

# 부스트 레귤레이터의 2상 2중화에 관한 연구

신철준\*, 전기영\*\*, 이승환\*\*\*, 강승욱§, 오봉환§§, 정준병§§§, 이훈구†, 한경희\*  
 \*명지대학교, \*\*중소기업진흥공단, \*\*\*대덕대학, §가톨릭상지대학, §§명지전문대학,  
 §§§(주)한국종합기계엔지니어링, †용인송담대학

## A Study on the Two Phase with Combined Boost Regulator

C. J. Sin\*, K. Y. Jeon\*\*, S. H. Lee\*\*\*, S. U. Kang§, B. H. Oh§§, C. B. Chung§§§,  
 H. G. Lee†, K. H. Han\*

\*Myongji Univ., \*\*SBC, \*\*\*Daeduk Col., §Myongji Col., §§Catholic Sangji Col., §§§KTME., †Yong-in Songdam Col.

### ABSTRACT

In this paper, The authors study the boost Regulator as a DC-DC Converter like a power supply and describe the investigation result about the two phase with combined boost regulator 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.

### 1. 서론

전기전자통신 및 제어기기의 직류 안정화 전원으로 널리 이용되고 있는 DC-DC 변환기인 파워서플라이(Power Supply)는 반도체 소자의 고속스위칭에 의해 고효율, 소형 및 경량화 되어가고 있다. 그러나 파워서플라이에는 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.

본 논문에서는 DC-DC 변환기인 파워서플라이로서 부스트 레귤레이터(boost regulator)를 대상으로, 입력전류 및 출력전류의 맥동률이 반도체 스위치의 스위칭 주파수를 2배로 높인 경우와 동일한 효과를 갖는 2상2중 부스트 레귤레이터에 대하여 이론적으로 고찰한 결과를 서술한다.

### 2. 부스트 레귤레이터

#### 2-1. 부스트 레귤레이터의 기본동작 및 특성

그림 1에 단상 부스트 레귤레이터의 회로도를 표시한다. 여기에서  $E_1$ 은 입력전압,  $E_2$ 는 출력전압,  $D$ 는 다이오드,  $R$ 은 부하저항이며  $L$ 과  $C$ 는 에너지 축적용 리액터와 콘덴서로서, 레귤레이터 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 온오프 할 수 있는 쇼트키이다.

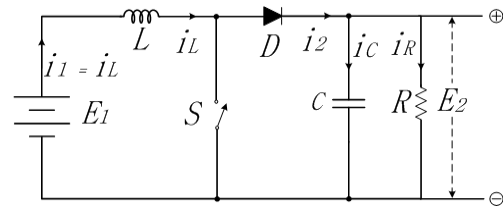


그림 1 단상 부스트 레귤레이터  
 Fig. 1 The single boost regulator

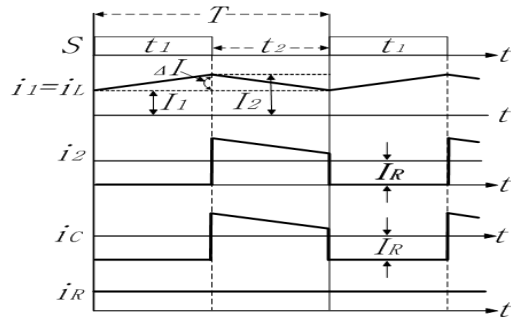


그림 2 단상 부스트 레귤레이터의 각부 파형  
 Fig. 2 The waveform of the single boost regulator

스위치  $S$ 의 온오프에 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 2의  $i_1 = i_L$ 의 파형에서  $t_1$  시간동안 입력전류  $i_1 = i_L$ 이  $I_1$ 에서  $I_2$ 로 직선적으로 증가 하였다면

$$E_1 = L \frac{I_2 - I_1}{t_1} = L \frac{\Delta I}{t_1} \quad (1)$$

가 되고,  $S$ 가 오프했을 때,  $t_2$  기간 동안  $I_2$ 에서  $I_1$ 으로 직선적으로 감소할 때에는

$$E_2 - E_1 = L \frac{\Delta I}{t_2} \quad (2)$$

가 된다. 위의 식(1), 식(2)로부터 입출력 관계식을 구하면 다음과 같다.

