

EV용 대용량 탑재형 배터리 충전기에 적합한 Phase Shift Full Bridge Converter의 최적 구조

김민국, 김윤성, 조남진, 이병국*
성균관대학교 정보통신대학

An Optimal Structure of Phase Shift Full Bridge Converter for High-capacity On-board Battery Charger of Electric Vehicle

Min Kook Kim, Yun Sung Kim, Nam Jin Cho, and Byoung Kuk Lee*
College of Information & Communication Engineering, Sungkyunkwan University

ABSTRACT

본 논문은 EV용 탑재형 배터리 충전기(OBC)와 같은 중·대용량 충전시스템에 적용한 Phase Shift Full Bridge Converter (PSFB) 토폴로지를 사용하는 경우, 트랜스포머의 구조에 따른 특성을 분석한다. 일반적으로 PSFB는 다른 토폴로지에 비해 코어 사용 효율이 높기 때문에 상대적으로 소형 경량화 설계가 용이하다. 그러나 수 kW급의 시스템 응용에서는 기존 코어 형상이나 Ap limit과 제약이 따른다. 또한 특화된 코어의 경우 높은 가격으로 설계 경쟁력이 낮아진다. 따라서 본 논문에서는 이러한 대용량 PSFB의 응용 시스템에 적합한 코어 설계를 위해 다양한 트랜스포머의 구조를 선정하여 그 특성을 비교분석한다.

1. 서 론

화석 연료의 고갈과 지구 온난화 문제를 해결하기 위해 전기 자동차의 연구 개발이 활발히 진행되고 있다. 그 중 완속 충전기에 사용되는 3.3kW급 전기자동차의 OBC에 대한 연구가 꾸준히 이루어지고 있다. 차량 시스템에서 활용되는 장비의 소비전력이 증가함에 따라 EV용 대용량 급속 배터리 충전기에 대한 연구도 활발해지고 있다. 대용량 OBC는 완속 충전기에 비하여 전류량이 크고, 그에 따라 소자에 대한 스트레스도 커서 그에 대한 연구가 필수적이다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 본 논문에서는 대용량 PSFB의 트랜스포머 구조에 따라 4가지로 분류하고 각각의 특징을 알아보았다. 시뮬레이션을 통하여 트랜스포머 구조에 의한 각 토폴로지가 대용량 PSFB의 응용 시스템에 적합한 코어 설계에 유용하게 사용될 수 있음을 확인하였다.

2. 본 론

2.1. Phase Shift Full Bridge Converter

PSFB는 그림 1과 같이 변압기 1차측의 ZVS 풀 브릿지 회로와 2차측의 전파 정류회로로 구성된다. PSFB는 추가적인 회로 없이 스위치들의 게이트 신호에 시간지연을 줌으로써 스위칭 손실을 저감하여 고효율을 달성할 수 있다. 또한 PSFB는 제어의 용이성, 전력반도체스위치의 전압/전류 스트레스 및 고전압 응용의 적합성과 같은 장점 때문에 중대용량 전력회로에서 많이 사용된다.

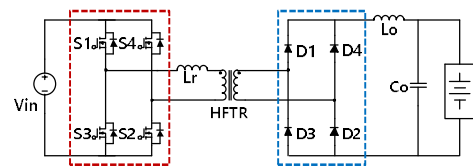


그림 1 위상천이 풀 브릿지 컨버터
Fig. 1 Phase Shift Full Bridge Converter

2.2. 트랜스포머 구조에 따른 PSFB 특징

2.2.1. Single stage Structure

Single stage Structure는 누설 인덕턴스 또는 외부 인덕턴스를 이용하여 ZVS를 하게 된다. 인덕턴스 값이 너무 크면 긴 순환 전류 구간을 초래하여 Duty cycle의 손실을 가져 오게 되고 이는 전력변환 효율을 떨어뜨리게 되므로 입력전압과 입력전류의 크기를 고려하여 인덕턴스 값을 설정할 필요가 있다.

