_{ON(K+1)}$ を演算する。

$$S_{ON(K+1)}^* = \frac{1}{2} (S(K)^* + S_{ON(K)} - S_{OFF(K)}) \quad \text{--- ①}$$

図2 モデル波形
Fig.2. Model waveforms.

尚、式①を実現させる本提案制御・変調器のブロック図を図3に示す。同図に示すように比較的簡単な構成で入力電流の正弦波化が可能となる。

4. 実験結果

第3章で紹介した制御式の妥当性を確認するため、図1の主回路に図3の制御・変調器を適用して実験を行った。この時の主回路定数及び主な測定結果を表1、表2のそれぞれに示す。

図4(a)は従来の制御法(Duty一定)、同図(b)は本提案制御法を適用した場合である。従来の制御法の場合は図4(a)に示す様に入力電流は大きく歪んでいる。この時の入力電流歪み率 $THDi$ は 22.6 [%](1[kHz]以内の周波数成分で計測)、総合力率 TPF は 97.1[%](20[kHz]以内の周波数成分で計測)、であった。一方、図4(b)に示す様に本提案制御法を施すことで入力電流の正弦波化が達成され、この時の $THDi$ は 3.4[%](1[kHz]以内の周波数成分で計測)、 TPF は 99.7[%](20[kHz]以内の周波数成分で計測)、と従来法の場合に比べ大きく改善されている。

尚、表2に示すように変換効率 η は本提案制御法を施すことによって低下しなかった。

5. まとめ

本稿では、パルス面積変調を応用した単相昇圧形 DCM コンバータの入力電流制御法を提案し、実験結果から入力電流の波形改善効果を確認した。本提案法は直流インダクタ電流の検出を必要とするが、入力電圧の歪みや出力電圧の脈動の如何にかかわらず、入力電流の正弦波化をはかることが出来る。故に、低歪み率の入力電流が要求される用途には有用であると考えられる。

(平成 10 年 11 月 27 日受付, 平成 11 年 2 月 10 日再受付)

図3 提案制御・変調器
Fig.3. Proposed controller/modulator.

表1 主回路定数
Table1. Constants and ratings of power circuit.

直流インダクタ	L_d	80.5 [μ H]
高調波フィルタ	L_F	0.6 [mH]
	C_F	9.4 [μ F]
直流キャパシタ	C_o	2200 [μ F]
自励スイッチ	SWs : IGBT	600[V], 50[A]
高速ダイオード	D_o : FRD	600[V], 50[A]
変調(キャリア)周波数	f_{CAR}	10[kHz]

表2 主要測定結果
Table 2. Major measurement data.

測定項目		従来法	提案制御法
電源電圧実効値	V_s [V _{RMS}]	100.0	100.0
入力電流	I_s [A _{RMS}]	18.1	17.6
	総合歪み率* $THDi$ [%]	22.6	3.4
入力電力	P_s [kW]	1.75	1.76
総合入力力率**	TPF [%]	97.1	99.7
出力電圧平均値	V_o [V _{AVG}]	200.1	200.0
出力電流平均値	I_o [A _{AVG}]	4.4	4.4
出力電力	P_o [kW]	1.61	1.60
変換効率	η [%]	92.1	91.8

*: 1[kHz]以内の周波数成分で計測

**: 20[kHz]以内の周波数成分で計測

(a)従来法 (b)提案制御法
電源電圧 V_s : 振幅小 100[V/div], 入力電流 i_s : 振幅大 10[A/div],
時間軸: 2[msec/div]

図4 実験波形
Fig.4. Experimental waveforms.

文献

- (1) 篠原, 鳥井, 植田: 「単相昇圧形高力率コンバータの出力特性の解析」 電学資研, SPC-96-59, pp.61-70(1996)
- (2) 谷口, 仲谷: 「高力率昇圧形 DCM コンバータの特性解析と入力電流波形の改善法」 電学資研, SPC-97-20, pp.37-42(1997)
- (3) Schramm, Buss: "Mathematical Analysis of a New Harmonic Cancellation Technique of the Input Nine Current in DICM Boost Converters," IEEE PESC'98 pp.1337-1343(1998)
- (4) 茂木, 前田: 「出力電圧脈動を低減した単相昇降圧形高力率整流器」: 電学論 D, Vol.117, pp.846-855(1997)

茂木 進一

(正員) 1971年7月29日生。1994年東京電機大学理工学部応用電子工学科卒業。1996年同大学大学院理工学研究科応用電子工学専攻修士課程修了。1999年同大学院理工学研究科応用システム工学専攻博士後期課程満期退学、同年同大学理工学部電子情報工学科助手、現在に至る。高調波低減形整流器に関する研究に従事。電子情報通信学会、パワーエレクトロニクス研究会の各会員。

中嶋 理絵

(学生員) 1974年8月8日生。1998年東京電機大学理工学部応用電子工学科卒業。同年同大学大学院理工学研究科応用電子工学専攻修士課程入学、現在に至る。高調波低減形整流器に関する研究に従事。

前田 明志

(正員) 1935年8月2日生。1965年東京電機大学大学院工学研究科博士課程修了。工学博士。同大学工学部電気工学科講師、助教授を経て1975年教授。1977年同大学理工学部経営工学科教授。1986年理工学部電子情報工学科(旧応用電子工学科)教授となり、現在に至る。パワーエレクトロニクスに関する研究・教育に従事。IEEE(Senior Member)、パワーエレクトロニクス研究会会員。