선박용 변압기 없는 40W LED 조명 구동회로의 설계 및 구현

송종관* · 박장식* · 윤병우*

Design and Implementation of Transformerless 40W LED Light Driver Circuit for Ships

Jong-Kwan Song* · Jang-Sik Park* · Byung-Woo Yoon*

요 약

본 논문에서는 선박의 진동에 의하여 수명이 짧은 필라멘트를 사용하는 조명기구를 대체하기 위하여 선박용 LED 조명등 구동회로를 설계 및 구현하였다. 구동회로는 부피를 줄이고 비용을 절감하기 위하여 변압기가 없는 스위칭 회로로 설계되었다. 스위칭 회로는 입력 교류전압 220 V에 PWM 제어를 함으로써 안정적으로 LED를 구동할 수 있도록 설계하였다. 스위칭 회로의 펄스성 전류에 대하여 Valley-fill 방식의 역률 보상회로를 채용함으로써 역률를 개선하였다. 장기간 운항하는 선박에서의 조명등 교체 주기를 줄여 관리를 효율적으로 할 수 있도록 직병렬 배열로 LED 모듈 회로를 설계하여 LED의 일부가 손상되더라도 LED 모듈이 조명등 기능을 할 수 있도록 하였다. 개발한 구동회로를 포함한 조명기구는 전력소모와 역률이 각각 39 W, 0.925 로 선박 조명에 적합함을 확인하였다.

ABSTRACT

In this paper, driver circuit of LED lights for ships is designed and implemented to replace conventional lights with filament which have short life time due to vibration of ships. The driver of LED module is switching circuit without transformer to reduce volume and cost. As switch circuit controls input 220 VAC with PWM, LED module is reliably driven. Power factor is improved by using valley-fill PFC compensation circuit which is handled to pulse current of switching circuit. Serial-parallel LED circuit is applied to reduce change period of lights of long-term navigation ships. Array of serial-parallel can operate even if some of LEDs is damaged. It is suitable for ships that power consumption and power factor of lights including developed drive circuit have 39Watt and 0.925 respectively.

키워드

LED조명등, 구동회로, 변압기, 스위칭 레귤레이터, 역률

LED lights, driver circuit, transformer, switching regulator, power factor

Ⅰ. 서 론

최근 LED 소자와 패키징 기술이 발전하면서 고출력, 고효율 LED가 개발되어 LED를 사용한 조명은 기존의 조명 장치에 비하여 효율이 뛰어나다. 또한 긴 수명을 가지게 되어 에너지 절감효과와 경제성이 높

* 경성대학교 전자공학과(jsipark@ks.ac.kr) * 교신저자 : 윤병우 경성대학교 전자공학과(bwyoon@ks.ac.kr)
접수일자 : 2012. 05. 09 심사(수정)일자 : 2012. 05. 25 게재확정일자 : 2012. 06. 07

아 점차적으로 기존의 조명을 대체해 나갈 것으로 기대된다[1-5]. LED를 광원으로 이용하는 응용제품은 디스플레이, 농업, 원예, 의료장비, 자동차, 선박 등의 다양한 분야에 대하여 개발되고 있다. 또한 기존의 조명 장치에 대응하는 휘도 특성이 있어 조명 광원으로 널리 사용되고 있다.

LED 조명기구는 전원공급회로, 구동회로 그리고 LED 모듈로 구성된다. 모듈의 효율과 수명에 영향을 주고 다양한 기능성을 부가하기 위해서는 구동회로의 설계가 중요하다. LED 조명기구의 구동회로의 설계 요소는 동작 LED 개수, 인가전압의 형태, LED 배열 회로 구조, 동작제어 방식, 온도 및 역률 보상 등의 요소가 있다.

