

절연형 LED 조명기기를 위한 커패시티브 출력 여과기를 가진 포워드 전력 변환기

김명복

한국생산기술연구원 동력부품연구그룹

A Forward Converter with a Capacitive Output Filter for Isolated LED Lighting Applications

Myungbok Kim

Automotive Components R&D Group, Korea Institute of Industrial Technology

ABSTRACT

In order to increase the power conversion efficiency and improve the power factor, a modified forward converter is proposed, which adopts a capacitive output filter instead of the inductive output filter of the conventional forward converter. Therefore, the proposed converter has wide input voltage range in opposite to that of the conventional forward converters. Moreover, the proposed converter uses the critical conduction mode for automatic current shaping to improve the power factor. As a result, the proposed converter can achieve quasi resonant zero voltage switching, which can minimize the switching loss of main MOSFET. In addition, the operational principle of the proposed converter is analyzed and the characteristic of the proposed converter is investigated in this paper. To validate the effectiveness of the proposed converter, a prototype of 13W is implemented and the experimental results are discussed in more detail.

1. 서론

기존의 조명시장에 LED가 소개되면서 LED를 이용한 조명에 대한 관심이 커지고 있고 기존의 저효율이 심한 백열등, 다운라이트 등에 LED로 대체하는 일련의 작업들이 국내와 국외 등에서 이루어지고 있고 있다^[1]. 먼저, 백열등을 대체하는 작업이 진행되고 있는 실정이다. LED는 다이오드의 일종으로 전용 정전류 구동 회로가 필요하고 부가적으로 여러 기능들을

요구하고 있다^[2]. 구동 회로 요구 조건들로 구동회로가 연결되는 곳은 AC 라인단이기 때문에, 85~265VRMS의 넓은 입력 전압 범위에서의 동작을 보장해야 한다. 또한 안전성을 향상하기 위해서는 절연형 전력변환회로가 필요하다. 그리고, 무효 전력 부분이 적은 역률개선 기능이 필요하다^[3]. 이러한 모든 요구들을 만족하기 위해서 기존의 전력변환 회로 중에서는 플라이백 회로가 가장 많이 사용되고 있다. 높은 역률을 보장하기 위해서 플라이백 회로를 BCM(Boundary Conduction Mode)로 동작시키면서 스위칭 손실을 줄이는 유사 공진 방식으로 구동시켰다^[4]. 하지만, 플라이백 회로의 단점은 절연 트랜스포머가 주 스위치가 켜질 경우에 에너지를 1차단에 저장하는 방식이라서 주 트랜스포머의 활용도가 포워드 방식에 비해서 낮다. 따라서 이러한 플라이백 회로 방식의 한계점을 극복하기 위해서 본 논문에서는 포워드 방식을 채택한 회로를 제안하였다. 기존의 포워드 방식은 벅 컨버터의 절연형 구조이기 때문에, 넓은 입력 전압 범위를 허용하지 못하였다. 하지만, 기존 포워드 회로에서의 2차측 인덕티브 방식의 출력 여과기를 커패시티브 방식으로 변경하여 포워드 방식의 장점을 유지하면서 넓은 입력 전압 범위 조건을 만족시키는 결과를 가져올 수 있다. 또한 1차측 누설 인덕턴스와 2차측 커패시터의 공진을 활용하여 주 스위치의 스위칭 손실을 줄였다. 본 논문에서는 회로의 동작 원리, 제어 방식, 그리고 실험적인 검증으로 효율성을 검증할 예정이다. ^[1]

