

回路切り替えによる絶縁形双方向 DC-DC コンバータの高効率化に関する基礎検証

◎宅間 春介・中田 祐樹・折川 幸司・伊東 淳一（長岡技術科学大学）

1. はじめに

近年、スマートグリッドや HEMS といったシステムの直流電源として蓄電池や燃料電池が使用されている。これらを共通直流バスに接続する DC-DC コンバータに必要な要素は 1)絶縁形, 2)双方向のパワーフロー, 3)広出力電力範囲において高効率などである⁽¹⁾。従来の共振形 DC-DC コンバータでは、出力電力の変動によりソフトスイッチングを達成できず、効率が低下する問題がある。

本論文では回路の動作モードの切り替えに着目し、前述の要求を満たす DC-DC コンバータを提案し、実機検証を行ったので報告する。

2. 提案回路

図 1 に提案する回路切り替え方式 DC-DC コンバータの構成図を示す。デュアルアクティブブリッジ(DAB)に双方向スイッチ Sw_5 とコンデンサ 2 つを加え、トランス 2 次側回路を負荷に応じてフルブリッジ回路(FB)とハーフブリッジ回路(HB)に切り替える回路構成である。FB と HB を別々に用意するのではなく、それぞれの回路で共通の 1 レグを共用することによって、部品点数を削減できる。また、切り替えに必要な双方向スイッチの最大電圧は HB 構成用のコンデンサと等価であり、その他のスイッチの半分の耐圧が良い。さらに、双方向スイッチは FB と HB の切り替えのみに使うため、スイッチング速度が遅くてもオン抵抗が低いデバイスを選定することで HB の効率が向上する。FB を適用時の DAB では 2 次側インバータのスイッチングの位相 δ を 1 次側インバータに対して進み位相、または遅れ位相とすることで漏れインダクタンス L_l に流れる電流を制御し、双方向に電力を伝送する。このとき、伝送される電力 P_{DC} は(1)式で表される⁽²⁾。

$$P_{DC} = \frac{nV_1V_2}{\omega L_l} \delta \left(1 - \frac{\delta}{\pi}\right) \quad (1)$$

ここで、 V_1 : トランス 1 次側電圧の最大値、 V_2 : トランス 2 次側電圧の最大値、 δ : V_1 と V_2 の位相差、 n : 巻き数比、 ω : 角周波数である。このとき、入力電圧 $E_1 <$ 出力電圧 E_2 である。FB のとき V_2 の最大値は E_2 であるが、HB のときは、 $E_2/2$ となる。したがって、(1)式より、HB の伝送電力は FB に比べて半分となる。

そこで提案回路では、軽負荷領域で FB よりも効率の高い HB に切り替える。HB は、FB と比較してトランス 2 次側の出力電圧 V_2 が半分になるため、トランスの鉄損を低減できる。よって、提案回路では負荷に応じて 2 次側の回路を FB と HB で切り替えることにより、広出力電力範囲で高効率を維持できる。

3. 実験結果

図 2 に FB と HB のトランスの印加電圧と電流の波形を示す。位相シフト量は $\pi/4$ 、スイッチング周波数は 32 kHz である。出力電圧は 380 V であるため、トランス 2 次側電圧 V_2 は FB で $V_2 = \pm 380$ V、HB で $V_2 = \pm 190$ V となる。図 2(a)の FB におけるトランス 1 次側電流の区間 A を直線近似して di/dt を測定し漏れインダクタンスを計算した結果、15.5 μ H であった。この計算結果と実測値を比較し、誤差率 9.6% であること確認した。また、トランス 1 次側電流に直流成分がないため、トランスに直流偏磁が発生していないことを確認した。

図 3 に HB 動作と FB 動作時の出力電力に対する効率の

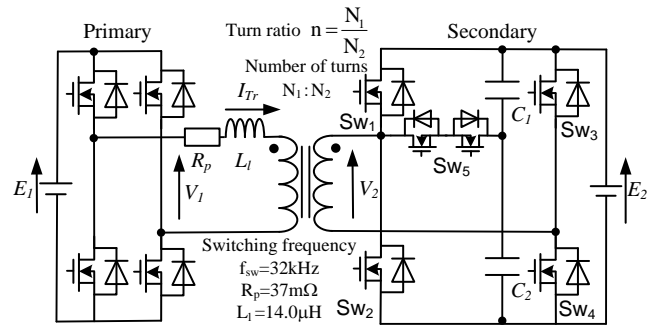
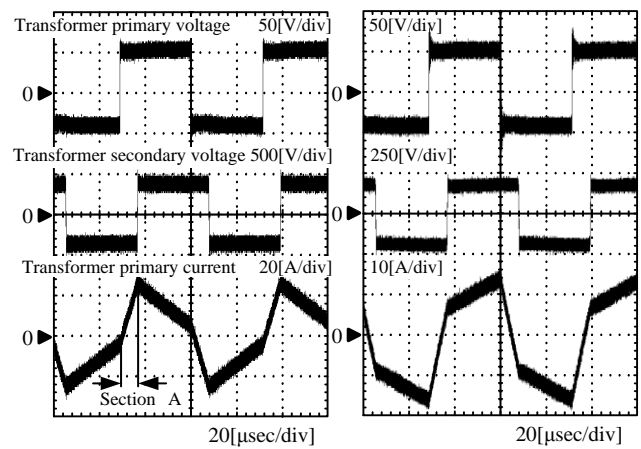


Fig. 1. Proposed circuit



(a) Full bridge mode. (b) Half bridge mode.

Fig. 2. Operation waveforms ($E_1=48$ V, $E_2=380$ V)

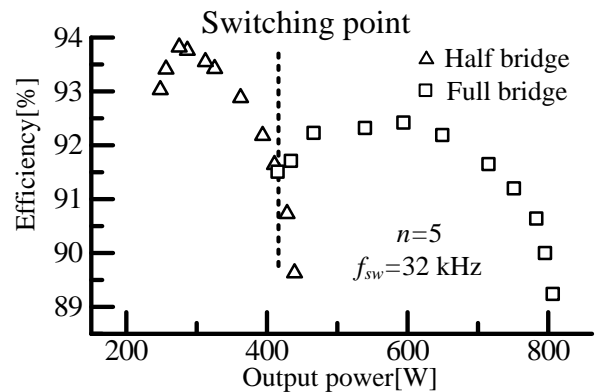


Fig. 3. Relationship between the output power and efficiency

実験結果を示す。従来の DAB である FB 動作の場合、出力電力 594 W で最高効率 92.42% を達成するが、軽負荷になるにつれて効率が低下することを確認できる。一方、HB の効率は出力電力 420 W 以下では同出力電力における FB よりも高く、出力電力 275 W で最高効率 93.82% を達成すること確認した。よって、出力電力に応じて FB と HB を切り替えることで、高出力電力範囲において高効率な範囲を維持できることを確認した。今後は、ソフトスイッチング範囲の設計方法を確立する予定である。

参考文献

- 宮脇, 伊東, 岩谷: 電学論 D, vol.130, No.1 (2010)
- 山岸, 赤木, 小山: 電学論 D, vol.134, No.5 (2013)