$$E_2 = \frac{E_1}{1 - \alpha} \quad (3)$$

다음에 식(1), 식(2)으로 부터 동작주기  $T = t_1 + t_2 = \frac{1}{f}$  를 구하면 다음과 같이 된다.

$$T = t_1 + t_2 = \frac{1}{f} = \frac{LE_2 \Delta I}{E_1(E_2 - E_1)} \quad (4)$$

위 식으로부터, 전류맥동분  $\Delta I$ 는

$$\Delta I = \frac{E_1(E_2 - E_1)}{fLE_2} = \frac{E_1\alpha}{fL} \quad (5)$$

가 된다. 입력전류  $i_1 (= i_L)$ 의 맥동분  $\Delta I$ 는 동작주파수  $f$ 와 인덕턴스  $L$ 에 반비례한다.

### 2-2. 2상 2중 부스트 레귤레이터

그림 3에 2상 2중 부스트 레귤레이터의 주회로도를 표시한다. 이 회로는 그림 1의 단상 부스트 레귤레이터에  $L_2$ ,  $D_2$  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 온오프에 따른 각부의 파형을 시비율  $\alpha$ 가  $\alpha < 0.5$ 인 경우와  $\alpha > 0.5$ 인 경우로 나누어 그림 4에 표시한다.

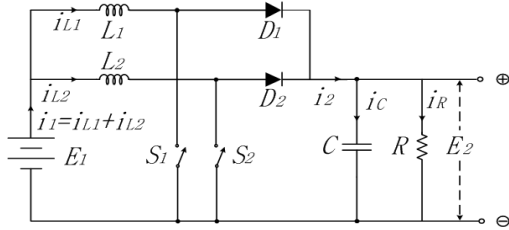
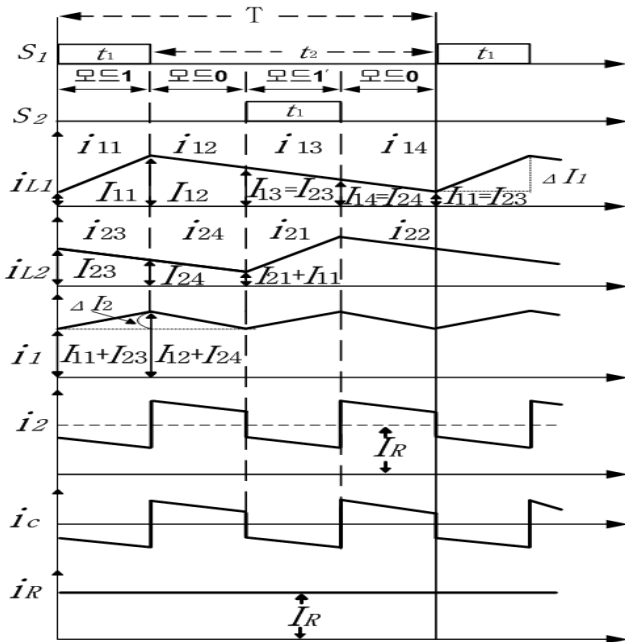
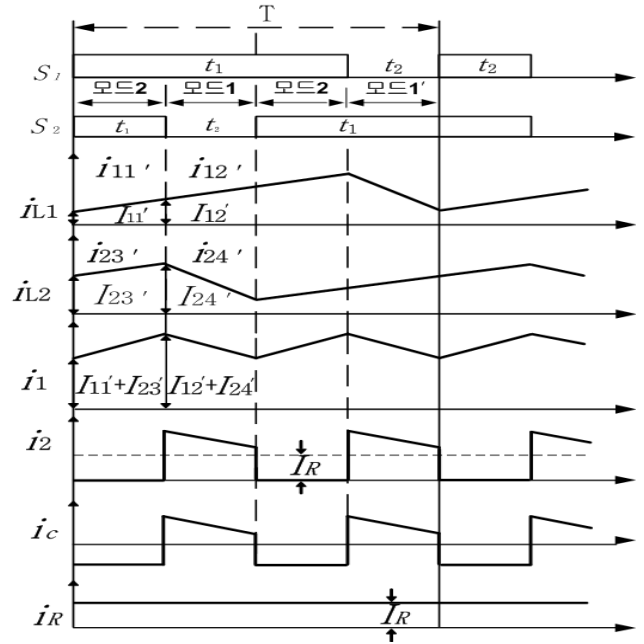


