

무손실 수동 스너버를 갖는 탭인덕터 부스트 컨버터

송준근, 김태우, 박신균
LG 디스플레이

Tapped Inductor Boost Converter with Losses-less Passive Snubber

Joon-Keun Song, Tae-Woo Kim, Sin-Kyun Park
LG Display

2. 제안된 탭인덕터 부스트 컨버터

ABSTRACT

본 논문에서는 무손실 수동 스너버를 갖는 탭인덕터 부스트 컨버터를 제안한다. 기존의 탭인덕터 부스트 컨버터는 누설 인덕턴스와 기생 커패시턴스의 공진에 의한 전압 스트레스의 증가와 그것을 저감시키기 위한 손실 스너버가 사용되어야 한다. 그리고 MOSFET가 하드 스위칭하므로 방열을 위한 추가 PCB 공간확보가 필요하다. 이런 문제점을 무손실 스너버 회로를 추가하여 부품의 스트레스와 스위칭 손실을 최소화하고 PCB 면적을 최적화할 수 있다. 본 논문에서는 제안된 부스트 컨버터의 동작원리를 이론적으로 해석하고, 모의실험 및 시제품 제작하여 검증한다.

1. 서론

최근 LED(=Light Emitting Diode)의 여러 가지 장점으로 인해 LCD Backlight 광원인 CCFL(=Cold Cathode Fluorescent Lamp)에서 급속히 대체되고 있다. 그리고 LCD TV의 LED 광원 위치에 따라 Direct type과 Edge type으로 나눌 수 있는데 가격 경쟁력을 고려하여 Edge type 구조로 로컬 디밍(=Local Dimming) 기능이 없다면 LED 직렬연결로 높은 구동전압을 요한다. 이럴 경우에 일반 부스트 컨버터로는 충분한 승압비를 얻을 수 없으므로 그림 1과 같은 탭인덕터를 갖는 부스트 컨버터로 대체해야 한다.

그러나 이 방식은 탭인덕터의 누설 인덕턴스(Leakage inductance)와 기생 커패시턴스(Stray capacitance)의 공진에 의해 부품의 전압 스트레스가 증가되고, 전압 스트레스를 저감시키기 위해 손실 스너버(Dissipative snubber)의 사용 및 하드 스위칭(Hard switching)으로 효율 저감과 주 스위치의 방열공간 확보도 필요하게 된다^[4]. 이 문제를 해결하기 위해 전압 클램핑(Voltage Clamping) 커패시터를 사용한 탭인덕터 부스트^{[2][4]}가 주 스위치와 다이오드의 전압 스트레스는 저감시켰지만 턴오프시 주 스위치가 하드 스위칭한다.

따라서, 본 논문에서는 부품 용량을 저감하고 주 스위치가 턴오프 시 영전압 스위칭하면서 부품의 전압 스트레스도 함께 저감하는 무손실 스너버를 갖는 탭인덕터 부스트 컨버터를 제안하고, 시제품 제작 및 실험을 통해 타당성을 확인한다.

제안된 탭인덕터 부스트 컨버터는 그림 2와 같고, 기존 논문^[2]에서 제안된 회로와 동일하다. 그러나, L1과 L2의 결합력을 높이면 상대적으로 누설 인덕턴스(L_{lk})가 작아지고 그로 인해 주 스위치의 전압 클램핑 커패시터 C1의 용량을 감소시키면서 턴오프 시 영전압 조건에서 스위칭이 가능해진다.

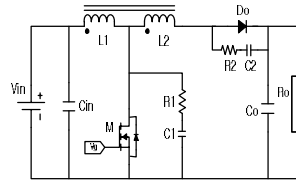


그림 1. 기존 컨버터

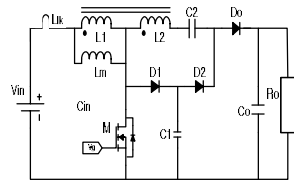


그림 2. 제안된 컨버터

2.1 동작 모드

모드 1 [t_0-t_1]: 주 스위치(M)이 턴온하면 L_m 에 흐르는 전류는 선형적으로 증가하고 L2로 흐르는 전류는 반비례적으로 감소한다. 주 스위치는 영전류 조건에서 턴온하므로 스위칭 손실이 저감된다.

