

14MW 대용량 정류기 연계용 1MW급 DC ESS 설계 및 실험

장영훈, 박준형, 이창희, 김영우, 유성민, 정회국*

다원시스(주), LG CNS*

Design and experiment of 1MW class DC ESS for 14MW High Power Rectifier Connected

Young Hoon Jang, Jun Hyoung Park, Chang Hee Lee, Young Woo Kim, Sung Min Liu, Hoe Guk Jung*
Dawonsys, LG CNS*

ABSTRACT

본 논문은 1MW 급 DC ESS 용 전력변환장치 개발에 관한 논문이다. 제안된 회로의 구성은 대용량 Thyristor Rectifier 와 부하사이의 DC에 연결되어 배터리를 충전과 회생시키는 buck boost 컨버터로 구성된다. 전력변환장치는 Interleaved를 적용하여 500kW / 2병렬으로 구성하였다. 시뮬레이션 및 실험을 통하여 전력변환장치의 설계를 진행 하였으며 장비 적용의 타당성 및 성능을 검증하였다.

1. 서론

LG화학은 국내 chloralkali(이하 CA) 제조 대표회사로 CA제조에 연700GWh 이상(2공장 기준)의 전력을 소비한다. 이에 LG화학은 ESS를 도입하여 피크 저감을 노력해왔고, 그에 일환으로 다원시스에서 공급한 14MW급 Thyristor Rectifier와 연계하여 1MW급 DC ESS를 구성하였다. 일반적으로 ESS는 AC 계통 연계형으로 구성하나, LG화학은 대용량의 DC를 사용하므로, AC 계통 연계형 ESS보다 구성이 간단하고, 경제적인 DC ESS^{[1][2]}를 적용하였으며, DC Power Regulation System(이하 DPRS)을 구성하였다. 에너지저장장치는 LG화학의 6.2MWh (실사용 5.6MWh)의 리튬 폴리머 배터리를 사용하였다.

DPRS는 1MW급으로 주 사용 환경은 전력 피크 시간(10~16시) 동안 배터리에 저장된 에너지를 Thyristor Rectifier와 연계하여 부하에 일정한 전력을 공급하며, 전력 비 피크 시간(20시~06시) 동안 Thyristor Rectifier를 통하여 전력을 공급받아 충전하게 되며, 이에 대한 시스템의 개략도는 그림 1과 같다.

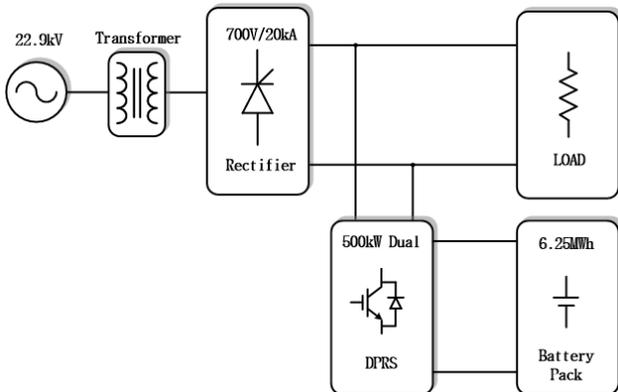


그림 1. 제안된 DPRS 시스템 개략도

2. DC Power Regulation System(DPRS)

DPRS 의 시스템 구성도는 그림2와 같다. 큰 파트로 나누어 보면, LG화학에 기 구성되어 있는 Thyristor Rectifier인 Rectifier부, Thyristor Rectifier와 부하 사이에 연결되어 Battery Pack에 충전 및 방전시키기 위한 전력 변환 장치인 DPRS부, 전력 피크 시간동안 Rectifier부로부터 일정한 에너지를 공급받아 저장하는 Battery Pack부로 나누어져 있으며, 이때 Battery Pack은 LG화학의 UPB4860 Gen2 모델을 적용하였고, Battery의 각 Cell을 결합시킨 Rack과, Rack들을 결합시킨 BMS Bank를 결합하여 구성하였다. EMS, DPRS Controller, BSC 제어 동작 및 각 부의 이상 상태를 체크하는 Control부로 크게 4 부분으로 분류된다.