그림 3 2상2중 부스트 레귤레이터  
Fig. 3 The two Phase with combined boost regulator



(a)  $0 < \alpha < 0.5$



(b)  $0.5 < \alpha < 1.0$

그림 4 2상2중 부스트 레귤레이터의 각부 파형  
Fig. 4 The waveform of the two phase with combined boost regulator

#### (1) $0 < \alpha < 0.5$ 인 경우

그림 4 (a)에서와 같이 모드1 → 모드0 → 모드1' → 모드0의 동작을 반복한다. 여기에서  $L_1 = L_2 = L$ 의 조건하에서  $S_1$ 이 온,  $S_2$ 가 오프 상태인 모드1에서의 입력전류  $i_1$ 의 회로방정식은

$$L \frac{d(i_{11} + i_{23})}{dt} = 2E_1 - E_2 \quad (6)$$

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

$$L \frac{(I_{12} + I_{24}) - (I_{11} + I_{23})}{t_1} = L \frac{\Delta I_1}{\alpha T} = 2E_1 - E_2 \quad (7)$$

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

$$L \frac{d(i_{12} + i_{24})}{dt} = 2(E_1 - E_2) \quad (8)$$

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

$$L \frac{-\Delta I_1}{(0.5 - \alpha)T} = 2(E_1 - E_2) \quad (9)$$

입력전류  $i_1$ 의 맥동분  $\Delta I_1$ 은 식(7)과 식(9)로부터

$$\Delta I_1 = \frac{2E_1 - E_2}{L} \alpha T = \frac{2(E_2 - E_1)}{L} (0.5 - \alpha) T \quad (10)$$

이 식으로부터 입출력 전압 관계식을 구하면

$$E_2 = \frac{E_1}{1 - \alpha} \quad (11)$$

가 되어, 단상일 경우와 동일식이 된다.

1주기내의 동작으로 다음은 모드1'와 모드0의 동작이 있으나, 이것은 쇼프부  $S_1$  대신  $S_2$ 가 온상태로 회로조건은 완전히 동일하다. 즉 2상2중화하면 그림 4에서 보듯이 입력전류  $i_1$  및 출력전류  $i_2$ 의 동작 주기는 각 상의 전류  $i_{L1}$  과  $i_{L2}$  와 비교하여 주기는  $\frac{T}{2}$ 로 감소됨을 알 수 있다. 결과적으로 동작주파수가 2배로 증가하는 것이다.

다음에는 입력전류파형의 최소주기인  $\frac{T}{2}$ (모드1의 시간 + 모드0의 시간)를 식(7)과 식(9)로부터

$$\begin{aligned} \frac{T}{2} &= \alpha T + (0.5 - \alpha)T = \frac{L \Delta I_1}{2E_1 - E_2} + \frac{L \Delta I_1}{2(E_2 - E_1)} \\ &= \frac{L \Delta I_1 E_2}{2(E_2 - E_1)(2E_1 - E_2)} \quad (12) \end{aligned}$$

가 되고, 이 식으로부터 맥동분전류  $\Delta I_1$ 은 다음과 같이 된다.

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

$\alpha$ 가  $0 < \alpha < 0.5$ 의 영역에서  $\Delta I_1$ 은 단상일 때와 동일하게 주파수  $f$ 와 인덕턴스  $L$ 에 반비례 함을 알 수 있다.

### (2) $0.5 < \alpha < 1.0$ 인 경우

그림 4 (b)에서와 같이 모드2 → 모드1 → 모드2 → 모드1'의 동작을 반복한다.  $S_1$ 과  $S_2$ 가 모두 온상태인 모드2에서의  $i_1$ 의 회로방정식은 다음과 같다.