교류전압 220 V를 이용하여 LED를 구동하기 위해서는 교류전압을 낮은 직류전압으로 바꾸어주는 AC-DC 변환기 등이 필요하다[6]. 낮은 직류전압으로 변환하기 위하여 변압기를 사용하게 되는데 이로 인하여 부피가 증가하게 되고 비용이 추가적으로 발생하게 된다. 단순히 수동소자만을 이용하여 LED를 구동하기 위한 연구가 진행되어 왔는데, 간단하면서도 교류전원을 이용한 LED를 구동할 수 있는 회로가 제안되기도 하였다[7]. 그러나 능동소자를 사용하지 않고 수동소자만으로 교류전원으로 LED를 구동하는 장점이 있지만, 직렬저항을 통하여 전류가 흐르게 되므로 불필요한 전력낭비가 발생하는 것을 피할 수 없다[8]. 저손실 및 고효율의 성능을 가지면서 입력전류에 대한 고조파특성이 양호한 커패시터 수동소자만을 이용한 교류전원 LED 구동회로[3]가 제안되기도 하였다.

필라멘트를 사용하는 백열전구 및 형광등은 선박의 진동으로 인하여 수명이 짧기 때문에 조명등의 유지보수의 어려움이 있다. 장거리를 운항하는 대형 선박은 백열등, 형광등 그리고 고휘도(HID) 조명등을 사용하는 250 여종의 조명기구가 사용되고 있다. 조명등 교체를 위하여 다양한 조명등을 유지 보수를 위하여 확보하여야 하는 부담이 있다. 본 논문에서는 선박용 LED 조명장치를 개발 대체함으로써 조명등의 수명연장, 유지 및 교체 비용을 절감하고자 한다. 선박용에 적합하도록 부피와 무게를 줄이기 위하여 변압기가 없는 구동회로와 역률 보상회로를 설계 및 구현하였다. 220 V의 교류전원에 대하여 변압기 없는 구동회로를 설계함으로써 저가의 구현이 가능하다. 스위칭 레귤레이터(switching regulator) 구동회로를 설계함으로써 입력전압의 변동에 출력전압의 변동이 거의 없도록 한다. 커패시터 입력형의 정류회로는 사용 전원의 피크치 부근의 짧은 기간 동안만 정류기가 도통하여 폭이 좁은 펄스성 전류 파형을 발생하게 되어 배전선에서 동위상으로 더해지기 때문에 입력 역률이 저하된다. 본 논문에서는 valley-fill 회로를 채용하여 역률을 개선한다. 그리고, 선박의 특성을 고려하여 진동과 열에 의하여 개별 LED가 손상되더라도 LED 모듈이 조명등의 기능을 유지할 수 있도록 직병렬 배열의 LED 회로를 채용하여 조명기구로써의 안정성을 보장한다. 본 논문에서는 설계값과 구현된 회로의 출력이 일치함을 보인다.

II. 본 론

2.1 LED 구동회로

LED 구동회로에는 선형 방식(linear regulator)과 스위칭 방식(switch mode conversion)이 있다. 선형 방식은 입력전압보다 낮은 LED 전압을 필요로 하는 경우 사용할 수 있으며 회로가 단순하고 구현 비용이 적은 방식이지만 전압강하 폭이 크다. 또한 전류량이 높으면 무효전력이 증가하고 발열이 많은 결점이 있다. 따라서 본 논문에서는 효율이 75~95 % 정도로 우수하고 역률 측면에서 유리한 스위칭 방식의 구동회로를 채용하여 구동회로를 설계한다.

그림 1은 변압기가 없는 LED 구동회로를 보여준다. LED로 흐르는 전류는 센서저항 R6 에 걸리는 전압에 의하여 조절된다.

식 (1)과 같은 경우에는 250 mV의 기준 전압보다 R6 에 걸리는 전압이 높으면 Q1 트랜지스터는 차단상태가 된다. 즉, $R6(I_{\leq D}+0.5I_{ripple}))=250mV$ 이면, 즉, R1 에 걸리는 I_{LED} 와 I_{ripple} 전류에 의한 전압이 250 mV 보다 크다면, Q1 트랜지스터는 차단된다.

