

자동차 헤드라이트용 고압방전등 안정기 시스템의 새로운 점등방식

論 文

55B-4-8

Novel Ignition Method for Automotive HID lamp Ballast System

李在鶴[†] · 金倫鎬^{*} · 嚴泰昱^{**}
(Jae-Hak Lee · Yoon-Ho Kim · Tae-Wook Um)

Abstract - This paper presents novel ignition method for automotive 35W metal halide discharge lamp electronic ballast. At this study, the novel method of ignition is developed to reduce costs and size of the ballast. By use of the novel method, the voltage needed in ignition is decreased, which result in use of the lower voltage rating power devices compared with conventional method and product compactness was achieved by deleting a circuit generating negative voltage needed in ignition at an conventional circuit. In terms of luminosity, color rendering, light efficiency(lm/W) and lifespan, the metal halide lamp is superior to, but unlike halogen lamp, it have more complicated transient characteristics to reach its steady state than the conventional halogen lamp. Therefore, in this paper, the electronic ballast was designed such that the metal halide lamp could be optimized for the automotive, by applying a method of microcontroller-based digital control. The results of the proposed system is verified through various experiment results.

Key Words : Automotive HID lamp Ballast, Novel Ignition, Microcontroller-Based Digital Control

1. 서 론

운전자의 시야를 향상시켜 야간에 발생하는 교통사고를 줄이고 운전을 용이하게 하기 위해 사용되기 시작한 자동차 전조등용 HID 램프는 종래의 할로겐전구에 비해서 밝기, 연색성, 광효율, 수명 등에서 우수한 특성을 가지고 있다.[1][2][3]

여러 종류의 HID 램프 중 메탈헬라이드 HID 램프는 고압수은등에 금속할로겐 화합물을 첨가하여 연색성과 효율, 수명, 고정된 지향성 빔 특성을 향상 시켰기 때문에 자동차용 HID 램프로서의 이점이 많다.[3]

하지만, 메탈헬라이드 HID 램프는 특별한 과도특성을 갖고 있기 때문에 이들을 제어하기 위해서는 매우 복잡한 구조의 안정기 회로가 필요하고, 사용하는 DC/DC 컨버터도 열적인 문제 때문에 효율이 좋아야 하며 이러한 이유는 안정기의 크기와 코스트가 올라가는 원인이 되고 있다.[4]

따라서 이러한 메탈헬라이드 HID 램프를 일반 중소형 자동차에 까지 이용하기 위해서는 안정기의 코스트를 낮추고, 안정기 크기를 줄이는 방법들이 개발되어야 한다.[4]

메탈헬라이드 HID 램프를 자동차 헤드라이트에 적용하기 위해서

는 점등시간을 짧게, 즉, 시동 후 1초 후에 25%, 4초 후에 80%의 광량에 도달할 필요가 있다. 이것은 램프 기동시 정격전력의 몇 배에 해당하는 적당한 전력을 램프에 공급해서 이를 수 있다.[3][5]

또한, 안정상태에서 일정전력 동작을 유지하는 것이 중요하다.[3][5]

그러나, 이러한 메탈헬라이드 램프는 브레이크 다운 후 안정상태에 이르기까지의 과도특성이 매우 복잡하다[3][5][6][7]

본 논문은 여러 가지 장점에도 불구하고 복잡한 과도특성을 갖는 메탈헬라이드 램프를 최적으로 제어하여 자동차에 적용하기 위해 마이크로컨트롤러를 이용한 디지털 제어방식의 전자식안정기를 개발하였으며, 또한, 안정기의 비용과 크기를 줄이기 위해 새로운 점등방식을 이용하여, 점등시의 전압을 기존방식보다 줄여, 소자의 내압을 줄였으며, 기존회로에서 점등시에 필요로 했던 음전압을 생성하는 회로를 삭제하여, 제품의 소형화를 도모하였다.

