

VVVF 動作における直並列補償方式と 単相 BTB システムの動作比較検討

山ノ口 皓喜*, 渡辺 大貴, 伊東 淳一 (長岡技術科学大学)

Comparison of series-parallel converter and single-phase BTB system for VVVF operation
Koki Yamanokuchi, Hiroki Watanabe, Jun-ichi Itoh (Nagaoka University of Technology)

1. はじめに

直列形, 並列形コンバータを併用した直並列補償方式は, 単一の電力変換器をマルチセル構成とすることで柔軟に電力容量を設計可能という特徴から, UPS などの CVCF 用途で多くの研究が行われている⁽¹⁾⁻⁽³⁾。しかし, VVVF 動作における定量的な検討はほとんどされていないように思われる。

本論文では, 主回路や制御回路, GDU 等を含めてモジュール化した USPM(Universal Smart Power Module)による AC/AC 変換器の基礎検討を目的に, VVVF 動作における BTB システムとの比較検討を行った。結果より, 昇圧動作においては変換器容量の観点で単相 BTB に対して優位性があることを明らかにしたので報告する。

2. USPM の概念および検討回路構成

<2・1>USPM の概要 USPM とは電力変換器としての駆動に必要な主回路, 制御回路などをすべて内包した電力変換モジュールのことを示す。USPM では, 従来アプリケーションごとに専用設計する必要があった電力変換器設計を, USPM の組み合わせのみで実現することができる。これにより, 様々な仕様に対する設計の単純化, 設計コスト低減や開発納期の短縮化を目指している。

USPM 自体は高速なフィードバック制御を有し, 電圧や電流指令に対して高速に応答して波形を出力する。そのため, USPM は単体では任意波形を生成する電圧源, 電流源のように振る舞い, それらの動作を協調させることで電力変換器としての動作を実現する。

<2・2>BTB および直並列補償方式の構成および動作

図 1 に BTB の回路図を示す。図 1(a)の等価回路より, BTB は入出力で制御が独立しているため, いかなる条件でも全電力を変換する必要がある。ここで, 本方式は直並列接続により多様な仕様に対応できるが, 三相化を含めて考えると専用設計が必要となる。回路構成は一般的な PWM 整流器と VSI とする。また, 直流コンデンサの変数 H は単位静電定数を表す⁽⁴⁾。

図 2 に直並列補償方式の原理図および USPM を用いた回路図を示す。直並列補償方式は入力側電源に並列接続された電流源と負荷側に直列接続された電圧源で構成され, 電

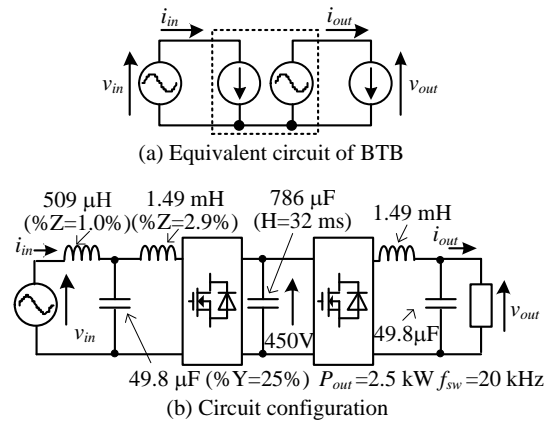


図 1 BTB システム.
Fig.1. BTB system.

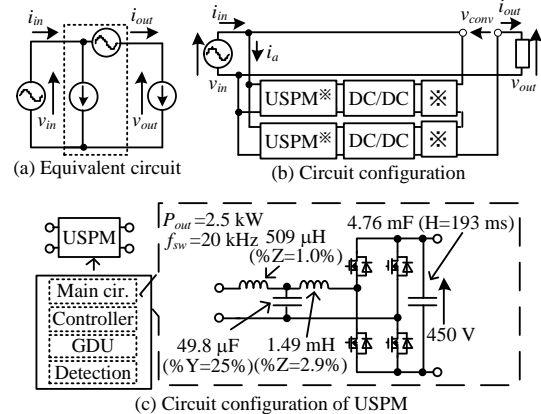


図 2 直並列補償方式および USPM 回路図
Fig.2. Series-parallel compensation method

圧変換および電流補償の原則に乗っ取る方式である。本方式は, 各電源が入出力の差分電圧電流を補償することから, 条件によっては全電力を変換する必要がない。また, この方式は入力電圧源または負荷に対して単相コンバータが 1 対 1 に対応するため, 直並列構成が容易である。したがって, 本論文では USPM を用いて直並列補償方式を設計する。また, 同様の構成で三相にも対応できる。

また図 2(c)に示すとおり, USPM の主回路は H ブリッジ回路で構成される。ここで並列側の USPM は LCL フィルタ構成とし, 入力電流制御を行う。直列側の USPM は LC フ

フィルタ構成とし、フィルタキャパシタ電圧の電圧制御を行う。また本回路方式では USPM 間で電力融通が必要なため、双方向の絶縁形 DC/DC コンバータを用いる。

<2・3> VVVF 動作時の直並列補償方式の補償電力

VVVF 動作の原理は CVCF 動作時と同様だが、各変換器の瞬時電力の条件が変化する。ここで、直列形コンバータの瞬時電力の一般式は(1)式で表される。

$$\begin{aligned}
 -v_{conv} i_{out} = & V_{out} I_{out} \cos(\theta_{out}) + V_{out} I_{out} \cos(2\omega_{out} t + \theta_{out}) \\
 & -V_{in} I_{out} \cos\left\{(\omega_{in} + \omega_{out})t + (\theta_{in} + \theta_{out})\right\} \\
 & -V_{in} I_{out} \cos\left\{(\omega_{in} - \omega_{out})t - (\theta_{in} - \theta_{out})\right\} \quad (1)
 \end{aligned}$$

