

アクティブバッファ回路を用いた 三相-单相電力変換器の回路構成と制御法

大沼 喜也*, 伊東 淳一 (長岡技術科学大学)

Circuit Configuration and Control Strategy of Three-to-single Phase Power Converter Using an Active Buffer
Yoshiya Ohnuma, Jun-ich Itoh (Nagaoka University of Technology)

1. はじめに

地震や災害時の非常用電源として、例えば自動車のオルタネータによる発電が有用である。発電機には三相モータが使用されるが、家庭用の配電設備には单相交流が用いられるため、三相-单相の電力変換器が必要となる。

本論文では、三相-单相変換で発生する2倍周期の電力脈動を小容量のコンデンサで補償する三相-单相電力変換器の回路構成と制御法を提案する。提案回路は、バッファ回路、インバータ回路のスイッチはゼロ電流スイッチが可能であり、高効率、小型化が期待できる。ここでは、基本動作をシミュレーションと実験により確認し、良好な結果が得られたので報告する。

2. 回路構成と制御方式

図1に、提案システムの主回路図を示す。提案システムは、三相電圧形整流器と单相電流形インバータで構成し、直流部にキャパシタとスイッチで構成するバッファ回路を接続する。提案回路ではバッファ回路のスイッチ S_{buf} を用い、单相交流で必要となる2倍周期の電力脈動を補償する。なお、電力が一方方向のみの場合、インバータはスイッチング素子4個で構成できる。

図2に、提案システムの等価回路を示す。発電機で作られる電流 I_{dc} を S_C と S_{INV} によって、バッファ電流 i_c と出力電流 i_{inv} に分配する。ここで、 S_Z は整流器のゼロ電流期間の環流経路(整流器のゼロ電圧ベクトル出力時)を示し、 i_z はゼロ相電流である。等価回路のスイッチ S_{INV} 、 S_C 、 S_Z のデューティをそれぞれ d_{INV} 、 d_C 、 d_Z とすると、電流方程式は(1)式となる。また、 I_{dc} は連続電流なので(2)式が成立する。

$$\begin{bmatrix} i_{inv} \\ i_c \\ i_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} d_{INV} \\ d_C \\ d_Z \end{bmatrix} \cdot I_{dc} \quad (1)$$

$$d_{INV} + d_C + d_Z = 1 \quad (2)$$

さて、出力電流を正弦波にするためには、 i_{inv} は(3)式を満たせばよい。一方、 i_c は单相交流の電力脈動を補償するため(4)式となる。

$$i_{inv} = I_m |\sin(\omega t)| \quad (3)$$

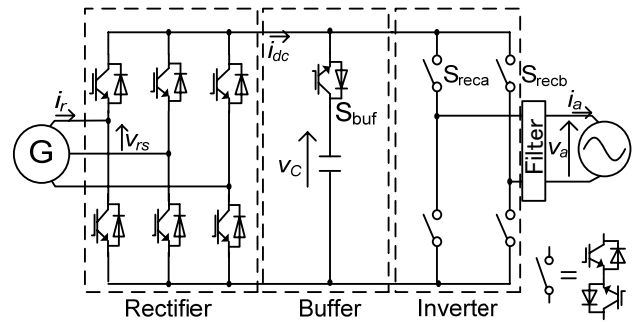


図1 提案回路

Fig. 1. Configuration of the proposed circuit.

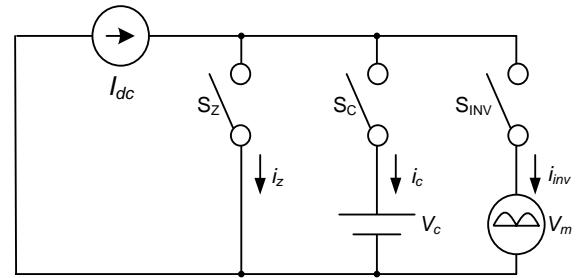


図2 提案システムの等価回路

Fig. 2. Equivalent circuit of the proposed system.

$$i_c = \frac{V_m I_m}{2V_C} \cos(2\omega t) \quad (4)$$

ただし、 I_m 、 V_m は出力電流、出力電圧の最大値である。

ここで、バッファ電流 i_c は正負の値となるが、 I_{dc} を一方方向の直流と仮定すると、 i_c を負に制御できない。そこで、 i_c が負の期間中のみ、整流器の電流指令を反転し、 I_{dc} を逆方向に流す。(3)式、(4)式より、スイッチングデューティ d_{INV} 、 d_C は、電圧利用率最大と考えた場合、(5)式となる。また、 d_Z は(2)式より求まる。

$$\begin{cases} d_{REC} = \frac{2V_C}{2V_C + V_m} |\sin(\omega t)| \\ d_C = \frac{V_m}{2V_C + V_m} |\cos(2\omega t)| \end{cases} \quad (5)$$

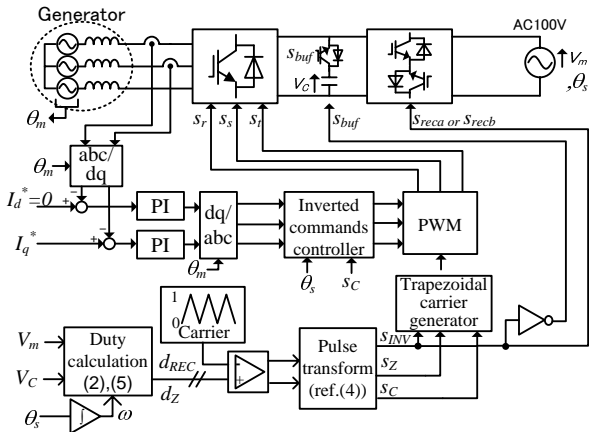


図3 制御ブロック図
Fig. 3. Control block diagrams.

