

# NPC 구조의 위상천이 풀-브릿지 컨버터를 적용한 전기자동차 충전기용 30kW급 파워모듈 개발

박찬혁, 장푸름, 양형규, 황대연, 노용수, 박준성  
한국전자기술연구원 전력제어시스템 연구센터

## Development of 30kW Power Module for Electric Vehicle Chargers Using a Phase Shift Full-Bridge Converter with an NPC

Chan-Hyuck Park, Pooreum Jang, Hyoung-Kyu Yang, Dae Yeon Hwang, Yong-Su Noh,  
Joon Sung Park

Power System Research Center, Korea Electronics Technology Institute (KETI)

### ABSTRACT

본 논문에서는 NPC(Neutral Point Clamped) 구조의 위상천이 풀-브릿지 컨버터를 이용한 전기자동차 충전기용 30kW급 파워모듈 개발에 대해 기술한다. 최근 전기자동차는 400V 혹은 800V 배터리 충전 시스템으로 개발되어, 급속 충전기용 파워모듈은 200V에서 1000V까지의 넓은 출력 전압 범위를 요구한다. 이를 위해 일반적으로 DC 링크 전압을 800V 내외로 제어하게 되는데, 이로 인해 각 스위치에 높은 정격 전압을 요구하게 된다. NPC 구조의 위상천이 풀-브릿지 컨버터는 낮은 내압의 소자를 적용할 수 있어 효율적인 설계가 가능하며, 넓은 출력 전압 제어가 가능하다. 또한 전기차 배터리 충전기의 동작 특성상 무부하 상태로 운전이 요구되기 때문에 무부하 상태에서도 정확한 전압 제어를 통한 안정성을 증대할 수 있는 기술인 버스트 모드(Burst Mode)를 구현하였다. 개발된 컨버터의 설계 검증을 위해 PSIM 시뮬레이션을 진행하였으며, 실험을 통해 성능을 검증하였다.

### 1. 서론

전기자동차의 발전은 현대 사회에서 지속 가능한 교통 수단으로서의 역할을 두드러지게 하고 있다. 특히, 전기자동차의 핵심 요소인 대용량 배터리와 배터리 충전 기술은 전기자동차의 성능과 효율성을 결정하는 주요한 요소이다. 그러나 장거리 주행을 만족하기 위해서는 배터리의 용량이 증가하게 되고, 이에 따라 급속 충전을 위한 배터리 충전기의 정격 전압과 그에 상응하는 전류의 크기가 커져야 한다.

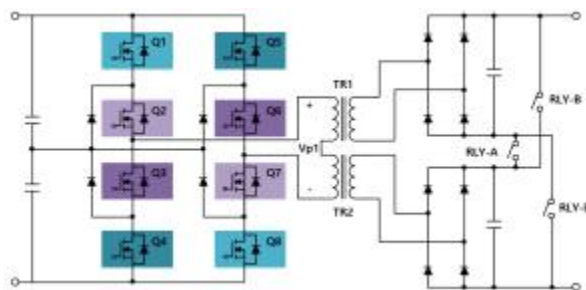


그림 1. NPC 구조의 위상천이 풀-브릿지 컨버터의 구성.  
Fig. 1. Configuration of phase shift full-bridge converter with an NPC.

최근에는 400V 혹은 800V 배터리 충전 시스템이 개발되어, 급속 충전기용 파워 모듈은 200V에서 1000V까지의 넓은 출력 전압 범위와 충전 시간 단축을 위해 대용량 컨버터가 요구되고 있다. 이를 해결하기 위해 고전압 및 대전류에 적합한 NPC 구조의 토폴로지가 적용되고 있다. 또한, 전기차 배터리 충전기 특성상 무부하 상태가 발생할 수 있어, 무부하 상태에서도 정확한 전압 제어를 통한 안정성을 증대할 수 있는 버스트 모드(Burst Mode)를 구현하여 제어기의 안정성을 높였다. 시뮬레이션을 통해 이러한 설계의 타당성을 검증하였다.

