

LC 병렬공진을 이용한 초장수명 고효율 수동형 LED 구동회로 개발

이은수*, 최보환*, 김봉철**, 임춘택*
 카이스트 원자력 및 양자공학과*, 오토마인드**

ABSTRACT

본 논문은 역률과 고조파 규제를 만족하는 새로운 형태의 수동형 LED 구동회로를 제시한다. 제안된 수동형 LED 구동회로는 능동형(SMPS 방식) LED 구동회로에 비하여 초장수명과 고효율 특성을 가진다. 특히 능동형 LED 구동회로 내부의 능동소자(스위칭 소자)로 인한 짧은 수명 및 효율 감소를 수동소자만을 사용하여 효과적으로 해결하여, 역률은 0.98, 입력전류의 총 고조파 왜율은 16%, LED 드라이버의 효율은 95% 이상임을 확인하였다. 본 논문에서는 제안된 수동형 LED 구동회로의 설계 과정을 소개하며, 이론과 실험을 통해 그 우수성을 입증하였다.

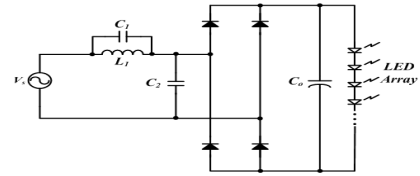


그림 1 제안하는 LC 병렬공진을 이용한 LED 구동회로

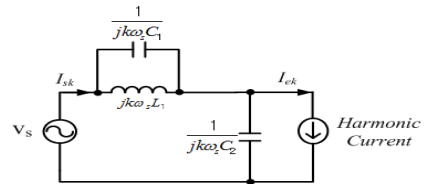


그림 2 고조파 전류를 표시한 LED 등가회로

1. 서론

최근 전 세계적으로 에너지 절약과 환경보호를 위해 기존의 형광등을 LED로 교체하는 방법이 널리 연구되고 있다. 통상 220V인 교류전압으로 LED를 구동하기 위한 한 가지 방법은 반도체 스위치 등의 능동소자를 이용하여 LED에 정전류 혹은 정전압을 공급하는 능동형(SMPS, Switch Mode Power Supply 방식) LED 구동회로를 사용하는 것이다[1][2]. 하지만 일반적으로 능동형 LED 구동회로는 내부의 능동소자로 인한 짧은 수명, 스위칭 손실, 고가격 등의 단점을 가진다. 특히 15,000시간 정도인 능동형 LED 구동회로의 평균수명은 일반적으로 50,000시간 이상의 평균수명을 가지는 LED에 비해 현저히 짧다[3]. LED와 구동회로와 LED가 결합되어 있는 경우 그 수명은 구동회로의 짧은 수명에 좌우되며, 이는 불필요한 교체 비용과 인력의 낭비를 가져온다. 이러한 단점을 극복하고자 커패시터 수동소자만을 이용한 반영구적인 고효율 LED 구동회로가 기존에 제안되었다[4]. 하지만 낮은 역률 및 높은 입력전류 THD(총고조파왜율)의 단점을 해소할 수 있는 새로운 수동형 LED 구동회로의 개발이 필요하다.

본 논문에서는 수동소자만을 이용하여 반영구적으로 사용가능한 새로운 초장수명 고효율 수동형 LED 구동회로를 제안하였다. 제안하는 LED 구동회로는 20W급으로 하나의 40W급 형광등을 대체할 수 있으며, LC병렬공진 회로를 이용하여 역률 및 THD규제(IEC61000 3 2 class C)를 만족하였다.

2. 제안하는 LED 구동회로

기존의 형광등을 대체하기 위한 LED 구동회로의 설계를 위해 크게 3가지 설계 조건이 필요하다. 첫째는 교체하고자 하는 형광등과 동일한 휘도를 가지는 LED를 구동할 수 있어야 한다. 둘째는 0.9이상의 역률을 보장하여야 한다. 마지막으로 입력전류의 고조파 함유율이 THD 규정을 벗어나지 않도록 해야 한다. 위 3가지 조건을 만족하는 제안된 LED 구동회로는 그림 1과 같으며, 고조파 필터 회로와 브릿지 다이오드로 구성된다.

2.1 고조파 필터 회로

고조파 필터 회로는 LC 병렬 공진 회로를 구성하는 L_1 , C_1 이와 병렬로 연결되어 있는 C_2 로 구성된다. 브릿지 다이오드와 연결된 LED를 교류전원으로 구동할 경우 흐르는 전류의 고조파 중 가장 큰 3고조파 및 5고조파를 저감하기 위하여 LC 병렬공진 회로의 공진 주파수 f_r 는 식 (2)과 같이 입력 전압의 주파수 f_s 의 3배에서 5배 사이로 설계된다. 그림 2에서 브릿지 다이오드와 LED로 흐르는 고조파 전류를 I_{ek} , 입력측 전류를 I_{sk} 로 정의할 경우, 입력측 전류는 고조파 필터 회로에 의해 (3), (4)와 같이 결정된다.

