

개방권선 전동기 및 듀얼 인버터를 활용한 가변 전압형 차량 통합 충전

시스템 및 V2V 전력 전송 제어 전략 연구

권 순 백^{*1)}

현대케피코¹⁾

A Study on Variable Voltage Integrated Charging System and V2V Power Transfer

Control Strategy Using Open-End Winding Motor and Dual Inverters

Soonbaek Kwon^{*1)}

¹⁾HYUNDAI KEFICO, 102, Gosan-ro, Gunpo-si, Gyeonggi-do, Republic of Korea

Key words : High-power relay(고전력용 릴레이), Charging inlet(배터리 충전구), Interleaved ZETA(인터리브드 제타), Interleaved SEPIC(인터리브드 세픽), Open-end winding motor control technology(개방권선형 전동기 모터 제어 기술)

교신저자, E-mail: 권순백, Soonbaek.kwon@hyundai-kefico.com

최근 전 지구적 기후 위기에 대응하기 위한 탄소중립 정책의 일환으로 화석연료 기반의 내연기관차에서 고전압 배터리 및 전기모터 기반의 전기자동차(EV)로의 패러다임 전환이 가속화되고 있다. 전기자동차는 주행 시 배기가스를 배출하지 않으며 소음이 적은 친환경적 이점을 지니고 있으나, 시장의 완전한 대중화를 위해서는 충전 인프라의 유연성과 충전 효율성 확보가 필수적이다.

현재 상용화된 전기자동차의 급속 충전 시스템은 고전압 배터리의 공칭 전압이 외부 충전 인프라의 공급 전압보다 낮아야만 정상적인 전력 전송이 가능한 전압 종속적 구조를 취하고 있다. 예를 들어, 1200V급 고전압 배터리 탑재 차량은 400V/800V급 충전 인프라 활용이 어려우며, 반대로 충전기 전압이 배터리 전압보다 과도하게 높을 경우 급격한 전압 강하로 인한 전력 소자의 전기적 손상 및 열 손실 등 시스템 신뢰성 저하 문제가 발생한다. 더욱이, 차량 간 전력 전송(V2V, Vehicle-to-Vehicle) 상황에서 각 차량의 배터리 충전 상태(SOC) 및 전압 사양이 상이할 경우, 현행 토폴로지로는 이를 가변적으로 제어하여 전력을 주고받는 데 상당한 기술적 제약이 따른다.

본 연구에서는 이러한 전압 불일치 문제를 근본적으로 해결하기 위해, 2개의 인버터로 구성된 개방권선 전동기(Open-End Winding Motor) 시스템에서의 통합형 차량 배터리 충전 시스템 및 제어 알고리즘을 제안한다. 제안된 시스템은 별도의 외부 컨버터 없이도 차량 내부에 구비된 모터 구동용 인버터 회로를 재구성하여 승압(Boost) 및 감압(Buck) 기능을 동시에 수행하는 것을 골자로 한다.

핵심 제어 로직은 운전 모드에 따라 가변적으로 동작한다. 주행 모드에서는 Micro Controller Unit(MCU)을 통한 공간 벡터 PWM 제어로 모터의 토크와 속도를 정밀 제어하며, 충전 모드에서는 인버터 브릿지를 DC-DC 컨버터의 스위칭 소자로 활용한다. 특히, 본 연구에서 채택한 Interleaved Zeta 및 SEPIC(Single-Ended Primary-Inductor Converter) 기반의 변환 방식은 입출력 전압의 극성을 유지하면서도 넓은 범위의 전압 가변을 가능하게 한다. 이를 통해 외부 충전기의 전압 규격에 구애받지 않고 차량별 최적 전압으로 변환하여 충전 효율을 극대화할 수 있다.

나아가 본 시스템은 이종(異種) 배터리 사양을 가진 차량 간의 유연한 전력 공유를 지원한다. V2V 충전 시, 시스템은 전력 전송 선로를 통해 상대 차량과 실시간 통신을 수행하며 배터리의 SOC 및 정격 전압 정보를 교환한다. 제어부는 양측 차량의 전압 차를 분석하여 전력 공급 차량의 배터리 전압이 피충전 차량의 전압보다 낮거나 임계치를 초과하는 경우, PWM 듀티 제어 및 스위칭 온/오프 전략을 최적화하여 안정적인 전력 흐름을 형성한다. 이는 전력 불균형에 따른 역전류를 방지하고, 비상시 전기자동차 간 에너지 상호 보조를 가능케 하는

핵심 기술이다.