2.2.2. Double stage Structure

Double stage Structure는 Single stage Structure를 병렬 구성하여 각 컨버터 간 전력이 균일하게 분배될 수 있도록 적절한 제어가 필요하다. 이것은 모듈 간 균등한 전류분배가 이루어져야 함을 의미한다. 전류가 균등하게 분배되어 흐르므로 Single stage Structure에 비해 소자 용량 선택에 여유가 있으며 한 모듈의 고장시 나머지 모듈만으로 부하 전류를 부담할 수 있는 장점이 있다. 제어상의 오류나 외부 원인에 의하여 제어가 적절하게 이루어지지 않을 경우 Duty cycle의 손실이 생기게 되고 이는 전류 불평형을 야기하게 된다.

2.2.3. Series Two Transformers Structure

Series Two Transformers Structure는 직렬로 연결된 두 개의 트랜스포머가 트랜스포머의 역할 뿐만 아니라 출력 인덕터의 역할을 동시에 수행한다. 이는 하나의 트랜스포머가 출력측으로 직접 전력을 전달해주는 동안, 다른 하나는 자속의 형태로 에너지를 저장해 줌으로써 가능하다. 두 개의 트랜스포머를 사용하게 되므로 누설 성분이 자연스럽게 증가하고, 이는 ZVS 가능 영역을 증가시켜서 손실 저감이 가능하다.

2.2.4. Parallel Two Transformers Structure

Parallel Two Transformers Structure는 트랜스포머 두 개를 병렬로 연결하여 적은 자화전류와 공진전류가 흐르므로 전류 스트레스가 적고 변압기 권선에서 발생하는 발열을 저감할

수 있다. 변압기를 병렬 구성함에 따라서 각 변압기에 흐르는 전류가 균등하게 흐를 수 있도록 제어를 해주어야 한다.

2.3. Simulation

성능 검증을 위하여 Single stage 구조와 Double stage 구조의 인덕터 전류 비교와 Series Two Transformers Structure와 Parallel Two Transformers Structure의 누설 인덕턴스에 인한 영향을 살펴보았다. PSIM 9.0.3을 이용하여 시뮬레이션을 실시하였으며 시뮬레이션에 사용된 토폴로지의 Schematic은 그림 2와 같다.

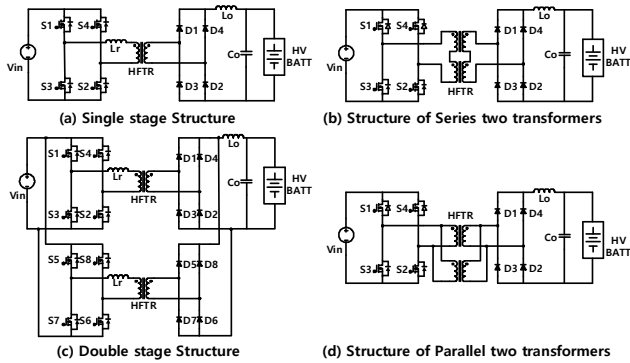


그림 2 트랜스포머 구조에 따른 위상천이 풀 브릿지 컨버터
Fig. 2 Variations of Phase Shift Full Bridge Converter by structures of transformer

2.3.1. Single stage, Double stage Structure 비교

Single stage 구조와 Double stage 구조에서의 각 모듈에 이상적으로는 동일한 양의 전류가 흘러야 하지만 Duty 손실이 생겼을 경우, 전류 불평형이 생길 수 있다. 이는 전류 리플을 야기하고 정격 출력을 내지 못하게 한다. 본 시뮬레이션에서는 Double stage 구조의 하단 모듈에 Duty cycle 손실이 생겼을 경우를 모의해 보았다.

