

디지털제어방식을 이용한 자동차용 고압방전등 안정기의 조광제어

(Dimming Control of A Automotive HID Lamp Ballast Using Digital Control Method)

이재학* · 김윤호

(Jae-Hak Lee · Yoon-Ho Kim)

요 약

본 논문은 디지털제어방식을 이용한 자동차용 35[W]급 메탈할라이드 램프용 전자식 안정기의 고효율 조광제어 시스템을 구현하였다. 본 논문에서는 밝기, 연색성, 광효율, 수명 등에서 기존의 할로겐 램프에 비해 우수한 특성을 가지고 있지만 복잡한 과도특성을 가지고 있는 메탈할라이드 램프를 자동차에 적용하기 위해 디지털 제어방식을 전자식 안정기에 적용하여 램프 요구조건 및 주변 환경에 최적으로 적용할 수 있도록 전자식 안정기를 설계하였다. 또한, 주변의 빛의 세기에 따라 램프의 양단전압을 단계별로 가변 제어하는 조광시스템을 구현하여, 운전자에게는 보다 효율적인 운전여건을 만듦과 동시에 한정된 에너지를 가진 배터리로 운전하는 자동차에서 효율적인 전력제어를 실현하였다. 개발된 안정기에 대한 동작특성을 시뮬레이션과 실험을 통해 확인하였다.

Abstract

This paper presents dimming control system for automotive 35[W] metal halide discharge(MHD) lamp electronic ballast using digital control method. HID system has been becoming increasingly popular due to its superior performance(high luminous efficacy, good color rendering and long life etc.)over the conventional halogen system. However, this lamp demands a highly efficient ballast and very complex control circuitry that can control complex transient state in applying to automotive. Therefore, in this paper, digital control method for the HID lamp ballast is presented for optimal control that can adapt complex transient state, steady state and various environments. In developed dimming system, the system is designed to control the lamp output voltage step by step using microcontroller according to cds sensor. Therefore the designed dimming control system give good driving condition to driver and realize the power control effectively. The results of the proposed system is verified through various simulation results and the experiment results.

Key Words : HID, MHD, Dimming control, Electronic Ballast, Digital control method

* 주저자 : 순천청암대 조교수. 중앙대 전기공학과 박사졸업예정
Tel : 061-740-7411, Fax : 061-740-7188, E-mail : pelectro@scjc.ac.kr
접수일자 : 2004년 10월 25일 1차심사 : 2004년 10월 27일 심사완료 : 2004년 11월 10일

1. 서 론

일반적으로 광변부하가 $3[W/cm^2]$ 이상인 방전 램프를 고휘도 방전램프(High Intensity Discharge Lamp)라고 하는데, 고휘도 방전램프의 한 종류인 메탈헬라이드 방전램프는 고압 수은등에 나트륨(Na), 탈리움(Tl), 인듐(In), 셀레늄(Se), 토륨(Th), 스칸듐(Sc), 다이스프로슘(Dy) 등의 금속 원소와 할로젠을 혼합한 금속할로겐화합물을 첨가하여 연색성과 효율, 수명등을 향상시킨 방전등으로 최근 Green Round와 에너지 절약에 대한 세계 각국의 현안에 의해 이 분야에 대한 관심과 연구가 집중되고 있는 가운데 실내 조명용 및 자동차 전조등 등 그 적용범위가 급속도로 확산되고 있다[1][2]. 메탈헬라이드 램프는 또한, 뛰어난 연색성과 고정된 지향성 빔 특성 때문에 자동차용 램프로서 가치가 클 것으로 기대된다[3]. 표 1은 기존의 할로젠 램프 전조등을 사용한 경우와 메탈 헬라이드 HID 전조등을 사용한 경우의 차이점을 비교한 것이다[4].

표 1. 할로젠 램프와 HID 램프와의 특성 비교
Table. 1. The characteristic comparison of Halogen and HID lamp

	기존의 Halogen 램프	HID 램프
광 원	필라멘트	아크 방전
색온도	~ 3,000[K]	~ 4,100[K]
광 속	700~1,000[lm]	3,200~4,000[lm]
전 력	55[W]	35[W]
수 명	300~1000 시간	3000 시간 이상

하지만 HID 램프는 특별한 과도특성을 가지고 있기 때문에 이들을 제어하기 위해서는 매우 복잡한 구조의 안정기 회로가 필요하고, 사용하는 DC/DC 컨버터도 열적인 문제 때문에 효율이 좋아야 한다. 이러한 이유로 현재 가격이 비싼 고급 차에만 한정되어 사용되고 있고 있는데, 중소형의 자동차에도 사용할 수 있도록 하기 위해서는 안정기의 코스트를 낮추고, 안정기 크기를 줄이는 방법들이 개발되어야 한다[3][4][5]. 또한 MHD램프

