

다중 채널 LED 구동을 위한 모듈형 전류 평형 회로

김효훈, 구현수, 한상규[†]
국민대학교 POESLA

Modular Current-Balancing circuit for Multi-channel LED driving

Hyo hun Kim, Hyun su Gu, Sang kyoo Han[†]
Power Electronis System Laboratory, Kookmin University

ABSTRACT

본 논문은 다중 채널 LED(Light Emitting Diode) 구동을 위한 모듈형 전류 평형 회로를 제안한다. 기존 방식은 DC/DC 컨버터단과 다중 채널 LED 전류제어를 위해 각 채널마다 일정한 전류 제어를 하는 LED 드라이버단의 직렬 연결로 구성된다. 하지만 제안회로는 캐패시터의 전하평형원리에 의해 단일 채널 전류 제어로 모든 채널의 LED 전류를 동일하게 제어할 수 있어 DC/DC 컨버터와 LED 드라이버단을 하나로 통합한 단일 전력단 LED 구동회로 구성이 가능하며, 이는 회로구성의 단일화로 소자수 및 사이즈의 소형화가 가능하다. 또한 수동 소자만으로 이루어진 모듈형 회로로써 모듈의 추가에 따라 요구되는 LED 채널 수 만큼 다채널 모듈로 확장할 수 있다. 제안회로의 타당성 검증을 위해 1kW급 LED 구동회로에 적용한 시뮬레이션 결과를 제시한다.

1. 서 론

최근 고효율, 친환경 등 다양한 장점을 갖는 LED 조명이 꾸준한 주목을 받고 있으며 그 시장규모 또한 급증하고 있는 추세에 있다. 이에 따라 그 활용범위 또한 지속적으로 확대되고 있으며 이 중 항만, 경기장용 조명으로 사용되던 기존 대용량 할로겐 등을 LED 조명이 대체하고 있다. 이와 같이 LED의 응용분야가 대용량 조명으로 확대 적용되고 있으나 이에 대한 연구개발이나 제품출시는 저조한 수준이다. 고풍력 LED 조명의 경우 높은 휘도를 구현하기 위해 다채널의 LED를 사용하고 있으며 이를 구동하기 위해 기존 구동회로는 LED 열화 및 수명단축을 막기 위해 각 채널당 개별의 구동회로를 각각 사용하여 LED 전류를 제어하고 있어 회로가 복잡하고 시스템 사이즈가 크며 제작단가가 높은 단점을 가진다. 따라서 상기 단점을 극복하기 위해 본 논문에서는 하나의 구동회로로 다채널의 LED의 구동이 가능한 모듈형 전류평형 회로를 제안한다. 제안된 모듈형 전류평형 회로는 요구되는 채널 수 만큼의 모듈만 추가하여 구성하면 되므로 n개 채널로 확장 가능하며 n개 채널의 모든 LED 전류가 모두 동일하게 정밀 제어가 가능한 장점을 갖는다.

2. 제안 모듈형 전류평형 회로

2.1 제안된 회로의 동작원리

그림1은 제안된 전류 평형 모듈을 이용한 4 채널 LED 구동 회로를 일례로 보이고 있다. 그림1에서 보인 바와 같이 전류평형 모듈은 Master 모듈과 Slave 모듈로 나뉘지며 각 모듈은 다이오드 4개, 전류평형 캐패시터 1개로 구성되어 있다. Master

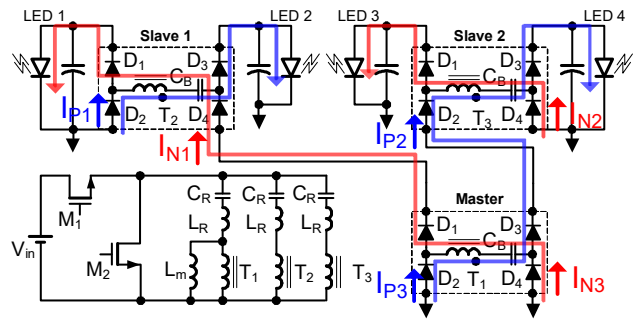


그림 1 제안 4-채널 전류 평형 LED 구동회로

모듈은 LLC 공진형 컨버터로 구성되어 있고 Slave 모듈은 큰 자화인덕턴스를 가진 트랜스포머에 누설인덕터 $L_{R,S}$ 와 공진 캐패시터 $C_{R,S}$ 가 공진 동작하는 직렬 LC 공진형 컨버터로 구성된다. 상세한 동작원리는 스위치 M1이 온 되어 트랜스포머 양단에 양의 전압이 인가될 경우 각 모듈은 다이오드 D2와 D3가 도통하고, 스위치 M2가 온 되어 트랜스포머 양단에 음의 전압이 인가될 경우 각 모듈은 다이오드 D1과 D4가 도통하게 된다. 이 때 트랜스포머 2차측과 직렬 연결된 전류평형 캐패시터 (C_B)는 스위칭 한주기 동안 전하평형원리에 의해 다음 식 (1)과 같이 각 모듈 D2와 D3를 통해 흐르는 전류 $I_{P,k}$ ($k = 1, 2, 3$)와 D1과 D4를 통해 흐르는 전류 $I_{N,k}$ ($k = 1, 2, 3$)를 서로 동일하게 한다.

