

가변주파수 스위칭 Flyback 컨버터를 이용한 자동차용 고압방전등 안정기의 설계

(Design of an Automotive HID Ballast using Variable Frequency
Switching Flyback Converter)

엄태욱* · 김윤호

(Tae-Wook Um · Yoon-Ho Kim)

요 약

본 논문은 가변주파수 스위칭 방식의 flyback 컨버터를 이용한 자동차용 35[W]급 고휘도 방전 램프용 전자식 안정기의 고효율 제어시스템을 구현하였다. 또한 안정기 성능, 크기 그리고 효율을 고려하여 planar 변압기를 이용하여 flyback 컨버터를 설계하였다. HID 램프를 자동차에 적용하기 위해 복잡한 과도특성을 제어할 수 있는 매우 복잡한 제어회로와 고효율의 안정기의 제작이 요구되어진다. 제안된 전자식 안정기는 planar 변압기를 사용한 flyback 컨버터, full bridge 인버터와 승압 점화장치로 구성되어 있으며, flyback 컨버터의 스위칭 주파수는 안정기에 입력 전압의 변화에 따라 제어되도록 설계하였고, planar 변압기를 사용하여, 안정기의 가격과 크기를 크게 절감할 수 있었다. 제안된 시스템에 대한 성능 및 효율은 여러 가지 실험을 통해 확인하였다.

Abstract

This paper presents high efficiency control system of automotive 35W electronic ballast for high intensity discharge(HID) lamp using switching flyback converter with variable frequency. Considering performance, size and efficiency of ballast, the flyback converter is designed with planar transformer in converter stage. HID lamp demands a highly efficient ballast and very complex control circuitry that can control complex transient state for applying to automotive. The proposed electronic ballast system is composed of a flyback converter using planar transformer, a full bridge inverter, and a step up ignitor. In this system, switching frequency of flyback converter is controlled by varying input voltage of HID ballast and the price and the size of HID ballast using planar transformer can be reduced. The performance and efficiency of the proposed system are verified through various the experiment results.

Key Words : HID, Electronic Ballast, Planar Transformer, Variable Frequency

* 주저자 : 중앙대학교 대학원 전자전기공학부 박사과정

Tel : 019-282-5076, Fax : 02-877-2659

E-mail : twum0311@yahoo.co.kr

접수일자 : 2008년 2월 21일

1차심사 : 2008년 2월 25일

심사완료 : 2008년 3월 7일

1. 서 론

최근 해외 및 국내에서도, 자동차 헤드라이트용 뿐 만 아니라 일반 실내조명에 있어서 고압방전등을 적용하는 사례들이 무수히 많아지고 있다. 메탈할라이드 램프는 고압 수은등에 금속할로겐화합물을 첨가하여 연색성과 효율, 수명, 밝기 등을 향상시킨 방전등으로 자동차용 램프로서 활용되고 있다[1, 2].

메탈할라이드 램프와 같은 HID 램프를 자동차 헤드라이트에 적용하기 위해서는 점등시간을 짧게, 즉, 정격 광출력의 80[%]에 이르는 시간이 4초 이내가 되도록 해야 하는데, 이것은 램프 기동 시 정격 전력의 몇 배에 해당하는 적당한 전력을 램프에 공급해서 이룰 수 있다[1]. 또한, 안정 상태에서 일정 전력 동작을 유지하는 것이 중요하다[3, 5]. 그러나 이러한 메탈할라이드 램프는 점등 후 안정 상태에 이르기까지의 과도특성이 매우 복잡하다. 또한, 메탈할라이드 램프는 고압 방전할 때, 방전관내의 음향공진현상으로 인해 방전관내의 아크가 불안정하여 빛의 흔들림이나, 소음, 아크 소멸 등을 발생시킨다[4].

본 논문은 많은 장점에도 불구하고 복잡한 과도특성을 갖는 메탈할라이드 램프를 최적으로 제어하여 자동차에 적용하기 위해 마이크로컨트롤러를 이용한 전자식안정기를 개발하였으며, 또한, 배터리를 통해 안정기에 입력되는 동작전압(9~16[V])에서 높은 효율을 낼 수 있도록 가변주파수 스위칭 방식으로 flyback 컨버터를 제어하여, 안정기의 효율을 극대화 하였다.