### 2. 제안하는 컨버터의 구성

#### 2.1 위상천이 풀-브릿지 컨버터의 회로 구성

NPC 구조의 위상천이 풀-브릿지 컨버터 회로도의 구성은 그림 1과 같다. 1차 측은 NPC 구조로 스위치 8개로 구성되어 있다. 스위치가 4개가 직렬 구조로 되어있기 때문에 각 스위치에 대한 전압량은 낮게 요구된다. 충전용량의 증가가 필요할 경우 스위치를 병렬로 구성하여 전류 용량을 높일 수 있다. NPC 구조의 경우 각 스위치에 걸리는 전압이 2-Level 컨버터에 비해서 절반 정도로 감소시킬 수 있다. 낮은 정격 전압으로 인하여 MOSFET의 채널을 형성하는데 필요한 전하 밀도가 줄어들기에  $R_{ds(ON)}$ 이 감소하여 효율상승의 이점 및 작동중에 발생할 수 있는 강한 전압 스파이크 또는 전력 서지의 위험성을 줄일 수 있기에 안정성 또한 증가시킬 수 있다. 컨버터의 2차 측은 릴레이를 이용하여 출력단 전압 레벨에 따라 다이오드 정류기가 직렬 또는 병렬로 구성된다. 고전압 모드에서는 직렬 릴레이(RLY-A)가 도통되며 대전류(저전압) 모드에서는 출력단 병렬 구성을 위해 두개의 병렬 릴레이(RLY-B)가 도통된다. 직렬 및 병렬 모드의 릴레이 동작을 나누는 기준점은 출력 전압을 기준으로 하였으며 직렬 및 병렬 모드 릴레이 동작을 나누는 기준점은 출력 전압 500V를 기준으로 하였다. 릴레이 도통에 따른 출력 전압 제어 및 과전압 과전류로 인한 소자 보호를 구현하였다.

#### 2.2 위상천이 풀-브릿지 컨버터의 동작

위상천이 풀-브릿지 컨버터는 스위치 레그의 위상제어를 통해 출력 전압을 제어하기 때문에, PWM 구성은 다음과 같다. 1차 측 레그의 스위치들(Q1-Q4, Q5-Q8)은 상하 대칭으로 동

### 3. 시뮬레이션



그림 2. NPC 구조의 위상천이 폴-브릿지 컨버터의 동작.

Fig. 2. Operation of the Phase Shift Full-Bridge Converters with an NPC

작하며, 위상천이 폴-브릿지 컨버터는 출력 전압 및 전류는 그림2와 같이 Q1(Q8)과 Q2(Q7)가 동시에 도통되어 변압기 1차 측에 입력전압이 인가되는 비율을 통해 제어된다. 이는 2(Q7)와 Q4(Q5)가 제어기 출력에 의해 위상차가 발생하며 구현된다. 또한 초기 구동시 돌입전류를 최소화하기 위하여 Soft-Start 제어를 구현하였다. Soft-Start는 임의의 듀티비에서부터 약 50%의 듀티비로 선형적으로 증가하며 Soft-Start 동작이 완료된 후 기존의 위상제어 제어기가 동작하는 방식으로 구현하였다.

#### 2.3 버스트 모드(Burst Mode)의 구성 및 동작

DC-DC 컨버터의 특성상 무부하 조건이 되는 순간이 있다. 그림 3 과같이 부하가 줄어드는 경우 컨버터의 출력 전압이 크게 상승하거나 불안정해질 수 있으며, 부하에 전달되는 전력이 없기 때문에 효율이 크게 저하될 수 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 버스트 모드를 구현하였고 동작의 기준점인 버스트 밴드는 출력 전압 지령값의 약 5%로 선정하였다. 버스트 모드는 무부하 상태에 돌입할 시 출력 전압이 상승하게 되고 전압이 설정해둔 최대 수치값 즉 버스트 밴드(H) 라인 보다 커지게 되면 스위칭 동작을 멈추게 하여 출력 전압이 감소하게 된다. 스위칭 동작이 멈추어 출력 전압이 감소하게 되면 설정해둔 최소 수치값 버스트 밴드(L) 라인에 도달시 스위칭 동작을 시작한다. 이로 인해 출력 전압의 평균값은 제어기의 지령값과 일치하게 되고 출력 전압 제어가 가능하다. 또한 버스트 모드는 스위칭 동작을 간헐적으로 수행하여 무부하 상태에서 불필요한 스위칭 손실을 줄인다. 이는 스위칭 소자의 동작 빈도를 줄임으로써 스위칭 손실을 낮추고 효율 상승의 이점이 있다.

