

スイッチの寄生容量を考慮した高周波 ZCS DC-DC コンバータの解析

太田 大博* 今岡 淳** 庄山 正仁** 大西 浩之*** 長岡 真吾*** 森下 貞治***
 (九州大学大学院 *システム情報科学府 **システム情報科学研究所) (***)オムロン株式会社)

1 はじめに

従来のソフトスイッチング回路では、スイッチング素子のターンオフ時に共振インダクタとスイッチの寄生容量 C_{oss} の間で不要な共振現象(寄生振動)が発生するといった問題があった[1]. 本研究では、ソフトスイッチングの際に電流ストレスが増加せず、補助回路の構成もシンプルな ZCS (Zero-Current Switching) 回路方式[2]において、寄生振動を根本的に抑制できる補助回路設計手法を提案する。

2 ZCS DC-DC コンバータおよびその動作

図 1 に本研究で取り扱う ZCS DC-DC コンバータを、図 2 にそのスイッチングシーケンスを示す。従来の設計手法では、補助スイッチ S_a によって主スイッチ S_1 の電流を引き抜き、ボディダイオードを導通させた状態で駆動信号を切ることによって ZCS を達成していた。しかし、このような回路動作では、上述した寄生振動が発生する。そこで本研究では、寄生振動を抑制するために補助回路の共振インピーダンスを調整し、ボディダイオードを導通させない回路動作を提案する。

3 提案設計手法

寄生振動が最小となる条件を求めるために、1. 入力是一定値 I_{LB} の電流源とする。2. 出力は一定値 V_o の電圧源とする。3. スwitchング素子の寄生容量 C_{oss} は線形動作する。という仮定に基づいて図 2 中の状態 4 および 5 における寄生振動の波形式を導出した。

導出された波形式より、寄生振動の原因となる共振エネルギーをゼロとするには以下の 2 つの条件を満たせば良いことが明らかとなった。

$$\sqrt{a^2 + b^2} = \frac{I_{LB}}{L_{r1} C_r \alpha^2} \quad (1) \quad \frac{\pi + \theta}{\alpha} = \frac{C_r V_{Cr}(t_3)}{I_{LB}} \quad (2)$$

$$\text{ただし } \theta = \tan^{-1}\left(\frac{b}{a}\right), \quad a = i_{Lr1}(t_3) - \frac{I_{LB}}{L_{r1} C_r \alpha^2},$$

$$b = \frac{V_o - V_{Cr}(t_3) - V_{DS,S1}(t_3)}{L_{r1} \alpha}, \quad \alpha = \sqrt{\frac{C_{oss,S1} + C_r}{L_{r1} C_{oss,S1} C_r}} \text{ である。}$$

4 実験結果

入力電圧 90 V, 出力電圧 385 V, 出力容量 300 W, 動作周波数 200 kHz の試作回路における各場合の主スイッチ S_1 の動作波形をそれぞれ図 3, 図 4 に示す。図 3 では S_1 のターンオフ時に寄生振動と共に、大きなサージ電圧が生じていることが分かる。一方図 4 では寄生振動はほとんど生じていない。 S_1 での発生損失を見積もった所、従来の設計手法では約 6.6 W, 提案設計手法では約 3.9 W という結果が得られた。

5 まとめ

本研究では ZCS DC-DC コンバータにおいて発生する寄生振動に対して、その波形式を導出することで寄生振動を根本的に抑制できる補助回路設計手法を提案し、試作回路においてその妥当性を示した。今後は入力電圧や出力負荷が変動した場合においても、提案する設計手法が適用できないか検討を進める。

参考文献

- [1] R.C. Fuentes, H. L. Hey, "A Comparative Analysis of the Behavior and of the Switching Losses for a Group of ZCS-PWM converters using IGBT's applications," in *Proc. IEEE PESC Conf.*, 1997, pp. 972-977.
- [2] C.-M. Wang, "A novel ZCS-PWM power-factor preregulator with reduced conduction losses," in *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 52, no. 3, pp. 689-700, Jun. 2005.

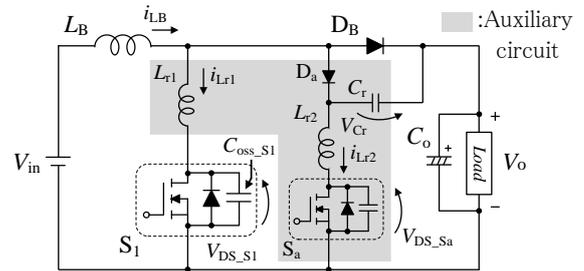


図 1 ZCS DC-DC コンバータ

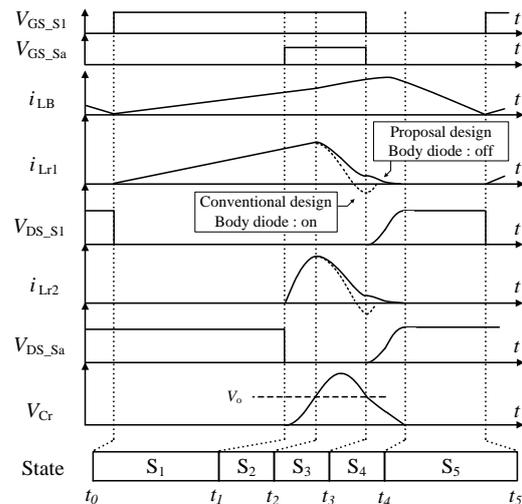


図 2 スwitchングシーケンス

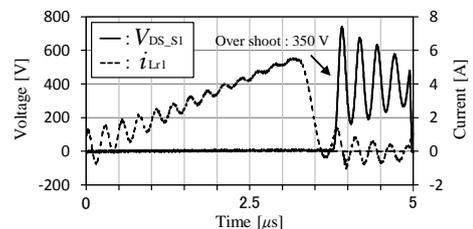


図 3 主スイッチ S_1 の動作波形(従来設計手法)

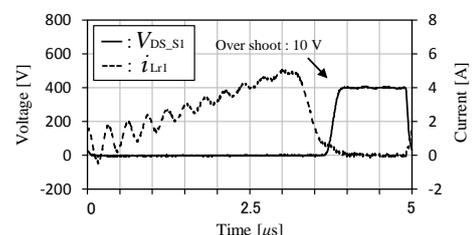


図 4 主スイッチ S_1 の動作波形(提案設計手法)