

LLC 공진형 컨버터를 이용한 독립제어 가능한 2 채널 LED 구동회로

황민하, 최윤, 오동성*, 홍성수, 한상규
국민대학교 전력전자 연구소, 삼성전기*

Independently-Controlled Dual-Channel LED Driver using LLC Resonant Converter

Min Ha Hwang, Yoon Choi, Dong Sung Oh*, Sung Soo Hong, Sang kyo Han
Kookmin Univ. Power Electronics Center, *Samsung Electro-Mechanics Co.

ABSTRACT

본 논문은 하나의 제어 IC로 이중출력 각각 독립 제어가 가능한 LLC 공진형 컨버터를 제안한다. 기존의 이중출력 LLC 공진형 컨버터의 경우 master 출력전압만 제어가 가능하므로, slave 출력의 정밀제어를 위해 별도의 DC/DC 컨버터가 필요하며, 이는 시스템의 전력 변환 효율을 떨어뜨리고 제작단가를 증가시키는 단점이 있다. 반면, 제안된 회로는 LLC 공진형 컨버터의 이중출력을 하나의 제어 IC로 주파수 및 시비율 각각 가변하는 방식으로 개별적 제어가 가능하므로 부하 및 입력전압 조건과 무관하게 모든 출력 전압의 제어를 정밀하게 할 수 있는 장점이 있다. 따라서 별도의 DC/DC 컨버터 사용이 불필요하므로 고효율 및 저가격의 특징을 가질 수 있다. 본 논문에서는 제안된 회로의 타당성 검증을 위해 이론적 분석결과를 제시하고 40W급 LED 조명회로에 적용한 실험 결과를 바탕으로 그 우수성을 확인한다.

1. 서론

LED(Light Emitting Diode)는 긴 수명, 고효율, 친환경 등의 장점으로 차세대 조명 소자로 각광받고 있다. LED 조명의 높은 휘도 구현을 위해서는 많은 수의 LED를 직/병렬 조합하도록 요구되며 병렬 접속된 각 LED 채널의 정밀구동을 위해서는 채널 전류를 독립적으로 제어할 수 있는 다 채널 LED 구동회로가 요구된다. 최근 LED 구동회로는 고효율에 유리한 LLC 공진형 컨버터^[1]가 널리 이용되고 있으며 다중출력 LED 구동을 위해서는 별도의 DC/DC converter가 요구된다. 이는 시스템의 전력변환 효율을 떨어뜨리고 시스템 전체 부피를 증가시키며 제작단가를 높이는 단점이 있다.^[2] 따라서 본 논문에서는 별도의 DC/DC converter 없이 LLC 공진형 컨버터 하나로 이중출력 LED를 정밀하게 구동하기 위해 주파수와 시비율을 동시에 가변함으로써 각 출력을 개별적으로 제어할 수 있는 이중출력 LED 구동회로를 제안한다.

2. 제안된 이중출력 LLC 공진형 컨버터

그림 1은 제안된 LLC 공진형 컨버터를 이용한 2채널 LED 구동회로를 도시하고 있다. 제안된 회로의 1차측 구성은 기존과 동일하나 2차측은 하나의 2차측 권선과 4개의 다이오드를 사용하여 구성되어 있으며 각각의 출력전압을 모두 피드백 받

아 시비율 변조를 통해 V_{o1} 을 주파수 변조를 통해 V_{o2} 를 각각 정밀하게 제어 할 수 있다.

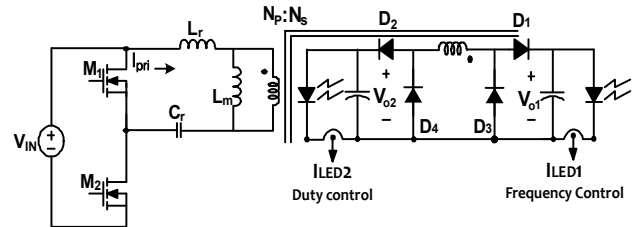


그림 1 제안된 LLC 공진형 컨버터를 이용한 2채널 LED 회로
Fig. 1 Proposed Two-channel LED circuit using LLC resonant converter

2.1 제안된 LLC 공진형 컨버터의 동작원리

그림 2는 스위치 상태에 따른 전류 도통경로를 보이고 있다. 스위치 M_2 가 온이 되면 그림 2(a)와 같은 도통경로가 형성되고 다이오드 D_1 과 D_4 를 통해 V_{o1} 의 출력캐패시터를 충전하게 된다. 한편, 스위치 M_1 이 온이 되면 그림 2(b)와 같은 도통경로가 형성되고 다이오드 D_2 와 D_3 를 통해 V_{o2} 의 출력캐패시터를 충전하게 된다.

