

# 탭인덕터 부스트 컨버터를 이용한 LED-드라이버 설계

정지욱, 박동서, 이효길, 박신균  
LG 디스플레이

## Design of the Tapped-Inductor Boost Converter for LED Backlights Driving

JeeWook Jeong, DongSeo Park, HyoGil Lee, SinKyun Park  
LG Display

### ABSTRACT

This paper presents an LED driver which requires a high voltage gain (5~6 times). To achieve a high voltage gain, the tapped-inductor boost converter topology was used and through the analysis of converter's steady-state and its dynamic characteristics, the product design's reliability and validity were verified.

### 1. 서론

최근 TV 제작 및 설계에서 비용절감은 초미의 관심사이며 이에 대한 여러 노력들이 진행 중이다. 이런 노력의 일환으로 LED 백라이트의 패키지 배치를 병렬 구조에서 직렬 구조로의 변경은 제품의 제작비용 절감을 가능하게 했으며 백라이트 병렬 구조에서 약 2~3배가량의 전압이득이 요구되었던 드라이버는 직렬 구조에서 약 5~6배의 높은 전압이득이 요구되는 실정이다. 그림 1은 기생성분을 고려한 부스트 컨버터의 전압이득곡선으로 그림을 통해 기존 2~3배가량의 전압이득은 목표 전압이득 구현이 가능하지만 5~6배가량의 전압이득 구현은 힘들다는 것을 알 수 있다.<sup>[1]</sup> 그림 1에서  $V_o$ 는 출력전압,  $V_{in}$ 는 입력전압,  $R_l$ 은 기생저항성분,  $R$ 은 출력저항을 나타낸다.

그림 2는 부스트 컨버터와 변압기 턴비 1:2에서의 탭인덕터 부스트 컨버터의 전압이득곡선을 나타내고 있으며 부스트 컨버터로 구현이 힘든 높은 전압이득이 탭인덕터 부스트 컨버터 구조로 가능함을 알 수 있다.<sup>[2]</sup> 이에 LG 디스플레이에서는 높은 전압이득 구현을 위해 탭인덕터 부스트 컨버터를 이용한 드라이버를 개발하였고 본 논문에서는 드라이버 설계에 대해 논의하도록 하겠다.

### 2. 탭인덕터 부스트 컨버터의 정상상태

그림 3은 탭인덕터 부스트 컨버터를 이용하여 개발한 드라이버의 개략도이며, 표 1에서 주요 설계 스펙을 나타내었다. LED 백라이트 구동은 스위칭 방식으로 구동된다.<sup>[3]</sup>

연속전류모드(CCM) 동작에서 탭인덕터 부스트 컨버터의 전압 및 전류에 대한 기본 수식은 식(1)과 같으며 입력전류에 대한 스위칭 온구간 전류  $i_1$ 과 오프구간 전류  $i_2$ 는 식(2)와

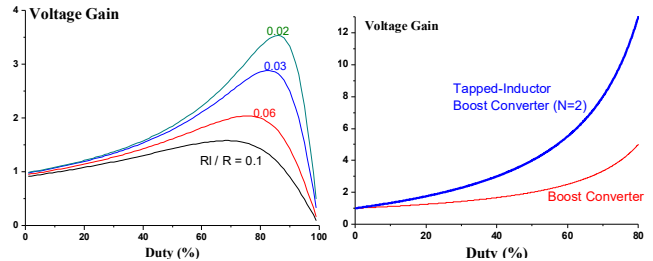


그림 1 부스트 컨버터의 전압이득

Fig. 1 Voltage gain of the boost converter

그림 2 전압이득 비교(탭인덕터 부스트 & 부스트)

Fig. 2 Voltage gain of the tapped-inductor boost & the boost converter

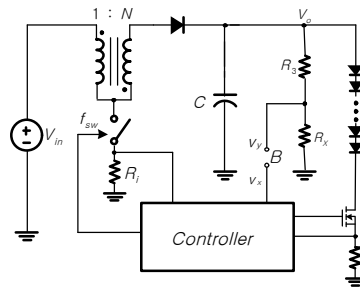


그림 3 탭인덕터 부스트 드라이버  
Fig. 3 The tapped-inductor boost driver

표 1 설계 스펙  
Table 1 Design Spec

Input voltage	24V
Output current	290mA
Output voltage	122V
Controller	TPS61197 <sup>[4]</sup>
Switching frequency	120kHz
Output Capacitor	4.4μF

$$\frac{V_o}{V_{in}} = \frac{1 + ND}{(1 - D)}, \quad \frac{I_p}{I_o} = \frac{1 + N}{(1 - D)} \quad (1)$$

$$i_1 = \frac{(1 + N)^2}{(1 + DN)(1 - D)} i_o, \quad i_2 = \frac{1}{(1 + N)} i_1 \quad (2)$$

같다.  $N$ 는 변압기의 턴비,  $D$ 는 시비율,  $i_p$ 는 입력평균전류,  $i_o$ 는 출력전류를 나타낸다.

