

논문 2006-43IE-3-4

평면 변압기를 이용한 자동차용 고압방전등 안정기 시스템

(Automotive HID Ballast System Using Planar Transformer)

이재학*

(Jae Hak LEE)

요약

본 논문에서는 새로운 제어방식과 평면 변압기(planar transformer)를 이용한 자동차용 35W급 메탈할라이드 램프용 고효율 전자식 안정기의 제어시스템을 제안하였다. 본 논문에서는 밝기, 연색성, 광효율, 수명 등에서 기존의 할로겐 램프에 비해 우수한 특성을 가지고 있지만 복잡한 과도특성을 가지고 있는 메탈할라이드 램프를 자동차에 적용하기 위해 마이크로컨트롤러에 의한 디지털 제어방식을 전자식 안정기에 적용하여 램프 요구조건 및 주변 환경에 최적으로 적용할 수 있도록 전자식 안정기를 설계하였다. 또한, 자동차의 배터리 입력전압에 따라 안정기 컨버터(Flyback Converter)의 스위칭 주파수를 가변하여 안정기의 효율증대를 도모하였고, 컨버터의 고주파 스위칭 변압기를 평면 형태로 설계하여, 기존의 고주파 변압기에 비해 손실, 무게 등의 절감과 전체적인 크기를 축소하여, 배터리라는 한정된 에너지와 한정된 공간을 갖는 자동차에서 효율적인 전력제어를 실현하였다. 개발된 안정기에 대한 동작특성을 실험을 통해 확인하였다.

Abstract

This paper presents the control system of high-efficiency automotive 35W metal-halide lamp ballast using the new control method and planar transformer. In this paper, the electronic ballast is designed so that digital control method by microcontroller can be applied to the electronic ballast for the lamp requirement and peripheral environment in order that metal-halide lamp, which has the complicated transient features, is to be applied to the automobile even if it has superior features in brightness, color rendering, light efficiency, and lifespan compared to the conventional halogen lamp. Also, the efficiency increase of the ballast is devised by being varied the switching frequency of Flyback Converter following the battery input voltage of the automobile. Being designed for high-frequency switching transformer of converter in planar form, reduction of loss, weight, overall size are realized and efficient power control in the automobile that had the limited energy and the limited space of battery is devised. The results of the proposed system is verified through various experiment results.

Keywords : Planar Transformer, Automotive HID Ballast, Microcontroller

I. 서론

고압 방전램프는 일반적으로 소형이고 광속이 크며, 램프효율이 높고, 수명이 길며, 발광관의 관벽부하가 크다는 특징을 가지고 있다.^{[1][2]}

고압 방전램프의 한 종류인 메탈할라이드 방전램프는 뛰어난 연색성과 고정된 지향성 빔 특성 때문에 자동차용 램프로써 가치가 클 것으로 기대된다.^[3]

하지만, 메탈할라이드 램프는 절연파괴 후 안정상태에 이를 때까지 매우 복잡한 과도특성을 갖고 있기 때문에 이들을 제어하기 위해서는 매우 복잡한 구조의 안정기 회로가 필요하게 되어 전체적인 안정기의 코스트가 올라가는 문제점이 있고^[4], 고주파 스위칭시 안정기 내에 사용된 스위칭 변압기의 표피효과나 근접효과 등으로 인한 손실로 안정기 전체의 손실이 증대되는 문제점이 있다.^[5]

이러한 메탈할라이드 램프를 자동차 헤드라이트에 적용하기 위해서는 HID 램프들이 일반적으로 가지고 있는 상대적으로 긴 점등시간과 재점등 시간을 짧게 하는 것이 중요하며, 이를 위해 기동시 정격전력의 수배

* 정회원, 순천청암대학 디지털전기연구소
(Institute of Digital electricity, Suncheon Cheongam College)

접수일자: 2006년4월24일, 수정완료일: 2006년8월31일

에 해당하는 전력을 램프에 공급해주어야 한다. 또한, 일단 안정상태에 들어가면 전력을 일정하게 유지하는 것이 중요하다.^{[3][6]}

또한, 메탈헬라이드 램프는 고주파 점등시, 특정주파수 대역에서 램프의 주기적인 여자로 음향공명이 발생하는 문제가 있다.^[7] 음향공명이 발생하면 방전관내의 아크가 불안정하여 플리커나, 소음, 아크소멸 등을 발생시킨다.^[6] 음향공명을 해결하기 위해 100kHz 이상에서 구동하는 방법도 있지만, 전자파 노이즈가 증가하는 등의 문제가 있다.^[7]

본 논문은 우수한 특성에도 불구하고 복잡한 과도특성을 갖는 메탈헬라이드 램프를 경제성 있게 최적으로 자동차에 적용하기 위하여 마이크로컨트롤러를 이용한 새로운 제어방식의 전자식 안정기를 구현하였다. 또한, 컨버터의 고주파 스위칭 변압기를 평면형태(planar type)로 설계하여, 기존의 고주파 변압기에 비해 손실, 무게, 취부 높이 등을 절감하여, 배터리라는 한정된 에너지와 한정된 공간을 갖는 자동차에서 효율적인 전력 제어를 도모하였다.

실험에 사용된 메탈헬라이드 램프용 전자식 안정기는 Flyback Type 컨버터, 풀브리지 인버터와 승압 점화장치(igniter)로 구성되 있으며, 방전관내의 전극수명 감소를 막고 음향공명을 피하기 위하여 절연형 Flyback 컨버터와 저주파로 구동하는 풀브리지 인버터를 이용하여 구형저주파에 정현 고주파가 첨가되도록 하였다. 개발된 안정기에 대한 동작특성을 실험을 통해 확인하였다.

