

SST 기술 기반 1MW 전기차 급속충전 시스템

조형연*, 서해원*, 변병주*, 김재혁*, 김성주*, 정병환*, 김호성**, 백주원**

(*)효성 중공업연구소*, 한국전기연구원**

1MW EV Fast Charging System based on SST Technologies

Hyoung Yeon Cho*, Haewon Seo*, Byeng Joo Byen*, Jae Hyuk Kim*, Sung Joo Kim*, Byung Hwang Jeong*, Ho-Sung Kim, Ju-Won Baek**

Hyosung Corporation*, Korea Electrotechnology Research Institute (KERI)**

ABSTRACT

최근 전기차 배터리는 일 주행거리 증대를 위해서 50~100 kWh 급으로 대용량화 되고 있다. 그와 동시에 충전시간 단축을 위해서 배터리 전압은 400V에서 800V로 높아지고 급속충전기 용량은 50kW에서 350kW 급으로 대용량화 되고 있다. 본 논문에서는 전기차 증가 추세에 따라 기존 주유소를 대체하는 MW급 전기차 급속충전소를 위한 에너지 저장 장치(Energy Storage System, ESS) 연계 지능형 반도체 변압기(Solid State Transformer, SST) 기술 기반의 전력변환 시스템 모델을 제안하고자 한다. 이 모델은 배전계통에 직접 연계가 가능하기 때문에 대용량 전기차 급속충전소뿐만 아니라 DC Grid 구축에 응용 가능하다.

1. 서론

전세계 전기차 보급은 2018년 전년대비 68% 늘어나 누적 기준 500만대를 돌파하는 등 지난 5년간 급성장해 왔다. 2030년까지 전기차 판매량은 누적 기준 약 2억 5천만대가 보급될 것으로 전망된다.^[1] 최근 전기차 일 주행거리 증대를 위해서 배터리는 50~100kWh급으로 대용량화 되고 있다. 그럼에도 충전시간 단축이 필요하여 배터리 전압은 400V에서 800V로 높아지고 급속충전기 용량은 50kW에서 350kW급으로 대용량화 추세에 있다. 해외에서는 유럽 Ionity사와 미국 Electrify America사를 중심으로 주요 고속도로에 350kW 급속충전기를 구축하고 있다. 국내 급속충전기는 대부분 50kW급이 보급되었지만 최근 현대자동차, SK에너지사 등에서 100~350kW급 대용량 급속충전기가 시범 운영되고 있다. 향후 전기차 증대에 대비하여 주유소 개념의 멀티채널 전기차 급속충전소를 구축하기 위해서는 MW급의 전원공급이 필요하다. 하지만 현재 급속충전기 입력전원 공급은 대부분 380V 상용주파수 변압기를 통해서 이루어 지기 때문에 변압기 용량에 따라 전원공급 용량 제한이 발생한다. 또한 피크부하 저감을 위한 ESS 시스템 연계를 하고자 하면 별도의 전력변환 시스템이 필요하여 공간적인 제약은 더욱 커지게 된다. 본 논문에서는 상용주파수 변압기 연계 없이 22.9kV 배전계통에 직접 연계하여 MW급 멀티채널 급속충전이 가능하고 ESS 시스템이 통합된 SST 기술 기반의 1MW 전기차 급속충전 전력변환 시스템 모델을 제안한다.

2. 1MW 전기차 멀티채널 급속충전 시스템

2.1 시스템 개요

MW급 대용량, 소형화, 고효율 전기차 멀티채널 급속충전 시스템 개발을 위해서는 큰 부피를 차지하고 있는 상용주파수 변압기를 연계하지 않고 22.9kV 배전계통에 직접 연계되어야 한다.