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_1 C_1}} \quad (1)$$

$$3f_s \leq f_r \leq 5f_s \quad (2)$$

$$I_{sk} = \frac{j\omega_s C_1 + \frac{1}{j\omega_s L_1}}{j\omega_s (C_1 + C_2) + \frac{1}{j\omega_s L_1}} I_{ek} \quad (3)$$

$$I_{sk}|_{k \geq 5} \cong \frac{C_1}{C_1 + C_2} I_{ek}|_{k \geq 5} \quad (4)$$

일반적으로 LED는 그림 3(a)와 같이 다이오드와 순방향 강하전압 V_{LED} , 동적 저항 R_d 로 모델링이 가능하다. 개발에 사용된 LMT5252A1 LED 소자의 경우 약 75mA의 정상 구동 전류에서 V_{LED} , R_d 는 각각 2.7V, 3.3Ω으로, 약 90개의 직렬 연결된 LED를 출력 커패시터 C_o 와 함께 사용하여 목표하는 20W의 출력전력을 얻을 수 있다.

이를 그림 3(b)와 같이 브릿지 다이오드의 출력을 직류전압 V_o 와 직류전류 I_o 로 단순화 하여 나타낼 수 있으며, 그림 3(c)의 회로변환을 통해 그림 3(d)와 같이 제안되는 LED 구동회로의 등가회로를 나타낼 수 있다. 그림 3(d)의 출력저항 R_e 는 브릿지 다이오드와 LED의 등가저항이며 양단전압 V_e 및 출력전력 P_e 는 (5), (6)과 같이 유도된다. 또한 입력측 역률은 (7), (8)

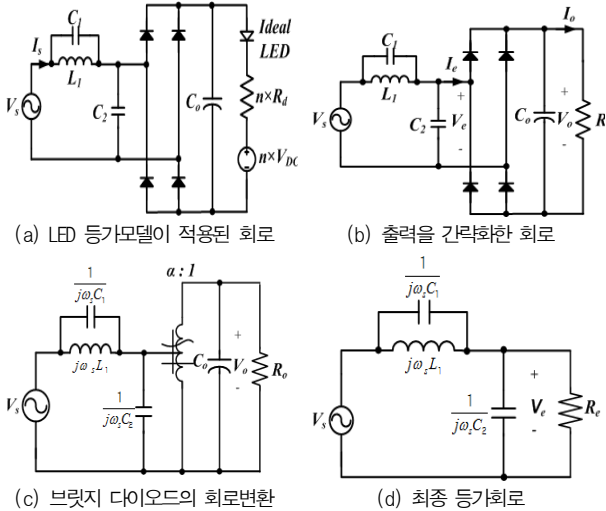


그림 3 회로변환을 이용한 LED 구동회로의 등가모델

과 같은 수식으로 나타낼 수 있다.

$$|V_e| = \frac{R_e(1 - \omega_s^2 L_1 C_1)}{\sqrt{\omega_s^2 L_1^2 + \{R_e - \omega_s^2 R_e L_1(C_1 + C_2)\}^2}} \times |V_s| \quad (5)$$

$$P_o = \frac{|V_e|^2}{R_e} = \frac{R_e(1 - \omega_s^2 L_1 C_1)^2}{\omega_s^2 L_1^2 + \{R_e - \omega_s^2 R_e L_1(C_1 + C_2)\}^2} \times |V_s|^2 \quad (6)$$

$$I_s \angle \phi^\circ = \frac{R_e \{1 - \omega_s^2 L_1(C_1 + C_2)\} + j\omega_s L_1}{1 - \omega_s^2 L_1 C_1 + j\omega_s C_2 R_e (\omega_s^2 L_1 C_1 - 1)} V_s \angle 0^\circ \quad (7)$$

$$PF = \cos \angle \phi^\circ \quad (8)$$

2.2 브릿지 다이오드 정상상태 회로 변환

무손실의 브릿지 다이오드를 가정할 경우 정상상태에서 브릿지 다이오드는 α 의 턴비를 가지는 하나의 등가변압기로 변환이 가능하다. 그림 3(b)와 같이 브릿지 다이오드의 입력 기본과 전압성분의 실효값을 V_e , 입력 기본과 전류성분의 실효값을 I_e 로 정의할 경우 출력전압 V_o , 출력전류 I_o 와의 관계는 (9), (10)과 같이 정의된다.

