

# 유니버설 입력 전압에서 높은 효율을 가지는 새로운 브리지리스 부스트 PFC 컨버터

이정수, 김정은\*, 고승환, 문건우  
한국과학기술원, \*솔루엠

## A New Bridgeless Boost PFC Converter For High Efficiency With Universal Input Voltage

Jeong Soo Lee, Chong Eun Kim\*, Seung Hwan Ko, and Gun Woo Moon  
KAIST, \*Solu M

### ABSTRACT

본 논문에서는, 유니버설 입력 전압에서 높은 효율을 가지는 새로운 구조의 브리지리스 부스트 PFC 컨버터를 제안한다. 제안하는 컨버터는 두 개의 인덕터와 네 개의 GaN 스위치, 두 개의 다이오드와 SPDT 릴레이를 사용하여 입력 전압에 따라 토폴로지 변환이 가능하다. 로우라인 입력전압이 인가될 경우, 제안하는 컨버터는 기존의 인터리브드 토탐폴 브리지리스 PFC 컨버터로 동작하는 반면, 하이라인 입력전압이 인가될 경우, 제안하는 컨버터는 하나의 부스트 컨버터로 동작하게 된다. 따라서 제안하는 컨버터는 유니버설 입력전압에서 높은 효율을 가지며, 고효율을 요구하는 서버용 전원장치나 유니버설 입력을 요구하는 기타 PFC 어플리케이션에 적용될 수 있다. 제안하는 컨버터는 유니버설 라인 입력 (90V<sub>AC</sub> ~ 265V<sub>AC</sub>), 400V / 1.6kW 출력의 프로토타입 컨버터를 통해 동작을 검증하였다.

### 1. 서론

오늘날, 데이터 센터에서 소비되는 전기량이 매우 크게 증가함에 따라 서버용 전원장치에서의 에너지 변환 효율이 매우 중요한 이슈로 부각되고 있다<sup>[1]</sup>. 이에 따라, 기존의 부스트 PFC 컨버터보다 높은 효율을 가지는 다양한 구조의 브리지리스 PFC 컨버터가 제안되어 왔다<sup>[2]</sup>. 특히, 그림 1의 인터리브드 토탐폴 브리지리스 PFC 컨버터의 경우, 도통 손실이 작아서 로우라인 입력에서 높은 효율을 가진다. 그러나 하이라인 입력의 경우 조건에서는 입력전류가 작아짐에 따라, 전력 효율에 있어서 도통손실 보다 스위칭 손실 및 인덕터의 코어 손실이 더 중요한 요소가 된다. 그러므로 기존의 인터리브드 토탐폴 브리지리스 PFC 컨버터는 하이라인 입력의 경우 조건에서 낮은 효율을 가진다. 따라서 본 논문에서는 SPDT 릴레이를 사용한 새로운 구조의 브리지리스 PFC 컨버터를 제안한다. 제안된 컨버터는 로우라인 입력전압에서는 기존의 인터리브드 토탐폴 브리지리스 PFC 컨버터와 동일하게 동작하고, 하이라인 입력전압에서는 단일한 부스트 컨버터로 동작하여 유니버설 라인입력 전압에 대해 높은 효율을 가진다.

