

交流電池に接続する倍電圧整流回路の動作特性

Operating Characteristics of a Double Voltage Rectifier Circuit Connected to an AC Battery

千葉穰¹⁾

指導教員 米盛弘信¹⁾

1) サレジオ工業高等専門学校 専攻科 生産システム工学専攻 産業応用研究室

キーワード：交流電池, EDLC, 倍電圧整流回路

1. 緒言

現在、あらゆる製品に使用されている電池は、1800年にボルタが銅を負極、亜鉛を正極として一次電池を実用化して以来、直流電源という認識が一般的である。本研究室では、安全性と小型化・高効率化を目指した世界初の独立型交流電池^[1] (AC Biode 社製)に関する共同研究を2020年からスタートした。共同研究の内容として、交流電池から出力される交流電圧から直流高電圧を得るために市販されている静電容量数400F程度の電気二重層キャパシタ(EDLC:Electrical Double Layer Capacitor)を実装させた倍電圧整流回路の開発を目的とする。

本稿では、実際に交流電池を実装させる前段階として、直流電源とHブリッジ回路(SiC-FET実装)を交流電池と模擬し、提案回路の動作確認を行う。本動作確認では、将来的に小型ドローンを飛行させる予定があるため、実動作を想定し、倍電圧整流回路の出力電流(負荷電流)を可変させた際の出力電圧・電力・効率を明らかにする。

2. 従来の直列接続型リチウムイオン電池パックの問題点と交流電池について

リチウムイオン電池はメモリ効果がないといわれているが、実際は経時的な使用によって内部抵抗が増加し、出力できるエネルギーが減少する。一般的に電気自動車等で使用しているリチウムイオン電池は、数多くのセルを直列接続し、大容量電池パックを構成している。同手法の場合、各セルにおける内部抵抗等の差異によって、各セルの充電バ

ランスにバラツキが生じる場合がある。そこで、各セルの電圧を監視するためのモニタ回路を設ける必要がある。また、複数のセルを直列接続して構成した電池パックの正極側と負極側に配置されたセルは、経時変化によって内部抵抗が高くなる傾向があり、電池劣化の要因となる。一対策案として、リチウムイオン電池のセルを並列接続して全セルに共通の電圧を印可する方法がある。並列接続した場合、内部抵抗のバラツキに起因する充電電圧の偏りがなくなるため上述した問題は軽減される。しかし、並列接続の場合、負荷が所望する電圧を得られない場合があり、昇圧回路が必要となる。また、電池にスイッチをつけて交流的に使用するとギブス現象によって電池の内部抵抗の増加を防ぐことが期待できる。そこで、独立型交流電池が開発され、充放電耐性があるEDLCを使用したCW(Cockcroft-Walton)回路や倍電圧整流回路と組み合わせる電源システムを構築するアイデアに至った。

図1は、AC Biode社が開発した交流電池の構造と充放電波形である。図1を見ると、負極(Anode)と正極(Cathode)の間にBiodeというAC Biode社が独自に開発した両性電極を配置している点の特徴である。同電池は、外部信号によって負極と正極をスイッチで切り替えて1波長の交流を得る仕組みになっている。したがって、AC Biode社の交流電池は、矩形波が出力される。以上より、図1の交流電池と大容量のEDLCを活用したCW回路や

倍電圧整流回路を組み合わせることによって、劣化が少ないシステムの構築を目指している。

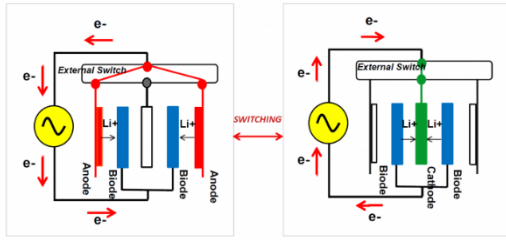


図1 交流電池の内部構造^[1]

