

## 출력 리플 저감을 위한 LED 드라이버의 주회로 방식 특성 비교

박대수, 김태경, 오성철\*  
한국기술교육대학교 전기전자통신공학과

### Comparison of Main Circuit Type Characteristics of LED Driver for Output Ripple Reduction

Dae-Su Park, Tae-Kyung Kim, Sung-Chul Oh\*  
Korea University of Technology and Education,  
School of Electrical, Electronics and Communication Engineering

**요약** 최근에, 전원 공급 장치에 있어서 파워의 품질에 대한 요구가 높아지고 있다. IEC 61000-3-2 규격은 조명을 위한 AC/DC 전원 공급 장치에 대하여 역률(PF)과 전체 파형 왜곡률(THD)에 대한 규격을 만족하도록 요구하고 있다.[1] 또 출력단의 전류 변화에 의해 발광체 광량이 바뀔 때 따라 발생하는 플리커 현상에 대해 유럽권 선진국가는 ripple rate의 기준을 15~30%로 설정해 규제하고 있다. 따라서 국내에서도 기준을 마련하고 규제를 추진 중에 있다.[2] 그래서 본 논문은 PFC 규격을 만족하고, 회로 1차, 2차 간 절연 기능을 가지기 위해 Flyback 컨버터를 적용하며, LED 전류의 저주파 리플을 저감하기 위해 Flyback, Coupled Inductor, LC 병렬 공진 필터, LLC 공진 필터, Cuk을 이용한 각각의 LED 구동회로를 PSIM을 통해 시뮬레이션 함으로써 각각의 방식들을 비교하였으며, 출력측 리플 저감을 위해 1차측에 Coupled Inductor와 2차측에 LC 공진을 적용한 Coupled LC 공진 회로를 제안하였으며, Coupled LC 공진 방식은 출력 커패시터가 78 $\mu$ F으로 작으며, 출력 리플은 전압 2.38V, 전류 0.05A로 기존의 방식보다 22%의 출력 리플 저감을 확인 하였다.

**Abstract** Recently, there has been increasing demand for power quality in power supply devices. The IEC 61000-3-2 standard requires that the AC / DC power supply for lighting meet the specifications for the power factor (PF) and total waveform distortion (THD). [1] In addition, advanced countries in Europe are regulating the ripple rate as 15 ~ 30% for the flicker phenomenon caused by the change in the amount of foot energy due to the change in current of the output terminal. Therefore, domestic standards and regulations are being updated. [2] This study adopted the Flyback converter to satisfy the PFC standard, and has the circuit first and second insulation function. To reduce the low frequency ripple of the LED current, Flyback, Coupled Inductor, LC parallel resonance filter, LLC resonance filter, and Cuk were simulated by PSIM to mimic each LED driving circuit. A coupled LC resonant circuit with a coupled inductor on the primary side and LC resonance on the secondary side was also proposed for output side ripple reduction.

**Keywords :** LED, LC Resonant, Coupled Inductor, LLC Resonant, PFC

#### 1. 서론

발광 다이오드 LED는 낮은 소비전력과 긴 수명의 장점으로 인해 날이 갈수록 조명 산업에서 점점 더 많은 비중을 차지하고 있다. LED는 직류를 통해 구동되기 때

문에 사용전원에서 사용하기 위해서는 교류 전원을 직류로 변환시켜줄 수 있는 AC/DC 컨버터를 필요로 한다.[1]

LED 구동을 위한 AC/DC 컨버터의 역률 보정(Power

\*Corresponding Author : Sung-Chul Oh(Korea University of Technology and Education)

Tel: +82-41-560-1733 email: scoh@koreatech.ac.kr

Received July 25, 2018

Revised December 31, 2018

Accepted March 8, 2019

Published March 31, 2019

Factor Correction, PFC)은 단일단 컨버터 방식과 2단 컨버터 방식으로 구현이 가능하다. 2단 컨버터는 역률 보정 회로와 출력을 제어하는 회로로 구성되어 있어서 출력 리플이 작고 큰 용량의 부하에도 적용할 수 있는 장점이 있지만 소자가 단일단에 비해서 많고 가격이 비싸며 크기가 큰 것이 단점이다.

또한 LED 구동을 위한 AC/DC 컨버터는 안전을 위하여 절연형이 요구된다.[1]

따라서, 다른 컨버터에 비해서 부품의 개수가 적고, 변압기의 권선비를 변화시켜 출력 전압을 쉽게 가변시킬 수 있는 플라이백 컨버터를 사용한다.[2]

본 논문에서는 인덕터의 누설 인덕턴스를 산정하고 이 값을 맞추기 위해 공극과 턴 수를 조절한 Coupled Inductor는 영 전류 스위칭으로 턴-온하면 1차측, 2차측에 전류가 유도되어 전류가 작게 흐르게 되며, 전류 리플을 저감할 수 있다. 그러므로 인덕터 전류 리플 감소를 최대화하기 위하여 결합 인덕의 결합 계수는 충분히 작아야 하며 충분한 누설 인덕턴스를 가지고 있어야 한다.[3]

그리고 대용량 전해 커패시터를 소용량 폴리에스테르 필름 커패시터로 교체하고, 출력 전류 리플을 저감시키기 위해 LC 병렬 공진 필터의 이상적인 경우와 기생 성분을 고려하였을 때의 출력 특성을 비교하여 LC 병렬 공진을 적용하였다.[4]

그리고 2가지 방식을 PSIM 통해 시뮬레이션 하였으며, 출력 파형에 대한 출력 리플을 비교하였다.

