入力電流波形を改善した単相降圧形整流器

正員 伊藤 良三 (福岡大)

正員 石坂 耕一 (福岡大)

正員 大石 隼人 (大分高専)

正員 岡田 英彦 (大分大)

Single-Phase Buck Rectifier with Improved Input Current Waveform

Ryozo Itoh, Member, Kouichi Ishizaka, Member (Fukuoka University), Hayato Oishi, Member (Oita National College of Technology), Hidehiko Okada, Member (Oita University)

キーワード：単相整流器，降圧形，電圧反転回路，正弦波電流，IGBT

ダイオードブリッジと降圧形 DC-DC コンバータを縦続接続した単相整流器⁽¹⁾は、直流インダクタが大きい場合あるいは重負荷の場合を除き、入力電圧の極性反転点近傍において直流インダクタ電流が不連続になるので入力電流の正弦波化が不可能となる。このような欠点を解決するために、直流インダクタと並列にスイッチを設け、インダクタ電流を環流させる回路構成が提案されている⁽²⁾。本レターは、文献(2)と同じ目的のために、電圧反転回路⁽³⁾を付加した単相降圧形整流器の一回路構成を提案したものであり、主に実験から入力電流が十分正弦波化できることを明らかにする。

図1は本レターで提案する単相降圧形整流器の主回路構成を示し、基本回路に IGBT Q_{a1} , Q_{a2} とダイオード D_{a1} , D_{a2} から成る電圧反転回路を付加したものである。また、 L_1 , C_1 は高次高調波電流を吸収させるためのフィルタである。以下、図2に示す電圧・電流制御ブロック図に従って Q_{a1} , Q_{a2} のスイッチング法と基本的な回路動作を説明する。ただし、入力電流の正弦波化に関しては、あらかじめ入力電圧と同期した単位大きさの全波整流信号を ROM に書き込んでおき、これと PID 制御器出力 u の積から得られる基準全波整流信号 a^* と直流インダクタ電流 i_2 の積分値 a を比較するパルス面積変調法⁽²⁾を適用するものとする。これは図示のように積分器とコンパレータ1から構成され、 Q はクロックパルスの周波数 20 kHz と等しい周波数でオンオフ制御される。 Q_{a1} , Q_{a2} の信号は、ダイオードブリッジの出力電圧 $|v|$ と出力電圧 e_2 をコンパレータ2で比較し、その出力と Q の信号の AND から得る。すなわち、 Q_{a1} , Q_{a2} は、 $e_2 \geq |v|$ のとき Q と一緒にオンオフ制御され、 $e_2 < |v|$ のときオフ状態を維持する。従って、 $e_2 \geq |v|$ かつ Q , Q_{a1} , Q_{a2} がオンのとき出力電圧が Q , L_2 , Q_{a1} , Q_{a2} を介して入力電圧に重畳され、その結果 i_2 は $(e_2 + |v|)/L_2$ に比例して増加するので、 L_2 が小さい場合にも i_2 の連続化が可能になる。

本レターでは、動作条件および回路定数を入力電圧の実

効値 $V=100$ V, 入力周波数 $f=60$ Hz, $L_1=0.96$ mH ($R_1=0.108$ Ω), $C_1=2$ μ F, $L_2=2.05$ mH ($R_2=0.147$ Ω), $C_2=1,000$ μ F, $R_L=20.0$ Ω , $R_S=4$ k Ω , $C_S=4,700$ pF のように設定して実験を行った。ただし、 R_1 , R_2 は各々 L_1 , L_2 の抵抗である。図3は出力電圧の平均値 E_2 が 80 V となるように出力電圧の基準値 e_2^* を調整したときの実測動作波形である。なお、同じ条件下で電圧反転回路を付加しない場合には、入力電流の正弦波化が不可能になることを

図1 提案する単相降圧形整流器
Fig. 1. Proposed single-phase buck rectifier.

