

# 넓은 입력전압 범위에서 높은 효율을 가지는 위상천이 폴브릿지 컨버터

한정규, 최승현, 문건우  
한국과학기술원

## A High Efficiency Phase-Shifted Full-Bridge Converter with Wide Input Voltage Range

Jung Kyu Han, Seung Hyun Choi, and Gun Woo Moon  
KAIST

### ABSTRACT

본 논문에서는, 넓은 입력전압 범위에서 높은 효율을 가지는 위상천이 폴브릿지 컨버터를 제안한다. 위상천이 폴브릿지 컨버터는 폴브릿지 구조로 인한 스위치의 작은 도통 손실과, 영전압 스위칭 등의 특징으로 인해 높은 용량에서 널리 쓰이는 토폴로지이다. 하지만, 위상천이 폴브릿지 컨버터는 넓은 입력전압 범위에서 설계되면 1차측에 큰 환류 전류가 생겨 도통손실이 증가하는 문제점이 생긴다. 따라서 이를 해결하기 위해, 제안하는 회로는 추가 소자 없이 간단히 2차측 정류기 구조를 바꾸어, 1차측 환류 전류를 제거한다. 이로 인해 제안하는 회로는 넓은 입력전압 범위에서도 높은 효율을 가진다. 제안하는 회로의 효용성을 증명하기 위해, 320 400V 입력 전압과 56V/12.8A의 출력에서 실험이 진행되었다.

### 1. 서론

최근 들어 인터넷이 전 세계적으로 보급됨에 따라서, 데이터 센터의 전력 소비량이 급격하게 증가하고 있다. 이와 같은 추세에 따라서 서버용 전원장치는 높은 효율을 요구하고 있으며, 서버용 전원장치의 특징인 홀드 업 시간을 만족하기 위해 넓은 입력전압 범위에서 동작을 요구하고 있다.

다양한 DC/DC 컨버터들 중, 위상천이 폴브릿지 컨버터는 폴브릿지 구조로 인한 작은 도통 손실과, 1차측 스위치의 영전압 스위칭 동작으로 인해 서버용 전원장치에서 널리 쓰이는 토폴로지이다. 하지만, 위상천이 폴브릿지 컨버터는 홀드 업 시간을 만족하기 위해 넓은 입력전압 범위에서 설계되면 1차측에 큰 환류 전류를 갖는다는 문제점이 있다[1]. 따라서 1차측 스위치에서 큰 도통 손실을 야기하여 전 부하 영역에서 효율을 감소시키게 된다. 이를 해결하기 위해 기존에는 출력 인덕터를 제거한 방식이 제안되었다[2]. 이 방식은 출력 인덕터가 없기 때문에 1차측에 환류 전류가 생기지 않는다. 하지만, 출력 인덕터의 부재로 인해 높은 피크 전류와 RMS 전류를 갖기 때문에 높은 용량의 어플리케이션에서는 사용되기 힘들다.

따라서 본 논문에서는, 간단히 2차측 정류기 구조를 변경하여 1차측에 환류 전류를 없애 전 부하영역에서 도통손실을 감소시킬 수 있는 방법을 제안한다.

### 2. 제안하는 회로의 컨셉

제안하는 회로는 그림 1과 같다. 기존의 위상천이 폴브릿지 컨버터의 구조에서 출력 인덕터를 커플드 인덕터로 사용하고, 정류기 다이오드  $D_1$ 과  $D_4$ ,  $D_2$ 와  $D_3$  사이에 위치시킨다. 이와

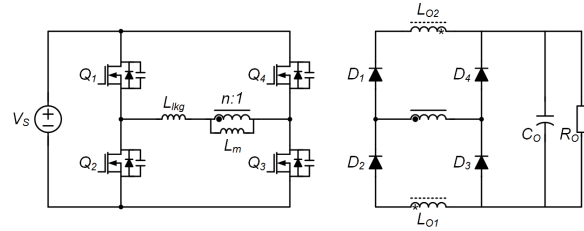
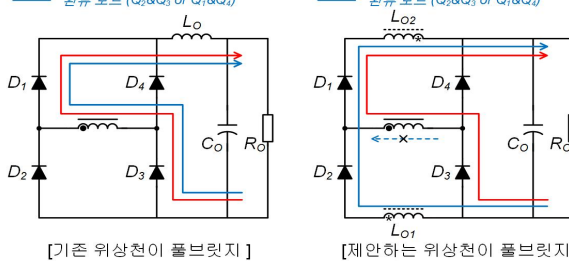


그림 1. 제안하는 컨버터

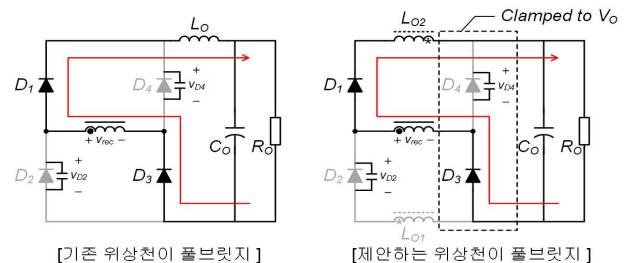
— 발드-업 모드 ( $Q_1, Q_3$  or  $Q_2, Q_4$ )  
— 환류 모드 ( $Q_2, Q_3$  or  $Q_1, Q_4$ )