2. 제안된 회로의 동작과 특성

2.1 제안된 회로의 동작

제안된 회로는 그림 1과 같다. 그림과 같이, 포워드 방식의 전력 변환 회로에서 출력 여과기 부분을 커패시터로 대체하였

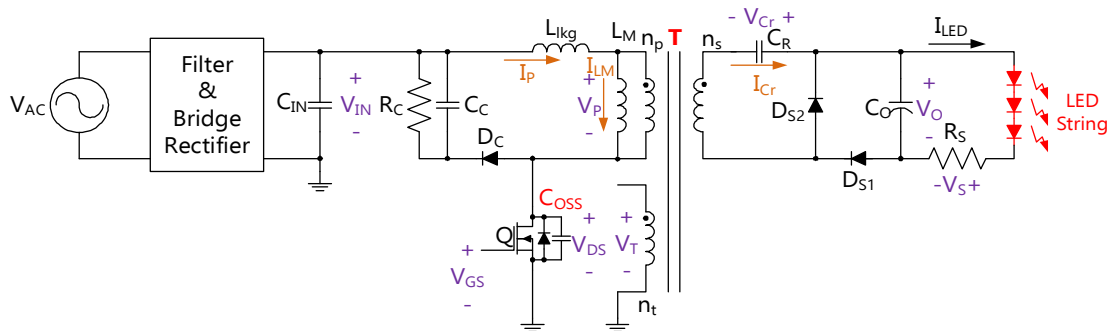


그림1. 커패시티브 출력 여과기를 지닌 포워드 방식 LED 구동회로

다.

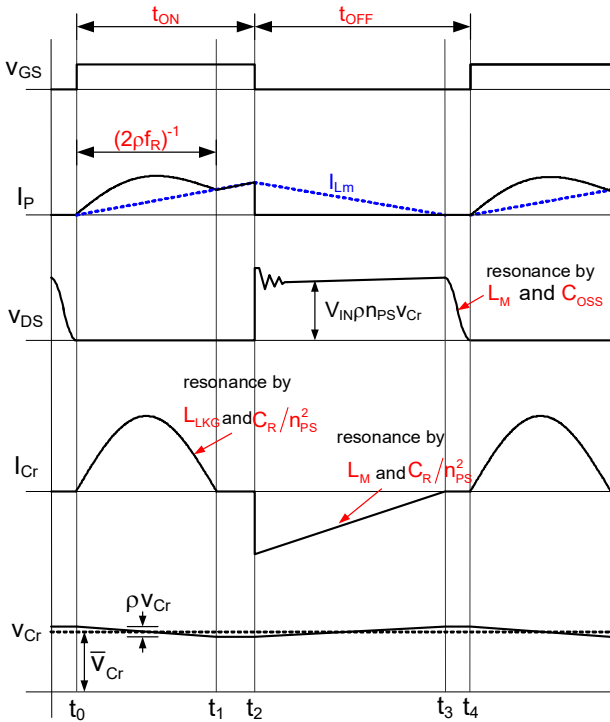


그림 2. 모드별 동작 파형

제안된 회로의 동작은 그림 2와 같이 모드를 나눌 수 있다. 그림과 같이 주 스위치가 턴온이 되었을 때 누설 인덕턴스와 2차단의 커패시터의 공진으로 인해서 턴오프시의 스위칭 손실을 줄일 수 있다. 또한 스위칭을 턴온시킬 때, 기생 성분 때문에 의한 유사 공진을 활용하여 스위치 손실을 최소화 한다.

2.2 제안된 회로의 특성

제안된 회로가 넓은 입력전압 범위에서 동작을 하는지 입력 대비 출력 관계식을 유도할 필요가 있다. 입력 대비 출력 관계식은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\frac{V_O}{V_{IN}} = \frac{1}{n_{PS} \cdot [(1 - D(\theta)) + \alpha]}$$

여기서, α 는 다음과 같다.

$$\alpha = \frac{T}{R_O C_R} \cdot \left(\frac{1}{1 - \cos(\omega_{R1} t_{ON})} - \frac{1}{2} \right)$$

이 식에서, 입력과 출력 관계식은 부스트 회로의 관계식과 거의 유사하다. 따라서, 제안된 회로의 경우 넓은 입력에 대해서 일정한 출력 전압을 형성할 수 있다.