개발된 안정기에 대한 동작 특성을 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 2차 전자가 방출되고, 방출된 전자는 강한 전계에 의해 양극을 향해 가속되어 봉입 기체의 분자, 원자와 충돌하여 전리시킴에 전리에 의해서 발생한 양이온은 다시 음극에 충돌하여 전자를 방출시키는 글로우 방전구간(glow discharge)구간 및 글로우 방전에서 방전전류가 증가하여 많은 양이온의 충격에 의해 음극이

[†] 교신저자, 正會員: 順天青巖大學 디지털電氣通信科 助教授, 工博

E-mail : pelectro@scjc.ac.kr

^{*} 正會員 : 中央大學 電子電氣學科部 教授, 工博

^{**} 正會員 : 中央大學 電氣學科 博士 修了

接受日字 : 2006年 3月 15日

最終完了 : 2006年 3月 27日

가열되어 음극으로부터 열전자 방사가 시작되어 일어나는 아크방전(arc discharge)구간으로 크게 분류될 수 있다.[1][2]

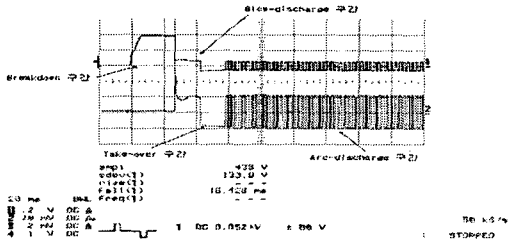


그림 1. HID 램프의 방전특성
Fig. 1 The discharge characteristic of HID lamp

2.2 자동차용 HID 램프의 시동 동작특성

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

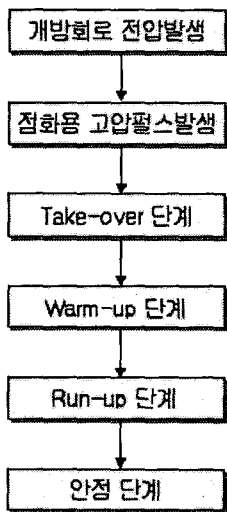


그림 2. 램프 모드별 동작사항 흐름도
Fig. 2 Flow chart of lamp mode operation

3. HID 방전램프의 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 일치할 때 음향공명현상이 발생한다.[6] 음향공명현상은 아크를 불안정하게 하고, 플리커를 발생시키며, 아크소멸, 혹은 램프 손상과 램프 폭발까지도 가져올 수 있으며, 자동차 HID 램프에서 음향공명의 주파수 범위는 10kHz에서 1MHz 까지이다.[6][8][9]

HID 램프용 전자식 안정기의 실용화된 점등방식에는 정현파고주파점등방식, 직류점등방식, 저주파의 구형파 점등방식 등이 있는데, 본 논문에서는 기본적으로 점등 주파수가 수백 Hz로 낮아 음향공명현상이 일어나지 않고 전극구조가 간단한 고주파점가 구형파 점등방식을 이용하였다.

4. 제안한 전자식 안정기 회로의 구조

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

제안된 안정기는 아래 그림에서와 같이 입력된 배터리 전압을 플라이백 컨버터에 의해 승압하여, 정류된 DC 링크 전압으로 램프의 구동전원으로 사용하는 구조로 되어 있고, 점등이 된 후에, 풀브릿지 인버터로 AC 구동하여 램프의 점등상태를 유지한다. 또한 초기에 램프를 점등하기 위한 점등회로는 본 논문에서 제안한 SCR 방식의 승압회로를 사용하였다.