연속전류모드 동작을 위해 140μH의 자화 인덕턴스와 3.35μH의 누설 인덕턴스, 1:2의 턴비의 변압기를 적용하였으며 PSIM 시뮬레이션 결과를 그림 4에서 나타내었다. 그림 5에서 실제 드라이버의 주요 파형을 나타내어 시뮬레이션 결과와 비교하였다. 시뮬레이션에서는 설계 출력 스펙 만족을 위해

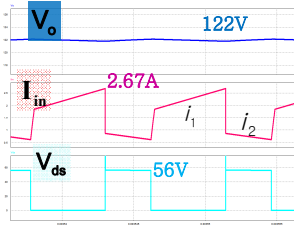


그림 4 PSIM 시뮬레이션 파형  
Fig. 4 Simulated Waveforms

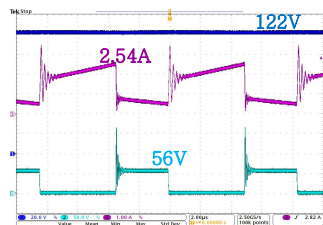


그림 5 드라이버의 주요 동작파형  
Fig. 5 Waveforms of the Driver

시비율 약 62% 동작을 하였으며 실제 드라이버는 시비율 약 59%에서 동작하였다.

### 3. 탭인덕터 부스트 컨버터의 동특성해석

탭인덕터 부스트 컨버터의 정상상태해석을 통해 도출된 제어 대 출력 전달함수를 표 2에 나타내었다.  $R$  은 출력저항치이며  $L_1$  은 온구간에서의 인덕턴스로 자화인덕턴스 값과 동일하게 볼 수 있다. 표 2의 전달함수에서  $N=0$ 이라면 부스트 컨버터와 동일 특성을 가지는 것을 알 수 있으며 RHP 영점 역시 존재한다는 것을 알 수 있다. 이런 이유로 탭인덕터 부스트 컨버터 역시 부스트 컨버터와 동일하게 전류모드제어가 필요하다는 것을 알 수 있다.

표 2 탭인덕터 부스트 컨버터의 전달함수  
Table 2 Power stage transfer functions

Transfer functions	
$G_{id}(s) = \frac{\hat{i}_p}{\hat{d}} = K_{id} \frac{(1 + s/\omega_{id})}{1 + s/(Q\omega_o) + s^2/\omega_o^2}$	
$G_{vd}(s) = \frac{\hat{v}_o}{\hat{d}} = K_{vd} \frac{(1 - s/\omega_{rhp})}{1 + s/(Q\omega_o) + s^2/\omega_o^2}$	
Expressions for dc gain and corner frequencies	
$K_{id} = \frac{[V_{in}(N+1) + (V_o - V_{in})](N+1)}{R(1-D)^2} + \frac{I_{PC}}{L_1(1-D)}$	
$\omega_{id} = \frac{K_{id}(1-D)^2}{C(N+1)[V_{in}(N+1) + (V_o - V_{in})]}$	
$K_{vd} = \frac{(N+1)L_1}{(1-D)} \left( \frac{V_{in}}{L_1} + \frac{V_o - V_{in}}{(N+1)L_1} \right)$	
$\omega_o = \frac{1-D}{(N+1)\sqrt{L_1 C}}$	$Q = \frac{RC(1-D)}{(N+1)\sqrt{L_1 C}}$
	$\omega_{rhp} = \frac{K_{vd}(1-D)^2}{(N+1)L_1/p}$

#### 3.1 전류루프 설계

표 2를 통해 전류루프  $T_i$  는 식(3)에서, 조절기이득  $F'_m$  는 식(4)에서 나타내었다.  $R_i$  는 CSN이득을 나타내며 IC TPS61197 적용 모델에서는 그림 3의  $R_i$  와 동일하다.  $S_e$  는 IC내부 추가 램프파의 기술기,  $S_n$  은 온구간 인덕터 전류

센싱값이다.

