

PWM Cuk AC-AC 컨버터를 위한 Undeland 스너버

최남섭*, 김인동**, 노의철**, Li Yulong*

*전남대 전자통신전기공학부, **부경대 전기제어계측공학부

Undeland Snubber for PWM Cuk AC-AC Converter

Nam-Sup Choi*, In-Dong Kim**, Eui-Cheol Nho**, Yulong Li*

*Chonnam National University, **Pukyong National University

Abstract - This paper proposes a snubber circuit for a PWM Cuk AC-AC converter. The proposed snubber makes use of an Undeland snubber as a commutation aids. So the snubber keeps such good features as small count of snubber elements, reduction of voltage/current stress of main switching devices and improved efficiency. This paper shows simulation results to verify the adaptability and feasibility of the proposed snubber.

1. 서 론

PWM Cuk AC-AC 컨버터는 Buck-Boost 형과 비교하여 더 많은 수동소자를 필요로하고 구성이 복잡하고 효율이 낮다는 단점 때문에 연구가 소외되어 왔다. 그러나, PWM Cuk AC-AC 컨버터는 입력 및 출력 전류가 연속이므로 Buck-Boost 형에서 통상 요구되는 입출력 필터 없이도 전류의 리플을 일정 범위로 제한할 수 있다는 장점이 있다^[1,2].

PWM Cuk AC-AC 컨버터의 동작에 있어서 스너버의 구성은 안전한 전류의 commutation을 위하여 필수적인 것이다. 특히 용량을 증대시키려고 할 때 적당한 스너버의 적용가능성은 안전한 동작과 효율의 증대라는 측면에서 매우 중요한 사안이다. 지금까지 Cuk AC-AC 컨버터의 회로구성에 사용되는 스너버는 주로 Lossy AC형 R-C 스너버이며 따라서 매우 효율이 낮은 수 밖에 없었다.

본 논문에서는 PWM Cuk AC-AC 컨버터에 DC형 스너버인 기존의 Undeland 스너버가 적용가능함을 보이고 이러한 스너버를 포함하는 회로구성을 제안한다. 또한 PSIM 시뮬레이션을 통하여 Undeland 스너버를 포함하는 PWM Cuk AC-AC 컨버터의 commutation 동작이 제대로 이루어짐을 보이고 적용의 타당성을 보일 것이다.

2. PWM Cuk AC-AC 컨버터의 회로구성

PWM Cuk AC-AC 컨버터는 입력전압 보다 크거나 작은 출력전압을 발생할 수 있다. 이론적으로 Cuk 컨버터의 전압이득은 0부터 무한대까지이며, 입력전압에 대하여 반전된 출력전압을 얻는다.

그림 1은 3상 PWM Cuk AC-AC 컨버터를 나타낸다. 그림 1에서 Q_1, Q_3, Q_5 는 동시에 온 또는 오프되며 마찬가지로 Q_2, Q_4, Q_6 도 동시에 온 또는 오프 된다. 그러나 두 스위치 그룹은 서로 상보적으로 스위칭하고, 따라서 PWM Cuk AC-AC 컨버터는 Q_1, Q_3, Q_5 의 duty ratio d , 즉, 1개의 제어변수만을 갖는다.

그림 2는 동기 스위칭하는 두 스위치 그룹의 중성점을 서로 연결한 PWM Cuk AC-AC 컨버터의 회로구성을 보인다. 두 스위치 그룹의 중성점이 연결되어도 Cuk 컨

버터의 기본적인 동작 원리 및 입출력 특성은 그림 1의 경우와 같다. 그림 2의 회로는 다음과 같은 특징 또는 장점을 갖는다^[3].

