

SCR의 영전류 스위칭에 의한 HID 램프용 조도제어형 자기식 안정기 개발

(Development of Dimmable Magnetic Ballast for HID-Lamps by Zero Current Switching on SCRs)

이현진* · 유재용 · 박종연**

(Hyeon-Jin Lee · Jae-Woong Yoo · Chong-Yeon Park)

Abstract

In this paper, we have proposed a new dimmable magnetic ballast for HID(High Intensity Discharge) lamps consisted of AC switches to variate inductance value by using Silicon Controlled Rectifiers and the isolated zero current detector on inductor. Conventional dimming ballast has used relays or Solid State Relays in AC switches. However, a relay is difficult to zero current switching, because it has long operating time(10[ms]), and price competitiveness of SSR is very low. The proposed AC switches are suitable to switch at zero inductor current and it is accurately detected by using a opto-coupler. SCR is cheaper than SSR, and it is suitable to switch at zero inductor current because SCR is automatically turned off under holding current at no gate signal. Operating principles, simulation results and experimental results of the proposed ballast are described.

Key Words : SCR, HID Lamp, AC Switch, Ballast, Zero Current Switching, Zero Inductor Current Detector

1. 서 론

고압방전램프(High Intensity Discharge Lamp)는 작은 발광관에서 고출력의 광속을 발산하여 휘도가 높고, 광효율이 높다[1]. 이러한 고압방전램프를 구동하려면 초기 점화와 안정적인 점등유지가 가능한 안

정기가 필요하며, 안정기는 최근 사회의 발전에 따른 에너지 절약에 대한 중요성과 맞물려 가로등 및 보안 등 이용자가 적을 때 조도제어 기능을 갖추어야 한다 [2-9]. 조도제어방법은 크게 집단제어방법과 개별제어 방법으로 구분한다. 이 중 개별제어방법은 불균일한 조명환경에 적용하여 전체적인 조명의 질 향상을 추구할 수 있다. 개별제어방법은 자기식 안정기의 인덕턴스 가변 방식과 전자식 안정기 이용 방식, AC Chopper에 의한 방식으로 분류한다[2-3,10]. 자기식 안정기의 인덕턴스 가변 방식은 다른 디밍방식에 비해 제품의 높은 신뢰성과 낮은 단가의 특징을 가지며, 음향공명이 발생하지 않기에 개발이 용이하다[3,5-7].

* 주저자 : 강원대학교 전기전자공학전공 석사과정

** 교신저자 : 강원대학교 전기전자공학전공 정교수

Tel : 033-250-6292, Fax : 033-241-3775

E-mail : cypark@kangwon.ac.kr

접수일자 : 2010년 7월 26일

1차심사 : 2010년 8월 10일

심사완료 : 2010년 10월 13일

기존에는 인덕턴스 가변 스위치로 SSR(Solid-State Relay)과 기계식 릴레이를 사용하였다. 그러나 SSR의 높은 가격, 기계식 릴레이의 인덕터를 제어하는 과정에서 발생하는 전압으로 릴레이의 점접 파손에 의한 수명 단축이 단점으로 지적되었다[3,7]. 이전 연구에서 릴레이의 상대적으로 낮은 동작온도 정격(70[°C]), 느린 스위칭 시간(6-10[ms])에 의한 조도제어 범위의 축소와 릴레이의 큰 부피로 인한 제품의 소형화의 어려움 등의 문제에 봉착하게 되었다[3]. 새롭게 적용될 스위치로 SCR(Silicon Controlled Rectifier)은 턴오프 시 전압정격이 높으며, 턴온/턴오프 시간이 수십 μ s 이내로 빠르다. 또한 동작온도 범위가 높고 유지전류(Holding Current) 이하에서 자동적으로 턴오프되므로 영전류스위칭에 가장 적합하다는 결론을 얻었다.

본 논문은 기존의 구조보다 낮은 가격과 높은 신뢰성을 갖는 새로운 고압방전등용 조도제어형 자기식 안정기를 제안하였다. 기존 조도제어회로의 AC 스위치로 사용되던 릴레이 및 SSR을 SCR으로 대체함으로써 기존 AC 스위치의 단점이 극복될 수 있음을 시뮬레이션과 실험으로 확인하였다. 또한 부피가 작고 낮은 가격으로 간단하게 구현할 수 있는 포토커플러를 이용한 영전류 검출회로로 인덕터 전류의 영점을 기존보다 정확하게 파악하였다.