본 논문에 사용된 메탈할라이드 램프용 전자식 안정기는 flyback 컨버터, full bridge 인버터와 승압 점화장치(Ignitor)로 구성되어있으며, 가변주파수 스위칭 방식의 flyback 컨버터의 변압기에는 planar 변압기를 사용하여, 안정기의 소형화와 원가절감을 도모하였다. 또한, 방전관내의 전극수명 감소를 막고 수십[kHz]~수백[kHz] 사이에서 발생할 수 있는 음향공명 현상을 피하기 위하여 약 400[Hz]의 저주파로 구동하는 full bridge 인버터를 이용하였다[1]. 개발된 안정기에 대한 동작 특성을 실험을 통해 확인하였다.

2. HID 램프의 동작특성

방전등의 동작단계는 램프의 전극양단에 절연상태를 파괴시키기 충분한 방전전압(23~30[kV])을 발생시켜, 방전이 시작되는 점화(breakdown)구간, 이온충돌에 의해 방전 전극내에 은은한 빛을 발생시키는 글로우 방전 구간 및 열전자방출에 의한 아크 방전 구간으로 크게 분류될 수 있다[3]. 따라서 HID용 안정기는 램프의 수명 및 자동차용 전조등으로서의 각종 성능에 부합하기위해, 램프의 점등특성 및 정상상태 특성을 고려하여 최적의 시스템을 구성하여야만 한다. 그림 1은 이러한 동작을 구간별로 구분한 전압-전류 특성을 나타낸다.[2] 제어특성이 불량한 경우 불빛이 흔들리고 수명을 저하시키는 결과를 가져오므로 정상상태에서 일정한 광출력을 얻으려면 램프에 공급되는 전력은 정격치로 일정하게 제어되어야 한다. 또한 이 구간에서는 램프에 교류전류가 인가되는 구간으로 교류전류의 주파수가 램프의 음향 공진주파수를 피하도록 제어되어야 한다.

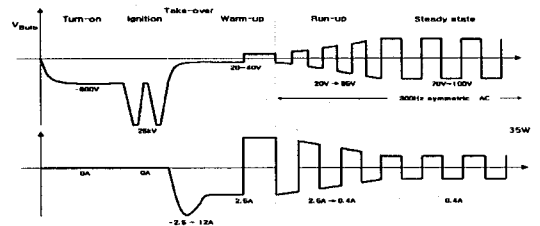


그림 1. HID 램프의 동작 단계별 특성[2].
Fig. 1. Characteristic of HID ramp with respect to operating steps

3. 가변주파수 스위칭방식 flyback 컨버터

본 논문에서 제안한 가변주파수 스위칭방식의 flyback 컨버터를 갖는 안정기의 블록도를 그림 3에 나타내었다. 제안된 안정기는 입력전원인 배터리 전압을 센싱하여, 센싱된 전압에 따라 PWM 발생기의 주파수를 가변하여, 스위칭하는 flyback 컨버터 구조를 가지고 있다. 그림 2에 나타난 기존의 안정기는 입력전압에 따라 주파수를 가변하지 않는 기존 방식

가변주파수 스위칭 Flyback 컨버터를 이용한 자동차용 고압방전등 안정기의 설계

으로 입력전압이 변하더라도, flyback 컨버터의 주파수가 일정하여서, 안정기의 동작전압(9~16[V]) 전 구간에서 일정한 효율을 기대하지 못한다. 그러나 그림 3과 같이 본 논문에서 제안한 가변주파수 스위칭 방식의 flyback 컨버터의 경우에는 동작전압 전 구간에서 높은 효율을 균일하게 유지할 수 있다.