본 연구에서 제안한 시스템은 추가적인 하드웨어 비용 상승을 최소화하면서도, 모터 구동 부품의 기능을 확장하여 충전 인프라와의 호환성 및 차량 간 전력 전송의 유연성을 획기적으로 개선하였다. 이는 향후 고전압·대용량 배터리 시스템이 보편화되는 환경에서 전기자동차의 운용 효율성을 높이고, 전력망(Vehicle-to-Grid, V2G) 및 차량 간(V2V) 에너지를 공유하는 스마트 모빌리티 생태계 구축에 기여할 것으로 기대된다.

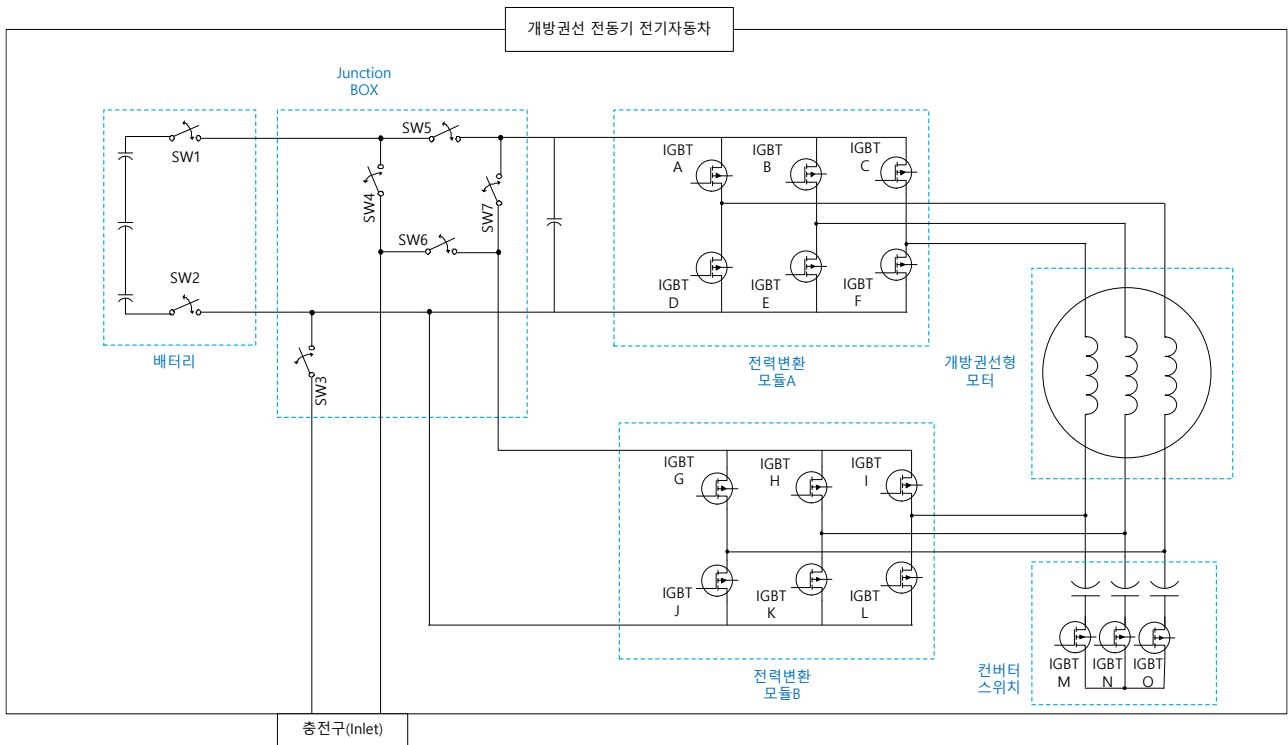


Fig. 1 가변 급속 충전을 위한 개방권선 전동기 기반 통합 인버터 시스템 구성도