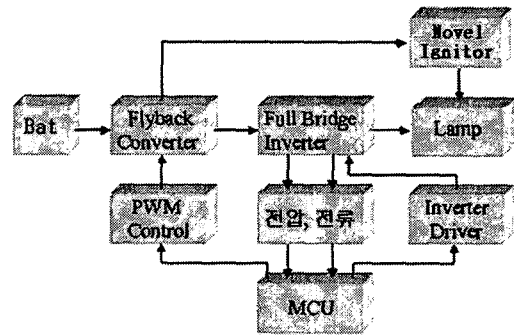


그림 3. 제안한 전자식 안정기의 전체블록도
Fig. 3 The block diagram of proposed electronic ballast

5. 점등 회로부

5.1 기존의 점등방식

기존의 점등방식은 아래의 그림과 같다.

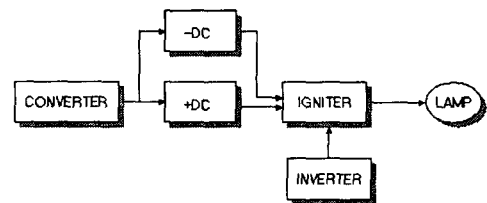


그림 4. 기존의 점등방식
Fig. 4 Conventional ignition method

기존 안정기의 점등방식은 Flyback 컨버터에서 승압된 +DC 전압(+400V)과 -DC전압(-200V)의 전압을 합한 600V의 DC 전압을 이용하여, 안정기 트랜스의 1차측 코일에 인가하여 고전압을 2차측 코일에 유기하는 방법을 사용했다.

그림 4에서 나타낸 바와 같이 안정기의 1차측에 방전에 필요한 전압(600V)를 인가하는 회로에 +DC 뿐 아니라, -DC 전압을 만들어주는 회로가 필요한 것을 알 수 있다.

5.2 새로운 점등방식

그림 5는 제안한 점등회로를 보여주고 있다. 그림 6의 제안한 점등방식에서는 그림 4에서 나타낸 기존의 점등방식과 달리 별도의 음전압 구성회로가 필요 없고, +DC 전압을 배압

하는 회로로 구성하여, 같은 600V의 전압을 만들어 주는데, +DC 전압이 300V만 되어도, 원하는 전압을 얻어 낼 수 있다.

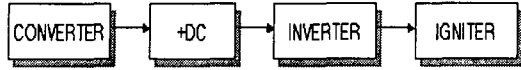


그림 5. 제안된 점등방식
Fig 5. Proposed ignition method

그림 6은 제안하여 실험에 사용된 점등회로이다.

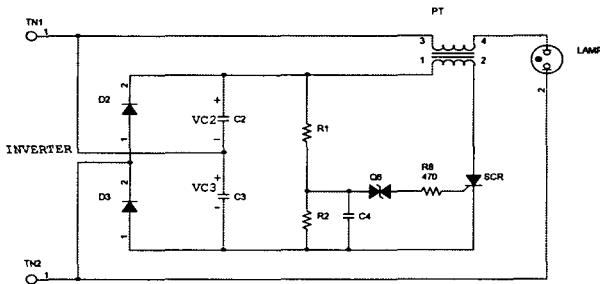


그림 6. 제안된 점등회로
Fig. 6 Proposed ignitor circuit

그림 6에서 인버터의 DC Link 전압을 점등회로의 출력에 접속시킨 점등회로의 입력단자 TN1이 정극성, TN2가 부극성일 때, 콘덴서 C3는 다이오드 D3를 통해 충전되고, C2는 Vo2의 극성이 반전하여 TN1이 부극성, TN2가 정극성일 때, D2를 통해서 충전된다. C2와 C3의 충전전압 Vc2, Vc3의 합을 R1, R2, C4 및 Q6(DIAC)로 감지하여, C2와 C3가 충전상태에 이르면 사이리스터 소자를 ON시킨다. 결과적으로 C2, C3의 직렬회로 전압이 펄스트랜스 PT의 1차측에 인가되고 PT에서 승압되어 PT 2차측에 고전압 펄스를 발생시킨다. 실험에서는 인버터의 Vo2를 330V로 설정하였기 때문에, Vc2와 Vc3는 약 330V까지 충전되어 PT의 1차측에서는 약 660V가 인가된다.

