

360V급 회생제동용 슈퍼캐패시터 모듈의 셀모니터링과 액티브 밸런싱을 통한 성능개선

이희범¹ · 김영길¹

¹아주대학교

Improve the performance of 360V-class super-capacitors module through cell monitoring and active cell balancing

Hee-bum Lee¹ · Young-kil Kim¹

¹ Samsung electro mechanics Co.,Ltd

¹ Ajou University

E-mail : whrkr@ajou.ac.kr

요 약

최근 에너지/환경의 문제로 HEV(Hybrid Electric Vehicle)이 대두되고 있는데, HEV를 위한 대표적인 기술로서 제동시 에너지로 발전하여 전기를 회수하는 회생제동이 있다. 회생제동기술은 HEV 뿐만 아니라 건설기기, 하이브리드 버스, 전철, 엘리베이터 등에 폭넓게 활용이 가능하다. 회생제동용 에너지 저장원으로는 고출력 및 환경특성이 우수한 슈퍼캐패시터가 적합하며, 단일 셀이 아닌 수십 ~ 수백 개의 셀이 모듈로 사용되는 만큼, 모듈화 설계 기술이 필요 하다. 수백 개의 셀을 모듈화 하기 위해서 개별 셀의 전압을 모니터링 하는 기술과 충방전 시 밸런싱 하는 기술, 사용환경에 따라 열 관리 기술이 필요하며, 이들 기능을 수행할 수 있는 통합 시스템을 구비하여 안정성과 성능 향상을 하고자 한다.

키워드

Electric Vehicle(EV), Hybrid Electric Vehicle(HEV), Supercapacitor, Regenerative Braking

I. 서 론

단일 셀이 직렬 연결 된 시스템에서는 셀 관리 상태에 따라 열화 및 수명에 미치는 영향이 달라진다. 이유는 연결된 단일 캐패시터의 성능이 나머지 슈퍼캐패시터의 성능에 영향을 주어 발열과 열화와 같은 부정적 효과를 만들기 때문이다. 개별 셀을 제어하는 방법으로는 PASSIVE 방식과 마이크로 컨트롤러를 통한 모니터링으로 개별적 제어가 가능한 ACTIVE 방식이 있다. 이 연구는 ACTIVE 방식 CMS(Capacitor Monitoring System) 시스템을 설계 하여 수십 개의 슈퍼캐패시터를 모니터링 하고, 충전 상태를 밸런싱 하는 기능을 구현하여 성능을 향상시키며, 상위 시스템과 통신할 수 있도록 CAN 인터페이스를 구비하였다

II. 슈퍼캐패시터의 물리적 특성

슈퍼캐패시터는 이중층(double layer)구조를 가지고 있으며, 표 1과 같이 일반 캐패시터와 배터리의 중간적 성격을 가지고 있다.

일반적으로 배터리는 짧은 시간 내에 많은 에너지를 전달할 수 없는 단점을 가지고 있다. 이는 배터리 내부저항에 의하여 충방전 전류가 제한되기 때문이며, 대 전류 충방전은 배터리 수명에 악영향을 미치게 된다. 슈퍼캐패시터는 이러한 배터리의 한계를 보완하는 대체 에너지 저장장치로서, 회생 제동과 같이 잦은 충 방전과 큰 전력이 필요한 시스템에 적합 하다. 그림 1은 슈퍼캐패시터의 등가회로를 보이고 있다. 각종 파라미터는 전압, 전류, 주파수 등과 같은 슈퍼캐패시터의 동작 조건에 따라 변경 될 수 있다. ESR은 등가 직렬 저항을 의미 하며, EPR은 등가 병렬 저항을 의미 한다. [1]

표 1. 슈퍼캐패시터, 일반캐패시터, 배터리 특성 비교

구분	납축 전지	슈퍼 캐패시터	일반 캐패시터
충전시간	1~5 hrs	0.3~30s	$10^{-6} \sim 10^{-3}$ s
방전시간	0.3~3 hrs	0.3~30s	$10^{-6} \sim 10^{-3}$ s
에너지밀도 (Wh/Kg)	10~100	1~10	<0.1
사이클 수명	1,000	>500,000	>500,000
출력밀도 (W/kg)	<100	<10,000	<100,000
충방전효율 (%)	0.7~0.85	0.85~0.98	>0.95

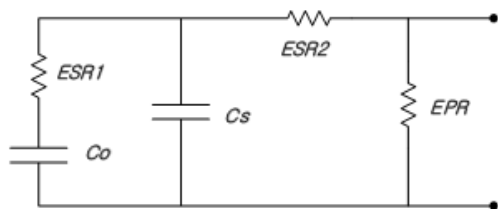


그림1. 슈퍼캐패시터의 등가 회로

III. Heavy vehicle 에서의 셀 밸런싱

1. Current Dissipation

최저 셀 전압을 기준으로 높은 셀부터 선택적으로 방전하며, 셀의 양단에 전기적으로 제어 가능한 스위치와 저항을 연결한 후 스위치가 ON 되었을 때 저항에 의한 발열로 해당 셀의 전압이 감소한다. 이러한 방식은 그림 2와 같이 단순한 회로 구성으로도 구현이 가능하여 가장 많이 사용 되고 있다.

