

# LED 구동을 위한 단일전력단 역률개선 Forward-Flyback 컨버터

금문환, 황민하, 정영진, 오동성\*, 한상규  
국민대학교 전자공학과, 삼성전기\*

## Single-stage Power Factor Correction Forward-Flyback Converter for LED Driving

Moon Hwan Keum, Min ha Hwang, Young Jin Jung, Dong Sung Oh\*, Sang Kyo Han  
Dept. of Electronics Engineering, Kookmin Univ., \*Samsung Electro-Mechanics Co.

### ABSTRACT

본 논문은 LED 조명용 구동회로에 적합한 새로운 단일전력단 역률개선 Forward Flyback 컨버터를 제안한다. 제안된 컨버터는 기본적으로 Forward 컨버터로서 동작하므로 트랜스포머 자화인덕터 전류의 오프셋을 최소화 할 수 있으며 스위치 오프 시 트랜스포머 자화 인덕터 전류를 Flyback 동작에 의해 출력 측으로 회생시킴으로서 순환전류를 최소화 할 수 있다. 뿐만 아니라 기존 Forward 컨버터의 경우 입력전압이 낮은 영역에서 큰 Dead zone이 존재하므로 고역률의 획득이 어려우나 제안된 회로의 경우 매 스위칭 시 Flyback컨버터 동작을 동시에 수행하므로 높은 역률을 획득할 수 있다. 최종적으로 제안된 회로의 우수성 검증을 위해 24W급 조명용 LED 구동회로의 시작품을 제작을 통한 실험 결과를 제시한다.

### 1. 서론

현재 조명용으로 가장 많이 사용되고 있는 형광등은 환경오염 물질인 수은, 납 등의 중금속 물질로 구성되어 있어 큰 환경문제를 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.<sup>[1]</sup> 조명용 LED 구동회로는 안전규격 만족을 위해 전기적인 절연이 필수적이며, 일반적인 전원회로와 달리 25W 이하의 낮은 전력 용량의 제품에서도 역률 보정 기능과 고조파 규제가 적용되고 에너지 소모를 줄이기 위해 90%이상의 고효율 동작이 요구된다. 하지만 기존의 역률보정 Flyback 컨버터는 코어 손실 등으로 인하여 높은 효율을 얻기가 힘든 단점이 존재한다. 이를 해결하기 위해 본 논문은 기존 Flyback 컨버터에 비해 코어 손실이 저감되어 고효율 동작이 가능한 Forward Flyback 컨버터를 제안한다.<sup>[2]</sup>

### 2. 제안 Forward-Flyback 컨버터

그림 1은 본 논문에서 제안하는 단일 전력단 역률개선 Forward Flyback 컨버터를 보이고 있으며 그림에서 보인 바와 같이 1차측은 Flyback 컨버터와 동일하며 출력단은 Forward와 Flyback 컨버터가 병렬 연결된 구조를 가진다. 제안된 Forward Flyback 컨버터는 입력전압이 트랜스포머의 2차 측으로 유기되는 전압( $V_{sec}$ )과 출력전압( $V_o$ )의 크기에 따라 2가지 경우로 동작한다.

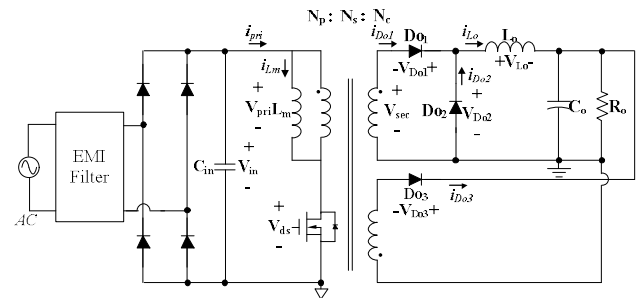


그림 1 제안된 Forward-Flyback 컨버터  
Fig. 1 Circuit diagram of the Proposed Forward-Flyback Converter

### 2.1 동작모드 해석

제안회로는 전류연속모드(CCM), 전류불연속모드(DCM), 전류경계모드(BCM) 모두 동작이 가능하나 상세한 동작 설명을 위해 BCM으로 동작하는 Flyback컨버터와 DCM으로 동작하는 Forward 컨버터를 일례로 든다.

입력전압으로부터 트랜스포머 2차측에 유기되는 전압이 출력전압보다 클 경우 제안 회로는 스위치 도통할 때 Forward 컨버터로 스위치 차단될 때 Flyback 컨버터로 동작하게 된다. 반면 입력전압으로부터 트랜스포머의 2차측에 유기되는 전압이 출력전압보다 작을 경우 제안 회로는 Flyback 컨버터로만 동작하며 Forward 컨버터의 동작은 일어나지 않게 된다.

