

절연된 부스트 변환기의 설계

김희선, 채수용, 김명수, 이인환, 홍순찬
단국대학교 전자전기공학과

Design of Isolated Boost Converter

Hee-Sun Kim, Soo-Yong Chae, Myeong-Soo Kim, In-Hwan Lee, and Soon-Chan Hong
Dept. of Electronics and Electrical Eng., Dankook University

ABSTRACT

In this paper, the isolated boost converter is designed by considering the current/voltage characteristics of the converter. Also, the validity of the design for the converter is verified by both simulations and experiments on the 10[W] class isolated boost converter.

1. 서론

본 논문에서는 volt-sec 평형을 위한 리셋권선과 자기구동 스위치를 이용한 10[W]급 절연된 부스트 변환기를 설계한다. 본 설계에 있어 인덕터 전류의 맥동율은 10[%] 이하, 출력전압의 맥동율은 1[%] 이하를 목표로 한다. 또한 본 논문에서 설계한 변수를 적용한 변환기의 시뮬레이션 및 실험을 통해 설계의 타당성을 검증한다.

2. 절연된 부스트 변환기의 구성 및 해석

그림 1은 절연된 부스트 변환기의 회로로서 리셋권선 N_3 와 자기구동 스위치인 Q_1 을 포함하고 있다. Q_1 은 Q_b 와 상보동작하며 해석함에 있어 출력전압 V_o 는 일정하다고 본다.

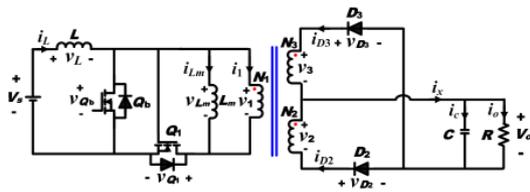


그림 1 절연된 부스트 변환기
Fig. 1 Isolated boost converter

그림 1의 회로에서 입출력전압 관계는 식 (1)과 같다^[1].

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

식 (1)로부터 변환기 권수비의 범위를 구하면 식 (2)와 같다.

$$(1-D_{\max}) \frac{V_o}{V_s} \leq \frac{N_2}{N_1} \leq (1-D_{\min}) \frac{V_o}{V_s} \quad (2)$$

그림 2는 자화전류 i_{Lm} 과형으로서 여기서 ΔT_{x1} 은 L_m 에 저장되어 있던 에너지에 의해 i_{Lm} 이 감소하여 0이 되기까지의 구

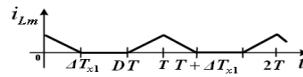


그림 2 자화 전류
Fig. 2 Magnetizing current

간이다. 이때 i_{Lm} 이 불연속이 되어 변환기의 volt-sec 평형이 이루어지려면 $\Delta T_{x1} \leq DT$ 이어야 하므로 듀티비와 권선수의 관계를 정리하면 식 (3)과 같다^[1].

$$D \left(1 + \frac{N_2}{N_3} \right) \geq 1 \quad (3)$$

인덕터 전류가 연속전류모드로 동작하기 위한 인덕터 값의 범위를 구하면 식 (4)와 같다.

$$L \geq \frac{DV_s}{2I_L f} \quad (4)$$

인덕터 전류 i_L 의 맥동율 설계값을 K_L 이라 하면 식 (5)가 성립하여야한다.

$$\frac{|\Delta i_L|}{I_L} = \frac{V_s D}{I_L L f} \leq K_L \quad (5)$$

출력전압 맥동율은 그림 3의 i_C 과형으로부터 구할 수 있으며 I_x 와 $I_{Lm, \max}(N_1/N_3)$ 의 상대적 크기에 따라 두 가지 경우가 있다. 이때 $a = I_{Lm, \max}(N_1/N_3) - I_x$ 이고 $b = -I_x$ 이다.

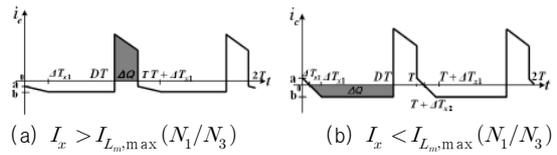


그림 3 커패시터 전류
Fig. 3 Capacitor current

3. 절연된 부스트 변환기의 설계

본 논문에서는 변환기의 해석을 바탕으로 직류 5[V]를 100[V]로 승압하는 10[W]급 변환기를 설계한다. 변환기의 입력 전류는 2[A]이고 스위칭 주파수는 60[kHz]로 한다.