실제로 DC Link 단의 전압이 기존방식 대비 약 70V의 전압을 줄일 수 있어 DC Link 단의 콘덴서나 인버터 구동용 스위칭 소자인 FET의 내압을 줄이는 것이 가능하며, 인버터 회로의 출력만으로 필요한 충전전압을 얻을 수 있기 때문에 인버터회로의 두 개의 선만을 점등회로에 연결하여, 회로구성을 간략화 할 수 있으며, 기존방식에서 필요한 음전원(-200V) 발생회로가 삭제되어, 제품의 원가를 절감하는 것이 가능하다.

6. 마이크로컨트롤러에 의한 디지털 제어

6.1 마이크로컨트롤러

메탈할라이드 HID 램프와 같은 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 아날로그제

어기로는 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 제어를 설계하여 적용할 필요가 있다.

본 논문에서는 Mega 시리즈 AVR 중 하나인 ATMEGA8을 사용하였다. AVR시리즈는 기존에 다른 마이컴에 비해 처리속도가 매우 빠르고, SPI(System Program Interface)기능을 가지고 있어, 보드에 취부되어 있는 상태에서, 프로그램의 수정이 가능한 장점을 가지고 있다. 또한 원칩(One Chip) 마이컴이 가지는 최대한의 장점을 가진 마이컴으로 내부에 8채널의 10bit A/D(Analog to Digital) 컨버터를 내장하고 있으며, 시스템의 안정성을 향상시킬 수 있는 WDT(Watch Dog Timer)기능을 내장하고 있다.

6.2 디지털 제어 단계[4]

안정기는 램프의 서로 다른 여러 가지 동작 상태에서 각기 다른 모드로 동작할 필요가 있음을 알 수 있다. 제어기는 램프 상태에 따라 전압 제어모드, 전류 제어모드, 전력 제어모드 등 3개의 동작모드로 구성된다.

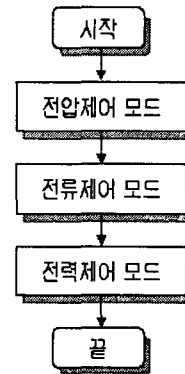


그림 7. 디지털 제어 모드
Fig. 7 Digital control mode

먼저, Turn-on 단계에서 안정기는 적당한 출력전압을 발생시키고, 점화기가 점화펄스를 만들어 낼 때까지 이 전압을 유지해야 한다. 따라서 출력전압을 피드백 하여 제어하는 모드로 동작되어야 한다.

Warm-up 단계에서 안정기는 각 반파에 대해 전류 적분 값이 정해놓은 일정 값에 도달할 때까지 램프전류와 전류의 적분 값을 제어해야 한다. 따라서 램프전류를 피드백하여 제어하는 모드로 동작되어야 한다.

마지막으로 Run-up 및 Steady State 상태에서 안정기는 램프전력을 적절하게 제어해야 한다. 우선, 전력이 75W를 초과할 수 없고, 전류는 2.6A를 초과 할 수 없다. 따라서, 만약 초기 전압이 30V 미만이면 안정기는 램프전력이 75W에 이를 때까지 출력전류를 허용 가능한 최대값으로 제한해야 하고, 이때까지는 전류 피드백 제어모드로 동작한다. 전력이 75[W]에 도달하면 안정기는 정전력 제어를 수행하도록 프로그램 되어야 하고, 이 일정전력은 전압이 50V에 도달할 때 까지 유지되어야 한다. 다음에 램프전력은 점차적으로 35[W]로 감소한다.

7. 실험 결과

그림 8은 실험에 사용된 안정기의 구조를 나타내고 있다.

