

# 결합 인덕터를 적용한 다단 듀얼 벡 AC-AC 컨버터

김흥근, 차헌녕, 장덕진  
경북대학교

## Cascaded Dual-Buck AC-AC Converter Using Coupled Inductors

Heung Geun Kim, Hon Nyong Cha, Deuk Jin Jang  
Kyungpook National University

### ABSTRACT

다단 듀얼 벡 AC AC 컨버터는 압단락 사고가 없고 정류 문제가 없으며, MOSFET을 사용하여 효율을 향상시킬 수 있다. 해당 컨버터의 주된 단점은 기존의 다단 AC AC 컨버터보다 인덕터가 많이 사용되고, 제한 인덕터의 50 % 만 사용한다는 것이다. 이러한 사실은 전력 밀도를 감소시키고 시스템 비용을 증가시킨다. 본 논문은 결합 인덕터를 사용하는 개선된 컨버터를 제시한다. 제안된 컨버터에서 각 셀 사이에 연결된 제한 인덕터는 하나의 코어에 결합되어 있다. 따라서 전체 인덕턴스, 인덕터 풋프린트 및 자기소자부피 모두 줄일 수 있다. 제안된 컨버터의 성능을 검증하기 위해 컨버터의 동작 및 실험 결과를 제시하였다.

### 1. 서론

기존에 쓰이는 직접형 PWM AC AC 컨버터는 커뮤테이션 문제가 발생하게 된다 [1]. 이를 해결하기 위해 RC 스너버 회로를 사용하거나, 스위치를 따로 제어해주는 방법이 사용되고 있다. 하지만 RC 스너버 회로의 경우 부피가 큰 수동소자를 사용하게 된다. 또한 멀티레벨 컨버터에서 기존의 AC AC 컨버터를 사용할 경우, 셀 수가 늘어날수록 제어가 복잡해지기 때문에 적합하지 않다.

이후에 커뮤테이션 문제를 컨버터 구조를 바꾸어 해결한 방법이 제시되었다. 직접형 PWM AC AC 컨버터에서 스위칭셀 구조가 적용되고, 제한 인덕터가 사용되었다[2]. 따라서 오버랩 타임 혹은 데드타임 발생 시, 인덕터가 경로에 존재하기 때문에 높은 전류와 스파이크 전압의 발생을 억제하게 된다. 제어와 PWM방법이 간단하기 때문에 멀티레벨에도 쉽게 적용이 가능한 구조이다. 최근에는 스위칭셀을 적용한 멀티레벨 PWM AC AC 컨버터에서 인덕터 개수를 감소시킨 컨버터가 개발되었다[3]. 스위칭셀에 적용된 결합 인덕터를 풀어서 중복되는 인덕터를 합치는 방법으로, 사용되는 인덕터 개수를 줄여 수동소자의 부피를 감소시켰다. 하지만 셀 수가 증가할수록 필요 제한 인덕터수가 증가하므로 자기소자의 부피가 증가하게 된다.

본 논문에서는 인덕터 소자를 하나의 코어에 결합하여 자기소자 부피를 최소화시키는 다단 듀얼 벡 AC AC 컨버터를 제시하였다. 이 컨버터는 셀 수가 증가할수록 기존의 컨버터에 비해 자기소자의 부피가 크게 감소하게 된다. 시뮬레이션과 실험을 통해 2kW급 시스템의 성능을 검증하였다.

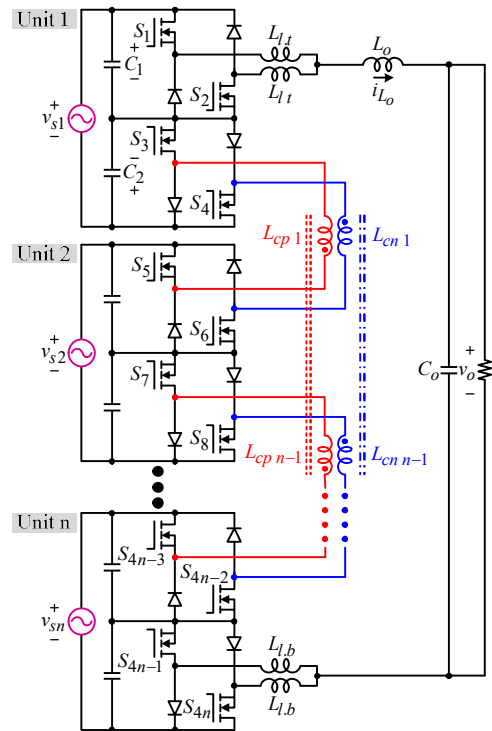


그림 1 제안한 다단 듀얼 벡 AC-AC 컨버터.