## 2. One-Stage PFC Flyback 컨버터

One-stage AC/DC 컨버터의 경우 출력에 큰 리플 성분이 존재함에도 불구하고, 가격적인 측면과 에너지 밀도에 있어서 Two-stage 컨버터와 비교해 볼 때 더 좋은 해결책이 될 수 있다. One-stage AC/DC 컨버터는 교류를 직류로 직접 바꾸는 컨버터를 의미하며, 개략적인 도면을 그림 1에 나타내었다.[4]

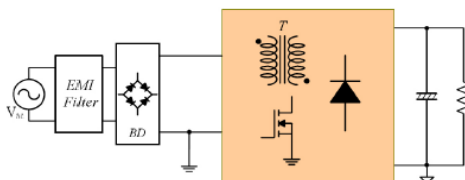


Fig. 1. One-stage AC-DC Converter

역률을 보정하는 기법은 인덕터에 흐르는 전류의 연속-불연속을 기준으로 분류할 수 있고, 플라이 백 컨버터는 인덕터가 2권선 또는 다중 권선이며 권선비가 다르기 때문에 자화전류, 즉 자속을 기준으로 연속-불연속을 판단하며, 연속 전도 모드(Continuous Conduction Mode, CCM), 불연속 전도 모드(Discontinuous Conduction Mode, DCM), 경계 전도 모드(Boundary Conduction Mode, BCM)로 분류할 수 있다.[4]

앞의 3가지 방법 중 경계 전도 모드는 스위치를 일정 시간 도통시킨 후 스위치를 끄고 나서 2차측 전류가 0[A]가 되는 순간 다시 스위치를 도통시키는 방법이다. 결과적으로 입력 전류와 입력 전압을 센싱 받을 필요가 없어 회로가 간단해지며, 복잡한 제어가 필요 없는 장점이 있다. 그림 2는 간략하게 표현된 One-stage AC/DC 플라이백 컨버터의 회로이다.[4]

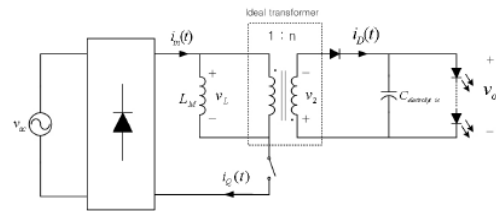


Fig. 2. One-stage PFC Flyback Converter

그림 2는 플라이백 컨버터를 경계 전도 모드로 동작하여 PFC를 수행하는 파형을 나타낸다. 플라이백 컨버터의 입력 전압은 입력 교류 전원이 전파 정류된 파형의 전압이 인가된다. 스위칭 주파수가 입력 전압의 주파수에 비해 매우 빠르면 스위칭의 한 주기에서 입력 전압은 고정된 값으로 보이기 때문에 매 스위칭 주기마다 전류의 피크치가 입력 전압의 크기에 따라 변하며, 스위치의 도통 시간이 일정하기 때문에 입력 전류의 모양은 인가되는 전압의 모양을 따라가는 방법으로 역률을 보정하게 된다.

그림 3에서  $i_Q$ 는 스위치 전류의 순시치,  $i_{Q(max)}$ 는 스위치 전류의 피크치를 연결한 값,  $i_D$ 는 다이오드 전류의 순시치,  $i_{D(max)}$ 는 다이오드 전류의 피크치를 연결한 값,  $i_{in(avg)}$ 는 입력 전류의 평균값(스위치 전류의 평균값과 동일)을 나타낸다. 그리고  $i_{Q(max)-pk}$ 와  $i_{D(max)-pk}$ 는 각각의 그래프에서의 최대값을 나타낸다.[4]

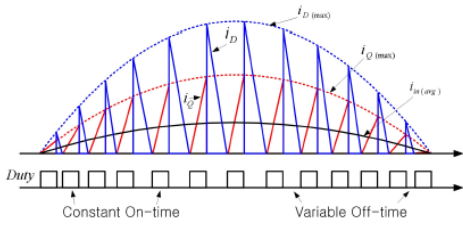


Fig. 3. Theoretical wave of BCM PFC[5]

컨버터를 설계하기 위해서 컨버터 변압기의 자화 인덕턴스를 구해야하며, 자화 인덕턴스를 구하기 위해서는 컨버터가 동작할 때 스위치가 도통하는 시간  $T_{on}$  중에서 가장 긴  $T_{on(max)}$ 를 정의해야 한다. 이외에도 수직을 유도함에 있어 필요한 파라미터를 표 1에 정리하였다.[5]