$$R6=\frac{250mV}{I_{LED}+0.5I_{ripple}} \quad (1)$$

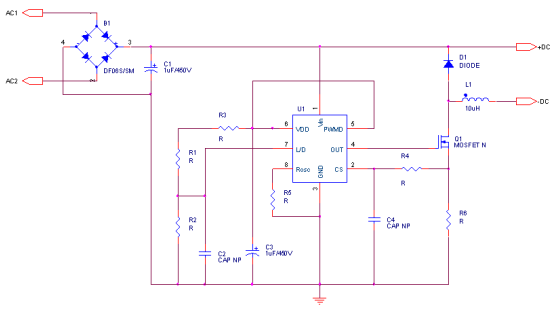


그림 1. 변압기 없는 LED 구동회로
Fig. 1 Transformerless LED driver circuit

동작 주파수는 R5($k\Omega$)를 조절함으로써 식 (2)와 같이 75~300 kHz의 범위에서 결정할 수 있다.

$$t_{osc}(\mu\text{sec}) = \frac{R5+22}{25} \tag{2}$$

R5($k\Omega$)는 일반적으로 75$k\Omega$과 1$M\Omega$ 사이에서 결정되며, 스위칭 주파수를 낮게 하면 스위칭 손실을 줄여 효율을 높게 가져갈 수 있다.

Non-isolate Buck 회로는 2 가지 동작 모드를 갖는다. 연속과 불연속 전도모드(continuous and discontinuous conducting modes)이다. 요구되는 인덕트 값은 식 (3)과 같이 희망하는 첨두 LED 리플 전류(peak-peak LED ripple current)에 의하여 결정된다. 일반적으로 공칭(nominal) LED 전류의 30 % 이다.

$$L = \frac{(V_{IN} - V_{LED}) \times D}{(0.3I_{LED}) \times f_{osc}} \tag{3}$$

여기서D는 듀티 사이클(duty cycle)이며 f_{osc}는 식 (3)에서 주어진 t_{soc}의 역수로 주어지는 동작 주파수이다. LED 전류는 PWM 듀티 사이클에 비례하므로 이를 조절함으로써 조명 출력을 0에서 100 % 사이에서 조절할 수 있다. 보다 높은 LED 전류가 필요하다면 보다 작은 센서 저항 R6을 사용하면 된다.

역률의 개선이 필요한 경우 그림 2와 같이 회로에 간단한 역률 보상 회로를 추가 할 수 있다. 그림 2는 D1~D3로 구성된 3 개의 전류 전환 다이오드와 C1, C2의 2 개의 커패시터로 구성된 역률 개선을 위한 valley-fill 회로를 보여준다. 이 회로는 기존의 회로 나머지 부분에 대한 영향을 최소화 하면서 전류의 고조파 왜곡(line current harmonic distortion)을 개선함으로써 0.86 이상의 역률을 구현할 수 있다. 정류 회로로 부터의 입력이 첨두치의 50 % 이상일 경우 D2 다이오드를 통하여 C1, C2 커패시터가 직렬 연결되어 충전이 이루어진다. 상용 220 V 전원의 경우 첨두치는 $\sqrt{2} \times 220 = 311\,V$이며 약 $155\,V$ 이상인 경우 충전이 이루어진다. 라인 입력이 이 전압 이하로 떨어지는 경우에는 C1, C2 두 커패시터는 D1, D3 다이오드에 의하여 병렬로 연결되어 buck converter의 전압을 유지하는 역할을 수행하게 된다. 따라서 이 때 사용되는 커패시터의 용량은 전압의 유지에 필요한 최소 용량을 상회하는 크기로 결정되어야 한다.

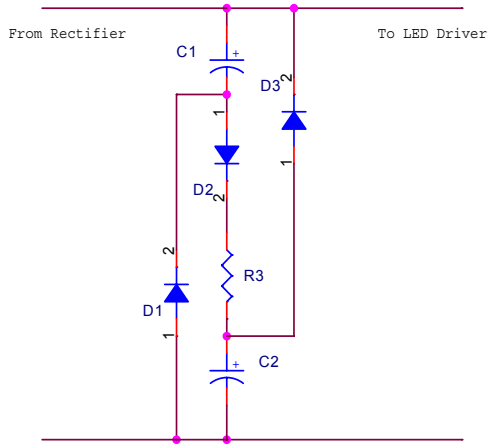


그림 2. 역률 개선을 위한 회로
Fig. 2 Power factor improvement circuit

2.2. LED 모듈 배열 회로

LED 소자는 Bulb 형태와 Hiflux 형태가 있으며, Bulb 형태로 LED 조명을 제작할 경우 형광등 형태로 된 가로형 LED 조명으로 제작이 가능하고, Hiflux 형태로 제작할 경우 백열등 형태의 LED 조명으로 제작이 가능하다.