3. 充放電実験の方法

図2に実験回路を示す。本実験回路は、独立型交流電池を直流電源とSiCタイプのMOS-FETを使用したHブリッジ回路の組み合わせで再現している。直流電源の出力値は、リチウムイオン電池を3直2並接続したことを想定して、12.6V(4.2V×3直)とした。Hブリッジ回路のスイッチング周波数は、1kHzとした。Hブリッジ回路で交流化された信号は、EDLC(400F-3V)9個直列を1ユニットにして構成した倍電圧整流回路で最大値25.2V弱まで昇圧される。ドローン等を想定した負荷は、菊水社製の直流電子負荷“PLZ334W”によってCC放電を行うことで再現する。実験手順は、以下の通りである。

- ① 無負荷状態で倍電圧整流回路内のEDLCを満充電させる。
- ② 電子負荷をCC動作させて1から10Aまで1Aステップで変化させる。
- ③ 各CC放電時において、倍電圧整流回路の出力電圧、および、直流入力電圧・電流を測定する。なお、測定値については、値が十分に定常状態になったことを確認してから取得する。
- ④ ③で測定した値から、直流の入出力電力、および電力変換効率を算出する。

4. 実験結果

図3は、各負荷電流に対する直流入力電圧・電流・電力、および倍電圧整流回路の出力電圧・電力、システム全体の電力変換効率を示す。倍電圧整流回路の最大出力電圧(EDLCを満充電させたとき)は、23.44Vと12.6Vのほぼ2倍の値が出力されたが、出力電流の増加とともに減少した。電力変換効

率は、0.3AでCC動作させた際に最大効率の89.9%を示した。また、出力電力は、10Aで最大になっており、本システムは最大効率点と最大出力電力点が異なることがわかった。

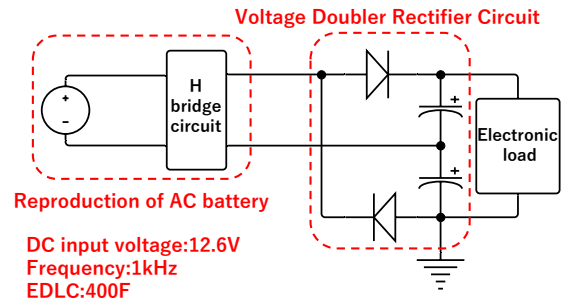


図2 充放電実験の回路構成

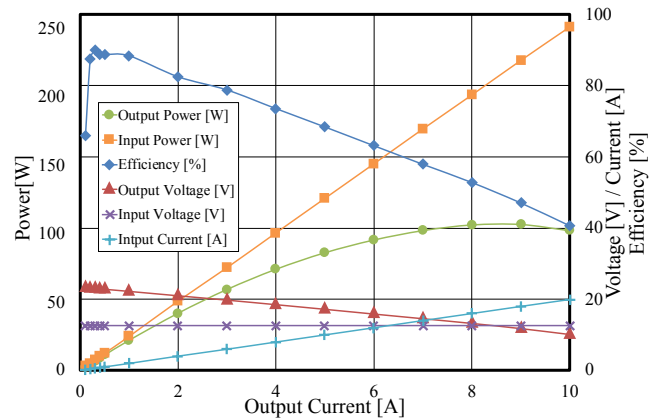


図3 倍電圧整流回路の動作特性

5. 結言

本稿では、交流電池を実装させる前段階として、直流電源とSiCタイプのMOS-FETを使用したHブリッジ回路を交流電池と模擬し、システムの特性を示した。結果として、システム全体の電力変換効率は最大で89.97%と比較的高い値を確認した。将来的には、小型ドローン等を駆動させる予定があるため、さらなる効率向上を目指し、駆動電圧・電流、および周波数の最適値を求めるための充放電実験を行う必要がある。

参考文献

- [1] AC Biode社, HP
<https://www.acbiode.com/home> (2021/10/15 閲覧)

謝辞

本研究を遂行するにあたり、豊富な知識と経験の下、適切なお助言を頂き、また、毎週のミーティングによるディスカッションを通して、ご指導賜りましたAC Biode社の皆様に深く感謝致します。