### 3. 회로 분석 및 시뮬레이션

#### 3.1 시스템 파라미터

Table 1. System parameters

Parameter	Value
Output power	33[W]
Output Current	1[A]
Output Voltage	33[V]
Switching Frequency	40[kHz]
Duty Ratio	0.15

표 1은 구동회로의 설계 사양을 나타낸다. 입력전원은 220Vac 사용전원을 이용하고 스위칭 주파수는 Transformer 크기와 Noise를 고려하여 40kHz 스위칭 주기를 설정하였으며, 자화 인덕턴스는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$L_m = \frac{V_T D_{max}}{I_{Q(max)} - pk f_{s(min)}} = \frac{D_{max}^2 V_{in(min)} - pk}{2 I_{in(avg)} - pk f_{s(min)}} \quad (1)$$

식 (1)에서 구한 자화 인덕턴스 값은 연속 전도 모드와 불연속 전도 모드의 경계치이며, 실제로 손실과 보조 권선을 이용하여 주변 회로에 전력을 공급하기 때문에 계산한 값보다 큰 값을 사용하였다.[5]

플라이백 변압기의 권선비는 다이오드의 순방향 전압 강하를 고려하여 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{(1 - D_{max})}{D_{max}} \frac{(V_o + V_D)}{V_{in(max)} - pk} \quad (2)$$

제한된 플라이백 컨버터의 자화인덕턴스 및 변압기 권선비는 위의 식 (1)과 (2)에 표 1의 시스템 파라미터를 대입하여 선정하였으며, 각각 자화인덕턴스  $L_m = 87[\mu H]$ , 변압기 권선비 46:15 이다.

#### 3.2 기존 회로 특성 및 시뮬레이션

기존에 사용되고 있는 회로의 특성을 비교하고 PSIM을 통해 시뮬레이션하여 출력 전압과 출력 전류 그리고 리플을 비교하였다.

##### 3.2.1 일반적인 Flyback 회로

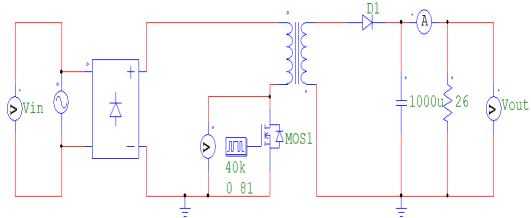


Fig. 4. Typical Flyback circuit

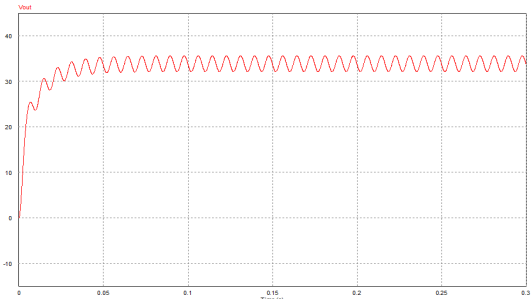


Fig. 5. Typical Flyback circuit output voltage waveform

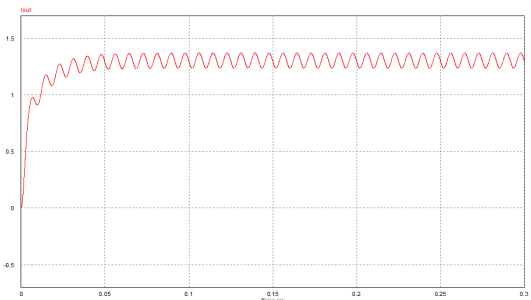


Fig. 6. Typical Flyback circuit output current waveform

그림 4는 One-stage의 일반적인 Flyback 회로이며, 그림 5는 일반적인 Flyback 회로의 출력 전압으로 33.02V로 3.46V의 리플이 측정 되었다.

그림 6은 일반적인 Flyback 회로의 출력 전류로 1.27A로 0.12A의 리플이 측정 되었다.

### 3.2.2 출력단 LC 공진 회로

One-stage PFC 플라이백 컨버터에서 전해커패시터를 사용하지 않고 필름커패시터로 교체를 하게 되면 수명 측면에서는 이익이지만 상대적으로 낮은 커패시터 용량으로 인해 출력측의 120[Hz] 리플 성분을 피할 수 없게 된다. 따라서 출력측의 리플 성분을 감소 시키기 위하여 LC 병렬 공진 필터를 적용할 수 있다. 제안된 시스템은 소용량의 필름커패시터와 출력측 리플 성분을 줄이기 위해 LC 병렬 공진 필터를 적용 하였다.[5]