### 2. 제안된 회로의 동작 방식 및 실험 결과

#### 2.1 제안된 회로의 동작 방식

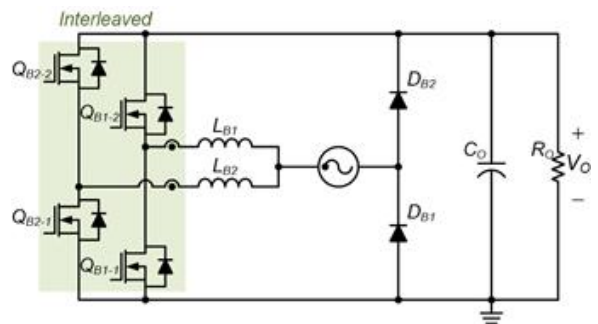


그림 1. 인터리브드 토탐폴 브리지리스 PFC 컨버터

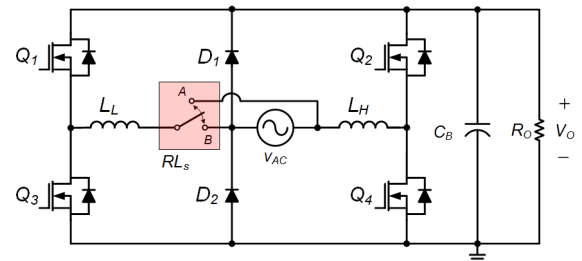


그림 2. 제안된 컨버터

제안된 컨버터는 그림 2에서 볼 수 있듯이, 네 개의 GaN 스위치와 두 개의 인덕터, 두 개의 다이오드와 한 개의 SPDT 릴레이를 포함한다. 제안된 컨버터에 로우라인 입력 전압이 인가될 경우, 릴레이의 전기자가 A로 붙게 되어, 제안된 컨버터는 기존의 인터리브드 토탐폴 브리지리스 PFC 컨버터와 동일한 동작을 하게 된다. 반면, 제안된 컨버터에 하이라인 입력 전압이 인가될 경우, 릴레이의 전기자가 B로 붙어, 두 개의 인덕터가 직렬로 연결됨으로써 제안된 컨버터는 단일한 부스트 컨버터로 동작하게 된다. 이 때, Q<sub>2</sub>와 Q<sub>4</sub>는 AC 입력전압의 반주기마다 교번으로 켜지게 되어 전류의 도통경로를 제공하고, Q<sub>1</sub>과 Q<sub>3</sub>는 기존의 스위칭 주파수로 교번으로 동작한다. 따라서, 제안된 컨버터는 하이라인 입력 전압이 인가될 때 다음과 같은 특징을 지닌다.

- 1) 직렬로 연결된 두 개의 인덕터에 각각 입력 전압이 나누어 걸리게 되어 인덕터에서 발생하는 자속의 변화량이 감소함에 따라 코어 손실이 줄어든다.
- 2) 전류가 D<sub>1</sub>, D<sub>2</sub>가 아닌 Q<sub>1</sub>, Q<sub>2</sub>의 채널로 도통하여 전류의 도통손실을 줄일 수 있다.

표. 1 제안된 컨버터의 설계 파라미터

코어 크기	35.81mm(OD), 10.46mm(HT)
코어 재질	High flux toroidal core
와이어	1.2φ 1가닥
턴 수	60턴
인덕턴스	140μH