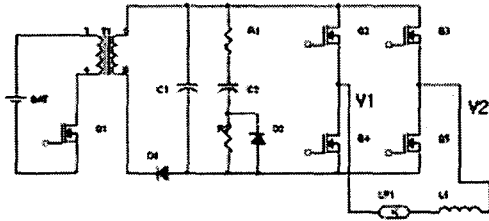


그림 8. 실험에 사용된 안정기의 구조
Fig. 8 Structure of electronic ballast circuit

그림 9는 제작하여 실험한 안정기의 플라이백 컨버터 1차측 FET의 드레인과 게이트단 파형이다.

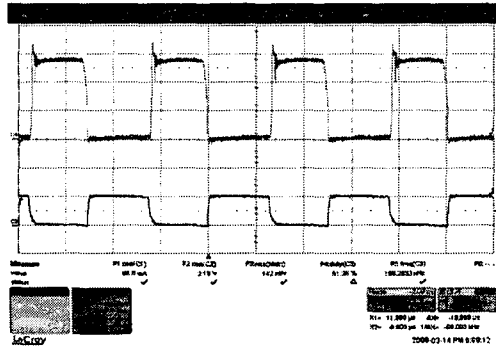


그림 9. 플라이백 컨버터 1차측 FET의 드레인파형
Fig. 9 Drain & gate waveform of Flyback converter primary FET

그림 10은 제안한 점등방식의 무부하시 초기 점등전압을 보여주고 있다. 그림 10에서 볼 수 있듯이 초기점등전압의 피크치가 약 33kV로 초기 점등과 순시 재기동에 필요한 충분한 전압이 발생함을 볼 수 있다.

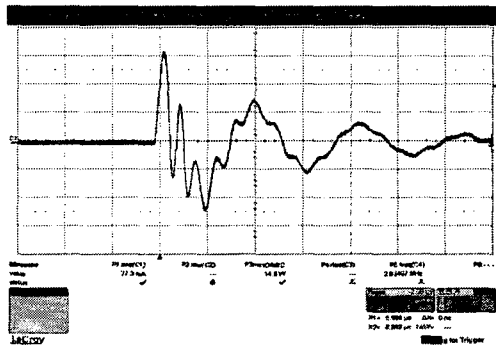


그림 10. 제안한 점등방식의 무부하시 초기점등전압
Fig. 10 Initial ignition voltage in load load by a proposed ignition method

또한, 실험시에 점등시 최대 DC 링크 전압을 확인하기 위하여, 인버터에 사용된 FET Q4의 드레인 전압을 인버터 전압 V1이라 하였으며, FET Q4의 인버터 전압을 V2로 명명하여 측정하였다.

다음 그림 11은 기존의 점등방식으로 사용하는 경우의 점등시의 인버터 전압 V1을 나타낸다.

그림 11에서 보는 바와 같이 기존 방식의 경우 DC Link 전압이 약+450V까지 도달함을 알 수 있다. 이런 경우 인버터의 DC 링크단을 구성하고 있는 소자의 내압이 커지게 되어 제품의 크기나 원가에 악영향을 줄 수 있다.

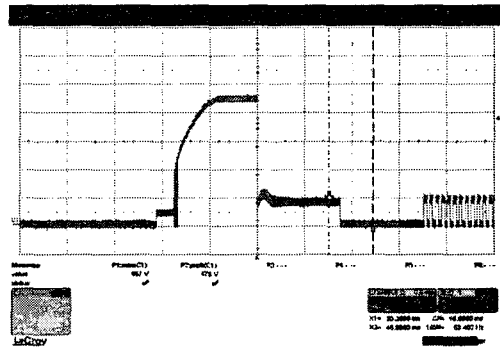


그림 11. 기존 점등방식에 의한 점등순간의 인버터전압 V1
Fig. 11 Inverter voltage V1 in ignition by a conventional ignition method.

그림 12는 기존 점등방식에 의한 인버터 전압 V2의 파형을 나타낸다.