는 고압방전할 때, 방전관내의 음향공진현상으로 인해 방전관내의 아크가 불안정하여 플리커나, 소음, 아크 소멸 등을 발생시킨다[6]. 본 논문은 복잡한 과도특성을 갖는 메탈헬라이드 램프를 자동차에 최적으로 적용하기 위해 마이크로컨트롤러를 이용한 디지털 제어방식의 전자식안정기를 개발하였으며, 또한 주변의 빛의 세기에 따라 램프의 양단전압을 단계별로 가변 제어하여, 운전자에게는 보다 효율적인 운전조건을 만듦과 동시에 한정된 에너지를 가진 배터리로 운전하는 자동차에서 효율적인 전력제어를 실현하였다. 본 논문에 사용된 메탈헬라이드 램프용 전자식 안정기는 Flyback Type 컨버터, 풀브리지 인버터와 승압 점화장치(igniter)로 구성되어있으며, 주변의 빛의 조도에 따른 조광제어에는 CdS 센서를 이용하여, 빛의 세기에 따른 출력전압을 마이크로컨트롤러에 의해, 단계적으로 제어하도록 프로그램을 개발하였다. 또한, 방전관내의 전극수명 감소를 막고 음향공명을 피하기 위하여 고주파 리플성분을 추가하기 위한 절연형 Flyback 컨버터와 저주파로 구동하는 풀브리지 인버터를 이용하여 구형저주파에 정현고주파가 첨가되도록 하였다[5][6][7]. 개발된 안정기에 대한 동작 특성을 시뮬레이션과 실험을 통해 확인하였다.

2. 자동차용 HID 램프의 특성

2.1 방전등의 동작단계

방전등의 동작단계는 방전이 시작되는 점화(breakdown)구간과 음극강하에 의한 강한 전계에 의해 가속된 양이온이 음극에 충돌하여 음극으로부터 2차전자가 방출되고, 방출된 전자는 강한 전계에 의해 양극을 향해 가속되어 봉입 기체의 분자, 원자와 충돌하여 전리시키며 전리에 의해서 발생한 양이온은 다시 음극에 충돌하여 전자를 방출시키는 글로우 방전구간(glow discharge)구간 및 글로우 방전에서 방전전류가 증가하여 많은 양이온의 충격에 의해 음극이 가열되어 음극으로부터 열전자 방사가 시작되어 일어나는 아크방전(arc discharge)구간으로 크게 분류될 수 있다[1][3].

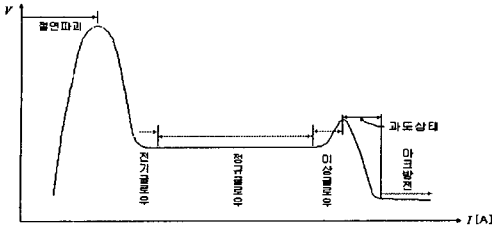


그림 1. HID 램프의 방전특성
Fig. 1. The discharge characteristic of HID lamp

2.2 자동차용 HID 램프의 시동 동작특성

램프의 동작을 6개의 모드로 나누어 모드별 동작 사항을 정리하면 다음과 같다[3][4].

- 1) 개방회로 전압발생(Turn-on Stage, $T_1 \approx 30ms$)
가스의 절연파괴전에 램프는 개방회로처럼 동작한다.
- 2) 점화용 고압펄스(Ignition stage, $T_2 \approx 100ms$)
램프는 램프 종류, 램프 조건, 온도와 경년, 펄스의 상승시간 등의 조건에 따라 23~30[kV] 크기의 점화펄스로 안전하게 점등될 수 있다.
- 3) Take-over stage($T_3 \approx 300\mu s$)
일단 고압의 점화펄스가 램프에 가해지면, 램프 임피던스는 약 십여 [Ω]까지 급격히 떨어진다. 점화 후 램프의 상태가 글로우 방전상태에서 아크 방전상태로 천이하는데 필요한 전류(over 12[A])로, 이 전류는 에너지가 저장된 캐패시터의 방전에 의해 전달되며, 이 전류가 충분히 공급되지 않으면 점등이 실패된다.
- 4) Warm-up stage($T_4 \approx 20ms$)
Take-Over(상태 천이)후 안정기에서 공급되는 전력에 의해 램프의 내부온도와 압력이 상승하며 램프전압과 광출력도 같이 상승한다. 광출력이 일정시간 안에 정상상태의 일정 비율 이상이 되도록 제어해야 한다.
- 5) Run-up stage($T_5 \approx 10s$)
정상상태에서의 전력은 35[W]인 반면, 과도상태에서는 75[W]정도의 전력이 필요하다. Run-up 기간동안 전압은 약 20[V]에서 85[V]까지 상승하고, 전류는 약 2.5[A]에서 0.4[A]까지 감소한다.
- 6) Steady state(T_6)

6~12초 후에 램프는 안정상태로 들어간다. 그림 2는 램프 동작을 6개로 나누어 보았을 때, 램프의 전압 전류 파형 형태를 보여주는 것으로 램프의 이러한 동작특성에 적합하도록 안정기 시스템이 설계돼야 한다[4].