II. 본 론

1. 자동차용 메탈헬라이드 램프의 동작특성

가. 방전등의 동작단계

방전등의 동작단계는 방전이 시작되는 점화(break-down)구간과 글로우 방전(glow discharge)구간 및 아

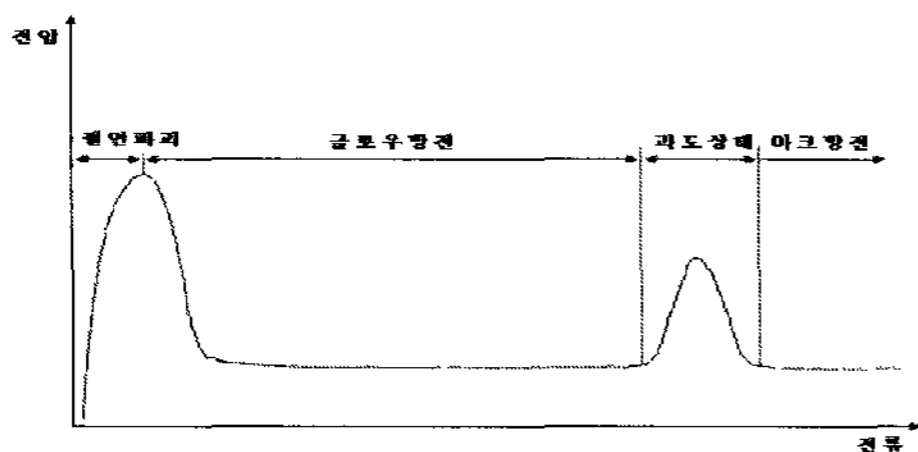


그림 1. HID 램프의 방전특성
Fig. 1. The discharge characteristic of HID lamp.

크방전(arc discharge)구간으로 크게 분류될 수 있다.^{[1][2]}

나. 자동차용 HID 램프의 동작특성

HID 램프의 동작을 6개의 모드로 나누어 모드별 동작사항을 정리하면 다음과 같다.^{[3][4]}

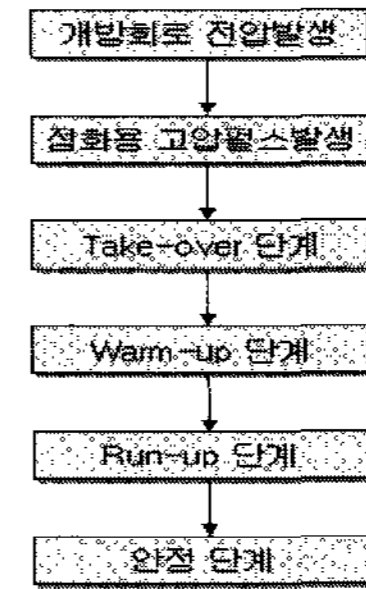


그림 2. 램프 모드별 동작사항 흐름도
Fig. 2. Flow chart of lamp mode operation.

2. 제안한 전자식 안정기 회로의 구조

자동차용으로 개발한 새로운 점등방식의 전자식 안정기 회로의 블록도를 그림 3에 나타내었다.

제안된 안정기는 그림 3에서와 같이 입력된 DC 배터리 전압을 플라이백 컨버터에 의해 승압하여, 정류된 DC 링크 전압을 램프의 구동전원으로 사용하는 구조로 되어 있고, 점등이 된 후에, 풀브릿지 인버터로 AC 구동하여 램프의 점등상태를 유지하도록 하였다. 또한 초기에 램프를 점등하기 위한 점등회로는 SCR 방식의 승압회로를 사용하였다.

제안한 전자식 안정기에서는 PWM 발생기로 SG2524를 사용하였다.

기존의 PWM 발생기 TL494는 $f_s = \frac{1.1}{C_T R_T}$ 의 스위

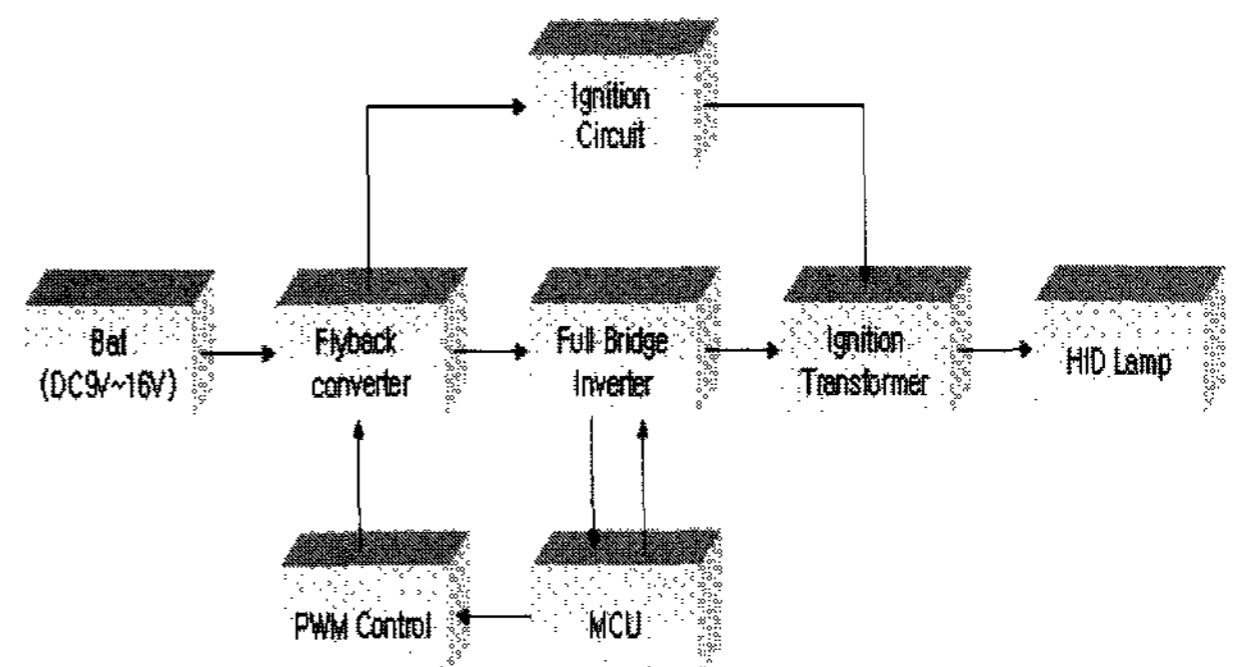


그림 3. 제안한 전자식 안정기의 전체블록도
Fig. 3. The block diagram of proposed electronic ballast.

