

マトリックスコンバータを用いた

絶縁型単相 DC- AC コンバータの単相電力脈動補償の基礎検証

◎高岡 渚 高橋 広樹 伊東 淳一

長岡技術科学大学 電気電子情報工学専攻

{ntakaoka@stn|thiroki@stn|jtoh@vos}.nagaokaut.ac.jp

1. はじめに

近年、ビルや工場の配電系の高効率化の観点から、380V 直流配電システムが開発されている^[1]。工場内の既存の単相機器と直流バスを接続する場合、絶縁型単相 DC-AC コンバータが必要となる。しかし、従来の絶縁型単相 DC-AC コンバータでは単相負荷によって発生する電力脈動を吸収するため、トランス二次側の整流器 - インバータ間の直流部に大型の電解コンデンサが必要となり、回路の小型化、高効率化の妨げとなる。

そこで本論文では、回路の小型化、高効率化を目的とし、マトリックスコンバータを用いた絶縁型単相 DC-AC コンバータを提案する。提案システムはトランスの二次側の AC-AC 変換にマトリックスコンバータを用いるため、大型の電解コンデンサを使用しない。さらに、小容量のバッファ回路を用いた単相電力脈動補償を提案し、その動作を実験で確認したので報告する。

2. システム構成

図 1 に従来の絶縁型単相 DC-AC コンバータを示す。従来システムでは、高周波トランスの一次側にフルブリッジインバータを、二次側にダイオード整流器と PWM インバータを使用する。この時、単相負荷では出力周波数の 2 倍で脈動する電力脈動が発生する。この脈動電力を直流バスに伝達せず一定の直流電流を得るためには、脈動電力を吸収するための大容量の電解コンデンサが必要となる。さらに、トランス二次側で電力を 2

回変換するので効率が低下する。

図 2 に提案する絶縁型単相 DC-AC コンバータを示す。トランス二次側の AC-AC 変換にマトリックスコンバータを用いているため効率を向上できる。一方、単相電力脈動はトランスの中間タップに接続された小容量のバッファキャパシタ C_{buf} の電圧を振動させることで吸収されるため、従来回路に比べて小型化を達成できる。

3. 制御方法

図 3 に提案回路の制御ブロック図を示す。制御ブロックは、バッファキャパシタ電圧の平均値制御、単相電力脈動を補償するバッファ電流制御、

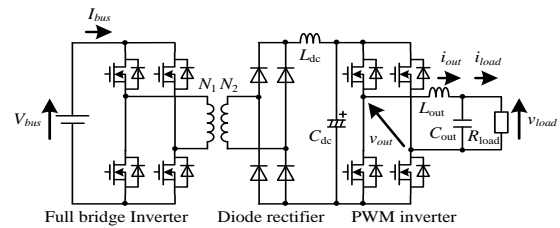


Fig.1. The conventional converter.

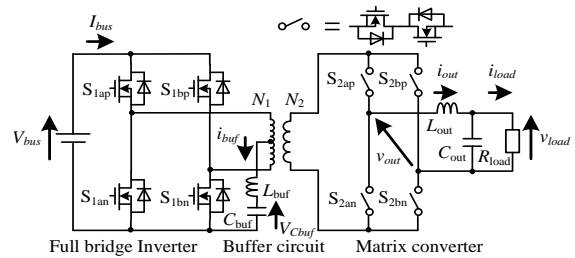


Fig.2. The proposed converter.

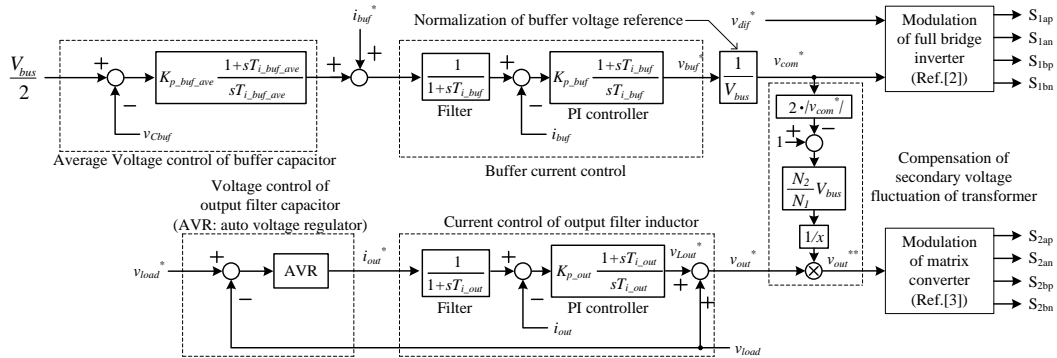


Fig.3. A control block diagram of the proposed converter.

