

커뮤테이션 문제가 없는 멀티레벨 AC-AC 컨버터

김상훈*, 김흥근*, 차헌녕*, 전태원**, 노의철***
 경북대학교* 울산대학교** 부경대학교***

A Novel Multilevel AC-AC Converter Without Commutation Problem

Sanghoon Kim*, Heung Geun Kim*, Honnyong Cha*, Tae Won Chun**, Eui Cheol Nho***
 Kyungpook National Univ.*, Ulsan Univ.**, Pukyong National Univ.***

ABSTRACT

본 논문에서 커뮤테이션 문제가 없는 새로운 직접형 PWM 멀티레벨 AC AC 컨버터를 제안한다. 스위칭셀 구조와 결합인덕터를 사용한 단상 PWM AC AC 컨버터를 다단으로 결합한 구조로써 제안한 컨버터는 커뮤테이션 문제를 해결하기 위해 입력전압의 극성을 검출할 필요가 없다. 다단구조로 갈 경우 제안된 컨버터는 멀티레벨 출력이 가능하고 작은 전압내압을 가진 스위칭 소자를 이용해서 높은 AC 전압을 얻을 수 있다. 그리고 Phase Shift PWM 기법을 적용하여서 인터리브드 효과로 인해 출력 필터의 크기를 획기적으로 줄일 수 있다. 400W 급 2단 구조의 컨버터를 제작하여서 성능을 검증하였다.

1. 서 론

통상적으로 쓰이는 직접형 PWM AC AC 컨버터는 AC 스위치 사용으로 인해 대부분 커뮤테이션 문제가 발생한다고 알려져 있다.^[1] 이 문제를 해결하기 위해 부피가 큰 RC 스누버 회로 또는 안전한 진류 과도상태를 충족할 수 있는 pwm 방법이 필요하다. 현재 사용되는 방법들은 입력전압의 극성을 검출하여 스위치를 제어해주는 방식이다. 그러나 입력전압에 노이즈가 있거나 왜곡이 생길 경우 영 전압 부분에서 전압극성의 검출이 어려워 여전히 커뮤테이션 문제를 가지고 있다.^[2]

최근에 커뮤테이션 문제를 해결한 직접형 단상 PWM AC AC 컨버터가 개발되었다.^[2] 이 컨버터는 스위칭셀 구조와 결합인덕터를 사용하여서 컨버터의 phase leg를 구성하고 이 구조로 인해 입력전압의 극성을 검출할 필요없이 커뮤테이션 문제를 해결할 수 있다. 스위칭 셀을 구성하기 위해 다이오드 (D_1, D_2, D_3, D_4)가 추가적으로 필요하지만, 이 다이오드들은 스위치와 분리되어 구성되어 있으므로 빠른 역회복 특성을 갖춘 다이오드를 선택하여서 컨버터를 고주파로 동작하도록 만들 수 있다. 결과적으로 자기소자들의 크기를 줄일 수 있고 또한 게이트 신호간의 작은 미스매치로 인한 커뮤테이션 문제가 없다. 따라서 이 컨버터는 매우 강한 신뢰성을 가진다. 본 논문에서 최근에 개발된 직접형 단상 PWM AC AC 컨버터의 개념을 확장하여 직접형 멀티레벨 PWM AC AC 컨버터를 제안한다. 이 컨버터는 스위칭 소자에 인가되는 전압을 줄일 수 있고 출력 전압/전류의 향상된 품질을 얻을 수 있다.

2. 제안된 다단 멀티레벨 AC-AC 컨버터와 동작원리

2.1 회로구성

그림 1 에서 제안한 멀티레벨 AC AC 컨버터를 나타내었다. 이 컨버터는 기존의 독립된 DC전원이 필요한 다단 멀티레벨 인버터와 유사한 구조를 보인다. Unit cell은 4개의 스위치 (S_1, S_2, S_3, S_4), 4개의 다이오드(D_1, D_2, D_3, D_4), 2개의 결합인덕터(CL_1, CL_2), 2개의 입력 커패시터(C_1, C_2)를 갖춘 구조이다. 제안된 컨버터는 데드타임과 오버랩타임 동작에 있어서 스위칭 소자가 손상되지 않고 신뢰성 있는 동작을 하는 장점이 있다.