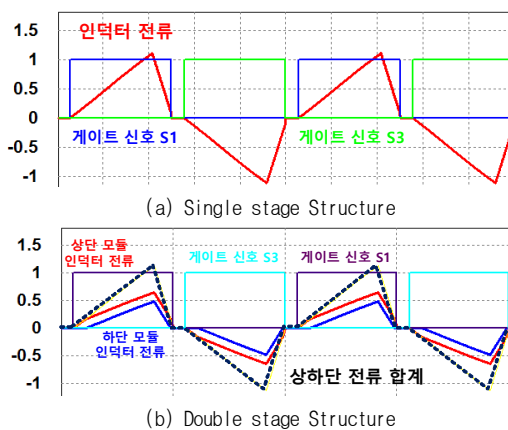


그림 3. 인덕터 전류 및 게이트 신호
Fig. 3 Inductor currents and gate signals

그림 3은 Single stage PSFB의 게이트 신호와 인덕터 전류를 나타내었고, 그림 4는 Double stage PSFB의 상단 모듈의 진상 레그의 게이트 신호와 상단 모듈, 하단 모듈의 인덕터 전류와 각각의 합을 나타내었다. 하단 모듈에서의 Duty cycle 손실로 인해 전류 불평형이 나타났으며, 이로 인해 Double stage

의 1차측 전류량이 Single stage의 입력 전류와 상이함을 확인하였다.

2.3.2. Series/Parallel Two Transformers 비교

트랜스포머를 하나만 사용하는 경우와 달리 트랜스포머를 직렬 혹은 병렬로 PSFB를 구성한 경우에는 외부 인덕턴스의 추가 없이 트랜스포머의 인덕턴스 성분으로 ZVS가 가능하다. 본 시뮬레이션에서는 트랜스포머를 직렬/병렬로 연결하였을 때 동일한 누설 인덕턴스에 의하여 병렬 권선에서 더 큰 인덕터 전류가 흐름을 확인하였다. 이는 인덕터의 트랜스포머의 누설 인덕턴스의 직/병렬 구성에 따른 것이다.

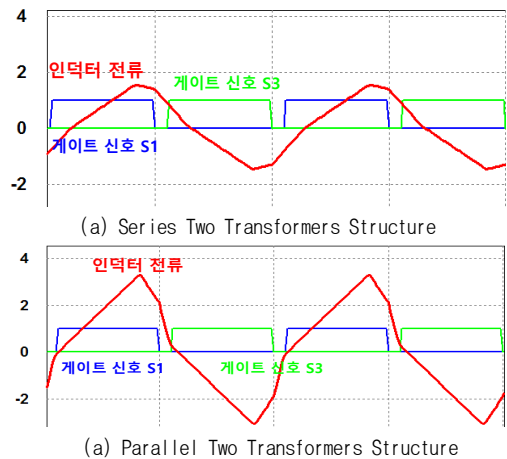


그림 4. 인덕터 전류 및 게이트 신호
Fig. 4 Inductor current and gate signals

3. 결론

본 논문에서는 EV용 대용량 탑재형 배터리 충전기에 적합한 Phase Shift Full Bridge Converter를 트랜스포머 구조에 따라 분류하고, 각각의 특징을 알아보았고, 이를 시뮬레이션을 통하여 각 토폴로지의 특징을 비교하였다. 모듈 구성의 경우 전류 불평형 문제를 해결하기 위한 제어가 필수적이며, 트랜스포머를 직/병렬로 다수 사용하는 경우 누설 인덕턴스에 따라 인덕터 전류가 상이하였다. 분석된 결과는 PSFB 토폴로지를 적용한 대용량 전력 변환 시스템에 적합한 코어 설계시 트랜스포머 구조 선택에 도움을 줄 수 있을 것이라 생각된다.

Acknowledgment

본 연구는 지식경제부 지원 하에 수행된 산업원천기술개발사업 (No. 10039318)의 연구결과입니다.

참고 문헌

- [1] 정강률, “블로킹커패시터를 이용한 향상된 위상천이 펄스폭 변조 풀브리지 컨버터”, 조명·전기설비학회논문지, 제25권 제 8호, 2011.8, pp. 20 29
- [2] 구관본, 김태성, 문건우, 윤명중, “직렬 연결된 두 개의 트랜스포머를 갖는 새로운 위상 천이 풀 브릿지 컨버터”, 전력 전자학회 논문지, 제7권 제5호, 2002.10, pp. 443 452