

## LED 구동회로의 능동 PFC 커패시터 용량 감소기법

유진완\*, 황은중\*, 박종연\*  
 강원대학교 IT대학 전기전자공학과\*

### The Capacitor Reduction Method of Active PFC of LED Driving Circuit

Jin-Wan Yoo\*, Eun-Joong Hwang, Chong-Yeun Park\*  
 Dpt. of Electrical and Electronic Engineering, Kangwon National University\*

**Abstract** - LED는 반도체 기술 향상에 따라 현대에 이르러 실내·외 조명으로 사용되기 이르렀다. 하지만 장수명을 갖는 구동회로의 전해 커패시터 수명이 짧기 때문에 LED 조명 자체 수명이 저감되어 질 수 있다. 수명이 짧은 전해 커패시터를 반영구적인 필름 커패시터나 마일러 커패시터로 대체하기 위해 구동회로에 커패시터 용량 저감 기법을 적용되어야 한다. 본 논문은 LED 구동회로의 PFC Bulk 커패시터 용량을 감소시키기 위해 3고조파를 입력전류에 주입하는 방법을 논의하였으며, 이를 시뮬레이션을 통하여 분석하였다.

#### 1. 서 론

LED는 자동차 부품과 TV의 BLU(Back Light Unit)로 널리 사용되어 왔으며, 특히 광 효율의 상승으로 일반 실내·외 조명으로 사용하기에 이르렀다[1]. 또한 지속적으로 발달하는 반도체 기술로 인해 LED는 우수한 광 특성과 50,000시간 이상의 수명을 갖게 되었다. 이러한 수명 특성은 과거에 사용되던 백열전구, 형광등, 메탈 할라이드 램프보다 월등히 높은 것이다. 하지만 LED를 구동하기 위한 구동회로의 수명이 LED 자체의 수명에 미치지 못한다. 이에 대한 가장 큰 원인은 PFC(Power Factor Correction)의 출력단에 부착되는 Bulk 커패시터의 수명이 짧기 때문이다. Bulk 커패시터는 대용량의 전해 커패시터가 사용된다. 전해 커패시터는 ESR과 온도에 따라서 그 수명이 결정되며, 일반적으로 2~3년 정도의 수명을 갖는다[2]. 전해 커패시터를 비교적 수명이 길고 용량이 적은 필름 커패시터나 마일러 커패시터로 직접 대체하여 수명을 연장시킬 수 있다. 이를 대체하기 위해 PFC의 출력단에 저용량 커패시터가 적용될 수 있도록 하는 여러 기법들이 연구되고 있으며, 이를 적용하여 전해 커패시터를 필름 커패시터나 마일러 커패시터로 대체할 수 있다. 본 논문에서는 PFC 출력단의 전해 커패시터를 저감하기 위해 입력전류에 3고조파를 주입하는 기법에 대하여 고찰하였으며, 시뮬레이션으로 결과를 확인하였다.

#### 2. 본 론

LED는 구조적인 이유로 인해 기존 조명들보다 우수한 특성을 갖는다. 특히 50,000시간 이상의 매우 긴 수명 특성은 LED의 최대 장점이라 할 수 있다[3]. 하지만 이러한 수명특성은 LED조명을 구성하는 구동회로 수명이 LED 소자 자체 수명보다 짧기 때문에 LED 장점인 수명특성을 반감시킨다. 특히 구동회로 수명을 단축시키는 요인은 전해 커패시터이다. 전력변환 장치의 반도체 스위칭 소자 수명은 반영구적인 반면, 전해 커패시터의 수명은 일반적으로 20,000시간 이내이므로, 이를 마일러 커패시터나 필름 커패시터로 대체하는 방법이 필요하다. 커패시터의 용량저감 기법은 대용량 커패시터를 저용량의 커패시터로 대체시킬 수 있게 되며, 이는 전해 커패시터를 다른 종류의 커패시터로 대체가 가능하다는 것을 의미한다. 본론에서는 전해 커패시터의 수명과 PFC에 사용되는 Bulk 커패시터의 용량 저감 기법에 대해서 서술한다.

