

フライングキャパシタ形 DAB コンバータの 動作モード切り替え時の過渡応答改善

比嘉 隼*, 伊東 淳一 (長岡技術科学大学)

Improvement of Transient Response for Flying Capacitor Dual Active Bridge Converter at Changing Operation Mode
Hayato Higa, Jun-ichi Itoh (Nagaoka University of Technology)

1. はじめに

近年、スマートグリッドの普及を背景に、高圧直流電圧 (380 V) と低圧バッテリーを接続するデュアルアクティブブリッジ (DAB) コンバータが注目されている。しかし、バッテリーの電圧変動に対して効率が低下する。これに対し、フライングキャパシタ (FC) 形 DAB コンバータを用いて電圧および負荷変動に対して動作モードを切り替えることで従来の DAB コンバータより ZVS 範囲の拡大および無効電流の低減できることを明らかにしている⁽¹⁾。動作モードを切り替える場合、レグ間でゲート信号の位相差を変える必要がある。しかし、全ゲート信号の位相を同時に変えると直流偏差が発生し、電流ピーク値が増加する⁽²⁾。従来の DAB コンバータでは、各レグの位相シフト量の更新タイミングを変えることで直流偏差を抑制する手法が検討されている⁽³⁾。しかし、複数のキャリアを使用する FC 形 DAB コンバータに適用した場合の直流偏差抑制効果に関しては明らかになっていない。

そこで、本論文では各キャリアの位相シフト量を基準キャリアの山と谷で変更する方式を提案する。提案方式を適用することで、動作モード切り替え時のピーク電流を最大 24% 低減できることを実験により確認したので報告する。

2. 回路構成および位相シフト方式

図 1 に FCDAB コンバータの回路図を示す。この回路は高圧側に FC インバータ、低圧側に 2 レベルインバータで構成される。高圧側回路は 3 レベル電圧を出力できるフライング形のレグにより、フルブリッジ構成となっている。そのため、各レグの出力モードの組み合わせから (1) トランスに印加される電圧波形が 5 レベル波形となる 5 レベル動作、(2) 入力電圧がそのままトランスに印加されるフルブリッジ (FB) 動作、(3) 入力電圧の 1/2 がトランスに印加されるハーフブリッジ (HB) 動作が可能である。

図 2 にキャリア 1 周期の FCDAB コンバータの動作波形を示す。U 相および V 相のアーム電圧において入力電圧の半値を出力する期間 α と各相電圧 v_{1u} , v_{1v} の位相差 β により各電圧レベルの期間を決定する。また、 $\alpha=0 \text{ rad}$, $\beta=0 \text{ rad}$ とすることで FB 動作、 $\alpha=\pi/4 \text{ rad}$, $\beta=\pi/2 \text{ rad}$ とすることで HB 動作となる。

