

3상 AC/DC BUCK 컨버터의 주파수 제어

김용덕^o, 송중호, 최익, 조성준, 최주엽, 이승철, 유지윤*

한국과학기술연구원 지능제어연구센터, * : 고려대학교 전기공학과

Frequency Control of Three-Phase AC/DC Buck Converters

Y.D.Kim, J.H.Song, I.Choy, S.J.Cho, J.Y.Choy, S.C.Lee, J.Y.Yoo*

Intelligent System Control Research Center, KIST. *: Dept. of Electrical Eng. Korea Univ.

Abstract

A new single-switch, three-phase, high power factor, multi-resonant, ZCS buck rectifier that operates in the continuous conduction mode has been reported. Basically, pulse frequency modulation method should be adopted to suitably control the system. This paper puts main focus on the methods how the pulse frequency modulation can be implemented and a comprehensive investigation on the corresponding control loops is conducted.

1. 서론

많은 응용분야에서 거의 정현적인 입력전류를 만들어내는 3상 AC/DC 정류기가 널리 사용되고 있다. 이러한 정류기를 많은 논문에서 다루고 있지만, 대부분이 BOOST타입의 컨버터들이다. 하지만, 높은 입력전압에서 낮은 출력전압으로 강압하는 BUCK타입컨버터에서도 이러한 점은 필요하다. 최근, 새로운 단일 스위치 3상 BUCK 컨버터가 보고되었다. 이 컨버터는 단일 스위치를 사용하므로 비용을 줄일 수 있고, 높은 역률을 가지며, ZCS (zero current switching)로 동작하므로 스위치 손실을 줄일 수 있고, 입력 및 출력전류가 연속적인 것등 많은 장점을 가지고 있다.[1-2]

본 논문에서는 이러한 컨버터에 적당한 주파수 제어 방법을 적용하였으며 주파수 제어의 구현방법과, 제어루프에 관한 포괄적인 연구를 중점적으로 다루고자 한다. 간략하게 컨버터의 회로와 동작원리를 설명하고, 컨버터의 개루프 특성과 폐루프 제어특성을 기술한다. 마지막으로 제시하는 펄스 주파수 제어 알고리즘을 토대로 6kW 컨버터를 시뮬레이션 한다.

2. 회로 및 동작원리

2.1 회로 설명

그림 1은 단일 스위치 3상 영전류 스위칭 BUCK 컨버터의 회로도이다. 컨버터의 주요 파형은 그림 2와 같다. 캐패시터 $C_{r1,2,3}$ 와 공진인덕터 L_r , 캐패시터 C_a 가 공진회로를 형성하며, 스위치는 영전류 스위칭, 다이오드는 영전압 스위칭으로 동작한다.

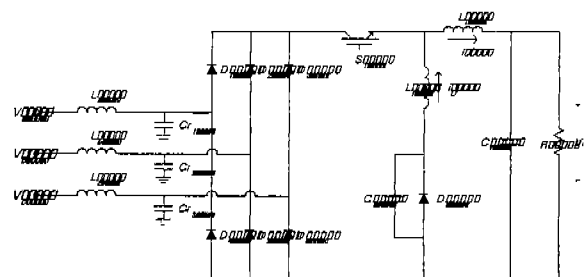


그림 1. 컨버터의 회로도

2.2 모드 해석

모드 1 ($t_0 \sim t_1$)

모드1은 다이오드 D_a 를 제외한 모든 스위치가 꺼져있는 상태이다. 이 구간동안 캐패시터 Cr_1, Cr_2, Cr_3 는 각각의 선전류에 비례하여 선형적으로 충전한다. 이 구간은 스위치가 ON될 때까지 지속된다.

모드 2 ($t_1 \sim t_2$)

모드2는 스위치가 켜졌을 때, 입력선간전압의 크기에 따라 다이오드 $D_1 \sim D_6$ 중 2개의 다이오드와 다이오드 D_a , 스위치 S_1 이 켜져있는 구간으로 이 구간동안 캐패시터 Cr_1, Cr_2, Cr_3 중 2개의 캐패시터 와 공진인덕터 L_r 이 공진한다.

