

# LED 백라이트 구동용 영전압 스위칭 탭인덕터 부스트 컨버터

박희환, 김태우, 박신균  
LG 디스플레이

## ZVS Tapped Inductor Boost Converter for driving LED Backlight

Hee-Whan Park, Tae-Woo Kim, Sin Kyun Park  
LG Display

### ABSTRACT

본 논문에서는 영전압 스위칭 탭인덕터 부스트 컨버터를 제안한다. 기존 컨버터는 DCM구간에 MOSFET의  $C_{oss}$ 과 RC 스너버 및 탭인덕터의 공진에 의해 MOSFET 양단에 전압 오실레이션이 발생하면서 턴온 시점에 따라 MOSFET 발열이 결정된다. 그래서 부하 변동과 부품편차와 무관하게 항상 최저전압조건에서 턴온하여 MOSFET의 발열을 저감하는 회로를 제안한다. 본 논문에서는 제안된 부스트 컨버터의 동작원리를 이론적으로 해석하고, 시제품 제작 및 실험을 통해 타당성을 검증한다.

## 1. 서론

TV용 LED 백라이트는 가격 경쟁력을 높이기 위해 LED 패키지를 병렬구조에서 직렬 구조로 변경 하고 있다. 이는 높은 LED 순방향 전압( $V_f$ )이 필요하기 때문에 높은 전압 이득(High voltage gain)을 가지기 위해서는 탭인덕터를 갖는 부스트 컨버터를 적용해야 한다. 또한 턴 온시 스위칭 손실과 코아 사이즈 최소화를 위해 CCM보다는 DCM을 사용하게 되며 이때 전류의 불연속 구간에서 MOSFET 양단에는 RC 스너버와 MOSFET 출력 커패시턴스  $C_{oss}$  및 탭인덕터에 의해 MOSFET 양단에 전압 오실레이션이 일어난다. MOSFET 양단 전압이 최저점일때 턴온하게 되면 스위칭 손실 저감과 더불어 MOSFET의 발열도 저감하게 된다. 그러나 부하 변동과 부품편차에 의해 매 주기마다 턴 온 조건이 상이하게 된다.

본 논문에는 탭인덕터를 갖는 컨버터에 공진형 커패시터와 P-MOSFET를 추가하여 턴온시 스위칭 손실을 절감할 수 있는 방안을 제안하고, 시제품 제작 및 실험 결과를 통하여 타당성을 입증한다.

## 2. 제안한 탭인덕터 부스트 컨버터

### 2.1 회로 구성

그림 1은 제안된 영전압 스위칭 탭인덕터 부스트 컨버터 회로도이다. 기존 탭인덕터 부스트 컨버터에 공진형 커패시터 C1과 보조 스위치 S2(P-MOSFET)가 주 스위치 S1에 병렬로 위치 하고 있으며 PWM 회로의 출력이 Delay 회로를

지나 부스트의 주 스위치 S1을 구동하며 PWM 회로의 동일출력 신호를 지연 및 극성 반전시켜 보조 스위치 S2를 구동할 수 있도록 구성되어 있다.

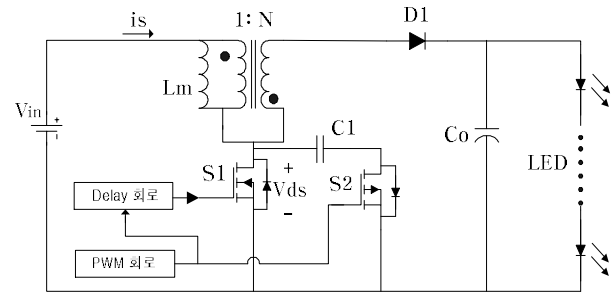


그림 1. 제안된 영전압 스위칭 탭인덕터 부스트 컨버터

### 2.2 회로의 동작 원리 및 분석

제안한 회로는 해석의 편의를 위해 다음을 가정한다.  
-모든 동작은 정상 상태이며  $V_{in}$ 와  $V_{out}$ 는 일정하다.  
-누설 인덕턴스는 자화 인덕턴스에 비해 아주 작다.