2. 영전류 스위칭 가능한 디밍 안정기

본론에서는 조도제어형 자기식 안정기의 기본 구조에 인덕터 가변 스위치를 SCR로 대체한 회로의 구조와 동작원리, 포토커플러를 사용하여 인덕터의 영전류점을 간접 센싱하는 회로, 제시한 이론들을 시뮬레이션을 통해서 검증하였다.

2.1 조도제어형 자기식 안정기 기본 구조

조도제어형 자기식 안정기의 구조는 그림 1과 같으며, 램프전류제한 요소인 단권인덕터 외에 HID 램프의 점등을 위한 점등회로가 사용되며, 3개의 스위치는 램프의 3단계 조도제어 상태를 위해 사용된다. 그리고 각각의 스위치(Sw1-Sw3)의 스위칭을 위해 전류상태

를 센싱하는 Zero Current Sensing 회로와 각 스위치에 ON/OFF 신호를 인가하는 MCU(Micro Controller Unit)가 사용된다[3,6-7].

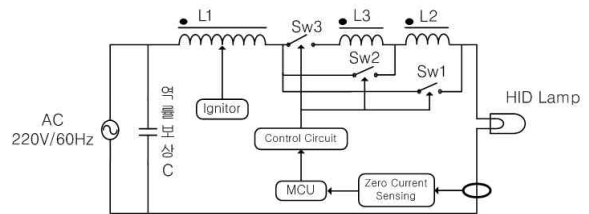


그림 1. 3단계 조도제어형 자기식 안정기의 구조
Fig. 1. Scheme of 3 steps dimmable magnetic ballast

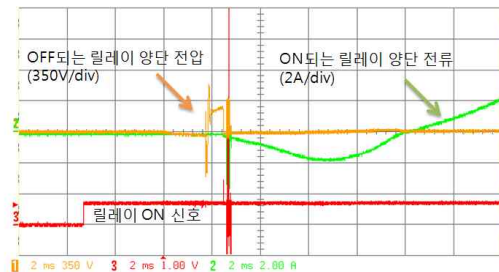


그림 2. 기존 안정기에서 디밍 시 실험파형
Fig. 2. The experimental waves when the conventional ballast is dimming

램프의 점등을 위해서는 Sw1이 턴온하며, 점화기 회로가 동작하여 단권변압기의 형태인 L1에 의해 램프 양단에 고전압이 발생하게 된다. 점등 후, 램프 정상상태가 되면, Sw1~Sw3의 구동 여부에 따라 발생하는 인덕턴스 변화를 통해서 램프에 공급되는 전력을 제한한다. 여기서 인덕터(L1, L2, L3)는 한 코어에 감겨져 있으며, 결합된 상호 인덕턴스 때문에 적은 권선수로도 큰 인덕턴스를 유도하게 된다[6-8]. 원하는 조도상태에 따라 각 스위치(Sw1~Sw3)를 구동하기 위해 MCU의 출력단자와 스위치 사이에 Control Circuit이 필요하다. Zero Current Sensing 회로는 램프의 영전류 지점을 검출하여 MCU에 전달하는 역할을 한다. 전류의 양을 고려하지 않은 스위칭을 하면 그림 2와 같이 스위치 양단에 필요이상의 전압으로 스위치의 파손 또는 수명감소를 유발한다. 따라서 인덕터 전류의 양이 가장 적은 지점에서 스위칭이 이루어

져야 한다. 이러한 과정을 AC Soft switching이라고 명명하며 턴오프 시, 스위치 양단의 전압은 식 (1)과 같이 정의된다[3].

$$V_{SW} = L \frac{d}{dt} \left(\frac{V_{input}(t)}{j\omega L_{var} + R_{lamp}} \right) \quad (1)$$

2.2 제안한 안정기의 구조

그림 3은 AC 스위치로서 SCR을 적용한 3단계로 조도제어가 가능한 조도제어형 자기식 안정기의 구성이다. 기존 SSR과 기계식 릴레이로 된 AC 스위치의 주요 소자를 SCR로 대체하였다. 이러한 구조는 기존의 안정기에서 문제화되었던 느린 스위칭 속도에 의한 조도제어회로 개발의 어려움을 해결할 수 있다. SCR의 턴온/턴오프 시간은 수십 [μs] 이내이기 때문에 스위칭 시 램프전류 불연속 구간에 의한 램프구동전력 범위 감소의 문제점을 해결한다[11].

또한 SCR은 Anode 전류가 유지전류 이하로 될 때 턴오프되므로 이상적인 AC soft switching 소자에 가까우며, SCR은 150[°C] 정도의 동작온도범위를 가지므로 온도제한적인 릴레이에 비해 신뢰성을 높일 수 있다. SCR의 부피도 릴레이보다 현격하게 작기 때문에 제품의 소형화를 꾀할 수 있다.