[기존 위상천이 폴브릿지]

[제안하는 위상천이 폴브릿지]

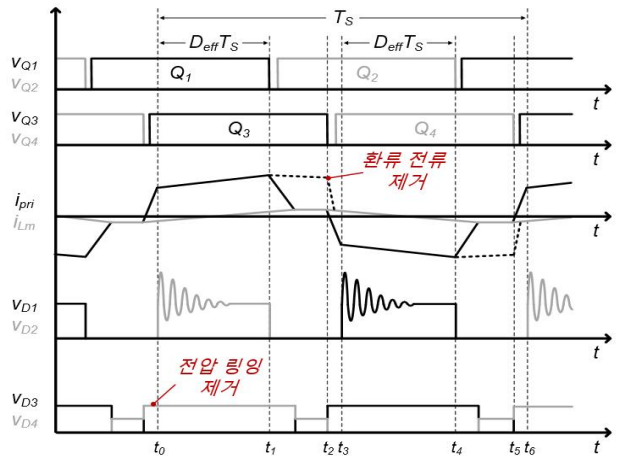
(a)



[기존 위상천이 폴브릿지]

[제안하는 위상천이 폴브릿지]

(b)



(c)

그림 2. 제안하는 컨버터의 특징. (a) 출력 인덕터로 인한 환류 전류 비교, (b) 정류기 다이오드 전압 비교, (c) 주요 파형

### 3. 실험 결과

앞서 설명한 내용들을 증명하기 위해, 320 400V 입력, 56V/12.8A 출력의 프로토타입을 통해 실험이 진행되었다. 그림 3은 100% 부하에서 기존 위상천이 폴브릿지 컨버터와 제안하는 위상천이 폴브릿지 컨버터의 주요 파형을 나타낸다.

앞서 언급한 것과 같이, 제안하는 컨버터는 새로운 정류기 구조를 통해 1차측 환류 전류를 제거한 것을 확인 할 수 있다. 하지만 제안하는 컨버터의 경우, 1차측 환류 전류가 사라짐에 따라 1차측 스위치의 영전압 스위칭을 위한 에너지가 부족해지기 때문에 트랜스포머가 기존의 위상천이 폴브릿지 컨버터 보다 작은 자화 인덕턴스를 갖도록 설계되었다. 따라서 큰 자화 전류로 인해 RMS 전류의 크기가 증가 할 수 있지만, 1차측 환류 전류가 사라지기 때문에 기존에 비해 전체적으로 작은 RMS 전류를 가지게 되었다. 뿐만 아니라, 제안하는 컨버터는 자화 전류를 이용하여 영전압 스위칭을 하였기 때문에, 기존의 위상천이 폴브릿지 컨버터와 달리, 경부하 동작 시에도 영전압 스위칭을 할 수 있다는 장점이 있다.

또한, 새로운 2차측 구조를 통해 정류기 다이오드의 전압 스트레스  $V_{D3}$ 와  $V_{D4}$ 가 출력 전압으로 클램핑되어 기존에 비해 크게 줄어든 것을 확인 할 수 있다.

그림 4는 전 부하 영역에서 제안하는 회로와 기존의 위상천이 폴브릿지 컨버터의 효율을 비교한 그래프이다. 앞서 언급한 내용과 같이, 제안하는 회로는 1차측 환류 전류를 제거하고 전압 내압이 낮은 정류기 다이오드를 사용 할 수 있어 부하가 높은 영역에서 도통손실을 크게 저감 하였다. 또한, 제안하는 회로는 기존의 위상천이 폴브릿지 컨버터와 달리 경부하 영역에서도 영전압 스위칭이 가능하기 때문에, 경부하 영역에서도 높은 효율을 달성 할 수 있었다. 뿐만 아니라, 제안하는 컨버터는 정류기 다이오드  $D_3$ 와  $D_4$ 를 위한 스너버가 필요 없기 때문에, 스너버에서 발생하는 손실을 저감할 수 있다. 따라서 이러한 특징들로 인해, 제안하는 회로는 기존의 위상천이 폴브릿지 컨버터에 비해 전 부하 영역에서 높은 효율을 달성 하였다.

### 4. 결론

본 논문에서는, 커플드 인덕터를 통해 2차측 정류기 구조를 변경하여, 넓은 입력 전압 범위에서 높은 효율을 가지는 위상천이 폴브릿지 컨버터를 제안하였다. 제안하는 회로는 커플드 인덕터를 통해 출력 인덕터의 환류 전류가 1차측으로 투영되지 않게 하여 1차측 도통 손실을 감소 시킨다. 또한, 새로운 정류기 구조를 통해 다이오드의 전압 스트레스를 출력전압으로 클램핑 시켜, 낮은 내압의 다이오드를 사용 할 수 있게 하였다. 이와 같은 특징들로 인해, 제안하는 회로는 전 부하 영역에서 높은 효율을 달성할 수 있었다.