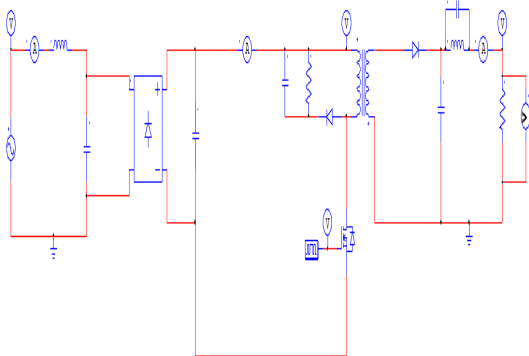


Fig. 7. Out stage LC resonant circuit

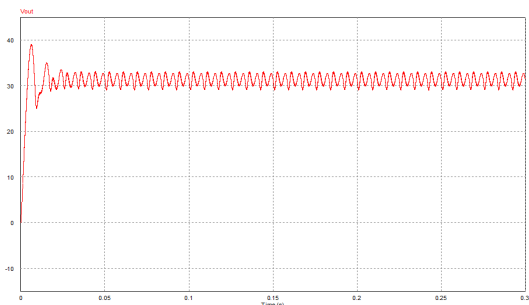


Fig. 8. Out stage LC resonant circuit Output voltage waveform

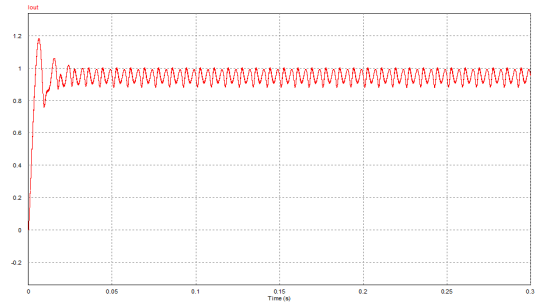


Fig. 9. Out stage LC resonant circuit Output current waveform

그림 7은 LC 공진 회로이며, 그림 8과 9는 LC공진 회로의 입력 전압과 전류 파형으로 33.29V로 3.27V의 리플과 1A의 리플 0.1A이 측정 되었다.

### 3.2.3 Coupled Inductor

기존의 컨버터는 여전히 전도 손실과 기생 인덕터 및 기생 커패시터로 인해 손실이 여전히 크고, 회로 소자수가 많고, 회로가 복잡하다는 단점을 갖고 있다. 그러므로 인덕터의 누설 인덕턴스를 산정하고 이 값을 맞추기 위해 공극과 턴 수를 조절한 Coupled Inductor는 영 전류 스위칭으로 턴-온하면 1차측, 2차측에 전류가 유도되어 전류가 작게 흐르게 되며, 전류 리플을 저감할 수 있다.[3]

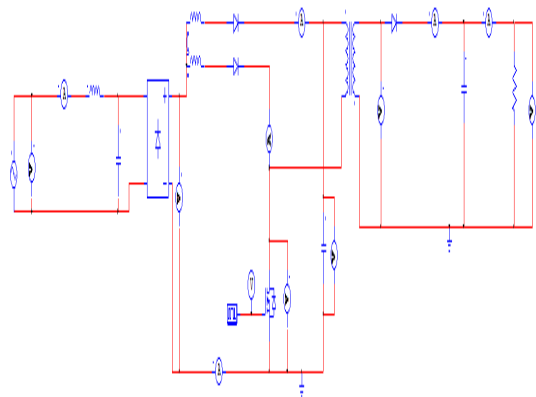


Fig. 10. Coupled Inductor circuit

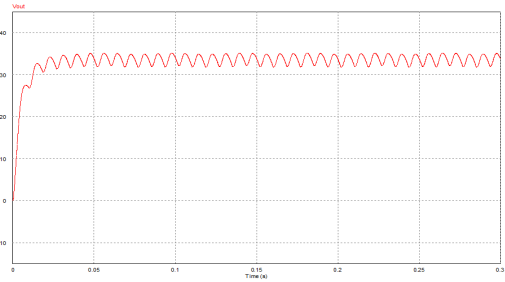


Fig. 11. Coupled Inductor circuit Output Voltage Waveform

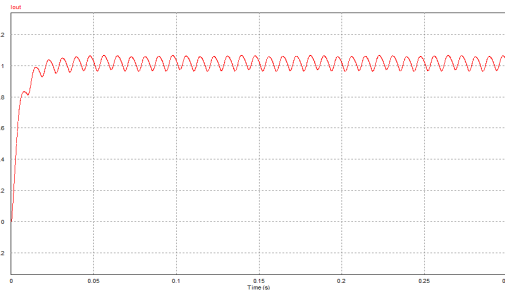


Fig. 12. Coupled Inductor circuit Output Current Waveform

그림 10은 Coupled Inductor 회로이며, 그림 11은 Coupled Inductor 회로의 출력 전압으로 33.03V로 3.05V의 리플이 측정 되었다.

그림 12는 Coupled Inductor 회로의 출력 전류로 1A로 0.1A의 리플이 측정 되었다.

