

고정 위상 동작 인버터를 포함하는 위상천이 폴 브리지 DC/DC 컨버터

김진호, 박재성, 김홍권, 박준우, 신용생, 지상근, 조상호, 노정욱, 홍성수
 국민대학교 전력전자 연구소

Phase-Shift Full-Bridge DC/DC Converter with Fixed-Phase Operation Inverter

Jin Ho Kim, Jae Sung Park, Hong Kwon Kim, Jun Woo Park, Yong Saeng Shin,
 Sang Keun Ji, Sang Ho Cho, Chung Wook Roh, Sung Soo Hong
 Kookmin University Power Electronics Center

ABSTRACT

본 논문에서는 출력 인덕터 전류의 리플을 저감할 수 있는 새로운 방식의 위상천이 폴 브리지 컨버터를 제안한다. 제안된 회로는 2개의 폴 브리지 인버터가 연결된 구조로 되어 있으며 하나의 폴 브리지 인버터가 고정 위상(0°)으로 동작할 때, 다른 폴 브리지 인버터의 위상을 조절하여 출력 전압을 제어하는 방식이다. 정상 동작 시, 제안회로는 기존 위상천이 폴 브리지 컨버터에 비해 출력 인덕터 전류 리플이 매우 작고, 2차 측 정류기의 공진 전압도 작아져 출력 LC 필터의 소형화 및 고효율화가 가능하여 대전류 사양에 매우 적합한 장점을 갖는다. 본 논문에서는 제안된 회로의 이론적인 특성을 분석하고, 450W 전 원장치를 시작품으로 제작하여 그 우수성을 확인하였다.

1. 서 론

최근 부하장치(고성능 마이크로 프로세서 등)들이 요구하는 출력 전류가 증가함에 따라 대용량 전력변환회로에 적합한 위상천이 폴 브리지 컨버터가 주로 채용되고 있고, 이에 대한 많은 연구가 이루어지고 있다^[1]. RRH(Radio Remote Head) 전원 장치와 같이 입력전압이 낮은 사양의 네트워크 장비용 전원회로에서는 고효율 동작을 위하여 그림 1과 같이 스위치가 병렬로 사용된 위상천이 폴 브리지 컨버터를 주로 사용한다.

기존 위상천이 폴 브리지 컨버터는 입력 전압 변동에 대한 동작 마진과 순간 정전 시의 동작을 고려하여 설계하기 때문에 정상상태 구동 시비율이 30% 정도로 작고, 이로 인해서 환류 구간 발생에 의한 도통손실 증가, 출력 인덕터의 전류 리플 증가 등의 문제점을 발생시킨다^[2]. 본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하고 고효율을 달성하기 위하여 고정 위상 동작 인버터를 포함하는 위상천이 폴 브리지 컨버터를 제안한다.