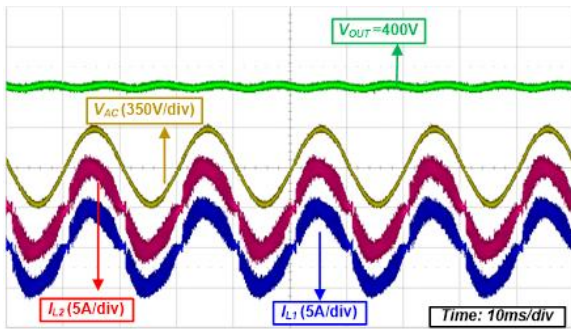


그림. 3. 100% 부하 조건에서 인터리브드 토탐폴 브리지리스 PFC의 인덕터 전류파형

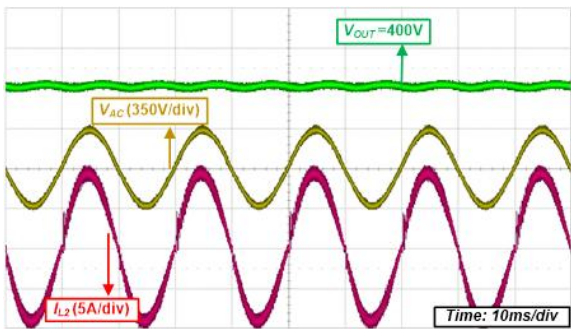


그림. 4. 100% 부하 조건에서 제안된 컨버터의 인덕터 전류파형

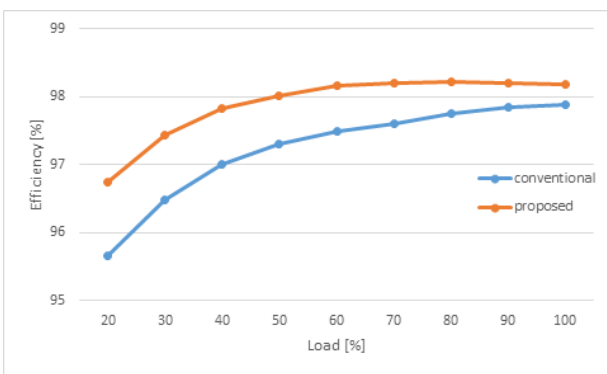


그림. 5. 기존의 컨버터와 제안된 컨버터의 효율 비교

3) 로우라인 입력 전압이 인가되었을 때에 비해 스위칭하는 GaN 스위치의 개수가 절반으로 줄어들게 됨으로써 스위칭 손실을 줄일 수 있다.

## 2.2 제안된 회로의 실험 결과

표 1은 제안된 컨버터의 인덕터 설계 파라미터들을 나타내고 있으며, 그림 3과 그림 4는 각각 230V<sub>AC</sub> 입력 전압과 100% 부하조건에서 기존의 인터리브드 토탐폴 브리지리스 PFC 컨버터의 인덕터 전류 파형과 제안하는 컨버터의 인덕터 전류파형을 나타낸 것이다. 기존의 컨버터와 제안하는 컨버터 모두 100% 부하조건에서 continuous conduction mode (CCM)에서 동작하는 것을 확인할 수 있다.

제안하는 컨버터는 로우라인 입력 전압에서 기존의 인터리브드 토탐폴 브리지리스 PFC 컨버터와 동일하게 동작을 하며, 이 때 릴레이로 인하여 추가로 발생하는 전력 손실량은 무시할 만큼 작다. 따라서 로우라인 입력 전압에서 제안하는 컨버터의 효율은 기존의 컨버터와 거의 동일하다. 반면, 그림 5는 기존의 인터리브드 토탐폴 브리지리스 PFC 컨버터와 제안된 컨버터의 230V<sub>AC</sub> 입력 전압에서의 부하별 효율 비교를 나타낸 그래프이다. 그래프에서 확인할 수 있듯이, 제안된 컨버터는 하이라인 입력 전압에서 기존의 컨버터에 비해 최대 1.07%가량 높은 효율을 가지는 것을 확인할 수 있다. 이는 앞서 설명 했듯이, 제안하는 컨버터의 경우 기존의 인터리브드 토탐폴 브리지리스 PFC 컨버터에 비해 작은 도통 손실과 인덕터 코어손실, 그리고 작은 스위칭 손실을 가지기 때문이다.

## 3. 결론

본 논문에서는, SPDT 릴레이를 사용한 새로운 구조의 브리지리스 PFC 컨버터가 제안되었다. 제안된 컨버터는 로우 라인 입력 전압에서 기존의 인터리브드 토탐폴 브리지리스 PFC 컨버터와 동일하게 동작하고, 하이 라인 입력 전압에서 두 개의 인덕터가 직렬로 연결되어 하나의 부스트 컨버터로 동작하게 된다. 이에 따라 제안된 컨버터는 높은 입력 전압에서 도통 손실, 인덕터 코어 손실, 그리고 스위칭 손실을 줄일 수 있다. 그러므로 제안된 컨버터는 유니버설 입력 전압에 대해 높은 효율을 가지게 되며, 이는 서버용 전원 장치나 기타 유니버설 입력 전압을 갖는 어플리케이션들에 적용될 수 있다.

이 논문은 2017년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF 2016R1A2B2010328)

## 참고 문헌

- [1] Jae Bum Lee, Jae Kuk Kim, Jae Il Baek, Jae Hyun Kim, Gun Woo Moon "Resonant Capacitor On/Off Control of Half Bridge LLC Converter for High Efficiency Server Power Supply," IEEE Trans.Power Electron, Vol. 63, No. 9, pp. 5410 5415, 2016, April.
- [2] Laszlo Huber, Yungtaek Jang, Milan M. Jovanovic, "Performance Evaluation of Bridgeless PFC Boost Rectifiers," IEEE Trans.Power Electron, Vol. 23, No. 3, pp. 1381 1390, 2008, May.