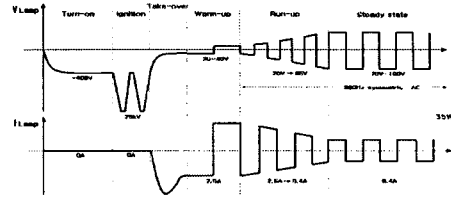


그림 2. 동작 구간별 V-I 특성 곡선
Fig. 2. Lamp V-I profile in all operation

3. 메탈앨라이드 램프의 음향공명 현상

방전관내에 가스를 봉입하고 방전전류를 흘리면 열이 발생하고, 이열에 의해 방전관내의 압력이 변화한다. 주기적인 압력변화가 내벽에 반사되어 정재파가 발생하는 현상이 방전관의 고유진동수이며, 이 고유진동수와 전원주파수가 일치될 때 음향공명현상이 발생한다[8]. 이 현상은 아크를 불안정하게 하고, 플리커를 발생시키며, 아크 소멸, 혹은 램프 손상과 램프 폭발까지도 가져올 수도 있다[6][8]. 자동차 HID 램프에서 음향공명의 주파수 범위는 10[kHz]에서 1[MHz]까지이다. 방전관의 길이 방향의 기본 공명주파수는 식(1)과 같으며[5]

$$f_L = \frac{C}{2L} \quad (1)$$

여기서 L 은 아크길이, C 는 음향속도이다.

방전관의 지름 방향의 기본 공명주파수는 식(2)와 같다[5].

$$f_R = \frac{3.83C}{2\pi R} \quad (2)$$

여기서 R 은 방전관의 반지름이다.

방전관의 원방향의 기본 주파수는 식(3)과 같다[5].

$$f_A = \frac{1.84C}{2\pi R} \quad (3)$$

음향공명을 피하기 위해, 몇 가지 방법이 제안되었는데[6], 첫 번째는 램프를 최소 공진주파수 이하인 수백 [Hz]의 저주파에서 구동시키는 방법, 두 번째는 관내 공진을 일으키지 않는 안정주파수를 찾아 구형저주파에 고주파 성분을 첨가한 방법, 세 번째는 화이트 노이즈 등을 이용하여 고주파 변조 방법에 의하여 구동시키는 방법, 네 번째는 관내 최고 공진주파수 이상인 [MHz]에 이르는 주파수로 램프를 구동시키는 방법이다. 본 논문에서는 음향공명을 피하기 위해 식(1)~(3)을 이용하여 공진을 일으키지 않는 안정주파수를 찾아 구형저주파에 고주파 성분을 첨가토록한 절연형 Flyback 컨버터를 이용하여 음향공명 현상을 제거하였다.

4. 조광제어용 고효율 전자식 안정기 회로의 구조

본 논문에서 자동차용으로 개발한 조광제어용 고효율 전자식 안정기 회로의 블록도를 그림 3에 나타내었다. 그림 3과 같이 제안된 시스템은 자동차 주변의 밝기에 따라 CdS 셀(Cell)에 입력되는 빛의 강도에 따른 신호를 MCU(Micro- Controller Unit)에서 단계별로 구분하여, Flyback 컨버터의 MOSFET의 Gate 신호를 PWM 제어하여, LAMP 양단의 전압을 제어하여, 조광제어를 하는 구조로 되어있다. CdS 셀(Cell)에 입력되는 빛의 강도에 따른 신호의 제어시에 히스테리시스 제어를 통해 안정기의 조광제어시의 민감도를 감소시켜 조광제어시의 안정화를 실현하였다. 또한 조광제어시의 LAMP의 균일한 조도를 유지하기 위해 인버터 단에서 전압과 전류를 실시간으로 MCU로 읽어 들여 제어하였다.

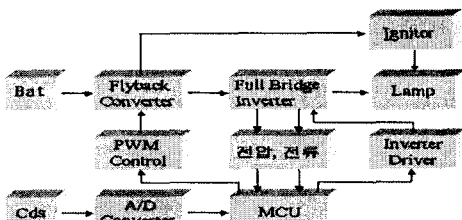


그림 3. 제안한 전자식 안정기의 전체블록도
Fig. 3. The block diagram of proposed electronic ballast

