

하이브리드 안정기에 의한 방전램프별 조도제어시스템

박종연*, 이현진*, 최성춘*
 강원대학교 전기전자공학과*

The dimming system for HID-Lamps using the hybrid ballast

Chong-Yeon Park*, Hyeon-Jin Lee*, Seong-Chon Choi*

Department of Electrical and Electronical Engineering, Kangwon National University*

Abstract - 본 논문은 HID-Lamp용 하이브리드 안정기의 조도제어 시퀀스에 사용되는 저가의 ZCD(Zero Current Detection)방법을 제안하였다. 이를 위해 램프의 자기식 안정기 구동으로 인한 Dimming 시 인덕터 전류와 램프전압, 전류의 관계와 특성을 파악하여 램프전압으로 인덕터 전류의 상태를 파악할 수 있다는 결론을 얻었으며, 실험을 통하여 제안한 회로의 적용이 타당함을 확인하였다.

1. 서 론

사회의 발전과 성장에 따라 에너지의 사용으로 인한 사회적 비용을 절감하고자, 사회 전반에 걸쳐 에너지 절약이 요구된다.[1] 현재 램프의 점등만을 목표로 하는 안정기 제품들에도 이러한 추세가 반영되어 조도제어 및 램프전력 조절이 가능한 안정기가 요구된다.[3] 기존 전자식 안정기에도 이러한 기능을 제공하는 제품을 요구하지만 방전램프의 부성 저항 특성과 음향공명현상 등으로 인한 개발의 어려움이 발생된다. 이러한 문제들을 회피하는 방법으로 저주파로 구동되는 자기식 안정기가 대안이 될 수 있다. 자기식 안정기는 전자식 안정기에 비해 매우 간단한 구조로 되어 있기 때문에 안정기 제품의 신뢰성을 높일 수 있으며, 생산 단가를 낮출 수 있는 장점을 갖는다.[1][2][3]

자기식 안정기와 전자식 안정기의 과도단계인 하이브리드 안정기는 조도제어기능은 물론이며, 자기식 안정기의 장수명과 저단가가 확보되어야 시장에서 경쟁력을 인정받을 수 있다. 따라서 조도제어용 스위치가 긴 수명을 유지할 수 있는 기술이 필요하다. 이러한 요구에 걸맞게 조도제어 스위치로 사용빈도가 높은 기계식 릴레이의 스위칭 시 접촉 파손을 막기 위해 [1]의 새로운 조도제어회로 구조와 스위칭 시퀀스가 제안되었다. 그러나 릴레이 스위칭 시퀀스를 결정하기 위해서는 MCU(Micro Controller Unit)가 인덕터 전류의 상태를 파악해야 하므로 CT(Current Transformer)를 이용하여 인덕터전류를 센싱하였다. 그러나 CT를 사용한 ZCD회로는 단가가 높고 CT가 기판과 분리되어 있으므로 생산공정시, 램프전류가 흐르는 도선을 CT의 Hole로 통과시켜주어야 하는 별도의 수작업이 필요하여, 생산속도의 저하와 제품 불량률 증대를 가져온다. 이와 같은 문제점을 회피하기 위해 인덕터전류와 각 방전램프별 전압, 전류 특성을 파악하여 인덕터 전류와 램프전압이 구동주파수에서 위상이 서로 일치하므로 램프전압의 센싱으로도 인덕터전류의 방향과 영점을 파악할 수 있다는 결론을 얻었다. 따라서 램프전압의 센싱으로 회로기판에 고정할 수 있는 포토커플러를 이용한 저가의 ZCD회로를 제안하였으며, 실험을 통해 제안한 이론의 타당성을 입증하였다.

2. 본 론

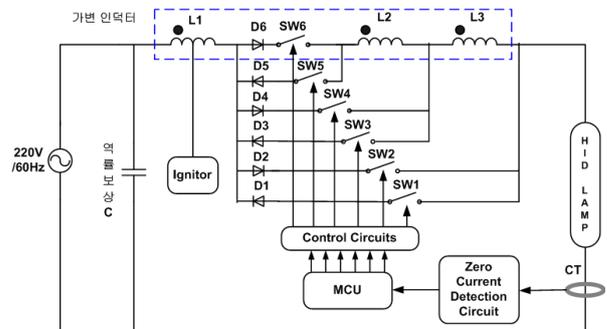
본문에서는 HID-Lamp용 하이브리드 안정기의 원리를 설명하였다. 또한 여러 종류의 HID 램프의 조도제어 시 램프전압, 전류 특성을 실험을 통하여 밝혔으며 이를 분석하여 저가의 ZCD회로를 제안하였다. 제안한 회로는 실험을 통해서 하이브리드 안정기의 ZCD회로로써 적합성을 실험을 통하여 확인하였다.