### 3.2.4 LLC 공진 회로

LLC 공진 컨버터는 구조가 간단하고, 넓은 부하 영역에 대해 1차측 스위치의 영전압 스위칭과 2차측 정류 다이오드의 영전류 스위칭을 보장하기 때문에 현재 중용량 급 전력을 필요로 하는 시스템에 널리 적용되고 있는 회로방식이다.[6]

LLC 공진 컨버터 회로는 LC 직렬 공진 컨버터와 유사하지만 단지 자화인덕턴스가 다른 특징을 가지며, 실제 설계에서는 이 병렬인덕터는 트랜스포머의 자화인덕턴스를 사용한다.[6]

그림 13은 LLC 공진 회로이며, 그림 14는 LLC공진 회로의 출력 전압으로 33.08V로 1.13V의 리플이 측정 되었다.

그림 15는 LLC 공진 회로의 출력 전류로 1A로 0.03A의 리플이 측정 되었다.

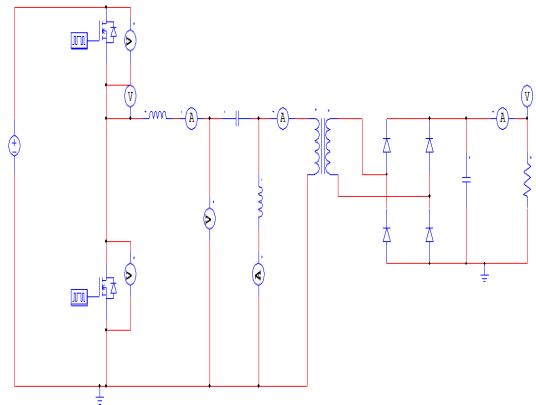


Fig. 13. LLC resonant circuit

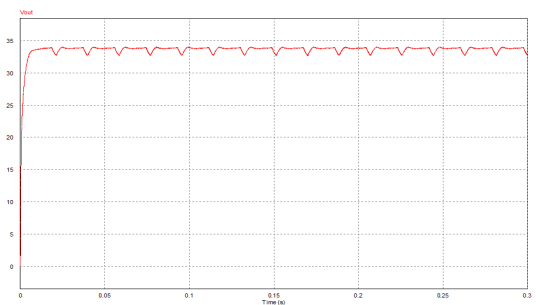


Fig. 14. LLC resonant circuit output voltage waveform

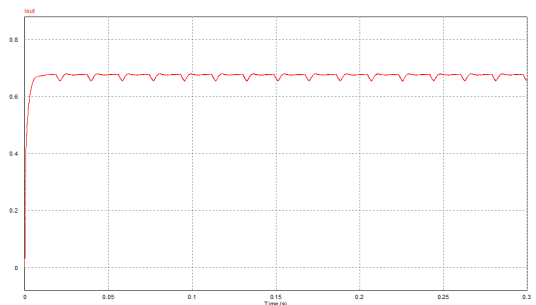


Fig. 15. LLC resonant circuit output current waveform

### 3.2.5 Cuk 회로

Cuk 회로는 Step-down/up 컨버터로 백-부스트 컨버터처럼 출력전압의 극성은 음으로 입력전원과 반대이고, 커패시터가 인덕터와 함께 에너지를 전달하는 역할을 한다.[7]

절연형 Cuk 회로는 입력 측과 출력 측을 전기적으로 절연할 뿐만 아니라 또한 Cuk 컨버터의 모든 특성을 가지고 있지만 한 방향으로의 에너지 전달만 가능하다.[7]

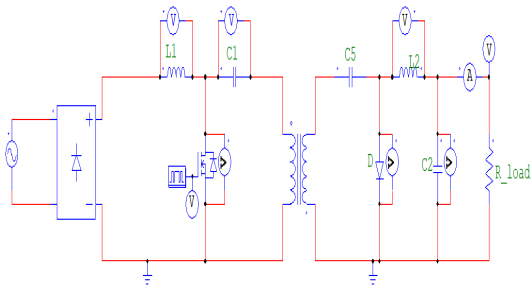


Fig. 16. Cuk circuit

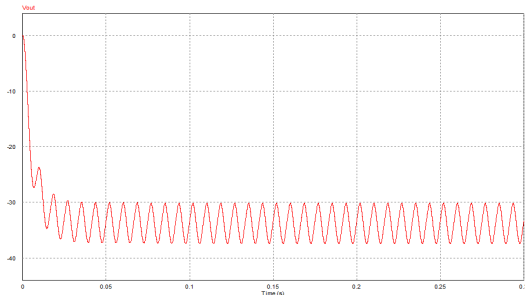


Fig. 17. Cuk circuit output voltage waveform

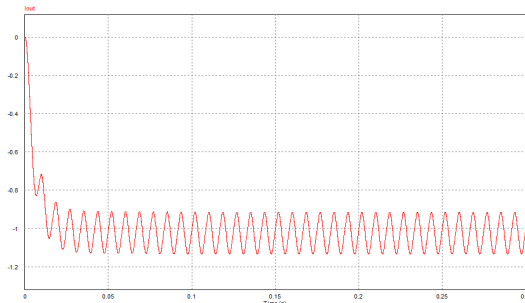


Fig. 18. Cuk circuit output current waveform

그림 16은 Cuk 회로이며, 그림 17은 Cuk 회로의 출력 전압으로 33.21V로 7.12V의 리플이 측정 되었다.

