

電気二重層キャパシタを用いた電動自転車の 回生時の電力損失の比較

野口 健二*, 折川 幸司, 伊東 淳一 (長岡技術科学大学)

Comparison for Power Loss during the Regeneration of Electric Assisted Bicycle using EDLC

Kenji Noguchi, Student Member, Koji Orikiwa, Member, Jun-ichi Itoh, Member (Nagaoka University of Technology)

1. はじめに

近年、長距離走行とバッテリーの小型軽量化を両立させるために、自転車の前輪にモータを組み込んだ回生充電機能付き電動アシスト自転車が販売されている⁽¹⁾。電源には高いエネルギー密度により長時間エネルギーを供給するのに適した、リチウムイオン電池(以下 Li-ion 電池)を用いている。しかし、Li-ion 電池はサイクル寿命が短いため、回生充電による充電頻度の増加は寿命低下を招く。一方で、筆者らはサイクル寿命が長い電気二重層キャパシタ(以下 EDLC)を用いた電動アシスト自転車を提案している⁽²⁾。本システムは電源に Li-ion 電池の代わりとして EDLC を用いることにより、長寿命化を達成できる。しかし、提案システムは EDLC の出力電圧を一定とするために双方向チョップを用いており、従来システムに比べ電力変換回数が増加するため、回生充電効率低下を招く恐れがある。

本論文では、双方向チョップを用いた場合と用いない場合の回生時のシステムの電力損失解析を行い、インバータ損失とチョップ損失及び EDLC 体積のトレード・オフの関係を明らかにしたので報告する。

2. 提案システム構成

図 1 に従来システム構成を示す。図 1 より回生充電時の電力変換回数は 1 回であり、電池電圧は 28 V ~ 24 V である。

図 2 に提案システム構成を示す。図 2 より双方向チョップを用いる場合、回生充電時の電力変換回数は 2 回である。また、チョップを用いる場合の EDLC 電圧は 17.5 V ~ 8 V である。

3. 回生時の電力損失の比較

表 1 に電力損失解析の条件を示す。インバータ及びモータは製品の仕様を用いている。表 2 にチョップなしでの比較条件を示す。ここで、EDLC のエネルギーは、漕ぎ出し時のアシストのみを考慮して 12.1 kJ で設計している⁽³⁾。そのため、EDLC 電圧範囲は 12.1 kJ 以上かつ最低限の個数となる範囲で設計している。また、EDLC は日本ケミコン社製の製品(700F: DDLE2R5LGN701KAA5S, 1400F: DDLE2R5LGN142KBF0S, 2300F: DDLE2R5LGN232KCH2S)で検討している⁽⁴⁾。

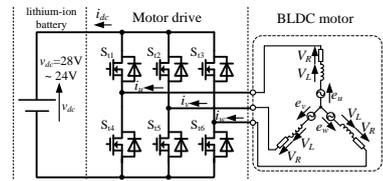
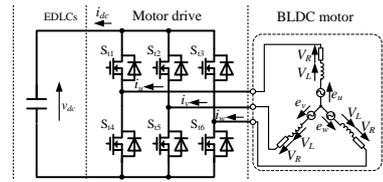
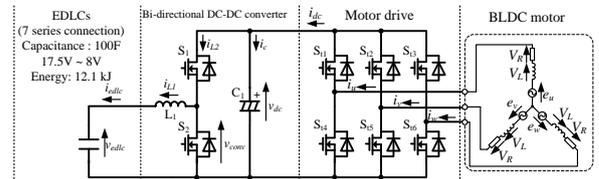


図 1 従来システム構成

Fig. 1. Conventional system configuration.



(a) Without chopper system.



(b) With chopper system.

図 2 提案システム構成

Fig. 2. Proposed system configuration.

表 1 電力損失解析の条件

Table I. Conditions of power loss analysis.

Items	Values
Output power of the motor	50 W
Switching frequency of the chopper	100 kHz
Inductance of the chopper	40 μ H
Capacitance of the chopper	2700 μ F

表 2 比較条件

Table II. Comparison condition.

Conditions	Total capacitance	EDLC voltage range
1	2.44 F	102.5 ~ 24 V
2	53.8 F	32.5 ~ 24 V
3	116.7 F	30 ~ 24 V
4	209.1 F	27.5 ~ 24 V

図3に自転車速度 20km/h 及び 8km/h 一定時で回生充電する場合の各比較条件の電力損失解析結果を示す。ここで、条件 5 はチョップパありの総合損失である。また、回生時のモータの出力電力を 50 W 一定となるように電流制御を行い、スイッチの素子耐圧は最大電圧の 2 倍となるような素子を選定し、損失が最大となる EDLC 電圧で解析を行う。

図 3(a)の自転車速度 20km/h の結果より条件 4 の電力損失が最小であることがわかる。したがって、チョップパなしで EDLC の仕様を設計する場合、静電容量が大きい EDLC を用いることで電力損失を低減可能である。

図 3(b) の自転車速度 8km/h の結果より、図 3(a)と同様に条件 4 の電力損失が最小であることがわかる。また、チョップパありの条件 5 がチョップパなしで静電容量が最小の条件 1 より電力損失が小さいことがわかる。これは、低速度領域では、モータの誘起電圧が小さくなるため、モータの電流が大きくなり、インバータ損失が増加するためである。