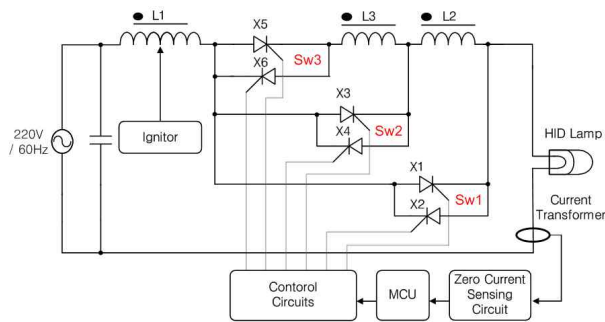


그림 3. SCR을 이용한 3단계 조도제어형 안정기 구조
Fig. 3. Scheme of 3 steps dimmable magnetic ballast using SCR

그림 4는 SCR로 구성된 AC 스위치의 구성도이다. 양방향 전류도통을 위해 스위치 내에 SCR 쌍이 역방향으로 배치되며, 급작스런 스위치양단 전압의 발생으

로 SCR의 원하지 않는 턴온동작을 방지하고자 RC스너버가 추가되었다.

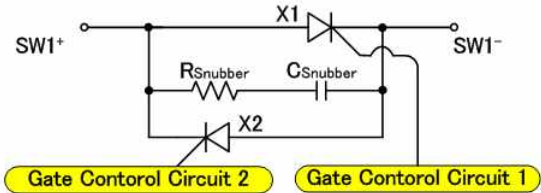


그림 4. SCR로 구성된 AC 스위치의 구성도
Fig. 4. Scheme of AC switch using SCR

그림 5는 그림 4의 구성에서 실제적인 SCR 구동회로를 나타내었다. MCU의 출력단자로 그림 5 (a)의 회로에 Low, (b)의 회로에 High를 인가하면 포토트라이악 내부의 LED가 도통하여 트라이악이 턴온된다. 이때 X1의 V_{AK}가 순방향 전압이면 R_A로 Gate 전류펄스가 인가되고 SCR이 도통된다. R_K는 Gate로 유입되는 잡음을 최소화하기 위해 사용된다. 단, 포토트라이악은 전압정격이 SCR의 A-K간 전압정격과 같거나 그 이상이어야 한다[10-12].

X1과 X2의 구동회로만 그림 5의 (a)와 같이 구성한 것은 MCU가 고장이 나도 안정기에 전원이 투입되면 램프를 100[%] 전력으로 구동하기 위함이다. MCU가 고장이 발생되면 R_{PD}에 의해 트랜지스터의 Base에 low가 인가되어 SCR에 턴온신호가 전달된다.

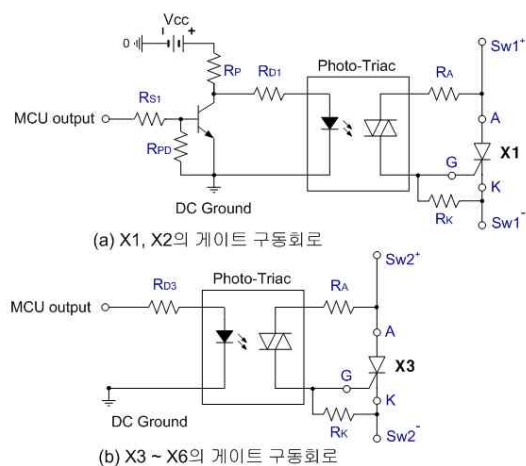


그림 5. SCR 구동회로
Fig. 5. The circuits to drive SCR

2.3 절연 가능한 영전류 검출 회로

그림 6은 포토커플러를 이용한 램프전압 센싱 회로이다. 인덕터 전류의 크기가 최소일 때 스위칭해야 스위치 양단에 발생하는 전압이 작으므로 인덕터 전류의 센싱은 필수적이다. 자기식 안정기로 방전램프를 구동할 때, 인덕터와 램프는 하나의 루프이기 때문에 전류가 같다. 또한 램프의 전압과 전류의 기본과 성분은 거의 동상이므로 램프전압 상태를 판별하는 회로를 구성하여 인덕터 전류를 간접 센싱하였다[7].

