

철도차량 추진용 이차전지의 고주파 특성 비교 연구

A comparative study on high-frequency characteristics of batteries for railway vehicle propulsion

권도훈, 김범준, 나석진, 조인호[†]

Do-Hun Kwon, Beom-Jun Kim, Seok-Jin Na, In-Ho Cho[†]

초 록 이차전지를 추진용으로 사용하는 철도차량은 추진시스템의 설계 및 구성 방식에 따라 이차전지에 인접하는 전력변환장치가 달라진다. 이때, 전력변환장치의 스위칭에 의해 발생하는 리플 전류가 이차전지에 흐르게 된다. 이 리플 전류는 이차전지에 영향을 줄 수 있으므로, 본 논문에서는 철도차량의 추진시스템 구성 방식과 사용하는 이차전지의 종류 및 전력변환장치의 스위칭 소자, 스위칭 주파수에 대하여 정리하였다.

주요어 : 리튬이온배터리, 슈퍼커패시터, 주파수 특성

1. 서 론

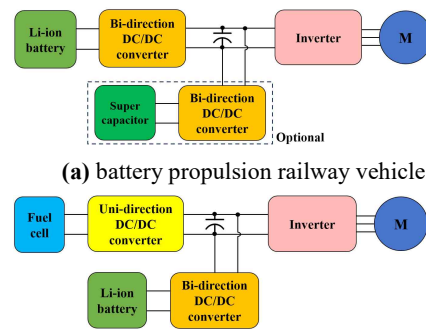
최근 지구 온난화가 심각해짐에 따라 저탄소 정책이 대두되고 있다. 그에 따라 탄소 발생이 적은 이차전지가 각광받고 있다. 이에 따라 철도차량에서도 이차전지의 적용이 늘어가는 추세이다. 철도차량에서 주로 사용하는 이차전지는 리튬이온배터리와 슈퍼커패시터가 있다. 이러한 이차전지들은 인접하는 전력변환장치의 스위칭으로 인하여 발생하는 리플 전류의 영향을 받을 수 있다. 이에, 본 논문에서는 이차전지의 종류와 전력변환장치의 스위칭 소자에 따른 스위칭 주파수에 대한 조사를 정리하고 비교하여 보았다.

2. 본 론

2.1 추진시스템 구성방식

이차전지를 추진용으로 사용하는 철도차량 추진시스템의 구조를 그림 1에 나타내었다. 배터리로 추진하는 철도차량은 그림1의 (a)와 같이 리튬이온 배터리 단독으로 사용하거나

기동 시 출력을 높이기 위하여 슈퍼커패시터를 추가로 사용할 수 있다. 또, 그림1의 (b)와 같은 수소연료전지 기반 하이브리드 철도차량의 경우, 회생제동이 불가능한 문제를 리튬이온배터리를 추가로 사용하여 해결한다.



(a) battery propulsion railway vehicle
(b) Hydrogen hybrid railway vehicle
Fig. 1 Structure of propulsion system

2.2 전력변환장치 스위칭 주파수

그림 1과 같이 두 종류의 철도차량에 쓰이는 전력변환장치는 양방향 컨버터, 단방향 컨버터, 인버터이다. 세 종류의 전력변환장치는 토폴로지별로 최대 스위칭 주파수가 달라지게 되므로 사용하는 스위칭 소자의 스위칭 주파수 대역을 조사하였다. 기존 전력변환장치들은 대전력에 강한 Si-IGBT를 사용하는데, 최근에는 스위칭 발열이 Si-IGBT 대비

[†] 교신저자: 한국교통대학교 융합기술대학 전자공학과 (ihcho@ut.ac.kr)

좋은 SiC-MOSFET을 사용하여 전력변환장치를 제작하기 시작하였다. 표 1은 두 스위칭 소자로 제작한 모듈의 최대 전력과 스위칭 주파수 대역에 대하여 정리한 것이다[1].