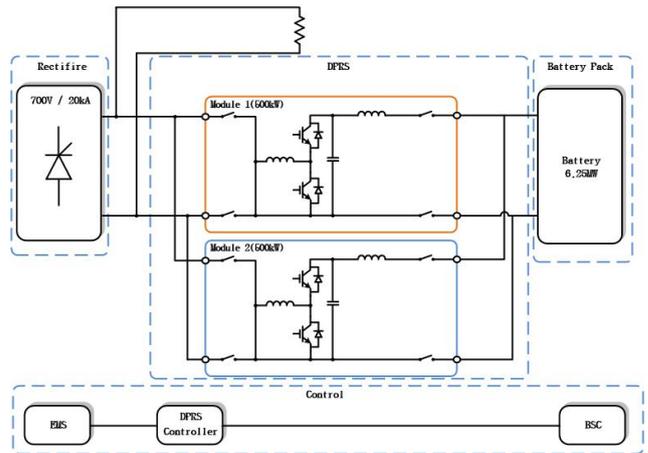


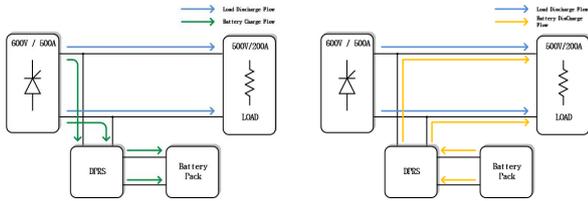
그림 2. 제안된 DPRS 시스템 구성도

시스템의 동작 시퀀스는 전체적으로 간단하게 나누어 보면, 충전시와 회생시로 나누어져 있다. 정류기의 DC 전압 범위는 700V 이하의 영역이고, 배터리의 전압 범위는 714V~1000V이므로, DPRS부의 회로는 Buck Boost로 구성하여 순방향 전력 전달과 역방향 전력 전달 시 원활한 전력 전달이 가능하도록 설계하였다. 충전시의 동작은 그림 2의 시스템 구성도에서 Rectifier부에서 출력된 전력이 DPRS 시스템인 Buck Boost 회로를 통해 승압하여 Battery Pack에 충전되며, 충전 시에는 EMS와 DPRS Controller, BSC의 연동으로 충전 용량 제어 및 배터리의 상태를 체크하여 보호동작을 함으로써 Battery Pack 부 및 DPRS부의 안정성에 큰 효과를 주었다.

회생시에는 그림 2의 Battery Pack에서 저장된 에너지를 Buck Boost 회로를 통해 강압하여 부하에 공급한다.

3. 시험결과

본 장비는 각 Stack의 정격 시험 및 방전 시험, DPRS와 Battery를 연동시켜 충전 및 방전 시험, 과부하 시험 등 장비 운전의 타당성 및 장비의 검증을 위해 시험을 하였으며, 본 논문의 시험 결과에서는 DPRS의 충전 및 방전 시험에 대해서만 기술하였다.



(a) 충전 시험 구성도 (b) 방전 시험 구성도
그림 3. 충전 및 방전 시험 구성도

DPRS Battery 연동 충전 시험은 시험용 정류기(600V/500A)와 DPRS, Battery Pack을 연동하여 구성하였으며, Battery측에 정해진 용량의 전력이 충전 되었는지를 확인하였다. Battery의 충전용량은 전체 용량의 6%인 400kW로 운전하였고, DPRS의 운전 전력은 1MW의 6% 60kW로 제한하여 충전하였다. 시험 구성도는 그림 3의 (a)와 같으며, 충전시의 에너지 흐름은 녹색 화살표로 나타내었다. 시험 결과는 설정치 60kW 기준 출력 전류 80.9A, 출력 전압 750V로 실측 출력은 60kW이며 케이블의 손실 및 측정 기기의 오차 범위를 포함한 측정 오차 범위(5%) 이내의 출력 결과를 나타내었다. 이에 대한 시험 파형은 및 실측 사진은 그림 4와 같다.

DPRS Battery 연동 방전 시험 역시 충전 시험과 비슷한 구성으로 시험하였다. 시험용 정류기(600V/500A)와 DPRS, Battery Pack를 연동하여 구성하였으며, Battery 측에 정해진 용량의 전력이 방전되었는지 확인하는 시험이다. Battery의 충전용량은 전체 용량의 6%인 400kW로 운전하였고, DPRS의 운전 전력은 1MW의 6% 60kW로 제한하여 충전을 진행하였다. 그에 대한 시험 구성도는 그림 3의 (b)와 같으며, 방전 시점의 전체적인 에너지의 흐름은 주황색 화살표로 나타내었다. 시험 결과는 설정치 60kW 기준 출력 전류 118A, 출력 전압 514V로 실측 출력으로 60kW이며 이 때의 결과 값은 방전 시험과 마찬가지로 측정 오차 범위(5%) 이내의 출력 결과를 나타내었다. 이에 대한 시험 파형은 그림 5와 같다.