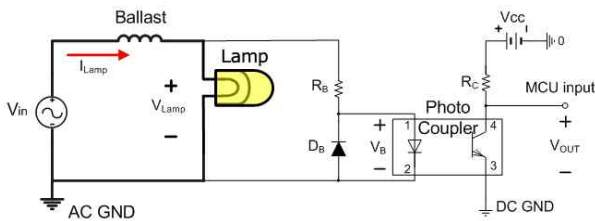


그림 6. 포토커플러를 이용한 영전류 검출 회로
Fig. 6. The Zero Current Detecting Circuit using Photo Coupler

자기식 안정기로 구동되는 램프의 전압이나 전류를 MCU에 전달하고자 할 때 완전한 절연이 요구되므로 AC line과 MCU 전원 측의 절연과 차화노이즈에 영향이 없으며, CT(Current Transformer)보다 작은 부피의 포토커플러를 사용하였다[7]. 램프전압이 Positive일 때 큰 저항인 R_B 의 분배에 의한 전압 V_B 로 포토커플러 내부의 LED를 턴온하게 하면 빛으로 트랜지스터를 턴온하여 출력 V_{OUT} 을 Low로 만들고 램프전압이 Negative일 때는 LED가 역방향바이어스로 턴오프되므로 트랜지스터도 턴오프되어 컬렉터에 연결된 V_{CC} 가 MCU 입력으로 인가된다. D_B 는 램프전압이 Negative일 때 포토커플러의 LED가 역전압으로 도통되거나 파손되지 않게 보호한다. R_C 는 풀업저항의 역할을 하여 포토커플러의 C-E간이 OFF일 때 MCU 입력으로 V_{CC} 가 공급되게 한다. 설계 시, 고려사항은 이그니션 상태에서 포토커플러가 파손되지 않도록 R_B 의 값을 결정하는 것이다.

2.4 제안한 안정기의 조도제어 동작

그림 7은 X1과 X2를 통해 공급되는 램프전류가 X3과 X4를 통해 공급되는 상태로 전환되는 과정을 보이고 있다. 제안한 안정기의 조도제어과정을 보다 쉽게 설명하기 위해 X1~X4까지 고려하였으며, 각 SCR을 단순 스위치로 표현하였다.

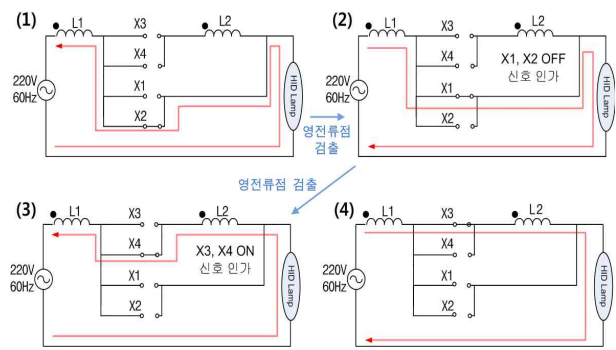


그림 7. 조도제어형 자기식 안정기에서 전류경로 변경 동작
Fig. 7. Changing operations of current path in 3 steps dimmable magnetic ballast using SCRs

X1과 X2에 게이트 신호를 인가하게 되면, 안정기와 램프의 Negative 전류일 때 그림 7 (1)과 같이 X2만 턴온되고, 램프전류가 Positive일 때는 그림 7 (2)와 같이 X1만 턴온된다. 그림 7 (2)의 상황에서 X1, X2에 OFF 신호를 인가하면, Positive 전류상태로 바뀔 때 바로 X2가 완전히 턴오프되고, 이때 X3, X4에 동시에 ON 신호를 인가하여 X4를 턴온한다(그림 7 (3)). 다음 반주기 이후에는 Negative 전류가 흘러 X3가 턴온되어 그림 7 (4)와 같은 동작을 하게 되며, 이후에는 X3, X4를 통해서만 램프에 전류가 공급된다. 역으로 조도를 올릴 때에는 그림 7의 (3)-(4)-(1)-(2) 순의 동작을 취한다.

그림 8은 제안한 안정기의 프로그램 알고리즘이다. MCU가 디밍 명령을 받으면 우선 인덕터 영전류점을 판별하여 전원의 반주기 내에서 턴온하려는 스위치 (Sw) 이외의 SCR들에 턴오프신호를 인가한다. 영전류점을 인지하고 바로 턴오프신호를 가하게 되면 급작스런 SCR의 A-K간 전압변화에 의해 스위칭의 신뢰성을 잃을 수 있으므로 1~2[ms] 이후에 턴오프신

호를 가하는 것이 적절하다. 본 논문에서는 안정적으로 OFF하기 위해 반주기의 절반이 지난 5[ms]로 시간지연을 하였다. 유지전류 이하로 되는 지점에서 SCR이 자동적으로 턴오프된다. 그리고 다시 인덕터 전류의 영점을 파악하여 다음 반주기 내에서 턴온할 SCR의 구동회로에 턴온신호를 인가하면 스위치의 손상없이 인덕터 전류경로가 변경된다. 턴온 전에 스위치양단의 급작스런 전압변화에 의한 턴온을 방지하기 위하여 1[ms]의 대기시간을 할당한다. 성공적으로 인덕터 전류경로 변경을 수행하면 다음 디밍명령을 기다린다.