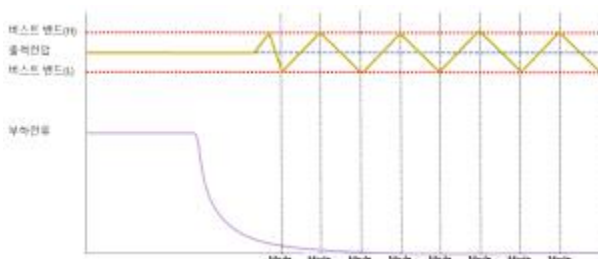


그림 3. 버스트 모드 동작.

Fig. 3. Burst Mode operation.

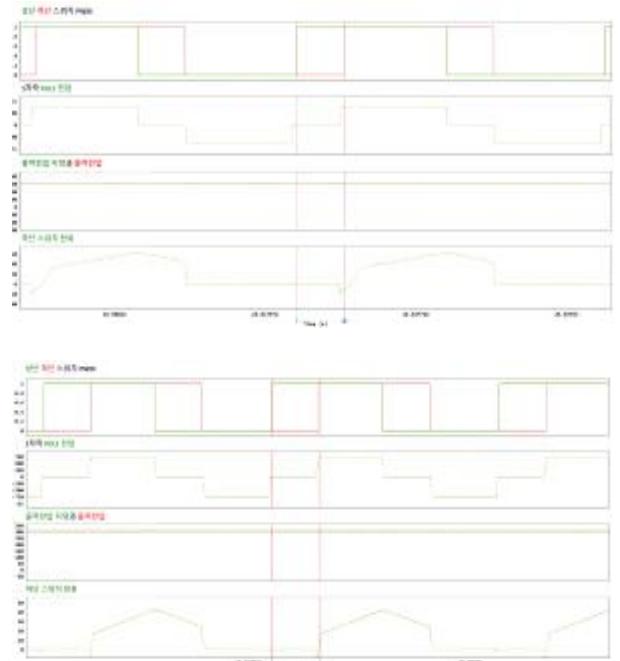


그림 4. 제안하는 컨버터의 PSIM 시뮬레이션 결과.

Fig. 4. PSIM simulation results of the proposed converter

제안하는 컨버터의 PSIM 시뮬레이션 결과는 그림 4 와 같다. 제어기 출력으로 인한 상하단 스위치 게이트 신호의 위상차로 출력 전압이 제어됨을 보여준다. 또한 하단 스위치의 게이트 신호가 인가되기 전에 스위칭 전류가 음전류로 도통됨에 따라 위의 그림과 같이 ZVS 동작을 만족한다.

### 4. 결론

본 논문에서는 NPC 구조의 위상천이 폴-브릿지 컨버터를 적용한 전기자동차 충전기용 30kW급 파워모듈 개발에 대해 다루었다. 전기자동차 충전기는 저전압 대전류, 고전압 소전류의 동작 모드를 요구한다. 이를 구현하여 시뮬레이션을 통해 모드 변경에 따른 전압 제어를 확인하였고 스위치의 ZVS 동작을 확인하였다.

이 논문은 2021년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국에너지기술평가원의 지원을 받아 수행된 연구임 (20212020800020, 통합형 최적설계 플랫폼 기반 초고효율 전력변환시스템 개발)

### 참고 문헌

- [1] 박원우, 장푸름, 박상민, 주동명, 박준성, “넓은 동작 영역을 가지는 전기자동차 충전기용 공진형 컨버터 제어 방법”, 전력전자학회 학술대회, pp.427-428, July, 2023
- [2] 김채린, 노용수, 현병조, 박준성, 최준혁, “SiC MOSFET을 적용한 25KW급 충전기용 컨버터 개발”, 전력전자학회 학술대회, pp.359-360, July, 2021