図 3 に提案するキャリア位相シフト方式を用いた場合の

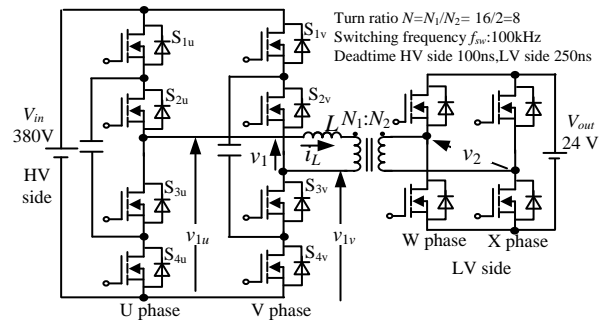


Fig. 1. Configuration of FC DAB converter

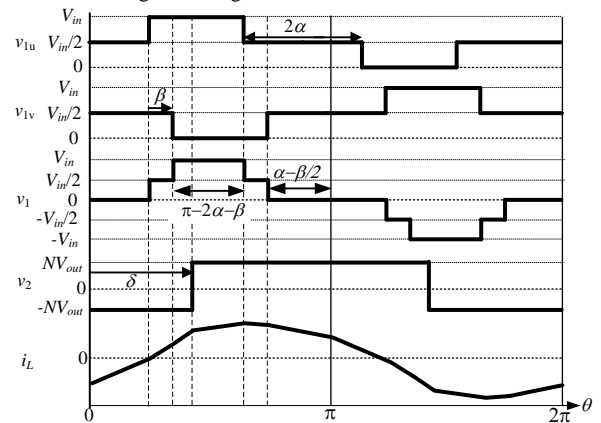


Fig. 2. Switching pattern for FC DAB converter

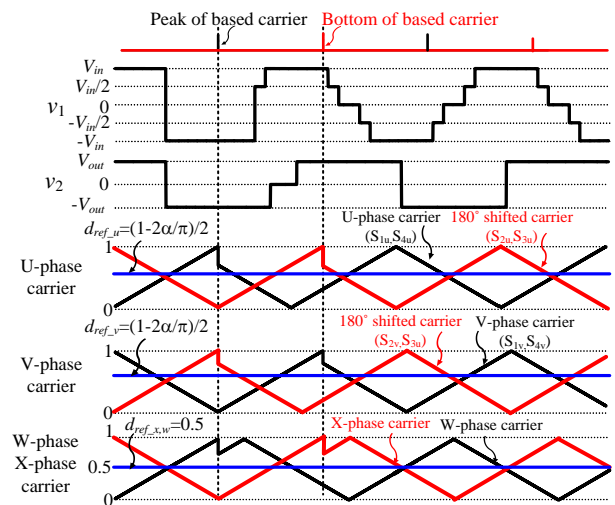


Fig. 3. Relationship among carriers and output voltage of each inverter with proposed method.

各キャリアと各インバータ出力電圧の関係を示す。高圧側にあるFCインバータは各legで 180° の位相差を持たせた2つのキャリアを使用する。さらに、U相、V相キャリアの位相シフト量を変えることで各アーム電圧 v_{1u} 、 v_{1v} の位相差 β を制御する。なお、高圧側インバータのデューティ指令は $(1-2\alpha/\pi)/2$ 、低圧側インバータのデューティ指令は0.5となる。提案するキャリア位相シフト方式は基準キャリアの山と谷の2回に分けて各キャリアの位相シフト量を変更する。まず、基準キャリアの山でU相キャリアとV相反転キャリア、W相キャリアの位相を変更する。次に、基準キャリアの谷でU相反転キャリアとV相キャリア、X相キャリアの位相を指令値となるように変更する。これにより、動作モード切り替え時の各インバータ出力電圧の電圧時間積が小さくなり、動作モード切り替え時の直流偏差を抑制できる。

3. 実験結果

本章では提案方式の妥当性を確認するために、図1に記載している実験条件を用いて従来方式と提案方式の比較を行う。また、従来方式は基準キャリアのピークのタイミングで全キャリアの位相シフト量を変更している。

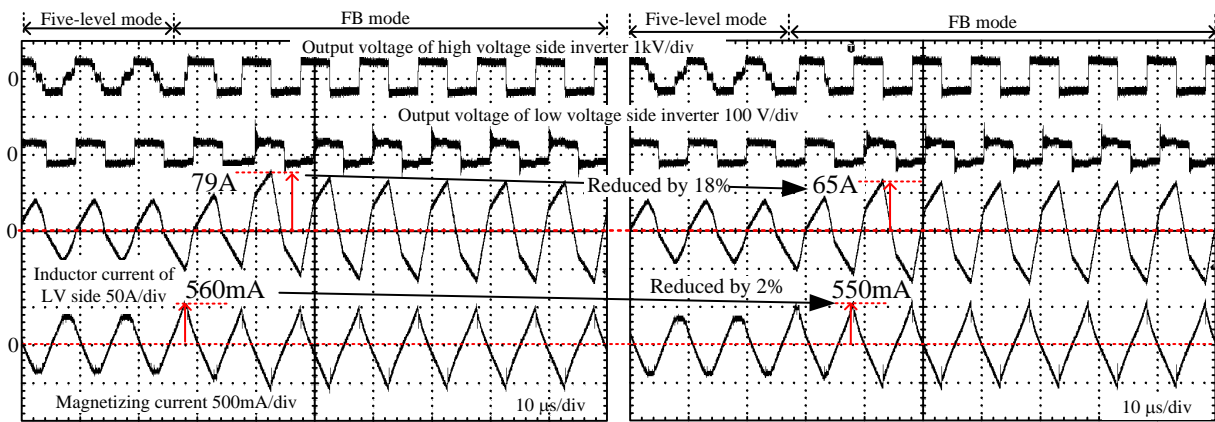
図4に5レベル動作からFB動作に切り替えた場合の実験結果を示す。図4(a)は従来の位相シフト方式、図4(b)は提