용한 자기식 안정기의 조도제어범위가 축소되는 현상을 방지하였다.

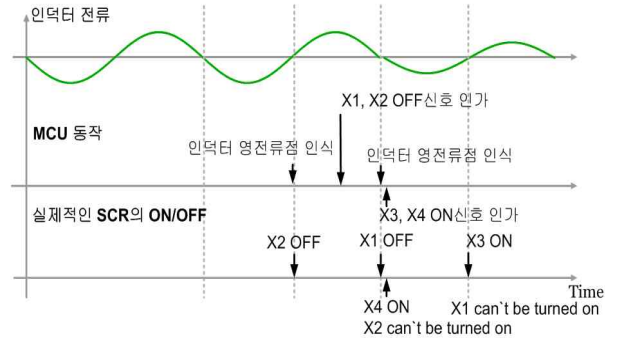


그림 9. 제안한 안정기의 시간에 따른 조도제어 동작
Fig. 9. Temporal operations controlled dimming in the proposed Ballast

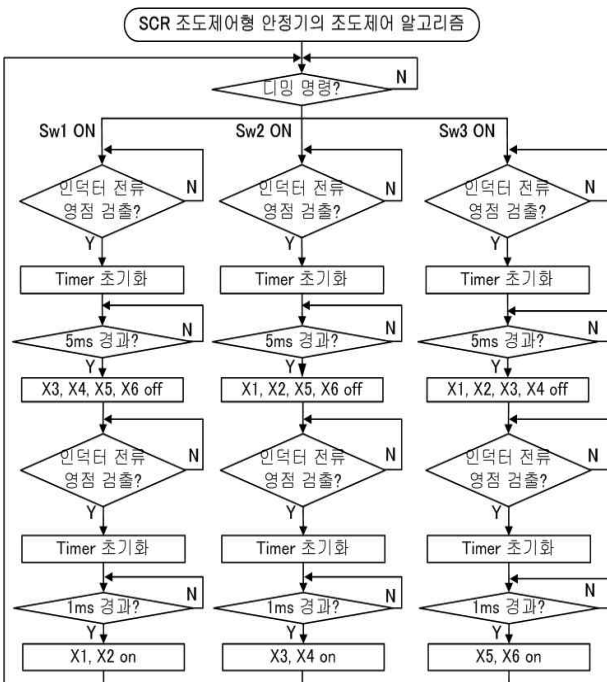


그림 8. 제안한 안정기의 MCU 프로그램 알고리즘
Fig. 8. The MCU program algorithm in the proposed ballast

그림 9는 그림 7에 대한 시퀀스(Sequence)를 나타내고 있다. MCU는 인덕터 영전류점을 인지하고 수 [ms] 이후에 X1, X2 이후에 OFF신호를 인가하고, 60Hz인 인덕터 전류의 반주기 후 X3, X4에 ON신호를 전달하면, SCR들은 실제적으로 영전류점에서 턴오프 되고 턴온된다. 이와 같은 동작으로 인하여 램프전류의 불연속 구간이 매우 짧으므로 기존의 릴레이를 사

2.5 시뮬레이션

본 절에서는 그림 10의 회로를 P-spice에서 구성하여 2.2~2.4에서 제안한 이론의 타당성을 시뮬레이션 과정을 통하여 확인하였다. 그림 10은 AC 스위치로 구성된 조도제어회로의 시뮬레이션 회로이다. 안정기는 단순히 결합 인덕터로, 램프는 저항으로 등가하였다. 시뮬레이션의 간편성을 위해 2단계 조도제어 동작만 분석하였다.

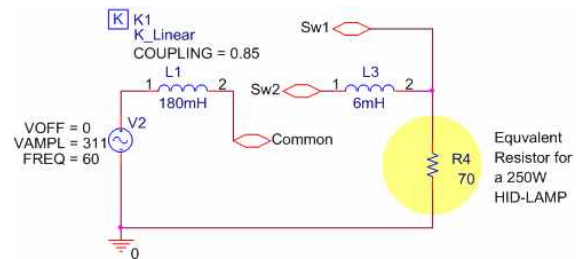


그림 10. 조도제어형 안정기와 램프의 등가회로
Fig. 10. The equivalent circuit of the ballast and the lamp

2.5.1 제안한 안정기의 시뮬레이션

SCR 기반의 AC 스위치는 그림 11과 같이 구성하였다. 포토트라이악은 구현의 어려움으로 단순 스위치로 표현하였다. 98[ms]에서 Sw1의 각 SCR의 게이트

트리거 스위치인 U1, U2를 턴오프하고 인덕터 전류의 다음 반주기가 시작하는 103[ms]에서 Sw2의 각 SCR의 턴온을 위해 U3, U4를 턴온하였다.

