

고승압비를 갖는 전압 클램프 탭인덕터 부스트 컨버터

강정민, 이상현, 홍성수, 김진환*, 오동성*, 한상규
국민대학교 전력전자 연구소, 삼성전기*

Voltage Clamped Tapped-Inductor Boost Converter with High Voltage Conversion Ratio

Jung-Min Kang, Sang-Hyun Lee, Sung-Soo Hong, Jin-Hwan Kim*, Dong-Sung Oh* and Sang-Kyoo Han

Kookmin University Power Electronics Center, *Samsung Electro-Mechanics Co., LTD.

ABSTRACT

본 논문에서는 높은 승압비를 갖는 전압 클램프 탭인덕터 부스트 컨버터를 제안한다. 기존의 탭인덕터 부스트 컨버터 방식은 높은 승압비를 얻기 위해 사용되었던 탭인덕터로 인하여 일반적인 부스트 컨버터에 비해 주스위치와 다이오드의 전압스트레스가 크다는 단점이 있다. 또한, 누설 인덕터 성분과 기생 캐패시터로 인해 발생하는 공진 전압을 없애기 위해 손실스너버를 사용함으로 전력변환효율이 떨어지는 단점을 갖는다. 반면, 제안된 방식은 손실 스너버 없이 전압 클램핑 캐패시터를 사용하고 있다. 이 캐패시터는 기존의 탭인덕터 부스트컨버터의 주스위치 및 다이오드의 전압 스트레스를 줄이는 기능을 제공하게 된다. 본 논문에서는 제안된 부스트 컨버터의 동작원리를 이론적으로 해석하고, 모의실험을 통해 제안된 회로의 타당성을 검증하였다.

1. 서론

최근, LCD 평판 디스플레이의 백라이트가 CCFL에서 LED로 급속히 전환되고 있다. 따라서 LED 백라이트 구동에 필요한 전원장치의 고용량, 고효율, 소형화 추세가 이루어지고 있는 실정이다^[1]. 이를 위해서는 LED 구동전압을 높이는 게 필수적이며, 이에 적합한 토폴로지로는 그림 1에 나타낸 탭인덕터를 사용한 부스트 컨버터이다. 이 컨버터는 높은 입출력 변환비를 얻기 위해 부스트 컨버터의 인덕터를 탭인덕터로 대체한 구조이며, 부스트 컨버터 자체 승압비에 탭인덕터의 권선비가 더해지므로 매우 높은 입출력 변환비를 가질 수 있다^[2]. 그러나 이러한 방식은 일반적인 부스트 컨버터에 비해, 주스위치에는 $(V_o - V_{in}) * N / (1+N)$, 다이오드에는 NV_{in} 만큼 전압이 더 인가되므로 높은 내압의 반도체 소자가 사용되어야 하는 단점이 있다. 또한, 탭인덕터의 누설 인덕턴스와 기생 캐패시턴스의 공진으로 인하여 손실스너버를 사용해야 함으로 효율을 저감한다는 단점도 존재한다^[3].

따라서, 본 논문에서는 이러한 문제점들을 극복하기 위하여 전압클램핑 캐패시터를 사용한 탭인덕터 부스트 컨버터를 제안하고, 컴퓨터 모의실험을 통하여 타당성을 입증하고자 한다.

