

昇圧チョッパを内包したワンコンバータ型 DAB コンバータの実機検証

◎玉川 晟, 渡辺 大貴, 伊東 淳一 (長岡技術科学大学)

1. はじめに

直流配電システムなどに適用する双方向絶縁型 DC-DC コンバータとして、デュアルアクティブブリッジ(DAB)コンバータが盛んに研究されている。DAB コンバータは入出力電圧比と巻き数比が一致する条件で最も高効率が可能だが、入出力電圧変動が発生した場合にはZVS(ゼロ電圧スイッチング)動作範囲の制約などが発生する課題がある⁽¹⁾。

本論文では昇圧チョッパを内包したワンコンバータ型 DAB コンバータを提案する。定格 2kW の試作機を用いた実験により提案回路の基本動作を確認したため報告する。

2. 回路構成および ZVS 条件の導出

図 1 に提案回路の回路図を示す。本回路はインターリーブチョッパと DAB コンバータの一次側の Hブリッジ回路を共通化する。また、入力電源に直列にキャパシタ C を接続する。キャパシタ電圧を制御することで、入力電圧 V_{in} および出力電圧 V_{out} が変動した場合においてもトランス電圧比を巻き数比に一致させる動作が可能である。また、伝送電力は従来の DAB と同様にキャリア位相シフトによって制御できる。

次に提案回路の ZVS 条件を導出する。2 次側は一般的な DAB と同様の構成をとるため、2 次側回路の ZVS 条件は直列インダクタ電流 i_{L3} から議論できる⁽²⁾。

一方、1 次側は直列インダクタ電流に加え、昇圧インダクタ電流 i_{L1} , i_{L2} が流れる。上アームスイッチ S_1 , S_3 については昇圧インダクタ電流が常に寄生容量の放電方向に流れるため、常に ZVS 動作となる。一方、下アームスイッチ S_2 , S_4 には昇圧インダクタ電流が寄生容量の充電方向に流れる。ターンオン時 S_2 , S_4 に流入する昇圧インダクタ電流は電流平均値 I_{L1} , I_{L2} とリプル電流 ΔI_{L1} , ΔI_{L2} から以下の式により得られる。

$$I_{L1_S2on} = I_{L1} - \frac{\Delta I_{L1}}{2} \dots\dots\dots(1)$$

$$I_{L2_S4on} = I_{L2} - \frac{\Delta I_{L2}}{2} \dots\dots\dots(2)$$

一方、ターンオン時の直列インダクタ電流は直前の動作モードの電流の傾きと位相差 θ から導出でき、電流の傾きは直列インダクタ電圧とインダクタンスから求める。その結果、ターンオン時の直列インダクタ電流は次式となる。

$$I_{L3_S2on} = \frac{V_{in} + V_c + NV_{out}}{2\omega L_3} \delta - \frac{NV_{out}}{\omega L_3} \left[1 - 2\left(\frac{V_c}{V_{in} + V_c}\right)\right] \pi \dots\dots\dots(3)$$

$$I_{L3_S4on} = -\frac{V_{in} + V_c + NV_{out}}{2\omega L_3} \delta + \frac{NV_{out}}{\omega L_3} \left[1 - 2\left(\frac{V_c}{V_{in} + V_c}\right)\right] \pi \dots\dots\dots(4)$$

ZVS 動作は、各下アームのスイッチを流れる電流がターンオン直前に放電方向に流れることで成立する。そのため、ZVS 動作条件は直列インダクタ電流と昇圧インダクタ電流から以下の式により得られる。

$$I_{L3_S2on} - I_{L1_S2on} > 0 \dots\dots\dots(5)$$

$$I_{L3_S4on} + I_{L2_S4on} < 0 \dots\dots\dots(6)$$

図 2 に入力電圧に対する ZVS 動作可能な位相差の関係を示す。入力電圧 1p.u. ではデューティ指令は 50% となり、全位相差で ZVS 動作可能となる。その他の入力電圧条件では、変圧器への印加電圧が 3 レベルの波形となり、ゼロ電圧期間が増えるほど ZVS 動作を妨げる。

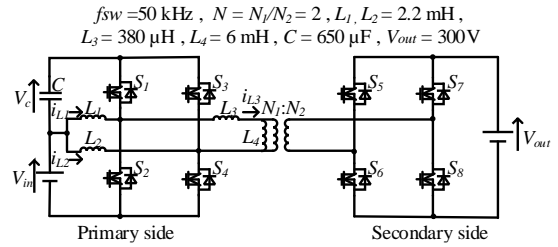


Fig. 1. Proposed converter

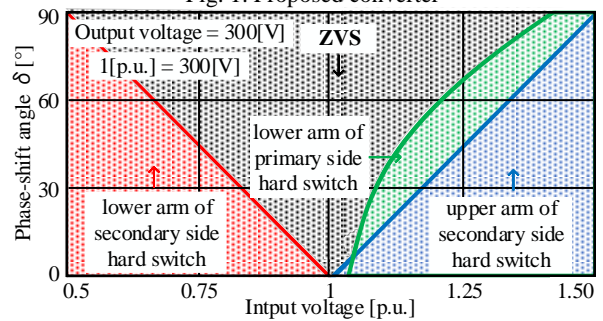


Fig. 2. Derivation of ZVS condition

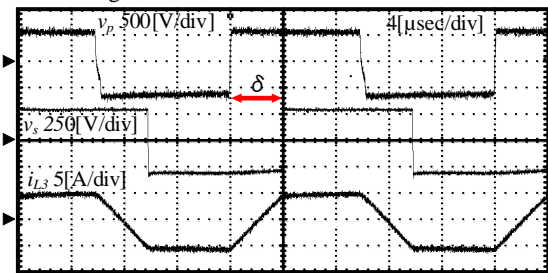


Fig. 3. Waveform of proposed circuit

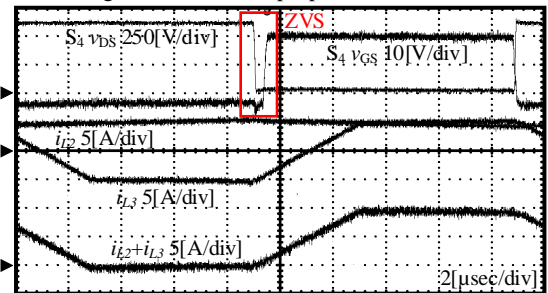


Fig. 4. ZVS waveform of S_4

3. 実験結果

図 3 に定常動作波形、図 4 に 1 次側下アームのスイッチング波形を示す。なお、伝送電力は 2kW とした。また今回はオープンループ制御とし、デューティ指令は 50% とした。図 3 より、位相シフト制御により、位相差 δ を与えることで台形波状の電流が直列インダクタに流れることを確認した。また、図 4 よりターンオン直前にドレインソース間電圧がゼロになり、ZVS 動作をしていることを確認した。この時の昇圧インダクタ電流と直列インダクタ電流の和は負となっており、(6)式の条件を満足していることがわかる。今後は、電圧変動時の動作特性、効率やフィードバック制御の実装等を行っていく予定である。

参考文献

1. Kheraluwala M.N, et.al : IEEE Trans. I.P., Vol. 28, No. 6, pp. 1294-1301 (1992)
2. 比嘉, et.al : 産業応用部門大会, No. 1-3, pp. 15-20 (2018)