### 2. 제안한 다단 듀얼 벡 AC-AC 컨버터

#### 2.1 시스템 구성

그림 1에서 제안한 n셀 다단 듀얼 벡 AC AC 컨버터를 나타내었다. 스위칭 셀을 적용한 다단 듀얼 벡 AC AC 컨버터의 구조에서 제일 위단과 아랫단을 제외한 제한 인덕터들을 하나의 코어에 결합시킨 구조이다. 셀 수가 증가하여도 하나의 코어에 인덕터를 감을 수 있기 때문에 자기 소자가 차지하는 부피를 획기적으로 줄일 수 있다. 하나의 셀들은 스위칭 셀을 적용한 다단 듀얼 벡 AC AC 컨버터와 동일한 구조이다. 따라서 다음의 장점들을 가지고 있다. 스위칭 셀 구조를 적용하여서 커뮤테이션 문제를 해결하였고, 역 회복 특성이 좋은 다이오드가 스위치와 병렬로 연결된 구조이기 때문에 스위칭 손실이 작고 빠른 스위칭이 가능한 MOSFET을 사용할 수 있다.

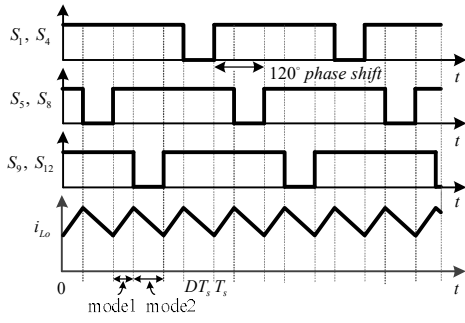


그림 2 위상 이동 PWM.

## 2.2 동작원리 및 출력 전류 리플 해석

제안한 컨버터는 그림 2에 나타난 이동 PWM을 사용한다. 하나의 셀에서 스위치  $S_1, S_4$  및 스위치  $S_2, S_3$ 는 상보적으로 동작한다. 이상적으로, 제안한 컨버터는 두 가지 동작모드를 갖는다. 모드 1에서  $S_1, S_4$ 가 켜지고  $S_2, S_3$ 가 꺼지며 입력 전압 소스가 연결된다. 모드 2에서는  $S_1, S_4$  꺼지고  $S_2, S_3$  켜진다. 입력 전압 소스가 차단되고 스위치와 다이오드를 통해 인덕터 전류가 순환한다.

다음으로 제안한 컨버터의 출력 전류 리플이 감소하는 것을 확인하기 위해서 기존의 컨버터와 제안한 컨버터의 출력 전류 리플 비를 해석하고자 한다. 두 컨버터의 출력 전류 리플은 다음과 같은 식을 통해 구할 수 있다.

$$\Delta i = \frac{v}{L} \Delta t \quad (1)$$

여기에서 주목할 점은 출력 전류 리플을 구하는데 있어, 두 컨버터의 출력 등가 인덕턴스만 다르다는 점이다. 따라서 두 컨버터의 출력 등가 인덕턴스를 구하면 출력 전류 리플 비를 구할 수 있다. 제한 인덕터의 인덕턴스를  $L$ 이라고 하면, 기존 컨버터와 제안한 컨버터의 출력 등가 인덕턴스는 다음과 같이 나타낼 수 있다. 식 3에서  $k$ 는 결합 계수를 나타낸다.

$$L_{t,conv} = \frac{n+1}{2} L \quad (2)$$

$$L_{t,pro} = \frac{(n-1)(1+(n-2)k)}{2} L + L \quad (3)$$

위의 두 식을 이용하여 두 컨버터의 출력 전류 리플 비를 구하면 다음과 같다.

$$\frac{\Delta i_{o,conv}}{\Delta i_{o,pro}} = \frac{(n-1)(1+(n-2)k)+2}{n+1} \quad (4)$$

식 4에서  $k$ 가 1이라고 가정하면, 셀의 개수가 증가함에 따라 제안한 컨버터의 출력 전류 리플이 기존의 컨버터에 비해 점차 감소하는 것을 확인 할 수 있다.

