昇降圧動作を付加した単相昇圧形整流器の入力電流ひずみ改善

正員 清 武 博文 (大分高専)
正員 岡 田 英 彦 (大分大)
正員 石 坂 耕 一 (福岡大)
正員 伊 藤 良 三 (福岡大)

Improvement of Input Current Distortion of Single-Phase Boost Rectifier with Step-Up/Down Operation

Hirofumi Kiyotake, Member (Oita National College of Technology), Hidehiko Okada, Member (Oita University), Kouichi Ishizaka, Member, Ryoza Itoh, Member (Fukuoka University)

A technique for improving the input current distortion of single-phase boost rectifier with step-up/down operation is studied. By employing the voltage reversibility, capacitor voltage is superimposed upon the supply when the switches are turned on. The arrangement tested, using two insulated-gate bipolar transistors (IGBTs) and a micro computer as a PID controller, is implemented and IGBTs are switched at 20 kHz, which is out of the audible band. The experimental results confirm that the input current distortion can be improved with a near-unity power factor.

キーワード：単相整流器，昇圧形，昇降圧動作，電圧反転機能，正弦波入力電流，IGBT

ダイオードブリッジに昇圧形 DC-DC コンバータを縦続接続した単相整流器⁽¹⁾の DC 変換部をコンデンサが並列で充電，直列で放電するように変形することによって昇降圧動作が付加され，倍電圧に近い出力電圧が容易に得られる⁽²⁾。本レターは，この整流器に電圧反転機能⁽³⁾を追加した回路構成を提案したものであり，負荷あるいは昇圧比が大きいときに電源電圧極性反転点近傍で現れる入力電流のひずみが十分改善できることを明らかにする。

図 1 は提案する単相昇圧形整流器であり，文献(2)の整流器に電圧反転機能を追加するための IGBT Q_a とコンデンサ放電阻止用ダイオード D_a を接続したものである。 Q_a, D_a がないときの基本動作は， Q がオフのとき電流 i_1 によって並列で充電されたコンデンサ C_{1p}, C_{1n} が Q オンのときに直列で放電し，負荷回路へエネルギーが移送される。 Q オンのときの i_1 は $|v|/L_1$ に比例して増加するため， $|v|$ が小さいときには i_1 の変化が緩慢となり，負荷あるいは昇圧比が大きい動作条件下で入力電流がひずむ原因になる。一方， Q_a, D_a を接続し， Q, Q_a を同時にオンオフ制御するものとする， Q, Q_a がオンのときに C_{1p} が Q_a ，ダイオードブリッジ，電源， L_1 を通って放電し， e_{1p} が $|v|$ に反転重畳される。従って， i_1 は $(|v| + e_{1p})/L_1$ に比例して増加するので， $|v|$ が小さいときにも i_1 は高速な制御が可能になる。本レターでは，出力電圧および入力電流を図 2 に示す電圧・電流制御ブロック図に従って制御した。ただし，あらかじめ電源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 制御器の出力 u との積から得られる基準全波整流信号 $|i^*|$ に電

図 1 提案する単相昇圧形整流器
Fig. 1. Proposed single-phase boost rectifier.

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

図 3 従来の整流器の実測波形

Fig. 3. Experimental waveforms of conventional rectifier.

図 4 提案する整流器の実測波形

Fig. 4. Experimental waveforms of proposed rectifier.

流 i_1 が追従するように、 Q, Q_a は可聴帯域外の 20 kHz クロックパルスと等しい周波数でオンオフ制御される。なお、出力電圧 e_2 は PID 制御器の基準値 e_2^* を変えることにより調整できる。

v, i の実効値を各々 V, I とすると、図 1 の整流器は電源電圧 V 、入力電流 I の等価 DC-DC コンバータとして考えることができる。このデューティファクタを δ とし、 e_2 の平均値 E_2 を用いて昇圧比を $\lambda = E_2/V$ で定義したとき、状態空間平均化法から

$$\lambda = \frac{1 - \delta^2}{(1 + \delta)^2 R_1/R_L + (1 - \delta)(1 - 2\delta)(1 + R_2/R_L)} \quad (1)$$

の関係が得られる。ただし、 R_1, R_2 はそれぞれ L_1, L_2 の巻線抵抗である。ここで、 $R_L \gg R_1, R_L \gg R_2$ と仮定すると、(1)式は

$$\lambda = (1 + \delta)/(1 - 2\delta) \quad (2)$$

となり、電圧反転機能がない場合と同様、昇圧動作に昇降圧動作が付加されることがわかる。

本レターでは、動作条件および回路定数を電源電圧 $V = 50$ V、電源周波数 $f = 60$ Hz、 $L_1 = 2.224$ mH ($R_1 = 0.136 \Omega$)、 $C_{1p} = C_{1n} = C_2 = 1,000 \mu\text{F}$ 、 $L_2 = 4.585$ mH ($R_2 = 0.276 \Omega$)、 $R_L = 47.78 \Omega$ のように設定して実験を行った。図 3 および図 4 は、出力電圧の平均値が 150 V ($\lambda = 3$) となるように e_2^* を調整したときの各々電圧反転機能がない従来の整流器と図 1 に示した提案する整流器の実測動作波形である。ただし、従来の整流器では $C_{1p} = C_{1n}$ であるので $e_{1p} = e_{1n}$ が成立している。両図の比較から、電圧反転機能を追加することによって電源電圧極性反転時における入力電流のひずみがほとんど解消され、ほぼ力率 1 の正弦波入力電流が達成されていることがわかる。また、提案する整流器では重畳電圧として e_{1p} だけを用いたのかかわらず、図 4 からわかるように、 e_{1p} と e_{1n} に顕著な差は見られない。なお、図 3 に示した入力電流の FFT アナライザによる実測ひずみ率 (THD) は 5.421% であるのに対し、図 4 のそれは 0.663% であった。また、図 4 の入力電流の実測力率は 0.998 であった。

以上、昇降圧動作を付加した単相昇圧形整流器に電圧反転機能を追加した回路構成を提案し、入力電流のひずみが十分改善できることを示した。

最後に、本研究の実験に協力された福岡大学大学院博士課程前期学生 小澤浩二君に誌面を借りて深謝する。

(平成 10 年 12 月 14 日受付)

文 献

- (1) 高橋・池下:「単相整流回路の入力電流波形改善」, 電学論 B, **105**, 82 (昭 60-2)
- (2) 清武・岡田・石坂・伊藤:「昇降圧特性をもつ単相昇圧形整流器」, 電学論 D, **118**, 1101 (平 10-9)
- (3) J. C. Salmon: "Techniques for Minimizing the Input Current Distortion of Current-Controlled Single-Phase Boost Rectifiers", *IEEE Trans. Power Electro.*, **PE-8**, No. 4, 509 (1993)

清 武 博 文 (正員) 大分工業高等専門学校講師。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) 大分大学工学部教授。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) 福岡大学工学部教育技術職員。パワーエレクトロニクスに関する研究に従事。

伊 藤 良 三 (正員) 福岡大学工学部教授。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。