

영전압 영전류 스위칭 방식의 컨버터

(Zero voltage and zero current switched converters)

정규범*

(Gyu Bum Joung)

요 약

본 논문에서는 새로운 영전압 영전류 스위칭 방식의 PWM 컨버터를 제안하였다. 컨버터의 주 스위치와 보조 스위치는 영전압 혹은 영전류의 조건에서 소프트 스위칭 동작을 한다. 제안된 컨버터에서 보조 스위치는 전도 손실이 최소화 되도록 스위칭 동작을 한다. 제안된 컨버터는 boost형 PWM 컨버터에 대하여 250 kHz의 스위칭 주파수로 동작시켜 스위칭 특성을 확인하였다. 250 kHz 스위칭 동작 시 보조 스위치는 스위칭 한 주기 T에 대하여 대략 1/40 T의 전도기간 만을 필요로 하여 전도손실을 기존의 방식에 비해 크게 줄일 수 있다.

Abstract

In this paper, new zero voltage and zero current switched PWM(Pulse Width Modulated) converters are suggested. The main and auxiliary switch of the converters satisfy soft switching conditions, which are zero voltage or zero current switching of the switches. The switching characteristics of the proposed converters are experimentally verified by boost typed converter, which has 250 kHz switching frequency. For the 250 kHz operation, turn on period of auxiliary switch is about 1/40 for switching period of 4 μ s. Therefore, the conduction loss of auxiliary switch is reduced.

1. 서론

소프트 스위칭 방식의 컨버터는 기존의 컨버터에 비해 소자의 스위칭 손실을 줄일 수 있어서 고주파에서도 높은 효율을 얻을 수 있으므로 이에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.[1-7] 즉, 소프트 스위칭 방식의 컨버터는 고전력 밀도 전원이 필요한 경우 소형

경량으로 제작할 수 있어서 유용하게 적용되고 있다. 소프트 스위칭 방식의 컨버터는 초기에는 공진형 컨버터가 소개되어 많은 연구와 이에 대한 활용이 이루어졌다. 그러나 공진형 컨버터는 소자의 스위칭 손실은 줄일 수 있으나 공진전류가 정현파 전류가 흐르므로, 소자의 전도손실이 증가하는 특징이 있다.[1,6-7]

* 정회원 : 우석대 정보통신공학과

따라서, 최근에는 스위칭 손실도 줄이고 전도손실도 줄일 수 있는 소프트 스위칭 방식의 PWM 컨버터가 연구되고 있다.[2-5]

소프트 스위칭 PWM 방식의 컨버터는 소자가 스위칭 순간에는 소프트 스위칭을 하고 소자가 켜지는 구간에는 기존의 PWM 컨버터와 같이 일정한 전류가 흐를 수 있도록 구성된 방식이다. 따라서, 소프트 스위칭 방식의 PWM 컨버터는 일반적으로 공진형 컨버터에 비해 효율이 높아서 고효율 소형 경량의 시스템 구현에 적합한 방식이다.

소프트 스위칭 PWM 방식에서 전도손실은 주 스위치와 보조 스위치에서 발생하는 데 주 스위치의 전도손실은 기존의 PWM 컨버터와 유사하다. 보조 스위치는 주 스위치보다 전도기간(턴온 기간)이 작아서 스위칭 손실이 작아지지만 컨버터의 스위칭 주파수가 높아지면 보조 스위치의 턴온 기간이 상대적으로 증가하여 보조 스위치의 전도손실 비중이 증가된다.

주 스위치와 보조 스위치의 전도손실을 모두 줄인 스위칭 방식 중 영전압 스위칭 방식의 컨버터는 보조 스위치의 스위칭 기간을 400 ns 까지 줄인 컨버터이다.[7]

본 논문에서는 소프트 스위칭을 유지하면서 보조 스위치의 턴온 구간을 크게 줄인 영전압 영전류 스위칭 방식의 컨버터를 제안하였다. 제안된 컨버터에서 스위칭은 기존의 영전압 스위칭 방식의 주 스위치가 턴 온 될 때 공진 모드를 제외한 스위칭을 함으로서 소프트 스위칭을 하고 동시에 보조 스위치의 턴온 구간을 100 ns 정도로 최소화 하였다.

영전압 영전류 특성을 비롯한 특성은 boost형 컨버터에 대하여 250 kHz의 스위칭으로 실험하여 그 특성을 증명하였다. 이때 보조 스위치의 턴온 시간은 100 ns인 데 이 시간은 컨버터가 통류율 0.5로 작동시킬 때 주 스위치의 턴온 시간의 1/20 배인 값이다.