#### 모드 1( $t_0-t_1$ )

주 스위치와 보조 스위치는 오프 상태이며 탭인덕터 양단에는  $V_{out}-V_{in}$ 의 역전압이 인가되고 있으며 탭인덕터에 흐르는 전류는 피크(Peak)로부터 0까지 감소하고 있다. 이때에 주 스위치 양단 전압  $V_{ds}$ 는 다음과 같이 표현된다.

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

또한 공진 커패시터 C1의 전압도 식(1)과 동일한 전압으로 충전 되어 있다.

#### 모드 2( $t_1-t_2$ )

탭인덕터의 자화 인덕턴스에 흐르는 전류가 0이되며 자화 인덕턴스와 주 스위치의 출력 커패시터( $C_{oss}$ ) 성분에 의해 주 스위치 양단에 자연 공진(Natural resonance)이 일어나게 된다. 이때 공진 커패시터 C1의 전압은 보조 스위치의 기생 다이오드 성분에 의해 식(1)의 전압을 유지하고 있다.

#### 모드 3( $t_2-t_3$ )

보조 스위치가 턴온 되면 주 스위치의 양단 공진 전압은 공진 커패시터 C1 양단에 충전된 전압보다 항상 같거나 작기 때문에 공진 커패시터 C1의 충전된 전압이 주 스위치의 출력 커패시턴스  $C_{oss}$ 를 충전한다. 공진 커패시터 C1의 용량은 주 스위치의 출력 커패시턴스  $C_{oss}$  보다 용량이 크기 때문에 다음과 같은 공진 주기로 공진을 하게 된다.

$$T = 2\pi\sqrt{Lm * C1} \quad (2)$$

$$T_{ds} \geq \frac{1}{2}\pi\sqrt{Lm * C1} \quad (3)$$

#### 모드 4 (t3-t0)

주 스위치가 Delay 회로에 의해 턴온하는 시점이며 이때 주 스위치 양단 전압은 0이다. 앞서 식(2)의 공진주기를 가지고 주 스위치의 양단 전압은 공진을 하게 되고, 공진 주기에 1/4의 Delay를 가지고 주 스위치가 턴온하게 되어 주 스위치는 항상 영전압 조건에서 턴온하게 된다.

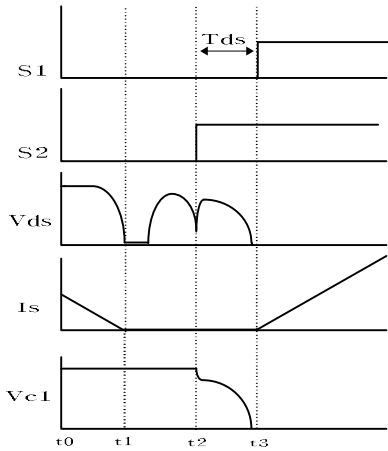


그림 2. 제안된 컨버터의 주요 파형

### 3. 실험 결과

본 논문에서는 제안된 영전압 스위칭 탭인덕터 부스트 컨버터의 타당성을 검증하기 위해 시제품 제작 및 실험을 하였고, 실험한 회로의 동작 조건은 다음과 같다.

입, 출력 전압:  $V_s = 24[V]$ ,  $V_o = 214[V]$   
 동작 주파수:  $f_s = 125[KHz]$   
 출력 전류:  $I_o = 310[mA]$

그림 3은 기존 탭인덕터 부스트의 불연속 구간에서의 주요 파형을 나타내었다. 주 스위치의 턴온시 스위치 양단 전압에 따라 스위칭 손실이 결정됨을 확인할 수 있다. 그림 4는 제안된 컨버터의 주요 파형을 나타내었다.

