

# 절연된 부스트 변환기의 해석

김희선, 정대택, 원화영, 이형주, 홍순찬  
단국대학교 전자전기공학과

## Analysis of Isolated Boost Converter

Hee-Sun Kim, Dae-Taek Chung, Hwa-Young Won, Hyoung-Ju Lee, and Soon-Chan Hong  
Dept. of Electronics and Electrical Eng., Dankook University

### ABSTRACT

Isolated boost converter is desirable in the dc/dc converter applications where isolation is required and a large step up is needed. In this paper, it is proposed and analyzed the isolated boost converter which can step up low input voltage to high output voltage using transformer. Instead of using a conventional scheme, the proposed converter has the reset winding for volt-sec balance of transformer. Finally, the validity of the proposed isolated boost converter is verified by simulation.

### 1. 서론

부스트 변환기는 비이상적인 요소들로 인해 실제적인 승압비는 6배 정도이다<sup>[1]</sup>. 따라서 승압비가 높을 경우에는 변환기 자체의 승압만으로는 불가능하므로 변압기가 필요하다. 그림 1은 부스트 변환기에 변압기를 포함시킨 기본적인 절연된 부스트 변환기 회로이다. 이때 전압  $v_1$ 은 일정 크기의 직류전압이 아니고 펄스 형태의 직류이므로 변압기가 pulse transformer처럼 동작하기는 하지만 volt-sec 평형이 이뤄지지 않게 된다. 이러한 문제를 해결하기 위해 변압기의 1차측을 push-pull 구조로 하고 overlapping switch control을 사용하기도 한다<sup>[2]</sup>. 본 논문에서는 수정된 절연된 부스트 변환기 회로를 제안하고 해석한다.

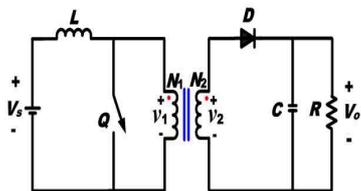


그림 1 기본적인 절연된 부스트 변환기  
Fig. 1 Basic isolated boost converter

## 2. 제안한 절연된 부스트 변환기의 해석

### 2.1 회로의 구성

그림 2는 제안한 절연된 부스트 변환기의 회로로서 변압기의 volt-sec 평형을 위하여 그림 1의 회로에  $Q_1$ ,  $N_3$  및  $D_3$ 를 추가하였다.

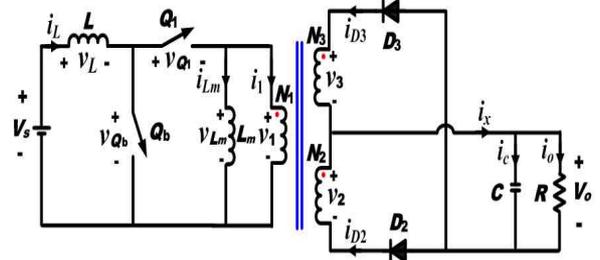


그림 2 제안한 절연된 부스트 변환기  
Fig. 2 Proposed isolated boost converter

### 2.2 동작 해석

절연된 부스트 변환기는 스위치  $Q_b$ 를 듀티비  $D$ 로 구동시키며  $Q_1$ 은  $Q_b$ 와 상보동작을 하도록 구동시킨다. 그림 3과 그림 4는 제안한 변환기의 게이트 파형 및 전압, 전류의 이론적인 파형이다.

#### 2.2.1 스위치 $Q_b$ 가 열렸을 때

그림 2에서 1차측에  $V_s - L - Q_1 - (L_m \& N_1) - V_s$  경로가 형성되고 2차측에  $N_2 - (C \& R) - D_2 - N_2$ 의 경로가 형성된다. 이때  $i_{D2} = i_1 (N_1/N_2)$ 이며,  $v_2 = V_o$ 이므로  $v_1 = v_2 (N_1/N_2) = V_o (N_1/N_2)$ 이다. 그리고  $v_3 = v_2 (N_3/N_2) = V_o (N_3/N_2) > 0$ 이므로  $D_3$ 가 OFF 상태가 된다.