#### 2.1.1 $V_{sec} > V_o$ 경우

$V_{sec}$ 가  $V_o$ 보다 클 경우 제안회로는 총 3가지 동작모드로 나누어지며 모드 1은 스위치가 도통하는 구간으로 그림 2 (a)와 같은 도통경로를 형성한다. 이 때 다이오드  $D_{01}$ 이 도통하면서 입력에너지는 트랜스포머와 출력 인덕터를 통해 출력 부하로 전달되며 그 중 일부는 자화 인덕터  $L_m$ 에 저장된다. 모드 2는 스위치가 차단된 구간으로 그림 2 (b)와 같은 도통경로를 형성한다. 이전 모드에서 트랜스포머 자화 인덕터에 저장된 에너지는 Flyback 출력권선과 다이오드  $D_{03}$ 를 통해 출력 측으로 전달된다. 한편 스위치 차단과 동시에 다이오드  $D_{01}$ 은 차단되고  $D_{02}$ 가 도통하여 출력 인덕터 전류는 freewheeling하며 감소한다. 이후 출력 인덕터 전류가 0이 되면 그림 2 (c)와 같은 도통경로를 형성하며 모드 3이 시작된다. 트랜스포머 자화인덕터 에너지는 모드 2에서와 마찬가지로 다이오드  $D_{03}$ 를 통해 계속해서 출력부하측으로 전달되며 이 전류가 0이 되면 모드 3 구간이 끝나며, 이때 영전류가 검출되어 스위치가 다시 턴 온 된다.

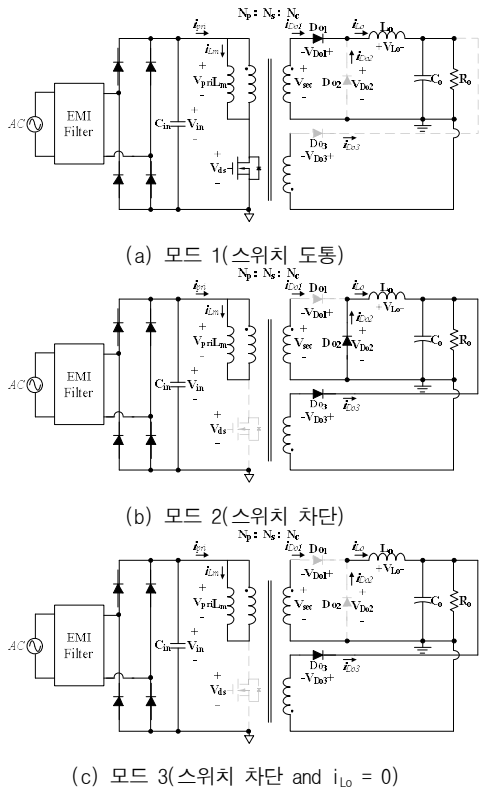


그림 2 제안된 컨버터의 각 구간별 등가회로  
Fig. 2 Equivalent circuit of Proposed Converter at Each Mode

### 2.1.2 $V_{sec} < V_o$ 경우

$V_{sec}$ 가  $V_o$ 보다 작으므로 스위치 도통 시 Forward 컨버터는 동작하지 않는다. 따라서 제안된 회로는 일반적인 BCM Flyback 컨버터와 동일하게 동작한다. 즉 스위치 도통 시 트랜스퍼머 2차측의 모든 다이오드는 차단되어 있고 입력 에너지를 트랜스퍼머 자화 인덕터에 저장한다. 이 후 스위치가 차단되면 그림 2 (c)와 같이 다이오드  $D_{o3}$ 가 도통하여 자화 인덕터에 저장된 에너지는 출력 측으로 전달한다.