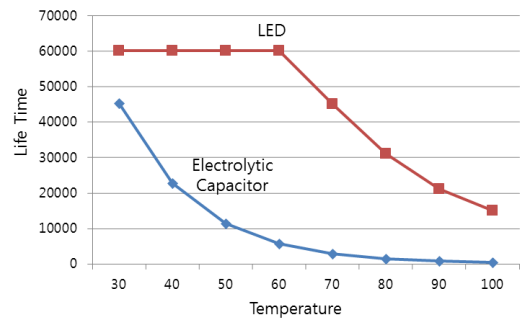
##### 2.1 LED와 전해 커패시터의 수명

전해 커패시터의 수명은 온도와 매우 밀접한 관계를 갖는다. 전해 커패시터의 수명은 수식(1)로 정의된다.

$$Life\ Time = 2 \times B \frac{T_0 - T_a}{10} \quad (1)$$

B는 기본 수명(Base life time), T<sub>0</sub>와 T<sub>a</sub>는 각각 최대 구동온도, 실사용 온도도를 의미한다. B와 T<sub>0</sub>는 제조사에서 기본적으로 제공하고 있다. LED의 수명특성은 제조사에서 기본적으로 제공하고 있으며, LED 결합부 온도에 따라 수명이 감소한다. 그림 1은 온도 상승에 따른 전해 커패시터와 LED의 수명특성을 나타낸 것이다. LED는 LUXEON社 K2의 특

성이며, 전해 커패시터는 B=1,000[hr], T<sub>0</sub>=105℃일 때의 수명특성이다.

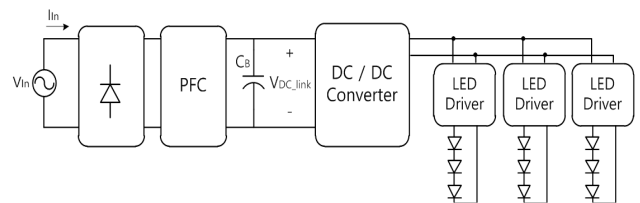


〈그림 1〉 온도에 따른 전해 커패시터 및 LED의 수명

그림 1에서도 알 수 있듯이 LED의 수명이 전해 커패시터에 비해 월등히 높다. LED와 전해 커패시터의 온도 차이가 있다고 하더라도, 일반적으로 LED의 수명이 더 길다. 따라서 LED 조명의 수명을 향상시키기 위해서는 반드시 전해 커패시터의 이용은 지양되어야 하며, 이를 마일러 커패시터나 필름 커패시터로 대체하는 방법이 필요하다.

##### 2.2 PFC의 Bulk 커패시터 저감기법

일반적으로 여러 LED 열을 구동하기 위해 구성되는 LED 구동회로는 그림 2와 같이 구성된다.

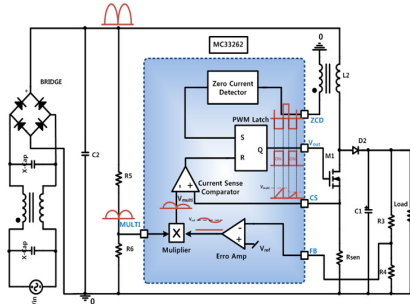


〈그림 2〉 LED 구동회로의 블록도

구동회로는 입력 측의 PFC와 전력변환 장치인 DC/DC 컨버터 및 LED 드라이버로 구성된다. 일부 경우 DC/DC 컨버터 없이 PFC의 출력을 바로 받아 LED 구동을 하는 형태도 있다. PFC는 LED를 일반조명으로 적용하기 위해서는 일정한 규격 이상의 역률을 요구하기 때문에 반드시 필요하다. 이때 PFC의 출력단은 AC형태의 입력전력과 DC형태의 출력전력의 균형을 위해 Bulk 커패시터가 부착되며, 이는 비교적 큰 용량의 전해 커패시터가 사용되어야 한다. 본 절에서는 PFC의 동작원리와 PFC 출력단의 Bulk 커패시터의 역할 및 이를 저감하는 기법에 대해서 나타내었다.