인덕터  $L$ 의 전압 및 전류 변화량은 다음과 같다.

$$(v_L)_{open} = V_s - v_1 = V_s - V_o \left( \frac{N_1}{N_2} \right) = L \frac{di_L}{dt} \quad (1)$$

$$(\Delta i_L)_{open} = \frac{(1-D)T}{L} \left\{ V_s - V_o \left( \frac{N_1}{N_2} \right) \right\} \quad (2)$$

자화 인덕턴스  $L_m$ 의 전압 및 전류 변화량은 다음과 같다.

$$v_{L_m} = v_1 = V_o \left( \frac{N_1}{N_2} \right) = L_m \frac{di_{L_m}}{dt} \quad (3)$$

$$(\Delta i_{L_m})_{open} = \frac{V_o(1-D)T}{L_m} \left( \frac{N_1}{N_2} \right) \quad (4)$$

$Q_b$ 에 걸리는 전압은 식 (5)와 같고 이때  $Q_1$ 에 걸리는 전압은 0이다.

$$v_{Q_b} = v_1 = v_2 \left( \frac{N_1}{N_2} \right) = V_o \left( \frac{N_1}{N_2} \right) \text{ for } DT < t < T \quad (5)$$

### 2.2.2 스위치 $Q_b$ 가 닫혔을 때

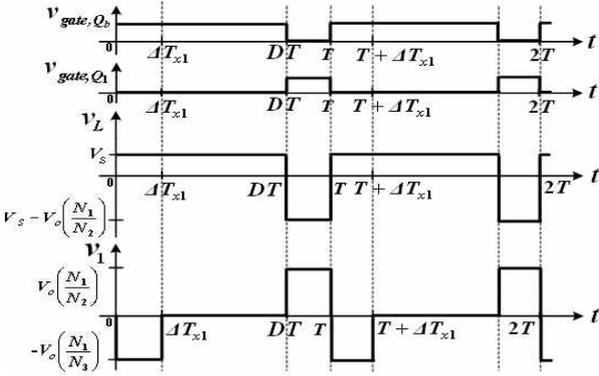
그림 2에서  $Q_b$ 가 닫히면  $Q_1$ 이 열리므로 1차측에  $V_s$ - $L$ - $Q_b$ - $V_s$  및  $L_m$ - $N_1$ - $L_m$ 의 두 경로가 형성되며 2차측에서는  $N_3$ -( $C$ & $R$ )- $D_3$ - $N_3$  경로가 형성된다.  $i_1 = -i_{L_m}$ 이고  $D_3$ 가 ON되어  $i_{D3} = -i_1(N_1/N_3) = i_{L_m}(N_1/N_3)$ 이 된다.  $v_3 = -V_o$ 이므로  $v_1 = v_3(N_1/N_3) = -V_o(N_1/N_3)$ 이다. 그리고  $v_2 = v_3(N_2/N_3) = -V_o(N_2/N_3) < 0$ 이므로  $D_2$ 는 OFF 상태이다.

$L$ 의 전압 및 전류 변화량은 다음과 같다.

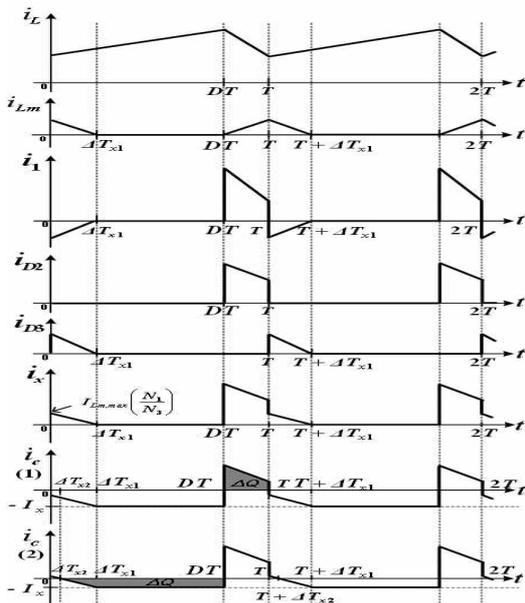
$$(v_L)_{closed} = V_s = L \frac{di_L}{dt} \quad (6)$$

