

# 고주파 및 고승압 탭 인덕터 부스트 컨버터

이주영, 김성옥\*, 강정일\*\*, 한상규†  
 국민대학교 POESLA, 인터엠\*, 삼성전기\*\*

## High Frequency And High Voltage Gain Tapped-Inductor Boost Converter

Ju Young Lee, Sung Ok Kim\*, Jeong il Kang\*\*, Sang Kyoo Han†

Power Electronics System Laboratory, Kookmin University, Inter-M\*, Samsung Electronics. Co. Ltd,\*\*

### ABSTRACT

본 논문은 고승압 컨버터의 고밀도화를 위해 Boundary Conduction Mode(BCM)로 동작하는 고주파 전압 클램프 탭 인덕터 부스트 컨버터를 제안한다. 제안된 회로는 모든 반도체 소자가 특정 전압에 클램프 되므로 기존 고승압 탭 인덕터 부스트 컨버터에 비해 손실 스너버가 없어 고효율에 유리하고 전압 스트레스가 낮은 장점을 갖는다. 또한 BCM 동작으로 인해 영전압 스위칭이 보장될 뿐만 아니라 전압 클램프 탭 인덕터에 의해 다이오드 역회복 문제를 해결할 수 있어 1MHz의 고주파 구동이 가능하다. 따라서 전원회로에서 큰 부피를 차지하는 리액티브 소자의 사이즈를 대폭 감소시킬 수 있어 고밀도 전원회로의 구현이 가능한 장점을 갖는다. 제안 회로의 타당성 검증을 위하여 이론적인 분석과 LED TV Backlight 구동용 20W급 시작품의 실험 결과를 제시한다.

### 1. 서론

최근 LED TV용 Backlight의 경우 LED 구동회로의 효율을 높이기 위해 저전류 및 고전압 사양을 많이 요구하고 있어 고승압 비율을 갖는 부스트 컨버터의 수요가 증가하고 있으며 TV를 비롯한 다양한 전자기기는 소형 및 슬림화 추세로 인해 고효율 및 고전력밀도를 강력히 요구하고 있다. 일반적으로 그림 1에 보인 바와 같은 탭 인덕터 부스트 컨버터는 일반적인 부스트 컨버터에 비해 매우 높은 승압비를 가지는 장점이 있으나 탭 인덕터의 누설인덕터와 기생성분들의 공진으로 인해 스위치 및 다이오드의 전압스트레스가 크므로 이를 저감하기 위한 손실 스너버가 필수적이다. 뿐만 아니라 스위치 턴 온 시 하드스위칭으로 인한 스위칭 손실과 다이오드의 역회복 손실로 인해 주파수 증가가 어렵다. 이로 인해 리액티브 소자의 사이즈 축소에 한계가 존재한다.

따라서 본 논문에서는 상기 문제점을 해결하기 위하여 그림 2와 같이 기존 탭 인덕터 부스트 컨버터 회로에 손실 스너버 대신 다이오드 및 커패시터로 구성된 클램프 회로가 부가된 BCM 전압 클램프 탭 인덕터 부스트 컨버터를 제안한다.

### 2. 제안된 BCM 고주파 전압 클램프 탭 인덕터 부스트 컨버터

그림2에 보인 바와 같이 제안 회로에 추가된 커패시터  $C_c$ 는 스위치 턴 온 시 탭 인덕터에 의해  $NV_{in}$ 으로 충전되며 스위치

턴 오프 시 입력전압에  $C_c$ 전압이 더해져 출력으로 전력전달이 이뤄지므로 더욱 높은 승압비 획득이 가능하다. 뿐만 아니라 다이오드  $D_c$ 는 스위치 및 다이오드 양단 전압을  $V_o$ 로 클램프 시키므로 별도의 손실 스너버가 필요 없어 고효율에 유리한 장점을 갖는다. 특히, 제안된 컨버터는 BCM동작을 통해 스위치 턴 온 시 영전압 스위칭을 보장할 수 있을 뿐만 아니라 다이오드 역회복 문제를 원천적으로 해결할 수 있어 1MHz의 높은 주파수로 구동이 가능하여 리액티브 소자의 사이즈 축소 및 고밀도 전원의 구현이 가능한 장점을 갖는다.

