

경전철 무선급전용 대용량 인버터 스택 개발

조정구, 한정호, 김찬인, 최정현, 유효열
(주)그린파워

Development of High-Power Inverter Stack for Wireless Powered Light Rail Transit

Jung-Goo Cho, Jungho Han, Chan-In Kim, Jung-Hyun Choi, Hyoyol Yoo
Green Power Co.,Ltd

ABSTRACT

경전철 차량은 1MW이상의 전력을 요구하기 때문에 단일 인버터 시스템으로 구현할 경우 시스템 부피 및 비용 증가, 효율 감소 등 문제점을 가지게 된다. 이러한 이유로, 수 kW급 인버터 스택을 병렬로 구성하여 대용량 시스템을 구현한다. 본 논문에서는 이러한 대용량 인버터 시스템을 구성하는 스택 개발 사례를 보여주고 있다. 실험을 통하여 개발한 무선급전용 인버터 스택의 성능을 검증한다.

1. 서 론

최근 화석연료의 고갈과 이산화 탄소 발생량 규제에 따라 철도 차량은 미래 교통수단으로 연구와 개발이 중시되고 있다. 그러나 상부에 가선이 설치된 철도 시스템의 경우 높은 구축비용, 안전문제와 유지보수 비용이 발생하는 단점을 가지고 있다. 따라서 위와 같은 단점을 보완하기 위해 무선급전 기술 개발이 적극적으로 진행되고 있다. 무선 급전시스템의 경우 접촉식 전력공급장치에 비해 전차선 설비가 없어 유지보수 비용이 감소하고 또한 전기접촉에 의한 안전문제도 없어 기존의 철도 시스템의 문제점을 보완할 수 있는 대안으로 필요성이 더욱 더 대두되고 있다.

무선 급전 시스템은 지면에 매설된 급전 코일로부터 수cm ~ 수 십cm 떨어진 곳에 집전장치가 있을 때 전자기 유도를 통하여 전력을 전달하는 방식이다. 이러한 무선 급전 시스템의 경우 현재 국내외적으로 개발이 적극적으로 진행되고 있다. 국외의 경우 2007년 MIT에서 무선급전 시스템에 공진을 이용하여 수m 까지 높은 효율로 전달이 가능하다는 논문의 출판을 시작으로 연구가 급격하게 진행 중이다. 국내의 경우 KAIST에서 전기 버스용 On-Line 무선 급전 시스템에 대학연구를 시작하면서 동원 OLEV사에서 구미에 약 12km 구간에 무선 급전 전기 버스가 시범운영 진행 중에 있다. 그러나 버스용 무선 급전 시스템의 경우 20kHz 주파수의 100kW급 설비로 1MW 이상의 전력량이 요구되는 경전철 차량에 적용이 불가능 하여 철도 차량에 적합한 무선 급전 시스템의 설계가 필요하다. 따라서 본 논문에서는 1MW이상의 전력을 요구하는 경전철 시스템에 적합한 시스템을 설계하고 또한 이를 시뮬레이션과 실제 실험을 통하여 증명하고자 한다.

2. 급전 인버터 시스템 설계

2.1 공진 방식 결정

표 1 급전 인버터 설계 사양

항목	사양
입력 전압	750V
입력 전류	1600A
정격 출력 전력	1.2MW
정격 출력 주파수	60kHz
정격 출력 전류	500A
정격 출력 전압	2400V
냉각	강제 공냉

표 1은 급전 인버터의 사양이다. 인버터 설계를 위해서는 먼저 공진방식을 결정해야 한다. 공진방식은 크게 두 가지로 나뉘어 진다. 하나는 직렬 공진방식이고 다른 하나는 병렬 공진 방식이다. 병렬 공진 방식의 경우 그림 1 과 같이 인버터 후단의 Lp가 직렬로 연결되고 Cp가 병렬로 연결된다. 또한 트랙은 Cp와 병렬로 연결된다. 이 방식의 경우 트랙의 흐르는 전류는 철도 차량이 없는 경우에도 일정하게 유지하면서도 인버터에는 손실에 해당하는 전류만 흐르게 되어 무 부하시 인버터에 흐르는 대기 전류가 작아 효율을 높일 수 있지만 회로가 복잡해지고 공진 튜닝이 어렵다는 단점이 있다.

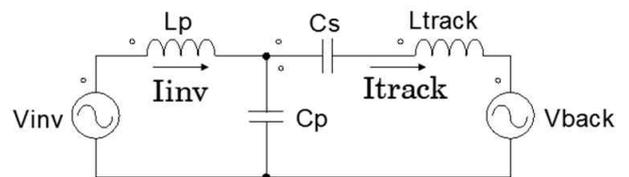


그림 1 병렬 공진 방식

그림 2와 같은 직렬 공진방식의 경우 공진 콘덴서와 트랙이 직렬로 연결되어 인버터에 흐르는 전류가 트랙에 흐르는 전류와 일치한다. 또한 차량이 없는 무 부하 상태의 경우 인버터 전류 제어를 통하여 일정 전류를 유지하기 때문에 무 부하 상태에서도 인버터에는 전격전류가 흐르게 되어 무 부하 손실이

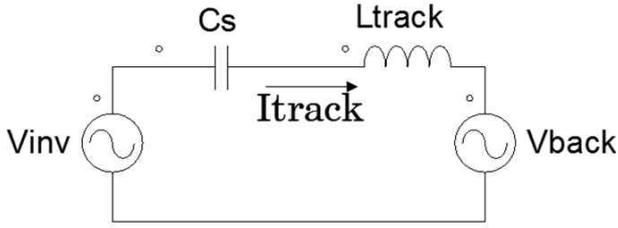


그림 2 직렬 공진 방식

늘어나지만 공진 소자가 적기 때문에 공진 튜닝이 간단하다는 장점이 있다. 본 논문에서는 공진 튜닝이 용이한 직렬 공진 방식을 사용하기로 한다.