$$(\Delta i_L)_{closed} = \frac{V_s DT}{L} \quad (7)$$

$L_m$ 의 전압 및 전류 변화량은 다음과 같다. 여기서  $\Delta T_{x1}$ 은



**그림 3** 제안한 변환기의 게이트 파형 및 전압  
**Fig. 3** Gate and voltage waveforms of the proposed converter



**그림 4** 제안한 변환기의 이론적 전류 파형  
**Fig. 4** Theoretical current waveforms of the proposed converter

저장되어 있던 에너지에 의해 전류  $i_{L_m}$ 이 흐르는 구간이다.

$$v_{L_m} = v_1 = -V_o \left( \frac{N_1}{N_3} \right) = L_m \frac{di_{L_m}}{dt} \quad (8)$$

$$(\Delta i_{L_m})_{closed} = -\frac{V_o}{L_m} \left( \frac{N_1}{N_3} \right) \Delta T_{x1} \quad (9)$$

자화전류의 순수 변화량이 0이므로 식 (4)와 식 (9)에서  $\Delta T_{x1}$ 을 구하면 식 (10)과 같으며  $i_{L_m}$ 이 불연속이 되어 변압기의 volt-sec 평형이 이루어지려면  $\Delta T_{x1} \leq DT$ 이어야 하므로 식 (11)이 성립하여야 한다.

$$\Delta T_{x1} = (1-D) T \left( \frac{N_3}{N_2} \right) \quad (10)$$

$$D \left( 1 + \frac{N_2}{N_3} \right) \geq 1 \quad (11)$$

$L_m$ 에 저장되어 있던 에너지가 모두 부하로 전달되어  $i_{L_m}$ 이 0이 되는 시점  $t = \Delta T_{x1}$ 를 지나면  $i_1$ ,  $i_{D2}$ ,  $i_{D3}$ 와  $v_1$ ,  $v_2$ ,  $v_3$ 의 값들이 모두 0이 된다. 이때 부하  $R$ 은  $C$ 로부터 에너지를 공급 받는다.

$Q_b$ 에 걸리는 전압은 0이고  $Q_1$ 에 걸리는 전압은 식 (12)와 같다.

$$v_{Q_1} = \begin{cases} -v_1 = -v_3 \left( \frac{N_1}{N_3} \right) = V_o \left( \frac{N_1}{N_3} \right) & \text{for } 0 < t < \Delta T_{x1} \\ 0 & \text{for } \Delta T_{x1} < t < DT \end{cases} \quad (12)$$

### 2.3 입출력 전압 관계

정상상태에서 인덕터 양단 전압의 평균값이 0이므로

$$(v_L)_{open} (1-D) + (v_L)_{closed} D = 0 \quad (13)$$

이 성립하며, 따라서 입출력 전압관계는 다음과 같다.

$$\frac{V_o}{V_s} = \frac{1}{1-D} \left( \frac{N_2}{N_1} \right) \quad (14)$$

### 2.4 $i_L$ 이 연속전류이기 위한 조건

(입력전력)=(출력전력)이므로  $V_s I_L = V_o^2 / R$ 과 식 (14)에서 인덕터 전류의 평균값을 구하면 식 (15)와 같다.

$$I_L = \frac{V_s}{R(1-D)^2} \left( \frac{N_2}{N_1} \right)^2 \quad (15)$$

따라서  $L$ 에 흐르는 전류의 최소값은 식 (16)과 같다.

$$(I_L)_{\min} = I_L - \frac{|\Delta i_L|}{2} = \frac{V_s}{R(1-D)^2} \left( \frac{N_2}{N_1} \right)^2 - \frac{V_s DT}{2L} \quad (16)$$

