

電流不連続モードを適用した 3レベルフライングキャパシタコンバータの平均電流誤差低減手法

◎石橋 諒一, 日下 佳祐, 伊東 淳一 (長岡技術科学大学)

1.はじめに

太陽光発電向けパワーコンディショナには、高パワー密度化が要求されている。その手段の一つとして、昇圧回路に含まれる昇圧インダクタの小型化が挙げられる⁽¹⁾。

筆者らはこれまで、パワーコンディショナの高パワー密度化を実現するため、3レベルフライングキャパシタコンバータ(FCC)に対する電流不連続モード(DCM)の適用を検討してきた⁽²⁾。本手法ではインダクタ電流制御にオープンループ制御を適用しているため、インダクタ電流の平均値はデッドタイムの影響を受ける。オープンループ制御を適用した上で平均電流誤差を低減するには、電流誤差を推定する必要がある。

本論文ではデッドタイムによる電流波形の影響を解析し、平均電流指令値への補正分の加算による平均電流誤差の低減を確認したので報告する。

2.DCM適用FCCにおけるデッドタイムの影響

図1にFCCの回路図及び回路条件を示す。本手法では、FCCとDCMを組み合わせることで電流ピーク値の抑制と昇圧インダクタの小型化を両立できる。

図2に、1スイッチング周期分のスイッチングパルスとインダクタ電流波形を示す。スイッチングモードは4つのモードで構成され、順番に Mode I ~ Mode IV とする。図2において、実線はデッドタイムが無い場合の波形であり、点線はデッドタイムが有る場合の波形である。デッドタイム挿入時は Mode I, III の期間が算出値より短縮される。

Mode I は昇圧インダクタへのエネルギー蓄積モードであるため、Mode I 期間の短縮に伴いインダクタ L に蓄積されるエネルギーが減少する。また Mode III 期間が短縮された分に挿入されるデッドタイム期間では、 S_1, S_2 の還流ダイオードを通じて負荷側にエネルギーが放出される。図2より、この期間中の昇圧インダクタの両端電圧は、Mode III よりも低いため、デッドタイムの影響によりスイッチング周期中のインダクタ電圧時間積が減少する。

以上の要因により、インダクタ平均電流が減少する。インダクタ平均電流の誤差は図2において斜線で示す部分の面積に相当する。そのため、本論文では図2の斜線部分の面積がゼロになるよう補正する。

3.誤差補償方法

図3に本制御システム全体のブロック図を示す。本論文ではインダクタ平均電流をオープンループで制御する。

まずデューティ比計算ブロック⁽²⁾により、インダクタ平均電流指令値 I_{ave}^* に対するスイッチングデューティ比 $D_1 \sim D_4$ を計算する。次に、算出したスイッチングデューティ比 $D_1 \sim D_4$ 、及びデッドタイムのデューティ比 D_d の値や回路パラメータを基に、デッドタイムが挿入された場合のインダクタ平均電流 I_{ave} を推定する。最後に I_{ave}^* と I_{ave} の差分 I_{ave_err} を計算して I_{ave}^* に加算し、スイッチングデューティ比計算の新しい指令値とする。これにより実際のインダクタ平均電流はインダクタ平均電流指令値と等しくなるよう補正される。

4.実験結果

提案法の効果を確認するため、平均電流指令値 I_{ave}^* を 10 A として実機実証を行った。

図4に動作波形を示す。図4(a), (b)はそれぞれ補償適用前と適用後の波形である。図4(a)より、デッドタイムが挿

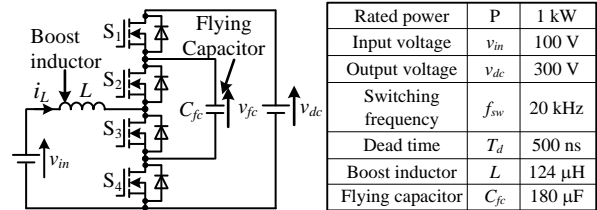


Fig. 1. Circuit diagram of FCC and its condition.

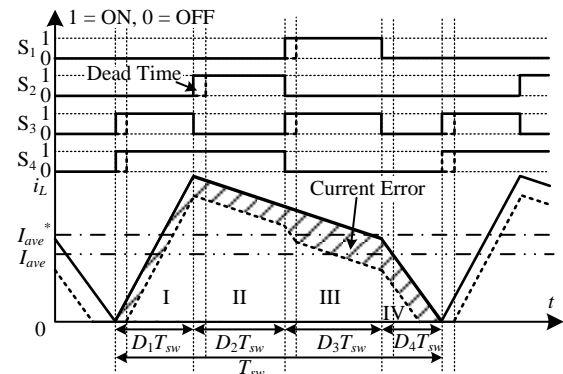


Fig. 2. Inductor current waveform and gate signals of MOSFETs of FCC in rated power. (With dead time)

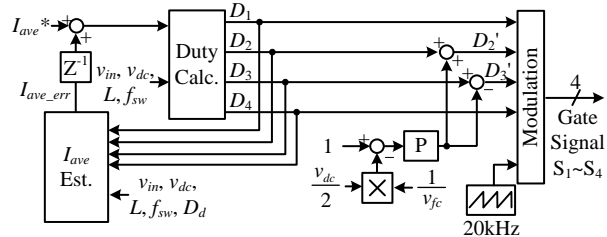


Fig. 3. Block diagram for proposed current error compensation.

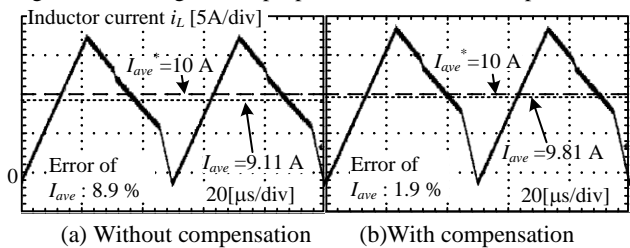


Fig. 4. Operation waveforms

入された場合のインダクタ平均電流は 9.11 A となる。補償適用前におけるリアクトル平均電流には指令値に対して 8.9%の誤差が生じているが、(b)に示す補償適用後は誤差が 1.9%に低減されている。本補償の適用前と適用後で 78.7%誤差が減少したことから、提案法の有用性が確認された。補償後も平均電圧誤差が生じる原因として、フライングキャパシタ電圧に生じている 10 V の定常偏差が挙げられる。これはフライングキャパシタ電圧の制御に P 制御を用いているためである。

今後は、軽負荷時のデッドタイム誤差補償の検討とその実機実証を行う予定である。

文 献

- (1) 宮崎: 三菱電機技報, Vol. 88, No. 5(2014)
- (2) 石橋ほか: JIASC2018, No. 1-29(2018)