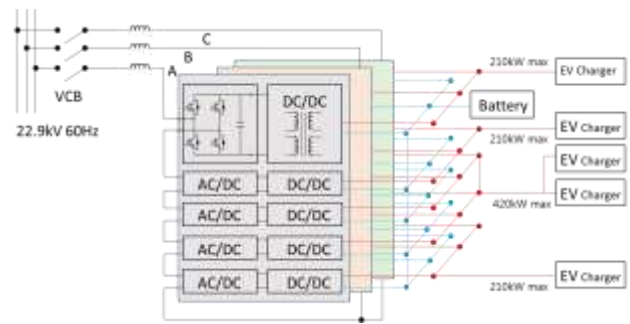


그림 1 전기차 멀티채널 급속충전 시스템 개요

Fig. 1 Overview of EV multi-channel fast charging system

3상 22.9kV 배전계통에 직접 연계하기 위해서 Cascaded H-Bridge(CHB) 방식의 Modular Multilevel Converter(MMC) 토폴로지를 그림 1과 같이 선정한다. MMC를 구성하는 서브모듈의 수를 줄이기 위해서 델타결선 보다는 와이결선을 적용한다. 22.9kV 배전계통 연계를 위한 BIL 24kV급 시스템 절연설계를 적용하고 Galvanic Isolation 확보를 위해서 DC/DC 컨버터에 고주파 변압기를 포함하고 있는 SST 기술을 적용한다. 특히 고주파 변압기에 BIL 24kV급 절연설계를 적용하고 ESS가 통합된 시스템의 체적을 최소화하기 위해서 Dual Active Bridge(DAB)용이 아니라 Quadrature Active Bridge(QAB)용의 다결선 방식을 적용하였다.^[2] 97% 이상의 최대효율을 확보하기 위해서 Si IGBT 대신에 SiC MOSFET 모듈을 적용한다. 현재는 1200V~1700V급 SiC MOSFET 모듈이 주류이지만 향후 3300V급 이상 모듈도 양산될 것으로 예상된다. MW급 대용량 전기차 충전소에서 다수의 전기차를 동시에 충전하기 위해서 멀티채널 방식이 제안된다. 일반적으로 전기차 충전을 위한 DC/DC 출력단을 모두 병렬 연결하여 DC Grid를 형성하고 멀티 채널 전기차 충전단말기 구성이 가능하다. 제안하는 모델에서는 Battery 연계와 MMC 구성의 장점을 활용하여 각 서브모듈

독립적으로 멀티채널 급속충전이 가능하다. 필요한 용량에 따라 DC/DC 출력단 병렬연결을 하여 멀티채널 방식의 전기차 급속충전 단말기를 직접 형성할 수 있다. 예를 들어 각 상의 70kW 서브모듈 출력단 3개를 병렬연결하면 210kW 전기차 급속충전 단말기가 된다.

2.2 시스템 설계

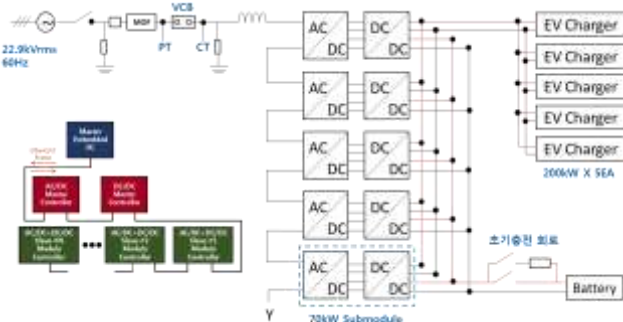


그림 2 전기차 멀티채널 급속충전 시스템 구성도
Fig. 2 EV multi-channel fast charging system diagram

전체 시스템은 그림 2와 같이 제어부, 전력변환부, 차단부, 배터리, 초기충전부로 크게 구성된다. 제어부는 상위제어를 위한 마스터 제어기와 각 서브모듈 제어를 위한 슬레이브 제어기로 구성된다. ESS 구성을 위해서 Battery는 각 서브모듈 출력단에 병렬로 연결되기 때문에 초기충전 회로는 Battery를 활용하여 간단히 구성된다. 차단부는 시스템 보호를 위하여 Vacuum Circuit Breaker(VCB)를 통하여 연계되고 3상 리액터는 전류 THD를 고려하여 설계한다. 설치 공간을 고려하면 공심형 보다 철심형 리액터가 유리하며 효율도 높다. 전력변환부는 설치 운영에 용이하도록 컨테이너 구조로 절연 및 냉각 설계 한다. 1MW 시스템 구성을 위하여 단위 서브모듈 용량은 70kW로 설계한다. 와이 결선 방식으로 각 상에 5레벨로 서브모듈을 연결하면 전체 15개의 서브모듈로 3상 시스템이 구성된다.