## 3. 실험결과

제안한 컨버터의 장점과 성능을 검증하기 위해 1 kW, 4셀 다단 듀얼 벡 AC-AC 컨버터를 제작하고 검증하였다. 실험조건은 다음과 같다.  $V_s=110V$ ,  $f_{sw}=50$  kHz,  $L_{limit}=50$  uH,  $C_{l2}=1.5$  uF,  $C_o=3$  uF,  $k=0.64$ . 그림 3(a)에 제안한 컨버터의  $v_s$ ,  $v_o$ ,  $i_{Lo}$ 의 실험파형을 나타내었다. 그림 3(b)는 제안한 인버터의

$i_{Lo}$ ,  $v_{DS5}$ ,  $v_{DS7}$ 의 실험파형을 나타내었다. 그림 3(c), (d)는 두 컨버터의 출력 전류 확대 파형을 나타내었다. 제안한 컨버터의 출력 전류 리플이 줄어든 것을 확인 할 수 있으며, 제시된 리플식과 일치하는 값을 얻을 수 있다.

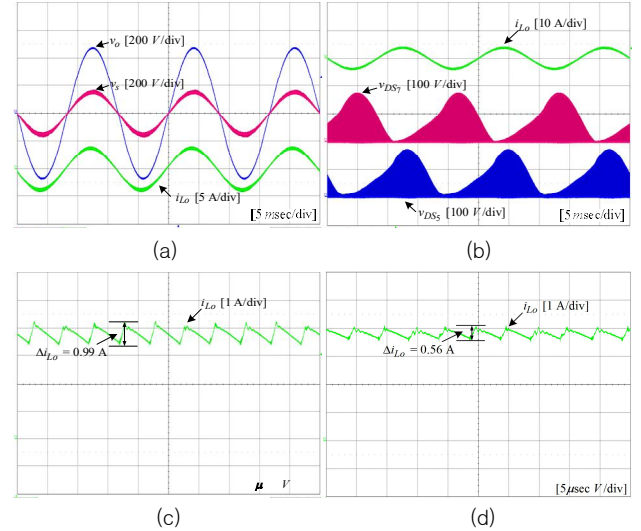


그림 3 제안한 컨버터 및 기존 컨버터의 실험파형.

## 4. 결론

본 논문에서 새로운 결합 인덕터를 적용한 다단 듀얼 벡 AC-AC 컨버터를 제안하였다. 기존의 다단 듀얼 벡 AC-AC 컨버터와는 다르게 제안한 컨버터는 제한 인덕터를 하나의 코어에 결합하였다. 때문에 작은 인덕턴스 값으로도 기존에 요구했던 출력 전류 리플 크기를 만족 시킬 수 있으므로, 제한 인덕터가 차지하는 부피를 줄일 수 있다. 또한, 인덕터의 풋프린트가 줄어들므로 컨버터의 PCB크기가 기존에 비해 줄어든다. 제안한 컨버터의 장점을 확인하기 위해, 4셀 구조의 프로토타입 컨버터를 제작하였으며 기존의 컨버터 역시 4셀 구조의 컨버터로 제작하였다. 직접 실험을 통해 둘의 결과를 비교하고 제안한 컨버터의 장점을 검증하였다.

이 논문은 경북대학교의 연구비 지원에 의하여 연구되었습

## 참고 문헌

- [1] A. A. Khan, H. Cha, and H. F. Ahmed, "High efficiency single phase ac ac converters without commutation problem," IEEE Trans. Power Electron., vol. 31, no. 8, pp. 5655-5665, Aug. 2016.
- [2] P. W. Sun, C. Liu, J. S. Lai, and C. L. Chen, "Cascade dual buck inverter with phase shift control," IEEE Trans. Power Electron., vol. 27, no. 4, Apr. 2012.
- [3] A. A. Khan, H. Cha, J. W. Baek, J. Kim, and J. Cho, "Cascaded dual buck ac ac converter with reduced number of inductors," IEEE Trans. Power Electron., vol. 32, no. 10, pp. 7509-7520, Oct. 2017.