

스위치 저감형 풀브리지 컨버터의 구조 및 병렬 운전 기법에 관한 연구

이재현, 이승운, 김두호, 조보형, 김우섭*, 이재호*, 양천석*
서울대학교 전기 컴퓨터공학부, LS산전 자동차 전장 사업부*

Interleaved Phase Shifted Full Bridge Converter using Six Switches

J. H. Yi, S. W. Lee, D. H. Kim, B. H. Cho, W. S. Kim*, and C. S. Yang*
School of Electrical Engineering and Computer Science, Seoul National University
LS Industrial Systems Co., LTD, Korea*

ABSTRACT

본 논문에서는 저전압 대전류 출력 구조에 적합한 병렬 운전형 풀브리지 컨버터의 구조 및 운전기법에 대하여 제안하였다. 제안된 회로에서는 6개의 스위치 및 위상각을 이용하여 풀브리지 컨버터 두 모듈의 병렬 운전이 가능하다. 2kW급 하드웨어를 통하여 제안된 회로의 기본 동작원리 및 실험결과를 기술하였다.

본 논문에서는 병렬 운전형 위상천이 풀브리지 컨버터의 구조 단순화와 효율적인 제어기법에 대해서 제안한다. 제안하는 회로에서는 여섯 개의 스위치를 이용하여 두 개의 모듈을 병렬 운전함으로써 출력 전류 리플을 저감한다. 출력 전압은 독립적인 기존 방식과 달리 중첩되는 스위치와 다른 스위치들과의 두 개의 위상각 차이를 이용하여 제어한다. 2kW급 하드웨어 비교 실험결과를 통하여 제안된 회로의 동작, 제어방식 및 성능을 비교하였다.

1. 서 론

배터리를 동력원으로 하는 친환경차의 경우, 배터리 운용법과 함께 전장품의 구조 및 전기적 성능이 중점연구 대상이 되고 있다. 특히 배터리 충전 및 전력변환을 담당하는 컨버터의 성능은 차량 운전시간에 직접적인 영향을 미치기 때문에 구조 단순화와 효율 향상을 위하여 여러 연구가 진행되고 있다.[1]

고압 배터리 충전기와 달리 저압 배터리 충전기는 저전압 대전류 출력의 특성을 가지기 때문에, 부하 특성을 고려한 전력단 회로 및 제어기를 설계하여야 한다. 위상 천이형 풀브리지 (phase shifted full bridge, PSFB) 회로는 대 전력에서 고효율 달성성이 가능한 장점이 있지만 경부하시 효율 저하 및 유효 시비율이 감소하는 현상이 발생하는 문제를 안고 있다.[2] 또한 출력필터 인덕턴스를 크게 설계하면 도통 손실이 증가하는 문제가 있으며 콘덴서의 수명문제로 인하여 전해 콘덴서 대신 필름 콘덴서를 이용해야 한다. 출력 전류 리플을 적게 하기 위해서 여러 개의 모듈을 병렬 운전하는(interleaving driving method) 방식도 연구되고 있지만 소자수가 증가하여 회로가 복잡해지는 문제가 있다.[3]

2. 회로의 구성과 스위칭 방식

2.1 회로 구성

본 논문에서 제안하는 병렬 운전 방식의 PSFB 컨버터를 그림 1에 도시하였다. 독립적인 PSFB 모듈 두 대를 병렬운전 시키면 각각 4개의 스위치를 가지게 되므로 총 8개의 스위치가 필요하다. 제안하는 병렬운전 구조는 그림 1의 회로에서 확인할 수 있듯이 하나의 leg가 두 병렬 구조에 동시에 연결되어 있으므로 총 여섯 개의 스위치로 병렬 운전 회로를 동작시킬 수 있다.