칭 주파수에 의해 컨버터의 FET를 PWM 제어하는데 최대 300 kHz의 주파수 까지를 발생시킬 수 있어, 일반적인 고주파 변압기를 사용한 Flyback Converter의 스위칭 주파수는 충분히 감당할수 있지만, 코아(Core) 사이즈가 작은 평면 변압기의 경우는 스위칭 주파수를 500 kHz 정도까지 올려서 스위칭을 해야 코아의 포화를 막을 수 있기 때문에 사용이 어렵다.

반면에, 본 논문에서는 PWM 발생기로 사용한 SG2524 소자는 $f_s = \frac{1.3}{C_T R_T}$ 의 스위칭 주파수에 의해 최대 722 kHz까지 발생시킬 수 있기 때문에 평면형(planar) 변압기에 사용이 적합하다.

3. 평면변압기의 구조와 특성^{[5][8]}

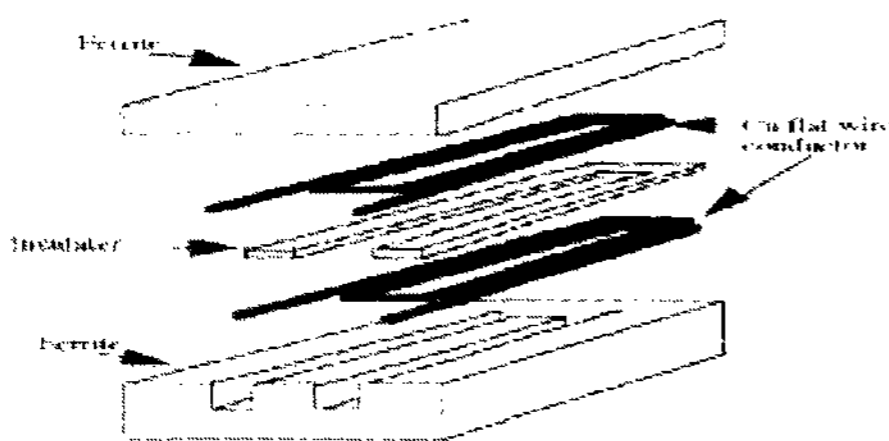


그림 4. 플레너 변압기의 구조
Fig. 4. The structure of planar transformer.

일반적인 전력용 변압기는 코어의 중간 다리를 중심으로 동선이 x-y 방향으로 권선되어 있다. 반면 평면 변압기는 그림 4와 같이 원형 동선 대신 평면 동선을 나선선으로 형상화하거나 구리 박판을 적층한 형태로서 z 축 방향으로 권선되어 있다.

플레너 변압기는 일정한 선간격과 선폭을 유지함으로써 고주파대역에서의 근접효과와 표피효과를 낮추는 것이 가능하며 내부권선 캐패시턴스, 누설인덕턴스와 같은 기생 인덕턴스를 최소화시킬 수 있어 변압기 출력전압에서의 고주파 흔들림 현상을 최소화 시킬 수 있었다.

따라서 높은 스위칭 주파수에서 SMPS 설계를 할 경우 높은 전류밀도와 효율을 얻을 수 있다. 또한, 플레트 권선을 가진 플레너 변압기는 일반적인 권선형 변압기에 비해 1/2 크기와 무게로 일반 변압기와 같은 전력 밀도를 얻을 수 있고, 높이가 낮은 구조(low-profile)이기 때문에 컴퓨터 삽입형 PCB 카드와 같은 높이가 낮은 회로(Low-Profile)에 쓸 수 있다. 본 논문에서는 기본적으로 평면변압기의 1, 2차 턴수비를 1:7로 선정하여 1차측에 DC 12V 입력시 2차측 전압으로 DC 84V 가 출력되도록 플레너 변압기를 선정하였다.

4 .마이크로컨트롤러에 의한 디지털제어

가. 마이크로컨트롤러에 의한 디지털 제어

메탈헬라이드램프와 고압방전등을 자동차에 적용시 빠른 점등/재점등 특성, 정상상태에서 안정된 광출력 특성이 요구되지만, 시동에서 정상상태에 이르기 까지 복잡한 v-i 특성을 가지고 있는 고압방전 램프를 기존의 아날로그제어기로는 최적의 상태로 제어하는 것이 용이하지 않고, 회로가 복잡해진다.^{[9][10][11][12]}

따라서, 상기에서 언급한 제어목적을 만족시키기 위해 마이크로컨트롤러를 이용해 보다 유연한 기능을 가진 디지털 제어기를 설계하여 적용할 필요가 있다

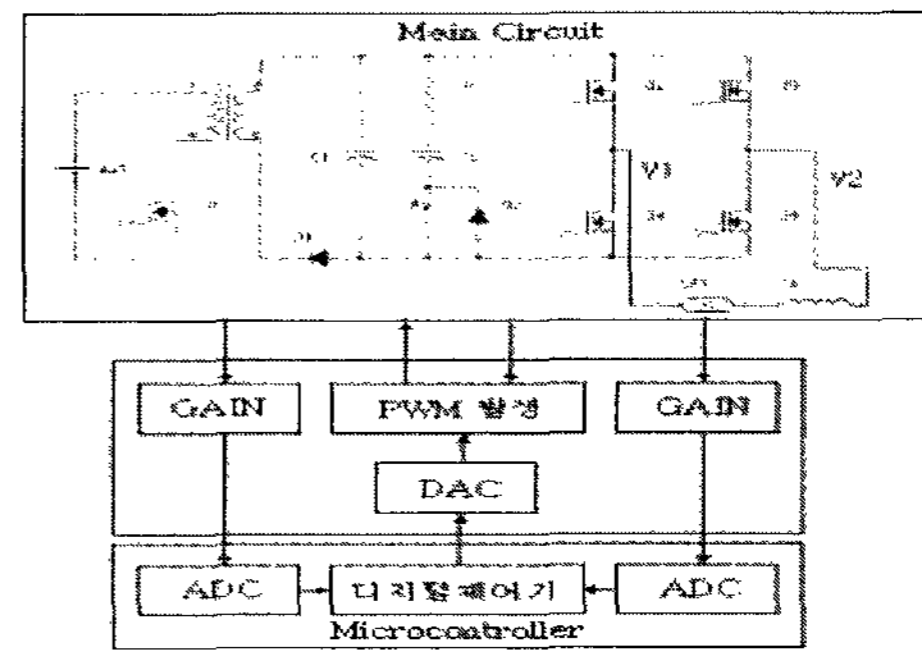


그림 5. 마이크로컨트롤러에 의한 디지털 제어
Fig. 5. The digital control using microcontroller.