3. 제어 방식 및 고려 사항

일반적인 플라이백 회로의 제어를 위해서는 전류 모드 제어 방법과 전압 모드 제어 방식이 있다. 하지만, 제안된 회로가 1차측 전류가 공진을 형성하므로 피크 전류 제어 방식을 적용하기 어렵다. 따라서, 전압 모드 제어기인 FSC사의 FAN7530을 이용하여 제안된 회로를 제어할 수 있다. 이때 유의하여야 할 점은 포워드 컨버터의 경우 2차측의 인덕터로 인하여 전류가 급속히 증가하는 것을 막아주는데, 제안된 회로의 경우 인덕터 대신 커패시터가 사용되며 초기 상태에서는 커패시터에 저장된

에너지가 전혀 없기 때문에, 과도 전류가 형성될 우려가 있다. 이를 적절하게 대처하기 위해서는 초기에 soft start 구간이 필요하다. 전압 모드 제어기에서는 부하에 따른 턴온 시간을 제어하므로 초기 구동에서는 턴온 시간을 짧게 가져가도록 설계를 한다. 전압 모드 제어 IC의 경우 MOT(maximum on time)을 조절하는 단자가 있는데, 이 단자에 수 uF단위의 커패시터를 활용하여 soft start를 구현할 수 있다.

4. 실험 결과 및 결론

제안된 방식의 검증을 위해서 13W정격을 지닌 Prototype을 제작하였으며 각 부분에서의 특성 파형은 다음과 같다.

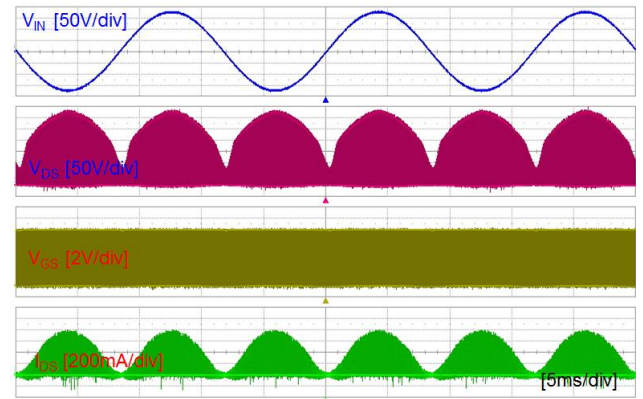


그림 3. 제안된 컨버터의 실험 파형

그리고, 115V_{RMS} 입력 전압에서의 역률은 0.98이며 효율은 83%로 측정이 되었다.

본 논문에서는 고효율 LED 구동회로를 위한 커패시티브 출력 여파기 구조를 지닌 포워드 방식 회로를 제안하였으며 공진을 활용한 스위칭 손실 저감, 넓은 범위의 입력전압 보장등을 이론 및 실험을 통하여 검증하였으며 이를 위한 제어 방법을 제시하였다.

참고 문헌

- [1] Michael S. Shur and Arturas Zukauskas, "Solid State Lighting: Toward Superior Illumination," in *Proc. of the IEEE*, vol. 93, No. 10, pp. 1691-1703, Oct. 2005.
- [2] Heinz van der Broeck, Georg Sauerlander, and Matthias Wendt, "Power driver topologies and control schemes for LEDs," in *Proc. APEC Conf.*, 2007, pp. 1319-1325.
- [2] Kening Zhou, Jian Guo Zhang, Subbaraya Yuvarajan, Senior Member, and Da Feng Weng, "Quasi Active Power Factor Correction Circuit for HB LED Driver," *IEEE Trans. on Power Electron.*, vol. 23, No. 3, pp. 1410-1415, May 2008.
- [4] Huang Jen Chiu, Yu Kang Lo, Jun Ting Chen, Shih Jen Cheng, Chung Yi Lin, and Shann Chyi Mou, "A High Efficiency Dimmable LED Driver for Low Power Lighting Applications," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 57, No. 2, pp. 735-743, Feb. 2010.