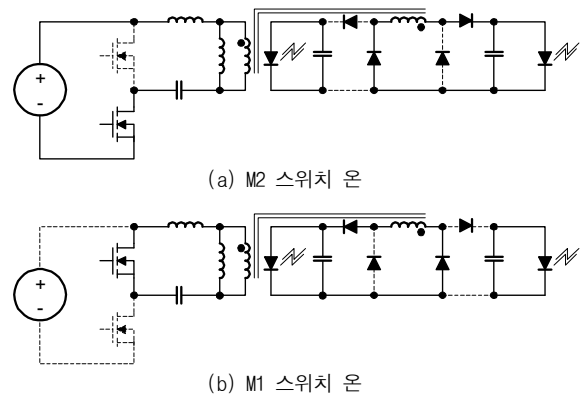
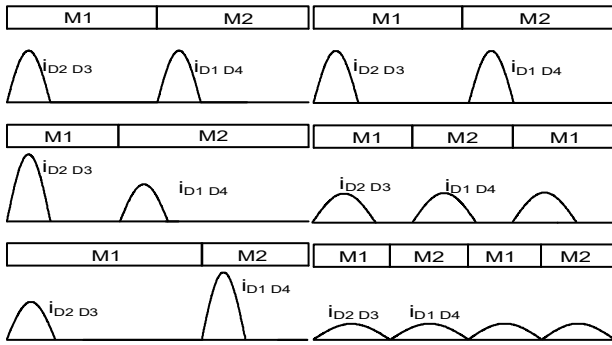


그림 2 스위치상태에 따른 도통 경로
Fig. 2 Conductive path according to conductive switch

그림 3(a)는 동작 시비율에 따른 출력다이오드 전류를 보이고 있다. 그림에서 보인 바와 같이 M_1 과 M_2 의 시비율이 동일할 경우 출력다이오드 D_1 (D_4)과 D_2 (D_3) 전류는 동일하다.



(a) 듀티에 따른 출력전류 (b) 주파수에 따른 출력전류
 그림 3 듀티 및 주파수에 따른 출력전류
 Fig. 3 Output currents according to duty ratio and operating frequency
 (a) Output currents according to duty ratio
 (b) Output currents according to operating frequency

따라서 각 출력전압 V_{o1} 과 V_{o2} 는 동일하게 출력된다. 또 M_1 보다 M_2 의 시비율이 클 경우 출력다이오드 $D_2(D_3)$ 의 전류는 $D_1(D_4)$ 보다 커지므로 출력전압 V_{o2} 가 V_{o1} 보다 커진다. 반면, M_1 보다 M_2 의 시비율이 작을 경우 그 반대가 된다.

한편 그림 3(b)는 주파수에 따른 출력다이오드 전류를 보이고 있으며 구동 주파수가 클수록 출력다이오드 $D_1(D_4)$ 와 $D_2(D_3)$ 전류가 모두 작아지므로 출력전압은 작아진다.

따라서 상기의 특성을 모두 종합해 보면 동작시비율의 가변을 통해 V_{o1} 과 V_{o2} 의 전압 차이를 조절할 수 있고 동작 주파수의 가변을 통해 V_{o1} 및 V_{o2} 의 전압 크기를 동시에 조절할 수 있으므로 각 출력을 독립적으로 제어 할 수 있다. 또한 제안된 회로의 트랜스포머 2차측 권선은 하나로써 두 개의 출력이 모두 공유하고 있으므로 V_{o1} 과 V_{o2} 의 전압 차이가 크지 않은 이중출력 LED 조명과 같이 두 출력전압이 서로 비슷한 응용례에 적합하게 적용될 수 있다.

2.2 제안된 LLC 공진형 컨버터의 실험 결과

상기한 바와 같은 이론적 해석을 바탕으로 40W급 LED조명 회로를 위한 시작품을 설계하고 고찰된 실험 결과를 제시한다. 설계를 위한 입출력 사양과 실험에 사용된 주요 파라미터는 다음과 같다.

