

고역률 구현을 위한 하이브리드 조명회로 설계

고재하¹, 박성미², 박성준¹
 전남대학교 전기공학과¹, 송강기대학교²

High power factor for the implementation of hybrid lighting circuit design

Jae Ha Ko¹, Seong Mi Park², Sung Jun Park¹
 Chonnam National University¹, Korea Lift College²

ABSTRACT

LED는 우수한 특성으로 인하여 차세대 조명으로 각광받고 있지만, 높은 비용에 따른 시장 활성화가 더딘 상태로서 저가격화 노력이 꾸준히 이루어지고 있다. 현재는 LED조명을 구동하기 위한 정전류 Driver, AC DC컨버터를 배제시킬 수 있도록 AC 입력으로 LED를 구동하는 기술이 선보이고 있지만, AC성분 특성상 낮은 효율과 역률, 높은 THD의 문제점을 가지고 있다. 본 논문에서는 직렬 콘덴서를 통해 AC 입력전압으로 LED를 구동하는 방식에서 입력력변동에 따른 정전류 제어와 높은 THD를 개선하기 위한 스위칭 기법을 제안하였고, 이러한 회로의 용량성 역률을 보상하기 위하여 유도성 부하인 방전램프(고압나트륨램프)와 결합을 통한 역률을 보상하는 하이브리드 조명회로를 제안하였다.

1. 서론

고효율, 장수명, 높은 안정성, 유해성분이 없는 LED 등장으로 머지않은 시기에 LED조명의 대중화를 경험할 것이다. 하지만 LED조명은 기존 조명에 비하여 높은 단가를 형성하고 있어, 시장 활성화에 걸림돌이 되고 있다. 이처럼 기존 조명(백열등, 형광등 등)과 대비하여 높은 단가를 해결하고자 최근 등장하는 것이 AC를 LED에 직접 공급하여 구동하는 방식이다. 이는 AC DC컨버터가 불필요하고, 회로를 몇 개의 부품만으로 구성할 수 있어 가격하락에 큰 이득을 가진다. 하지만 이러한 수동부품만으로 이루어진 구조는 출력전압 변동에 대한 능동적인 제어가 어렵고, 순시적으로 변화하는 AC입력에 따른 LED의 순방향전압(V_o)값에 따라 도통과 비도통이 결정된다. 즉 교류입력전압의 순시값이 LED 순방향전압값보다 크면 도통이 되고, 작으면 도통이 되지 않는 특징을 가진다. 이러한 특징으로 입력전류는 도통이 되지 않는 불연속 구간을 가지며, 이러한 불연속 구간에 의해서 역률과 THD, 전체적인 효율이 저하되는 문제가 있다. 이에 본 논문에서는 고압나트륨램프와의 결합을 통한 역률 보상과^[1] 출력력변동에 대한 능동적인 제어와 THD를 개선하는 스위칭 기법을 제안한다.

2. AC LED 구동회로

220V의 교류성분으로 LED를 구동하기 위해서는 전류를 제

한하는 소자를 사용해야 하면, 이는 저항 같은 수동소자를 통해서 전류를 제한할 수 있다. 이러한 방식은 저항을 통해 불필요한 전력이 소모되는 단점이 있어, 그림 1과 같이 직렬 콘덴서를 사용하면 불필요한 전력이 낭비되는 것을 방지할 수 있다. 이렇게 직렬 콘덴서와 브리지다이오드를 구성한 회로는 120Hz의 주파수로 구동되므로, 플리커(Flicker)현상도 유리하므로, LED구동회로로 사용할 수 있다. 이처럼 직렬 콘덴서의 값에 의해서 전류를 제한할 수 있으며 이때의 수식은 식 (1)과 (2)에 의해서 구해질 수 있다. 하지만 직렬 콘덴서 사용에 따른 필연적으로 용량성 역률이 발생하고, 그림 2와 같이 비도통에 따른 불연속 구간이 존재하게 되어 약간 높은 수준의 THD를 가지게 된다. LED조명 구동회로는 LED패키지의 온도상승에 따른 정전류 제어가 필수적으로 요구되고 있으며, 본 회로 역시 입력전압 변동시 출력전류가 변동되므로 이를 위한 정전류 제어 기법과, 불연속 구간에 따른 높은 THD 개선을 위해 불연속구간을 연속구간으로 구현하는 형태의 스위칭 방법이 필요하다.