5. 안정기 회로의 분석

그림 4의 회로에서 배터리 입력전압은 9~12[V]이며, 이 전압이 승압되어 램프와 점화기에 공급된다. 본 논문에서 채택한 Flyback 컨버터는 1차와 2차 코일이 서로 역방향으로 감겨져 있고[9] 다중의 출력을 쉽게 만들 수 있다. 그림 4에서 커패시터 C_2 는 점화전에 충전 저항 R_1 을 통해 전류를 충전하고, 점화후에 램프가 즉시 글로우 방전상태에서 아크 방전상태로 전이하도록, 방전저항 R_2 를 통해 전류를 방전한다. 또한 MHD 램프는 램프의 흑화를 방지하기 위해 교류로 구동해야 하는 데, 250[Hz]의 저주파로 스위칭하여 구형파를 발생시키는 폴브리지 인버터를 이용하여 음향공명 현상을 방지하였다[3]. 본 논문은 여러 가지 장점에도 불구하고 복잡한 과도특성을 갖는 메탈헬라이드 램프를 최적으로 제어하여 자동차에 적용하기 위해 마이크로프로세서를 이용한 디지털 제어방식의 전자식안정기를 설계하였다. 또한 제안된 시스템은 램프의 조광제어를 위해, 자동차 주변의 밝기에 따라 CdS 셀(Cell)을 이용하여 입력되는 빛의 강도에 따른 신호를 검출하여, MCU(Micro-Controller Unit)로 보내고, MCU에서는 센싱된 신호를 단계별로 구분하여, Flyback 컨버터의 MOSFET의 Gate 신호를 PWM 제어하여, 램프 양단의 전압을 제어하였다. 또한 조광제어시 CdS 셀(Cell)에 입력되는 빛의 강도에 따른 신호를 히스테리시스 기법을 이용하여 제어함으로써, 조광제어시의 안정화를 도모하였고, 조광제어시 램프의 균일한 조도 유지를 위해 인버터단에서 전압과 전류를 실시간으로 MCU로 읽어 들여 제어하였다.

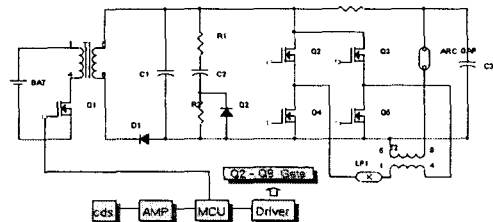


그림 4. 제안한 조광제어용 고효율 전자식 안정기 회로
Fig. 4. The high efficiency electronic ballast circuit for proposed dimming control

디지털제어방식을 이용한 자동차용 고압방전등 안정기의 조광제어

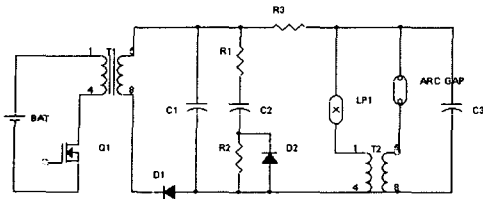


그림 5. 전자식 안정기의 점등전 동작회로
Fig. 5. The ballast operating of the before ignition

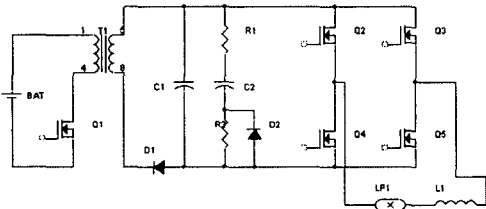


그림 6. 전자식 안정기의 점등 후 동작회로
Fig. 6. The ballast operating of the after ignition

그림 5는 램프를 점등하기 전의 안정기의 동작회로를 나타내고 있다[10]. 초기 점등이전에는 400[V]의 아크갭이 동작될 수 있도록 Flyback 컨버터의 2차측의 전압을 상승시켜야 한다. 이 전압이 400[V] 이상이 되어 아크갭이 동작되면, 고압변압기 T2의 2차측에 순간적인 고전압이 발생되어 HID 램프의 절연이 파괴되는 순간까지의 상태이다. 그림 6은 안정기가 점등이 된 후의 정상상태에서 인버터 동작에 의한 점등유지 상태를 나타낸다[10]. 앞의 그림 5의 상태에서 점등이 개시된 후에 계속 아크상태를 유지하기 위해서는 Flyback 컨버터에서는 MOSFET (Q1)의 게이트 신호를 제어하여, 컨버터의 2차측에 전류를 공급해 주면서, 인버터를 구동하는 동작을 수행한다. 초기점등이전에 상태에서 사용된 아크갭의 회로는 이 동작에서는 사용되지 않는다.

6. 이그나이터(Ignitor) 회로

아크갭이 동작하는 전압까지 상승하게되면, 400[V]의 고전압이 아크갭의 동작과 함께 점화용 (Ignition) 변압기 T2의 1차측에 유기된다. 그러면 점화용 변압기 T2의 2차측에는 변압기의 턴비에 의해 약 26,000[V]의 고전압이 유기되어 램프의 절연

을 파괴하여 방전을 일으키게 되어 점화동작을 수행한다. 이때 사용되는 점화용 변압기는 순간적인 전류의 흐름을 원활히 하도록 알루미늄 호일을 재질로 사용하는 권선을 사용하였다.