나. 디지털 제어 단계^{[4][13]}

설계한 제어기는 램프 상태에 따라 전압 피드백, 전류 피드백, 전력 피드백등 3개의 동작모드로 동작하도록 구성하여 램프 동작상태에 따라 최적의 제어를 할 수 있도록 구성하였다.

그림 7은 warm-up 단계에서의 전류피드백 제어 블록도이다. 램프전력이 일정 값 이상으로 올라갈 때 까지 안정기는 전류피드백제어를 통해 램프전류를 제어해야한다.

단계	램프 동작 상태	디지털 제어 모드
1단계	Turn-on Stage	전압 피드백 제어 모드
2단계	Warm-up Stage	전류 피드백 제어 모드
3단계	Run-up/Steady Stage	전력 피드백 제어 모드

그림 6. 디지털 제어 모드
Fig. 6. Digital control mode.

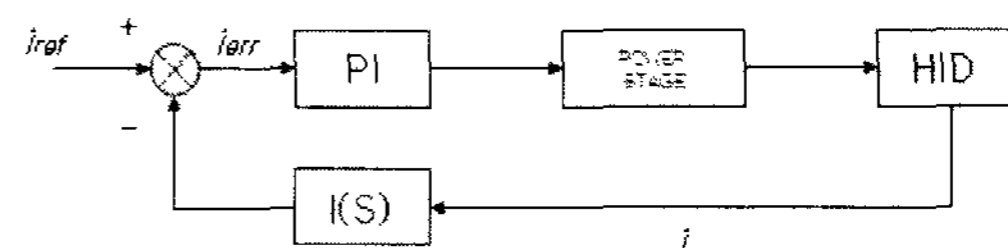


그림 7. 전류제어모드의 블록도
Fig. 7. The block diagram of current feedback control.

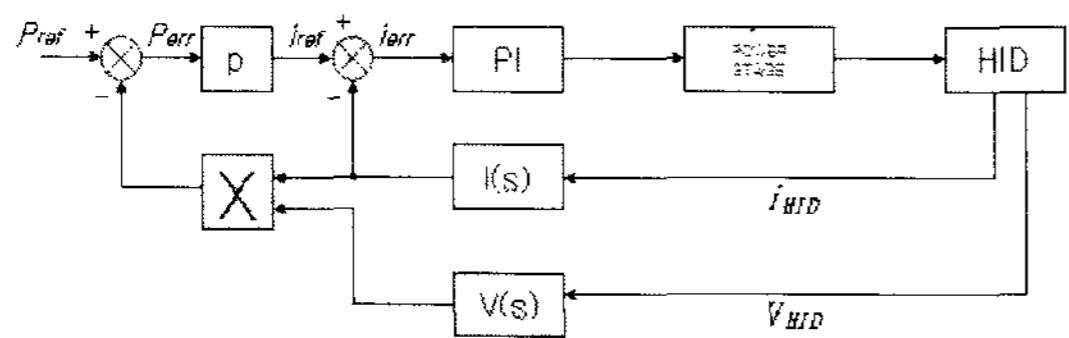


그림 8. 전력피드백제어모드의 블록도
Fig. 8. The block diagram of power feedback control.

그림 8은 전력피드백 제어 블록도이다. 그림 7을 통해 전력이 일정 값까지 상승하면 그림 8의 전력피드백 제어를 통해 램프의 전력을 일정하게 제어하여 안정기의 동작을 최적으로 제어하였다.

III. 실험

그림 9는 실험에 사용된 안정기의 구조를 나타내고 있다.

그림 10은 기존의 고주파 트랜스를 사용한 경우의 플라이백 컨버터의 1차측 드레인(Drain) 전압 과 게이트 전압을 나타내며, 이때의 스위칭 주파수는 약 190kHz 정도임을 알 수 있다.

그림 11은 제안한 평면형 변압기(Planar Transformer)를 사용한 경우의 파형을 나타내고 있다. 이때

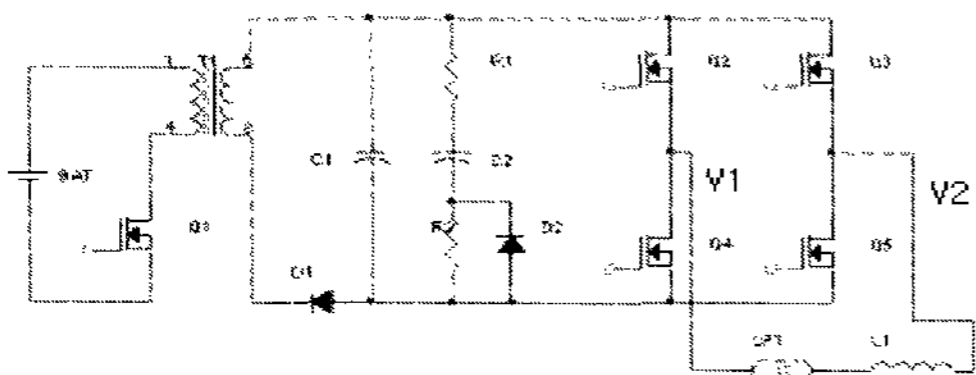


그림 9. 실험에 사용된 안정기의 구조
Fig. 9. Structure of electronic ballast circuit.