$$I_{P,k} = I_{N,k} \quad (k = 1, 2, 3) \quad (1)$$

또한 Master 모듈의 D1이 Slave 모듈 1의 D4와 Master 모듈의 D3는 Slave 모듈 2의 D2와 연결되어 있으므로 다음 식 (2)와 같이 스위치 M1이 온 되어 트랜스포머 양단에 양의 전압이 인가될 경우 $I_{P,2}$ 과 $I_{P,3}$ 가 서로 동일해지고 스위치 M2가 온 되어 트랜스포머 양단에 음의 전압이 인가될 경우 $I_{N,1}$ 과 $I_{N,3}$ 가 서로 동일해진다.

$$I_{P,2} = I_{P,3}, \quad I_{N,1} = I_{N,3} \quad (2)$$

따라서 식 (1)과 식 (2)에 의해 다음 식 (3)과 같이 모든 전류는 서로 동일하게 평형을 이룬다.

$$I_{P,1} = I_{P,2} = I_{P,3} = I_{N,1} = I_{N,2} = I_{N,3} \quad (3)$$

따라서 다채널 중 하나의 채널에 흐르는 전류만 제어를 해도 상기한 원리에 의해 모든 채널의 전류가 동일하게 제어됨을 알 수 있다. 한편 Master 모듈의 다이오드 D1과 D3는 각각 Slave

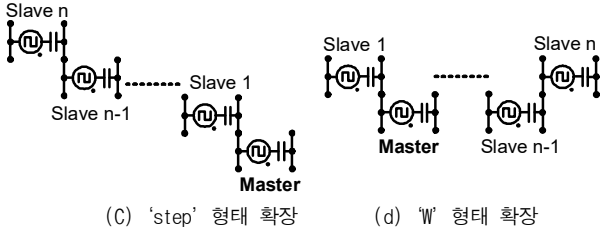
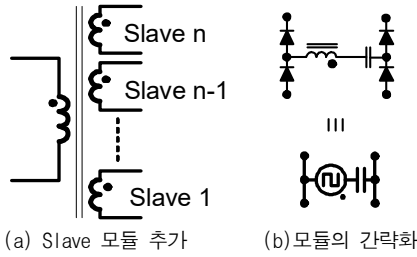


그림 2 제안된 회로의 다채널 모듈 확장성

모듈1의 D4 및 Slave 모듈 2의 D1과 서로 2개의 다이오드가 직렬 연결되어 있으므로 이들 다이오드 중 하나씩은 제거 가능하다.

2.2 제안된 회로의 다채널 모듈 확장

그림2는 제안된 회로의 모듈 확장 개념을 도식화하였다. 제안된 회로는 앞서 고찰된 바와 같이 전류평형 캐패시터에 의해 단일 채널 전류 제어로 모든 채널 전류 제어가 가능하므로 별 다른 전류 제어가 필요 없어 요구되는 채널 수 만큼 모듈의 추가만으로 회로를 확장할 수 있는 장점을 가진다. 모듈 추가 방법으로는 그림1에서와 같이 모듈별로 각각의 트랜스포머를 사용할 수 있고 경우에 따라 그림2(a)와 같이 트랜스포머 1개에서 2차 권선, 3차 권선, 또는 그 이상의 다중권선으로 구성하여 모듈 여러 개를 하나의 트랜스포머에 적용하여 사용할 수도 있다. 그림 2(b)는 확장성에 대한 설명의 편의를 위해 그림1에서 하나의 모듈을 그림과 같이 간략화 시켰다. 모듈을 연결하는 형태에 따라 다양한 방법의 모듈 확장이 가능한데 그 일례를 그림2(c), 2(d)에서 나타낸다. 본 논문에서 두 가지 형태를 제시하였지만 제안된 회로는 모듈형 회로로서 응용에 따라 어떠한 형태로든 n개 채널로 확장이 가능하다.

또한 그림과 같이 모듈의 추가는 LLC 공진형 컨버터로 구성된 Master 모듈에 직렬 LC 컨버터로 구성된 Slave 모듈을 추가하여 이루어지는데, Master 모듈은 MOSFET의 ZVS와 정밀한 제어가 가능하도록 선정하고, Slave 모듈은 Master 모듈과 공진주파수는 같지만, 큰 자화 인덕턴스를 가진 트랜스포머로써 선정되어 자화 인덕턴스 전류의 최대치가 낮아 도통손실을 줄일 수 있다. 따라서 제안된 회로의 다채널 모듈 확장에도 불구하고 전체 LED 구동회로의 손실증가를 현저하게 줄일 수 있다.