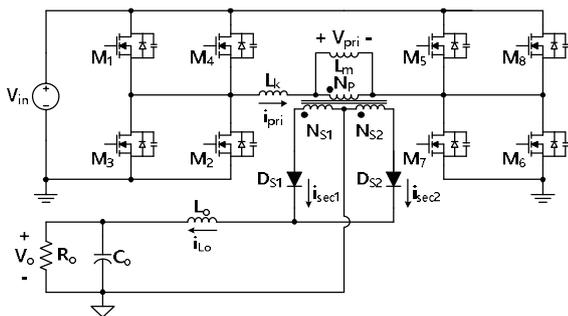


그림 1 기존 위상천이 폴 브리지 DC/DC 컨버터

2. 제안 회로의 동작원리 및 회로특징

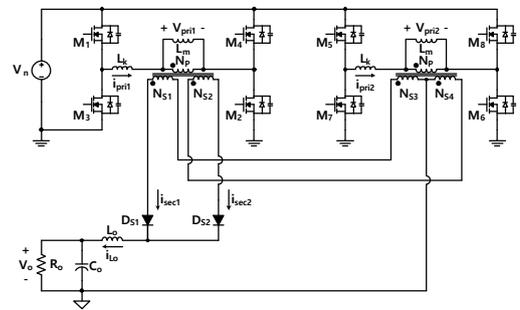


그림 2 제안된 고정 위상 동작 인버터를 포함하는 위상천이 폴 브리지 컨버터의 회로도

2.1 제안 회로의 동작 원리

제안 회로는 4개의 스위치가 각각 하나의 위상천이 폴 브리지 인버터를 구성하는 구조로 이루어져 있다. 8개의 인버터 스위치는 각각 50%의 시비율로 동작하며, M_1/M_3 스위치와 M_2/M_4 스위치의 위상차이를 ϕ_a 로 정의하고, M_5/M_7 스위치와 M_6/M_8 스위치의 위상차이를 ϕ_b 로 정의한다. 초기 기동시 제안회로는 $\phi_b=180^\circ$ 인 조건에서 ϕ_a 를 점진적으로 변화시켜 낮은 입출력 전압변환비에서 동작시키며, 정상동작시 $\phi_a=0^\circ$ 인 조건에서 ϕ_b 만을 조절하여 출력전압을 제어한다. 따라서 제안회로는 출력 인덕터의 전류 리플을 최소화 할 수 있어, 출력 인덕터의 동손 및 철손을 줄일 수 있고, 1차측 스위치 및 2차측 동기 정류기의 스위칭 손실을 줄일 수 있다. 뿐만 아니라 2차측 동손 및 철손을 줄일 수 있고, 1차측 스위치 및 2차측 동기 정류기 양단의 공진 전압도 작아져 스너버의 부담이 줄어들어 고효율화에 유리하며, 경우에 따라 1차측 스위치들의 영전압 스위칭 동작이 가능한 장점이 있다.

2.2 입출력 전압변환비 및 출력 인덕터 전류 리플을

제안 회로는 ϕ_a 와 ϕ_b 에 따라서 입출력 전압변환비 및 출력 인덕터 전류의 리플율이 다르며, 이는 아래 수식 (1)과 (2)와 같이 구할 수 있다. 이를 그래프로 나타내면 그림 3과 같다. 기존 위상천이 폴 브리지 컨버터의 경우 위상차이에 따라 인덕터 전류의 리플율이 선형함수의 형태를 갖는 것에 반해, 제안된 방식은 정상동작시 $\phi_a=0^\circ$ 인 조건에서 ϕ_b 에 따라 2차 함수의 형태를 가지므로, 출력 인덕터 전류 리플이 작은 특징이 있다.

조건 1 : 위상차이 $\phi_a=0^\circ$ 인 조건 (정상상태)

출력 인덕터에서 '전압 시간 곱 평형'을 이용하여 입출력 전압변환비를 구할 수 있으며, 전력전달 구간동안의 전류 변화량

을 통하여 출력 인덕터 전류 리플을 구할 수 있다.

$$\frac{nV_o}{V_{in}} = \left(1 - \frac{\phi_b}{360}\right), \quad r = \frac{\Delta i_{L_o}}{I_o} = \left(0.5 - \frac{\phi_b}{360}\right) \times \left(\frac{2\phi_b}{360}\right) \times \frac{R_o T_s}{2L_o} \quad (1)$$

조건 2 : 위상차이 $\phi_b=180^\circ$ 인 조건 (초기동시)

조건 1에서와 같은 방법으로 입출력 전압변환비 및 출력 인덕터 전류의 리플을 구할 수 있으며, 이는 식 (2) 와 같다.

$$\frac{nV_o}{V_{in}} = \left(0.5 - \frac{\phi_a}{360}\right), \quad r = \frac{\Delta i_{L_o}}{I_o} = \frac{\phi_a}{360} \times \frac{R_o T_s}{2L_o} \quad (2)$$

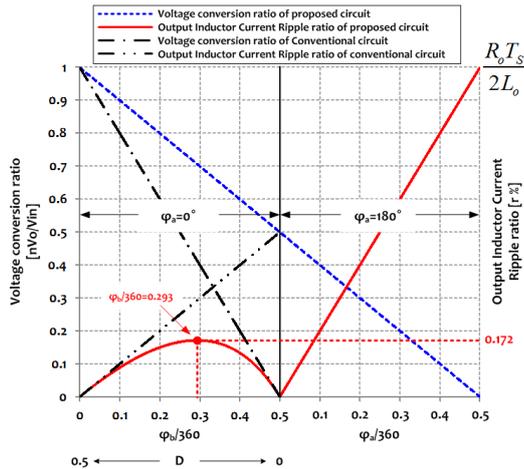


그림 3 제안회로의 입출력 전압변환비 및 출력 인덕터 전류 리플을

2.3 2차 측 정류기 양단 전압 스트레스

제안회로는 반주기 동안 2차 측 정류기 양단에 2번의 공진 전압이 나타나게 된다. 첫 번째 공진은 스위치 M_3 이 도통되어 있는 상태에서, 스위치 M_1, M_2, M_5 가 도통되기 시작할 때 발생한다. 이 시점에서의 공진은 변압기 하나의 영향만을 받는 형태로 나타나게 되므로, 기존 위상천이 폴 브리지 컨버터에 비해 2차측 정류기의 공진 전압이 작아질 수 있다. 두 번째 공진의 경우 스위치 M_1, M_2, M_5 가 도통되어 있는 상태에서 스위치 M_6 가 도통되기 시작할 때 발생한다. 이전 첫 번째 공진을 통하여 2차측 정류기 양단 전압은 $V_{in}N_{s1}/N_p$ 의 초기 전압을 갖고 있는 상태에서 두 번째 공진이 발생하기 시작하므로, 기존 위상천이 폴 브리지 컨버터에 비해 공진전압이 작아질 수 있다.

