

전기자동차 배터리 시스템의 고전압 릴레이 제어 연구

박정환, 차한주
SK컨티넨탈이모션, 충남대학교

HV relay control of battery management system for electric vehicle

Junghwan Park, Hanju Cha
SK Continental E-motion, Chungnam National University

ABSTRACT

본 논문에서는 전기자동차 고전압 시스템의 구성에 대하여 서술하고, 배터리의 에너지를 부하단의 액츄에이터에 전달 및 차단 역할을 수행하는 고전압 릴레이 동작에 대한 제어 알고리즘에 대하여 기술하였다. 또한 고전압 릴레이 제어시에 고려되어야 될 요소에 대한 이론적인 해석을 수행하였으며, 전기자동차의 고전압 시스템에 대한 모델링을 구현하고 스파이스 해석 툴을 통한 시뮬레이션으로 이를 검증하였다.

1. 서론

세계 각국에서는 자동차의 연비 개선 및 배출가스 저감 요구가 날로 커져가고 있으며, 현재의 내연기관 기술로서는 이러한 요구를 충족시키기가 어려워지고 있다. 이에 대한 대안으로 전기자동차에 대한 연구가 이루어지고 있다.^[1] 전기자동차의 에너지원으로 사용되고 있는 리튬 이온 배터리는 운행 도중 충전과 방전 동작을 지속적으로 수행 하게 되는데, 여러 가지 원인에 의해서 배터리에 과전압이 인가되거나 및 과전류가 흐르게 되면 최악의 경우 폭발의 위험성이 있다.^[2]

배터리 관리 시스템(Battery Management system; 이하 BMS)는 배터리의 에너지 사용을 최적화 하고, 배터리의 위험성을 최소화시키기 위한 다수의 기능을 수행하고 있다.

고전압 릴레이는 배터리에 저장되어 있는 에너지를 자동차의 구동에 필요한 부하단의 액츄에이터에 전달 또한 차단하는 역할을 가지고 있으며, BMS는 이러한 고전압 릴레이의 on-off 제어 및 상태에 대한 모니터링 동작을 지속적으로 수행한다. 이는 BMS가 가지는 중요한 기능 중에 하나이다. 본 논문에서는 고전압 릴레이에 대한 BMS의 제어 알고리즘에 있어서 고려해야 될 요소에 대해서 살펴보고 해석 및 시뮬레이션을 통해서 그에 대한 타당성을 검증하였다.

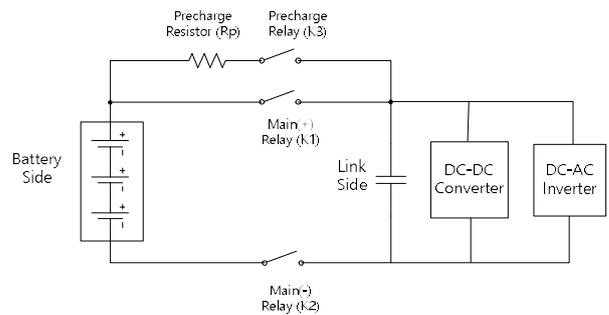
2. 전기자동차 고전압 시스템 구성 및 제어

2.1 고전압 시스템 구성

그림 1은 전기자동차의 고전압 시스템의 구성도 이다. 전기자동차의 구동 시에 필요한 에너지를 공급하는 배터리 단, 각종 액츄에이터에 동력 에너지를 변환하여 전달해 주는 인버터 및 DC-DC 컨버터 등이 연결되어 있는 링크 단 그리고 두 단 사이의 에너지 전달 경로를 연결 및 차단 시켜주는 역할을 하는 릴레이 부로 구성되어 있다. 또한 릴레이 부는 배터리의 양극에 연결되어 있는 (+)단 메인릴레이 K1, 배터리의 음극에

연결되어 있는 (-)단 메인릴레이 K2, (+)단 메인 릴레이와 병렬로 연결되어 있는 프리차지 릴레이 K3 그리고 릴레이 부착 시 돌입전류에 의한 릴레이의 용착을 방지하는 역할을 하는 프리차지 저항 R_p 로 구성 되어진다.

