

전자식 안정기 호환형 LED 구동회로

금문환, 장두희, 오동성*, 강정일**, 한상규
 국민대학교 POESLA, 삼성전기*, 삼성전자**

Electronic ballast compatible LED driver

Moon Hwan Keum, Doo hee Jang, Dong sung Oh*, Jeong il Kang**, Sang Kyoo Han
 Power Electronics System Laboratory, Kookmin Univ., *Samsung Electromechanics., **Samsung Electronics.

ABSTRACT

본 논문은 형광등 안정기를 LED 조명으로 호환하기 위한 전자식 안정기 호환형 LED 구동회로를 제안한다. 제안 방식은 기존의 전자식 안정기인 LCC 공진형 인버터에 트랜스포머와 정류단의 추가해 LLCC의 공진형 컨버터로 동작시키고 해석을 한다. 회로의 특성을 분석하면 트랜스포머의 턴비와 자화 인덕턴스의 설계로 최대 전력점의 가변 및 최대전력, 링크전압의 최적 설계가 가능하다. 이론적 해석의 검증을 위하여 27W급 시작품을 제작하고 전자식 안정기와 동작하여 안정기와의 호환성 검증 및 설계와 동일한 특성을 가지고 있음을 증명하였다.

1. 서론

현재 조명으로 가장 많이 사용되고 있는 형광등은 환경오염 물질인 수은, 납 등의 중금속 물질로 구성되어 있어 큰 환경 문제를 일으키는 반면, LED(Light Emitting Diode)는 중금속과 같은 환경오염 물질을 사용하지 않아 기존 광원에 비해 친환경적이며 긴수명 고효율 등의 장점으로 차세대 광원으로 각광받고 있다.^[1] 최근 이러한 시대적 흐름으로 형광등에서 LED로 교체하려는 연구가 활발히 이루어지고 있다.^[2] 하지만 최근까지 형광등용 안정기를 모두 호환할 수 있는 LED 구동회로 개발 사례는 보고되지 않고 있는 실정이다. 이를 해결하기 위해 본 논문은 전자식 안정기 호환형 LED 구동회로를 제안하고 이론적 해석과 실험을 통해 제안회로를 검증하였다.

2. 제안 LLCC 공진형 컨버터 분석

그림 1은 LCC 공진형 인버터를 입력으로 하는 제안된 LED 구동회로를 보이고 있다. 제안된 회로는 트랜스포머, 정류단, DC/DC 컨버터단으로 구성되어 있다. 상기 트랜스포머는 전기적 절연과 최대 전력의 크기 및 최대 전력점 조정을 위해 부가되어 있고 정류다이오드 뒷단의 LC필터는 안정기 즉 LCC 공진형 인버터의 원활한 공진 동작을 보장하기 위해 부가되어 있다. 즉 공진 캐패시터 C_p 와 트랜스포머의 L_m 의 병렬로 보이는 등가 임피던스에 비해 인덕터 L_f 의 임피던스를 크게 설정하여 안정기의 LCC 공진 동작에 영향을 주지 않기 위해 C필터 대신 LC필터가 적용되어있다. 따라서 안정기를 포함한 트랜스포머, 정류단, LC 필터는 하나의 LLCC 공진형 컨버터로 구현되어짐을 알 수 있다. 또 DC/DC 컨버터는 상기 LLCC 공진형 컨버터의 부하로서 작용하며 LED의 정전류 제어를 담당한다. 한편 LLCC 공진형 컨버터의 분석을 위해 회로 내 모든 전압과 전류는 스위칭 주파수의 기본과 성분만 존재하며, 필터

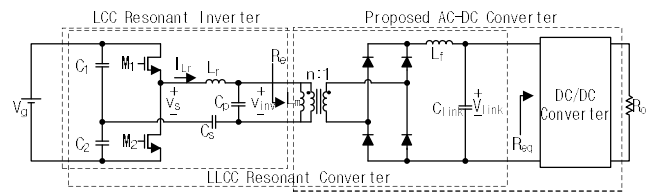


그림 1 LCC 공진형 인버터를 입력으로 하는 제안 LED 구동회로

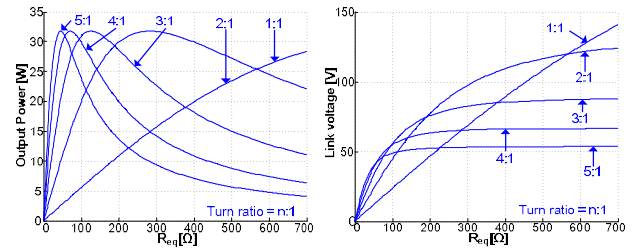


그림 2 LLCC 공진형 컨버터의 등가저항에 따른 출력전력 및 링크전압

인덕터에 흐르는 전류는 일정할 만큼 L_f 는 매우 크다고 가정한다. 상기 가정에 따라 LLCC 공진형 컨버터의 입출력 관계식 $V_{link}(f_s)/V_g$ 를 구하면 아래 식 (1)과 같다.