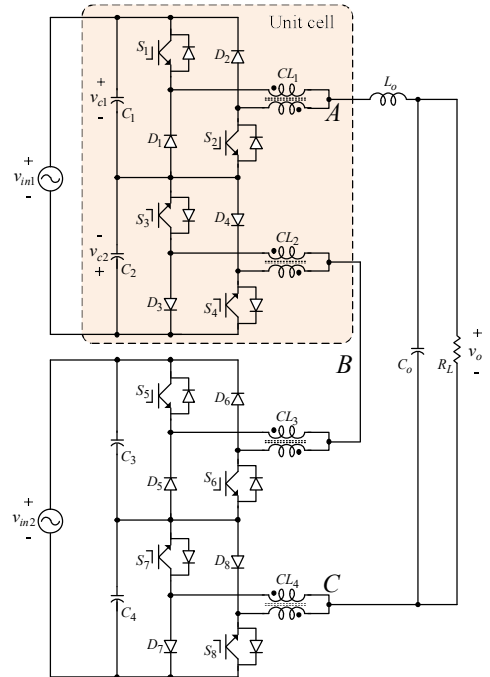


그림 1 제안된 다단 멀티레벨 AC-AC 컨버터

2.2 동작원리

결합인덕터 CL_1 과 출력 필터 인덕터 L_o 사이에 있는 노드를 "A"라 하고, 유사하게 결합인덕터 CL_2 와 결합인덕터

CL_3 사이에 있는 노드를 “B”라 하고, 결합인덕터 CL_4 와 출력 전압(v_o)의 마이너스 단자 사이의 노드를 “C”라고 정의한다. 각각의 Unit cell에는 서로 동상이며 같은 RMS 전압 크기를 가진 독립된 AC 전원이 인가된다.

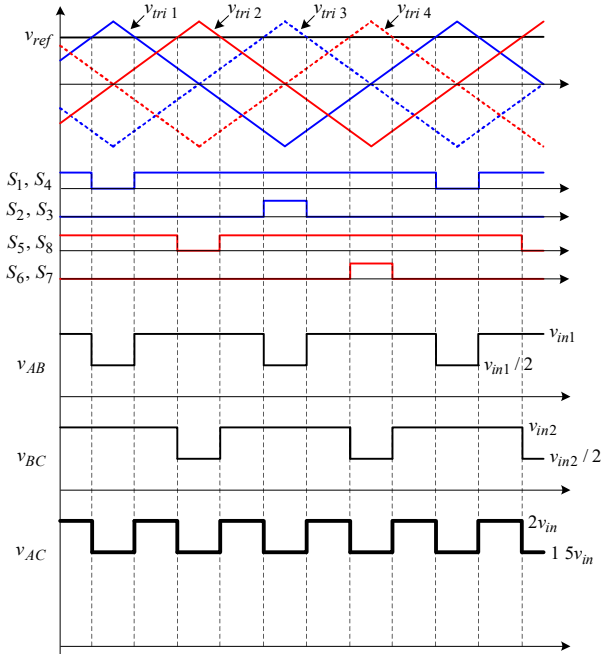


그림 2 게이트 신호 및 제안된 컨버터의 주요파형 ($0.75 < D < 1$)

그림 2 에서 $v_{in1} = v_{in2} = v_{in}$ 이고 $v_{in} > 0$ 일 때, 듀티사이클(D)의 일정범위에 따른 컨버터의 주요파형과 게이트 신호 생성방법에 대해 나타내었다. 듀티사이클은 스위칭 주기(T_S) 동안 S_1 과 S_4 신호의 온 타임의 비로 정의한다. 2단 구조에서 4개의 삼각파는 각각 90° 위상차이가 난다. 스위치 S_1, S_4 와 S_5, S_8 에는 각각 삼각파(v_{tri1}, v_{tri2})와 기준전압 신호를 비교해서 만들어진 신호가 인가되고 스위치 S_2, S_3 와 S_6, S_7 에는 각각 삼각파(v_{tri3}, v_{tri4})와 기준전압 신호를 비교해서 만들어진 신호를 반전한 신호가 인가된다. 4개의 결합인덕터는 강한 결합을 사용하기 위해 결합계수는 1에 가깝게 제작되었다. 그림 2 에서 v_{AB} 와 v_{BC} 파형의 등가 스위칭 주파수는 컨버터 스위칭 주파수의 2배이고 v_{AC} 의 파형은 v_{AB} 와 v_{BC} 의 합이다. 그러므로 출력 필터 인덕터에 스위칭 주파수의 4배의 주파수가 인가된다. 2단 구조에서 제안한 컨버터의 전압이득은 $v_o/v_{in} = 2D$ 가 된다. 이와 같은 원리로 M 개의 unit cell을 다단형태로 결합하면 전압이득은 $v_o/v_{in} = MD$ 이 되며, 출력단 주파수는 스위칭 주파수의 $2M$ 배로 증가된다.