3.1 스위칭 소자의 선정

그림 1의 출력단은 고전압으로서 D_2 와 D_3 에 걸리는 전압정격을 고려하여 스위칭 소자를 선정한다. 이때 D_2 , D_3 에 걸리는 전압은 $v_{D2} = V_o(1+N_2/N_3)$, $v_{D3} = V_o(1+N_2/N_3)$ 이다.

V_{D2} 와 V_{D3} 는 N_2/N_3 값에 따라 한 소자에 높은 전압이 걸리게 되므로 $V_{D2}=V_{D3}$ 가 되도록 하여 전압정격을 고려한 소자를 선정한다. $N_3=N_2$ 이면 $V_{D2}=V_{D3}=2V_o$ 가 된다.

각 소자에 걸리는 최대전압이 200[V]에 견디어야 함을 고려하여 D_2 는 정격이 1,000[V], 3[A]인 UF5408을 선정하고 D_3 는 정격이 1,000[V], 1[A]인 UF4007로 선정하며 Q_b 와 Q_n 은 입력단의 저전압 대전류의 특성을 만족하는 MOSFET인 정격 55[V], 21[A]인 IRFIZ34N으로 한다.

3.2 변압기의 권수비 선정

스위칭 주기가 시작되기 전에 변압기 코어를 초기 상태로 리셋시키려면 위해서는 식 (3)이 성립하여야 한다. 이때 권수비를 $N_2=N_3$ 로 선정하였으므로 D 가 0.5보다 큰 값이어야 함을 알 수 있다. 통상 변환기의 가용 듀티비의 범위는 $0.1 \leq D \leq 0.9$ 이므로 절연된 부스트 변환기의 듀티비 D 의 범위는 식 (6)과 같다.

$$0.5 \leq D \leq 0.9 \quad (6)$$

식 (2)로부터 변압기 권수비의 범위를 구하면 $2 \leq N_2/N_1 \leq 10$ 이 된다. 본 논문에서는 이 범위를 만족하는 값인 5를 변압기의 권수비로 선정한다.

3.3 인덕터 설계

인덕터 값의 설계는 인덕터에 흐르는 전류가 연속적이기 위한 조건과 인덕터 전류의 맥동율을 고려한다.

연속전류모드로 동작하기 위한 인덕터 L 값의 범위는 식 (4)와 같으며 D 의 범위를 고려한 L 의 범위는 $L \geq 18.75[\mu\text{H}]$ 이다.

또한 식 (5)로부터 L 의 범위를 구하면 식 (7)과 같다.

$$L \geq \frac{V_s D_{\max}}{K_L I_L f} \quad (7)$$

식 (7)에서 K_L 은 인덕터 전류의 맥동율 설계값으로 10[%]이다. D 값의 범위를 고려하여 L 의 범위를 구하면 $L \geq 375[\mu\text{H}]$ 이다. 두 조건의 범위를 공통으로 만족하는 L 의 범위를 구하면 $L \geq 375[\mu\text{H}]$ 가 된다. 본 논문에서는 여유를 두어 600 $[\mu\text{H}]$ 로 설계한다.

3.4 커패시터 설계

커패시터 값은 출력전압 맥동율로부터 설계한다. 설계시 그림 3의 i_c 파형에서 두 가지 경우를 모두 만족하는 값인 최악의 경우를 고려한다. 전하의 변화량 ΔQ 로부터 출력전압 맥동율 설계값을 K_V 라 하면 식 (8)이 성립한다.

$$\frac{\Delta V_o}{V_o} = \frac{D}{RCf} \leq K_V \quad (8)$$

식 (8)로부터 커패시터 값의 범위를 구하면 다음과 같다.

$$C \geq \frac{D_{\max}}{RfK_V} \quad (9)$$

출력전압 맥동율 목표값 K_V 이 1[%]이므로 C 의 범위를 구하면 $C \geq 1.5[\mu\text{F}]$ 가 된다. 커패시터의 ESR에 의한 영향을 고려하면 출력 커패시터의 값이 충분히 커야 하므로^[2] 본 논문에서는 22 $[\mu\text{F}]$ 으로 설계한다.