이 논문은 2017년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2016R1A2B2010328)

### 참고 문헌

- [1] I. H. Cho and G. W. Moon, "A zero voltage and zero current switching full bridge converter using an auxiliary circuit", IECON 2012.
- [2] W. J. Lee, K. B. Park, T. W. Heo, and G. W. Moon, "Output inductor less phase shift full bridge converter with current stress reduction technique for server power application," IEEE Power Electronics Specialists Conference, 2008.

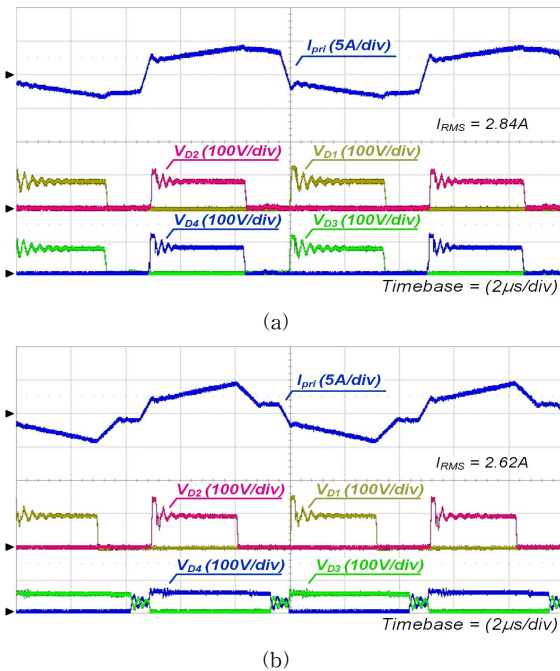


그림 3. 100% 부하에서의 주요 파형. (a) 기존의 위상천이 폴브릿지 컨버터, (b) 제안하는 위상천이 폴브릿지 컨버터

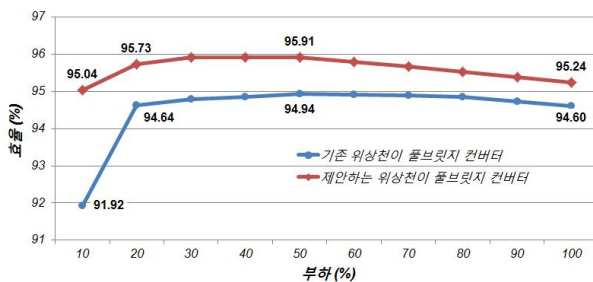


그림 4. 효율 비교

같은 구조로 인하여 제안하는 컨버터가 갖는 특징은 그림 2와 같다. 먼저 그림 2(a)에서 볼 수 있듯이, 기존의 위상천이 폴브릿지 컨버터는 출력 인덕터의 환류 구간 동안, 출력 인덕터의 환류 전류가 트랜스포머의 2차측으로 흐르게 되어 이 전류가 1차측으로 투영 된다. 이로 인해 기존의 위상천이 폴브릿지 컨버터는 파워가 전달되지 않는 환류 구간동안, 1차측에 불필요한 환류 전류가 야기되어 도통 손실을 증가시키는 문제점이 생긴다. 하지만 제안하는 컨버터의 경우, 커플링 된 출력 인덕터로 인해, 출력 인덕터의 환류 전류가 트랜스포머를 지나지 않고, 정류기 다이오드  $D_1$ 과  $D_2$ 를 통해서 흐르게 된다. 따라서, 기존의 위상천이 폴브릿지 컨버터와 달리, 1차측에 환류전류가 생기지 않게 되어, 1차측의 RMS 전류가 줄어든다.

제안하는 컨버터의 또 다른 장점은 2차측 정류기의 다이오드  $D_3$ 와  $D_4$ 의 전압이 출력 전압으로 클램핑 된다는 것이다. 그림 2(b)에서 볼 수 있듯이, 기존의 위상천이 폴브릿지 컨버터의 경우, 출력 인덕터가 존재하여 정류기 다이오드의 기생 커패시터와 1차측 기생 인덕터 간의 공진으로 인해, 정류기 다이오드가 큰 전압 스트레스를 갖는다. 하지만 제안하는 컨버터의 경우  $D_3$ 와  $D_4$ 의 전압이 출력 전압으로 클램핑 되어 전압 링이 사라져 낮은 전압스트레스를 갖게 되고, 성능이 우수한 다이오드를 사용 할 수 있게 된다. 또한, 스너버를 사용 할 필요가 없어지기 때문에 스너버에서 발생하는 손실과 주변 회로를 제거 할 수 있다. 따라서 그림 2(c)에서 볼 수 있듯이, 제안하는 컨버터는 새로운 정류기 구조를 통해 1차측 도통 손실과 2차측 정류기 다이오드의 전압 스트레스를 줄일 수 있다.