본 논문에서는 전류루프설계에서  $R_i$  를 먼저 정하는 방식을 취하였다. IC의 허용전압 및 OCP 레벨을 고려하여  $R_i$  를  $0.1\Omega$ 으로 정하면  $S_n$  은 약  $1.7 \times 10^4 V/S$  이며  $S_e$  는 TPS61197의 경우 120kHz로 동작시  $4.32 \times 10^4 V/S$  이다.

$$T_i(s) = K_{id} \frac{(1 + s/\omega_{id})}{1 + s/(Q\omega_o) + s^2/\omega_o^2} R_i F'_m \quad (3)$$

$$F'_m = \frac{2f_{sw}}{S_n(1-D)/(1-D) + 2S_e} \quad (4)$$

#### 3.2 전압루프 설계

전압루프  $T_v$  는 식(5)와 같이 표현되며 2극점 1영점에 대한 보상기 전달함수는 식(6)과 같이 나타낼 수 있다.

보상기 극점  $\omega_{pc}$  는  $\omega_{thp} \approx 8.4 \times 10^4 [r/s]$ 에, 영점  $\omega_{zc}$  는  $\omega_{thp} \times 0.6 \approx 3.4 \times 10^3 [r/s]$ 에 두었으며 적분기 이득  $K_v$  는 루프이득의 위상마진을 확보하도록 식(7)과 같이 설정하여 약 178[r/s]에 위치 시켰다.

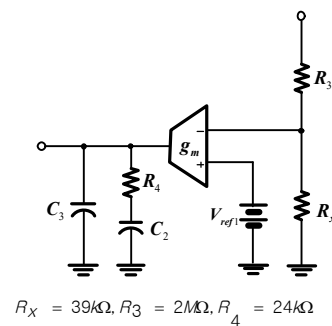
그림 6은 Operational Transconductance Amplifier를 적용한 2극점 1영점 보상기의 회로구조와 시정수를 나타내며 각 시정수는 표 3를 통해 도출 할 수 있다.<sup>[5]</sup>

$$T_v(s) = K_{vd} \frac{(1 - s/\omega_{rhp})}{1 + s/(Q\omega_o) + s^2/\omega_o^2} F'_m G_c(s) \quad (5)$$

$$G_c(s) = \frac{K_v(1 + s/\omega_{zc})}{s(1 + s/\omega_{pc})} \quad (6)$$

$$K_v = \frac{0.2\omega_{rhp}K_{id}R_i\omega_{zc}}{\omega_{id}K_{vd}} \quad (7)$$

$$T(s) = -\frac{v_y}{v_x} = \frac{T_v(s)}{1 + T_i(s)} \quad (8)$$



$R_x = 39k\Omega, R_3 = 2M\Omega, R_4 = 24k\Omega$   
 $C_2 = 12nF, C_3 = 510pF, G_m = 120\mu S$   
그림 6 2극점 1영점 보상기  
Fig. 6 2pole 1zero compensation

표 3 OTA보상기시정수에 따른 수식  
Table 3 The equation of OTA Compensation.