## 3. 실험결과

제안 회로의 타당성 검증을 위해 24W급 조명용 LED 구동 회로의 시작품 제작을 통한 실험결과를 제시한다. 실험에 사용된 주요 사양 및 소자 파라미터는 입력전압 90~264[V<sub>rms</sub>], 출력전압 42[V<sub>DC</sub>], 출력전류 570[mA]이며, 트랜스퍼머 턴 비는 54:18:18, 자화 인덕턴스는 1.382[mH], 누설 인덕턴스는 4.84[uH], 출력 인덕터 75[uH]이다. 그림 3은 입력전압이 90Vrms와 264Vrms일 때 트랜스퍼머 1차측 전류  $I_{pri}$ , 스위치 양단전압  $V_{ds}$ , 출력인덕터 전류  $I_{Lo}$ , 다이오드  $D_{o3}$ 전류  $I_{D_{o3}}$ 를 보이고 있으며  $I_{pri}$  파형에서 보인 바와 같이 입력전류가 사인파를 잘 추종하고 있음을 알 수 있다. 한편 입력전압이 90Vrms로 낮을 경우  $V_{sec}$ 가  $V_o$ 보다 큰 구간이 짧기 때문에 Flyback컨버터로 주로 동작하며 그림3 (a)에서 보인바와 같이  $I_{Lo}$ 가 적고  $I_{D_{o3}}$ 가 많이 흐름을 알 수 있다. 반면 입력전압이 264Vrms와 같이 높을 경우 그림3 (b)에서 보인바와 같이  $I_{Lo}$ 가 증가하고  $I_{D_{o3}}$ 가 감소한 것을 알 수 있다. 그림 4는 기존 및 제안회로의 효율을 비교하고 있으며 보이는 바와 같이 기존회로보다 제안된 회로가 전반적으로 높은 효율을 보이고 있으며 입력전압이 높을수록 Forward 컨버터의 동작구간이 많아지므로 높은 효율을 나타내고 있다. 뿐만 아니라 역률이 가장 낮은 경우인 최대 입력전압 264Vrms에서 91.4%의 높은 역률을 달성함을 확인 할 수 있다.

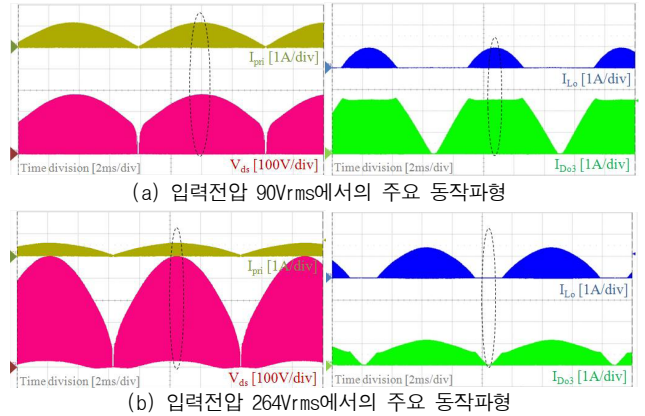


그림 3 제안 Forward-Flyback 컨버터의 주요 동작파형  
Fig. 3 Experimental Waveforms of Proposed Converter

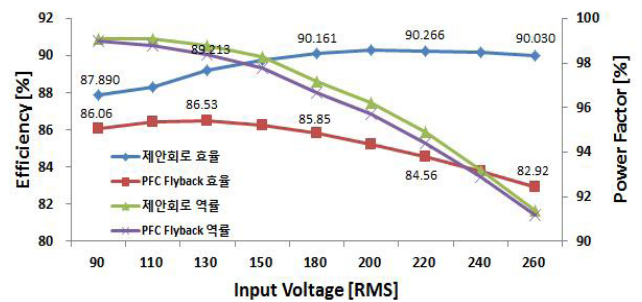


그림 4 기존 회로와 제안 회로의 효율 비교  
Fig. 4 Measured Efficiency of Proposed Converter

## 4. 결론

기존 24W급 정도의 소용량 Flyback 컨버터의 경우 큰 자화 전류로 인해 트랜스퍼머 코어손실이 전체 효율에 미치는 영향이 매우 높아 90% 이상의 높은 효율을 기대하기 어렵다. 반면 제안된 단일전력단 역률개선 Forward Flyback 컨버터의 경우 트랜스퍼머 자화 인덕터 전류의 오프셋이 작아 코어손실을 최소화 할 수 있으며 Forward 동작 시 트랜스퍼머의 자화 인덕터 전류를 출력측으로 회생시킴으로써 모든 스위칭 구간에서 powering이 가능하므로 고효율 달성이 용이하여 기존대비 약 4%이상의 효율개선을 획득하였다. 뿐만 아니라 매 스위칭 주기에서 Flyback 동작이 이루어지므로 입력 전류의 Dead zone이 없어 입력전압 전영역에서 91%이상의 고효율 및 고훈률 달성 가능하다. 따라서 본 논문에서 제안된 회로는 고효율 및 고훈률 단일전력단 전원회로로 매우 적합함을 확인하였으며, 유사한 입/출력 사양을 갖는 다양한 응용분야에서 적합하게 사용될 수 있는 것으로 예상된다.

본 연구는 삼성전기(주)의 연구비 지원과 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT연구센터육성 지원사업의 연구결과로 수행되었음 (NIPA 2012 H0301 12 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] Yoshito Kusuhara, Tamotsu Ninomiya and Shin Nakagawa, "Steady State Analysis of a Novel Forward Flyback Mixed Converter", Proceeding of the EPE PEMC, pp. 60-65, 2006, August.