

電流不連続モードで動作するフライングキャパシタコンバータの動作検証

◎石橋 諒一, 高岡 渚, レ ホアイ ナム, 伊東 淳一 (長岡技術科学大学)

1. はじめに

近年, 太陽光発電向けパワーコンディショナの高パワー密度化を目的に, 昇圧回路の小型化が求められている。特に, リアクトルの小型化は昇圧回路の体積削減に有効である。ここで, リアクトル電流の制御方式として, 電流連続モード(CCM)と電流不連続モード(DCM)がある。DCM 適用時は, CCM 適用時に比べ昇圧リアクトルを小型化できる。これまでに, DCM を適用した昇圧回路は報告されているが, DCM では電流ピーク値が大きくなるため, 大きな電流容量のスイッチング素子が必要となる⁽¹⁾。

そこで本論文では, 更なる高パワー密度化を目的に, DCM で動作する 3 レベルフライングキャパシタコンバータ(FCC)を提案する。提案回路では, 昇圧チョップに比べ電流リップルのピーク値を小さくできるため, 小容量のスイッチング素子が使用できる。本論文では, DCM を適用した 2 レベルの昇圧チョップと FCC の電流リップルのピーク値をそれぞれ比較する。比較結果より, 提案する FCC の電流リップルピーク値が昇圧チョップに比べて低減できることを確認したので報告する。

2. 動作モードと制御方法

図 1 に FCC の動作モードを示す⁽²⁾。図 1 より, 提案 FCC 方式では, 4 つのモードを用いてリアクトル L に流れる電流 i_L を制御する。ここで, FCC の電流ピーク値を抑制するために, Mode I→II→III→VI の順にスイッチングを行うものとする。また, 入力電圧 v_{in} , 出力電圧 v_{dc} , フライングキャパシタ電圧 v_{fc} は下記の条件を満たす必要がある。

$$v_{in} \leq \frac{v_{dc}}{2}, \quad v_{fc} \leq v_{in} \quad \dots \dots \dots (1)$$

FCC において, C_{fc} に流れる電流の時間積が 1 スwitchング周期でゼロとならなくてはならない。従って, Mode II と Mode III の i_L の電流時間積は等しくなるようデューティを設計する。これらの条件を用いて, 各モードのデューティ及び FCC における電流ピーク値を設計する。

3. シミュレーション結果

本制御における電流リップル低減効果を確認するために, 昇圧チョップと FCC における伝送電力 P 及び L , 各電圧を同条件としたときのリアクトル電流リップル i_{peak} を比較する。なお, 比較対象の昇圧チョップは図 1 中の S_2, S_3, C_{fc} を除いたシンプルな構成とし, デューティは昇圧率により一意に決定される。

提案手法の有用性を確認するために, シミュレーションによる検証を行った。なお, シミュレーション条件は $v_{in} = v_{fc} = 150 \text{ V}$, $L = 100 \mu\text{H}$ とした。

図 2 に $P = 1.5 \text{ kW}$, $v_{dc} = 350 \text{ V}$ としたときのリアクトル電流波形を示す。図 2 (a)は昇圧チョップ($f_{sw_BC} = 42.8 \text{ kHz}$), (b)は FCC($f_{sw_FCC} = 30 \text{ kHz}$)の DCM 適用時の波形をそれぞれ示す。図 2(a)より, 昇圧チョップに DCM を適用した場合, 電流リップルは大きくなる。一方, 図 2(b)より, FCC 構成に DCM を適用した場合, 1 周期中の i_L は台形状に制御され, 昇圧チョップ時と比べて電流ピーク値は小さくできている。同一電力を伝送する場合, FCC 構成は昇圧チョップ構成と比べて電流ピーク値を抑制できる。

図 3 に両回路方式における電流ピーク値の比較結果を示す。図 3 より, 同一伝送電力 P では, 昇圧比 α が大きくなると平均電流に対する電流ピーク値も大きくなる。これ

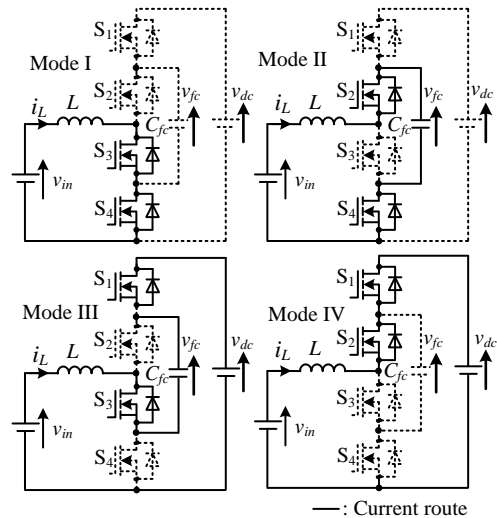
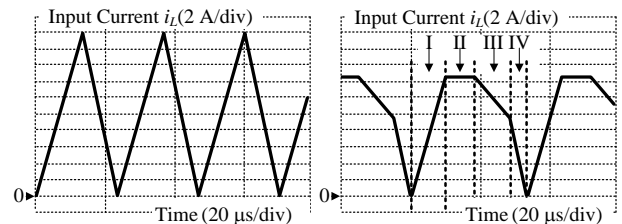


Fig.1 Operation Modes



(a) Boost Chopper (b) FCC
Fig. 2. Operation waveform ($P = 1.5 \text{ kW}$, $v_{dc} = 350 \text{ V}$)

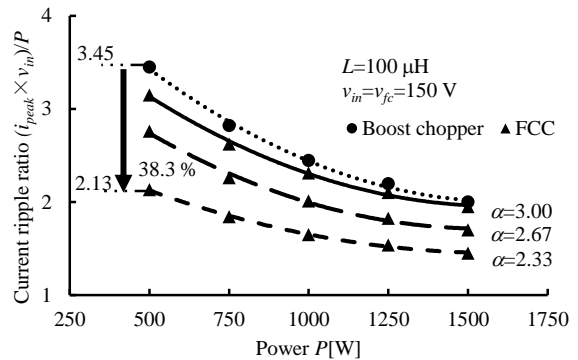


Fig. 3. Current Ripple Comparison

は, 昇圧比が大きくなるとリアクトル L への充電モードである Mode I の期間が長くなり, 同一 L 値では昇圧比が小さい場合に比べ電流ピーク値が大きくなるためである。また, 同一昇圧比 α では, 伝送電力が小さくなると昇圧チョップ構成の電流ピーク値に対する差が大きくなる。検証結果より, 今回検証した昇圧比 α 及び伝送電力 P の範囲では, 両回路構成における伝送電力 P 及び L が同じ条件とする場合, 昇圧チョップ構成に比べ FCC 構成は入力電流リップルを最大 38.3% 減少できる。今後は, 損失解析や, 実験による提案制御の検証を行う。

文 献

- (1) Nam ほか: EPE 2015, DS1b-Topic 3-0484(2015)
- (2) 松浦ほか: SPC 沖縄, SPC-11-098(2011)