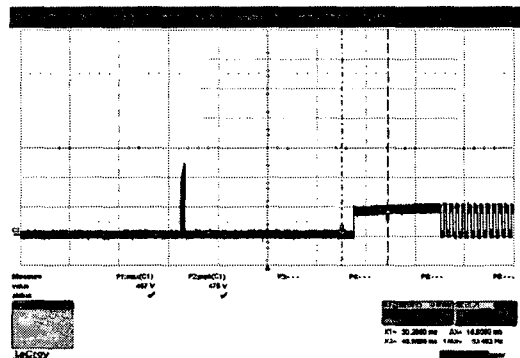


그림 12. 기존 점등방식에 의한 점등순간의 인버터전압 V2
Fig. 12 Inverter voltage V2 in ignition by a conventional ignition method.

다음 그림 13은 제안된 점등방식으로 구동한 경우의 점등순간의 인버터 전압 V1을 나타낸다. 그림 13에서 보는 바와 같이 본 논문에서 제안한 SCR에 의한 점등방식을 사용할 경우에는 인버터 전압 V1이 350V 미만으로 제어됨을 알 수 있고, 이에 따라 안정기의 DC 링크단의 소자내압을 기존 방식보다 약 100V정도 줄이는 것이 가능하다.

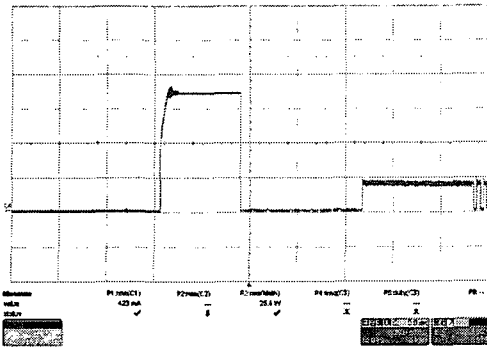


그림 13. 제안된 점등방식에 의한 점등순간의 인버터전압 V1
 Fig. 13 Inverter voltage V1 in ignition by a proposed ignition method.

그림 14는 제안된 점등방식에 의한 점등순간의 인버터 전압 V2를 나타낸다.

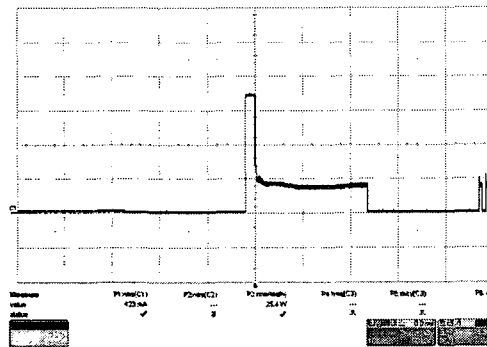


그림 14. 제안된 점등방식에 의한 점등순간의 인버터전압 V2
 Fig. 14 Inverter voltage V2 in ignition by a proposed ignition method.

그림 15은 제안된 점등방식에 의해 구동한 경우 램프 출력 전류를 나타내고 있다.

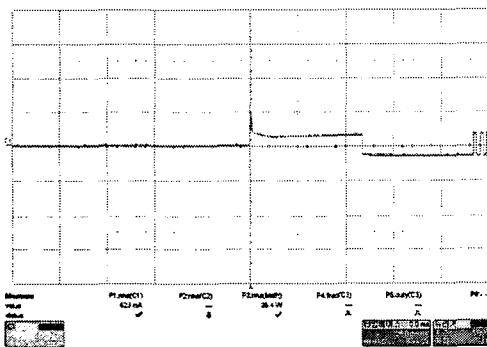


그림 15. 제안된 점등방식에 의한 점등순간의 인버터전류
 Fig. 15 Inverter current in ignition by a proposed ignition method.

그림 16은 제안한 점등방식의 인버터 전압 V1, V2와 출력 전류를 동시에 측정된 그림이다.