$(I_L)_{\min} \geq 0$  이어야  $i_L$ 이 연속전류이므로 다음이 성립한다.

$$L \geq \frac{RD(1-D)^2}{2f} \left( \frac{N_1}{N_2} \right)^2 \quad (17)$$

## 2.5 출력전압의 맥동율

제한한 회로의 출력단에서  $i_x = i_c + i_o$ 이고 양변을 평균하면  $I_x = I_c + I_o$ 이다. 정상상태에서  $I_c = 0$ 이므로  $I_x = I_o = V_o/R$ 가 성립하며 커패시터 전류는  $i_c = i_x - I_x$ 가 된다. 그림 4의  $i_c$  파형으로부터 출력전압 맥동율을 구할 수 있으며 다음의 두 가지 경우가 있을 수 있다.

### 2.5.1 $I_x > I_{L_{m,max}}(N_1/N_3)$ 인 경우

전하의 변화량  $\Delta Q$ 는  $i_c$  파형의 면적과 같으므로 그림 4의  $i_c(1)$  파형으로부터 전하의 변화량  $\Delta Q$ 를 구하면 다음과 같다.

$$\Delta Q = \frac{1}{2} \left[ \left\{ I_{L_{max}} \left( \frac{N_1}{N_2} \right) - I_x \right\} + \left\{ (I_{L_{min}} - I_{L_{max}}) \left( \frac{N_1}{N_2} \right) - I_x \right\} \right] \cdot (T - DT) = \left\{ \frac{D}{Rf} - \frac{(1-D)^2}{2L_m f^2} \left( \frac{N_1}{N_2} \right)^2 \right\} V_o \quad (18)$$

$\Delta Q = C\Delta V_o$ 이므로 출력전압 맥동율은 다음과 같다.

$$\frac{\Delta V_o}{V_o} = \frac{1}{RCf} \left\{ D - \frac{(1-D)^2 R}{2L_m f} \left( \frac{N_1}{N_2} \right)^2 \right\} \quad (19)$$

### 2.5.2 $I_x < I_{L_{m,max}}(N_1/N_3)$ 인 경우

전하의 변화량  $\Delta Q$ 를 구하기 위해 그림 4의  $i_c(2)$ 의 파형에서  $\Delta T_{x2}$ 를 구하면

$$\Delta T_{x2} = \Delta T_{x1} - \frac{L_m}{R} \left( \frac{N_3}{N_1} \right)^2 \quad (20)$$

이고 전하의 변화량  $\Delta Q$ 는 다음과 같다.

$$\Delta Q = \frac{1}{2} \{ (DT - \Delta T_{x1}) + (DT - \Delta T_{x2}) \} I_x = \frac{V_o}{Rf} \left\{ D - (1-D) \left( \frac{N_3}{N_2} \right) + \frac{L_m f}{2R} \left( \frac{N_3}{N_1} \right)^2 \right\} \quad (21)$$

$\Delta Q = C\Delta V_o$ 이므로 출력전압 맥동율은 다음과 같다.

$$\frac{\Delta V_o}{V_o} = \frac{1}{RCf} \left\{ D - (1-D) \left( \frac{N_3}{N_2} \right) + \frac{L_m f}{2R} \left( \frac{N_3}{N_1} \right)^2 \right\} \quad (22)$$

## 3. 시뮬레이션

제한한 변환기의 동작 해석을 검증하기 위해 Simplorer를 사용하여 시뮬레이션한다.

시뮬레이션에 사용한 파라미터는 표 1과 같다.