$$V_e = \alpha V_o \quad (9)$$

$$I_e = \frac{1}{\alpha} I_o \quad (10)$$

브릿지 다이오드에 흐르는 전류가 한 주기에서 연속일 경우 α 는 0.9로 일정한 값을 가지나, 순방향 강하전압을 가지는 LED의 특성으로 인해 브릿지 다이오드가 일정 구간동안만 도통되는 경우에 α 는 브릿지 다이오드 입출력 회로의 구성 및 LED 개수에 따라 비선형적으로 변화한다. 이때 R_e 는 등가변압기에 의해 (11)과 같이 정의된다.

$$R_e = \frac{V_e}{I_e} = \alpha^2 R_o = \frac{\alpha^2 V_o}{I_o} \quad (11)$$

제시된 LED 개수, (1), (6), (7), (11)을 통해 출력전력, 역률 규정을 만족하는 고주파 필터회로의 L_1 , C_1 , C_2 의 조합들을 도출할 수 있다. 이 중 실험을 통해 표 1과 같이 적절한 조합을 선정하였으며, 등가변압기의 턴비 α 는 그림 4와 같이 LED 개수에 따라 0.75와 0.9사이에서 변화하는 것을 확인하였다.

표 1 제안하는 LED구동회로 소자 값 선정

L_1	C_1	C_2	C_o	LED개수
1.82H	0.2uF	0.3uF	100uF	90개

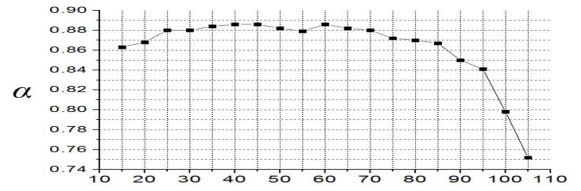


그림 4 LED개수에 따른 α 의 변화

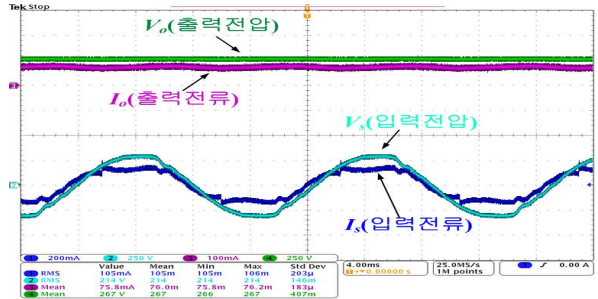


그림 5 제안하는 LED 구동회로의 전압 및 전류파형

3. 실험

표 1과 같이 제안된 LED 구동회로를 구성하여 실험하였을 때 입력전압, 입력전류, 출력전압, 출력전류는 그림 5와 같다. 이때 출력전력은 20.8W, 역률은 0.98, 입력전류의 THD는 16%, 효율은 96%로 설계 조건을 만족함을 확인하였다.

4. 결론

본 논문에서 제안된 수동형 LED 구동회로는 수동소자로 이루어진 고주파 필터 회로를 포함하며, 기존의 능동형 LED 구동회로와 비교하여 초장수명, 고효율의 장점을 가진다. 또한 실험을 통하여 0.9이상의 역률 및 THD 규정 또한 만족함을 확인하였다. 따라서 제안된 수동형 LED 드라이버의 사용은 조명분야의 경제적이며 실용적인 에너지 절약 방법으로 활용 가능하다.

참고 문헌

- [1] 신대성, 정영진, 홍성수, 한상규, 장병준, 김용해, 이일운, 노정욱, "LLC 공진형 컨버터를 이용한 고효율 조명용 LED 구동회로," *전력전자학술대회 논문집*, vol. 15, No. 1, pp. 35-42, Feb. 2010.
- [2] Qingcong Hu, Regan Zane, "New design of integrated power and integrated driver with LED module (IP IDLM) driving system for LED backlight in LCD," *IEEE Trans. on Power Electronics*, vol. 25, pp. 574-582, Mar. 2010.
- [3] 한국광기술원, "드라이버 IC를 이용한 고휘도 LED의 구동회로 설계 기술 및 응용 사례," LED 산업 및 최첨단 기술 동향 2집, pp. 22-32, 2009. 10.
- [4] 이병훈, 김현재, 김봉철, 임춘택, "커패시터를 사용한 초저가의 교류전원 LED 최적 구동회로 개발," *전력전자학술대회 논문집*, pp. 426-427, Jul. 2010.