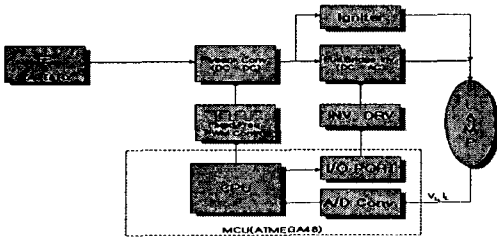


그림 2. 기존 안정기의 블록도
Fig. 2. The block diagram of conventional ballast

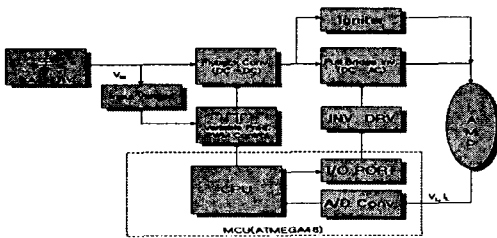


그림 3. 제안된 안정기의 블록도
Fig. 3. The block diagram of the proposed ballast

4. 안정기의 구조

그림 4의 회로에서 배터리 입력전압은 9~16[V]이며, 이 전압이 승압되어 램프와 점화기에 공급된다. 램프점등이전에는 600[V]의 아크갭(ARC GAP) 동작될 수 있도록 플라이백 컨버터의 2차단의 전압을 상승시켜야 한다. 이 전압이 600[V] 이상이 되어 아크 갭이 동작되면, 고압변압기 T2의 2차측에 순간적인 고전압이 발생되어 HID 램프의 절연이 파괴된다. 절연파괴 후에 램프는 글로우방전과 아크방전 단계를 거쳐 점등되며, 그 후에는 full bridge 인버터의 동작에 의해 구동된다. 이때 램프를 교류가 아닌 직류로 구동할 경우 램프의 전극의 편마모나 램프내부의 흑화현상이 발생하는데 이는 램프의 수명에 치명적인 원인이 된다. 또한 램프의 형상에 따른 음향

공명현상이 발생 할 수 있는데, 이는 램프 형상에 따른 공진주파수와 램프에 입력되는 교류전원 주파수와 일치하게 되면, 빛의 흔들림을 발생시키며, 아크 소멸, 혹은 램프 손상까지도 가져올 수도 있다. 일반적으로 램프의 공명주파수는 램프의 크기에 따라 다르지만, 자동차 HID 램프의 음향공명의 주파수 범위는 20[kHz]에서 500[kHz]까지이다. 이러한 음향공명 현상을 피하기 위해 약 400[Hz]의 저주파로 구동하는 full bridge 인버터를 이용하였다.

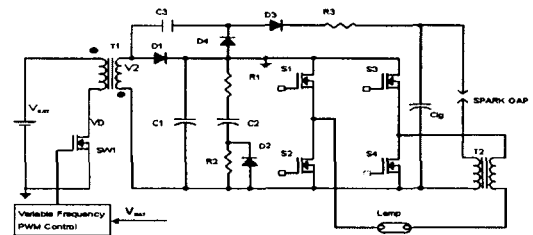


그림 4. 제안된 안정기의 구조
Fig. 4. Structure of the proposed ballast

제안된 시스템은 안정기에 입력되는 전압에 따라 flyback 컨버터의 MOSFET의 게이트 스위칭 신호의 주파수를 가변 제어하여, 안정기에 입력되는 동작전압(9~16[V]) 전 영역에서 높은 효율을 낼 수 있도록 설계하였다.

5. Planar 변압기

차량에 취부되는 모든 전자제품과 마찬가지로 HID 램프용 안정기의 크기가 점점 작아지는 추세로 개발되어지고 있다. 안정기의 내부회로 구성부품 중에서 가장 크기가 큰 부품은 flyback 컨버터에 사용되는 변압기로 이 변압기는 일반적으로는 E-I나 RM8 형상의 페라이트 코어를 사용한 형태를 가진다. 본 논문에서 적용한 변압기는 기존의 변압기보다 높이는 40[%] 정도이고 무게는 30[%] 정도의 planar 변압기를 적용하였고, 사용된 코어는 PM11을 사용했다. 그림 5에는 사용된 planar 변압기와 기존 변압기(RM8 코어사용)와 본 논문에 적용된 planar 변압기(PM11 코어사용)의 실제크기를 비교한 그림이다.

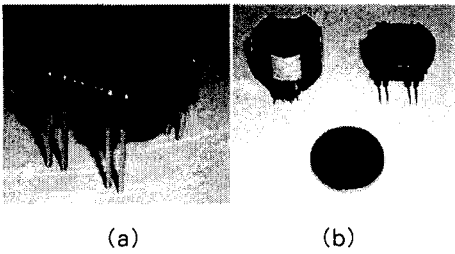


그림 5. 사용된 변압기의 구조
 (a) 제안된 안정기에 사용된 planar 변압기
 (b) RM8 코어 코일형 변압기와 planar 변압기
 Fig. 5. Structure of used Transformer
 (a) Planar transformer used to the proposed ballast
 (b) Transformers of RM8 core coil type and planar type

본 논문에서는 안정기의 크기에 가장 큰 영향을 미치는 변압기에 planar 변압기를 적용하여, 안정기의 크기와 무게를 줄이는 것이 가능하였다. 기존의 코일형 변압기의 경우 제조공정이 복잡하여, 안정기의 제작시간이 길어지게 되지만, planar 변압기의 경우는 1차측 과 2차측 권선이 PCB(Print Circuit Board) 패턴으로 구성되어져 있어 변압기의 코일 역할을 하기 때문에 제조공정이 매우 간단하다. 또한 공정비 절감과 더불어 기존의 코일형 변압기에 비해 부품단가를 절감 할 수 있는 장점을 갖는다.

