

# 電気二重層キャパシタを用いた 電動アシスト自転車用コンバータの設計・検討

◎野口 健二 折川 幸司 伊東 淳一

長岡技術科学大学 工学研究科

{k\_noguchi@stn. | orikawa@vos. | itoh@vos.}@nagaokaut.ac.jp

## 1. はじめに

近年、エネルギー蓄積デバイスとして、電気二重層キャパシタ(以下 EDLC)が注目されている。EDLC は、充放電に応じて出力電圧が大きく変動する特徴を有する。そのため、EDLC の出力電圧が変動しても一定電圧を出力する EDLC 充放電用 DC-DC コンバータが盛んに研究されている<sup>(1)</sup>。しかし、電動自転車や電気自動車などの移動体に実装する場合を想定して、EDLC と DC-DC コンバータの総合体積を考慮したコンバータの設計・比較検討を行った文献は、著者らの知る限りない。これまでに著者らは、電動自転車用アシスト電源への EDLC の適用について検討した。漕ぎ出しと短距離の坂道のアシストのみを想定し、小容量の EDLC に非接触給電システムで急速充電するコンセプトを提案している<sup>(2)</sup>。本論文では、EDLC 充放電用 DC-DC コンバータの方式として昇圧形と降圧形の電力損失及び体積の比較検討を行ったので報告する。

## 2. 検討する DC-DC コンバータの回路構成

図 1 に検討する 2 つの回路構成を示す。ここでは、昇圧形及び降圧形の DC-DC コンバータについて検討を行う。DC-DC コンバータの後段の三相インバータ及びブラシレス DC モータ(以下 BLDC モータ)は市販品である<sup>(3)</sup>。アシストに応じて、BLDC モータが加減速する。また、EDLC の出力電圧範囲および個数は、EDLC の充放電エネルギーが昇圧形と降圧形でほぼ同等(昇圧形は 56.5kJ, 降圧形は 58.0kJ)となるように設計する。なお、三相インバータの入力電圧の仕様は 24V であるため、DC-DC コンバータの出力電圧を 24V 一定に制御する。

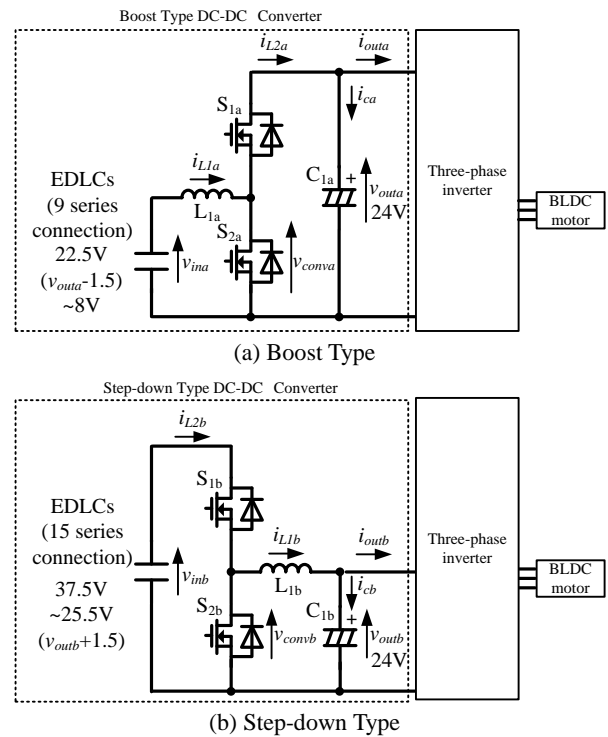


Fig. 1. Proposed circuit.

## 3. 平滑コンデンサの設計

本システムでは、自転車のペダルを踏む力によって、アシストするエネルギーが変化し、BLDC モータの負荷変動が起こる。そのため、平滑コンデンサの容量を大きくし、負荷変動による DC-DC コンバータの出力電圧変動を小さくするのが一般である。しかし、実装体積の観点から平滑コンデンサの体積は小型であることが望ましい。そこで、負荷変動に対する出力電圧の制御応答を高速にし、平滑コンデンサの体積を低減する<sup>(4)</sup>。ここでは、昇圧形と降圧形でコンデンサに流れるリップル電流値を計算し、定格リップル電流以上かつ体積と等価直列抵抗値が最小のコンデンサの容量  $C$  を決定し、許容電圧変動幅を満足する制御応答を設計する。

#### 4. 変換効率と体積の比較検討

図2に図1においてEDLCの電圧 $V_{in}$ を変化させた時の昇圧形と降圧形DC-DCコンバータの損失解析結果を示す。ここで、EDLCの電圧幅の範囲は、昇圧形と降圧形でEDLCの充放電エネルギーがほぼ同等となる範囲である。ここでは、DC-DCコンバータの出力電力は384W一定とし、デッドタイムなしとして解析を行う。図2より昇圧形はMOSFETの導通損と、スイッチング損が支配的で、降圧形はスイッチング損による損失が支配的であることがわかる。これは、昇圧形では降圧形に比べ、低入力電圧により入力電流が大きく増加するためである。