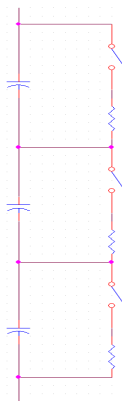


그림 2. Current Dissipation

2. Current Injection

최고 셀 전압을 기준으로 낮은 전압 셀부터 선택적으로 전류를 주입한다. 그림 3과에 제안된 회

로와 같이 개별적 모니터링과 전류 제어를 위한 추가적 전원장치 및 여러 가지 부가 회로로 Current Dissipation 회로에 비해 능동적인 기능을 할 수 있다.

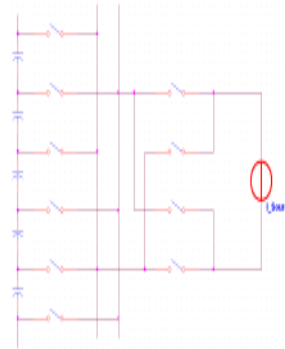


그림3. Injection 회로

3. Regenerative Method

트랜스포머의 멀티 2차 측에 각각의 셀을 연결하여 스위칭 동작으로 에너지를 이동 시킨다. 따라서 시스템이 복잡해지고, 스위칭 노이즈등이 발생한다. 회로의 복잡성 때문에 대용량 셀 조합에서는 사용이 어렵다.

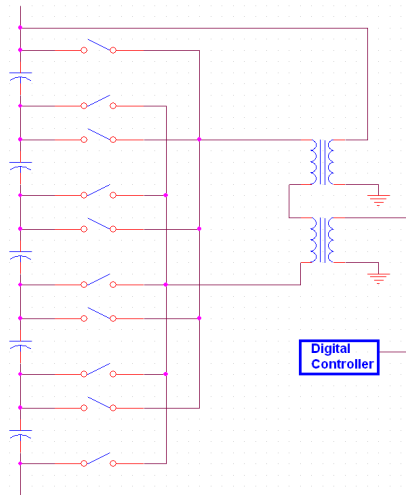


그림 4. Regenerative Method 회로도

4. 복합 균등 화 회로

100개 이상의 셀이 직렬로 연결된 모듈에서 적합한 셀밸런싱 방법은 그림 1과 같은Current dissipation 타입으로 판단된다. 하지만 넓은 범위에서 제어하거나, 충방전 속도에 따라 제어가 원할 하지 않다. 그래서 본 논문에서는 Active 제어도 가능하도록 그림 5과 같이 회로를 제안 하였다. 즉 Hardware적인 밸런싱과 소프트웨어적인 밸런싱이 가능하도록 구성하여 제어의 유연성을 극대화 하였다.

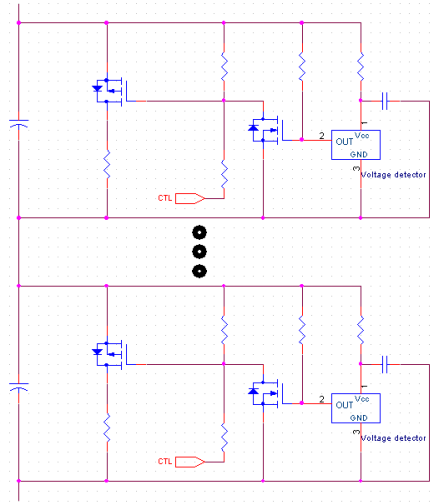


그림 5. 복합 균등화 회로

밸런싱을 제어하는 방법으로 전류를 적산함으로써 SOC(Static Of Charge)를 계산하는 방법이 있지만 누설 전류와 전류 센싱 오차에 의해 SOC가 부정확하다.[2] 전압을 이용하는 방법은 OCV(Open Circuit Voltage)에 의한 방법과 전류가 흐르는 상태인 충전 조건에서 밸런싱이 있는데, 이중 내부 ESR의 영향을 포함하여 제어가 되는 후자의 방법을 적용 하였다.

IV. CMS 시스템 설계

1. 셀 모니터링 부

모든 셀을 모니터링 할 수 있는 일체형 시스템을 구현하여 적용할 수 있으나 응용할 분야에 따른 전압범위와 셀 조합에 따라 효율 및 안정성이 열악해 질 수 있으므로 단위 모듈 테스트에 적합한 모니터링 시스템을 개발 하였다.