6. 실험결과

그림 6은 안정기의 동작전압(9~16[V])에서 기존 방식에 의한 안정기의 flyback 컨버터 변압기 1차측 (FET 드레인)과 변압기 2차측 전압파형을 나타낸다. 그림 6에 나타난 기존 방식에 의한 컨버터 파형의 경우 입력전압이 (a) 9[V], (b) 13.2[V], (c) 16[V]로 변하여도 컨버터의 주파수가 약 130[kHz]로 일정하게 스위칭되는 것을 확인 할 수 있으며, 컨버터 2차측 전압에 심각한 Ringing이 발생하는 것을 확인할 수 있다. 이러한 현상은 컨버터가 불연속 도통모드에서 스위칭 동작시에 나타나는 현상이다. 이러한 현상을 개선하려면, 컨버터의 스위칭을 연속도통모드와 불연속 도통모드와의 경계에서 동작시켜서 해결할 수 있다. 그러나 입력전압의 변화에 따라 이 경

계점이 바뀌기 때문에 입력전압에 따른 가변주파수 스위칭방식이 필수적이다.

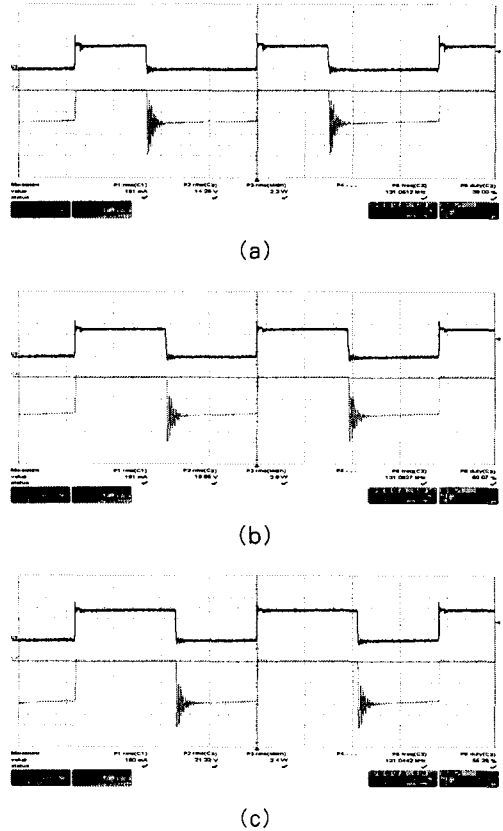
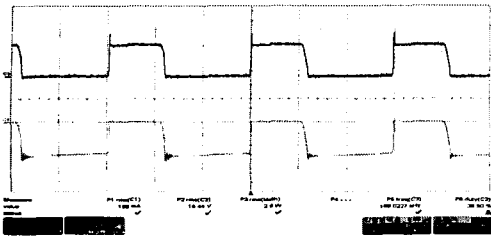


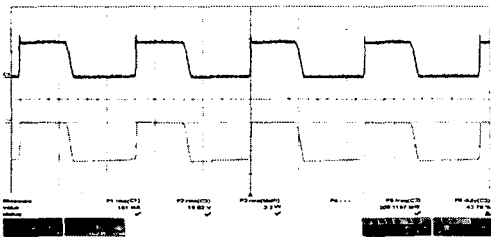
그림 6. 기존안정기의 컨버터 파형
 (a) 입력전압 9[V] (b) 입력전압 13.2[V]
 (c) 입력전압 16[V]
 Fig. 6. Converter waveform of conventional ballast
 (a) Input voltage 9[V]
 (b) Input voltage 13.2[V]
 (c) Input voltage 16[V]

그림 7 제안된 방식에 의한 컨버터 파형은 입력전압에 따라 컨버터의 스위칭 주파수가 160[kHz]~240[kHz]까지 변하면서 스위칭되는 것을 알 수 있다. 기존의 고정주파수 스위칭방식과 제안된 가변주파수 스위칭방식의 flyback 컨버터 변압기 2차측의 파형을 비교해 보면, 기존방식에 비해 제안된 방식의 전압파형이 스위칭시 Ringing성분이 상당히 줄어든 것을 확인할 수 있다.