모드 3 ($t_2 \sim t_3$)

다이오드 $D_1 \sim D_6$ 중 2개의 다이오드와 스위치 S_1 이 켜져있는 구간으로 이 구간동안 캐패시터 Cr_1, Cr_2, Cr_3 중 2개의 캐패시터 와 공진인덕터 L_r , 캐패시터 C_a 가 공진회로를 형성한다.

모드 4 ($t_3 \sim t_4$)

다이오드 $D_1 \sim D_6$ 중 3개의 다이오드와 스위치 S_1 이 켜져있는 구간으로 이 구간동안 캐패시터 Cr_1, Cr_2, Cr_3 중 3개의 캐패시터 와 공진인덕터 L_r , 캐패시터 C_a 가 공진회로를 형성한다.

모드 5 ($t_4 \sim t_5$)

다이오드 D_a 를 제외한 모든 스위치가 ON된 구간으로 공진인덕터에 흐르는 전류가 부하전류와 같아질 때까지 캐패시터 C_a 와 공진인덕터 L_r 이 공진한다.

모드 6 ($t_5 \sim t_6$)

모든 스위치가 OFF된 구간으로, 이 구간동안 스위치는 영전류 스위칭으로 꺼지게 된다.

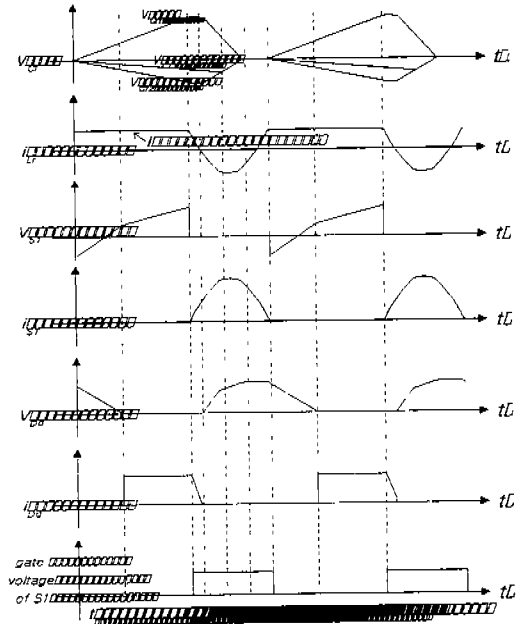


그림 2. 컨버터 주요 소자의 이상적인 파형

3. 제어 특성

3.1 게루프 특성

(1) 전력 대 스위칭 주파수 특성

출력전압을 일정하게 했을 때, 단일 스위치 3상 영전류 스위칭 BUCK 컨버터의 출력은 그림 3과 같이 스위칭 주파수에 거의 선형적으로 비례한다. 이와 같은 특성 때문에 3.2절에서 제시한 주파수 제어 방법을 사용한다.

(2) 출력전압 대 스위칭 주파수 특성

출력전압이 일정하고 턴온시간이 일정할 때, 단일 스위치 3상 영전류 스위칭 BUCK 컨버터의 출력전압은 스위칭 주파수가 커지면 높아지고, 스위칭 주파수가 작아지면 낮아진다.

3.2 페루프 제어

그림 4는 단일 스위치 3상 영전류 스위칭 BUCK 컨버터의 제어블럭도이다. 시스템의 동작

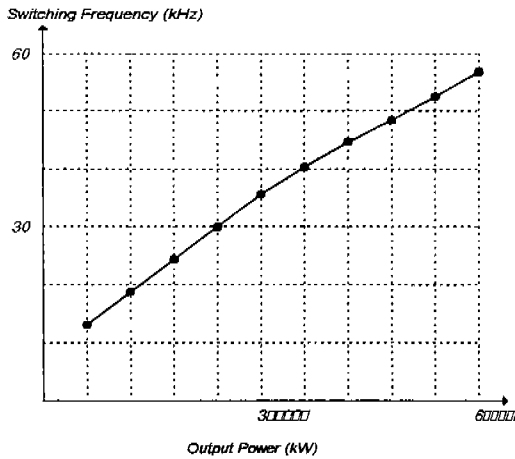


그림 3. 전력 대 스위칭 주파수 특성

주파수가 부하변동에 따라 변화하기 때문에, 제안된 제어방식은 피드포워드 제어개념을 도입한다. 기준전압과 출력전압의 차이를 PI제어기를 통하여 주파수를 제어하고, 정상상태 동작조건하에서 출력과 스위칭 주파수간의 관계에 따라 피드포워드 제어를 첨가한다. 그림 4에서 K_1 ,

K_2 는 컨버터의 전력 대 스위칭 주파수 특성에 의거하여 구할 수 있다.