그림 18은 Cuk 회로의 출력 전류로 1A로 0.21A의 리플이 측정 되었다.

#### 4. 제안하는 회로

본 논문에서 제안하는 Coupled LC 공진 회로는 출력 측 리플 저감을 위해 1차측에 Coupled LC와 출력 커패시터 용량을 줄이기 위해 2차측에 LC 공진을 적용하였다.

#### 4.1 Coupled Inductor 설계

좋은 역률을 달성하기 위해서 그림 19와 같이 결합된 인덕터의 불연속 전도 모드(DCM) 동작을 보장해야한다.[8]

그림 19에서의  $D_1 T_s$ 는  $t_0$ 에서  $t_1$ 까지 시간이며,  $D_2 T_s$ 는  $t_1$ 에서  $t_2$ 까지의 시간이다.

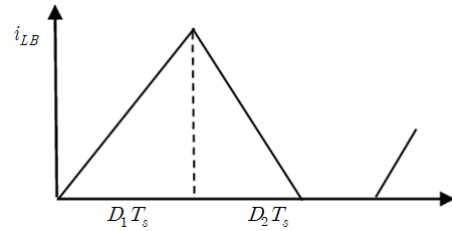


Fig. 19. Current waveforms flowing through the coupled Inductor [8]

$$D_1 + D_2 \leq 1 \quad (3)$$

$$D_1 = \frac{V_o}{V_1(t)} \sqrt{\frac{2L}{T_s R}} \quad (4)$$

$$D_2 = \frac{|V_g(t)|}{V_1(t) - |V_g(t)|} \quad (5)$$

여기서, R은 LED의 등가 저항이며,  $V_1(t)$ 은 1차측 커패시터 전압,  $T_s$ 는 스위칭 사이클의 주기이다. 식 (3)에 식 (4)과 (5)를 대입하면, Flyback 자화 인덕턴스를 얻을 수 있다.[8]

$$L \leq \frac{T_s}{2P_o} [V_1(t) - V_g(t)]^2 \quad (6)$$

식 (6)의  $P_o$ 는 출력 전력이며, 단순화하기 위해  $V_1 = V_1(t)$ 을 근사화 하였다. 따라서 범용 입력 범위에 대해 LB가 DCM에서 작동하도록 하려면 제한 조건을 충족해야한다.[8]

$$L \leq \frac{T_s}{2P_o} [V_1 - V_{in\_peak@100V}]^2 \quad (7)$$

$$V_1 = \frac{V_{in\_peak}}{2} (0.92 + \sqrt{1.92(L/L_B) + 0.8464}) \quad (8)$$

식 (7)의  $V_{in\_peak@100V}$ 는 제품 평균 제품근(RMS)의 값이 100V일 때  $V_{in}$ 의 최대 값이며,  $V_1$ 은 1차측 커패

시터 전압과 같다. 따라서  $L/LB=0.75$ 을 얻을 수 있다.[8]

또, 식(8)을 계산하여  $L \leq 0.77mH$  값을 얻었으며, 최종적인 자화 인덕턴스 값은  $750\mu H$ 로 정하였다. 식(7)와 (8)에 의해 Coupled Inductor의 자화인덕턴스는  $1.1mH$ 로 선정했다.[8]

#### 4.2 LC 공진 필터 설계

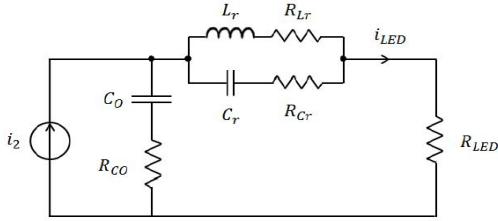


Fig. 20. LC parallel resonance filter[9]

LC 공진필터는 L과 C의 곱에 반비례하기 때문에 다양한 조합에 의해서 구현될 수 있다. 인덕터의 내부 저항은 인덕턴스 값에 비례하여 나타나며 커패시터의 내부 저항도 존재하지만 저항의 크기는 인덕터의 저항에 비하여 무시할 수 있을 정도로 작다.[9]

$$T_{actual} = \frac{v_{out}}{v_{in}} = \frac{s^2 \frac{R_{load}}{R_1} + s \frac{R_{load}(R_{ESR} + R_L)}{LR_1} + \frac{R_{load}}{LCR_1}}{s^2 + s \frac{L + CR_2}{LCR_1} + \frac{R_L + R_{load}}{LCR_1}} \quad (9)$$

$R_1 = R_{ESR} + R_{load}$ ,  $R_2 = R_{load}R_L + R_L R_{ESR} + R_{ESR}R_{load}$ 를 나타낸다.

$$f_{resonant} = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}} \quad (10)$$

식 (9)는 커패시터의 등가 직렬저항( $R_{ESR}$ ), 인덕터의 저항 성분( $R_L$ ), 기생성분을 포함한 경우의 전달함수를 나타내고, 식 (10)은 LC 병렬 공진 회로의 공진 주파수를 나타낸다.[5]