2.2 인버터 스택 구성 및 손실 계산

스위칭 소자의 경우 높은 효율과 방열 방식이 공냉인 점을 고려하여 SIC MOSFET인 CAS300M12BM2를 사용하기로 한다. 인버터 스택을 몇 개로 나누고 한 스택에서 몇 개의 소자를 병렬로 사용할 것인지 설계하는 과정에서 강제 공냉식을 사용함에 따라 한 스택에 발열량이 2kW를 넘지 않도록 설계해야 한다. 따라서 6개의 스택에서 4개의 소자를 병렬로 사용하기로 결정했다. 그림 3은 인버터 스택의 회로도이며 이를 6개 병렬로 연결하여 총 1.2 MW의 출력을 내게 된다.

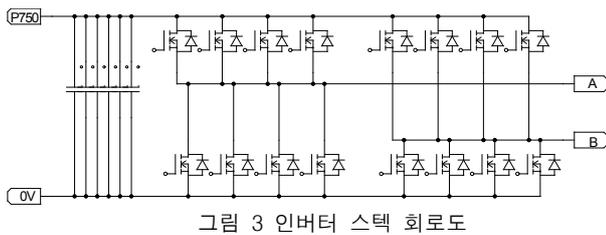


그림 3 인버터 스택 회로도

3. 실험

3.1 실험 구성

그림 5와 같이 실험 테스트 베드를 구성하였다. IVR과 정류기를 통하여 DC 입력 전압을 공급받고 이를 급전 인버터를 통하여 급전 스택에 전달된다. 그림 6은 실제 실험 세트를 구성한 구성품이다.

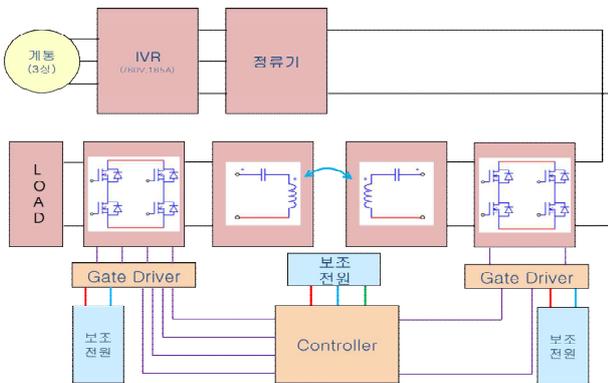


그림 4 실험 구성도

트랙의 경우 목재 판넬에 와이어를 트랙으로 설치하여 모의트랙을 제작했다. 또한 인버터 스택과 공진 콘덴서를 연결하여 급전 인버터를 제작하였다.

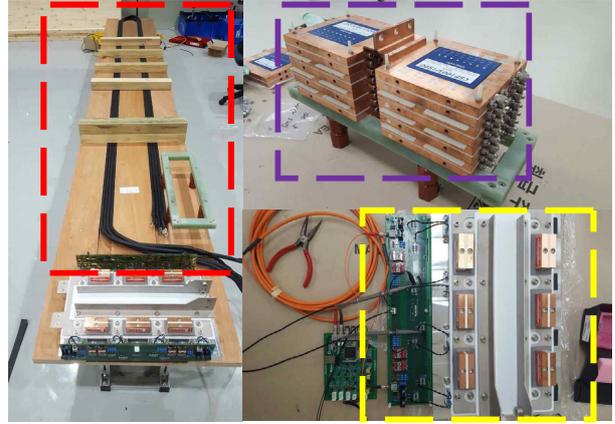


그림 5 실험 구성품

3.2 실험 결과

그림 6는 인버터 스택의 출력 전압과 전류를 나타내고 있다. 인버터 출력에서 유사 구형파를 발생시키고 발생된 유사 구형파가 공진 네트워크를 통하여 정형파 전류가 흐르는 것으로 본 실험장치가 정상동작 상태임을 말해준다.

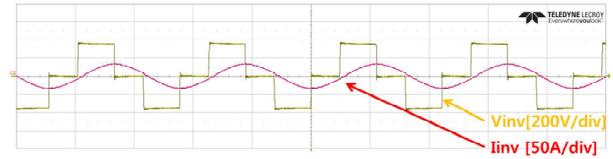


그림 6 실험 파형

4. 결론

본 논문에서는 1.2MW의 급전 인버터 스택을 설계하고 모의 실험을 통하여 흐르는 것으로 본 설계된 실험 장치의 성능과 정상을 확인할 수 있었다. 앞으로 무선 급전 시스템의 경우 시스템의 EMI, EMF의 연구가 계속적으로 필요하다.

본 연구는 국토교통부 철도기술연구사업의 연구비지원 (16RTRP-B097048-02)에 의해 수행되었습니다.

참고 문헌

- [1] 조정구, "Wireless EV Charger", 전력전자학회 2011년도 추계학술대회 논문집, 2011. 11, 124-136(13 pages)
- [2] 이수길, 이준호, 정구호, "무선 급전 철도시스템 개발 현황", 월간 교통 2013-09, 2013.9, 18-23
- [3] 이준호, "대용량 무선급전 시스템의 구성에 관한 연구", 2014 대한전기학회 제45회 하계학술대회, 2014. 7, 1653-1654 (2 pages)