図 4 にチョップパを用いる場合(条件 5)において、条件 1~4 の回生充電効率より高く設計するためのチョップパに要求される変換器効率を示す。図 4 より、EDLC の最大電圧が最も低い条件では 99.9%以上、EDLC の最大電圧が最も高い場合は 93.9%以上のチョップパ効率が要求されることわかる。

図 5 に EDLC 体積の比較結果を示す。図 5 より、条件 4 は EDLC 体積が最も大きいことがわかる。したがって、チョップパなしとする場合、高効率重視とするなら静電容量の大きい EDLC を用い、小型化重視とするなら静電容量の小さい EDLC を用いる必要がある。また、条件 1 は条件 5 のチョップパありよりも小型である。

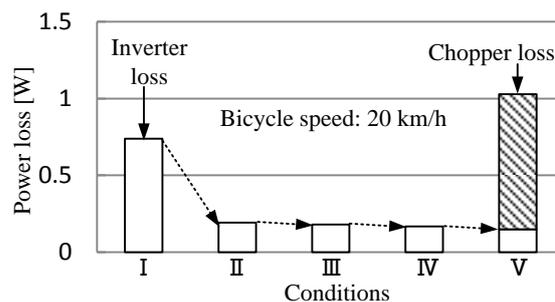
以上、変換器効率と EDLC 体積の比較より、最小体積で最大効率を得るには、チョップパを用いずに静電容量の小さい EDLC で設計し、モータの誘起電圧が高い領域で回生充電することで達成できる。今回は小型化を重視して、チョップパを用いるシステム構成(条件 5)で設計を行う。

図 6 に条件 5 で設計した時速 15km 一定時における EDLC へ回生充電した波形を示す。ここで、時速 15km は成人の自転車の平均速度である。図 6 より自転車の平均速度で、約 7 分で EDLC を満充電にできることがわかる。

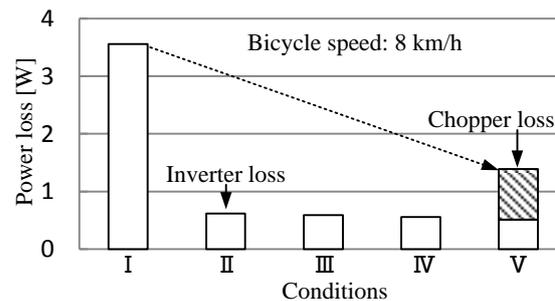
以上、双方向チョップパを用いた場合と用いない場合の回生時の電力損失解析を行い、トレード・オフの関係を明らかにした。

文 献

- (1) パナソニック サイクルテック株式会社 ビビチャージ
(cycle.panasonic.jp/products/electric/vivicharge/)
- (2) 野口・他：平成 26 年 電気学会 電子・情報・システム部門大会, MC5-5 (2014)
- (3) 野口・他：平成 26 年 電気学会 全国大会, Vol. 4, No. 082, pp. 136-137 (2014)
- (4) Nippon Chemi-Con Co.
(<http://www.chemi-con.co.jp/catalog/dl.html>)



(a) Bicycle speed: 20km/h.



(b) Bicycle speed: 8km/h.

図 3 電力損失解析結果

Fig. 3. Power loss analysis results.

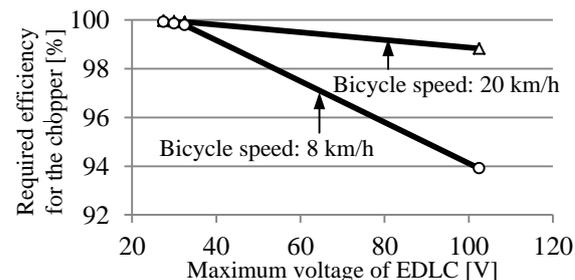


図 4 チョップパに要求される変換器効率

Fig. 4. Required efficiency for the chopper.

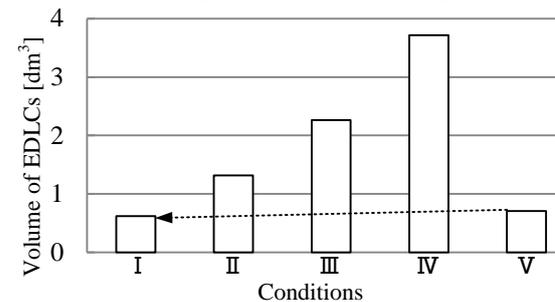


図 5 EDLC 体積の比較結果

Fig. 5. Comparison results of EDLC volume.

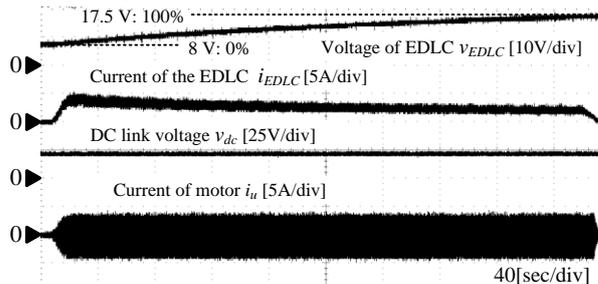


図 6 EDLC への回生充電波形

Fig. 6. Waveforms of regenerative charging to the EDLC.