

ZVS 動作を用いた直列接続スイッチング素子の電圧アンバランス補償法

磯 綾介・高岡 渚・渡辺 大貴・伊東 淳一 (長岡技術科学大学)

1. はじめに

近年、直流配電といった高圧用途に向けた電力変換器がさかんに検討されている。本用途では低耐圧のスイッチング素子を直列に接続することで半導体損失を低減できることが報告されている⁽¹⁾。しかし、直列素子間のターンオフ電圧にアンバランスが生じることが課題となる。

本論文では C スナバとゼロ電圧スイッチング(ZVS)を利用した簡易な電圧アンバランス補償法を検討した。実験結果より電圧アンバランスを 86.0%改善することが出来たので報告する。

2. 提案手法

提案法ではまず、静電容量許容差の少ないスナバコンデンサを外付けで接続することで出力容量変動とばらつきの影響を抑制する。一方で、スナバコンデンサを接続した場合、ターンオン時の短絡電流が増加する。そこで ZVS 動作によりターンオン直前にスナバコンデンサの電荷を引き抜くことで短絡電流の発生を回避する。

スイッチング速度のアンバランスは GDU の性能やゲート-エミッタ間容量のばらつきに依存する。一方で、上側アームのコレクタ-エミッタ間容量への充電は下側アームのターンオンのタイミングで開始される。したがってデッドタイムがスイッチング遅延時間よりも長い場合、寄生容量への充電に対して遅延時間は影響を与えない。したがってデッドタイム t_{dead} と遅延時間 t_{delay} の関係は以下の(1)式を満たせばよい。

$$t_{dead} > t_{delay} \dots\dots\dots (1)$$

図 1 に昇圧チョップパの回路図を示す。本論文では基礎検討として、上側アームを 2 直列で構成し、直列素子駆動の検証を行う。ここでターンオフ時のコレクタ-エミッタ間電圧は(2)式で表される。

$$v_{CE} = \frac{t \times I}{C_{CE}} \dots\dots\dots (2)$$

(2)式より、コレクタ-エミッタ間電圧は出力容量 C_{CE} と充電時間 t に依存する。上述した理由により、これらのパラメータ誤差が発生すると電圧アンバランスの要因となることがわかる。

3. 実験結果

図 2 に実験結果を示す。なお、図 2(a) がスナバ未接続、図 2(b) が提案法適用時の波形である。図 2(a) より、 V_{CE1} と V_{CE2} に 29.2% の電圧アンバランスを確認した。一方、図 2(b) では電圧アンバランスを 4.1% に低減できていることを確認した。なお、図 2(a), (b) の両方において ZVS 動作を達成した。

図 3 にコレクタ-エミッタ間容量のノミナル値 C_{nom} に対するばらつきと、コレクタ-エミッタ間電圧の関係を示す。図 3 より、コレクタ-エミッタ間容量のばらつきによってコレクタ-エミッタ間電圧にアンバランスが発生することが確認できる。また、シミュレーション結果と理

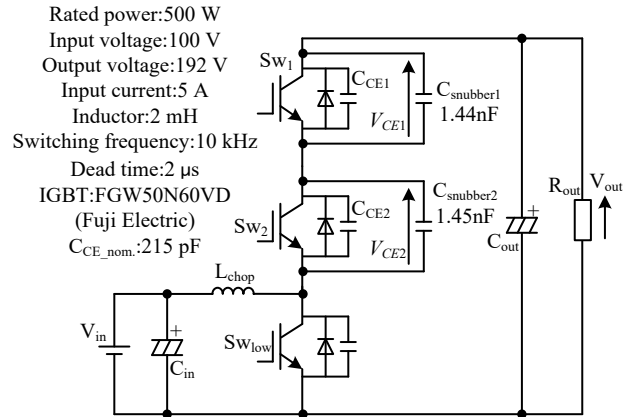
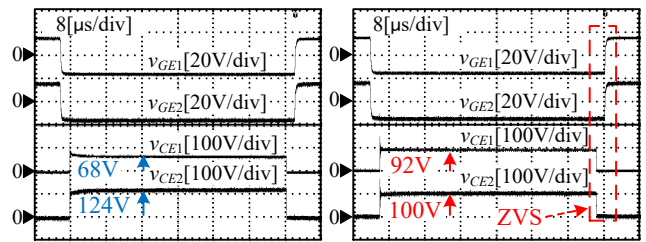


Fig.1 Boost chopper with C snubber circuit



(a) Snubber less (b) Proposed method

Fig.2 Experimental waveforms

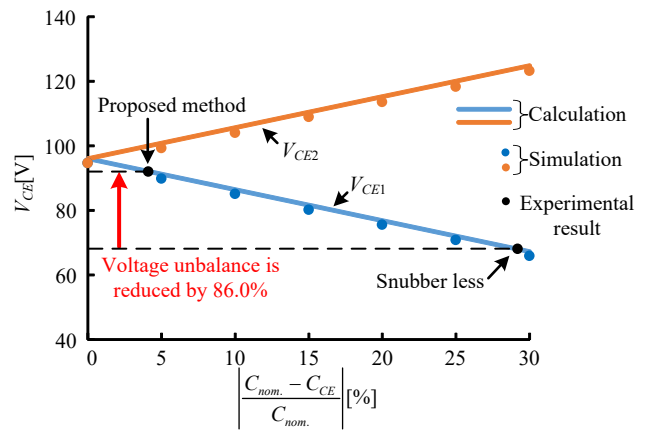


Fig.3 Relationship between V_{CE} and unbalance ratio

論計算の値が一致していることを確認した。最後に、実験結果が理論値と一致し、提案手法を用いることで電圧アンバランスを 86.0%改善できることを確認した。

本論文では C スナバと ZVS 動作を用いた簡易な電圧アンバランス補償法を提案した。実験結果より、直列素子間におけるコレクタ-エミッタ間電圧のアンバランスを 86.0%改善できることを確認した。

今後は下アーム多直列接続時の電圧アンバランス補償法について検討する。

文 献

(1) 神宮 他, IEEJ Trans. D, Vol.138, No.5, pp.417-424(2017)