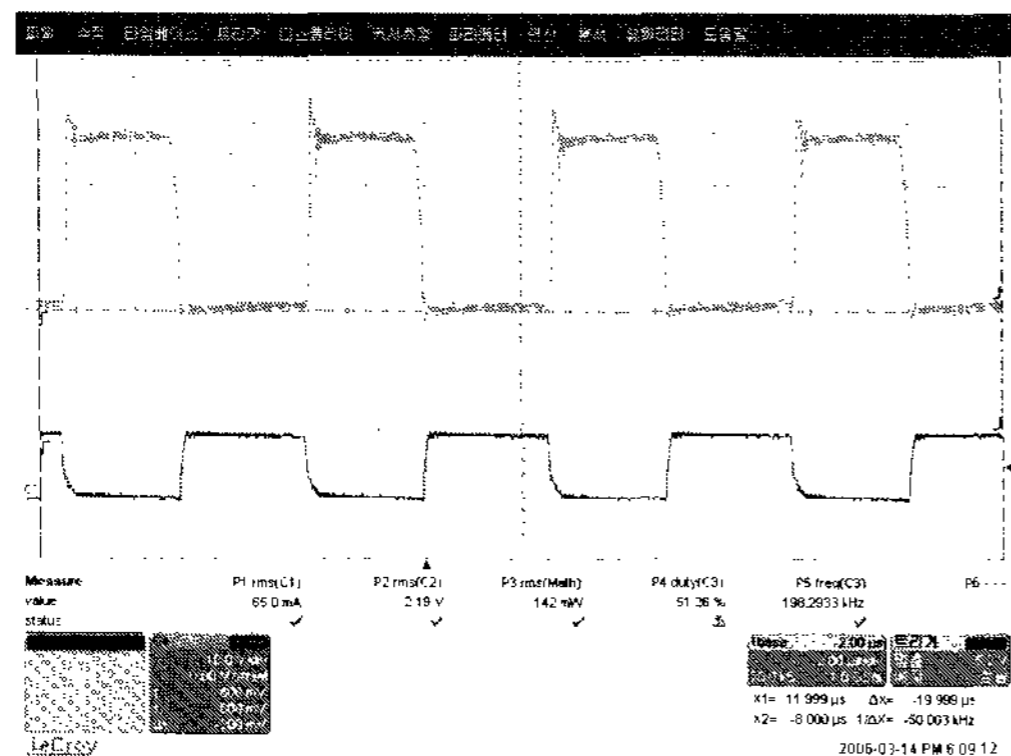


그림 10. 플라이백 컨버터 1차측 FET의 드레인과 게이트 전압 파형(고주파 변압기사용시)
Fig. 10. Drain & gate waveform of Flyback converter primary FET (using conventional high frequency transformer).

컨버터의 스위칭 주파수는 약 420kHz의 스위칭 주파수를 사용하였다. 평면형 변압기의 경우 변압기 코어(Core)의 크기가 일반 권선형 변압기의 코어보다 Size가 현저하게 작기 때문에 스위칭 주파수를 크게 하여 변압기 2차측의 효율향상을 도모하였으며, 스위칭 주파

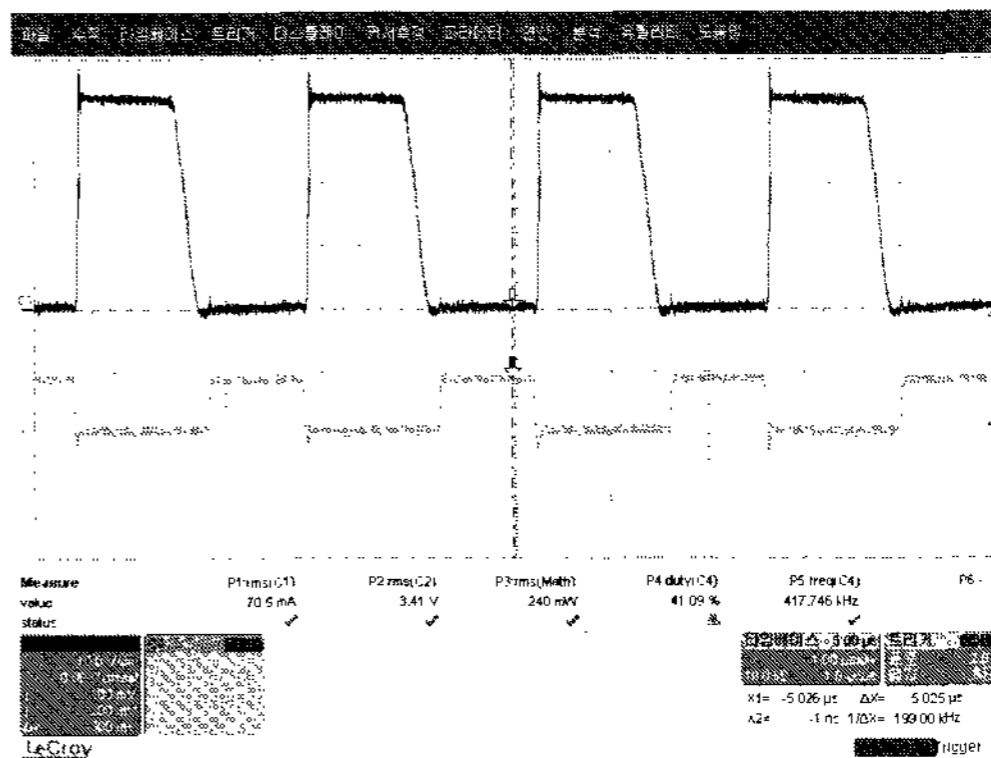


그림 11. 플라이백 컨버터 1차측 FET의 드레인과 게이트 전압 파형(평면형 변압기사용시)
Fig. 11. Drain & gate waveform of Flyback converter primary FET(using planar transformer).