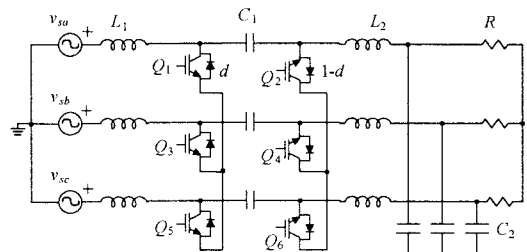


그림 1. 3상 PWM Cuk AC-AC 컨버터: 중성점 분리형

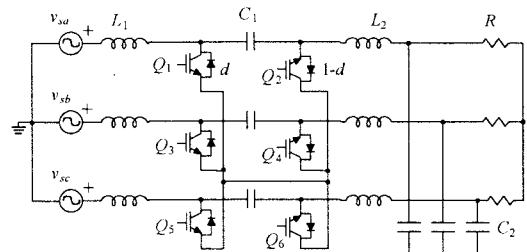


그림 2. 3상 PWM Cuk AC-AC 컨버터: 중성점 연결형

첫째, Q_1 과 Q_2 는 통상적인 하프브리지 IGBT 모듈을 사용할 수 있다. 그러므로 중성점이 연결된 방식에서는 단 3개의 하프브리지 IGBT 모듈만으로 컨버터 구성이 가능하여 compact한 구성이 가능한 장점이 있다.

둘째, 게이트 드라이버도 기존의 PWM 인버터에 사용되는 하프브리지 IGBT 구동을 위한 게이트 드라이버를 곧바로 적용할 수 있다.

셋째, 전력전달을 담당하는 C_1 커패시터에 직류전압이 인가된다. 따라서 C_1 커패시터는 DC 커패시터가 사용될 수 있다.

그림 3은 그림 1과 같이 중성점이 분리된 3상 PWM Cuk AC-AC 컨버터의 입출력 전압파형과 전력전달 커패시터 양단의 전압의 파형을 보인다. 마찬가지로, 그림 4는 중성점이 연결된 경우 입출력 전압파형과 전력전달 커패시터 양단의 전압파형을 나타낸다. 그림 4에서 보듯이 중성점이 연결되면 전력전달 커패시터의 양단에 직류전압이 인가되며 따라서 사용된 하프브리지 IGBT 모듈의 스너버 구성은 극성을 갖는 DC 스너버가 사용될 수 있다.

본 논문에서는 기존의 중성점 분리형 PWM Cuk AC-AC 컨버터에서 사용되는 비극성 AC 스너버 대신, 중성점이 연결된 PWM Cuk AC-AC 컨버터에

Undeland 스너버를 적용가능함을 보이고 시물레이션을 통하여 동작을 검증한다.

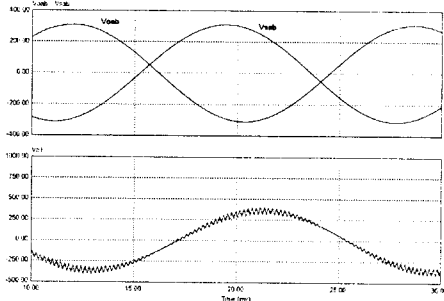


그림 3. 중성점 분리된 경우 각 부의 파형

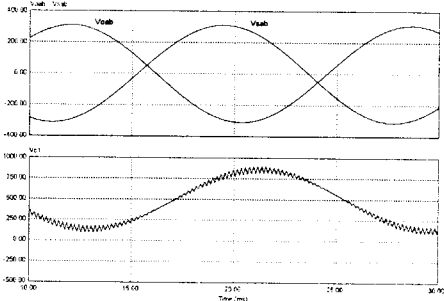


그림 4. 중성점 연결된 경우 각 부의 파형

3. 스너버 회로와 동작원리

3.1 Undeland 스너버 개요

PWM Cuk AC-AC 컨버터의 스위치 중성점을 연결하면 커패시터 전압이 DC 전압을 나타내므로 극성을 갖는 스너버를 적용할 수 있다. 그림 5는 인버터 회로에 적용되는 Undeland 스너버의 단일 폴 회로구성을 보인다^[4].