7. 디지털 제어

메탈헬라이드 램프와 같은 고압방전등을 자동차에 적용시 빠른 점등/재점등 특성, 정상상태에서 안정된 광출력특성이 요구되지만, 시동에서 정상상태에 이르기 까지 복잡한 v-i 특성을 가지고 있는 고압방전 램프를 기존의 아날로그제어기로는 최적의 상태로 제어하는 것이 용이하지 않고 한다고 하더라도 회로가 복잡해진다[8]. 따라서 상기에서 언급한 제어 목적을 만족시키기 위해 마이크로컨트롤러를 이용해 보다 유연한 기능을 가진 디지털 제어기를 설계하여 적용할 필요가 있다.

7.1 마이크로컨트롤러

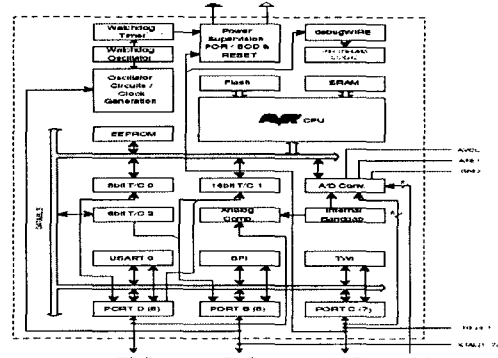


그림 7. AVR(ATMEGA48) 내부블록다이어그램[11]
Fig. 7. AVR(ATMEGA48) inner block diagram

본 논문에서는 Mega 시리즈 AVR 중 하나인 ATMEGA48 을 사용하였다. AVR시리즈는 기존에 다른 마이컴에 비해 처리속도가 매우 빠르고, SPI(System Program Interface)기능을 가지고 있어, 보드에 취부되어 있는 상태에서도, 프로그램의 수정이 가능한 장점을 가지고 있다. 또한 원칩(One Chip) 마이컴이 가지는 최대한의 장점을 가진 마이컴으로 내부에 8채널의 10[bit] A/D(Analog to Digital) 컨버터를 내장하고 있으며, 시스템의 안정성을 향상

시킬수 있는 WDT(Watch Dog Timer)기능을 내장하고 있다.

7.2 디지털 제어 단계[4]

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 8. 디지털 제어 모드
Fig. 8. Digital control mode

1) 1단계 : 전압 피드백 제어모드

2.2절의 분석에서 안정기는 서로 다른 여러 가지 동작 상태에서 각기 다른 모드로 동작할 필요가 있음을 알 수 있다. 특별히 Turn-on 단계에서 안정기는 적당한 출력전압을 발생시키고, 점화기가 점화펄스를 만들어 낼 때까지 이 전압을 유지해야 한다. 따라서 출력전압을 피드백 하여 제어하는 모드로 동작되어야 한다.

2) 2단계 : 전류 피드백 제어모드

Warm-up 단계에서 안정기는 각 반파에 대해 전류 적분값이 정해놓은 일정값에 도달할 때까지 램프 전류와 전류의 적분값을 제어해야 한다. 따라서 램프전류를 피드백하여 제어하는 모드로 동작되어야 한다.

3) 3단계 : 전력 피드백 제어 모드

마지막으로 Run-up 및 Steady State 상태에서 안정기는 램프전력을 적절하게 제어해야 한다. 우선, 전력이 75[W]를 초과할 수 없고, 전류는 2.6[A]를 초과할 수 없다. 따라서 만약 초기 전압이 30[V] 미만이면 안정기는 램프전력이 75[W]에 이를 때까지 출력전류를 허용가능한 최대 값으로 제한해야 하고, 이때까지는 전류 피드백 제어모드로 동작한다. 전력이 75[W]에 도달하면 안정기는 정전력제어를 수행하도록 프로그램 되어야 하고, 이 일정전력은 전압이 50[V]에 도달할 때 까지 유지되어야 한다. 다음에 램프전력은 점차적으로 35[W]로 감소한다. 상기에서 언급한 전압, 전류, 전력 피드백 제어에 따른 제어

된 전압, 전류, 전력의 파형을 그림 9에서 보여준다. 램프의 전압과 전류는 DC Link 단에서 검출될 수 있으므로 DC 값으로 나타내었고, 전류값의 제어치에 주목할 필요가 있다. 이상의 경우는 램프가 초기 점등 모드(Cold Start)에서 구동할 경우의 값이고, 램프가 가열된 후 재점등 모드에서는 점화 후에 즉시 높은 초기 전압을 갖게 되므로 다른 제어 방식을 가져야 한다. 제어기는 램프 상태에 따라 전압 피드백, 전류 피드백, 전력 피드백등 3개의 동작모드로 구성될 수 있다.