図2 電圧・電流制御ブロック図
Fig. 2. Voltage and current control block diagram.

図 3 実測動作波形

Fig. 3. Experimental operating waveforms.

図 4 出力電圧に対する入力特性

Fig. 4. Input characteristics for output voltage.

確認している。図 3 より、 $e_2 \geq |v|$ と $e_2 < |v|$ の境界で若干のひずみが現れているが、ほとんど力率 1 の正弦波状の入力電流が達成されていることがわかる。ちなみに、実測力率は 0.992、FFT による入力電流の実測ひずみ率は 3.87%であった。図 4 は出力電圧を変えたときの入力特性を示す。ただし、 PF は力率、 I は入力電流の実効値であり、理論値は状態空間法によるシミュレーションから求めたものである。なお、図 1 の整流器は Q 、 Q_{a1} 、 Q_{a2} を同時にオンオフ制御する $e_2 \geq |v|$ の領域で昇圧動作をする。このことは出力電圧が入力電圧のピーク値以上でも動作可能であることを意味するが、出力電圧を入力電圧で規格化した $\lambda = E_2/V$ を用いて表示するものとする。図 4 では通常の降圧形整流器と同じ動作範囲である $\lambda = 0$ から $\lambda = 2\sqrt{2} V/\pi \approx 0.9$ までを図示した。図から、力率は λ が 0.4

以上の幅広い動作範囲でほぼ 1 に維持されている。一方、入力電流の理論値と実測値の差はシミュレーションでは無視したインダクタの鉄損、スイッチング損失などに起因するものと考えられる。

以上、電圧反転回路を付加した単相降圧形整流器を提案し、回路構成が若干複雑になる欠点はあるが、入力電流をほぼ力率 1 で正弦波化できることを示した。シミュレーション波形との比較検討、フィードバックループを含む制御性能などについては稿を改めて報告する所存である。

最後に、本研究の実験に協力された福岡大学大学院工学研究科博士課程前期学生 河内武司君に深謝する。

(平成 10 年 3 月 4 日受付, 同 10 年 5 月 19 日再受付)

文 献

- (1) 清水・茂木・前田:「乗算器を用いない入力電流指令値発生法」, 平 9 電気学会全国大会, No. 847
- (2) 茂木・前田:「入力電流波形を改善した単相降圧形高力率整流器」, 電学論 D, 117, 1286 (平 9-10)
- (3) 大石・岡田・石坂・伊藤:「電源電流波形を改善した単相バックブースト整流器」, 電学論 D, 116, 722 (平 8-6)

伊藤 良三 (正員) 1947 年 10 月 9 日生。75 年 3 月九州大学大学院工学研究科電気工学専攻博士課程修了。同年 4 月福岡大学工学部講師, 79 年 4 月同助教授, 88 年 4 月同教授, 現在に至る。工学博士。パワーエレクトロニクス, 超電導応用に関する研究に従事。

石坂 耕一 (正員) 1953 年 11 月 13 日生。76 年 3 月福岡大学工学部電気工学科卒業。同年 4 月同大工学部教育技術職員, 現在に至る。パワーエレクトロニクスに関する研究に従事。

大石 隼人 (正員) 1943 年 9 月 18 日生。66 年 3 月福岡大学工学部電気工学科卒業。同年 4 月大分工業高等専門学校助手, 76 年 10 月同講師, 82 年 4 月同助教授, 97 年 4 月同教授, 現在に至る。博士(工学)。パワーエレクトロニクスに関する研究に従事。

岡田 英彦 (正員) 1940 年 3 月 20 日生。68 年 3 月九州大学大学院工学研究科電気工学専攻博士課程修了。同年 4 月九州大学工学部講師, 74 年 4 月大分大学工学部助教授, 78 年 1 月同教授, 現在に至る。工学博士。パワーエレクトロニクス, 超電導応用に関する研究に従事。