10 W 이상의 대용량의 조명을 구현하기 위해서는 다수의 LED를 배열을 형태로 구현하게 된다. 이러한 다수의 LED 배열은 전원공급 회로와 연결되어 구동 전압 및 전류를 결정하게 되는데, 이는 LED 조명의 신뢰도와 효율에 많은 영향을 미치게 되므로 여러 가

지 요인을 고려하여 결정되어야 한다. 다수의 LED를 연결하는 배열의 형태는 크게 직렬배열, 병렬배열, 직병렬배열로 구분 할 수 있다. 직렬 배열의 경우 구동 전압이 높지만 각 LED의 전류는 동일하게 된다. 그러나 구조상 배열의 LED 중 하나라도 불량이 발생하거나 소자의 손상이 있는 경우 전체 조명이 불가능해지는 단점이 있다. 따라서 개별 LED의 광출력 및 생상의 변화를 최소로 유지할 필요가 있는 응용 분야에 주로 적용된다. 반면 병렬배열은 동일한 수의 LED를 직렬로 연결하는 경우 낮은 구동 전압으로 사용이 가능하다. 하지만 구동을 위한 전체 전류의 크기가 증가하게 되고 라인별로 LED은 전기적 특성에 대한 편차가 존재할 가능성이 많이 있어 균일한 광출력 및 색상을 기대하기 어려운 측면이 있다.

본 논문에서는 선박에서의 신뢰성을 확보하기 위하여 그림 3과 같이 직병렬 배열을 사용하였다.

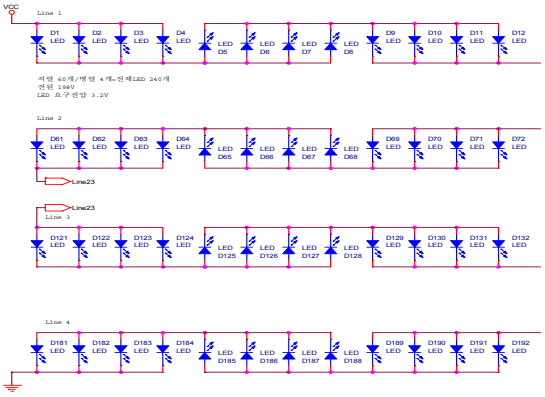


그림 3. LED 모듈 배열 회로
Fig. 3 LED module array circuit

직병렬 배열은 PCB 설계 시 많은 배선이 발생하는 어려움이 있으나 개별 LED의 불량 또는 손상에 대해 광출력의 변화를 최소화함으로써 조명의 신뢰도를 높일 수 있는 장점이 있다. 본 논문에서는 그림 3과 같이 4 개의 병렬 구조를 채용한 직병렬 연결을 사용하여 신뢰성을 확보하면서 전압강하를 최소화 하도록 하였다. 직렬 구조는 60개를 사용하여 전체 LED에 190~210 V내외의 전압이 인가되도록 하였다.

III. 실험 및 결과검토

그림 4는 시제품으로 설계 및 구현된 변압기 없는 LED 구동회로이다. 스위칭 회로와 역률 보상회로를 포함하고 변압기를 가지지 않기 때문에 부피가 상당히 작음을 확인할 수 있다. 그림 5는 상용전원을 인가한 경우 LED에 인가되는 전압 파형을 보여준다.