$$\frac{V_{link}(f_s)}{V_g} = \frac{4}{n\pi^2 \sqrt{\left\{1 + \frac{1}{m}(1-F^2) + K\left(1 - \frac{1}{F^2}\right)\right\}^2 + \left\{\frac{1}{Q_e}\left(F - \frac{1}{F}\right)\right\}^2}} \quad (1)$$

여기서, $f_o = \frac{1}{2\pi} \sqrt{L_r C_s}$, $\omega_o = 2\pi f_o$, $Z_o = \sqrt{\frac{L_r}{C_s}}$, $m = \frac{C_s}{C_p}$
 $F = \frac{f_s}{f_o}$, $Q_e = \frac{R_e}{\sqrt{L_r/C_s}} = \frac{R_e}{Z_o}$, $R_e = \frac{n\pi^2}{8} R_{eq}$

그림 2는 입출력 관계식을 바탕으로 $V_g=311V$, 스위칭 주파수 $f_s=47kHz$, $C_s=20.2nF$, $L_r=2.793mH$, $C_p=5.6nF$, 트랜스포머의 자화 인덕턴스 $L_m=4mH$ 인 회로 parameter를 가지는 경우를 하나의 예로 들어 LLCC 공진형 컨버터의 트랜스포머 턴 비 변화에 따른 출력 전력 및 링크 전압을 도시한 것이다. 그림2로부터 턴비가 증가할수록 LLCC 공진형 인버터의 최대 출력 점은 좌측으로 이동하며 최대 링크 전압은 감소하는 것을 확인할 수 있다. 그림 3은 제안 컨버터의 트랜스포머 턴비를 1:1로 고정할 경우 자화 인덕턴스 L_m 값의 변화에 따른 출력전력 및 링크전압을 도시한 것이다. 트랜스포머의 자화 인덕턴스 L_m 이 작아짐에 따라 LLCC 공진형 인버터의 최대 전력 및 링크 전압이 감소한다. 따라서 그림2 및 3으로부터 제안 LLCC 공진형 컨버터는 트랜스포머의 턴 비로 최대 전력점의 설계가 가능하며 자화 인덕턴스 L_m 으로는 최대 전력의 크기와 링크전압을 설정할 수 있음을 알 수 있다.