2. 영전압 영전류 스위칭 컨버터

2.1 컨버터의 동작

그림 1은 제안된 영전압 영전류 스위칭 방식의 boost형 컨버터를 나타낸다. 제안된 컨버터에서 컨버터의 구성은 기존의 boost 컨버터와 유사하나 영전압 영전류 특성을 위하여 보조회로인 보조 스위치, 보조

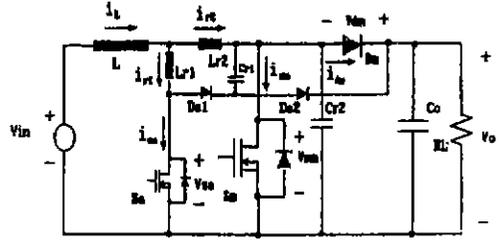


그림 1 제안된 영전압 영전류 스위칭 컨버터.

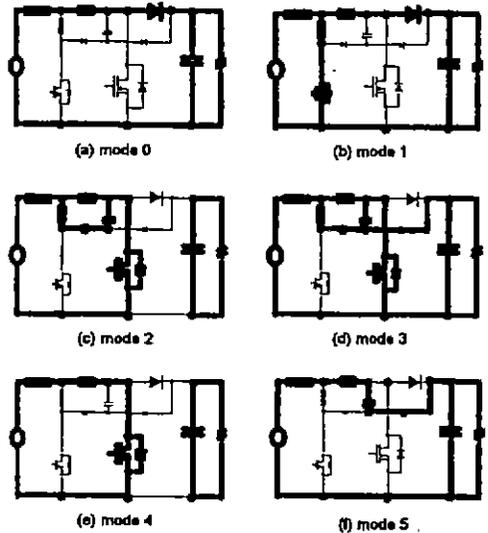


그림 2 컨버터의 스위치 모드

다이오드 및 포화 인덕터가 추가된다.

컨버터의 동작은 그림 2에 표시된 바와 같이 6개의 모드로 이루어지며 각 모드에 따른 스위치 각부의 파형은 그림 3과 같다.

2.2 컨버터 모드의 해석

제안된 컨버터에 대해서 스위칭 동작에 따른 각 모드를 해석하면 다음과 같다. 해석에서 필터 인덕터 전류 i_L 과 출력전압 v_o 는 일정하다고 가정하였다.

- (1) 모드 0 ($t_0 - t_{1a}$) : 주 다이오드 D_m 이 온 되는 모드이다. 그러므로 인덕터 전류는 그림

2와 같이 출력측에 전달된다.

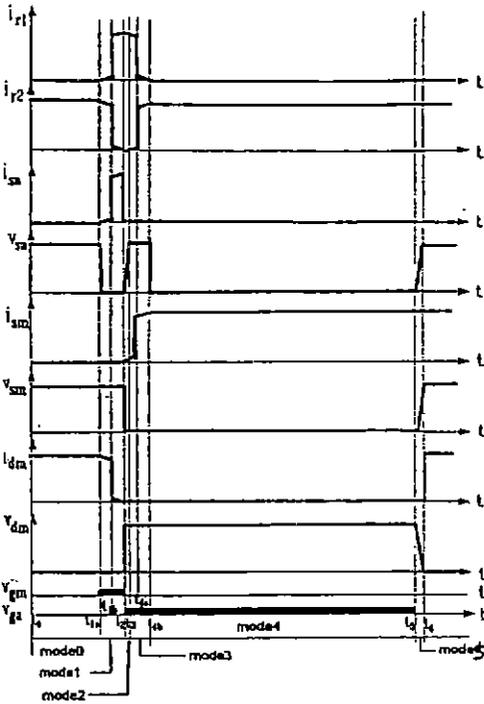


그림 3 한 주기동안 컨버터 각부의 스위칭 파형

(2) 모드 1 ($t_{1a}-t_2$) : 이 모드는 두 기간으로 나뉘어진다.

㉠ ($t_{1a}-t_{1b}$) : 주 스위치 S_m 을 영전압 조건으로 턴 온 하기 위하여 보조 스위치 S_a 켜면 이 모드가 시작된다. 이때 인덕터 전류 i_{r1} 은 다음의 기울기로 증가한다.

$$\frac{di_{r1}}{dt} = \frac{V_o}{L_{r1}} \quad (1)$$

이 때 S_a 는 식 (1)의 기울기로 턴 온된다.