##### 2.2.1 PFC의 동작원리

Active PFC는 부스트 컨버터의 형태로 구성된다. AC Line에서 입력되는 전원은 정류되어 PFC에 인가된다. PFC는 스위칭 동작을 하여 입력전압과 입력전류의 파형이 같도록 동작한다. 인덕터(L<sub>2</sub>)의 전류는 스위치가 On일 때 증가하며, 스위치가 Off일 때 감소한다. 스위칭 동작에 따른 인덕터 전류의 증·감을 입력전압과 동일형태로 만들어 역률을 개선하게 된다. 이를 구현하기 위해 On-Semiconductor의 MC33262 PFC Driver IC를 이용하였으며, 이는 MULT(Multiplier), FB(Feedback), CS(Current Sensing), ZCD(Zero Current Detector)의 총 4개 입력을 받아서 역률을 보정하는 동작을 한다.



〈그림 3〉 PFC 구성회로

그림 3은 일반적인 PFC 회로이다. 출력전압( $V_o$ )은 FB 단자를 통해 센싱되며, 이는 Error Amp에 인가되어 진다. Error Amp는 일정한  $V_{REF}$ 와 비교하여 출력전압에 따른 Error를 출력한다. Error Amp의 출력은 MULTI 단자의 입력전압과 곱셈연산 과정을 거친다. 이 과정은 출력전압의 크기에 따라 FB 전압 크기를 가변하도록 하게 한다. CS는 스위치에 흐르는 전류를 감지하여 스위치 Off 동작을 하게 된다. CS에 인가된 신호는 비교기로 입력되어 MULTI와 Error Amp 출력 간의 곱과 비교된다. ZCD는 트랜스퍼머 2차측으로 영전류를 센싱하여 Off 된 스위치를 On 동작을 결정한다. 이러한 일련의 과정은 MULTI에 인가되는 신호의 모양과 동일한 형태의 입력전류를 만들게 된다.

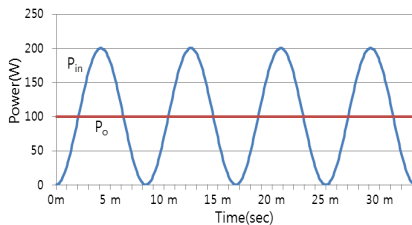
### 2.2.2 Bulk 커패시터의 역할

PFC의 출력단의 Bulk 커패시터는 AC의 입력전력( $P_{in(t)}$ )을 DC의 출력전력( $P_o$ )으로 변환시키기 위해 에너지를 충·방전 역할을 한다. PFC의 입력전력과 출력전력은 식(2), 식(3)으로 나타낼 수 있다.

$$P_{in}(t) = V_m I_m \sin(2\pi ft)^2 \quad (2)$$

$$P_o = \frac{V_m I_m}{2} \quad (3)$$

그림 4는 식(2), 식(3)을 그래프로 나타낸 것이다.

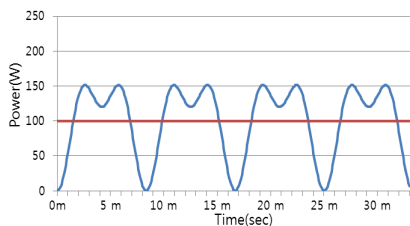


〈그림 4〉 PFC의  $P_{in}$  및  $P_o$  파형

Bulk 커패시터는  $P_{in}$ 과  $P_o$ 의 차이가 발생하는 양만큼을 충·방전하는 역할을 하기 때문에 대용량의 커패시터가 필요하다.

### 2.3 커패시터스 저장기법

PFC의 Bulk 커패시터는  $P_{in}$ 과  $P_o$ 의 차이만큼을 충·방전을 하므로, 이 차이를 감소시키면 Bulk 커패시터의 용량을 저감할 수 있다[4]. 이를 위해 입력전류에 3고조파 성분을 주입하여  $P_{in}$ 과  $P_o$ 의 차이를 감소시킬 수 있다. 그림 5는 입력전류에 3고조파가 주입 되었을 때  $P_{in}$ 과  $P_o$ 를 나타낸 것이다.

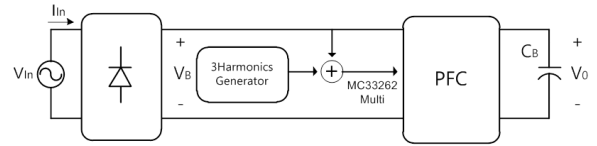


〈그림 5〉 입력전류 3고조파 주입 시  $P_{in}$  및  $P_o$  파형

PFC의 입력전류에 3고조파를 주입은 MC33262의 MULTI 단자의 입력에 기본파와 3고조파를 합친 파형을 인가하면, 입력전류는 MULTI 단자의 모양과 동일한 형태의 입력전류 생성하게 된다.