出力フィルタキャパシタ電圧制御, 出力フィルタインダクタ電流制御とトランス二次側電圧変動補償で構成される。フルブリッジインバータの変調は文献[2]のトランス同相電圧と差動電圧に基づいた方式とし, マトリックスコンバータの変調には文献[3]のパルス密度変調を採用する。図 3 の特徴は, バッファ電流 i_{buf} を制御することで C_{buf} の電圧を振動させ, C_{buf} で吸収する電力脈動を制御できる点にある。負荷の脈動電力をすべて C_{buf} で吸収する場合, バッファ電流指令値 i_{buf}^* は, 出力平均電圧指令値 P_{ave}^* とバッファキャパシタ C_{buf} を用いて次式で表される。

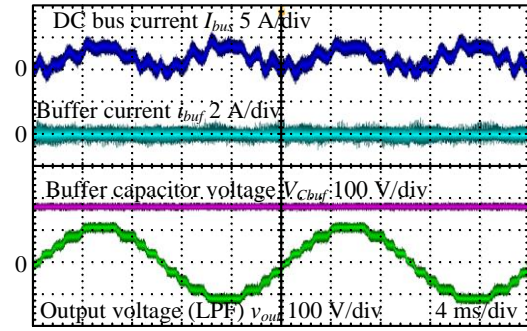
$$i_{buf}^* = C_{buf} \frac{dv_{C_{buf}}}{dt} = \frac{P_{ave}^* \cos(2\omega_o t)}{\sqrt{\frac{V_{bus}^2}{4} + \frac{P_{ave}^*}{\omega_o C_{buf}} \sin(2\omega_o t)}} \quad (1)$$

ここで, V_{bus} は直流バス電圧, ω_o は出力角周波数である。一方, バッファキャパシタ電圧 $V_{C_{buf}}$ の平均値制御は, C_{buf} の電圧平均値を常に V_{bus} の 1/2 に保つために使用する。平均値の変動は脈動周波数よりも十分遅いためバッファキャパシタ電圧の制御の応答は電流制御に対して十分低くて良い。さらに, 出力側のフィルタ電圧制御及び電流制御は負荷電圧を一定に保つために使用する。

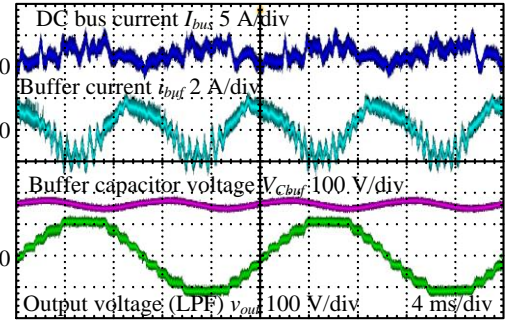
4. 実験結果

図 4(a), (b) に単相電力脈動補償を適用しない場合と適用時の実験結果をそれぞれ示す。ただし, 実験では出力フィルタを使用せずに R-L 負荷を用いているため, 出力フィルタキャパシタ電圧制御は導入していない。実験条件は, 直流バス電圧 $V_{bus}=350$ V, 出力電圧 $v_{load}=80.8$ V_{rms}, 出力電力 $P_{out}=594$ W である。図 4(a) より, 単相電力脈動補償を導入しない場合はバッファキャパシタ電圧 $V_{C_{buf}}$ が変動しない。これにより, 直流バス電流 I_{bus} には出力周波数の 2 倍となる 100 Hz の電力脈動成分が重畳する。一方, 単相電力脈動補償を適用した場合, 脈動電力を吸収するように $V_{C_{buf}}$ を変動させる。その結果, I_{bus} の電力脈動成分を低減できる。なお, 図 4(b) の出力電圧の THD は 5.9% となるが, 5% を超えた理由として, 使用した PDM 手法の問題が挙げられる。

図 5 に直流バス電流の周波数解析結果を示す。図 5 は出力周波数 50 Hz を基本波としている。実験結果より, 単相電力脈動補償を適用しない場合, 100 Hz の電力脈動成分は平均電流を 100% とした場合 65.5% であることが確認できる。一方, 単相電力脈動補償を用いた場合, バッファキャパシタ電圧の変動分が 100 Hz の脈動電力を吸収するため, 100 Hz 成分を 2/3 低減できる。



(a) Without the power decoupling method.



(b) With the power decoupling method.

Fig.4. Experimental waveforms.

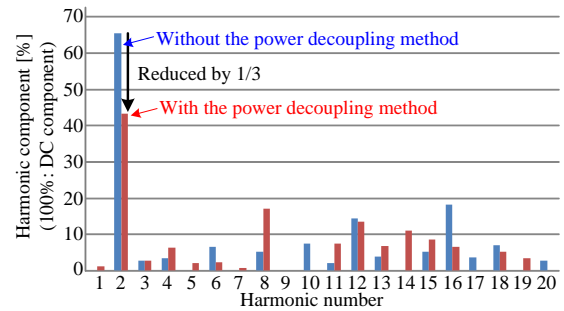


Fig.5. Harmonic analysis of the DC bus current.

5. まとめ

本論文では, マトリックスコンバータを用いた絶縁型単相 DC-AC コンバータを提案した。従来システムと比べ, 大容量の電解コンデンサを使用しないため, 回路を小型化できる。また, 直流バス電流に重畳する単相電力脈動を低減するための単相電力脈動補償を提案した。実験結果より, 100 Hz の電力脈動成分を 2/3 低減することを確認した。

文献

- [1] NTT 技術ジャーナル, 2011.11
- [2] J. Itoh, F. Hayashi, IEEE Trans. On PE, Vol. 25, No. 3, pp. 550-556 (2009)
- [3] Y.Nakata, J.Itoh, Proc. IPEC 2014, No. 19P1-12, pp. 138-145 (2014)