㉡ ($t_{1b}-t_2$) : 인덕터 L_{r1} 이 포화되고 L_{r2} 이 포화 구간에서 벗어나면 인덕터 전류 i_{r2} 는 다음 식에 의해 감소한다.

$$\frac{di_{r2}}{dt} = -\frac{di_{r1}}{dt} = -\frac{V_o}{L_{r2}} \quad (2)$$

따라서, 다이오드 D_m 은 식 (2)의 기울기로 턴 오프된다.

(3) 모드 2 (t_2-t_3) : 전류 i_{r1} 이 필터전류 I_L 까지 증가하면, 주 다이오드는 영이 되어 식 (2)의 기울기로 영전류에서 턴 오프된다. 즉, 전류 i_{r1} 영이 된 후 영전압 컨버터[7]와는 달리 공진구간이 없이 바로 보조 스위치 S_a 를 턴 오프하고 주 스위치 S_m 을 턴 온 하면 그림 2와 같이 모드 3이 된다. 모드 2에서 공진구간을 줄이면 보조 스위치의 전도 시간을 크게 줄일 수 있다. 이때 보조 스위치는 영전압에서 턴 오프되고 주 스위치 S_m 은 영전류에서 턴 온 한다.

(4) 모드 3 (t_3-t_{4b}) : 커패시터 전압 v_{cr} 이 증가하여 출력전압이 되면 보조 다이오드가 그림 2와 같이 모두 켜지게 된다.

(5) Mode 4 ($t_{4b}-t_5$) : 모드 3에서 인덕터 i_{L2} 에 흐르는 전류가 영이 되면 보조 다이오드 D_{a1} 과 D_{a2} 는 턴 오프되어 주 다이오드만 켜진 상태가 된다.

(6) 모드 5 (t_5-t_6) : S_m 을 끄면 주 스위치는 다음의 기울기로 턴 오프된다.

$$\frac{dv_{sm}}{dt} = \frac{1}{C_r} \cdot I_L \quad (3)$$

3. 제안된 컨버터의 특징

3.1 스위치의 스위칭 조건

제2절의 모드 해석과 그림 2, 3으로부터 각 스위치의 스위칭 조건을 정리하면 표 1과 같다.

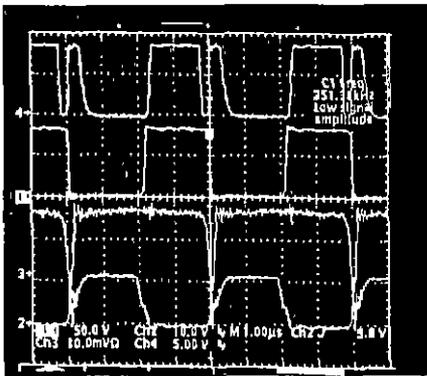
표 1 각 스위치의 스위칭 조건

스위치	턴 온 조건	턴 오프 조건
S_m	영전류	영전압
S_a	영전류	영전압
D_m	영전압	영전압
$Da1$	영전압	영전압
$Da2$	영전압	영전압

3.2 스위치의 전도손실

주 스위치를 턴 온 할 때 공진시간을 줄여서 보조 스위치 S_o 의 턴 온 구간을 줄이므로써 보조 스위치의 전도손실을 최소화 하였다. 그러나, 주 스위치와 보조 스위치는 항상 소프트 스위칭 조건을 만족하고 주 스위치의 전도손실도 기존의 영전압 컨버터[7]와 거의 같다.

4. 실험 결과



(a)

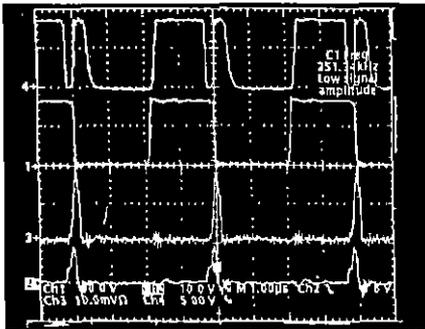


그림 4 컨버터 각부의 실험 파형

- (a) 1'st trace: v_{sa} - 50 V/div, 2'nd trace: v_{sm} - 50 V/div, 3'rd trace: i_{r1} - 5 A/div, 4'th trace: v_{ga} : 10 V/div
 (b) 1'st trace: v_{sa} - 50 V/div, 2'nd trace: v_{sm} - 50 V/div, 3'rd trace: i_{r2} - 5 A/div, 4'th trace: v_{gm} : 10 V/div

그림 1의 제안된 컨버터에 대하여 컨버터를 250

kHz, 통류율을 0.5로 동작시켜 실험하였다. 입력전압은 40 V이다. 그림 4는 실험한 컨버터 각부의 전압, 전류 파형을 나타내며 그림 5는 컨버터의 효율 측정치이다.