図3に昇圧形と降圧形の出力電力と体積の関係を示す。ここで、EDLCの電圧は図2で損失が最大となる電圧としている。また、図中の体積はEDLCとコンバータの体積(平滑コンデンサ、ヒートシンク、リアクトルの合計)の合計である。なお、設計手法は文献(5)を参考にした。図3(b)より出力電力100W付近では昇圧形も降圧形もEDLCの体積が支配的であり、EDLCの個数が少ない昇圧形が小型であることがわかる。しかし、出力電力が1.1kW以上となると降圧形が昇圧形より小型化する。これは、昇圧形では出力電力に比例して平滑コンデンサのリプル電流が増加し、平滑コンデンサの体積の割合が増加するためである。一方、降圧形の場合は平滑コンデンサのリプル電流は出力電力に依存しない。そのため出力電力が増加しても、EDLCの体積に対して非常に小さいインダクタとヒートシンクの体積が増加するだけで、コンバータの体積はあまり増加しない。

この結果より、出力電力1.1kW以上では降圧形を、出力電力1.1kW以下では昇圧形を採用することでシステム体積を小型化できる。今回検討する電動自転車の最大出力電力は384Wであるので、昇圧形を採用する。今後は昇圧形DC-DCコンバータの製作と動作検証を行う予定である。

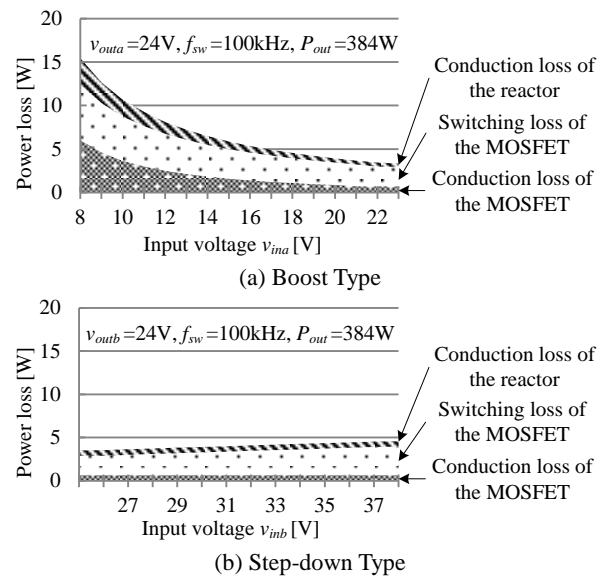


Fig. 2. Result of power loss analysis.

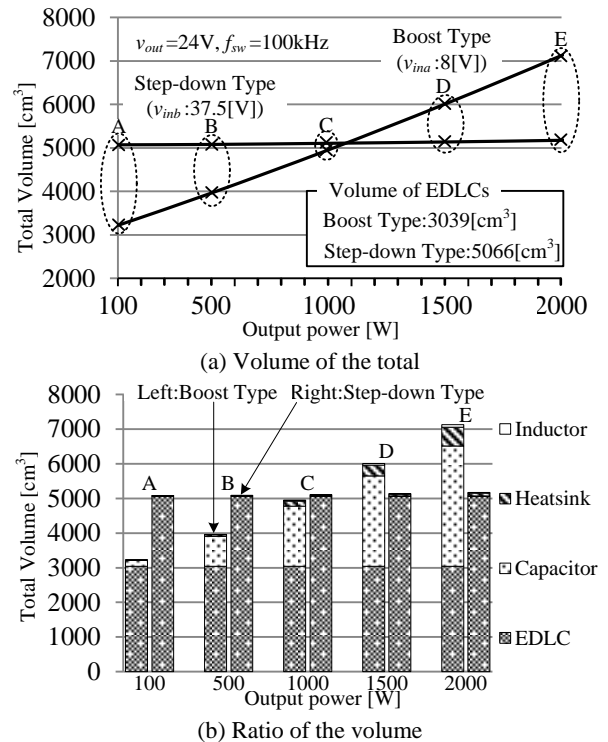


Fig. 3. Relationship of volume and output power for the Step-down type and Boost type.

#### 文 献

- (1) 船曳 繁之, 山本 真義: 電学論 D, Vol. 129, No. 6, pp. 658-663 (2009)
- (2) 野口, 他: 平成 24 年度電気学会北陸支部, A-66
- (3) ヤマハ発動機株式会社 PAS ワゴン (<http://www.yamaha-motor.jp/pas/lineup/wagon/>)
- (4) 渋谷貴之, 伊東淳一: 「制御応答の高速化による直流コンデンサ容量の最小化の検討」, SPC 大阪, SPC-12-026, pp. 151-156 (2012)
- (5) 榎原有吾, 伊東淳一: 「太陽光発電系統連係用インバータにおけるマルチレベル変換器トポロジーの性能比較」, SPC 島根, SPC-11-157, (2011)