

直並列切換型アクティブ・バランス回路の製作に向けた DAB コンバータの効率改善

Improving the Efficiency of DAB converters for Creating series-parallel Switching Active Balance Circuits

松崎恵太
指導教員 米盛弘信

サレジオ工業高等専門学校 生産システム工学科 産業応用研究室

昨今、リチウムイオンバッテリーは広く利用されている。リチウムイオンバッテリーを安全に高効率で利用するため多くの場合、セルバランス回路が使用される。本稿では提案型の直並列切換型アクティブ・バランス回路で使用するために製作した絶縁型双方向コンバータ(DAB コンバータ)の効率改善を行う。

キーワード：リチウムイオンバッテリー，セルバランス回路，DAB コンバータ

1. 緒言

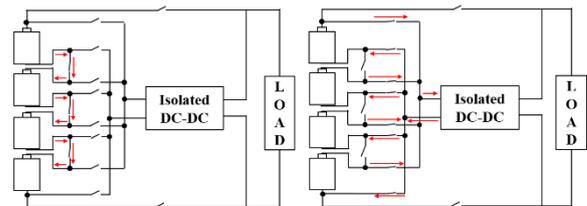
リチウムイオンバッテリーはノートパソコンやスマートフォンなどの小型なものから、電気自動車といった大型なものまで広く利用される。しかし、重量エネルギー密度が低く、電気自動車や再エネをより普及させるためには、より高効率に使用することが求められる[1]。高効率使用に伴う課題として過充電・過放電による劣化が挙げられる。バッテリーは過充電・過放電してしまうと急速に劣化する。さらに、過充電・過放電を行うことは、安全性にも問題がある。このような経緯から、急速な劣化をさせずにより多くの電力を取り出すことが課題である。先行研究[2]では、セルバランス回路の提案とセルバランス回路に必要な絶縁型双方向コンバータ(DAB コンバータ)の試作を行い、位相-入出力電力特性を示した。

本稿では、絶縁型双方向コンバータの効率改善を行うため、電力損失が起きている箇所の特定を行う。また、電力損失箇所の改善を行ったのち再度、効率を測定し比較を行う。

2. 提案型セルバランス回路

図1は、提案する直並列切換型アクティブ・バランス回路である。この回路の特徴として、スイッ

チにより直列、並列に切り替えることが可能である。充電率のばらつきが大きい場合は並列接続に切り替えることで全セル同時にバランスを行うことができる。また、放電が進行した際に並列接続へ切り替えることにより、直列接続よりも低インピーダンスで放電できる。そのため、セルのエネルギーを最大限利用することができる。



(a) 全セルの直列使用 (b) 全セルの並列使用

図1 直並列切換型アクティブ・バランス回路

3. DAB コンバータの損失分析

図2にDABコンバータの主回路を示す。同回路をインバータ部とトランス部に分類し、それぞれの電力損失箇所を分析する。まず、インバータ部は、先行研究[2]でも述べたように、ソフトスイッチングが達成できておらず、ターンオフ時にスイッチング損失が発生している。そのため、MOS-FETのCossに適したデッドタイムを設け改善を行う必

要がある。

次にトランス部である。図3にトランスの効率特性を示す。実験条件としてはスイッチング周波数 21.3kHz とし、コアは PQ32/30 コアを使用している。比較を行うトランスは先行研究で使用したトランス（巻き数 20T・エアギャップ 0.2mm）と今回比較用に製作したトランス（巻き数 25T, 30T・エアギャップ 0.2mm）の3つである。入力 1VA から 20VA まで 1VA ステップで変化させた際の各トランスの効率を測定する。20T トランスは最大効率約 81%, 最低効率約 66%, 平均効率 76.3%であった。25T トランスは最大効率約 90%, 最低効率約 76%, 平均効率 86.1%であった。30T トランスは最大効率約 91%, 最低効率約 76%, 平均効率 87.6%であった。以上の結果より今回比較したトランスの中では、30T トランスが最大効率・平均効率ともに高い結果となった。先行研究で使用した 20T トランスは損失が大きく DAB コンバータ全体の効率を大きく低下させていたことが確認できた。