LC 병렬 공진 회로의 이득은 음의 무한대를 갖는다. 그러나 인덕터의 저항성분과 커패시터의 등가직렬저항 성분을 고려하면, 이득은 유한한 값을 가지기 때문에 필터의 반응 속도가 느려지고, 성능이 저하되며, 추가적인 전력 손실이 일어나게 된다.[5]

LC 병렬 공진 회로의 기생 성분을 고려하였을 때 리플이 더 크고,  $120[Hz]$  주기의 처음부분에서 일그러짐이

발생하는 특징을 갖는다. 또 인덕터의 저항성분이 커패시터의 등가 직렬 저항보다 일반적으로 크기 때문에 인덕터의 저항 성분이 LC 병렬 공진 회로의 성능에 더 큰 영향을 준다.[5]

따라서, 기생성분은 테이터시트에 의해 적용하였고, 또 사용한 LC 병렬 공진 필터의 인덕터와 커패시터의 값은 시뮬레이션에 의해서  $L = 22.5[mH]$ 이고,  $C = 78[\mu F]$ 으로 선정하였다.[5]

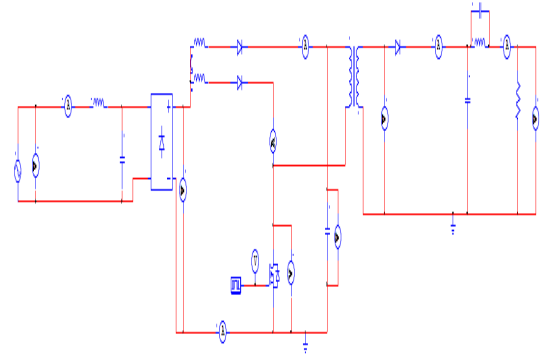


Fig. 21. Coupled LC resonant circuit

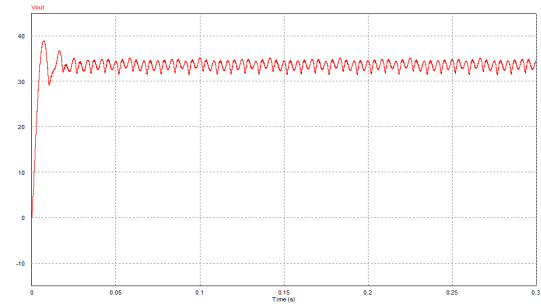


Fig. 22. Coupled LC resonant circuit output voltage waveform

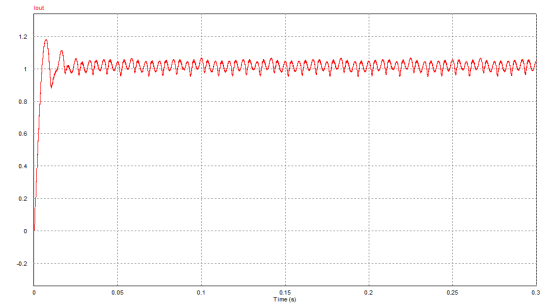


Fig. 23. Coupled LC resonant circuit output current waveform



그림 21는 Coupled Inductor를 사용한 Flyback 회로이며, 그림 22은 출력 전압으로 33.4V로 2.38V의 리플이 측정 되었다. 그림 23은 회로의 출력 전류로 1.01A로 0.05A의 리플이 측정 되었다.

### 4.3 시뮬레이션 결과 및 회로 비교

표 2와 같이 회로를 각각 비교 해보면 출력 커패시터는 78uF로 출력단 LC공진이 작으며, 출력 리플은 Coupled가 전압 3.05V, 전류 0.09A로 나왔다.

그래서 본 논문은 출력 커패시터가 작은 LC 공진과 출력 리플은 작은 Coupled을 합쳐서 Coupled LC 공진 회로를 만들었다.

따라서, Coupled LC 공진은 표 2와 같이 출력 커패시터에 78uF를 사용 하였고, 전압 2.38V, 전류 0.05A의 출력 리플을 확이 하였으며, 기존의 Coupled와 LC 공진보다 출력 리플 저감을 확인 하였다.

스위치는 LLC 공진 방식이 2개로 많았으며, 부품은 1개로 일반적인 Flyback이 적었으며, Coupled LC 공진이 8개로 많았다.

총 커패시터 용량에서는 출력단 LC 공진이 입력측 206.8nF, 출력측 156uF으로 작았으며, 일반적인 Flyback 회로가 1000uF으로 가장 많았다.

