

부스트 컨버터의 2상 2중화에 관한 연구

신철준*, 한경희*, 손영익*, 정유석*
*명지대학교

A Study on the Two Phase with interleaved Boost Converter

C. J. Sin*, K. H. Han*, Y. I. Son*, Y. S. Jeong*
*Myongji Univ

Abstract- In this paper, the authors study the boost converter as a DC-DC converter like a power supply and describe the investigation result about the two phase with interleaved boost converter which has the same effect that the switching frequency of the solid-state-switch is two times. As a result, the ripple of the input current and output current is better improved.

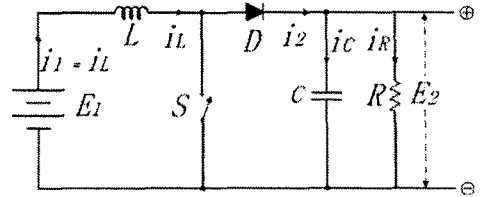


그림 1. 단상 부스트 컨버터
Fig. 1 The single boost converter

1. 서 론

전기·전자·통신 및 제어기기의 직류 안정화 전원으로 널리 이용되고 있는 DC-DC 컨버터는 고효율, 소형 및 경량화 되어 가고 있다. 그러나 DC-DC 컨버터는 전류 평활용으로 에너지 축적용 소자인 리액터 및 콘덴서가 존재하므로 소형, 경량화에는 한계가 있다. 리액터 및 콘덴서 소자를 더욱 소형화시키기 위해서는 스위칭 주파수를 더욱 높여 리액터 및 콘덴서에 흐르는 전류의 맥동을 작게 할 필요가 있으나, 반도체 소자의 스위칭 속도를 높이는 데에는 한계가 있다.[1]

본 논문에서는 단상 부스트 컨버터의 스위칭 주파수를 2배로 높인 경우와 동일한 효과를 갖게 하여 입력 및 출력 전류의 맥동을 줄일 수 있는 2상2중 부스트 컨버터에 대해 고찰하였다. 부하변동에 따른 전압·전류의 지령 값과 실질적인 출력 값을 비교한 다음 PI제어기를 사용하여 출력에러를 보완하여, 부하전류가 변하여도 출력전압이 일정하게 되도록 하였다.

2. 부스트 컨버터

2.1 부스트 컨버터의 기본동작 및 특성

그림 1에 단상 부스트 컨버터의 주회로도를 표시한다. 여기에서 E_1 은 입력전압, E_2 는 출력전압, D 는 다이오드, R 은 부하저항이며 L 과 C 는 에너지 축적용 리액터와 콘덴서로서, 컨버터 용량에 대하여 충분히 커서 L 의 전류는 항상 연속이 되며, 출력전압 E_2 의 맥동은 상당히 작은 것으로 가정한다. 스위치 S 는 반도체 소자를 이용하여 고속으로 온·오프 할 수 있는 쇼트키이다.

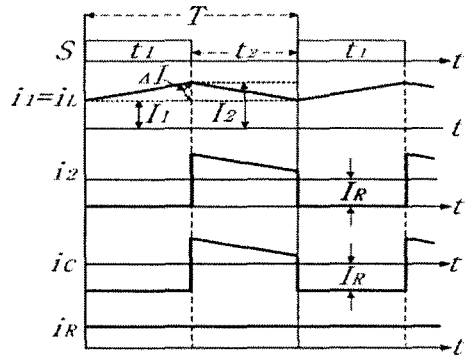


그림 2. 단상 부스트 컨버터의 각부 파형
Fig. 2 The waveform of the single boost converter

스위치 S 의 온·오프에 따른 입력전류 $i_1 (= i_L)$, 출력전류 i_2 , 평활용 콘덴서 C 의 전류 i_C 및 부하전류 i_R 의 파형을 그림 2에 표시한다. S 가 온했을 때, 그림 2에서 t_1 시간동안 입력전류 $i_1 = i_L$ 이 I_1 에서 I_2 로 직선적으로 증가 하였다면

$$E_1 = L \frac{I_2 - I_1}{t_1} = L \frac{\Delta I}{t_1} \tag{1}$$

가 되고, S 가 오프했을때, t_2 기간 동안 I_2 에서 I_1 으로 직선적으로 감소할 때에는

$$E_2 - E_1 = L \frac{\Delta I}{t_2} \tag{2}$$

가 된다. 위의 식(1), 식(2)로부터 입·출력 관계식을 구하면 다음과 같다.