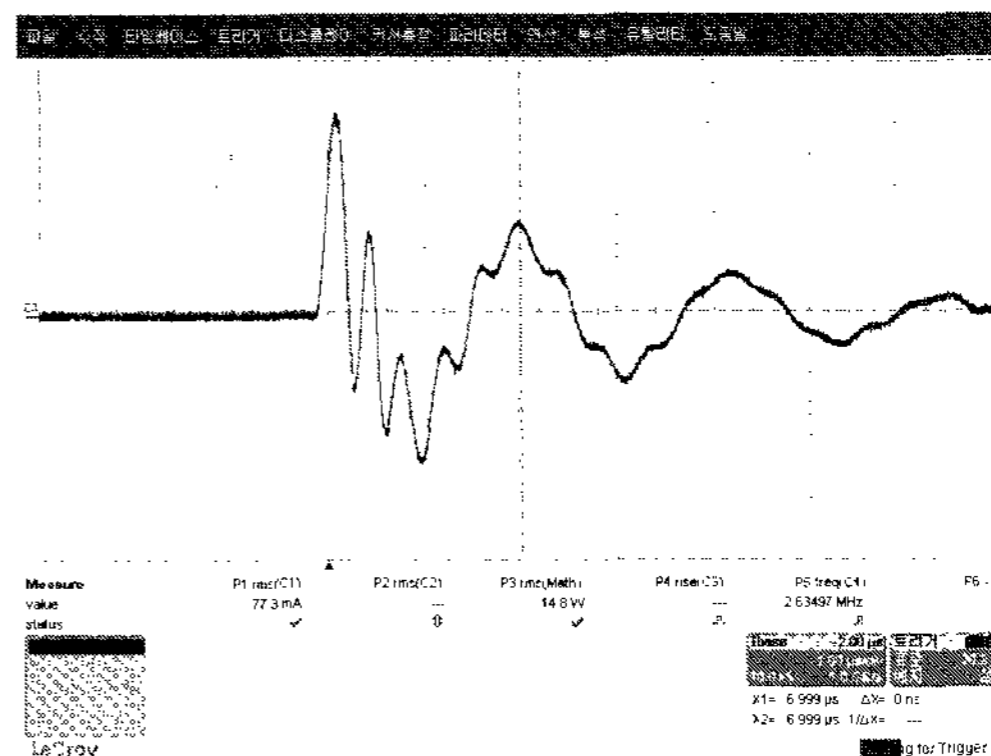


그림 12. 평면변압기를 사용한 제안한 안정기의 무부하시 초기점등전압
Fig. 12. Initial ignition voltage in no load by using proposed planar transformer ballast.

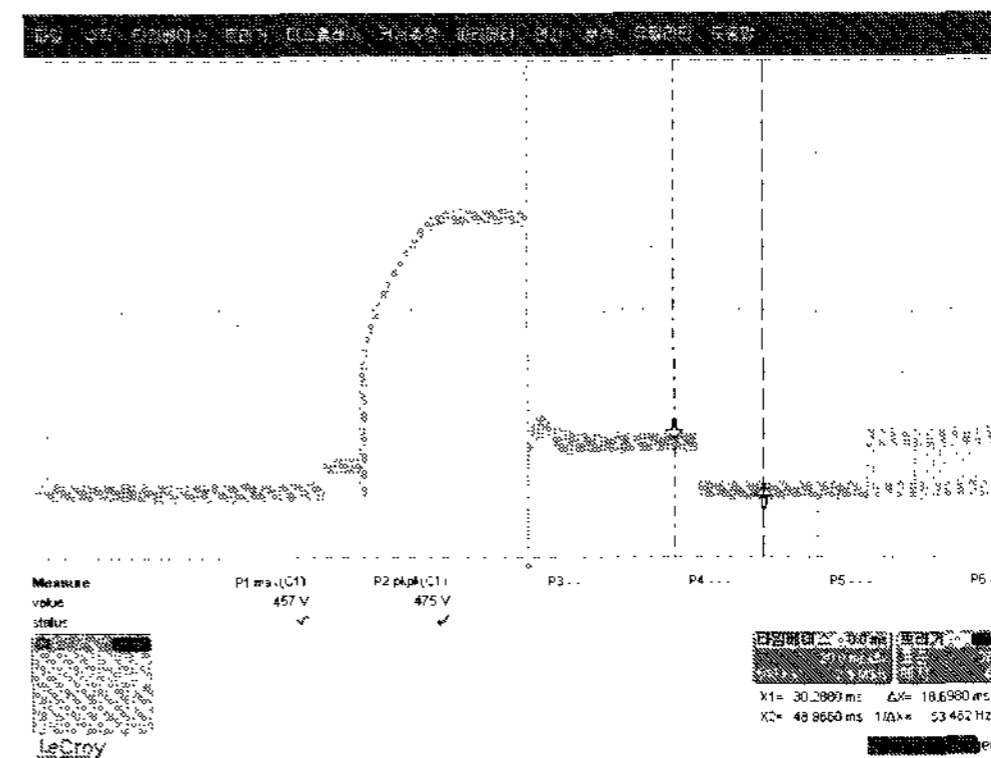


그림 13. 기존 시스템에 의한 안정기의 점등순간 인버터 전압 \$V_1\$
Fig. 13. Inverter voltage \$V_1\$ in ignition by a conventional system(using high frequency transformer).

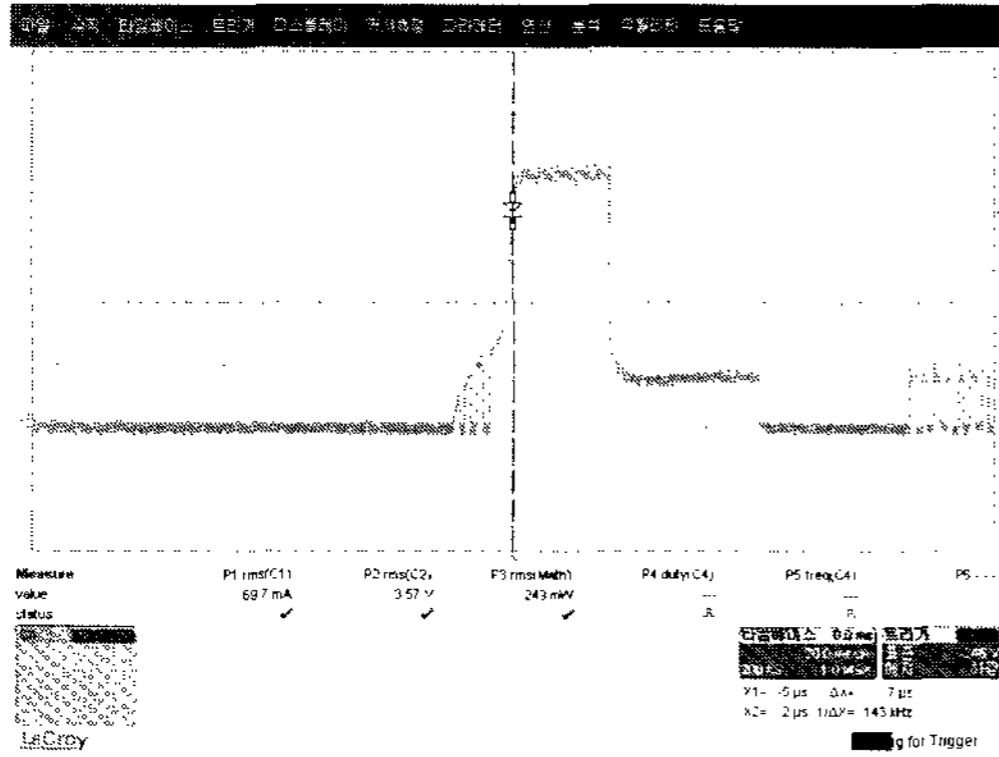


그림 14. 제안된 시스템에 의한 점등순간의 인버터전압 V1
 Fig. 14. Inverter voltage V1 in ignition by a proposed system(using planar transformer).