그림 1 전기자동차 고전압 시스템 구성도



2.2 고전압 릴레이 제어 알고리즘

그림 2는 전기 자동차 배터리 시스템의 고전압 릴레이 제어 알고리즘이다. 각각의 릴레이는 정해진 시퀀스에 따라서 on-off 동작을 수행하게 된다.

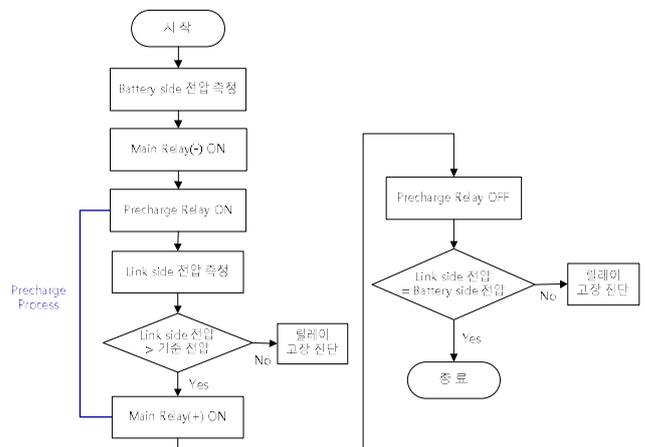


그림 2 고전압 릴레이 제어 알고리즘

2.3 프리차지 프로세스

프리차지 프로세스는 (-)단의 메인 릴레이가 “on” 동작 이후 (+)단의 메인 릴레이가 “on”되기 이전에 프리차지 릴레이가 “on”이 되어서 링크단의 커패시터에 에너지를 충전해주는 과정이다. 이에 의해 이후 (+)단의 메인 릴레이를 부착 시에 순간적으로 릴레이에 인가되는 돌입전류에 의한 릴레이 용착 및 링크단 회로 소자의 소손을 방지할 수 있다. 프리차지 프로세스에서의 프리차지 시간은 전기자동차 업체의 고전압 시스템 시퀀스 사양에 맞추어서 설정되어야 하며, 이 시간 안에 링크단의 커패시터에 기준치 이상의 에너지를 충전하도록 고전압 시스템은 설계되어야 한다. 이 때 고려해야 될 인자는 프리차지 저항의 사양이다.

2.4 프리차지 저항 선정

프리차지 저항은 링크단에 연결된 부하들의 커패시턴스 크기 및 프리차지 시간에 의해서 결정되어진다. 프리차지 저항의 용량은 부하단의 커패시턴스 충전시 에너지를 견딜 수 있을 정도로 커야 된다. 일반적으로 커패시터는 5τ 후에 용량 값의 약 99%로 충전이 된다. 이때 배터리단과 링크단의 전압 차이는 1%이하의 값으로 수렴하게 된다. 전기자동차 고전압 시스템의 사양이 표 1으로 주어질 때,

표 1 고전압 시스템 사양

항 목	사양
배터리 전압(V)	700V
링크단의 커패시턴스(F)	4400uF
프리차지 시간(s)	800ms

커패시터의 시정수는 다음과 같다.

$$\tau = t_{precharge}/5 = 800ms/5 = 160ms$$

또한, 프리차지 저항의 값은 다음과 같이 적용된다.

$$R = \tau/C = 160ms/4400uF \cong 36.36\Omega$$

이때, 프리차지 저항에서 소비해야 되는 에너지는 다음과 같다.

$$E = (C \times V^2)/2 = 4400uF \times 700V^2/2 = 1078 \text{ joules}$$

프리차지 저항에서 소비되는 파워는 소비되는 에너지를 프리차지 시간으로 나눈 것과 같다.

$$P = E/T = 1078J / 800ms = 1347.5W$$

프리차지 초기 단계에서의 순시 전력은 높게 형성된다.

$$P = V^2/R = 700^2/36.36 = 13.476kW$$

프리차지 초기 프로세스 동안 저항은 큰 스트레스를 받기 때문에 따라서 높은 정격 및 최대 파워가 필요하다. 일반적으로 저항은 수 초 동안 정격 전력의 수 배 이상의 에너지를 견딜 수 있다.^[3] 따라서 요구되는 사양을 만족하는 제품을 데이터시트 등의 신뢰성 데이터를 참고하여 선정하여야 한다.