3. 실험결과

제안회로의 동작원리 및 특성을 확인하기 위하여 시작품을 제작하여 실험을 수행하였다. 입력전압 $V_{in}=35\sim 60V$, 출력전압 $V_o=30V$, 최대출력파워 $P_o=450W$, 스위칭 주파수 $=200KHz$, 자화인덕턴스 $L_m=85\mu H$, 누설인덕턴스 $L_k=250nH$, 출력인덕턴스 $L_o=5.5\mu H$, 출력캐패시터 $C_o=154\mu F$, 변압기(T_1, T_2) 턴 비=4:2:2 사양으로 진행하였으며, 1차 측 스위치 $M_1 \sim M_3 = SIR878DP$, 변압기 코어=ER 32/5/21(부피 4172 mm^3 , EPCOS), 2차 측 동기정류기=IPB200N25N3G를 사용하였다.

그림 4는 입력전압에 따른 주요 동작 파형을 나타내고 있다. 각각 변압기 1차측 전압 V_{pri1} , V_{pri2} 와 출력 인덕터 전류 I_{L_o} 를 나타내고 있으며, 입력전압에 따라 출력전압을 제어하기 위하여 하나의 폴 브리지 인버터부만 위상차이를 조절하고 있음을 알 수 있다. 실험결과 출력 인덕터 전류 리플율이 가장 큰 상황인 $44V_{in}$ 조건에서도 출력 인덕터 전류 리플의 크기가 $3.045A$

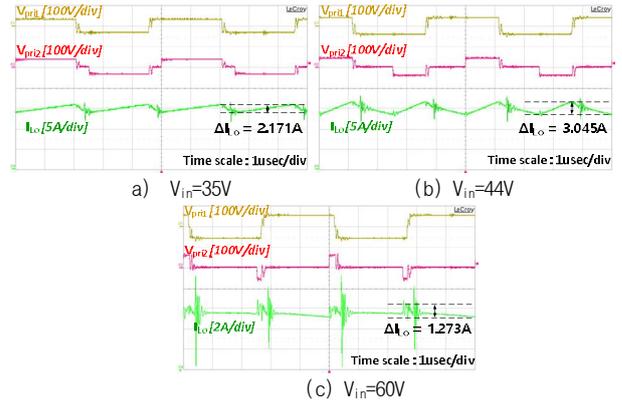


그림 4 제안회로의 주요 동작 파형 ; 각각의 변압기 1차측 파형 및 출력 인덕터 전류 파형

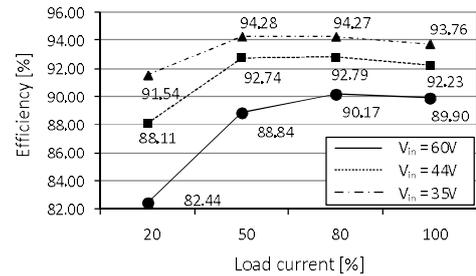


그림 5 제안회로의 입력전압/부하별 측정 효율

이고, 입력 전압 35V와 60V에서도 출력 인덕터 전류 리플의 크기가 2.171A, 3.045A로 매우 작음을 확인하였다. 그림 5는 제안회로의 입력전압/부하별 측정 효율을 나타내고 있다. 최대 부하($I_o=15A$)시 전 입력전압 범위에서 89.90% 이상의 효율이 측정되었으며, 입력전압 35V, 50% 부하조건에서 최고 94.28%의 고효율 특성을 확인하였다.

4. 결론

본 논문에서는 고정 위상 동작 인버터를 포함하는 위상천이 폴 브리지 컨버터를 제안하였다. 제안회로는 기존 위상천이 폴 브리지 컨버터에 비해 출력 인덕터의 리플 전류가 작으므로 출력 인덕터의 동손 및 철손을 줄일 수 있고, 1차 측 스위치 및 2차 측 동기 정류기의 스위칭 손실을 줄일 수 있다. 또한, 2차 측 정류기의 공진 전압이 기존 회로보다 작아 스너버의 손실을 최소화 할 수 있는 장점이 있다. 제안회로의 동작특성을 확인하기 위하여 450W급 시작품을 제작하여 실험을 진행하였으며, 이를 통하여 제안회로의 동작 및 우수성을 확인하였다.

이 논문은 지식경제부 및 정보통신 연구진흥원의 대학 IT 연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음 (NIPA 2012 H0301 12 2007)

참고 문헌

- [1] J. A. Sabate, V. Vlatkovic, R. B. Ridley, F. C. Lee, and B. H. Cho, "Design considerations for high voltage high power full bridge zero voltage switched PWM converter," in Proc. IEEE APEC, 1990, pp. 275-284.
- [2] P. K. Jain, W. Kang, H. Soin, and Y. Xi, "Analysis and design considerations of a load and line independent zero voltage switching full bridge DC/DC converter topology," IEEE Trans. Power Electron., vol. 17, Sep. 2002, pp. 649-657.