$$L \frac{d(i_{11'} + i_{23'})}{dt} = 2E_1 \quad (14)$$

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

$$L \frac{\Delta I_2}{(\alpha - 0.5)T} = 2E_1 \quad (15)$$

여기에서  $\Delta I_2 = (I_{12'} + I_{24'}) - (I_{11'} + I_{23'})$  이다. 다음 모드1에서의  $i_1$ 의 회로방정식은

$$L \frac{d(i_{12'} + i_{24'})}{dt} = 2E_1 - E_2 \quad (16)$$

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

$$L \frac{-\Delta I_2}{(1 - \alpha)T} = 2E_1 - E_2 \quad (17)$$

입력전류  $i_1$ 의 맥동분  $\Delta I_2$ 는 식(15)와 식(17)로부터

$$\Delta I_2 = \frac{2E_1}{L}(\alpha - 0.5)T = \frac{E_2 - 2E_1}{L}(1 - \alpha)T \quad (18)$$

가 되고, 이 식으로부터 입출력 전압 관계식을 구하면

$$E_2 = \frac{E_1}{1 - \alpha} \quad (19)$$

가 되어,  $0 < \alpha < 0.5$ 의 경우와 동일 식이 된다. 1주기내의 동작으로서 모드2 → 모드1'의 동작이 있으나 모드2 → 모드1의 동작과 완전히 동일하다. 그림 4 (b)에서도 알 수 있듯이 입력전류  $i_1$ 과 출력전류  $i_2$ 는 단상 파형인  $i_{L1}$ 이나  $i_{L2}$ 와 비교하여 주기가  $\frac{T}{2}$ 로 감소됨을 알 수 있다. 즉 동작 주파수가 2배로 증가하는 것이다. 입력전류 파형의 최소주기인  $T/2$ (모드2의 시간 + 모드1의 시간)를 식(15)와 식(17)로부터

$$\begin{aligned} \frac{T}{2} &= \alpha T + (0.5 - \alpha)T = \frac{L \Delta I_2}{2E_1} + \frac{L \Delta I_2}{(E_2 - 2E_1)} \\ &= \frac{L \Delta I_2 E_2}{2E_1(E_2 - 2E_1)} \quad (20) \end{aligned}$$

가 되고, 이 식으로부터 맥동분 전류  $\Delta I_2$ 는 다음과 같이 된다.

$$\Delta I_2 = \frac{E_1(E_2 - 2E_1)}{f L E_2} \quad (21)$$

$\alpha$ 가  $0.5 < \alpha < 1.0$ 의 영역에서  $\Delta I_2$ 는 단상 및  $0 < \alpha < 0.5$ 인 경우와 동일하게 주파수  $f$ 와 인덕턴스  $L$ 에 반비례함을 알 수 있다.

이상 고찰한 입력전류의 맥동분을 단상 {(식)5}과 2상2중방식 {(식)13과 (식)21}에 대하여 계산한 결과를 그림 5에 표시한다. 그림에서 알 수 있듯이 시비율  $\alpha$ 의 안정적인 제어가능 범위내(0.7이하)에서 동일 주파수 및 리액터에 대하여 입력전류의 맥동분이 단상보다 현저하게 작은 것을 확인하였다.

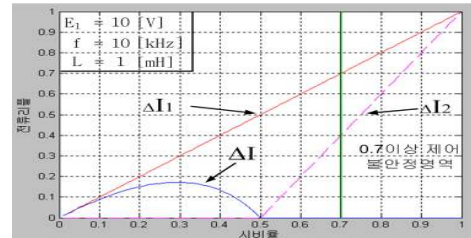


그림 5 시비율  $\alpha$ 와 입력전류 맥동분  $\Delta I$

Fig. 5 The input current ripple  $\Delta I$  and duty ratio  $\alpha$

### 3. 결론

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

- (1). 2상2중 부스트 레플레이터의 입출력 관계는 단상과 동일하다.
- (2). 입력전류의 맥동분은 단상과 동일하게 주파수 및 리액터에 반비례 하여 감소한다.
- (3). 2상2중화 하프로서 입력전류 및 출력전류의 동작 주파수가 단상의 2배가 된다.
- (4). 시비율  $\alpha$ 의 제어가능 범위내(0.7이하)에서 동일 주파수 및 리액터에 대하여 입력전류의 맥동분이 단상보다 현저하게 작은 것을 확인하였다.

### 참고 문헌

- [1] 이정준, "2상2중 쇼퍼방식을 이용한 축전지의 충전제어", 명지대학교 석사학위 논문, 1999.
- [2] 노의철, 정규범, 최남섭, "전력전자공학", 문운당, pp. 205 - 218, 2005