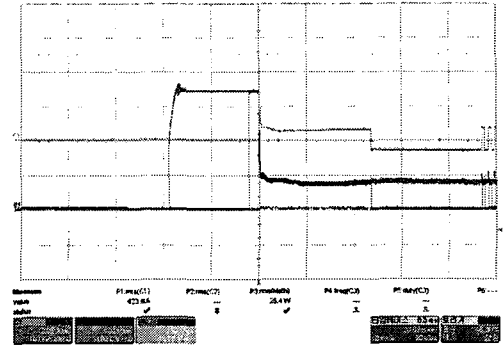


그림 16. 제안된 점등방식에 의한 점등순간의 인버터전압 V1, V2 및 출력전류
 Fig. 16 Inverter voltage V1, V2 and output current in ignition by a proposed ignition method.

실험결과에서 보는 바와 같이 제안된 점등방식의 경우 기존 방식에 비해 점등순간의 DC Link 전압이 약 100V 이상 낮아졌으며, 안정기의 출력특성은 물론 점등특성도 향상되었다.

8. 결 론

본 논문에서 제안한 점등방식은 기존의 자동차용 HID Lamp 의 점등방식과 비교하여, 안정기 회로에 사용되는 고압부품소자의 내압을 줄일 수 있었으며, 기존 방식에서 부가되어 사용되던 음전압 발생회로를 제거함으로써, 결과적으로 안정기 회로의 크기와 비용을 줄일 수 있는 효과를 가져왔다.

또한, 제안된 점등회로로 구성된 안정기는 기존 방식과 비교하여, 정상상태 특성은 물론이고, 초기의 점등성능 또한 기존 안정기에 비해 우수한 특성을 얻을 수 있었으며, 기존 Spark Gap에 의한 점등방식의 경우 소자의 절연파괴 허용오차가 $\pm 20\%$ 이기 때문에 램프의 절연파괴 전압도 일정키 않았지만, 제안된 점등회로로 구성된 안정기의 경우는 저항의 분압비에 의해 SCR을 구동하기 때문에 절연파괴전압도 실험용으로 제작한 샘플용 안정기에서 모두 일정하게 출력되는 것을 확인하였다.

참 고 문 헌

- [1] 이재언, "고압수은등, 메탈 할라이드 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, July 1999, Hong Kong, pp506-510.
- [4] Yongxuan Hu, "Analysis and Design of High-Intensity-Discharge Lamp Ballast for Automotive Headlamp" 2001
- [5] H. J. Faehnrich and E. Rasch, "Electronics ballasts for metal halide lamps", Journal of the Illuminating Engineering Society, pp.131-140, Summer, 1998.
- [6] M. Sugiura, "Review of metal-halide discharge lamp

development 1980-1992", IEE Proceedings-A, vol.140, No.6, pp.443-449, November, 1993.

- [7] Kyu-Chan Lee, Bo H. Cho, "Design and Analysis of Automotive HID Lamp Ballast System Using Auxiliary Winding", 2000, IEEE.
- [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] Alberto Reatti, "Low-Cost High Power-Density Electronic Ballast for Automotive HID Lamp", 2000. IEEE, pp. 361-368.

저 자 소 개



이 재 학(李在鶴)

1965년 3월 29일생,
 1989년 중앙대학교 전기공학과 졸업,
 1991년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사),
 1997년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박),
 1990년~1996년 (주)이화전기 기술연구소,
 1996년~1998년 Han-Tech,
 1999년~현재 순천청암대 디지털전기통신
 과 조교수



김 윤 호(金倫鎬)

1949년 6월 20일생, 1974년 서울대 공대
 전기공학과 졸업.
 1987년 미국 Texas A & M 대학 졸업(공
 박) 2003년 사단법인 전력전자학회 회장역
 임. 현재 한국철도학회 부회장, 중앙대 공
 대 전자전기공학부 교수



엄 태 옥(嚴泰昱)

1968년 3월 11일생
 1990년 중앙대학교 전기공학과 졸업,
 1992년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사)
 현재 동 대학원 전기공학과 박사과정 수료