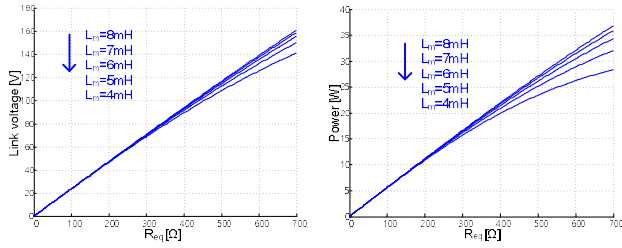


그림 3 LLC 공진형 컨버터의 등가저항에 따른 출력전력 및 링크전압

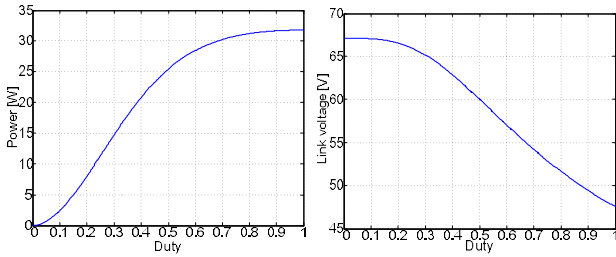


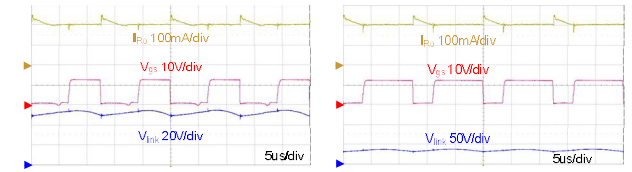
그림 4 백부스트 컨버터 시비율에 따른 출력전력 및 링크전압

3. 제안 LED 구동회로 동작분석

제안 회로의 DC/DC 컨버터로서 백부스트 컨버터를 일례로 들어 설명하지만 모든 일반적인 컨버터의 적용이 가능하며 LLC 컨버터에 적용된 절연트랜스포머로 인해 비절연형 컨버터를 사용 역시 가능하다. 백부스트 컨버터는 스위치가 계속해서 온 될 경우 등가 임피던스 R_{eq} 는 매우 작으며, 스위치가 계속 오프되면 무한대의 임피던스를 가지므로 스위치 동작 시비율에 따른 R_{eq} 는 매우 작은 값에서부터 무한대까지 임피던스의 조절이 가능함을 알 수 있다. 2절에서 트랜스포머의 턴 비 및 자화 인덕턴스 L_m 의 값에 따라 LLC 공진형 컨버터 특성이 결정됨을 고찰하였으며 이를 바탕으로 트랜스포머 턴 비=4:1, $L_m=4mH$ 인 경우 백부스트 컨버터의 스위치 동작 시비율 D 에 따른 최종 출력전력 P_o 와 링크전압 V_{link} 를 그래프로 도시하면 그림 4와 같다. 그림 4에서 보인 바와 같이 D 가 0일 때 R_{eq} 는 무한대의 값으로 출력전력이 0W이며 링크전압은 최대치를 가진다. 또한, 스위치 동작 시비율 증가에 따라 R_{eq} 는 감소하고 출력 전력은 증가하며 링크전압은 감소함을 알 수 있다. 즉, 2 트랜스포머의 턴비를 4:1로 설정하여 최대 전력점을 시비율 0.11에서 0.9로 이동시켰기 때문에 제안회로의 동작 시비율 D 를 증가하였을 때 출력전력이 늘어나고 자화인덕턴스 4mH에서 최대전력을 32W를 가진다. 설정 링크 전압은 67V로 매우 낮은 전압 스트레스를 가짐을 확인할 수 있다. 결론적으로 LLC 공진형 컨버터의 특성이 분석되면 DC/DC 컨버터의 동작 시비율에 따른 출력전력과 링크전압을 알 수 있고 트랜스포머의 턴비와 자화인덕턴스의 설정으로 동작 시비율에 따른 출력전력과 링크전압 최적설계 가능하다.

표 1 시 비율에 따른 등가임피던스, 링크전압, 출력전력

Duty	$R_{eq}[\Omega]$	$V_{link}[V]$	Power[W]
0.1	3200	57.31	1.03
0.3	355	56.51	8.98
0.5	128	51.83	20.99
0.7	65.31	42.07	27.1



(a) 출력전류 200mA, 출력전력 21W (b) 출력전류 200mA, 출력전력 27W
그림 5 제안 LED 구동회로 주요 실험파형

4. 실험결과

제안 LED 구동회로의 타당성 검증을 위해 27W급 시작품을 제작하여 형광등용 안정기와 테스트를 진행하였다. 실험 주요 사양은 LLC 공진형 컨버터는 이전 절에 언급한 값과 동일하며 트랜스포머 턴 비 4:1, 자화인덕턴스 3.5mH, $L_f=1mH$, 백부스트 컨버터 인덕터 200uH, 스위칭 주파수 80khz를 사용하였다. 다음 파라미터로 백부스트 컨버터 스위치 시비율 D 에 따른 등가 임피던스 R_{eq} , 링크전압 V_{link} 와 출력전력 P_o 를 표 1에 계산하여 나타내었다. 이론적 결과값의 타당성 검증을 위해 LED 구동회로에 출력전류를 200mA로 제어하여 실험한 과정을 그림 5에 나타내었다. 그림 5 (a)에 보인바와 같이 21W를 출력하기 위해 출력저항을 525Ω으로 놓고 실험한 결과 출력전류가 200mA로 제어되며, 이때 시비율 0.5, 링크전압 52V로 표에서 계산한 값과 동일한 것을 확인하였다. 그림 5 (b)와 같이 27W를 출력하기 위해 출력저항을 675Ω일 경우도 출력전류 200mA로 제어되며 이때 시비율 0.7, 링크전압 41V로 계산값과 동일하다.

5. 결론

본 논문은 형광등 전자식 안정기와 호환을 위한 LED 구동회로를 제안한다. 제안 회로는 형광등용 전자식 안정기인 LCC 공진형 인버터를 입력으로 공진탱크에 트랜스포머를 병렬로 연결하고 정류하여 LLC 공진형 컨버터로 동작시키고 특성을 이용한다. LLC 공진형 컨버터를 분석하여 트랜스포머의 턴비와 자화인덕턴스 L_m 의 값으로 특성을 설계 가능함을 증명하였다. 따라서 제안 LED 구동회로의 최대전력점의 설계가 가능하고 시비율에 따른 링크전압, 동작 점에서의 전력을 예측 가능함으로 최적설계가 가능하며, 실험을 통하여 그 타당성을 증명하였다. 제안 회로의 호환성 검증을 위하여 형광등 안정기와 LED 구동회로를 실험하여 전류가 일정하게 제어되며, 설계한 값과 실험값이 동일하게 동작하는 것을 확인하였다. 따라서 본 논문에서 제안한 LED 구동회로가 전자식 안정기에 호환 가능하여 형광등을 대체 할 수 있을 것이라 판단되며 앞으로 많은 LED 조명회로에 응용될 것으로 예상된다.

본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신산업진흥원의 대학IT연구센터육성 지원사업의 연구결과로 수행되었음
(NIPA 2013 H0301 13 2007)

[1] Y. Tanaka, T. Komine, S. Haruyama, M. Nakagawa, "Indoor Visible Light Transmission System Utilizing White Lights", IEICE Trans. on Commun., Vol. E86 B, No. 8, pp. 2440-2454, Aug. 2003.
[2] 임중열, 신인철, 서기열, 강병복, 윤형상, 최장근, 차인수, "절연형 전자식 안정기용 LLC 형 공진형 인버터의 특성에 관한 연구", 1997 전력전자학술대회 논문집, pp216-221, 1997. 7.