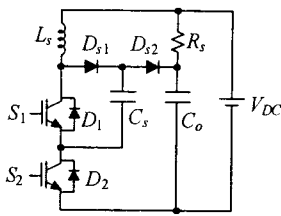


그림 5. Undeland 스너버 회로

그림 5에서 V_{DC} 는 직류 입력전압을, D_1 과 D_2 를 포함하는 S_1 과 S_2 는 하프브리지 IGBT 모듈을 나타낸다. 그림 5에서 스너버 회로는 주 스위치 소자의 dv/dt 를 제한하기 위한 턴오프 커패시터 C_s , di/dt 를 제한하기 위한 L_s , C_s 보다 약 10배 정도 큰 값을 가지면서 C_s 의 스너버 에너지를 흡수하고 overvoltage clamping을 하기 위한 C_o , 스너버 커패시터와 인덕터의 일부 에너지를 소비하여 L_s 와 C_s 를 리셋하는 저항 R_s , 2개의 부가적인 다이오드 D_{s1} , D_{s2} 로 이루어진다.

3.2 동작원리

그림 6은 Undeland 스너버 회로를 포함하는 단상 PWM Cuk AC-AC 컨버터를 나타낸다. 그림 6에서 L_{1a} , L_{1b} 는 입력측 인덕터, L_{2a} , L_{2b} 는 출력측 인덕터, C_{1a} , C_{1b} 는 에너지 전달 커패시터, C_F 는 출력 필터 커패시터, R_L

은 부하저항을 나타낸다. commutation을 포함하는 동작 원리는 그림 7과 같다.