$$E_2 = \frac{E_1}{1 - \alpha} \tag{3}$$

전류 맥동분 ΔI 는

$$\Delta I = \frac{E_1(E_2 - E_1)}{fLE_2} = \frac{E_1\alpha}{fL} \quad (4)$$

가 된다. 입력전류 $i_1 (= i_i)$ 의 맥동분 ΔI 는 동작주파수 f 와 인덕턴스 L 에 반비례한다.

2.2 2상 2중 부스트 컨버터

그림 3에 2상 2중 부스트 컨버터의 주회로도를 표시한다. 이 회로는 그림 1의 단상 부스트 컨버터에 L_2 , D_2 및 스위치 S_2 를 추가 접속하여, 스위치 S_1 과 $\frac{T}{2}$ 만큼 위상을 늦추어 S_2 를 온·오프 동작시키는 것으로 입력전류 i_1 은 $i_1 = i_{L1} + i_{L2}$ 가 되며, 출력전류 i_2 는 $i_2 = i_c + i_R$ 가 된다. 스위치 S_1 과 S_2 의 온·오프에 따른 각부의 파형을 시비율 α 가 $\alpha < 0.5$ 인 경우와 $\alpha > 0.5$ 인 경우로 나누어 그림 4에 표시한다.

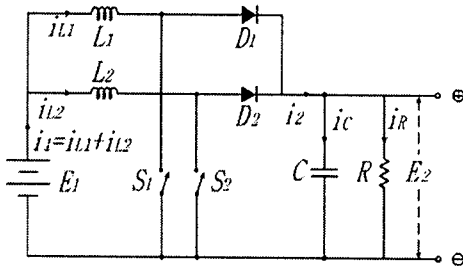
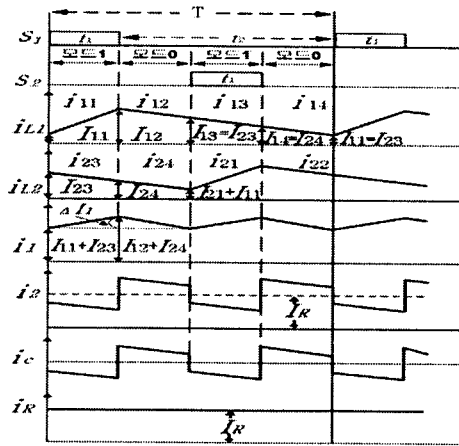
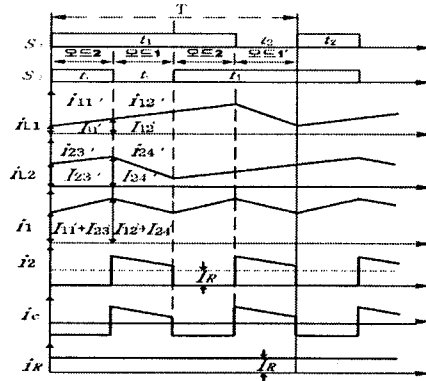