Switching element	Maximum power	Switching frequency
Si-IGBT	10MW	up to 20kHz
SiC-MOSFET	500kW	20kHz to 3MHz

Table. 1 switching frequency of switching module

2.3 리튬이온배터리

리튬이온배터리의 양극재는 NCM을 주로 사용한다. NCM 리튬이온배터리를 1Hz에서 30kHz의 주파수를 가지는 리플 전류와 DC 전류로 290일 동안 충·방전하였을 때의 배터리 수명을 그림 2로 나타내었다. 그 결과, 1Hz와 6.5Hz의 주파수에서 배터리의 수명감소는 다른 주파수 대역 및 DC 전류보다 1%p 이상의 차이를 보여주었다[2].

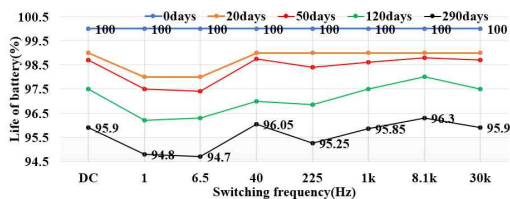


Fig. 2 influence of ripple current on Li-ion Battery

2.4 슈퍼커패시터

슈퍼커패시터를 100Hz, 1kHz, 10kHz 세 종류의 리플 전류와 DC 전류에 노출시켰을 때의 내부 저항값을 그림 3의 (a)에 나타내었다. 그 결과, 100Hz와 10kHz에서는 DC전류와 내부 저항값의 차이가 없는 것을 확인하였다. 1kHz의 경우, 오류가 발생하여 재시험을 한 결과 리플의 영향이 없는 것을 그림 3의(b)를 통해 나타내었다. 이를 통해 리플 전류는 슈퍼커패시터에 영향을 거의 주지 않음을 알 수 있다.

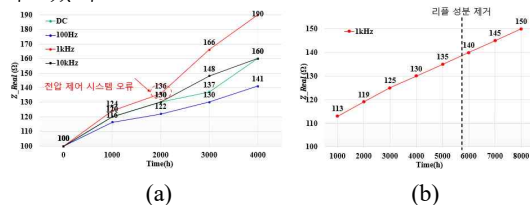


Fig. 3 influence of ripple current on Supercapacitors

3. 결과 및 분석

전력변환장치의 스위칭 소자에 따라 스위칭 주파수 대역이 나뉘었다. Si-IGBT는 1Hz~20kHz, SiC-MOSFET은 20kHz~3MHz였다. 이차전지의 경우 리튬이온배터리가 영향을 받는 주파수 대역은 10Hz 이하였고 슈퍼커패시터는 리플에 대한 영향을 거의 받지 않았다. 전력변환장치는 스위칭 주파수가 낮을수록 수동 소자의 크기가 늘어나고, 커질수록 스위칭 손실이 증가하게 된다. 철도차량의 경우 추진시스템을 경량화하는 것이 에너지의 효율을 높일 수 있으므로, 손실을 고려하여 스위칭 주파수를 kHz단위로 설계하는 것이 적절하여 보인다. 이를 통해 설계된 전력변환장치의 리플 전류는 이차전지에 큰 영향을 주지 않게 된다.

4. 결론

본 논문에서는 추진시스템의 구조와 사용하는 전력변환장치의 스위칭주파수와 이차전지가 영향을 받는 주파수 대역에 대하여 정리하였다. 이차전지를 사용하는 철도차량의 전력변환장치는 스위칭주파수가 kHz 단위로 고려된다. 그에 따라 10Hz 이하에서 영향을 받는 리튬이온배터리와 주파수에 거의 영향을 받지 않는 슈퍼커패시터는 전력변환장치의 스위칭으로 인해 발생하는 리플 전류에 영향을 받지 않음을 기대할 수 있다.

후기

이 논문은 2023년 한국교통대 지원을 받아 수행하였음

참고문헌

- [1] <https://semiengineering.com/silicon-based-power-semis-f ace-challenges/>
- [2] M. J. Brand, The Influence of Current Ripples on the Lifetime of Lithium-Ion Batteries, in IEEE TransactionsonVehicularTechnology, Nov. 2018
- [3] R. German, Study on specific effects of high frequency ripple currents and temperature on supercapacitors ageing, Microelectronics Reliability, Volume 55, 2015