여기서, 전체 모듈은 MASTER와 다중 SLAVE로 구성 되었다. 각 단위 모듈의 동작에 필요한 파워는 개별 단위 모듈에서 공급 받거나, 또는 시스템의 기본 전압을 절연DC/DC를 통해서 공급을 받는 방법이 있다. 그런데 충전 중 높은 전압을 제어하는 방식이기 때문에 DC/DC없이 개별 단위 모듈에서 공급 받아 SLAVE가 동작 하도록 하였다. MASTER에서는 다수개의 SALAVE와 SPI 통신으로 데이터를 공유하고, 이 통신 인터페이스는 100KW(~350V,300A)급의 전류 프로파일에서 부품 파괴가 일어나지 않도록 설계 하였다.

2. 모듈 제작

2.7V@1500F 캐패시터 140개를 직렬 연결하여 378V@10.7F 모듈을 개발하였다. 이 모듈은 100KW를 충/방전이 가능 하고, 전류 Fuse 및 CAN2.0B의 표준 인터페이스를 구비하여 셀의 전압레벨과 온도를 상위 릴레이 유닛 제어기에 전

송함으로써 안전을 확보 하였다. 실제 구현된 회로는 그림 7과 같이 제작되었으며, 그림 6와 같이 마스터 보드로 개별 밸런스 보드와 모니터링 보드를 제어할 수 있도록 구성 하였다.

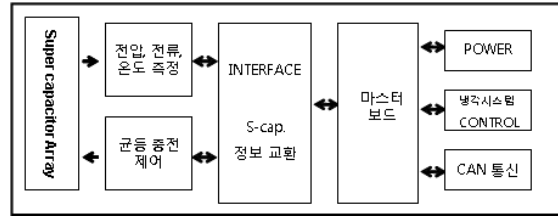


그림 6. 시스템 Block diagram

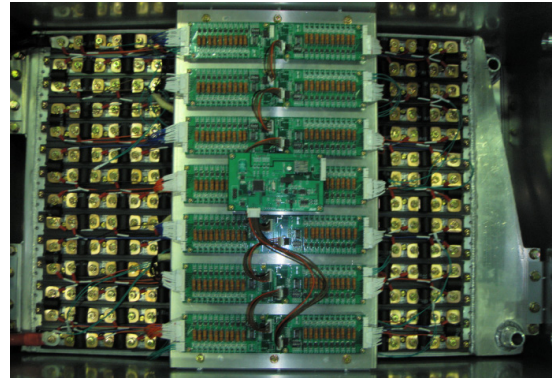


그림 7 시스템 설계 장착 시험 장비

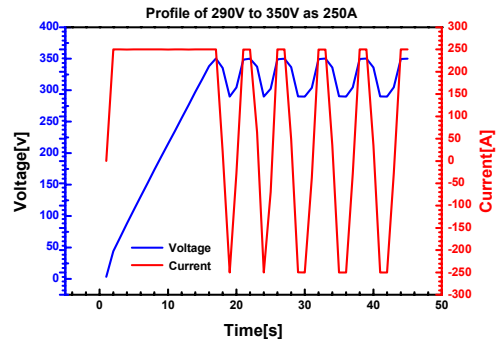


그림 8. 충 방전 프로파일

그림 8과 같이 최대 87kW급 충방전 프로파일로 셀 밸런스 회로의 동작 특성을 확인 하였으며, 그림 9에 그 결과를 제시하였다. 60Cycle 동작 중 0.07V편차로 Balancing이 되었고2.5V 기준에서 셀 간 편차는 2.8%이내로 우수한 결과를 얻을 수 있었다.

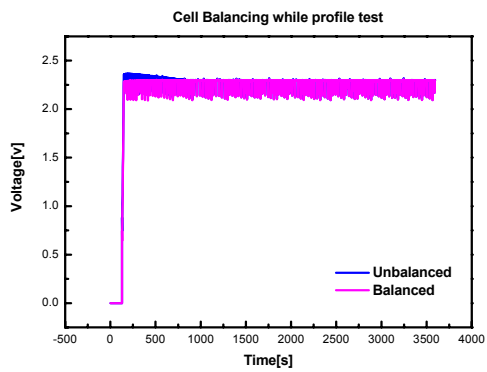


그림 9. 셀 밸런스 회로 동작 시험

V 결론

본 논문은 슈퍼캐패시터의 모듈 전반적인 시스템 디자인을 포함하여 Active 밸런스를 고전압 및 대전류 상태에서 모니터링 및 제어 수행능력을 검증 하였다. 이를 기반으로 제안된 밸런싱 제어 방법에 대해서도 충분히 밸런싱에 충분한 효과가 있음을 검증 하였다.

참고문헌

- [1] 정진욱 외, “슈퍼캐패시터를 병용하는 전기자동차/하이브리드 전기자동차용 에너지저장시스템개발” 한국자동차공학회 2002년
- [2] 송현식 외, “Ultra-Capacitor 모듈이 사용된 하이브리드 에너지저장장치의 동적 SOC보정에 관한 연구” 대한전기학회 2009년 7월