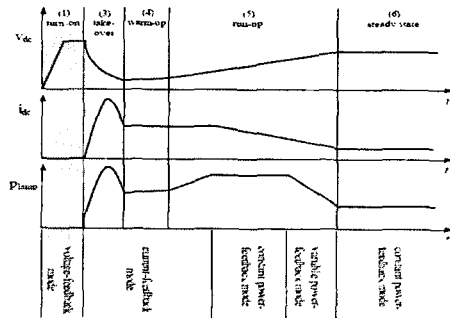


그림 9. 램프의 전압, 전류 및 전력 제어 흐름도
Fig. 9. Lamp voltage, current, and power control sequence

8. 조광제어시스템

8.1 조광제어 개념

본 논문에서는 제안된 시스템은 램프의 조광제어를 위해, 자동차 주변의 밝기에 따라 CdS 셀(Cell)을 이용하여 입력되는 빛의 강도에 따른 신호를 검출하여, MCU(Micro-Controller Unit)로 보내고, MCU에서는 센싱된 신호를 단계별로 구분하여, Flyback 컨버터의 MOSFET의 Gate 신호를 PWM 제어하여, 램프 양단의 전압을 제어하였다. 또한 조광제어시 CdS 셀(Cell)에 입력되는 빛의 강도에 따른 신호를 히스테리시스 기법을 이용하여 제어함으로써, 조광제어의 안정화를 실현하였고, 조광제어시 램프의 균일한 조도 유지를 위해 인버터 단에서 전압과 전류를 실시간으로 MCU로 읽어드려 제어하였다. 그림 10은 디지털제어와 조광제어를 위해 본 논문에 적용된 마이크로컨트롤러 주변의 제어 및 감지회로

디지털제어방식을 이용한 자동차용 고압방전등 안정기의 조광제어

를 블록 다이어그램으로 나타낸 것이다. Flyback 컨버터의 제어는 컨버터의 높은 주파수에 적절하게 제어될 수 있는 전용의 PWM 제어회로를 외부에 취부하였으며, 내장된 AD 컨버터에서는 램프전압과 전류 그리고 조광제어를 위한 CdS 센서의 전압값을 받아들여, 정전력제어와 주변의 조도에 따른 조광제어를 수행하도록, Flyback 컨버터의 게이트의 제어 신호를 만드는데 이용된다.

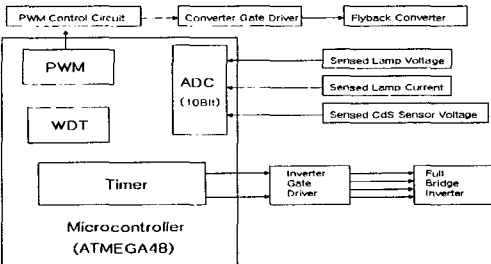


그림 10. 마이크로컨트롤러와 주변 감지회로
Fig. 10. Microcontroller and interface circuits

본 시스템에서 마이크로컨트롤러는 초기 점등시에는 컨버터의 게이트 펄스를 100[%] 듀티비로 동작시키고, 점등후 일정시간 동안에는 램프의 양단전압과 전류의 값을 A/D 컨버터로 읽어 들여 정전력으로 제어하도록 Flyback 컨버터의 스위칭을 제어하면서 인버터를 구동하여 점등을 유지한다. 그리고 램프가 정전력(35[W])으로 구동이 시작되면, CdS 센서에서 읽어진 외부의 조도에 따라 조광제어 기능을 수행한다.

8.2 조광제어 프로그램

그림 11은 조광제어를 위한 프로그램의 순서도이다. 안정기에 전원이 공급되면 먼저 MCU가 초기화된 후, 안정기 점등을 위한 최대의 듀티비로 점등을 시작한다. 이때 전력이 75[W]를 초과할 수 없고, 전류는 2.6[A]를 초과 할 수 없도록 프로그램 하였기 때문에 만약 초기 전압이 30[V] 미만이면 안정기는 램프전력이 75[W]에 이를 때까지 전류 피드백 제어 모드로 동작하여, 출력전류를 허용가능한 최대 값으로 제한하고, 전력이 75[W]에 도달하면 안정기는 정전력 제어를 수행하도록 프로그램 되어 있다. 이 일 정전력은 전압이 50[V]에 도달할 때 까지 유지되도

록 하였고, 그 후 램프전력은 점차적으로 35[W]로 감소한다. 정전력 구간에 이르게 되면, CdS 센서에서 입력된 신호의 변화에 따라 Flyback 컨버터의 게이트 신호를 가변 제어하여 조광제어를 실시한다.

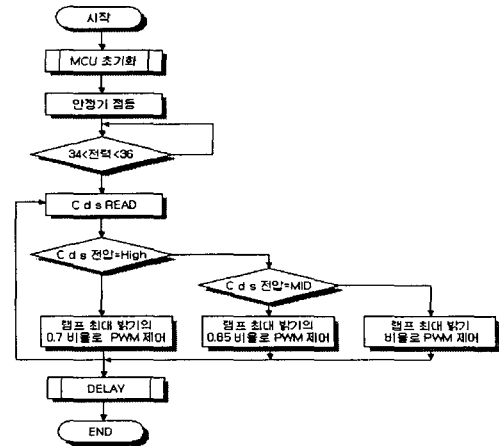


그림 11. 제안한 조광제어시스템의 순서도
Fig. 11. Flow chart of proposed dimming control system

9. 시뮬레이션 및 실험 결과

시뮬레이션 및 실험에 사용된 자동차용 안정기의 설계치는 표 2와 같다.