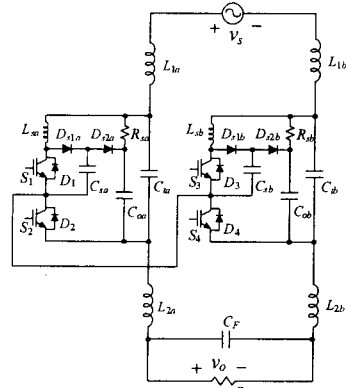


그림 6. 단상 PWM Cuk AC-AC 컨버터

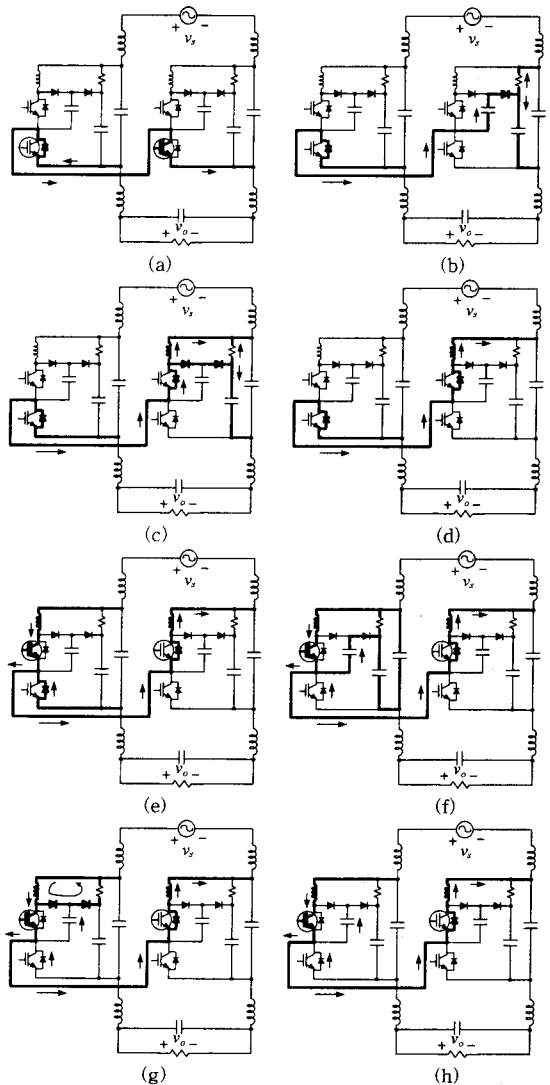


그림 7. Commutation 과정

그림 7(a)에서 S_2 와 S_4 가 온되어 있고 화살표의 방향으로 전류가 흐르고 있다고 가정한다. (b)에서 S_2 와 S_4 를 오프하면 데드타임이 시작되는데, 데드타임 구간 동안 S_2 의 전류경로는 변함없으나, S_4 의 전류는 S_4 에서 D_3 로 commutation 된다. (b)에서처럼 C_{sb} 가 방전하여 C_{sb} 의 전압이 0이 되면 (c)에서와 같이 D_3 가 온되며 풀전류는 $R_{sa}-C_{ob}$ 에서 L_{sb} 로 commutation 된다. (d)는 데드타임 구간동안 S_4 에서 D_3 로 commutation이 완료된 모습이다. 데드타임이 끝나고, (e)처럼 S_1 과 S_3 를 턴온하면 D_2 에서 S_1 으로 commutation 된다. (e)구간에서 S_1 의 전류는 선형적으로 증가하며 다이오드는 역회복을 거쳐서 오프된다. (f)는 D_2 가 턴오프된 결과 $C_{oa}-R_{sa}$ 와 $C_{ta}-L_{sa}-S_1$ 을 거치는 정현파 전류를 만들면서 C_{sa} 의 에너지가 인덕터 L_{sa} 로 dump되는 과정이며, (g)는 C_{sa} 의 방전이 완료되면서 L_{sa} 의 에너지가 $D_{sia}-D_{s2a}-R_{sa}$ 의 회로내에서 소비되는 과정을, (h)는 이상의 commutation이 완료된 후의 전류 경로를 나타낸다.

4. 시뮬레이션

단상 PWM Cuk AC-AC 컨버터의 시뮬레이션에 사용된 파라미터는 전원입력전압 $V_s(\text{rms})=110\text{ V}$, 듀티 $D=0.5$, 데드타임=1.3usec, 스위칭 주파수=5kHz이다. 또 스너버를 포함하는 회로정수는, $L_{1a}=L_{1b}=L_{2a}=L_{2b}=0.5\text{mH}$, $C_{1a}=C_{1b}=45\mu\text{F}$, $C_F=45\mu\text{F}$, $R_L=10\ \Omega$ 이고 $C_S=0.22\mu\text{F}$, $C_o=2\mu\text{F}$, $L_s=10\mu\text{H}$, $R_s=4.5\ \Omega$ 이다.

그림 8은 Undeland 스너버를 포함한 회로의 입출력 전압, 전류 파형과 스위치의 전압, 전류 파형이다. $D=0.5$ 이므로 입출력 전압의 크기는 같고 위상만 반전된 것을 확인할 수 있다.

그림 9는 S_3 스위치를 턴온할 때, 양단의 전압과 전류를 나타낸다. 이 경우 인덕터의 스너버 작용에 의하여 처음에는 전류가 선형적으로 증가후, S_3 의 전류가 부하 전류와 같게 되면 C_{sb} 의 에너지가 L_{sb} 에 dump되면서 정현파의 곡선을 나타내다가, C_{sb} 의 전압이 0이 되는 순간 다이오드 D_{s1b} , D_{s2b} 가 턴온되면서 L_{sb} 에 축적된 에너지가 지수함수곡선을 그리면서 감소하는 것을 확인할 수 있다.

그림 10은 S_3 스위치를 턴오프할 때, 양단의 전압과 전류를 나타낸다. 그림 10에서 보듯이 S_3 스위치의 전류와 전압파형은 스너버 작용에 의하여 overlap이 발생하지 않아서 스위칭 손실이 매우 작음을 확인할 수 있다.

