部分容量の変圧器を用いた半電圧出力形二重化三相ダイオード整流回路

正員 大口 國臣 (茨城大) 学生員 田中 嗣大 (茨城大)

正員 星 伸一 (茨城大) 正員 久保田 朋次 (茨城大)

非会員 榊原 憲一 (ダイキン空調技術研究所)

Three-Phase Double Diode Rectifiers with Half-Voltage DC Outputs

Kuniomi Oguchi, Member, Tsuguhiro Tanaka, Student Member, Nobukazu Hoshi, Member, Tomotsugu Kubota, Member (Ibaraki University), Kenichi Sakakibara, Non-member (Daikin Air-Conditioning R & D Laboratory)

Novel topologies of three-phase rectifiers with half-voltage dc outputs are proposed. The proposed systems consist of double diode bridge circuits with additional switching devices and a three-phase transformer with a rating of around 50% power capacity of the dc output power. The rectifier can generate 24-step input voltage with a total harmonic distortion of 7.7%.

キーワード：三相整流回路，半電圧出力，高調波，波形ひずみ

1. ま え が き

三相交流電圧の使用地域は，世界的に見ると，日本や北米などの 200V 系地域とヨーロッパなどの 400V 系地域が混在する。そのため，インバータを用いた 200V 用製品を 400V 系地域で使用するためには，半電圧出力形 AC/DC インターフェイスが必要になる。この場合，電圧を 1/2 に降圧するばかりではなく，入力電流波形ひずみも小さいことが要求される。さらに，回路構成ができるだけ簡単で，低価格であることが望ましい。

全負荷容量の入力変圧器を用いて 1/2 に降圧する方式では，装置が大型化し，さらに波形改善対策が必要になる。これに対し，変圧器を用いない倍電流整流回路が提案されている⁽¹⁻³⁾。しかし，三相回路⁽³⁾の場合，著者らの計算で

は(完全平滑直流電流を仮定)，入力電流波形のひずみ率が 68.0%と大きく，かつ，通常の整流回路に含まれる第 5，第 7 次調波成分のほかに，第 2 調波が 50%，第 4 調波が 25%含まれ，その上，全リアクトル容量が直流出力の 87.4%(変圧器換算の等価容量で 43.7%)とかなり大きくなる欠点がある。

そこで，本レターでは，中容量用途に対して，前述の要求に対応できる装置として，約 50%容量の三相変圧器とダイオードブリッジ 2 組を用いる 12 ステップ電圧形整流回路と，小容量のトランジスタをブリッジ回路に付加した 24 ステップ電圧形整流回路の 2 方式を提案する。

2. 回路構成と動作

図 1 に提案方式の回路構成を示す。整流回路 1 と交流電源との間に三相変圧器の一次巻線(巻数 N_1)を直列接続し，その二次巻線(巻数 N_2 ， Δ 結線)は整流回路 2 に接続する。2 組の整流回路は直流側で直接並列接続する。同様の構成

図 1 半電圧出力形三相整流回路

Fig. 1. Proposed rectifier.

図 2 ダイオードブリッジ入力端電圧

Fig. 2. Input terminal voltages of diode bridges.

の電流形整流回路が提案されているが⁽⁴⁾、ここでは電圧形整流回路を構成する。3個の双方向スイッチからなる付加回路により、直流側中点Nの電位を利用して、入力電圧波形を改善する^(5,6)。以下では直流出力電圧 $2E$ は完全平滑で、かつ中点Nで均等に分割されているものとする。

3. マルチステップ電圧波形の合成

図2に示すように、電源電圧半周期におけるダイオードの導通期間を α 、その前後に $\beta/2$ の付加スイッチ導通期間を設ける($\alpha + \beta = 180^\circ$)。Rec.1とRec.2では、互いに 30° 位相差で動作する。

図1から、例えばA相合成電圧は、次式で与えられる。

$$v_{AO} = v_{a1O} + (N_1/N_2)v_{a2b2} \quad (1)$$

ここで、変圧器巻数比を $1/\sqrt{3}$ に選定すれば、Rec.1の相電圧基本波と変圧器一次巻線相電圧基本波が等しくなるので、出力電圧を通常の三相ブリッジ整流回路の場合の $1/2$ にできるとともに、入力合成電圧波形も改善できる。図2と式(1)から、

$$v_{AO} = \sum_{n=|12m \pm 1|} \frac{8E}{n\pi} \cos \frac{n\beta}{2} \sin n\omega t \quad (2)$$

となる。ただし、 $m=0, 1, 2, 3, \dots$ 。

表1に与えたパラメータと図2及び式(1)から、図3に示す2通りのマルチステップ波形を合成できる。通常の6ステップ電圧波形(ひずみ率31%)と比べて、電圧波形ひずみ率が格段に小さくなることが表1から分かる。入力電流波形は、入力インダクタ L_s の効果により、さらに改善される。

図3 合成入力相電圧波形(v_{AO})

Fig. 3. Resultant input voltages.

表1 提案方式の特性比較

Table 1. Comparison of proposed rectifiers.

回路方式と導通期間	付加回路の有無	図3の入力電圧波形ひずみ率	図4の入力電流波形ひずみ率
12-ステップ $\alpha = 180^\circ$ $\beta = 0^\circ$	付加回路 1,2 共になし	15.2 %	10.0 %
24-ステップ $\alpha = 165^\circ$ $\beta = 15^\circ$	付加回路 1,2 共にあり	7.7 %	5.2 %

(a) 12 ステップ ($2E=120.0V$)

(b) 24 ステップ ($2E=119.8V$)

図4 実測波形($L_s=5mH$)

Fig. 4. Measured waveforms.

4. 実験結果

電源事情の制約から400Vの代わりに200Vを使用して行った実験結果を図4に、各場合の電流波形ひずみ率を表1にまとめて示す。これらの結果から、ダイオード整流回路単体時のほぼ $1/2$ の直流電圧と良好な電流波形が得られることがわかる。

5. むすび

約50%容量の三相変圧器を用いる欠点はあるが、比較的簡単な回路構成で半電圧直流出力電圧が得られる入力波形改善形整流回路2方式を提案した。補助スイッチを付加した方式はパルス幅制御またはパルス幅変調の適用により出力電圧制御も可能であり、その制御特性などの詳細は別の機会に報告する。

(平成12年3月16日受付)

文 献

- (1) 高橋：“パワーエレクトロニクス”，私家版，42 (1996)。
- (2) 中野，樋口，平地：“倍電流整流回路”，電学論D，116巻10号，1081-1082 (1996)。
- (3) 中野，平地，内藤，久保田，大島，藤田：“三相低電圧ダイオード整流回路”，電学論D，118巻11号，1279-1286 (1998)。
- (4) G. April and G. Olivier: “A novel type of 12-pulse rectifier”, IEEE Trans. on Industry Applications, vol. IA-21, no. 1, 180-191 (1985)。
- (5) 大口，真木：“三相ダイオードブリッジを主回路とするマルチレベル電圧形整流回路の提案”，電学論D，112巻，497 (1992)。
- (6) K. Oguchi and Y. Maki: “A multilevel-voltage source rectifier with a three-phase diode bridge circuit as a main power circuit”, 695-702, Conf. Record of IEEE/IAS Ann. Meet. (1992)。