표 2. 시뮬레이션 및 실험에 사용된 자동차용 안정기의 설계치

Table 2. Parameter for simulation and experimental

V_{IN}	12[V]	$C1$	4.7[μ F]
$Q1$	IRF3710	$R1$	120[k Ω]
f_{Q1}	125[kHz] (0.5 duty)	$T1$	권수비 1 : 7
$Q2 \sim Q5$	IRF840	$C2$	0.47[μ F]
f_{Q2}	250[Hz]	$R2$	10[k Ω]

9.1 시뮬레이션

그림 12는 시뮬레이션에 사용된 제어기의 회로도이다. 제어기의 시뮬레이션은 PSIM 시뮬레이션 툴을 이용하여 행하였다.

파괴되는 순간 전류가 흐르는 과도상태가 진행되다가 그림 20의 램프 양단전압의 파형과 마찬가지로, 정상상태의 파형을 유지함을 볼 수 있다.

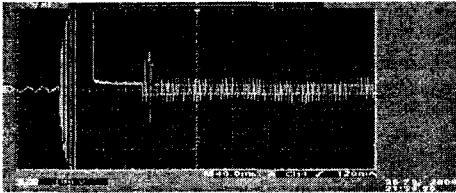


그림 17. 과도 상태 램프전압
Fig. 17. The transient lamp voltage

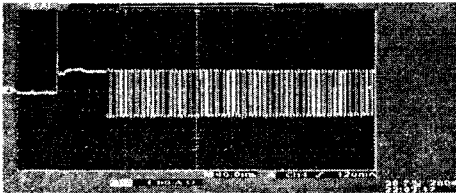


그림 18. 과도상태 램프전류
Fig. 18. The transient lamp current

그림 19는 Flyback 컨버터 MOSFET의 드레인 전압을 보여주고 있다. 그림 19에서 음향공명현상을 제거키 위한 고주파 리플이 생성됨을 볼 수 있고, 풀 브리지 인버터에서 생성되는 저주파수의 구형파에 이 고주파 리플을 첨가하여 메탈헬라이드 램프에서 발생하는 음향공명현상을 제거토록 하였다.

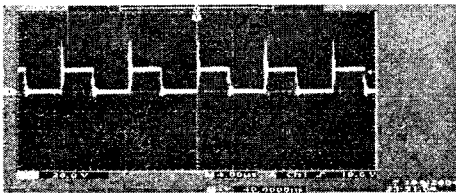


그림 19. MOSFET드레인 전압(Flyback 컨버터)
Fig. 19. The MOSFET drain voltage(Flyback converter)

그림 20은 정상상태에 도달하였을 때의 램프 양단 전압과 전류파형을 나타낸다.

그림 21은 램프최대 밝기의 100[%] 비율로 조광제어의 램프전압과 전류를 나타내고 있다.

그림 22는 램프최대 밝기의 0.85배 비율로 조광제어시 램프전압과 전류를 나타내고 있으며, 그림 21

과 비교시, 램프의 출력전압과 전류가 줄어든 것을 확인 할 수 있다. 그림 23은 램프최대 밝기의 0.7배 비율로 조광제어시 출력전압과 전류 파형을 보여 주고 있다.

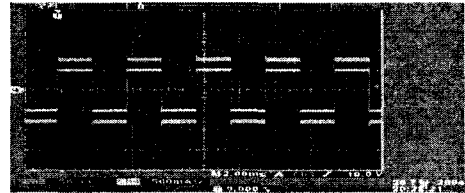


그림 20. 정상상태 램프의 전압 및 전류
Fig. 20. The steady state lamp voltage and current

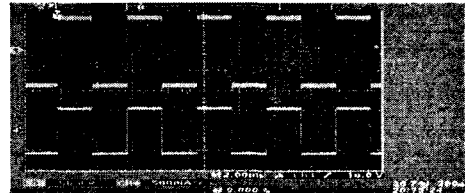


그림 21. 램프최대 밝기로 조광제어시 램프 전압 및 전류
Fig. 21. The lamp output voltage, current in lamp maximum brightness dimming

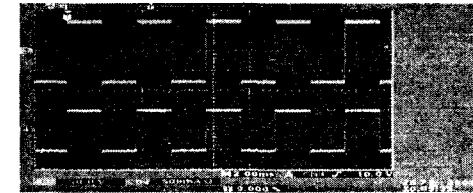


그림 22. 램프최대 밝기의 0.85배 비율로 조광제어시 램프전압 및 전류
Fig. 22 The lamp output voltage, current in 0.85 ratio of lamp maximum brightness dimming

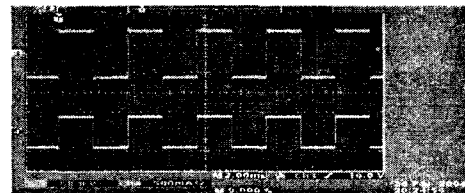


그림 23. 램프최대 밝기의 0.7배 비율로 조광제어시 램프전압 및 전류
Fig. 23. The lamp output voltage, current in 0.7 ratio of lamp maximum brightness dimming

표 3은 제안한 조광제어용 안정기의 입력전력 절감효과를 보여주고 있다. 표 3에서 볼 수 있듯이 차량의 주변 밝기에 따라 조광제어를 하는 경우에 입력전력의 비효율적인 소모를 상당히 줄일 수 있어, 차량용 배터리의 효율적인 전력제어를 실현하는 것이 가능하다.