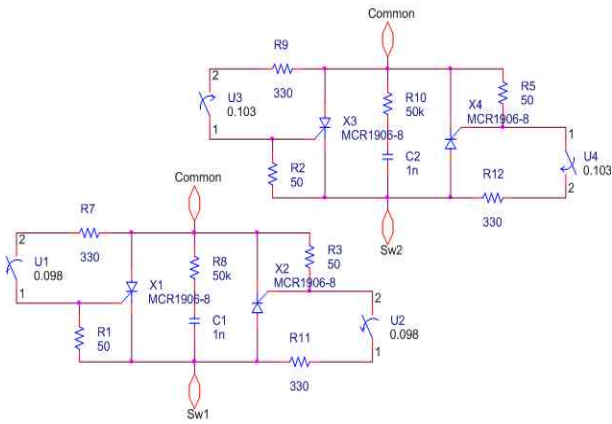


그림 11. P-spice로 구현한 SCR 구조의 AC 스위치
Fig. 11. AC switches using SCRs in P-spice

그림 12는 그림 11의 동작을 하여 얻어진 시뮬레이션 파형이다. 시뮬레이션 파형에 볼 수 있듯이 부하의 전압, 전류는 조도제어 시에도 안정적으로 공급이 되며, 스위치의 수명단축의 원인인 조도제어 시 스위치 전류와 양단전압이 수용할 수 있을 정도로 발생함을 보였다.

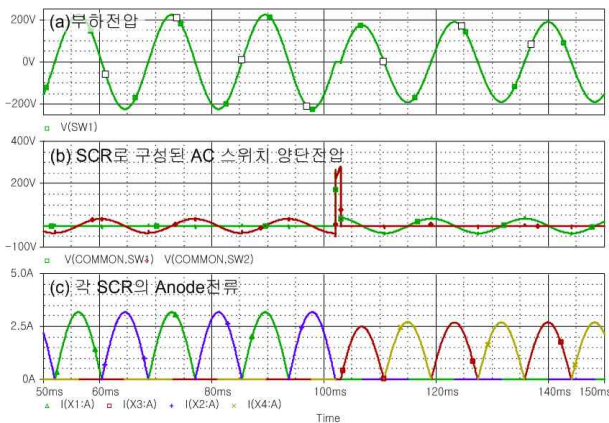


그림 12. SCR 구조의 AC 스위치를 적용한 조도제어형 자기식 안정기의 조도제어 동작 시뮬레이션 파형
Fig. 12. The Simulation Result of Dimming Operation of Dimmable Magnetic Ballast applied AC Switches using SCRs

2.5.2 영전류 검출 회로의 시뮬레이션

그림 13은 제안한 인덕터 영전류검출 회로의 시뮬레이션 파형이다. 제시한 이론과 마찬가지로 램프전압이 Positive일 때 MCU입력으로 Low를 인가하고 Negative일 때 High를 전달하는 것을 확인할 수 있다.

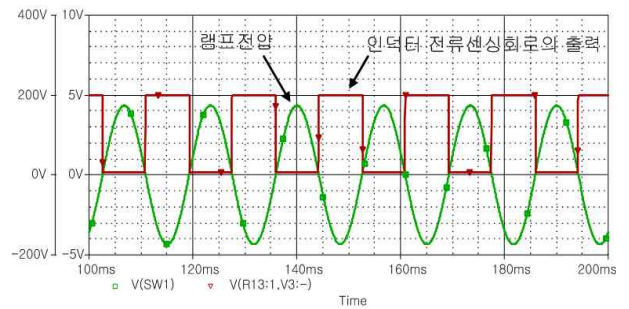


그림 13. 제안한 인덕터 영전류검출 회로의 모의실험 결과
Fig. 13. The simulation result of the proposed circuit detecting zero-inductor-current

3. 실험 및 고찰

본 절에서는 실제 제작한 안정기로 실험하여 제안한 이론이 실제 활용될 수 있는지 살펴보았다. 제작된 안정기는 SCR, 포토트라이악 및 포토커플러로 각각 MCR310-10G(600[V], 10[A]), MOC3081, Q817B가 사용되었다. 또한 측정환경으로는 입력 AC전원으로 nf社의 ES2000S를 사용하였으며, 부하로는 250[Watt] 메탈헬라이드 램프인 필립스社의 MH/C/U250[W]를 사용하였다. 주된 전기적 측정은 Lecroy社의 Waverunner 105MXi 모델을 사용하였다.