3. 실험결과

400W급 멀티레벨 AC AC 컨버터를 제작하여서 실험하였다. 그림 3. (a)에 $v_{in} = 138 V_{rms}$, $f_{sw} = 20 kHz$ 일 때 v_o , v_{in} , i_o 의 실험파형을 나타내었다. 그림 3. (b)에 입력 커패시

터 전압(v_{c1}, v_{c2})의 파형과 스위치 S_2 와 S_3 의 컬렉터 이미터 사이의 전압 파형을 나타내었다. 그림 3. (c)에 결합인덕터와 출력필터 인덕터에 흐르는 전류파형을 나타내었다. 그림 3. (d)는 그림 3. (c)의 특정부분을 확대한 그림이다.

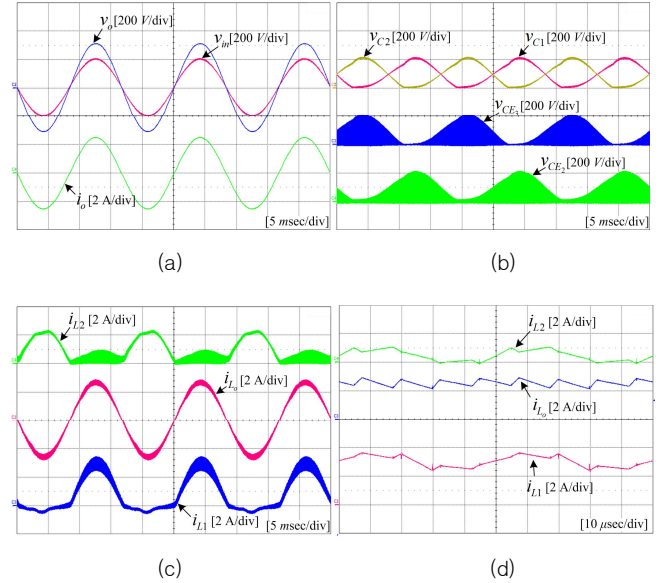


그림 3 제안된 컨버터의 실험파형
($V_o = 220 V_{rms}$, $P_o = 400 W$, $D = 0.8$)

3. 결론

본 논문에서 새로운 직접형 멀티레벨 PWM AC AC 컨버터를 제안하였다. 기존의 2레벨과 3레벨 AC AC 컨버터와 다르게 제안한 컨버터는 커뮤테이션 문제를 해결하기 위해 입력 전압의 극성을 검출할 필요가 없다. 또한 기존의 방법으로는 불가능했던 데드타임 과 오버랩타임 동작이 안정적으로 가능하다. 다단구조로 사용하게 되면 제안한 컨버터는 작은 내압의 스위칭 소자를 이용하여서 높은 AC 멀티레벨 출력전압을 얻을 수 있다. 또한 Phase Shift PWM 기법을 사용하여 등가출력주파수가 인터리브드 효과에 의해서 증가한다. 이 컨버터는 고전압 송배전시스템과 전력품질분야에 적용될 수 있다.

본 논문은 2012년도 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술연구원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (NO.20111020400260)

참고 문헌

- [1] B. H. Kwon, B. D. Min, and J. H. Kim, "Novel topologies of AC Choppers," *Electric Power Applications, IEE Proceedings*, vol. 143, no. 4, pp. 323-330, July. 1996.
- [2] H. Shin, H. Cha, H. G. Kim, and D. W. Yoo, "A Novel Single Phase PWM AC AC converters without commutation problem," in *Proc, IEEE ECCE*, 2013, pp. 2355-2362.