표 3. 제안한 조광제어용 안정기의 입력전력 절감 효과 비교
Table 3. Comparison of Input power Reduction Effect by proposed dimming control Ballaster

조광 제어	입력 전압	입력 전류	입력 전력	입력전력 절감률
100[%]	13.5[V]	3.15[A]	42.5[W]	100[%]
85[%]	13.5[V]	2.73[A]	36.9[W]	86.7[%]
70[%]	13.5[V]	2.31[A]	31.2[W]	73.4[%]

10. 결 론

디지털제어 방식을 이용한 자동차용 35[W]급 메탈헬라이드 램프용 전자식 안정기의 고효율 조광제어 시스템을 개발하였다. 본 논문에서는 밝기, 연색성, 광효율, 수명등에서 기존의 할로젠 램프에 비해 우수한 특성을 가지고 있지만 복잡한 과도특성을 가지고 있는 메탈헬라이드 램프를 자동차에 적용하기 위해 마이크로컨트롤러에 의한 디지털 제어방식을 전자식 안정기에 적용하여 주변환경에 최적으로 적용할 수 있도록 전자식 안정기를 설계하였다. 또한 주변의 빛의 세기에 따라 램프의 양단전압을 단계별로 가변 제어하여, 운전자에게는 보다 효율적인 운전여건을 만들며 동시에 한정된 에너지를 가진 배터리로 운전하는 자동차에서 효율적인 전력제어를 실현하였다. 본 논문에 사용된 메탈헬라이드 램프용 전자식 안정기는 크게 방전관내의 전극수명 감소를 막고 음향공명을 피하기 위한 절연형 Flyback 컨버터와 저주파 구동 풀브리지 인버터 및 승압 점화장치(igniter)로 구성돼 있으며, 주변의 빛의 조도에 따른 조광제어에는 CdS 센서를 이용하여, 빛의 세기에 따른 출력전압을 마이크로컨트롤러에 의해, 단계적으로 제어하도록 프로그램을 개발하였다. 개발된 안

정기에 대한 동작 특성을 시뮬레이션과 실험을 통해 확인하였다. 시뮬레이션과 실험 결과 과도상태에서 안정상태까지 자동차용 고압 방전등의 설계조건에 잘 부합됨을 확인하였다.

References

- [1] 이재인, "고압수은등, 메탈 헬라이드 램프", 대한영상 시스템 건축전기설비 기술사 II, 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, July 1999, Hong Kong, pp506-510.
- [4] Yongxuan Hu, "Analysis and Design of High-Intensity-Discharge Lamp Ballast for Automotive Headlamp", Virginia Polytechnic Institute and State University, 2001.
- [5] 김기정, 박종연, "메탈 할라이드 방전관내의 음향 공명을 감소시킨 전자식 안정기 설계", 전력전자학술대회 논문집 제4권 제5호, pp405-412, 1999.10.
- [6] 문태환, 오덕신, 조규민, 김희준, "메탈할라이드 램프용 고주파 변조방식 전자식 안정기", 전력전자학술대회 논문집, pp589-593, 2001.
- [7] 박종연, 박영길, 정동열, 김한수, "250W MHL용 Buck Type 전자식 안정기 및 Dimming 시스템 개발", 전력전자학회 논문집 제7권 제1호, pp30-40, 2002.
- [8] 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", 2002, IEEE.
- [9] 김기정, "HID 램프용 전자식 안정기 회로 및 특성 이해 2", 전력기술인 pp30-32, 2001.10.
- [10] Kyu-Chan Lee, Bo H. Cho, "Design and Analysis of Automotive HID Lamp Ballast System Using Auxiliary Winding", 2000, IEEE.
- [11] ATMEL, "ATMAG48", AVR datasheet pp3.

◇ 저자소개 ◇

이재학 (李在鶴)

1965년 3월 29일생. 1989년 중앙대학교 전기공학과 졸업. 1991년 동대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 동대학원 전기공학과 졸업예정(박사). 1990~1996년 (주)이화전기 기술연구소. 1999년~현재 순천청암대학 디지털전기통신과 조교수.

김윤호 (金倫鎬)

1949년 6월 20일생. 1974년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1987년 미국 Texas A & M 대학 졸업(박사). 2003년 사단법인 전력전자학회 회장역임. 현재 중앙대 공대 전자전기공학부 교수.