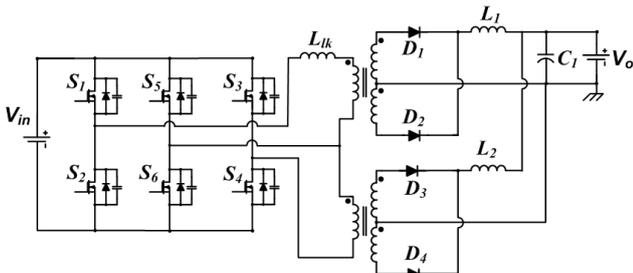


그림 1 스위치 저감형 위상천이 풀브리지 컨버터 회로
Fig. 1 Proposed interleaved PSFB converter structure

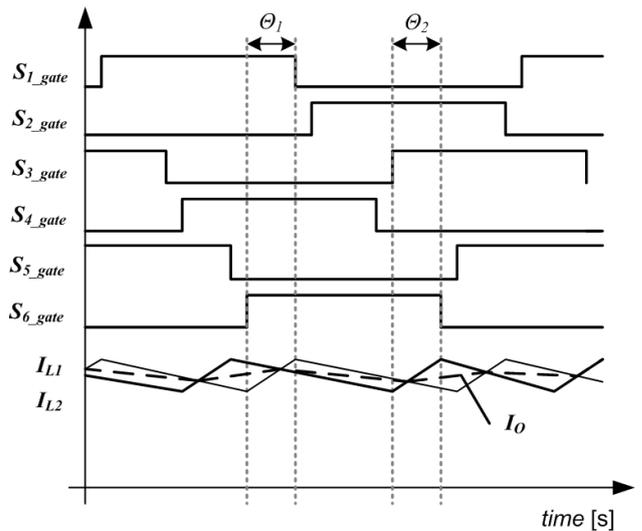


그림 2 제안된 풀브리지 컨버터의 스위치 및 전류 파형
Fig. 2 switching method of main switches in the proposed PSFB converter

제안된 회로 및 구동방법에서는 중복되는 leg의 스위치 S_5 및 S_6 이 다른 스위치보다 전류 스트레스가 증가하기 때문에 허용 전류가 두 배 높은 스위치를 이용해야 하는 단점이 있다. 그러나 기존 대비 구동 회로 구성을 단순화 할 수 있고, 독립적인 두 모듈 사이의 동기 문제를 해결할 수 있으며 차량 전장품에서 중요한 고장률 (fault rate)을 낮출 수 있는 장점이 있다. 또한 2.2절과 같이 전압 변환 비를 간단하게 조절할 수 있다.

2.2 스위칭 방식

그림 1에서 변압기 2차측을 두 개 모듈로 구분할 때, 모듈 1(D_1 과 D_2 에 의해서 정류되는 출력단)의 유효 도통구간은 S_1 과 S_6 혹은 S_2 와 S_5 가 동시에 켜지는 구간이 된다. 또한 모듈 2(D_3 와 D_4 에 의하여 정류되는 출력단)의 유효 도통구간은 S_3 과 S_6 혹은 S_4 와 S_5 가 동시에 켜지는 구간이다. 일반적인 PSFB 컨버터와 마찬가지로 모든 스위치는 deadtime을 무시하면 50%의 시비율을 가지게 되고 각 leg간의 위상각은 180° 만큼 차이가 난다.

본 논문에서 제안하는 병렬 운전 방식은 S_5 와 S_6 로 구성되는 leg가 제어 기준이 된다. S_1 이 S_6 를 leading하여 θ_1 만큼 겹치게 된다면 S_3 는 S_6 에 lagging하여 θ_2 의 각도만큼 겹치는 구간을 만들어 준다. 다시 말하면 두 개의 병렬 운전 구조에 동시에 묶여있는 스위치는 모듈 1에서는 lagging leg, 모듈 2에서는 leading leg로 동작하게 되는 것이다. 이러한 방식으로 회로를 동작시키게 되면 θ_1 이 90° 에 가까워질수록 출력 전류 리플 감소 효과가 최대가 된다. 반면 90° 와의 차이가 커지게 되면 리플 감소 효과가 줄어들게 된다. 만약 θ_1 이 90° 가 된다면 모듈 1의 인덕터 전류(I_{L1})와 모듈 2의 인덕터 전류(I_{L2})간의 위상이 180° 가 되기 때문에 전류 리플 감소 효과가 최대가 된다. 제안한 방식으로 구성한 회로는 기존의 PSFB컨버터에 비해서 출력 필터 크기를 줄일 수 있고 전류 분배 효과로 인하여 도통 손실을 줄일 수 있다.