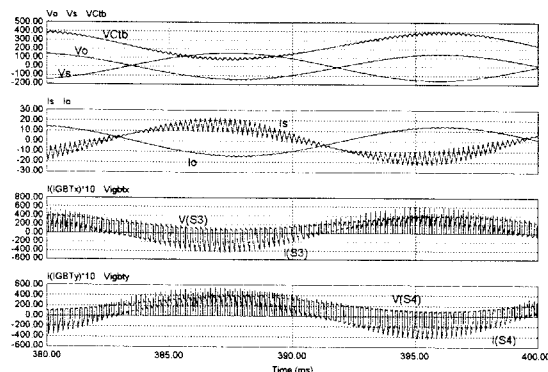


그림 8. 입출력 파형 및 스위치 전압, 전류 파형

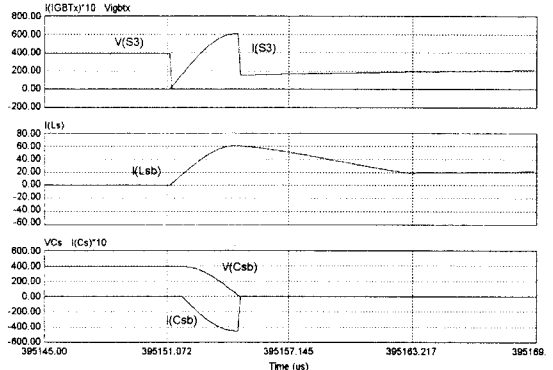


그림 9. S_3 의 턴온시 파형

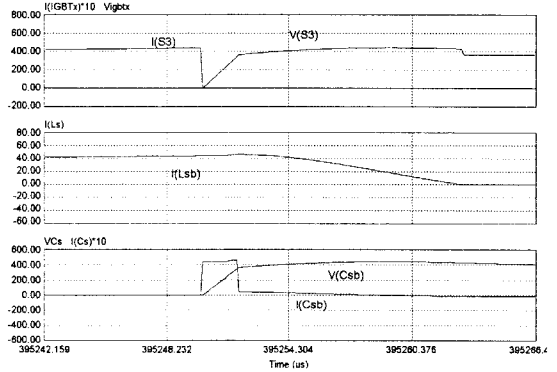


그림 10. S_3 의 턴오프시 파형

5. 결론

본 논문에서는 PWM Cuk AC-AC 컨버터에 DC형 스너버인 기존의 Undeland 스너버가 적용가능함을 보이고 이러한 스너버를 포함하는 회로구성을 제안하였다. 또한 PSIM 시뮬레이션을 통하여 Undeland 스너버를 포함하는 PWM Cuk AC-AC 컨버터의 commutation 동작이 제대로 이루어짐을 보이고 적용의 타당성을 보였다.

감사의 글 - 본 연구는 산업자원부의 지원에 의하여 기초전력연구원(R-2005-B-136)주관으로 수행된 과제의 일부임.

[참고 문헌]

- [1] S. Srinivasan and G. Venkataramanan, "Versatile PWM converters for three phase AC power conditioning", PCIM Conference Record, pp. 974-975, 1994
- [2] Z. Fedyczak, R. Strzeleski and K. Skorski, "Three phase PWM AC-line conditioner based on the Cuk converter topology: study of the basic energetic properties", CD on EPE Conf. Record, 1999
- [3] 최남섭, "3상 PWM Cuk AC-AC 컨버터의 회로구성에 대한 연구", 2005년도 전력전자학회전라지부 한국조명전기설비학회 광주전남지회 춘계 합동 학술발표회, pp. 29-33, 2005
- [4] T. Undeland, F. Jensen, A. Steinbakk, T. Rogne and H. Hernes, "A snubber configuration for both power transistor and GTP PWM inverters", IEEE PESC '84, pp. 42-53, 1984