2. 제안된 탭인덕터 부스트 컨버터

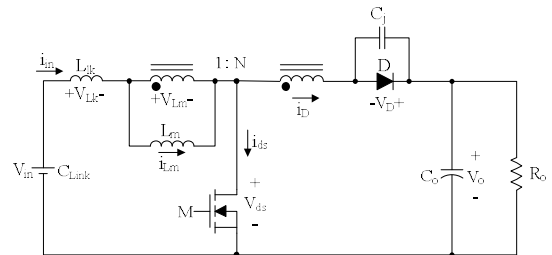


그림 1 기존 탭인덕터 부스트 컨버터

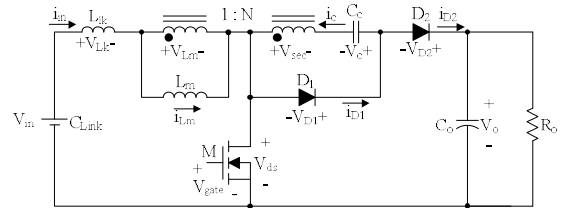
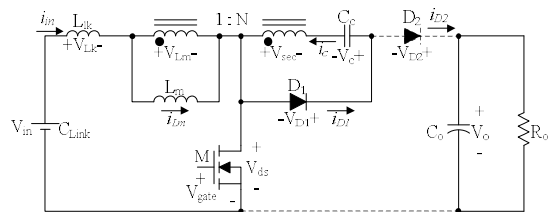
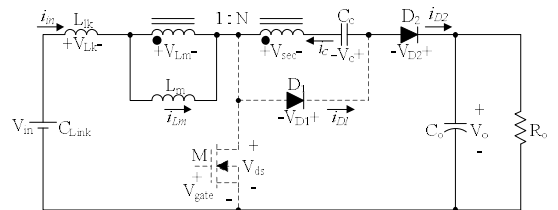


그림 2 제안된 탭인덕터 부스트 컨버터



(a) 모드 1 (0)



(b) 모드 2 (2)

그림 3 동작 모드 별 등가회로

제안된 부스트 컨버터는 그림 2에 나타내었다. 제안된 컨버터는 기존의 컨버터에 전압 클램핑용 캐패시터와 이 캐패시터에 충전을 위한 다이오드를 추가한 간단한 구조이며, 기존 탭인덕터 부스트 컨버터보다 더 높은 입출력 승압비를 얻을 수

있다. 이 장에서는 동작모드 해석을 통해, 입출력 전압관계식 및 클램프 캐패시터의 정상상태 전압을 나타내는 식을 유도한다.

2.1 동작 모드 해석

해석의 편의를 위해 다음을 가정한다.

L_k 는 L_m 보다 매우 작다.

모든 동작은 정상상태이며, V_c 와 V_o 는 일정하다.

모드 1 [$t_0 \sim t_1$]: 스위치 M이 턴 온 되면, 그림 3 (a)와 같은 도통경로가 형성된다. 따라서, 자화 인덕터 L_m 에는 탭인덕터 1차측으로 반영된 캐패시터 전압 NV_c 가 인가되므로, 자화 인덕터 전류는 증가하고 누설인덕터 L_k 에는 $V_{in} - NV_c$ 가 인가되어 입력전류 i_{in} 은 $(V_{in} - NV_c)/L_k$ 의 기울기로 상승하게 된다. 이 때, i_{in} 과 i_{Lm} 의 차이만큼 탭인덕터를 통해 2차측으로 전달되어 캐패시터 C_c 를 충전한다.

모드 2 [$t_1 \sim t_2$]: 스위치 M이 턴 오프 되면, 그림 3 (b)와 같은 도통경로가 형성된다. 이 때, 탭인덕터 1차측은 턴 비에 의해 역으로 $(V_o - V_{in} - V_c)/(N+1)$ 만큼의 전압이 인가되어 자화 인덕터 전류는 감소한다. 탭인덕터 1차와 2차는 서로 직렬연결이므로 입력전류 i_{in} 과 2차측 전류 i_{D2} 는 서로 동일하고, 키르히호프 법칙에 의해 입력전류 i_{in} 은 $i_{Lm}/(1+N)$ 과 같다.

2.2 입출력전압 변환비 및 클램핑 전압

클램프 캐패시터의 전압과 입출력전압 변환비는 전압 시간 평형조건으로 구할 수 있다. 탭인덕터 2차측은 스위치 M이 턴 온 되는 DT_s 동안 V_c 전압이 인가되고, 스위치 M이 턴 오프 되는 $(1-D)T_s$ 동안 역으로 $(V_o - V_{in} - V_c)N/(N+1)$ 전압이 인가되므로, 다음식이 성립한다.

$$DT_s V_c = (1-D)T_s \frac{N}{1+N} (V_o - V_{in} - V_c)$$

(1)