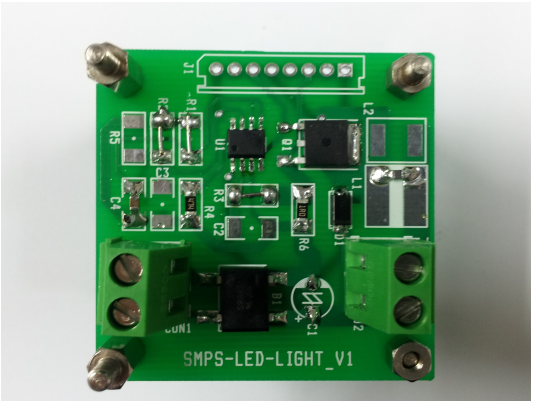
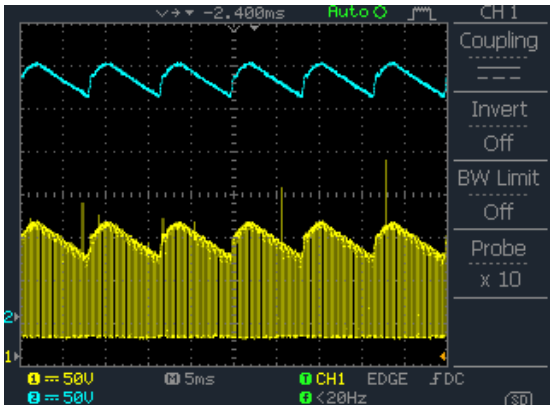


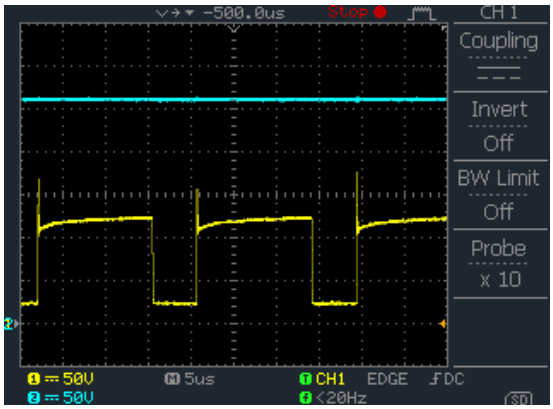
그림 4. 구현된 변압기 없는 LED 구동부
Fig. 4 Implemented transformerless LED driver

그림 5의 (a)에서 1번 채널은 정류된 입력 파형을 보여주며 2번 채널은 LED 양단 전압을 보여준다. 그림 5에서 LED에 흐르는 전류가 PWM 제어되고 있는 것을 확인할 수 있다. 그림 5의 (b)에서는 동작 주파수의 확인을 위하여 스케일을 조절한 파형을 보여준다. 실험에 사용된 R5는 $470k\Omega$으로 식(2)에서 계산한 $t_{osc}(\mu\text{sec}) = 19.7\mu\text{sec}$이며, 실험에서 측정된 값이 설계치와 일치함을 볼 수 있다.

구현된 LED 구동회로는 220 V 교류 상용전원에 적용하였으며, 4 개의 병렬 배열을 가지고 각 병렬 라인은 60 개의 직렬 LED로 구성된 직병렬 배열을 가지는 LED 배열의 구동을 위하여 적용되었다. LED 발광부는 192 V / 240 mA의 특성을 가지며, 전력과 역률은 각각 39 W와 0.925로 측정되었다. 구현된 조명의 광학적 특성은 표 1과 같다.



(a)



(b)

그림 5. LED 양단의 전압 파형 (a) 5 msec (b) 5 sec
Fig. 5 Waveform of LED voltage (a) 5 msec (b) 5 usec