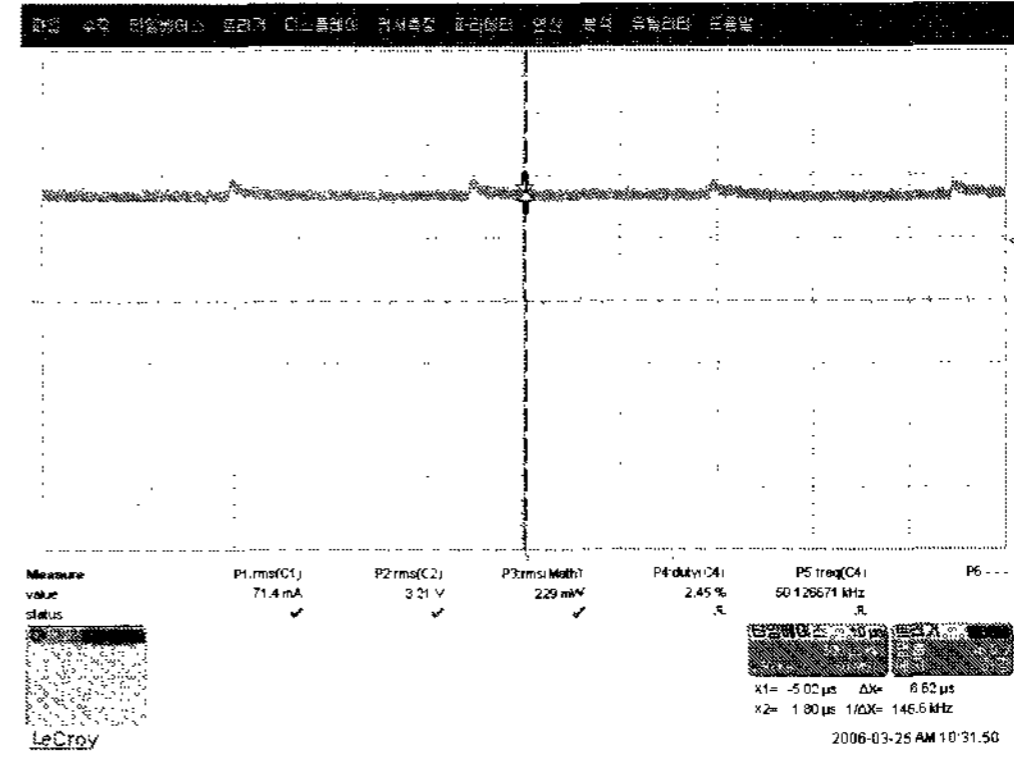


그림 16. 평면형 변압기를 사용한 경우의 DC 링크 전압
 Fig. 16. DC link voltage by proposed method (using planar transformer).

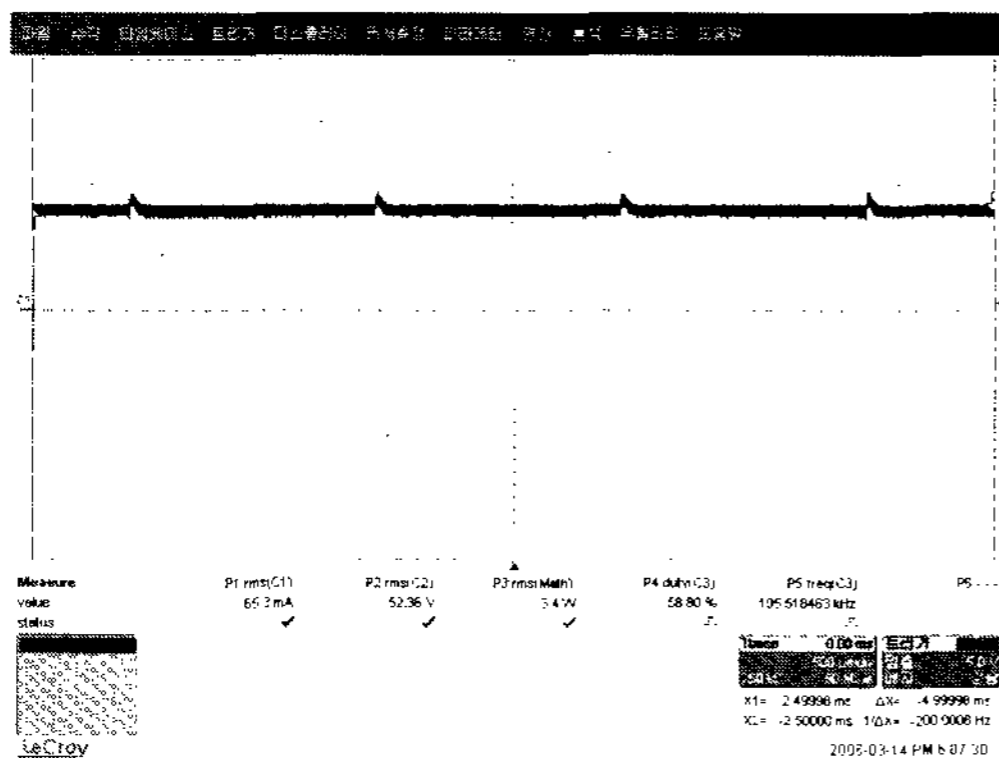


그림 15. 기존 방식에 의한 DC 링크 전압
 Fig. 15. DC link voltage by conventional method.

