

絶縁型 AC/DC コンバータの DCM と TCM のハイブリッド電流モード制御を用いた ZVS 法の実機検証

©内田 泰雄, 渡辺 大貴, 伊東 淳一 (長岡技術科学大学)
 泉本 尚人, 木寺 和憲, 岡田 健治 (パナソニック株式会社)

1. はじめに

絶縁型 AC/DC スwitching 電源は一般に力率改善回路 (PFC) と絶縁型 DC/DC コンバータから構成され、幅広く用いられている。一方で、PFC には様々な方法があるが、簡単に行う方法として、フライバックコンバータと電流不連続モード (DCM) を用いた方法がある⁽¹⁾。しかし、本制御はデューティとスイッチング周波数を一定値として制御した場合、疑似共振動作ができず効率が低下する課題がある。

本論文では DCM のゼロ電流期間中に電流三角波モード (TCM) を適用した Zero Voltage Switching (ZVS) 法を提案し、DC/DC 動作において基本動作を確認したので報告する。

2. 制御手法

Fig. 1 に同期整流回路とフライバックコンバータを組み合わせた AC/DC コンバータの回路図を示す。高効率化を狙って整流回路部は電源周波数でスイッチングする同期整流回路を用いる。フライバックコンバータは絶縁と力率改善動作を行う。フライバックコンバータを DCM で制御したとき、スイッチング周期の平均一次側電流は Eq. (1) で表される。

$$I_1(t) = \frac{D_{1_DCM}^2}{2Lf_{sw}} |V_g \sin \omega t| \dots \dots \dots (1)$$

ここで I_1 は一次側平均電流、 V_g は系統電圧最大値、 D_{1_DCM} は S_1 のデューティ、 f_{sw} はスイッチング周波数、 L は励磁インダクタンスである。Eq. (1) より D_{1_DCM} および f_{sw} が一定であれば系統電圧と一次側電流の関係が線形になり、電源波形と相似の電流波形が得られ力率が改善できる。

Fig. 2 に提案方式の概要を示す。提案方式では Fig. 2 (a) に示す DCM のゼロ電流期間に TCM を行うことで ZVS を達成する。Fig. 2 (b) に制御ブロック図を示す。スイッチ S_1 のデューティは固定値とし、電力に応じて調整する。DCM 期間終了時には励磁電流が 0 A になる。そのため二次側スイッチ S_2 のデューティは Eq. (2) で表される。

$$D_{2_DCM} = \frac{V_{in}}{NV_{out}} D_{1_DCM} \dots \dots \dots (2)$$

ここでは D_{2_DCM} は S_2 のデューティ、 N は巻き数比、 V_{out} は出力電圧である。次に、TCM ではゼロ電流期間中に三角波状のリプル電流を流すことで ZVS を達成する。本制御ではゼロ電流期間中に臨界モード条件でスイッチングさせることで TCM を実現する。臨界モード時の各デューティは以下の式で表される。

$$D_{1_TCM} = \frac{NV_{out}}{(NV_{out} + v_{in})} \frac{D_{zero}}{(N_0 + 0.5)} \dots \dots \dots (3)$$

$$D_{2_TCM} = \frac{v_{in}}{(NV_{out} + v_{in})} \frac{D_{zero}}{(N_0 + 0.5)} \dots \dots \dots (4)$$

ここで、 D_{1_TCM} は TCM 期間中の S_1 のデューティ、 D_{2_TCM} は TCM 期間中の S_2 のデューティ、 D_{zero} はゼロ電流期間のデューティ、 N_0 はゼロ電流期間中の TCM の周期数である。なお、TCM 期間中のリプル電流の周期を調整するために、ゼロ電流期間のデューティを周期数で除算する。また 0.5

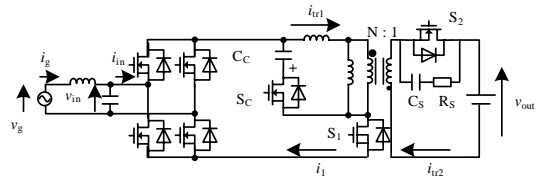
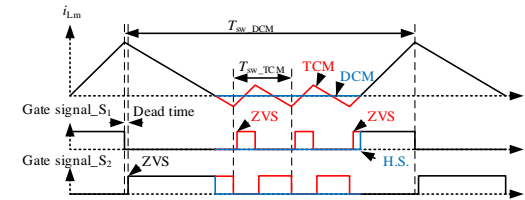
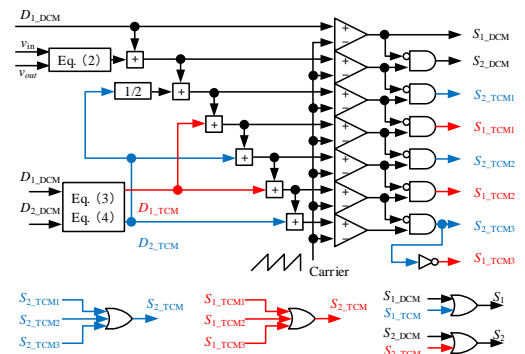


Fig.1. Circuit diagram of isolated AC/DC converter.



(a) Inductor current wave forms.



(b) Control block diagram.

Fig.2. Proposed control method.

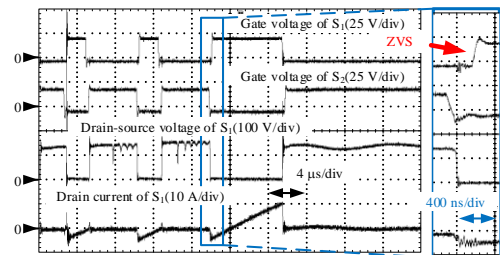


Fig.3. Experimental result.

を加算することで TCM 期間の最初の負電流導通期間を生成する。

3. 実験結果

Fig. 3 に実験結果を示す。なお、今回は基礎検証として入力部を直流として DC/DC の条件で検討した。実験条件は入力電圧 85 V、スイッチング周波数 25 kHz とした。Fig. 3 右側に青枠部を拡大した波形を示す。青枠部は従来制御法ではハードスイッチングをする点である。拡大波形より二次側スイッチ S_2 がターンオフした際に一次側スイッチ S_1 のドレインに負電流が流れ、 S_1 の DS 間電圧が 0 V となることで ZVS が達成されている。

今後の予定は提案方式の実機検証を行う。

参考文献

1. 渡辺大貴, 他: 電気学会全国大会-4-098(2022)