3.1 제안한 안정기의 조도제어 과정

그림 14는 각 단계별 조도제어과정에 대해 실험하여 얻어진 파형이다. 전반적으로 제안한 이론과 시뮬레이션에 일치하였다. 제안한 영전류 검출회로의 출력으로 정확성을 낮추는 jitter 노이즈가 검출되지 않았으며, MCU가 영전류점을 정확하게 인식하여 적절한 시간에 SCR 구동회로에 턴오프신호와 턴온신호를 출력하였다. 그 결과로 원하는 시점에 SCR이 정확히 턴온/턴오프함을 확인하였다. 또한 조도제어 동작 시에

스위치양단에는 순방향/역방향 break-over 전압(600 [V]) 이내로 발생하였다.

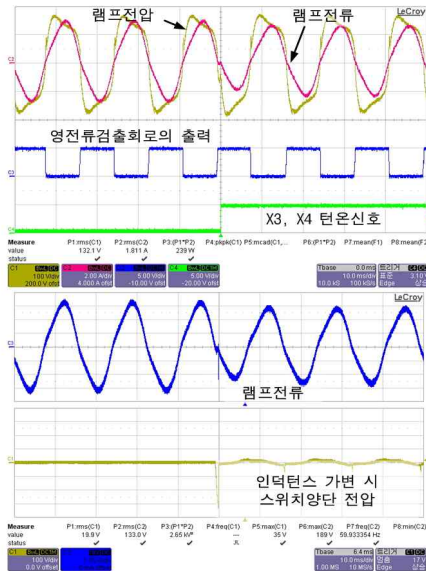


그림 14. 제안한 안정기의 조도제어 시, 각 파형
Fig. 14. The waves when the proposed ballast is dimming

3.2 램프구동 실험

그림 15는 제안한 안정기로 램프구동 시, 측정된 각 파형이다. 입력전압이 고정인 상태에서 조도를 낮출수록 입력전류, 램프전류가 감소함을 파형으로 확인하였다. 그러나 크기가 작게 변화하면서 램프전류는 파형의 형태가 일정한 반면 입력전류는 그 형태가 변형되어 점점 정현파의 형태와 달라졌다. 그 결과로 조도

제어 시 입력전류 THD(Total Harmonic Distortion)의 상승과 역률의 하강이 발생하였다.

제작된 안정기로 램프구동 시 측정된 파라미터는 표 1로 정리하였다. 조도상태변화에 맞게 적절한 램프전력과 조도를 나타내었다. 램프전력을 낮출수록 안정기의 전력효율이 향상됨은 SCR의 턴온전압과 도통전류에 의한 손실이 감소함을 의미한다.

표 1. 측정된 파라미터
Table 1. Measured Parameters

입력전력 ([W])	입력전압 ([V])	입력전류 ([A])	램프전압 ([V])	램프전류 ([A])	조도 ([Lux])	전력효율 (%)
271	220	1.27	137	2.02	15,890	94.5
238	220	1.10	134	1.78	12,340	95.0
200	220	0.93	133	1.55	8,740	96.0

4. 결 론

본 논문은 기존의 고압방전등용 조도제어형 자기식 안정기의 AC 스위치로 사용되던 릴레이 및 SSR을 SCR로 대체함으로써 기존 AC 스위치의 신뢰성을 높일 수 있음을 250W 메탈헬라이드 램프에 적용하여 시물레이션과 실험으로 확인하였다. 또한 부피가 작고 낮은 가격으로 간단하게 구현할 수 있는 포토커플러를 이용한 영전류 검출회로를 적용하여 인덕터의 영전류점을 보다 정확하게 검출하였다.