- 입력 조건 : PFC 출력 전압 $V_{DC} = 400V$
- 출력 조건 : LED_1 출력 = $20V(V_{o1}) / 1A(I_{LED1})$
LED_2 출력 = $20V(V_{o2}) / 1A(I_{LED2})$
- 트랜스포머 권선 비: $N_p : N_s = 40:3$ (core = EE2525W)
- 공진 파라미터: $C_r = 22nF$, $L_m = 300\mu H$, $L_r = 60\mu H$

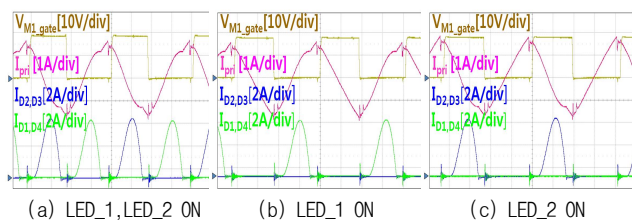


그림 4 출력부하에 따른 주요 동작 파형
 Fig. 4 Experimental waveforms under the load variation

표 1 각 부하조건에 따른 출력전류, 주파수 및 시비율 측정
 Table 1 Output current, Switching frequency and Duty ratio according to each load condition

	LED_1 ON LED_2 ON	LED_1 ON LED_2 OFF	LED_1 OFF LED_2 ON
출력전류	LED_1: 1.012 [A] LED_2: 0.985 [A]	LED_1: 1.023 [A] LED_2: 0 [A]	LED_1: 0 [A] LED_2: 0.965 [A]
f_{sw}	122.94 kHz	121.77 kHz	117.85 kHz
Duty (M_2)	44.54%	45.27%	45.22%

실험 결과 주요파형을 그림4에 나타내었다. 각 부하조건에서 스위치의 시비율에 따른 트랜스포머 1차 측 전류 및 2차 측 다이오드 전류 파형이 앞서 제시한 이론적 분석과 동일함을 확인할 수 있었으며, 각각의 출력이 서로 독립적으로 제어되는 것을 실험을 통해 검증하였다. 또한, 표1에 제시한 바와 같이 제안된 회로는 각 부하조건에서 주파수 및 시비율의 변동폭이 각각 $\Delta f_{sw} = 5.09$ kHz, $\Delta D = 0.73\%$ 로써 변동폭이 매우 작으므로 제안 회로의 우수한 동작성을 실험을 통해 검증하였다. 따라서 위의 실험 결과를 통해 제안된 회로는 이중출력을 각각 주파수 및 시비율 가변방식을 통해 부가적인 회로 없이 1개의 IC만으로 서로 독립적으로 제어 할 수 있으며 2채널 LED구동회로 뿐만 아니라 비슷한 양상의 이중출력을 요구하는 다양한 시스템에도 적합할 것으로 예상된다.

3. 결론

기존의 이중출력 LLC 공진형 컨버터의 경우 master 출력전압은 스위칭 주파수 변조를 통해 제어하고, slave 출력전압을 제어하기 위해서는 별도의 DC/DC컨버터와 제어IC가 필수적이었다. 이로 인해 시스템 전체의 효율감소, 부피증가 및 제작단가 상승 등의 단점이 존재하였다. 따라서 본 논문에서는 기존의 주파수 변조를 통한 제어방식에 시비율 변조라는 제어변수를 추가하여 하나의 LLC컨버터와 제어 IC로 master 출력전압은 스위칭 주파수로, slave 출력전압은 시비율 변조를 통해 각각의 전압을 독립적으로 제어함으로써 고효율 및 저가형의 LED 구동회로를 구현할 수 있다. 제안회로의 타당성 검증은 위하여 40W급 LED 조명회로를 위한 시작품을 제작하여 실험을 수행하였으며, 실험결과 제안된 회로는 다양한 부하조건에서도 출력 전압 제어 성능이 우수함을 확인하였다. 따라서 제안된 회로는 이중 출력을 위한 고효율 및 저가형 LED 구동에 매우 적합할 것으로 기대된다.

본 연구는 삼성전자(주)의 연구비 지원과 지식경제부 및 정보통신 연구진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구 결과로 수행되었음(NIPA 2011 C1090 1121 0005)

참고 문헌

- [1] 신대성, 정영진 외 “LLC 공진형 컨버터를 이용한 고효율 조명용 LED 구동회로”, 전력전자학회논문지 15권 제1호, pp. 35 42, 2010.2
- [2] Sang Ho Cho, “High efficiency and low cost tightly regulated dual output LLC resonant converter” IEEE, pp. 862 869, 2010.