표 1 제안된 컨버터의 파라미터

파라미터	부품명/값	파라미터	부품명/값
주 스위치(S1)	FDD390N15A	탭인덕터 코어	CI2629
보조 스위치(S2)	FQD5P20	Control IC	TPS61197
공진 캐패시터	3nF / 100V	출력 다이오드	SF5A600HD
턴비	6 : 14	출력 커패시터	300V 2.2uF

DCM 동작 구간에서 주 스위치가 턴온 하기 앞서 보조 스위치가 턴온하여 추가된 공진 커패시터 C1과 Lm에 의해 새로운 공진 주기로 공진을 하게 되며, 이때 공진 주기는 기존 주기보다 커지게 된다. 공진 주기 1/4의 Delay를 갖고 주

스위치가 턴온 하게 되며 주 스위치는 영전압에서 턴온하게 되어 스위칭 손실이 저감됨을 확인할 수 있다. 추가된 공진 커패시터 C1의 용량을 크게 하면 더 넓은 구간에서 영전압 스위칭을 만족 시킬 수 있다. 주 스위치의 발열을 측정하여 실제 적용 회로의 타당성을 검증 하였다. 표 2는 실제 적용된 시제품의 주 스위치 온도를 측정 한 결과이다. 채널 수(Channel count) 감소에 따라 순방향 LED 전압이 높아질수록 제안된 컨버터의 효과는 더욱 커질 것으로 판단된다.

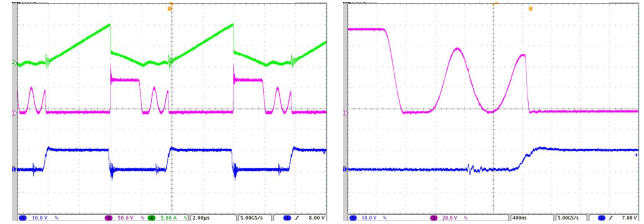


그림 3. 기존 컨버터의 주요 파형

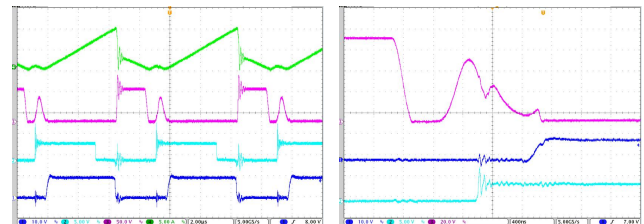


그림 4. 제안된 컨버터의 주요 파형

표 2 주 스위치의 측정된 온도 데이터

토폴로지	테스트 조건	테스트 결과
기존 컨버터	$V_{in} = 24V$ $V_o = 214V$ , $I_o = 310mA$ (Full Load)	62°C
제안된 컨버터	주변온도 = 25°C	54°C

### 4. 결론

본 논문에서는 높은 승압비를 요구하는 DCM구동의 탭인덕터 부스트 컨버터에서 턴온시 스위칭 손실을 저감 할 수 있는 방안을 제시하였다. 기존의 컨버터의 경우 주 스위치의 양단 전압에 의한 턴온시 발열 및 효율 저하의 단점을 가지나 제안된 컨버터의 경우 보조 스위치를 이용하여 영전압에서 주 스위치가 턴온하여 스위칭 손실을 저감할 수 있는 장점을 가지고 있고, 이것은 실험 결과를 통해 본 논문의 타당성을 검증하였다.

### 참고 문헌

- [1] 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.
- [2] N. Vazquez, L. Estrada, C. Hernandez and E. Rodriguez, "The Tapped-Inductor Boost Converter", IEEE Ind. Electronics, pp. 583-543, June 2007.
- [3] 강정민, 이상현, 홍성수, 한상규, "고승압비를 갖는 전압 클램프 탭인덕터 부스터 컨버터", 전력전자학회 논문지, 제 17권, 제1호, pp 34-40, Feb. 2012.