표 1 시뮬레이션 파라미터  
Table 1 Simulation parameters

|                 |          |       |                    |
|-----------------|----------|-------|--------------------|
| $V_s$           | 3.0[V]   | $L$   | 600[ $\mu$ H]      |
| $V_o$           | 400[V]   | $L_m$ | 0.05[mH]           |
| $N_2(=N_3)/N_1$ | 17       | $C$   | 22[ $\mu$ F]       |
| $f$             | 100[kHz] | $R$   | 17.78[k $\Omega$ ] |

그림 5는 절연된 부스트 변환기의 시뮬레이션 결과 파형이다. 그림 5(a)는  $L$ 의 전압  $v_L$ 의 파형이며, 그림 5(b)는  $N_1$ 측 전압  $v_1$ 의 파형으로서  $Q_b$ 가 단혔을 때  $\Delta T_{x1}$  동안 -23.53[V]가 걸린다. 그림 5(c)는  $L$ 에 흐르는 전류 파형으로서  $I_L=3$ [A]이며  $|\Delta i_L|=0.044$ [A]이다. 그림 5(d)는  $i_{Lm}$ 의 파형으로 다음 주기가 시작되기 전에 0으로 감소하여 volt-sec 평형이 이루어지고 있다. 그림 5(e)는  $N_1$ 측 전류  $i_1$ 의 파형이고 그림 5(f)는  $N_2$ 측 전류  $i_{D2}$ 의 파형이며 그림 5(g)는  $N_3$ 측 전류  $i_{D3}$ 의 파형이다. 그림 5(h)는  $i_x$  파형으로서  $i_{D2}$ 와  $i_{D3}$ 의 합임을 알 수 있다.

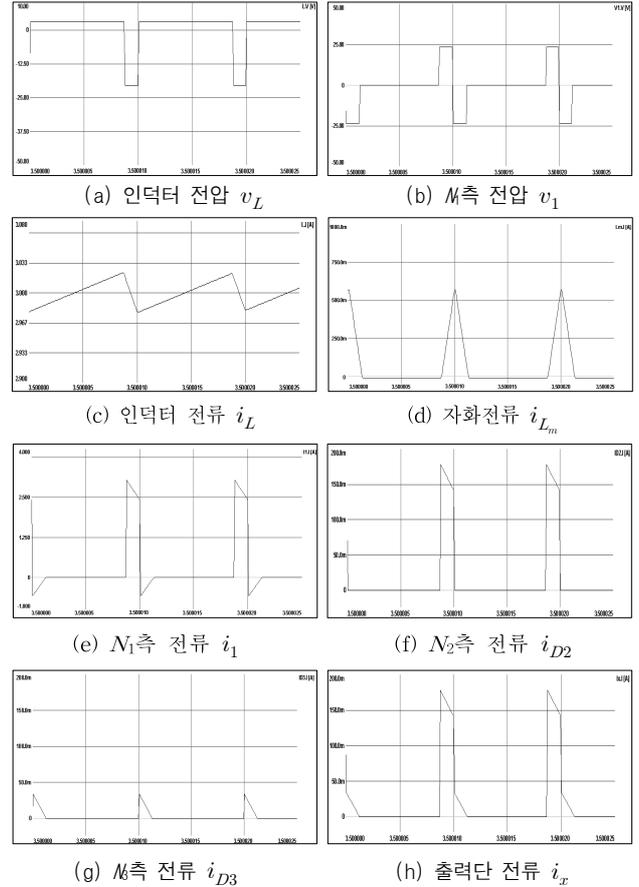


그림 5 제한한 변환기의 시뮬레이션 결과  
Fig. 5 Simulation results of proposed converter

## 4. 결론

본 논문에서는 변압기를 사용하는 절연된 부스트 변환기를 제안하고 해석하였다. 변압기의 volt-sec 평형을 위해 리셋 권선인 제 3권선을 설치하였다. 그리고 제한한 회로의 동작을 해석하였으며 시뮬레이션을 통하여 해석의 타당성을 입증하였다.

## 참고 문헌

- [1] 홍순찬, 전희중, 백형래, 원충연, *PSpice를 활용한 전력전자공학*, 인터비전, 2005.
- [2] Jun Wen, Taotao Jin, and Keyue Smedley, "A New Interleaved Isolated Boost Converter for High Power Applications", IEEE APEC Proc., 2006.