3. 실험 결과

표 1과 같이 프로토타입의 컨버터를 설계하여, 제작 및 실험하였다. 기존의 PSFB 컨버터의 파형과 제안된 컨버터의 파형을 그림 3과 4에 도시하였다. 그림 4를 통하여 출력 전류(ΔI_o)와 출력 전압 리플성분(ΔV_o)이 줄어드는 것을 확인하였다.

4. 결론

본 논문에서는 새로운 방식의 병렬 운전형 PSFB 컨버터를 제안하고 그 스위칭 방식에 대해 소개하였다. 제안한 방식은 기존의 독립적인 병렬운전 방식에 비해서 스위치의 개수를 줄일 수 있게 되어서 가격 측면에서 경쟁력을 가지게 된다. 또한 제안한 회로는 기존의 PSFB 컨버터에 비해 출력 전류 리플을 줄일 수 있어서 출력 필터의 크기를 감소시킬 수 있다. 전류가 모듈 1과 2로 나누어서 출력되게 되므로 출력단이 대전류 형태의 구조에서는 도통 손실의 감소를 기대할 수 있다. 제안된 컨버터의 구조 및 제어방식이 리플 개선의 효과가 있음을 하드웨어 비교 실험을 통하여 검증하였다.

표 1 제안된 컨버터의 프로토타입 설계사양

Table 1 Design specification of the proposed converter

항목	값
DC 입력 전압, V_{in}	200 ~ 450V
출력 전압, I_o	9~16V
출력 전류, V_o	0 ~ 150A
최대 출력 전력, P_o	2kW
스위칭 주파수, f_s	100kHz

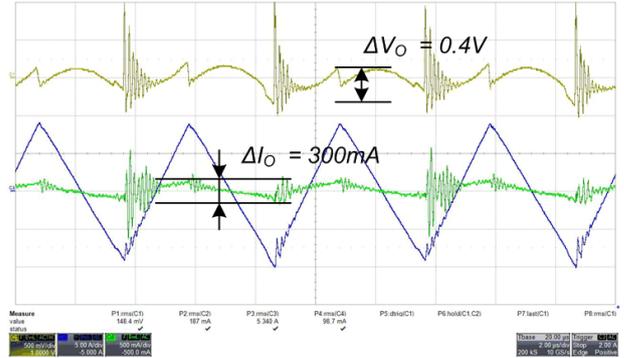


그림 3 기존 PSFB 컨버터의 파형

(ch1 : ΔV_o , ch3 : I_{L2} , ch4 : ΔI_o)

Fig. 3 waveform of conventional PSFB converter

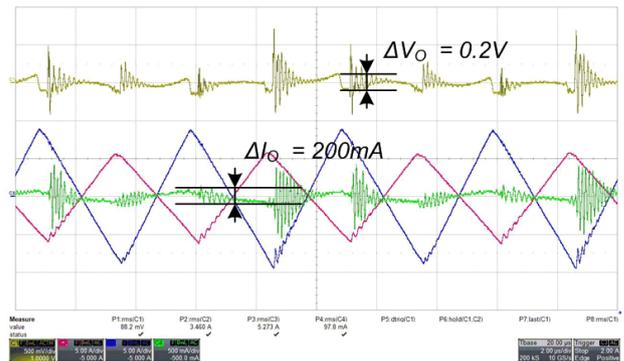


그림 4 기존 PSFB 컨버터의 파형

(ch1 : ΔV_o , ch2 : I_{L1} , ch3 : I_{L2} , ch4 : ΔI_o)

Fig. 4 waveform of conventional PSFB converter

이 논문은 LS산전의 연구비 지원에 의하여 연구되었음

참고 문헌

- [1] T. Kondoh, "Market Trend of DC DC converter for HEVs and EVs," Dempa Shimbun High Technology, pp. 2010.
- [2] J. A. Sabate, V. Vlatkovic, R. B. Ridley, F. C. Lee, and B. H. Cho, "Design Considerations for High Voltage Switched PWM converter," IEEE APEC, pp. 275 284, 1990
- [3] V. Vlatkovic, J. A. Sabate, R. B. Ridley, F. C. Lee, and B. H. Cho, "Small Signal Analysis of the Zero Voltage Switched Full Bridge PWM Converter," High Frequency Power Conversion pp. 262 271, 1990