그림 3. 2상2중 부스트 컨버터
Fig. 3 The two Phase with interleaved boost converter



(a) $0 < \alpha < 0.5$



(b) $0.5 < \alpha < 1.0$

그림 4. 2상2중 부스트 컨버터의 각부 파형

Fig. 4 The waveform of the two phase with interleaved boost converter

(1) $0 < \alpha < 0.5$ 인 경우

$L_1 = L_2 = L$ 의 조건하에서 S_1 이 온, S_2 가 오프 상태인 모드0에서의 입력전류 i_1 의 회로방정식은

$$L \frac{d(i_{11} + i_{23})}{dt} = 2E_1 - E_2 \quad (5)$$

위 식에서 $t = t_1(\alpha T)$ 시간 동안 $(I_{11} + I_{23})$ 에서 $(I_{12} + I_{24})$ 로 직선적으로 증가하였다고 하면

$$L \frac{(I_{12} + I_{24}) - (I_{11} + I_{23})}{t_1} = L \frac{\Delta I_1}{\alpha T} = 2E_1 - E_2 \quad (6)$$

여기에서 $\Delta I_1 = (I_{12} + I_{24}) - (I_{11} + I_{23})$ 이다. 다음 모드0에서 i_1 의 회로방정식은

$$L \frac{d(i_{12} + i_{24})}{dt} = 2(E_1 - E_2) \quad (7)$$

여기에서 $t = (0.5 - \alpha)T$ 시간 동안에 $(I_{12} + I_{24})$ 에서 $(I_{11} + I_{23})$ 로 직선적으로 감소하였다고 하면

$$L \frac{-\Delta I_1}{(0.5 - \alpha)T} = 2(E_1 - E_2) \quad (8)$$

입력전류 i_1 의 맥동분 ΔI_1 은

$$\Delta I_1 = \frac{(E_2 - E_1)(2E_1 - E_2)}{fLE_2} = \frac{E_1}{fL} \frac{\alpha(1 - 2\alpha)}{1 - \alpha} \quad (9)$$

α 가 $0 < \alpha < 0.5$ 의 영역에서 ΔI_1 은 단상일 때와 동일하게 주파수 f 와 인덕턴스 L 에 반비례함을 알 수 있다.

(2) $0.5 < \alpha < 1.0$ 인 경우

S_1 과 S_2 가 모두 온 상태인 모드2에서의 i_1 의 회로방정식은

$$L \frac{d(i_{11'} + i_{23'})}{dt} = 2E_1 \quad (10)$$

위 식에서 $t = t_1(\alpha - 0.5)T$ 시간 동안에 $(I_{11'} + I_{23'})$ 에서 $(I_{12'} + I_{24'})$ 로 직선적으로 증가하였다고 하면

$$L \frac{(I_{12'} + I_{24'}) + (I_{11'} + I_{23'})}{t_1} = L \frac{\Delta I_1}{(\alpha - 0.5) T} = 2E_1 \quad (11)$$

다음 모드1에서 i_1 의 회로방정식은

$$L \frac{d(i_{12'} + i_{24'})}{dt} = 2E_1 - E_2 \quad (12)$$

가 되며, $t = (1-\alpha)T$ 시간동안 $(I_{12'} + I_{24'})$ 에서 $(I_{11'} + I_{23'})$ 로 직선적으로 감소하였다고 하면

$$L \frac{-\Delta I_1}{(1-\alpha)T} = 2E_1 - E_2 \quad (13)$$

입력전류 i_1 의 맥동분 ΔI_1 는

$$\Delta I_1 = \frac{E_1(E_2 - 2E_1)}{fLE_2} = \frac{E_1}{fL} (2\alpha - 1) \quad (14)$$

α 가 $0.5 < \alpha < 1$ 의 영역에서 ΔI_1 은 단상일 때와 동일하게 주파수 f 와 인덕턴스 L 에 반비례함을 알 수 있다.

이상 고찰한 입력전류의 맥동분을 단상 식(4)와 2상2중방식 식(9)와 식(14)에 대하여 계산한 결과를 그림 5에 표시한다. 그림에서 알 수 있듯이 시비율 α 의 안정적인 제어가 범위내(0.7이하)에서 동일 주파수 및 리액터에 대하여 입력전류의 맥동분이 단상보다 현저하게 작은 것을 확인하였다.