4. 시뮬레이션

절연된 부스트 변환기 설계의 타당성을 확인하기 위해 시뮬레이션하였다. 시뮬레이션에 사용한 파라미터는 $V_s=5[\text{V}]$, $V_o=100[\text{V}]$, $N_2(=N_3)/N_1=5$, $f=60[\text{kHz}]$, $L=600[\mu\text{H}]$, $C=22[\mu\text{F}]$ 이고 $R=1[\text{k}\Omega]$ 이다.

그림 4는 시뮬레이션 결과 파형이다. 그림 4(a)는 i_{Lm} 의 파형으로서 volt-sec 평형이 이루어지고 있음을 알 수 있다. 그림 4(b)는 i_c 파형으로 그림 3의 파형에서 $I_x > I_{Lm, \max}(N_2/N_3)$ 인 경우에 해당함을 알 수 있다. 그림 4(c)는 i_L 파형으로서 이상적인 경우에는 $I_L=2[\text{A}]$ 이며 맥동율은 5.21[%]이다. 그림 4(d)는 V_o 파형으로 100[V]이며 맥동율은 0.048[%]이다.

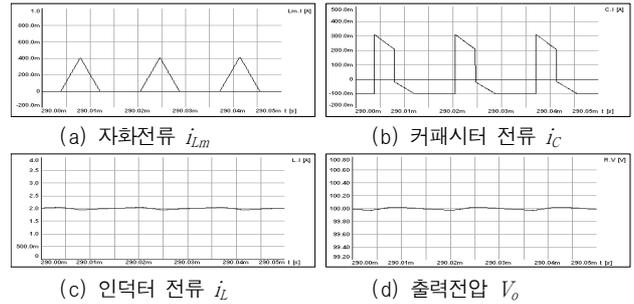


그림 4 시뮬레이션 결과
Fig. 4 Simulation results

5. 실험

절연된 부스트 변환기의 유용성을 검증하기 위해 변환기를 구성하고 시험을 시행하였다. 실험에 사용한 변환기의 파라미터는 시뮬레이션 파라미터와 동일하다.

그림 5는 실험 결과 파형이다. 그림 5(a)는 L 에 흐르는 전류 파형으로서 변환기의 손실로 인하여 이론값 2[A]보다 큰 $I_L=2.45[\text{A}]$ 이며 맥동율은 8.98[%]로서 설계 목표치인 10[%] 이하의 맥동율을 만족한다. 그림 5(b)는 출력전압 파형으로 맥동율은 0.086[%]로 설계값 1[%] 이하의 목표값을 만족한다.

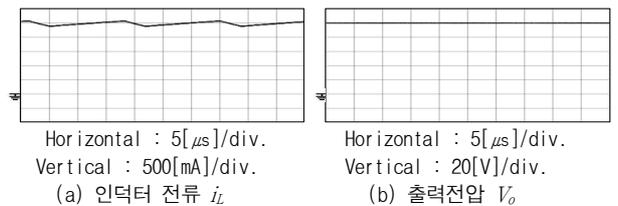


그림 5 실험 결과
Fig. 5 Experimental results

6. 결론

본 논문에서는 10[W]급 절연된 부스트 변환기를 설계하였다. 설계조건을 고려하여 변환기에 적합한 스위칭 소자를 선정하고 변압기 권수비, 인덕터, 커패시터를 설계하였다. 설계 결과를 적용하여 시뮬레이션 및 실험을 수행한 결과 설계한 변환기가 설계조건을 만족함을 확인함으로써 본 논문에서 제안한 변환기 설계의 타당성을 입증하였다.

참고 문헌

- [1] 김희선, 정대택, 원화영, 이형주, 홍순찬, “절연된 부스트 변환기의 해석”, 전력전자학회 추계학술대회논문집, 2009.
- [2] 김희준, 스위치 모드 파워 서플라이, 성안당, 2005.