$$i_c = C_s \frac{dv_s}{dt} = w C_s V_m \cos(wt) \quad (1)$$

$$i_{rate_ave} = \frac{1}{T} \int_{\theta_1}^{\theta_2} w C_s V_m \cos(wt) \quad (2)$$

$$= \frac{2w C_s}{\pi} (V_m - V_o)$$

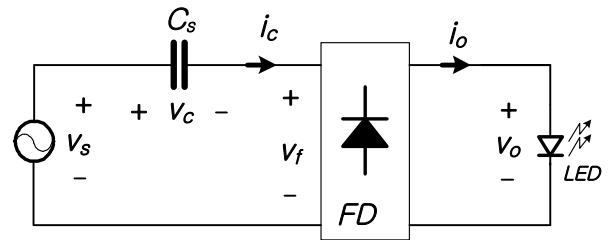


그림 1 직렬 콘덴서 LED구동 드라이버
 Fig. 1 Capacitor series type LED driver

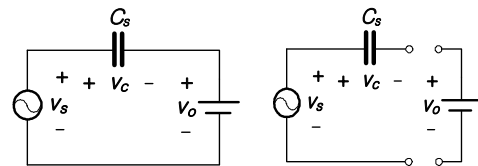


그림 2 정류다이오드 도통에 따른 등가회로
 Fig. 2 Equivalent circuit according to rectifier diode conduction

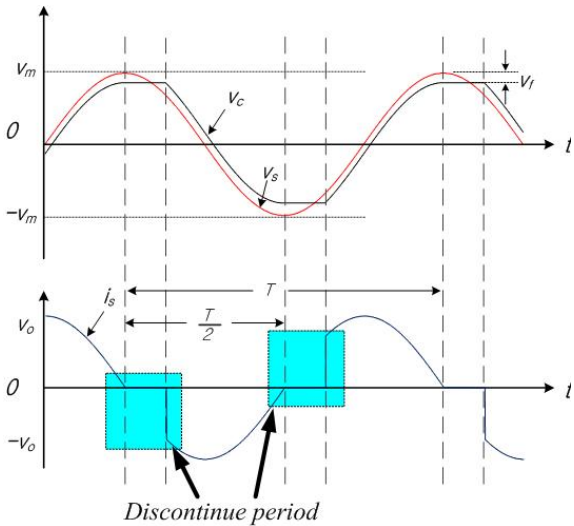


그림 3 직렬 콘덴서 LED구동 특성
Fig. 3 Characteristics of capacitor series LED driver

3. AC LED 스위칭 기법

3.1 제안된 스위칭 회로

그림 4는 제안된 스위칭 회로도를 나타내고 있으며, 이는 기존 그림 1에서 부스터 회로를 추가하여 정전류를 제어하는 형태이다. 식(2)와 같이 입력전압과 LED의 순방향전압 차에 의해 결정되는 평균전류값($I_{o,ave}$)을 이용하여, 부스터 회로의 인덕터 전압(V_L)을 가변하여 입력전압 변동 및 출력전압 변동을 제어하는 형태이다. 입력이나 출력전압이 높아질 경우 일반적으로 평균전류값을 상승하게 되므로 정전류를 위해서는 평균전류값을 낮추어야 하므로, Q1 스위치의 On 구간을 많이 두어 인덕터에 걸리는 전압을 증가시키며, 그만큼 출력전류는 낮아지게 된다. 이러한 부스트 회로를 이용한 정전류 제어는 출력전압이 입력전압보다 낮아지는 경우가 없으므로, 직렬 콘덴서(C_s)에 의해서 결정되는 전류값보다 높은 전류를 공급할 수 없다. 그러므로 회로 설계시 절적인 Limit 회로를 구성하는 것이 중요하며, 이러한 Limit 회로를 구성하지 않으면 낮은 입출력 전압이 발생할 경우 Q1 스위치는 Off 구간이 많아져 입력전류의 불연속 구간을 만들어 THD 감소에 역효과를 보게 된다.