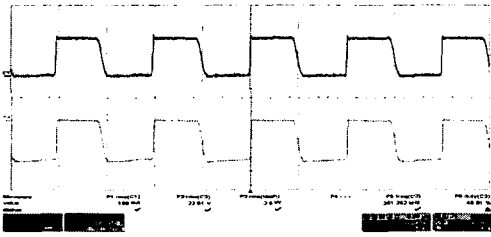
가변주파수 스위칭 Flyback 컨버터를 이용한 자동차용 고압방전등 안정기의 설계



(a)



(b)



(c)

그림 7. 제안된 안정기의 컨버터 파형
 (a) 입력전압 9(V) (b) 입력전압 13.2(V)
 (c) 입력전압 16(V)
 Fig. 7. Converter waveform of proposed ballast
 (a) Input voltage 9(V)
 (b) Input voltage 13.2(V)
 (c) Input voltage 16(V)

그림 8은 기존의 방식에 의한 안정기의 인버터 전압을 나타내고, 그림 9는 제안된 방식에 의한 안정기의 인버터 전압을 나타낸다. 그림에서 보는 바와 같이 기존 방식에 의한 인버터 전압은 전압 리플성분이 발생하는 확인할 수 있고, 그림 10에 나타난 제안된 방식에 의한 안정기의 인버터전압은 전압 리플성분이 거의 발생하지 않는 것을 확인할 수 있다. 이러한 스위칭 리플 성분은 컨버터의 스위칭 손실의 원인이 되어 변압기 코어에 열을 발생시키는 원인이 되며, 또한 안정기의 효율저하에도 원인이 된다. 반면에 제안된 가변주파수 스위칭 방식에 의한 파형은

전압 리플이 거의 발생하지 않았다.

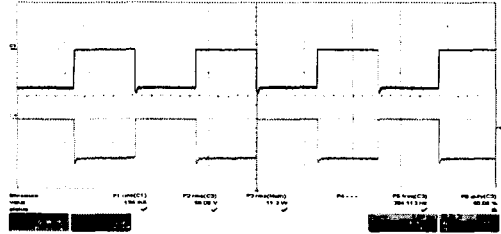


그림 8. 기존 안정기의 인버터전압
 Fig. 8. Inverter voltage of conventional ballast

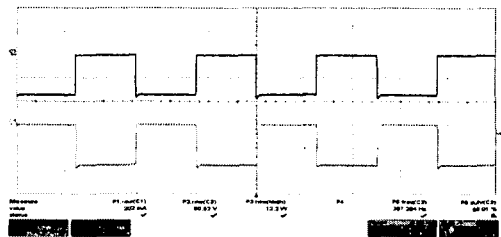


그림 9. 제안된 안정기의 인버터전압
 Fig. 9. Inverter voltage of proposed ballast

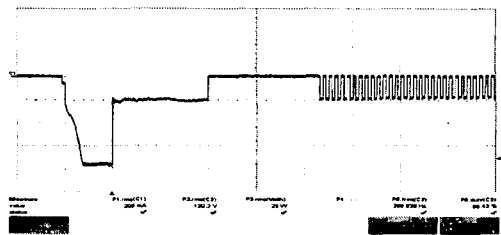


그림 10. 제안된 안정기의 점등 시, 인버터 전압파형
 Fig. 10. Ignition state inverter voltage waveform of proposed ballast

그림 11과 12는 제안된 안정기와 기존의 안정기의 EMC TEST 결과로 안정기 동작시 안정기에서 방출되는 방사(Radiation) 노이즈를 측정된 것이다. 제안된 안정기에서 발생하는 방사 노이즈가 기존안정기에서 발생하는 것보다 훨씬 감소되는 것을 확인하였으며, 실제 차량에 장착 후, FM Radio 수신신호가 미약한 지역에서 안정기 동작 후 Radio에서 발생하는 노이즈가 감소되는 것을 확인하였다.

그림 11과 12에서 표시된 Limit Line은 유럽인증 기관에서 규정하고 있는 차량용 E-mark 레벨이고, 측정주파수 범위는 30[Mhz]~1[GHz]이다.