### 2.3.1 Simulation 및 고찰

PFC 출력단의 Bulk 커패시터의 용량저감 기법을 적용하기 위해서 P-Spice를 이용해 시뮬레이션 하였다. 그림 6은 3고조파 주입을 위한 PFC의 블록도를 나타내었다.



〈그림 6〉 시뮬레이션 블록도

커패시터 용량의 저감을 확인하기 위해 일반적인 PFC와 3고조파 주입회로를 추가한 PFC를 비교하였다. 고조파의 주입은 기본파 대비 48%로 설정하였다. 또한  $C_B$ 의 용량은 일반적인 PFC와 3고조파 주입회로가 추가 된 PFC에 각각  $45\mu F$ ,  $32\mu F$ 로 설정하였다. 그림 7은 각각 PFC의 출력전압( $V_o$ )과 입력전류( $I_m$ )의 시뮬레이션 결과를 나타낸 것이다.

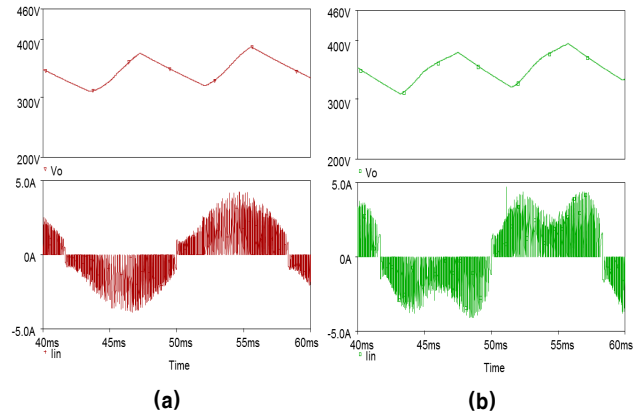


그림 8  $V_o$ ,  $I_m$ 의 시뮬레이션 결과 (a)기본 PFC,  $C_B=45\mu F$   
(b)3고조파 주입회로 추가 시  $C_B=32\mu F$

3고조파의 주입으로 인해 커패시터 용량이 기존에 비해 30% 저감되어도 일반적인 PFC와 3고조파 주입회로가 추가 된 PFC의 출력전압의 리플전압은 60V로 동일하게 나타났다.

### 3. 결 론

LED 조명의 수명을 보상하기 위해 PFC 출력단의 전해 커패시터를 마일러나 필름 커패시터로 대체하기 위한 방법이 필요하다. PFC의 Bulk 커패시터의 저감 기법 중 입력전류에 3고조파를 주입하는 방법을 시뮬레이션을 통하여 확인 한 결과 30%의 커패시터 용량저감 효과가 나타났다. 또한 커패시터 용량 저감에 따라 출력전압의 리플율도 동일하게 유지되었다. 따라서 입력전류에 3고조파 주입하는 방법은 PFC의 Bulk 커패시터의 용량저감에 효과가 있음을 입증하였다. 향후 고조파의 조합을 통한 커패시터 저감 기법 및 고조파 필터와 주입회로의 설계로 LED의 수명을 보상하는 측면이 연구 되어야 할 것이다.

### 감사의 글

"본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 IT융합 고급인력 과 정 지원사업의 연구결과로 수행되었음" (NIPA-2011-C6150-1101-0002)

### [참 고 문 헌]

- [1] 유재도, 류명효, 백주원, 김인동, 김홍근, "고압 LED 구동을 위한 전해 커패시터리스 비절연형 역률 보상 전원 장치 설계", 전력전자학술대회 논문집, 250-251p, 2010
- [2] 김형진, 이동춘, "직류 링크 전해 커패시터의 수명 추정", 전력전자학술대회 논문집, 57-60p, 2000
- [3] 김태훈, "LED조명의 수명평가 및 국제표준", 전자공학회지, 제37권 2호, 164-170, 2010
- [4] Linlin Gu, Xinbo Ruan, Ming Xu, KaiYao, "Means of Eliminating Electrolytic Capacitor in AC/DC Power Supplies for LED Lightings", IEEE TRANSACTIONS ON POWER ELECTRONICS, Vol24, 1399-1408p, 2009