입력전류의 불연속 구간을 연속이 되기 위해서는 높은 스위칭 주파수 또는 인덕터의 값을 높이는 방법이 있지만 본 회로에서는 직렬 콘덴서에 의해서 전류가 전압보다 앞선(Lead)것을 알 수 있으므로, 스위칭시 전류가 90° 앞선 지령치로 스위칭을 하여 입력전류의 불연속 구간을 연속구간으로 유도할 수 있다. 이렇게 연속구간으로 유도하면 낮은 인덕터의 값과 비교적 낮은 스위칭 주파수로 제어를 할 수 있으며, 이에 따른 낮은 THD의 값을 얻을 수 있다.

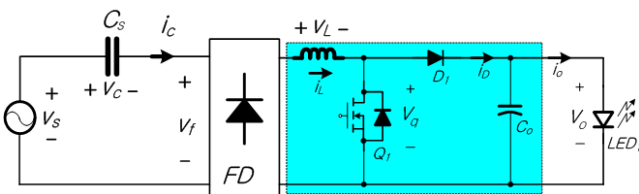


그림 4 제안된 LED구동 드라이버
Fig. 4 The Proposed LED driver

3.2 시뮬레이션 결과

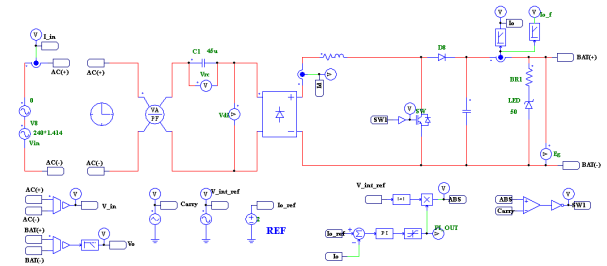


그림 5 시뮬레이션 회로도
Fig. 5 Simulation circuit

그림 5는 직렬 콘덴서 구조의 정전류 제어 스위칭 시뮬레이션 회로도로서 스위칭 신호는 입력전압 위상으로부터 90° 앞선 전압기준값(V_{int_ref})과, 출력전류(I_o)와 지령치(I_{o_ref})를 비교하여 PI제어기와 Limiter를 걸쳐 최종적으로 15kHz의 삼각파형과 비교하여 PWM 신호를 구현하였다. 그림 6과 같이 입력전류의 파형이 리플이 있지만 불연속 구간이 없이 연속으로 흐르는 것을 알 수 있다.

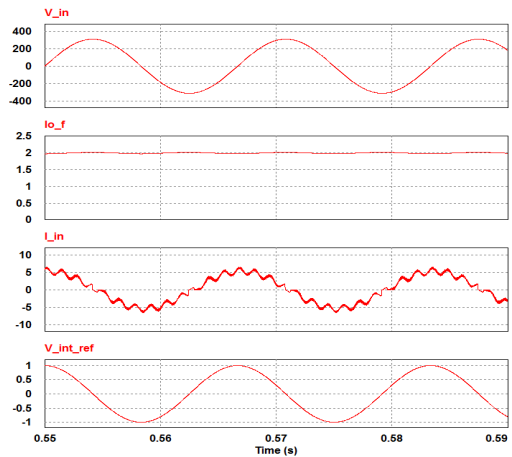


그림 6 부하변동에 따른 정전류 제어 및 입력전류 특성
Fig. 6 Simulation circuit

4. 결론

본 논문에서는 직렬 콘덴서 형태의 AC LED 구동드라이버의 스위칭 기법을 제안하였고, 입력력변동에 따른 정전류 제어와 낮은 THD를 갖는 것을 알 수 있었다. 고속도로 터널과 같은 조명 설비에서는 안개와 먼지 투과를 위하여 고압나트륨램프와 폐색성을 위하여 LED조명을 함께 사용하는 추세이다. 그러므로 본 회로를 고압나트륨램프와 LED조명을 연계하여 구동할 경우 용량성 역할과 유도성 역할에 의한 역률 보상이 가능한 하이브리드 조명회로가 된다.

이 논문은 (주)코아룩스의 연구비 지원에 의하여 연구되었음.

참고 문헌

- [1] 고재하, 황정구, 박성미, 박성준, "방전램프의 역률 보상용 콘덴서를 이용한 저가형 LED 구동회로", 한국조명·전기설비학회, 조명·전기설비학회논문지 27(3), 2013.3, 16-25