수가 커짐에 따라 변압기 2차측에 취부된 DC 링크단의 커패시터의 용량을 줄여 제품의 소형화에도 도움이 될 수있다. 기존의 권선형 트랜스의 경우 2차측 DC 링크단의 커패시터 용량이 0.47uF 이었으나 평면형 변압기를 사용한 안정기의 경우 0.22uF로 구성하였다.

그림 12는 평면형 변압기에 의해 구성된 시스템으로 구동시의 무부하 조건에서의 램프초기점등전압을 나타낸다.

그림 13은 기존의 권선형 변압기를 사용한 경우 점등순간의 인버터 전압 V1을 나타낸다. 그림 14는 제안된 시스템(평면형 변압기) 으로 구동한 경우의 점등 순간의 인버터 전압 V1을 나타낸다.

그림 15는 기존의 권선형 변압기를 사용한 경우의 DC 링크단의 파형을 나타낸다. 그림 16은 평면형 변압기를 사용한 경우의 DC 링크 전압을 나타냈다. 그림 16의 경우 그림 15의 경우와 비교시, 전압 리플이 비교적 적게 발생되었으며, DC 링크단의 커패시터 용량 또한 줄일 수 있어서 제품의 소형화와 원가절감에 효율적인 것을 확인 하였다.

IV. 결 론

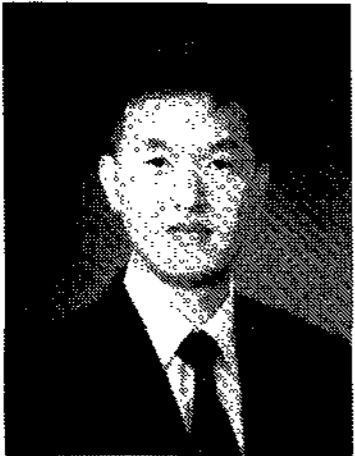
본 논문은 새로운 제어방식과 평면 변압기(planar transformer)를 이용한 자동차용 35W급 메탈헬라이드 램프용 고효율 전자식 안정기의 제어시스템을 구현하였다. 밝기, 연색성, 광효율, 수명 등에서 기존의 할로젠 램프에 비해 우수한 특성을 가지고 있지만 복잡한 과도 특성을 가지고 있는 메탈헬라이드 램프를 자동차에 적용하기 위해 마이크로컨트롤러에 의한 디지털 제어방식을 전자식 안정기에 적용하여 램프요구조건 및 주변환경에 최적으로 적용할 수 있도록 전자식 안정기를 설계하였다. 또한, 자동차의 배터리 입력전압에 따라 안정기의 컨버터(Flyback Converter)의 스위칭 주파수를 가변하여 안정기의 효율증대를 도모하였고, 컨버터의 고주파 스위칭 변압기를 평면형태로 설계하여, 기존의 방식보다 컨버터의 스위칭 주파수를 2배 이상 높여 DC 링크단의 커패시터 용량을 반으로 줄일 수 있었고, 권선형 스위칭시 문제가 되는 기생손실을 최소화 하도록 평면 변압기를 설계하여, 안정기의 고효율화를 실현하여 결과적으로 기존의 고주파 변압기에 비해 손실, 무게 등의 절감과 전체적인 크기의 축소를 실현하여, 배터리라는 한정된 에너지와 한정된 공간을 갖는 자동차에서 효율적인 전력제어를 실현할 수 있었다.

참 고 문 헌

[1] 이재연, “고압수은등,메탈 헬라이드 램프”, 대한영상 시스템 건축전 설비 기술사 2권, pp253-257.
 [2] K.D.G ENG(주), <http://www.newparts.co.kr/>
 [3] In-Kyu Lee, Sung-Jin Choi, Kyu-Chan Lee, Bo

- H. Cho, "Modeling and Control of Automotive HID Lamp Ballast", PEDS'99, pp506-510, Hong Kong, July 1999.
- [4] Yongxuan Hu, "Analysis and Design of High-Intensity-Discharge Lamp Ballast for Automotive Headlamp" 2001.
- [5] 최현식, 이재학, 박경수, "플레너 자기소자를 이용한 파워드 컨버터의 특성연구", 대한전자공학회 논문집 제 37권TE편 제1호, 2000. 3.
- [6] H. J. Faehrich and E. Rasch, "Electronics ballasts for metal halide lamps", Journal of the Illuminating Engineering Society, pp.131-140, Summer, 1998.
- [7] 이치환, 박선규, 이성희, 권우현, "HID 전자식 안정기의 고효율 설계", 한국조명전기설비학회 학술대회 논문집, pp109-113, 2001.11. 1.
- [8] (주)매트론, "높은 전력밀도를 가지는 고효율 평면 변압기(Planar Transformer)", 월간 전기기술, pp26-27, 2004. 4.
- [9] M. Sugiura, "Review of metal-halide discharge lamp development 1980-1992", IEE Proceedings-A, vol.140, No.6, pp.443-449, November, 1993.
- [10] Kyu-Chan Lee, Bo H. Cho, "Design and Analysis of Automotive HID Lamp Ballast System Using Auxiliary Winding", IEEE, 2000.
- [11] Tsoring-Juu Liang, Wen-Bin Shyu, Chun-An Cheng, Chia-Ming Chuang, Jiann-Fuh Chen, "Investigation on Transient and Steady-State Characteristics with Electronic Ballast of Automotive HID Lamps", IEEE, 2002.
- [12] Alberto Reatti, "Low-Cost High Power-Density Electronic Ballast for Automotive HID Lamp", IEEE, pp361-368, 2000.
- [13] Zhang Weiqiang, Xu Dianguo, "Novel constant power control of electronic ballast for HPS lamps", IEEE, ICIT'02, pp129-132, Bangkok, THAILAND, 2002.

 저 자 소 개



이 재 학(정회원)

1989년 중앙대학교 전기공학과 학사졸업.

1991년 중앙대학교 전기공학과 석사졸업.

2005년 중앙대학교 전기공학과 박사 졸업.

순천청암대학 조교수

<주관심분야 : 조명제어, DC/DC 컨버터 제어, >