그 결과로 조도제어형 자기식 안정기의 낮은 단가, 소형화, 넓은 동작온도 범위, 조도제어범위 축소 저지,

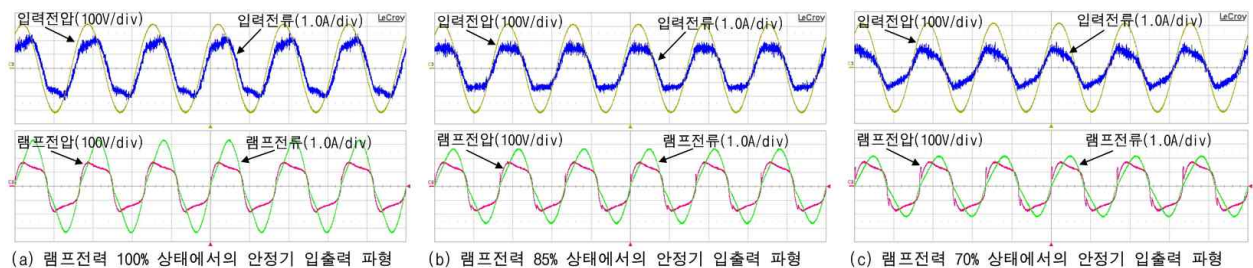


그림 15. 제안한 안정기의 각 전압/전류 파형
Fig. 15. The voltages and currents waves of the proposed ballast

그리고 정확한 영전류 스위칭으로 인한 제품 수명연장 등을 달성할 수 있었다. 따라서 고압방전등용 조도제어형 자기식 안정기 회로에 SCR의 적용이 가능하며 인덕턴스가변 방식으로 제안한 구조가 다양한 현장에서 사용가능하다고 판단된다.

감사의 글

본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 “IT융합 스마트조명 고급인력양성사업”의 연구결과로 수행되었음.
NIPA-2010-C6150-1001-0016

References

[1] 이세현, 조미령, 황명근, 양승용, “조명산업의 중요성과 국내외 기술개발 동향”, 한국조명·전기설비학회, 조명·전기설비, 제 20권 제3호, pp. 4-14, June 2006.
 [2] 조항문, “고유가시대 공공에너지 5대 에너지 절약방안”, SDI 정책리포트, 2008.
 [3] 정광현, 이현진, 박종연 “릴레이 수명 연장 방법에 의한 HID램프용 디밍 자기식 안정기의 구현”, 대한전기학회 논문지, pp. 516-521, March 2009.
 [4] Wei Yan, S.Y.R.Hui, Henry Shu-Hung Chung, “Energy Saving of Large-Scale High Intensity Discharge Lamp Lighting Networks Using a Central Reactive Power Control System”, IEEE Trans. On Industrial Electronics, Vol. 56, No. 8, pp. 3069-3078, August 2009.
 [5] 한수빈, “최근의 HID 안정기 기술동향”, 한국조명·전기설비학회, 조명·전기설비, 제16권 제4호, pp. 32-38, August 2002.
 [6] 박종연, 박철형, 지광현, “조도조절이 가능한 하이브리드 식 안정기”, 특허청, 10-2003-0004743.
 [7] 박종연, 이현진, 최성준, “하이브리드 안정기에 의한 방전램프별 조도제어시스템”, 2009년도 대한전기학회 하계 학술대회 논문집, pp. 1950-1951, July 2009.
 [8] 박종연, 이현진, “메탈헬라이드 램프용 조도제어형 자기식 안정기의 최적 설계 방법”, 강원대학교 산업기술연구 제29권 A호, pp. 177-182, February 2009.

[9] Y. K. Eric Ho, Stephen T. S. Lee, Henry Shu-Hung Chung, and S. Y. (Ron) Hui, “A Comparative Study on Dimming Control Methods for Electronic Ballast”, IEEE Transaction on Power Electronics, Nov. 2001, vol. 16, No. 6, pp. 828-836, 2001.
 [10] Fairchild semiconductor, “6-Pin Dip Zero-Cross Optoisolators triac driver output”, September 2009.
 [11] R. S. Ramshaw, Power Electronics Semiconductor Switches, London: Chapman & Hall, 1993.
 [12] Frank Peter Wahl III, “Firing Series SCRs at Medium Voltage: Understanding the Topologies Ensures the Optimum Gate Drive Selection”, Power Systems World Conference, Chicago, Illinois, Oct. 31, 2002.

◇ 저자소개 ◇



이현진(李炫振)

1984년 2월 25일생. 2009년 강원대학교 전기전자공학전공 졸업. 현재 강원대학교 대학원 전기전자공학전공 석사과정.



유재용(劉宰雄)

1960년 4월 1일생. 1991년 한국방송통신대학교 전산학과 졸업. 1996년 강원대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2005년 강원대학교 대학원 전기공학과 박사수료. 1997년~현재 한국 폴리텍대학 춘천캠퍼스 전기과 교수.



박종연(朴鍾演)

1951년 2월 23일생. 1973년 고려대학교 전자공학과 졸업. 1980년 경북대학교 대학원 졸업(석사). 1984년 경북대 대학원 졸업(박사). 1973~1977년 KIST 연구원. 1977~1984년 울산공대 조교수, 부교수. 1984년~현재 강원대학교 전기전자공학 교수.