2.5 시뮬레이션

그림 3은 전기 자동차 고전압 시스템에 대한 전기적인 등가 모델링이다. 고전압 릴레이의 제어를 담당하는 BMS의 릴레이 제어부와 고전압 시스템 단으로 구성되어 있다. 각 릴레이의 제어 회로는 그림 2의 알고리즘에 의거해 고전압 시스템 단의 릴레이를 구동시킨다. 고전압 시스템 등가 모델에서 배터리 전압, 링크단 커패시턴스 그리고 프리차지 저항 용량 값은 2.4 절에서 기술한 내용에 근거하여 설정하였다.

그림 4는 시뮬레이션 결과 파형이다. 릴레이 동작 시퀀스는 순차적으로 이루어졌으며, 초기 프로세스 동안에 프리차지 저항에는 13.32kW의 순시전력이 인가되었다. 링크 단의 전압 곡선은 프리차지 릴레이가 “on”이 된 후부터 상승하기

시작하여, 800ms의 시간 이후에 (+)단의 메인 릴레이가 “on”되었을 때의 링크단의 전압 값은 700V으로 수렴됨을 확인 하였다.

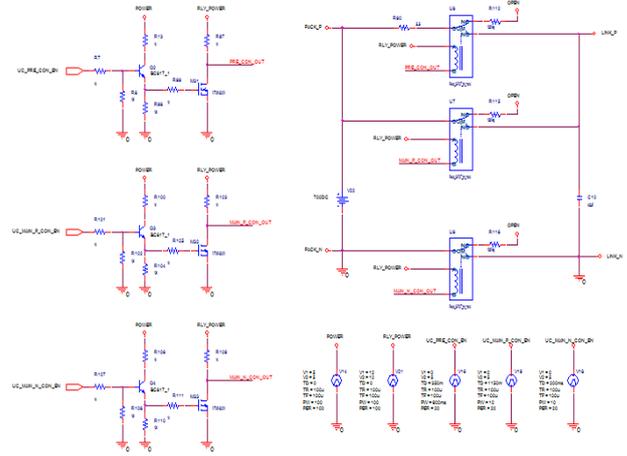


그림 3 고전압 릴레이 제어 시스템

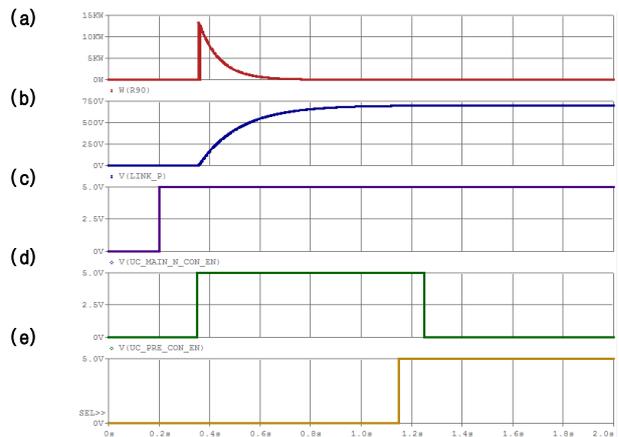


그림 4 고전압 시스템 동작 시뮬레이션 파형

- (a) 프리차지 저항 소비 전력, (b) 링크단 전압
- (c) K2 구동 신호, (d) K3 구동신호, (e) K1 구동신호

3. 결론

본 논문에서는 전기 자동차의 고전압 시스템의 구성 및 고전압 릴레이 제어 알고리즘에 대해서 서술하였으며, 프리차지 프로세스에서 고려해야 될 요소인 프리차지 저항 사양을 이론적으로 산출하였다. 이를 고전압 시스템의 전기적 등가 모델링에 적용하여 스파이스를 이용한 시뮬레이션을 통하여 유효성을 검증하였다.

참고 문헌

- [1] J. H. Lee, C. H. Park, G. E. Yang, G. K. Shin, C. M. Bae, “Development and Performance of BMS Modules for Urban ElectricCar Using Life Prediction Method”, KSAE Vol21, No. 6, pp.147-154, 2013.
- [2] H.J.Bergveld, “Battery Management Systems Design by Modeling”, Royal Philips Electronics, 2001.
- [3] Davide Andrea, “Battery Management Systems for Large Lithium-Ion Battery Packs”, 2010.