모드 2 [t_1-t_2]: L2의 전류가 0된후 공진 커패시터 C1에 충전된 전압($V_{C1}=V_{DS}$)이 다이오드 D2와 클램핑 커패시터 C2, L2 및 주 스위치를 통해 역방향으로 전류가 흐른다. $V_{C1}(=V_{DS})$ 상태에서 V_{C1} 는 방전하고 V_{C2} 은 충전한다.

모드 3 [t_2-t_3]: V_{C1} 가 0으로 방전되면 다이오드 D1이 도통되고 L2-D1-D2-C2을 통해 에너지가 전달된다. 이때 L_m 전류는 입력전압에 비례해서 선형적으로 증가하고 출력 다이오드 D0의 양단 전압은 출력전압 V_o 된다. 주 스위치에 흐르는 전류는 L_m 과 L2에 흐르는 전류의 합이 된다.

모드 4 [t_3-t_4]: 출력 다이오드는 오프되고 L2-D1-D2을 통해 클램핑 커패시터 C2을 충전된다. 모드 3과 같이 L_m 은 선형적으로 증가하고 주 스위치에 흐르는 전류는 L_m 과 L2에 흐르는 전류의 합이 된다.

모드 5 [t_4-t_5]: 주 스위치가 턴오프하면 우선 주 스위치의 C_{oss} 와 다이오드 D1을 통해 C1을 충전한다. 그리고 $L_m-L_2-C_2-D_2$ 을 통해 출력으로 전류가 흐른다. 이때 주 스위치는 영전압 조건에서 턴오프하므로 스위칭 손실 및 발열이 저감된다.

모드 6 [t_5-t_0]: 주 스위치의 출력 커패시턴스 C_{oss} 와 공진 커패시터 C1의 전압은 $V_{in}/(1-D)$ 까지 충전되고 L_m 의 전류는 L2와 C2 및 D2을 통해 전력이 전달된다.

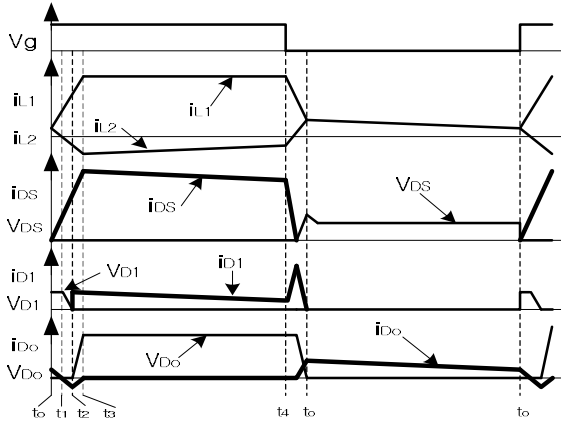


그림 3. 제안된 탭인덕터 부스트 컨버터의 주요동작 파형

2.2 입출력 승압비 및 클램핑 전압

탭 인덕터의 턴비와 결합계수, 각부의 전압 및 입출력 승압비는 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 n &= N_2/N_1 & (1) \\
 k &= L_m/(L_{lk} + L_m) & (2) \\
 V_{Lm} &= k \cdot V_{in} \cdot D/(1-D) & (3) \\
 V_{L2} &= n \cdot V_{Lm} = n \cdot k \cdot V_{in} \cdot D/(1-D) & (4) \\
 V_{C2} &= n \cdot k \cdot V_{in} \cdot D/(1-D) & (5) \\
 V_{C1} &= V_{Lm} + V_{in} = V_{in}/(1-D) & (6) \\
 V_0 &= V_{C2} + V_{L2} + V_{C2} \\
 &= V_{in}/(1-D) + 2 \cdot n \cdot k \cdot V_{in} \cdot D/(1-D) & (7) \\
 &= V_{in}((1+2 \cdot n \cdot k \cdot D)/(1-D)) & (7) \\
 G_V &= V_0/V_{in} = (1+2 \cdot n \cdot k \cdot D)/(1-D) & (8)
 \end{aligned}$$

3. 실험

본 논문의 타당성을 검증하기 위해 시제품 제작에 사용된 파라미터는 다음 표 1과 같다.