표 1. 광학적 특성 측정 결과
Table 1. Measurement result of optical characteristics

시험항목	단위	시험결과
상관색온도	K	7970
연색지수	-	71
전광선속	lm	3330
광효율	lm/W	62.8

Ⅳ. 결 론

필라멘트를 가진 기존의 조명등은 선박의 진동에 의하여 수명이 짧아 유지 보수를 하는데 어려움이 있다. 본 논문에서는 선박의 진동에 의한 영향이 없는 LED 조명기구의 구동 드라이버 회로를 설계 및 구현하였다. 변압기 없는 스위칭 레귤레이터를 포함하는 LED 구동회로를 채용함으로써 무게와 부피를 줄임으로써 보다 효과적으로 유지 보수를 할 수 있도록 하였고 펄스형 전류에 의한 역률 저하를 개선하였다. 그리고, 직병렬 배열로 LED 회로를 설계함으로써 조명등에서 일부의 LED가 손상되더라도 조명등 기능을 할 수 있도록 함으로써 대형 선박이 장기간 운항을 하는 동안에 조명등의 유지 보수를 편리하게 한다. 개발한 LED 조명기구의 전력은 39 W이며 역률은 0.925로 선박에 적합한 특성을 가진다. 개발한 LED 구동부를 개선하여 조명의 밝기를 조절할 수 있는 구동회로를 개발하고자 한다.

감사의 글

본 논문은2011년도 (주)세롬과 경성대학교에서 지식경제부의 지역산업기술개발지원사업의 지원으로 수행되었음.

참고 문헌

[1] M. George Craford, "LED's challenge the incandescents," *IEEE Circuits Device Mag.*, Vol. 8, No. 1, pp. 24-29, Aug. 1992.

[2] Daniel A. Steigerwald, J. C. Bhat, D. Collins, R. M. Fletcher, M. O. Holcomb, M. J. Ludowese, P. S. Martin, and S. L. Rudas, "Illunination with soldi state lignting technology," *IEEE J. Sel. Topics Quantum Electron.*, Vol. 8, No, 2, pp. 310-320, Mar. 2002

[3] S. Muthu, F. J. P. Schuurnans, and M. D. Pashley, "Red, green, and blue LEDs for white light illunination," *IEEE J. Sel. Topics Quantum Electron.*, Vol. 8, No, 2, pp. 333-338, Mar. 2002

[4] L. Gu, X. Ruan, M. Xu, and K. Yao, "Means of eliminating electrolytic Capacitor in AC.DC power supplies for LED lightings," *IEEE Trans. Power Electronics*, Vol. 24, No. 5, pp. 1399-1408, May 2009.

[5] 신현용, "SMPS 구동 대형교통 신호용 LED 신호등의 특성", 한국전자통신학회논문지, 6권, 5

호, pp. 643-648, 2011.
[6] 신대성, 정영진, "LLC 공진형 컨버터를 이용한 고효율 조명용 LED 구동회로", 전력전자학회 논문지, 제15권, 제1호, pp.35-42,,, 2월, 2010.
[7] 이건영, 대한민국 특허청, 10-2006-0094150.
[8] 이병훈, 김현재, 김봉철, 임춘택, "커패시터를 사용한 초저가의 교류전원 LED최적 구동회로 개발", 전력전자학회, 전력전자학술대회논문집, pp. 1-650, 7월, 2010년

저자 소개

송종관(Jong-Kwan Song)

正會員
1989년 2월 부산대 전자공학과(공학사)
1991년 2월 KAIST 전기및전자공학과(공학석사)
1995년 8월 KAIST 전기및전자공학과(공학박사)
1995년 9월~1997년2월 SK 텔레콤 중앙연구소 선임연구원
1997년 3월~현재 경성대학교 전자공학과 교수로 재직
※ 관심분야 : 영상처리, 디지털신호처리, 디지털신호처리 응용 등임

박장식(Jang-Sik Park)

正會員
1992년 부산대학교 전자공학과 졸업(공학사)
1994년 부산대학교 일반대학원 전자공학과 졸업(공학석사)
1999년 부산대학교 일반대학원 전자공학과 졸업(공학박사)
1997년~2011년 동의과학대학 전자과 교수
2011년~현재 경성대학교 전자공학과 교수
※ 관심분야 : 신호처리, 영상처리 및 인식, 음성 및 음향 신호처리

윤병우(Byung-Woo Yoon)

正會員
1987년 부산대학교 전자공학과 졸업(공학사)
1989년 부산대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)
1992년 부산대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사)
1993년~1995년 한국전자통신연구원 선임연구원
1995년~재 경성대학교 전자공학과 교수
※ 관심분야 : 신호처리, 영상처리, VLSI설계, 소나 시스템