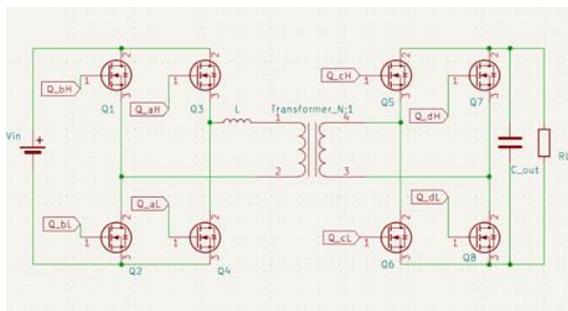


図2 DAB コンバータの主回路

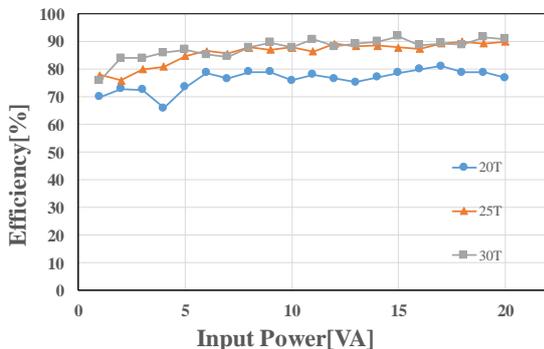


図3 トランスの効率特性

4. 実験方法

3章で比較を行ったトランスのうち最も効率が低い 30T トランスと最も効率が低い 20T トランスを DAB コンバータに搭載し、全体効率の比較を行

う。実験条件としては、電子負荷 CV モード 3V, 直流安定化電源 CV モード 4.5V に設定する。スイッチング周波数は 21.3kHz とし、位相を -90 度から 90 度まで 10 度ごとずらした際の入出力電力特性を測定する。

5. 実験結果

図4に位相-変換効率特性のグラフを示す。縦軸は効率、横軸は 360 度を 1 として正規化した位相である。また、基準相に対して制御相の位相を遅らし、1 次側から 2 次側への電力伝送は $0 < \phi_d$ とし、基準相に対して制御相の位相を進めて、2 次側から 1 次側への電力伝送は $0 > \phi_d$ とする。20T トランスを使用した DAB コンバータは最大効率約 78%, 最低効率約 0.16%, 平均効率 34%であった。30T トランスを使用した DAB コンバータは最大効率約 73%, 最低効率約 30%, 平均効率 54%であった。最大効率は 30T トランスが 5%低い、平均効率は 20%高い結果となった。

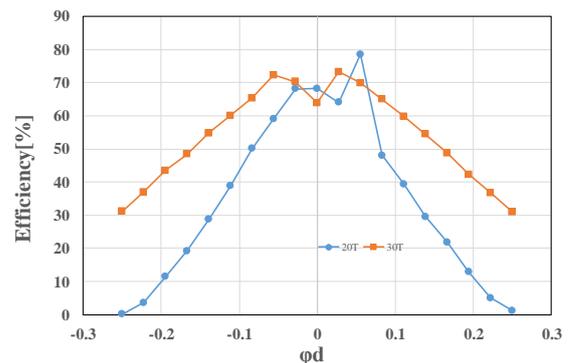


図4 位相-変換効率特性

6. 結言

本稿では、絶縁型双方向コンバータの効率改善を行うため、トランス単体で効率比較を行った。その後、DAB コンバータに搭載した際の全体効率を示した。今後は他の損失箇所の特定と改善を行う。

参考文献

[1] 鶴野 将年:「リチウムイオン電池&直列/並列回路入門」2023年10月1日初版発行 pp.9-10
 [2] 松崎恵太, 米盛弘信:「直並列切換型アクティブ・バランス回路の提案と DAB コンバータの試作」2024年(第42回)電気設備学会全国大会講演論文集, pp.538-539 (2024)