표 1. 제안된 회로에 사용된 파라미터

Vin	24[V]	C1	1.5[nF]
L1	13[μH]	C2	1[μF]
L2	117[μH]	Co	2.2[μF]/300V
N1 : N2	7 : 21	Cin	680[μF]/35V*2ea
M	FDD86615A*2	D1/D2	UF5406
Do	SF5A600HD	fs	200[KHz]
Core	CI2629	Vo/Io	220[V]/0.31[A]

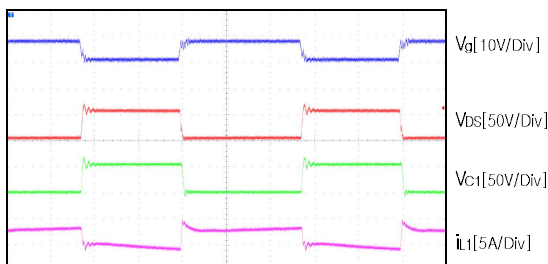


그림 4. 주요 실험 파형(1μs/Div.)

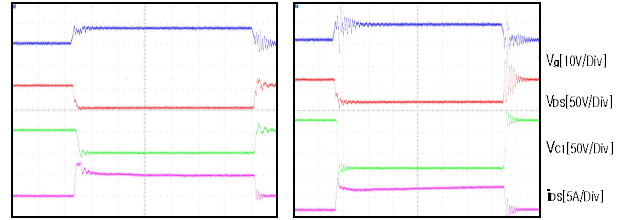


그림 5. 주 스위치 전압과 전류파형(400ns/Div.)
(a)공진 커패시터 有 (b)공진 커패시터 無

표 2. 주요 부품의 측정된 온도비교 데이터

토폴로지	기존 방식 그림 1.	논문 [4]	제안된 방식 그림 2.
탭인덕터	60°C	48°C	47°C
주 스위치(M)	97°C	63°C	60°C
다이오드(Do)	110°C	71°C	70°C

그림 4는 제안된 컨버터의 측정된 전체 동작파형이 그림 3의 이론적인 동작파형과 유사함을 확인할 수 있다. 그림 5는 주 스위치의 전압과 전류파형을 나타내며 공진 커패시터 C1 유무에 따라 턴오프시 영전압 스위칭으로 기생 공진(Parasitic resonance)이 둔감해짐을 확인할 수 있다. 추가적으로 표 2에서는 주요 부품의 측정된 온도 데이터를 바탕으로 제안된 방식이 스위칭 손실에 의한 발열이 저감됨을 확인하였다.

4. 결론

본 논문에서는 부품 용량을 최소화하고 주 스위치가 턴오프시 영전압 스위칭하면서 부품의 전압 스트레스도 함께 저감하는 무손실 스너버를 갖는 탭인덕터 부스트 컨버터를 제안하였다. 시제품 제작 및 실험을 통해 주 스위치가 턴오프시 영전류 조건에서 턴오프시 영전압 조건에서 스위칭함을 확인하였고 기존 방식과의 비교를 통해 개선 효과를 확인하였다.

참고 문헌

- [1] Q. Zhao, F.C. Lee, "High Performance Coupled Inductor DC/DC Converter," APEC'03, pp. 109-113.
- [2] R. J. Wai, R. Y. Duan, "High Step-up Converter With Coupled-Inductor," IEEE Transaction on Power Electronics, Vol. 20, No. 5, pp. 1025-1035, Feb, 2005.
- [3] N. Vazquez, L. Estrada, C. Hernandez and E. Rodriguez, "The Tapped-Inductor Boost Converter," IEEE Ind. Electronics, pp. 583-543, June 2007.
- [4] 강정민, 이상현, 홍성수, 한상규, "고승압비를 갖는 전압 클램프 탭인덕터 부스트 컨버터," 전력전자학회 논문지, 제17권, 제1호, pp 34-40, Feb. 2012.