충전 및 방전시의 설정값 및 결과값은 표 1과, 표 2에 각각 나타내었으며, 장치에 사용된 스위칭 기타 메인 소자들에 대한 값은 표 3과 같다. 사용된 주 스위칭 소자는 대 전력용 IGBT를 사용하였으며, DC Link Capacitor를 사용하여 안정적인 출력 전력을 공급할 수 있도록 설계하였으며, Smoothing Reactor를 사용하여 DPRS 입력으로 들어온 360Hz의 변동과 제어 시 발생하는 리플을 감소시켰다. DPRS 전단과 후단에는 각각 Fuse를 설치하여 Battery Pack 및 Rectifier, DPRS 단의 보호 동작을 할 수 있게 설계하여 전체적인 회로 및 장비들의 안정성을 상승시켰다.

실제 제작품의 사진은 그림 6과 같다. 그림 6 (a)는 충전 및 방전 시험에 사용한 Battery Pack(UPB4860 Gen2)으로, 각각 Module 형태로 제공되는 Battery Module을 Rack에 배치하여 하나의 큰 Bank 형태로 구성하였다. 그림 6(b)는 실제 제작된 DPRS Panel의 사진이다. 냉각을 위한 Cooling Part와, DPRS의 제어를 위한 Control Part 및 전력 변환부인 Converter Part와 Incoming Part로 나누어 놓음으로써 제품의 냉각 및 각 Part의 원활한 유지보수가 가능하도록 설계하였다.

표 1. 충전시험 설정 파라미터 및 측정 값.

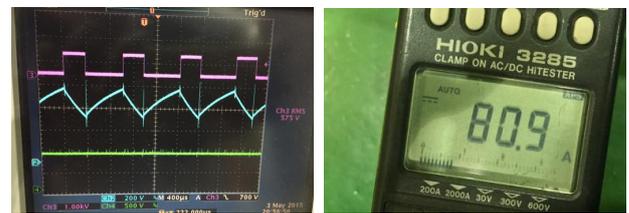
구분	설정값	실측전류	실측전압	실측전력
DPRS 60kW	60kW	80.9A	750V	59kW

표 2. 방전시험 설정 파라미터 및 측정 값.

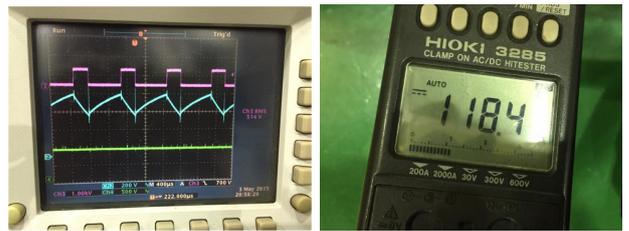
구분	설정값	실측전류	실측전압	실측전력
DPRS 60kW	60kW	118A	514V	60kW

표 3. 사용 소자.

주 스위칭 소자	FF1400R17IP4
DC Link Capacitor	SHP 1100 2550 FS(1100V/2.55mF)
Smoothing Reactor	150uH(1000V/150uH/1000A)
Main DC Contactor	CGC82100A2ED10S(1.5kV/1.2kA)
DC Fuse(Rectirire)	170M7548(1000V/1500A)
DC Fuse(Battery)	170M6498(1250V/1000A)



(a) 측정 파형-ch3: 출력 전압 (b) 출력 전류 측정
그림 4. 충전 시 시험 파형 및 사진



(a) 측정 파형-ch3: 출력 전압 (b) 출력 전류 측정
그림 5. 방전 시 시험 파형 및 사진



(a) Battery Pack (b) DPRS Panel
그림 6. 완성품 사진

참고 문헌

- [1] Min gi Kim, Bong yeun Choi, Jun gu Kim, Chungyuen Won, Yong chae Jung "Compenstion of Phase Voltage Error in Unbalanced 3 Phase at Integrated ESS and UPS System", 2014 IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT), Feb. 26 Mar. 1, 2014, Busan, Korea., pp.578 582.
- [2] Dong Jo Won, Yong Su Noh, Moo Young Ryu, Chung Yuen Won, Hong woo Lim, "A Study of Grid connected PV AC module with Active Power Decoupling and ESS", 2014 IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT), Feb. 26 Mar. 1, 2014, Busan, Korea., pp.491 496.