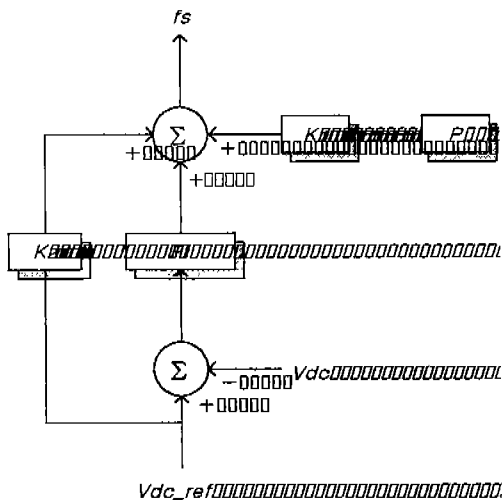


그림 4. 제어블럭도

4. 시뮬레이션

앞에서 기술한 모드에 따라 모델링을 하여 컴

퓨터 시뮬레이션을 통해 6-kW 단일 스위치 3상 영전류 스위칭 BUCK 컨버터의 개루프 특성과 폐루프 특성을 비교하고, 폐루프 제어의 부하변동에 대한 대처능력을 살펴본다

시뮬레이션시 스위치의 동작은 그림 5와 같다. 제어기를 통해 계산된 T_s (1/스위칭 주파수)에서 일정한 턴온시간전에 스위치를 켜주고, 스위칭 전류와 부하전류가 같아지면 스위치를 꺼준다. 본 논문에서는 일정한 턴온시간을 $6.8 \mu s$ 로 하여 시뮬레이션 한다.

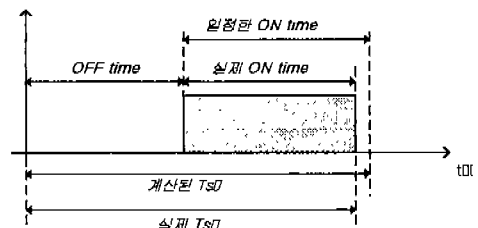
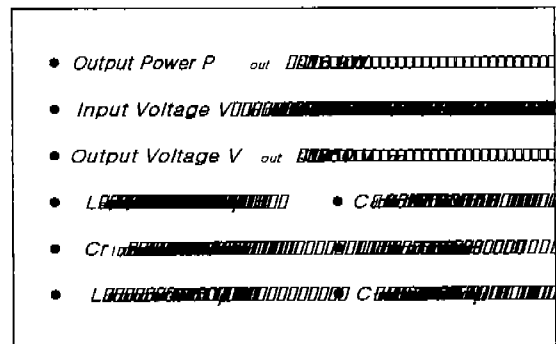


그림 5. 스위치의 동작

4.1 설계사양



4.2 시뮬레이션 결과

그림 6은 6kW 단일 스위치 3상 영전류 스위칭 BUCK 컨버터의 개루프 출력전압이고, 그림 7은 주요 파형을 나타낸다. 개루프 시뮬레이션은 100%부하시이고, 스위칭 주파수는 56.5kHz로 하였다.

그림 8은 6kW 단일 스위치 3상 영전류 스위칭 BUCK 컨버터의 100%부하시 폐루프 제어 출력전압이다. 주파수 제어를 통한 출력전압이

개루프 출력전압보다 기준전압을 잘 추종함을 알 수 있다.

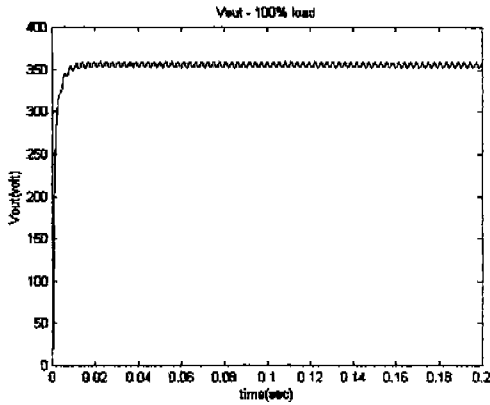


그림 6. 컨버터의 개루프 출력전압

제어로 인하여 부하변동에 대처하는 능력이 뛰어난 것을 알 수 있다.