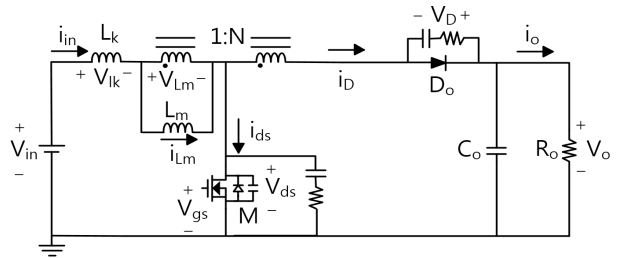


그림 1 기존 탭 인덕터 부스트 컨버터  
 Fig. 1 Conventional Tapped Inductor Boost Converter

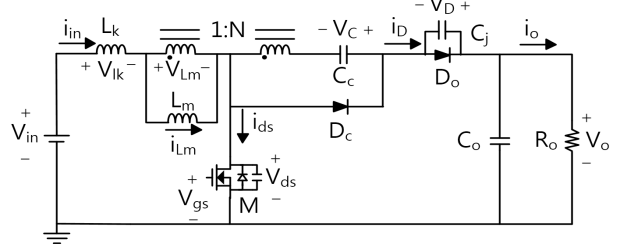


그림 2 제안 전압 클램프 탭 인덕터 부스트 컨버터  
 Fig. 2 Proposed Voltage Clamp Tapped-Inductor Boost Converter

#### 2.1 입출력 변환비 및 $V_c$ 전압

추가된 커패시터의 전압과 입출력 전압 변환비는 스위치 M이 턴 온, 턴 오프 시간 동안 탭 인덕터의 전압 시간 평형 조건으로 구할 수 있다. 이 결과에서  $V_c$ 에 대한 식(1)과 입출력 전압 변환비 식(2)를 얻을 수 있다. 이는 기존 탭 인덕터 부스트 컨버터의 입출력 변환비인 식 (3)보다 높음을 알 수 있다.<sup>[1]</sup>

$$V_c = NV_{in} \quad (1)$$

$$\frac{V_o}{V_{in}} = \frac{1+N}{1-D} \quad (2)$$

$$\frac{V_o}{V_{in}} = \frac{1+ND}{1-D} \quad (3)$$

## 2.2 고주파수 동작을 위한 영전압 스위칭 보장 조건

고주파수 구동을 위해서는 스위칭 손실 저감을 위한 Zero Voltage Switching(ZVS) 동작이 필수적이다. 즉 ZVS가 보장될 경우 스위치  $C_{ds}$ 에 충전된 전하를 모두 방전한 후 스위치를 턴 온 시키기 때문에 스위칭 손실을 대폭 저감 할 수 있다. ZVS 동작을 보장하기 위해서는  $L_k+L_m$ 과  $C_{ds}$ 의 자유 공진을 통해  $C_{ds}$ 에 충전된 전하를 모두 방전시켜야 하므로 다음과 같은 조건이 만족 되어야 한다.

$$2V_{in} \leq V_{ds} \quad (4)$$

## 2.3 주파수와 리액티브 소자 크기 관계

제안 회로는 앞서 고찰된 근거를 통해 고주파수 구동이 가능하며 이에 따라 리액티브 소자인 인덕터와 커패시터의 크기는 감소할 수 있다. 이는 식 (5), (6), (7)에 의해 알 수 있다.<sup>[2]</sup> 식 (6)은 코어의 손실에 의해 제한된 식이다.

$$L_m = \frac{V_{in}}{I_{Lm\_ripple}} DT_s \quad (5)$$

$$A_p = A_w A_c = \left( \frac{L \Delta I_m I_{FL} 10^4}{130K} \right)^{1.58} (K_H f + K_E f^2)^{0.66} (cm^4) \quad (6)$$

$$C_o = \frac{V_o}{R_o V_{o\_ripple}} DT_s \quad (7)$$

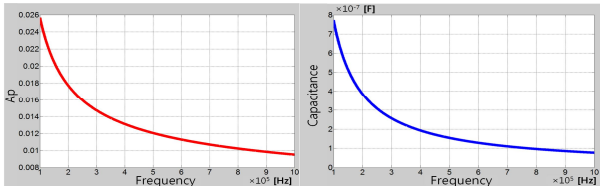


그림 3 주파수에 따른  $A_p$ 와 커패시턴스  
Fig. 3  $A_p$  and Capacitance in accordance with frequency