Table 2. Simulation results and circuit comparison table

	출력 커패시터	출력 전압 : 전류	출력 리플	스위치	부품	총 커패시터 용량
Flyback	1000u	전압 : 33.02V 전류 : 1.27A	전압 : 3.46V 전류 : 0.12A	1	커패시터 : 1	출력측 : 1000uF
Coupled	470u	전압 : 33.03V 전류 : 1A	전압 : 3.05V 전류 : 0.09A	1	커패시터 : 3 인덕터 : 3	입력측 : 10.1uF 출력측 : 470uF
LC 공진	78u	전압 : 33.29V 전류 : 1A	전압 : 3.27V 전류 : 0.1A	1	커패시터 : 5 인덕터 : 2	입력측 : 206.8nF 출력측 : 156uF
Cuk	470u	전압 : 33.21V 전류 : 1A	전압 : 7.12V 전류 : 0.21A	1	커패시터 : 2 인덕터 : 2	입력측 : 10uF 출력측 : 480uF
LLC 공진	220u	전압 : 33.08V 전류 : 1A	전압 : 1.13V 전류 : 0.03A	2	커패시터 : 2 인덕터 : 2	입력측 : 39nF 출력측 : 220uF
Coupled + LC 공진	78u	전압 : 33.4V 전류 : 1.01V	전압 : 2.38V 전류 : 0.05A	1	커패시터 : 4 인덕터 : 4	입력측 : 10.1uF 출력측 : 156uF

## 5. 결론

본 논문에서는 One-Stage PFC Flyback 컨버터의 전류 리플 저감 위하여 입력과 출력단에 각각의 회로를 구성하여 시뮬레이션 결과와 회로 통해 비교하였다. 그 결

과로 출력 커패시터는 78uF으로 출력단 LC 공진이 작았으며, 출력값은 출력 전압(33.03V)와 출력 전류(1A)로 Coupled 방식이 좋은 것을 알 수 있었으며, 출력 리플을 보면 출력 전압(3.05V)과 출력 전류(0.09A)으로 Coupled가 좋은 것을 알 수 있었다.

따라서, 본 논문에서는 Coupled LC 공진 방식을 제안하였으며, 이 Coupled LC 공진 방식은 출력 커패시터가 78uF으로 작으며, 출력 리플은 전압 2.38V, 전류 0.05A로 기존의 방식보다 전압 22%, 전류 44%의 출력 리플 저감을 확인 하였다.

그리고 추후 본 논문에서 제시한 회로들을 PFC 제어를 적용하여 출력 리플을 분석 할 것이다.

## References

- [1] Choon-Tack Kim, "Optimal Hysteresis Control for CCM Driving of a Single-Stage PFC Flyback Converter for LED Lightings", The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers, pp. 586-592, 2016.
- [2] Gyung-Seok Han, "Single-stage LED Driver Circuit of Primary Side Control", 2015.
- [3] Hye-Ri Kim, "Wind turbine/Photovoltaic Hybrid Converter Using Coupled Inductor", 2014.
- [4] Yong-Sung Jeon, Dal-Lae Jin, Jae-Du La, Young-Seok Kim, " Study of the Elimination of the Electrolytic Capacitors and Reduction of the Ripple Current on the Output Node in the One-Stage PFC Flyback Converter for the LED Lighting", The transactions of The Korean Institute of Electrical Engineers, pp. 1625-1633, 2011.
- [5] Yong-Sung Jeon, "A Study on Single-stage PFC Flyback Converter for LED Lighting without Electrolytic Capacitors", 2013.
- [6] Chang-Gyo Jung, "Using PWM controller LLC Resonant Converter", 2011.
- [7] sheng xu-Piao, "Improve output Ripple by Cuk Converter for Bi-directional Charging Discharge", 2016.
- [8] Yi Li, "Design and Control of a Single-Stage LED Driver with Low Output Current Ripple", 2016.
- [9] Choon-Tack Kim, Young-Seok Kim, "The Study of Ripple Reduction of the PFC CCM Flyback Converter without Electrolytic Capacitor for LED Lightings using LC Resonant Filter", The transactions of The Korean Institute of Electrical Engineers, pp. 601-610, 2016.



박 대 수(Dae-Su Park)

[정회원]



- 2006년 2월 : 건양대학교 디지털정보 제어공학 (공학사)
- 2013년 2월 : 한국기술교육대학교 대학원 전기공학과 (공학석사)
- 2013년 3월 ~ 현재 : 한국기술교육대학교 대학원 전기공학과 (공학 박사)

<관심분야>

전원장치 설계, 신재생에너지

김 태 경(Tae-Kyung Kim)

[정회원]



- 2014년 2월 : 한국기술교육대학교 전기공학 (공학사)
- 2018년 2월 : 한국기술교육대학교 대학원 전기공학과 (공학석사)
- 2018년 3월 ~ 현재 : 한국기술교육대학교 대학원 전기공학과 (공학 박사)

<관심분야>

전원장치 설계, 에너지 하베스팅

오 성 철(Sung-Chul Oh)

[정회원]



- 1980년 2월 : 서울대학교 전기공학과 (공학사)
- 1982년 2월 : 서울대학교 대학원 전기공학과 (공학석사)
- 1989년 5월 : Univ. of Florida 전기공학과 (공학박사)
- 1982년 3월 ~ 1994년 8월 : 한국 전기연구원 선임연구원
- 1994년 9월 ~ 현재 : 한국기술교육대학교 전기전자통신 공학부 교수

<관심분야>

전원장치 설계, 전동기 제어