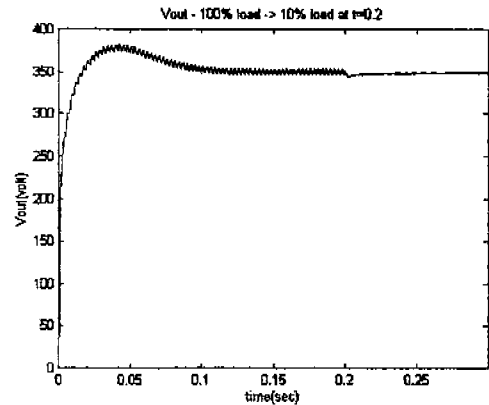


그림 9. 부하변동시 페루프제어 출력전압

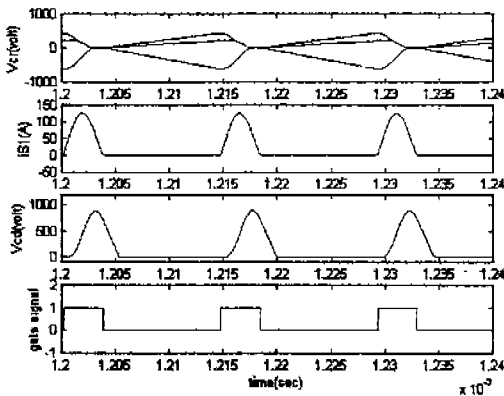


그림 7. 주요 파형

5. 결론

본 논문에서는 단일 스위치 3상 영전류 스위칭 BUCK 컨버터의 출력이 스위칭 주파수에 비례하는 특성에 기초하는 피드포워드 개념을 이용하여 제안된 주파수 제어 특성을 고찰하였다. 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 제안된 주파수 제어 방법은 출력전압의 제어 성능 및 부하변동에 대처하는 능력이 뛰어난 것을 알 수 있었다. 현재 출력리플을 줄이는 연구를 진행중이며 앞으로 실험을 통하여 정밀도와 신뢰성을 더 높일 계획이다.

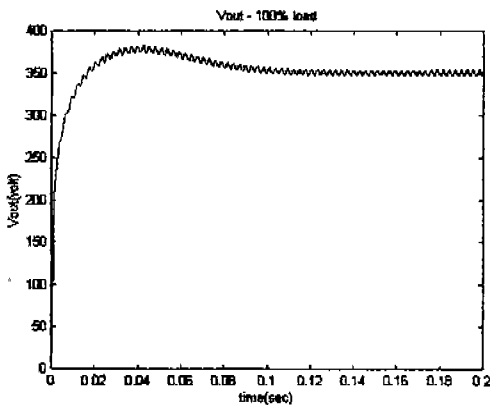


그림 8. 페루프 제어시 출력전압

그림 9는 $t=0.2s$ 에서 부하를 100%에서 10%로 변동시 페루프 제어 출력전압이다. 피드포워드

참고문헌

- [1] Yungtaek Jang and R.W. Erickson, "New single-switch three-phase high-power-factor rectifiers using multiresonant zero-current switching", IEEE Trans. on Power Electronics, vol. 13, no. 1, pp. 194-201, 1998.
- [2] Yungtaek Jang and M.M. Jovanovic, "Design considerations and performance evaluation of a 6 KW, single-switch, three-phase, high-power-factor, multiresonant, zero-current-switching buck rectifier", IEEE INTELEC Conference Proceedings, paper

no. 30-3, 1997.

- [3] D.S.L. Simonetti, J. Sebastian, and J. Uceda, "Control conditions to improve conducted EMI by switching frequency modulation of basic discontinuous PWM preregulators" , IEEE Power Electronics Specialist Conference Proceedings, pp. 1180-1187, 1994.
- [4] F.S. Dos Reis, J. Sebastian, and J. Uceda, "Applying FM control to PFP converters", IEEE Industrial Electronics Conference Proceedings, pp. 1814-1819, 1996.
- [5] M.M. Jovanovic, D.M.C. Tsang, and F.C. Lee, "Reduction of voltage stress in integrated high-quality rectifier-regulators by variable-frequency control", IEEE Power Electronics Specialist Conference Proceedings, pp. 569-575, 1994.