一方、整流器のゼロ電圧を所望の期間発生させるため、 S_Z がオンの期間、整流器のキャリアを1もしくは0に設定する。また、出力電圧と、コンデンサ電圧が異なるため、同じ電圧を得るには整流器キャリアの傾きを電圧比に応じて変化させ、パルスの幅を調節する。これより、整流器キャリアは台形キャリアとなる。

図3に制御ブロック図を示す。発電機電流はPI制御器により制御する。また、 i_c が負の期間、 S_C がオン時に指令値の反転を行う。これにより、スイッチングパターンが反転し、 I_{dc} が逆方向になる。

3. シミュレーション、実験結果

提案回路の動作を確認するために、シミュレーションと実験による検証を行った。表1にシミュレーション条件を示す。シミュレーションでは、出力電力300Wに対してコンデンサ容量15 μ Fと小容量のコンデンサを使用し、400Vから150Vの範囲で変動させる。ここで、発電機は、逆起電力と同期インダクタンスで模擬した。また、転流は理想転流とし、デットタイムは付加していない。

図4にシミュレーション結果を示す。波形は上から、観測用ローパスフィルタ(LPF)を介した三相線間電圧 $v_{rs}(LPF)$ 、三相線電流 i_r 、バッファキャパシタ電圧 v_c 、単相電圧 v_a 、単相電流 $i_a(LPF)$ である。シミュレーションでは最初、力行動作を行い、モータを駆動し、70ms後に発電機動作を行った。結果より、単相電流の1kHz以下の総合ひずみ率(THD)は、モータ駆動時、発電機動作時ともに2%以下であり、理論の妥当性が確認できる。

図5に、実験結果を示す。実験では、実験装置の都合により、モータの駆動時の実験を行った。提案回路において基本的な制御は発電機動作と等価である。実験結果より、出力電流波形のTHDは5.1%と、良好な値を示し、電力脈動を補償できていることがわかる。

4. まとめ

本論文では、小容量のコンデンサで電力脈動を補償する

表1 シミュレーション条件
Table 1. Simulation parameters.

Generator frequency	30 Hz
Output voltage	100 V
Output frequency	50 Hz
Output power	300 W
Buffer capacitor	15 μ F
Leakage inductance	1.7 mH
Speed electromotive force	16.7 V

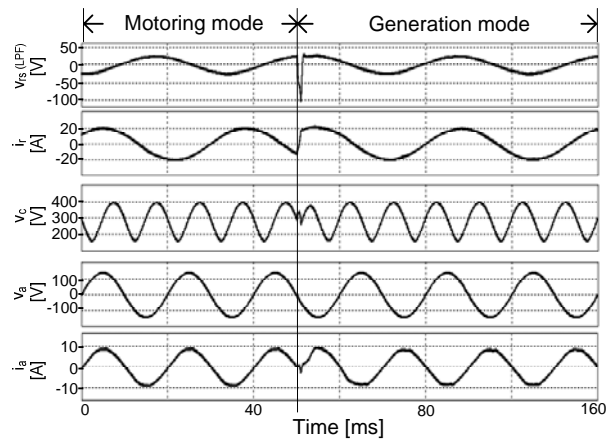


図4 シミュレーション結果
Fig. 4. Simulation results.

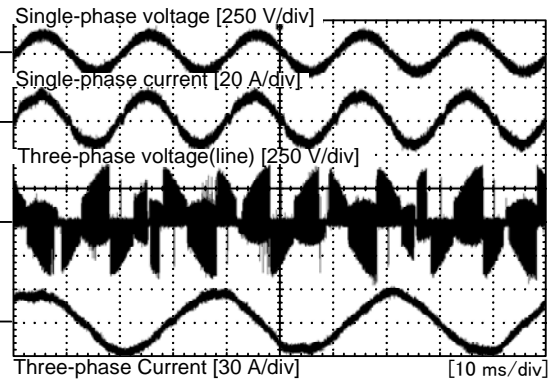


図5 実験結果(モータ駆動時)

Fig. 5. Experimental results (Motoring mode).

三相-単相電力変換器の回路とその制御方法を提案した。また、シミュレーションと実機により動作を確認し、良好に制御可能であることを示した。今後は発電機動作の実験を行う予定である。

文献

- (1) 芳賀仁・高橋勲・大石潔：電学論 D, Vol.124, No.5, pp.510-516(2004)
- (2) 北野達也・松井幹彦：平成8年電気学会全国大会, No.715
- (3) 新庄史浩・和田圭二・清水敏久：平成19年電気学会産応大会, I-244
- (4) 大沼喜也・伊東淳一：電学研資, SPC-08-162, IEA-08-31