ここで、 θ_{in} および θ_{out} は入出力電圧を基準とした入出力電流の位相である。また(1)式右辺において第1項が有効電力、第2項から第4項が電力脈動成分を意味する。CVCF 動作時は右辺の各項が打ち消し合い、入力電圧変動時のみ変動分電力を補償するため、変換器容量が小さくなる。

一方、VVVF 動作時は右辺の各項が打ち消し合わないため、直並列コンバータの補償電力が増加する。この補償電力分は直流コンデンサが補償する必要があり、同じ静電容量で設計した場合、BTB に対して直流電圧リップルが増加する。

3. 単相 BTB システムとの比較

図3に出力電圧 200 V_{rms} 時における半導体損失と出力周波数の関係を示す。なお、キャリア周波数は 20 kHz としている。BTB は出力周波数に対してほぼ一定の損失となる。一方、直並列補償方式は入出力周波数が同一となる条件では変換器側にほぼ電流が流れないため、損失が低減する。

図4に出力周波数 50 Hz, 100 Hz における各方式の損失分離結果を示す。なお、今回はインダクタの銅損、鉄損は考慮していない。また、入力電圧源の周波数は 50 Hz とする。出力周波数可変時は直並列コンバータが入出力合わせた電流および電圧を補償するため、BTB に対して損失が大きい。入出力周波数同一において系統擾乱等のない定常時は直並列形コンバータおよび絶縁形 DC/DC コンバータがほぼ電力変換する必要がないため、損失が非常に小さい。ただし、直列形コンバータ側には常に負荷電流が流れるため、損失が発生する。ここで、直列形コンバータの並列化により導通損を低減することで直並列補償方式が損失の観点で BTB に対してさらに優位となる。

図5に出力電圧 V_{out} に対する変換器容量の関係を示す。ただし、入力電圧は 200 V_{rms} で一定、出力電圧は 200 V_{rms} を 1p.u.、変換器容量は 2.5 kVA を 1p.u. とした。また、変換器容量は入出力電圧出力に最低限必要な直流電圧および出力電力 2.5 kW 時の電流により決定した。

BTB は整流器と VSI の直流電圧が同一のため、出力電圧 1p.u.以下で出力電流定格により VSI の変換器容量が大きくなり、出力電圧 1p.u.以上で直流電圧の増加により整流器の変換器容量が大きくなる。一方、直並列補償方式は補償のみ電力変換するため、(1)式第3項および第4項より出力電圧が高いほど補償電力が小さく、BTB に対して変換器容量

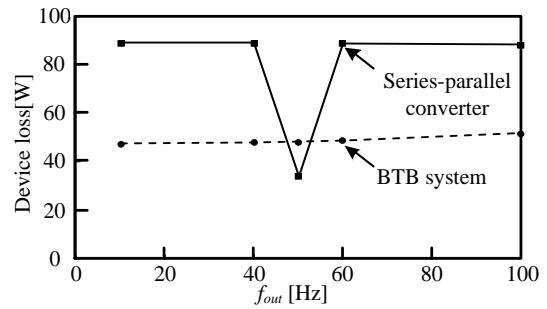


図3 出力電圧 200 V_{rms} における半導体損失と出力周波数の関係
Fig.3. Relationship between device loss and output frequency when output voltage is 200 V_{rms}

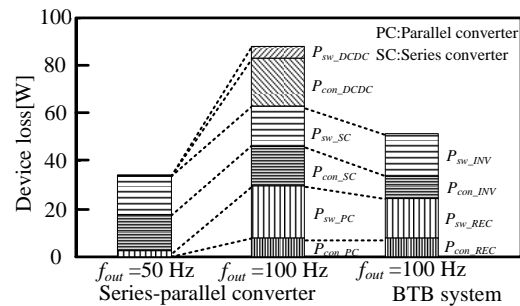


図4 デバイスの損失分離結果
Fig.4. Device loss separation

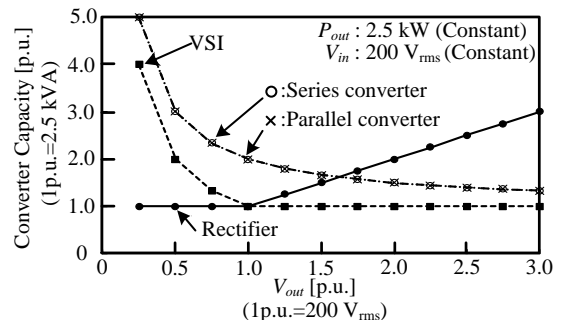


図5 出力電圧可変時の変換器容量
Fig.5. Converter capacity when output voltage is varied

が小さくなる。

4. まとめ

本研究では VVVF 動作時における直並列補償方式の特性取得を目的に単相 BTB と比較を行った。結果として、VVVF 用途における直並列補償方式は昇圧動作において変換器容量の観点で BTB に対して優位性を示した。

本研究は、内閣府総合科学技術・イノベーション会議の戦略的イノベーション創造プログラム (SIP) 「IoT 社会のエネルギーシステム」(管理法人: JST) によって実施されました。

文献

- (1) R. Barriviera, et al., XI Brazilian Power Electronics Conference, pp. 844-849, 2011
- (2) 黒田 岳志ほか, 電気学会論文誌D (産業応用部門誌), 126 巻, 5 号, p. 673-680, 2006
- (3) 地道 拓志ほか, 電気学会論文誌D (産業応用部門誌), 125 巻, 12 号, p. 1153-1160, 2005
- (4) 五十嵐 浩明ほか, 電気学会論文誌D (産業応用部門誌), 123 巻, 9 号, p. 1021-1028, 2003