3. 모의실험 결과

제안회로의 타당성 검증을 위해 그림3과 같이 PSIM 시뮬레이션 소프트웨어를 이용한 모의실험을 수행하였다. 모의실험에 사용된 입출력 사양과 회로 파라미터는 $V_{in}=390[V]$, $V_{LED}=200\sim 215[V]$, $I_o=1.08[A]$, $L_{m,M}=180[uH]$, $L_{m,S}=1.8[mH]$, $L_{r,M}=56[uH]$, $L_{r,S}=46[uH]$, $C_{r,M}=36.3[nF]$, $C_{r,S}=47[nF]$ 이다. 그림4(a)는 4 채널 LED 전류의 정상상태 파형이다. 이 때 제안회로의 전류평형 성능을 고찰하기 위해 그림에 보이는 바와 같이 LED 전압에 각각 편차를 주고 기생 성분 역시 다르게 해주었음에도 불구하고 모든 채널의 출력 LED 전류는 정확히 1.08A로 평형이 이루어지는 것을 확인할 수 있다. 그림4(b)는 Master 모듈과 Slave 모듈의 공진전류와 자화 인덕턴스 전류

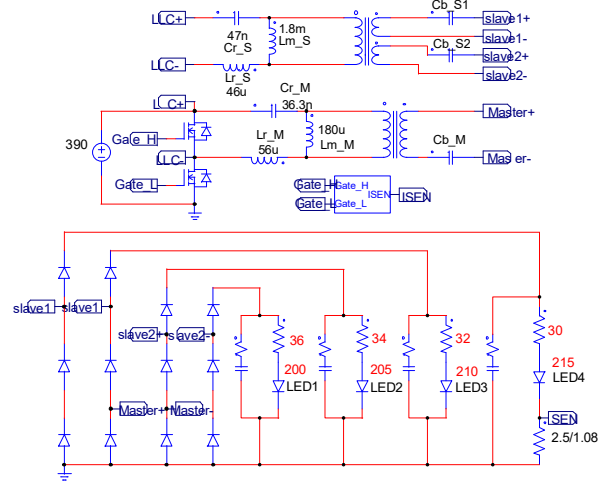


그림 3 제안된 4-채널 전류 평형 LED 모의실험 회로

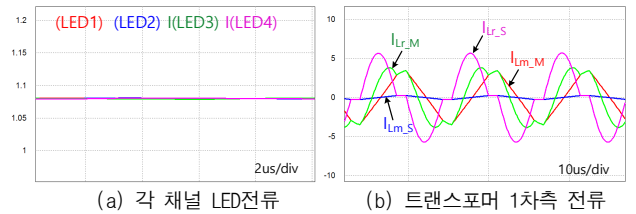


그림 4 모의실험 주요 동작파형

파형이다. Master 모듈의 경우 하나의 트랜스포머에서 2차권선 하나의 모듈로써 구성하고 Slave 모듈의 경우 하나의 트랜스포머에서 2차권선, 3차권선으로 모듈을 구성하여 공진전류 크기는 다르지만 공진주파수가 같은 것을 확인할 수 있으며 Slave 모듈 자화 인덕턴스의 전류 최대치는 매우 낮아 도통손실을 줄여 효율개선을 획득할 수 있음을 알 수 있다.

4. 결론

본 논문에서는 최근 LED 조명의 시장규모가 급증함에 따라 다양한 이점을 가진 다중채널 LED 구동을 위한 모듈형 전류 평형 회로를 제안하였다. 제안된 회로는 캐패시터의 전하평형원리에 의해 단일 채널 전류 제어만으로 모든 채널의 LED 전류를 동일하게 제어할 수 있어 DC/DC 컨버터와 LED 드라이버단을 하나로 통합한 단일 전력단 LED 구동회로이다. 또한 수동소자만으로 이루어진 모듈형 전류평형회로로서 모듈의 추가만으로 요구되는 LED 채널 수 만큼 Slave 모듈을 부가하여 다양한 형태로 채널을 확장할 수 있다. 따라서 확장에 따라 다양한 어플리케이션에 폭넓은 활용이 가능할 것이라 판단되며, LC 컨버터로 구성된 Slave 모듈 추가로 도통 손실 감소를 위한 방안을 제안하였다. 제안회로의 타당성 검증을 위해 1kW급 LED 구동회로에 적용한 시뮬레이션을 통해 확인하였다.

이 논문은 중소기업청에서 지원하는 2015년도 산학연협력 기술개발사업(C0212217)의 연구수행으로 인한 결과물임을 밝힙니다.

참고 문헌

- [1] S. H. Lee, S. H. Cho, C. W. Roh, S. S. Hong, and S. K. Han, "A New Current Balancing Multi channel LED Driver for a Large Screen LCD Backlight Unit."
- [2] R. Zhao, J. Zhang, "High Efficiency Hybrid Current Balancing Method for Multi Channel LED Drive.", March 15 19, 2015