案する位相シフト方式の結果である。なお、各インバータの出力電圧の位相差 δ は $\pi/5$ radから $2\pi/5$ radに変更している。図4(a)と図4(b)の切り替え時のピーク電流を比較すると、低圧側インダクタ電流では79Aから65Aとなり、ピーク電流を18%低減している。しかし、励磁電流のピーク値は560mAから550mAと直流偏差の低減効果が小さい。これは、動作モードの切り替え時の電圧時間積の変化が小さいためである。

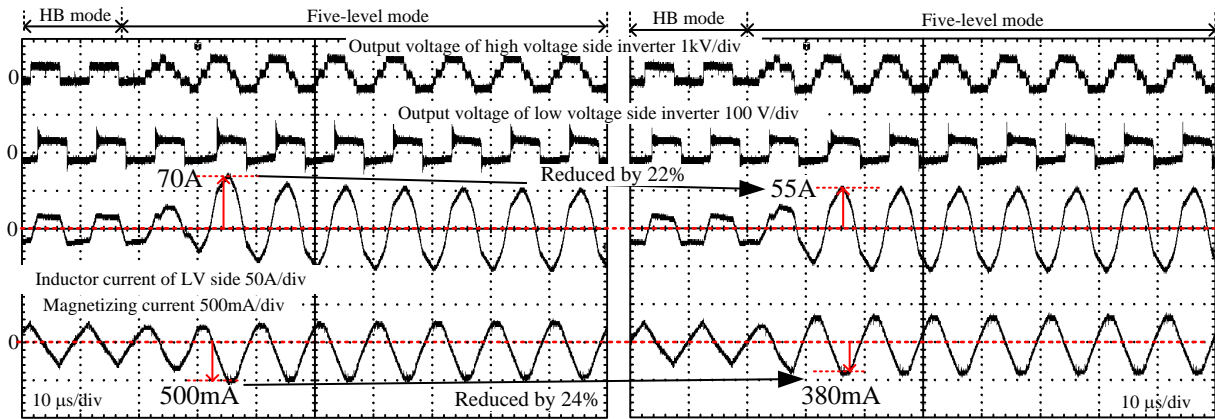
図5にHB動作から5レベル動作に切り替えた場合の実験結果を示す。図5(a)は従来の位相シフト方式、図5(b)は提案する位相シフト方式の結果である。なお、図4と同様に各インバータの出力電圧の位相差 δ は $\pi/5$ radから $2\pi/5$ radに変更している。図5(a)と図5(b)の切り替え時の各電流を比較すると、低圧側インダクタ電流では70Aから55A、励磁電流は500mAから380mAとなり、ピーク電流を最大24%低減している。以上の結果から提案方式の妥当性を確認できる。

文献

- (1)比嘉, 伊東:産業応用部門大会, pp.I-61~I-64 (2016)
- (2) Xiaodong Li, et al: IEEE T.P.E.L, Vol. 29, No. 6, pp. 2661-2665 (2014)
- (3)高木, 藤田:電学論 D Vol 136, pp.622-628 (2016)



(a) With conventional method (b) With proposed method.
Fig.4 Transient response of changing operation mode from Five-level mode to FB mode.



(a) With conventional method (b) With proposed method.
Fig. 5 Transient response of changing operation mode from HB mode to Five-level mode.