탭인덕터 1차측은 스위치 M이 턴 온 되는 DT_s 동안 V_{in} 전압이 인가되고, 스위치 M이 턴 오프 되는 $(1-D)T_s$ 동안 역으로 $(V_o - V_c - V_{in})/(N+1)$ 전압이 인가되므로, 다음식이 성립한다.

$$DT_s V_c = (1-D)T_s \frac{1}{N} (V_o - V_{in} - V_c)$$

(2)

식 (1)과 (2)로부터 V_o 를 소거하면 V_c 는 다음과 같다.

$$V_c = NV_{in} \quad (3)$$

한편, 식 (1)과 (2)로부터 V_c 를 소거하면 입출력 전압의 변환비는 다음과 같다.

$$\frac{V_o}{V_{in}} = \frac{N+1}{1-D} \quad (4)$$

3. 모의실험 결과

그림 4는 PSIM을 이용한 컴퓨터 모의실험 결과이다. 모의실험

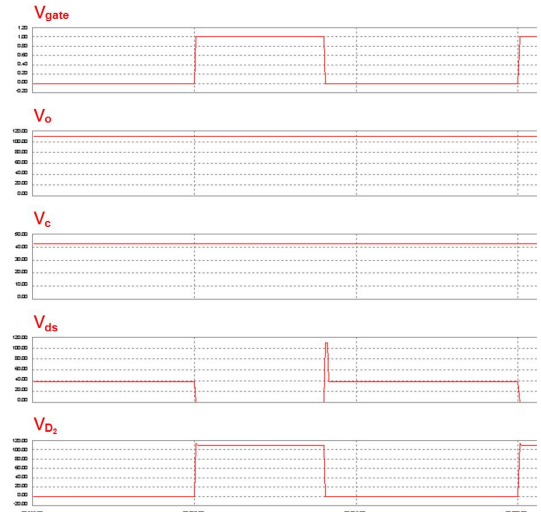


그림 4 주요 동작파형 순서대로 게이트 신호 출력전압 클램프 캐패시터 전압 주스위치에 인가되는 전압 다이오드 D_2 에 인가되는 전압

결과에 사용된 파라미터는, 입력전압 24[V], 부하저항 214 [Ω], 탭인덕터 턴 비 1:2, 자화 인덕턴스 90 μ H, 누설 인덕턴스 2 μ H, 스위칭 주파수 100[kHz]이다. 식 (4)에 나타난 바와 같이, 출력전압을 120[V]로 만들기 위해 시비율을 0.4로 설정하여 모의실험을 진행하였다. 출력전압과 클램프 캐패시터의 전압은 각각 110[V], 클램프 전압은 43[V]로, 식을 통해 구한 120[V]와는 48[V]의 차이값을 보이고 있다. 이는 누설 인덕턴스의 영향을 무시한 이유로 보인다. 주스위치와 다이오드는 모두 출력전압 110[V]로 제한됨을 보이고 있다.

4. 결론

본 논문에서 제안한 컨버터는 주스위치 및 다이오드 D_2 에 인가되는 전압이 기존의 탭인덕터 부스트 컨버터와 달리 출력전압으로 제한되어 전압 스트레스가 작다. 또한 손실스너버를 사용하지 않으므로 높은 효율을 기대할 수 있다. 다만, 모의 실험결과에서 나타났듯이, 누설인덕턴스를 포함한 좀 더 정확한 해석이 필요하다.

본 연구는 삼성전기(주)의 연구비 지원과 지식경제부 및 정보통신 연구진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음. (NIPA 2011 C1090 1121 0005)

참고 문헌

[1] 손호인, 김창선, 김대년, “슬림형 LCD TV의 LED 백라이트 구동용 평판형 트랜스포머를 적용한 LLC 공진컨버터에 관한 연구”, 전력전자학회, Aug. 2010.
 [2] Josef P. Fohringer, Felix A. Himmelstoss, “Analysis of a boost converter with tapped inductor and reduced voltage stress across the buffer capacitor”, *IEEE Ind. technology*, pp.126-131, Dec. 2006
 [3] N. Vazquez, L. Estrada, C. Hernandez and E. Rodriguez, “The Tapped Inductor Boost Converter”, *IEEE Ind.*