$$K_v = G_m \frac{R_x}{(R_3 + R_x)(C_2 + C_3)}$$

$$\omega_{zc} = \frac{1}{R_4 C_2}$$

$$\omega_{pc} = \frac{1}{R_4 \frac{C_2 C_3}{C_2 + C_3}}$$

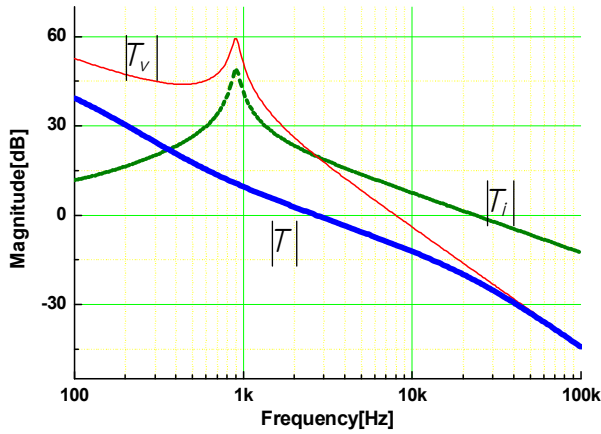


그림 7 각 피드백 루프와 시스템 루프이득  
Fig. 7 Individual feedback loops and system loop gains

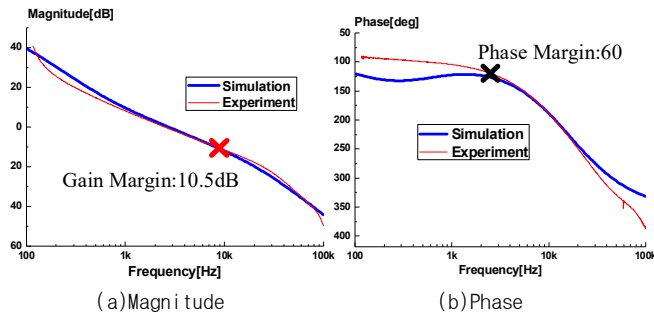


그림 8 루프이득 특성  
Fig. 8 Loop gain characteristics

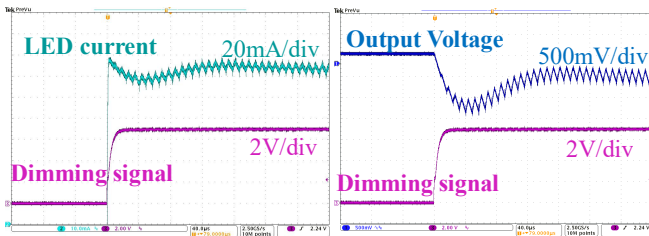


그림 9 PWM dimming에 따른 과도 응답  
Fig. 9 Transient response with PWM dimming

### 3.3 루프이득

그림 3에서 B지점에 대한 루프이득  $T(s)$  은 Mason의 이득공식을 적용하여 식(8)과 같이 표현되며 그림 7은 Matlab 시뮬레이션 결과로  $|T_i|$  와  $|T_v|$  의 피드백 루프와  $|T|$  의 시스템 루프를 각각 나타낸다.

그림 8에서는 시뮬레이션 루프이득과 LED 드라이버 제품의 측정된 루프이득을 서로 비교하였다. 시뮬레이션과 측정된 루프이득 모두 교차주파수 2~3kHz에서 50~60°의 위상마진과 8~9 kHz에서 10~11 dB의 이득마진을 확보하였다.

### 3.4 과도 응답

PWM dimming은 LED 백라이트 밝기조절을 위한 기능으로 무부하에서 최대부하로 순간 부하 변화를 하므로 응답성은 LED 드라이버의 중요 특성요소이다.

그림 9은 120Hz, 50% PWM dimming 동작에서의 LED 출력전류 및 출력전압을 측정한 파형으로 LED 백라이트 부하의 강제 스위칭에 따른 출력전류 및 출력전압의 응답성을 확인할 수 있었다.

## 4. 결론

본 논문에서는 높은 전압이득구현을 위해 탭인덕터 부스트 컨버터를 이용한 세부적이고 단계적인 드라이버 설계 절차를 기술하였다. 사용 시뮬레이션 툴은 정상상태 해석과 주요 파워 설계는 PSIM을 이용하였으며 동특성 해석 및 컨트롤러 설계는 Matlab를 이용하였다. 시뮬레이션 결과는 실제 제품의 측정 결과와 비교하여 해석 및 분석에 대한 타당성을 증명하였다.

본 논문의 동특성 해석은 전류루프와 전압루프의 피드백 루프를 각각 설계 후 시스템 루프 이득을 구현하는 방식을 취하였으며 샘플링 효과 및 여러 특성성분을 고려하지 않은 분석임에도 불구하고 실제 제품 특성과 비교해서 유사한 특성과 유사한 안정도를 보이므로 오히려 실용적인 측면에서는 단계적이고 빠른 설계절차로 활용될 수 있는 여지를 보이고 있다.

## 참고 문헌

- [1] Byungcho Choi, Fundamentals of Switchmode Dc-To-Dc Power Conversions, Young Publishing Co., pp. 127-130, 2007.
- [2] N. Vazquez, L. Estrada, C. Hernandez, E. Rodriguez, "The Tapped-Inductor Boost Converter", IEEE International Symposium on. ISIE 2007, pp. 538-543.
- [3] 페어차일드 반도체, "LED 백라이트 전원용 승압회로 방식", EP&C news, 전자부품, 2012 7월호.
- [4] Datasheets "TPS61197 : Single-string WLED Driver for LCD TV", Texas Instruments, Inc, 2013.
- [5] 정지욱, 박희환, 천현선, 김태우, 박신균, "LED 백라이트 구동을 위한 승압 전력변환 제어기 설계", 전력전자학회 논문집, Vol.2011 No.11, pp.7-9.
- [6] 강정민, 이상현, 홍성수, 김진환, 오동성, 한상규, "고승압비를 갖는 전압 클램프 탭인덕터 부스트 컨버터", 전력전자학회 논문지 제17권 제1호, pp.34-40, 2012.2.
- [7] Byungcho Choi, Pulsewidth Modulated DC-to-DC Power Conversion: Circuits, Dynamics, and Control Designs, WILEY-IEEE Press, 2013.
- [8] PSIM User's Guide, Powersim Inc., 7.0, March, 2006
- [9] D. Hanselman, B. Littlefield, Mastering MATLAB, 위즈샵, 2012.