2.1 릴레이 수명 연장을 위한 HID램프용 하이브리드 안정기

그림 1의 회로는 기존의 회로에서 기계식 릴레이 및 다이오드 그리고 전류의 위상을 검출하기 위한 인덕터 전류센싱 회로가 추가되었다. 제안된 회로는 릴레이의 스위칭 지연시간에 크게 구속되지 않고 전류의 0점에서 스위칭을 하며, 스위칭 제어를 통하여 큰 전류가 흐르는 상황이 없다. 또한 회로가 추가되었음에도 불구하고 여전히 SSR(Solid State Relay)을 사용한 안정기에 비하여 적은 가격으로 구현가능하다. 그림 1의 회로는 각 릴레이를 병렬로 연결하고, 각 릴레이에 직렬로 Diode를 서로 반대방향으로 연결하였다. 제안된 회로의 기본적인 동작은 각 릴레이에 전류가 다이오드에 의해 Positive 혹은 Negative 방향 한쪽으로만 입력 AC의 반주기 동안 흐르게 하고, 전류가 흐르지 않는 릴레이를 스

위칭 하는 것이다.[1]

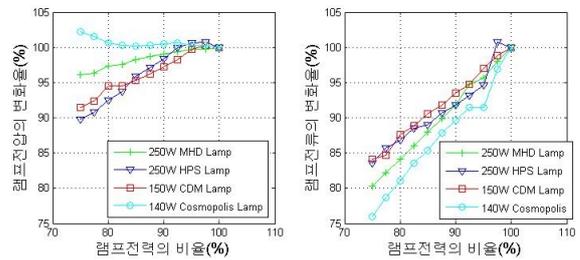
따라서 인덕터 전류의 Positive 혹은 Negative 상태를 MCU가 정확히 판별할 수 있도록 ZCD회로의 역할이 매우 중요하다. 자기식 안정기 회로의 인덕터와 램프는 같은 루프에 속하여 전류가 같기 때문에 기존의 ZCD회로는 CT로 램프전류를 센싱하여 이를 비반전증폭기와 비교기를 거쳐 MCU의 입력에 전달하였다. 또한 램프전류와 전압은 기본파의 영점이 동일한 시간에 나타나므로 램프전류 대신 램프전압을 센싱하여 인덕터 전류의 영점과 상태를 파악할 수 있다.



〈그림 1〉 릴레이 수명 연장을 위한 하이브리드 안정기의 구조

2.2 각 고압방전램프의 디밍특성 분석

그림 2는 최근 실외조명으로 많이 사용되는 HID-Lamp 4종류(메탈 할라이드(MHD)램프, 고압나트륨(HPS)램프, 세라믹메탈(CDM)램프, 코스모폴리스램프)에 대한 램프전력 가변에 따른 램프전압, 전류변화율을 나타내었다. 본 그래프의 데이터는 각 HID램프와 각 용도의 자기식 안정기로 점등 후 입력전압의 값을 변경하여 램프전력을 램프정격의 100%부터 75%까지 단계별로 낮추면서 램프의 전압, 전류를 측정하였다.



(a) 램프전력에 따른 램프전압의 변화율 (b) 램프전력에 따른 램프전류의 변화율

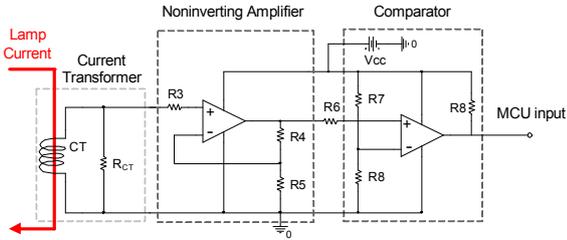
〈그림 2〉 HID-Lamp별 램프전력상태에 따른 정격과 램프전압, 램프전류 비율

특이점은 다른 램프는 dimming시 램프전압, 램프전류가 모두 낮아지는데 비해 코스모폴리스램프의 경우 램프전압이 소폭 상승(100→103%) 한다는 것이다. 또한 실험에 사용된 모든 방전램프가 램프전력이 떨어짐에 따라 램프전압의 변화율(103-90%)보다 램프전류의 변화율(101%-76%)이 상대적으로 크다. 이는 dimming시 센싱신호 크기의 변화로 연결되어 출력의 변화를 초래할 수 있다. 실제 CT를 사용하여 제작된 ZCD의 회로의 경우 Dimming시 출력신호의 Duty가 바뀌어 MCU

가 정확한 영점을 파악하는데 어려움을 갖는다. 따라서 인덕터 전류 상태를 센싱할 때는 dimming으로 인한 변화된 전류크기를 고려하는 것보다 센싱 신호의 변화가 적은 램프전압을 센싱함이 램프전류의 상태를 파악하는 것이 더욱 유리하다.