그림 4에서 (a)는 파형 v_{sa} , v_{sm} , i_{r1} 와 게이트 신호 v_{ga} 를 나타내며, (b)는 파형 v_{sa} , v_{sm} , i_{r2} 와 게이트 신호 v_{gm} 를 나타낸다. 그림 4에서 주 스위치와 보조 스위치는 각각 영전류에서 턴 온 되고 영전압에서 턴 오프됨을 알 수 있다. 또한, 전류 i_{r1} 의 펄스는 300 ns가 되는 데 이중 보조 스위치의 턴 온 구간은 대략 100 ns가 됨을 알 수 있다.

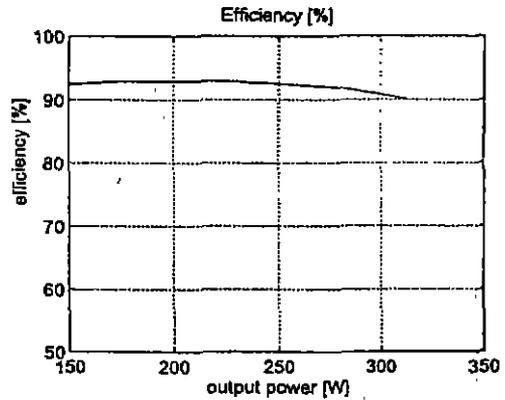


그림 5 부하변동에 대한 효율 특성곡선

그림 5은 부하가 150 W에서 250 W까지 변할 때 컨버터의 효율 특성을 나타낸다 그림 5에서 컨버터 효율은 대략 90% - 92%이다.

V. 결론

본 논문에서는 영전압 영전류 스위칭을 하는 PWM 컨버터를 제안하였다. 제안된 컨버터는 주 스위치 및 보조 스위치가 항상 영전압 혹은 영전류에서 스위칭을 하여 고주파에서 동작시킬 수 있고 보조 스위치의 전도손실을 줄일 수 있는 특성이 있다. 제안된 컨버터의 스위칭 특성과 전도기간은 boost 형 컨버터에 대하여 250 kHz에서 컨버터를 동작시켜 실험하였다. 이때 보조 스위치의 전도기간은 100 ns로 이는 통류율 0.5일 때 주 스위치보다 전도기간을 최대 1/20까지 줄인 것이다.

참고문헌

- [1] D. M. Divan, "Diode as pseudo active elements in high frequency dc/dc converters," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. PE-4, no. 1, pp. 8-14, Jan. 1989.
- [2] D.Y. Huh, H. S. Kim, and G. H. Cho, "New group of ZVS PWM converters operable on constant frequency and its application to power factor correction circuit," *IEEE Power Electronics Specialists Conf Rec.*, 1992, pp. 1440-1446.
- [3] V.G. Agelidis, G. Joos, P. D. Ziogas, "A Low loss full bridge PWM DC-DC converter topologies," *IEEE Power Electronics Specialists Conf. Rec.*, 1993, pp. 531-537.
- [4] G. Hua, C. Leu, and F. C. Lee, "Novel zero-voltage-transition PWM converters," *IEEE Power Electronics Specialists Conf. Rec.*, 1992, pp. 55-61.
- [5] G. Hua, E. X. Yang, Y. Jiang, and F. C. Lee, "Novel zero-current-transition PWM converters," *IEEE Power Electronics Specialists Conf. Rec.*, 1993, pp. 538-544.
- [6] G. B. Joung, "New soft switched PWM converter," *IEEE Power Electronics Specialists Conf. Rec.*, 1996, pp. 63-68.
- [7] G. B. Joung, "New ZVS Converter with Minimized Conduction loss of Auxiliary Switches," *IEEE PEDS' 97* pp. 230-234.

◇ 著 者 紹 介 ◇-----



정 규 범 (鄭圭範)

1961년 12월 25일생. 1984년 아주대학교 공과대학 전자공학과 졸업. 1986년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업(석사). 1990년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업(박사). 1990 - 1991년 미국 VPI & SU(Virginia Polytechnics Institute and State University) VPEC(Virginia Power Electronic Center) 연구원. 1992-1993년 (주) 파워테크 기술이사. 1993 - 1995년 한국 항공우주연구소 선임연구원. 1995 - 현재 우석대학교 정보통신공학과 조교수