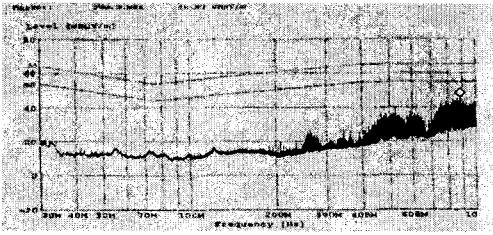


그림 11. 기존 안정기의 EMC Test
Fig. 11. EMC test of conventional ballast

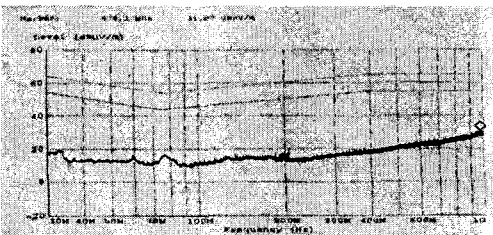


그림 12. 제안된 안정기의 EMC Test
Fig. 12. EMC test of proposed ballast

실험에 사용된 안정기의 효율을 측정해본 결과 기존 방식에 비해 전압 별로 약 4~6[%] 정도의 효율 향상을 가져오는 것을 표 1에 나타난 바와 같이 확인하였다.

표 1. 기존안정기와 제안된 안정기의 효율비교
Table 1. Efficiency comparison of conventional ballast & proposed ballast

	동작전압	스위칭주파수	효율	비 고
기존 방식	9[V]	130[kHz]	77.2[%]	변압기 : RM8코어 (코일형)
	13.2[V]	130[kHz]	81.3[%]	
	16[V]	130[kHz]	79.4[%]	
제안된 방식	9[V]	160[kHz]	83.7[%]	변압기 : PM11코어 (planar형)
	13.2[V]	200[kHz]	85.1[%]	
	16[V]	240[kHz]	84.5[%]	

7. 결 론

자동차용 35[W]급 메탈할라이드 램프 전자식 안정기의 효율과 크기를 개선한 안정기의 시스템을 제

안하였다. 제안된 방식의 안정기는 기존의 고정주파수 스위칭방식의 컨버터를 입력전압에 따라 가변되는 스위칭 방식을 사용하여, 안정기의 효율을 극대화하였고, 컨버터에 사용되는 변압기를 planar형을 사용하여, 안정기의 소형화에 일조하였다. 개발된 안정기에 대한 동작 특성을 다양한 실험을 통해 확인하였다. 실험 결과 과도상태에서 안정 상태까지 자동차용 고압 방전등의 설계조건에 잘 부합됨을 확인하였다. 따라서 제안된 시스템을 적용한 자동차용 HID램프 안정기는 고성능, 고효율, 소형화 그리고 저가형의 장점을 구비하여 향후 자동차용 HID 안정기 사용의 보편화에 일조하게 될 것이다.

References

- (1) In-Kyu Lee, Sung-Jin Choi, Kyu-Chan Lee, Bo H. Cho, "Modeling and Control of Automotive HD Lamp Ballast", PEDS'99, July 1999, Hong Kong, pp506-510.
- (2) Yongxuan Hu, "Analysis and Design of High-Intensity-Discharge Lamp Ballast for Automotive Headlamp" 2001.
- (3) 김기정, 박종연, "메탈 할라이드 방전관내의 음향 공명을 감소시킨 전자식 안정기 설계", 전력전자학술대회 논문집 제4권 제5호, pp405-412, 1999.10.
- (4) 문태환, 오덕진, 조규민, 김희준, "메탈할라이드 램프용 고주파 변조방식 전자식 안정기", 전력전자학술대회 논문집, pp589-593, 2001.
- (5) 박종연, 박영길, 정동열, 김한수, "250W MHL용 Buck Type 전자식 안정기 및 Dimming 시스템 개발", 전력전자학술대회 논문집 제7권 제1호, pp30-40, 2002.

◇ 저자소개 ◇

엄태욱 (嚴泰昱)

1968년 3월 11일생. 1990년 중앙대학교 전기공학과 졸업. 1992년 중앙대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 동대학원 전자전기공학부 박사과정.

김윤호 (金倫鎬)

1949년 6월 20일생. 1974년 서울대학교 공대 전기공학과 졸업. 1987년 미국 Texas A&M대학 졸업(박사). 2003년 전력전자학회 회장역임. 현재 중앙대학교 전자전기공학부 교수. 한국철도학회 회장.