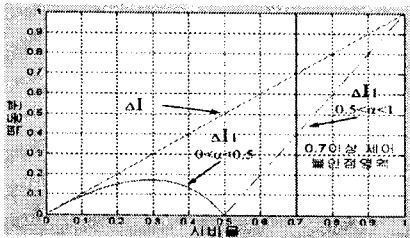


그림 5. 시비율 α 와 입력전류 맥동분 ΔI_1
Fig. 5 The input current ripple ΔI_1 and duty ratio α

3. 시뮬레이션 및 실험 결과

전제적인 제어특성을 알아보기 위해서 본 연구에서는 DLL을 이용하여 PSIM으로 시뮬레이션을 하였다.

그림 6는 시비율 α 가 0.4일 때 2상2중 부스트 컨버터의 각 부 시뮬레이션 파형이다. 실험은 시뮬레이션과 같은 파라미터를 갖는 시스템을 사용하였으며, 단상 부스트 컨버터의 스위칭 주파수를 2배로 높인 경우와 동일한 효과를 갖게 하여 입력 및 출력 전류의 맥동률을 줄일 수 있음을 확인하였다.

표 1. 시뮬레이션 파라미터

Table 1. Parameters of simulation

2상2중 부스트 컨버터 파라미터			
E_1	300[V]	E_2	450[V]
C	2350[μF]	R	1[kΩ]
L_1, L_2	3[mH]	f	10[kHz]

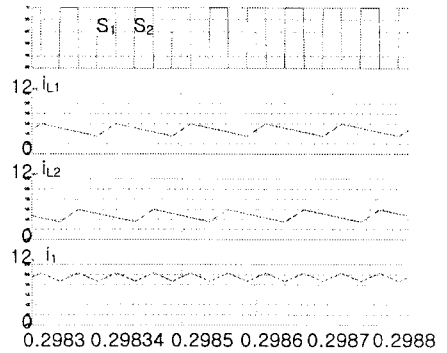


그림 6. 각 부 시뮬레이션 파형
Fig. 6 The waveform of boost converter

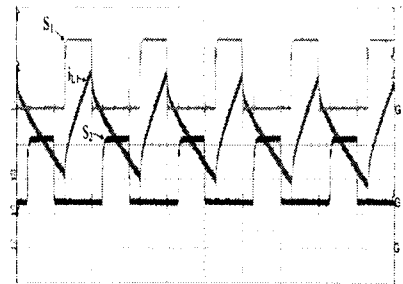


그림 7. 실험 결과 파형
Fig. 7 Result Experiment Waveform
(S_1 과 S_2 : [10V/div], i_{L1} : 2[A/div])

실험은 시뮬레이션과 같은 파라미터를 갖는 시스템을 사용하였으며, 단상 부스트 컨버터의 스위칭 주파수를 2배로 높인 경우와 동일한 효과를 갖게 하여 입력 및 출력 전류의 맥동률을 줄일 수 있음을 확인하였다.

4. 결 론

본 논문에서는 2상2중화한 부스트 컨버터의 특성에 대하여 고찰한 결과 단상과 비교하여 소자수가 증가하는 단점이 있으나 다음과 같은 특성을 확인했다.

- (1) 2상2중 부스트 컨버터의 입·출력 관계는 단상과 동일하다.
- (2) 입력전류의 맥동분은 단상과 동일하게 주파수 및 리액터에 반비례 하여 감소한다.
- (3) 2상2중화 함으로서 입력전류 및 출력전류의 동작 주파수가 단상의 2배가 된다.
- (4) 시비율 α 의 제어가 범위내(0.7이하)에서 동일 주파수 및 리액터에 대하여 입력전류의 맥동분이 단상보다 현저하게 작은 것을 확인하였다.

[참 고 문 헌]

- [1] 신철준, 전기영, 이승환, 강승욱, 오봉환, 정춘병, 이훈구, 한경희 "부스트 레귤레이터의 2상2중화에 관한 연구", 전자학술대회 논문집, pp 415 ~ 417, 2007.7
- [2] 노의철, 정규범, 최남섭, "전력전자공학", 문운당, pp 205 - 218, 2005