식 (5), (6), (7)에 나온 파라미터의 뜻은  $A_p$  : Area Product,  $A_w$  : Core Window Area,  $A_c$  : Core cross sectional Area,  $\Delta I_m$  : Current ripple,  $I_{FL}$  : Rms current,  $K$  : Winding Factor,  $K_E$  : Eddy current coefficient,  $K_H$  : Hysteresis coefficient 이다. 식 (5), (6), (7)을 근거로 한 그림 3의 파형의 결과를 보면 주파수가 증가할수록  $A_p$ 가 줄어들고, 같은  $V_{o\_ripple}$ 을 갖는다면  $C_o$ 값이 작아져 인덕터와 커패시터의 부피를 줄일 수 있다. 실제 기존 손실 스너버를 추가한 탭 인덕터 부스트 컨버터 회로를 200kHz로 구동시키기 위한 인덕터 부피는 265.4[mm<sup>3</sup>], 커패시터 부피는 578[mm<sup>3</sup>]이다. 그에 비해 제안 회로의 인덕터 부피는 120.6[mm<sup>3</sup>], 커패시터 부피는 83.7[mm<sup>3</sup>]으로 인덕터 부피는 약 55%, 커패시터 부피는 85%로 감소할 수 있다.

## 2.4 스위치와 다이오드의 클램핑 전압

스위치가 턴 오프 된 상태에서  $C_{ds}$ 와  $L_k+L_m$ 이 공진을 할 때

$V_{ds}$ 가  $V_o$ 보다 커지면  $D_c$ 가 도통하기 시작하여  $V_{ds}$ 는  $V_o$ 로 클램핑 된다.  $V_D$  또한  $V_o$ 를 넘는 경우  $D_c$ 와  $D_o$ 가 도통하여  $V_D$ 가  $V_o$ 로 클램핑 된다.

## 3. 실험 결과

제안된 BCM 고주파 전압 클램프 탭 인덕터 부스트 컨버터의 시작품 제작을 통해 제안회로의 타당성을 검증하였다. 실험에 사용된 주요 파라미터는 입력전압=12.8[V], 출력 전압 및 전류=100[V]/0.2[A], 인덕터=1.29uH (RM6 PL F1), 인덕터 턴비=1:1, 스너버 캐패시터=470pF/250V, 출력 캐패시터=100[nF]x3EA/250[V]이다. 그림 4의  $V_D$  파형을 보면 앞서 이론적으로 고찰된 결과와 같이  $V_o$ 로 클램핑 되는 것을 확인 할 수 있고 공진이 거의 없음을 확인 할 수 있다. 또한 ZVS 동작으로 스위치 턴 온 시  $V_{ds}$ 와  $i_{ds}$ 가 겹치지 않아 스위칭 손실이 대폭 저감됨과  $i_D$ 전류가 낮은 기술기로 감소하여 0A가 되기 때문에 스위치 턴 온 시 다이오드의 역회복 문제가 없음을 확인할 수 있다. 반도체 소자의 손실을 줄임으로써 1MHz의 고주파수 동작이 가능하였다.

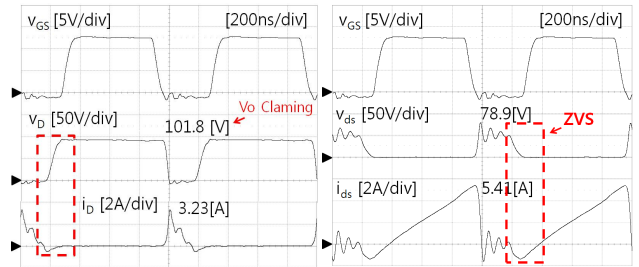


그림 4 제안 회로의 주요 동작 파형  
Fig. 4 Key waveforms of proposed circuit

## 4. 결론

본 논문에서는 전압 클램프 회로를 적용하여 고주파 구동이 가능한 탭 인덕터 부스트 컨버터를 제안하였다. 제안 회로는 모든 반도체 소자가  $V_o$ 로 클램프 되므로 기존 회로와 달리 손실 스너버가 없어 고효율에 유리한 장점을 갖는다. 또한 BCM 동작으로 인해 ZVS를 보장하고, 다이오드의 역회복 문제를 해결함으로써 1MHz의 고주파 구동이 가능하였다. 그 결과 회로에서 큰 부피를 차지하는 리액티브 소자의 사이즈를 대폭 감소시켜 고밀도 전원회로를 구현하였다. 이 회로는 높은 승압비와 고밀도 전원이 필요한 회로에 적용한다면 우수한 성능을 기대할 수 있다.

## 참고 문헌

- [1] 정지욱, 탭인덕터 부스트 컨버터를 이용한 LED 드라이버 설계, 전력전자학회 전력전자학술대회논문집, pp.177-179, 2013, 07
- [2] Jong Hu Park, "The Zero Voltage Switching (ZVS) Critical Conduction Mode (CRM) Buck Converter With Tapped Inductor", IEEE TRANSACTIONS ON POWER ELECTRONICS, VOL. 20, NO. 4, pp.762-765, 2005, JULY.