2.3 서브모듈 설계

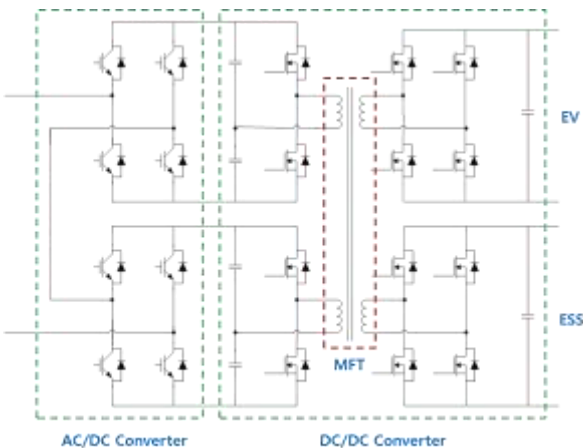


그림 3 MMC 서브모듈 토폴로지
Fig. 3 MMC Submodule Topology

그림 3은 SST 기술 기반의 70kW 서브모듈 토폴로지를

나타낸다. AC/DC 컨버터는 4400V의 DC 링크 전압을 형성하기 위하여 3300V IGBT를 사용하여 CHB 방식으로 2직렬 구성을 한다. 시스템을 단순화 하기 위해서 6500V IGBT를 사용하여 단일 Full Bridge 회로 구성도 가능하다. 스위칭 주파수는 0.5~1kHz 범위이다. AC/DC 컨버터는 효율이 높기 때문에 스위칭 소자 비용을 고려 하여 SiC MOSFET 모듈 대신 Si IGBT 모듈 적용이 가능하다. DC/DC 컨버터 1차측은 3300V, 2차측은 1700V SiC MOSFET 모듈을 적용한다. 스위칭 주파수는 10~15kHz 범위이다. 절연형 고주파 변압기는 전기차 충전과 Battery 연계를 위하여 QAB 방식을 적용하여 최적설계 한다. 고효율 설계를 통하여 수냉식이 아닌 공랭식 냉각을 할 수 있어 냉각펌프 설비 공간을 줄일 수 있다. 전기차 배터리 전압이 800V 이상이 예상됨에 따라 전기차 충전 DC 링크 전압을 최대 1100V 가능하도록 하였으며 Battery 연계 ESS 시스템으로 통합 위한 DC 링크 전압은 750~1050V 범위로 설계한다. 1차측 전원공급장치는 절연을 고려하여 DC 링크 커패시터의 에너지를 이용한 자체전원공급 방식으로 설계하며 2차측 전원공급장치는 상용 220V 전원 활용이 가능하다. 각 서브모듈에는 슬레이브 제어기가 내장되어 시스템 전체를 제어하는 마스터 제어기와 광통신 한다.

2.4 기대효과

제안된 전기차 멀티채널 급속충전 시스템은 2019년에 개발 착수하여 2022년에 시험 검증 예정이다. 신재생에너지 또는 ESS 연계가 용이한 시스템 설계로 MW급 대용량 전기차 멀티채널 급속충전소를 위한 최적의 전력변환 시스템으로 활용 예상된다. 3300V급 이상 SiC MOSFET 모듈 개발 추세에 따라 배전급 MVDC 구축 및 무효전력 보상장치 응용에 기대된다.

3. 결론

최근 전기차 급증과 배터리 용량증대로 인하여 MW급 대용량 전기차 멀티채널 급속충전소 수요가 늘어나고 있다. 큰 부피의 380V 상용주파수 변압기 없이 22.9kV 배전계통에 직접연계 할 수 있는 SST 기술 기반의 MMC 전력변환 시스템을 제안한다. SiC MOSFET 모듈과 QAB용 고주파 변압기 적용 고효율 고효율 전력변환 설계 안을 제시 한다. 피크전력 저감 및 밤에 값싼 전력을 충전하여 낮에 전력 재판매 할 수 있는 ESS가 통합된 전기차 멀티채널 급속충전소 모델로써 신재생에너지 연계 등 다양한 응용이 가능하다.

이 논문은 2019년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국에너지기술평가원의 지원을 받아 수행된 연구임 (20192010106750, SiC 디바이스를 이용한 전기차용 1MVA급 멀티채널 충전기 개발)

참고 문헌

- [1] 국제에너지기구(IEA), 2019.05.27, Global EV Outlook 2019 – Scaling up the transition to electric mobility, <https://www.iea.org/publications/reports/globalevoutlook2019/>
- [2] 박시호, 류명호, 김호성, 차현녕, “지능형 반도체 변압기용 다관선 고주파 변압기 설계 방안,” 전력전자학술대회 논문집, 2018.