2.3 CT를 이용한 영점류 검출 회로

그림 3의 회로는 CT를 이용한 ZCD회로이다. CT를 이용해 램프 전류를 센싱하면, R_{CT} 에 램프전류와 동위상인 전압을 형성하게 된다. 센싱 받은 전압신호는 증폭기로 크게한 뒤 증폭된 전압과형을 0과 비교하여 MCU에 입력이 가능한 구형파를 출력한다.[3] 비교기의 기준전압을 접지에 연결하지 않고 R7과 R8에 의해 분배된 전압으로 하는 것은 증폭기의 출력오프셋전압과 노이즈에 의한 파형왜곡에 대한 대비책이다.

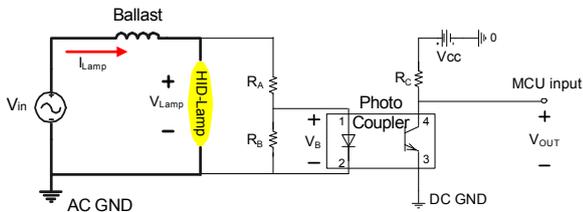


<그림 3> CT를 이용한 ZCD 회로

2.4 제안한 회로

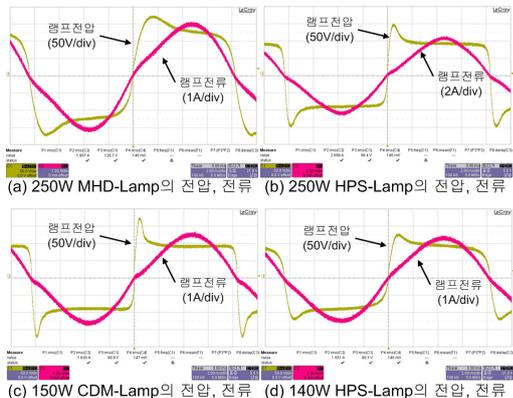
그림 4는 포토커플러를 이용한 ZCD회로이다. 자기식 안정기로 구동되는 램프의 전압이나 전류를 MCU에 전달하고자 할 때 완전한 절연이 요구된다. 따라서 현재까지 CT나 트랜스포머와 같은 소자를 사용해왔다. 그러나 이와 같은 자성소자는 비교적 높은 단가와 자화 노이즈에 취약하므로 센싱회로로서 적절하지 않다. 따라서 AC line과 MCU 전원 측의 절연과 자화노이즈에 자유로울 수 있는 포토커플러를 사용하였다. 포토커플러는 CT에 비해 부피도 작으므로 제품소형화에 더 유리하다.

램프전압이 Positive일 때 큰 저항인 R_A 와 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. 본 회로에서 R_C 는 풀업저항의 역할을 한다. 설계시 고려사항은 이그니션전압에 의해 포토커플러가 파손되지 않도록 R_A 와 R_B 비율을 결정하고 과전류로 LED가 파손되지 않도록 R_A 의 값을 결정하는 것이다.



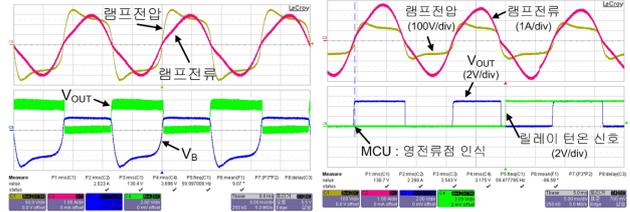
<그림 4> 포토커플러를 이용한 ZCD 회로

2.5 실험 및 고찰



<그림 5> 4종류의 HID램프의 전압, 전류파형

그림 5는 4종류의 HID-lamp의 전압, 전류 파형을 자기식 안정기의 구동주파수인 60Hz의 한주기로 확대하여 나타난 파형이다. 램프전압과 램프전류의 영점이 일치함을 볼 수 있다. 따라서 램프의 전류상태만을 판별한다면 램프전압을 센싱하는 것으로 대체할 수 있다.



<그림 6> 제안한 회로의 측정파형 <그림 7> 조도제어순간 각 파형

그림 6은 제안된 회로를 실제 제작하고 250W 메탈헬라이드램프에 적용하여 측정된 파형이다. 제안된 이론과 동일하게 동작하는 것을 볼 수 있다. 램프전압이 Negative 일 때 포토커플러 내부 LED가 턴오프상태이므로 V_B 가 램프전압의 형태와 일치하며, Positive일 때는 LED가 턴온되어 순방향전압만 걸리게 됨을 알 수 있다. 또한 V_{OUT} 은 LED의 상태에 따라 지터노이즈가 없이 High와 Low로 출력한다.

그림 7은 제안된 회로를 그림 1의 ZCD회로로 적용하여 조도제어 순간을 MCU가 제대로 판별할 수 있는지 확인하기 위해 측정된 파형이다. MCU가 인덕터 전류의 영점으로부터 정해진 시간(26ms)에 릴레이 턴온 신호를 출력하므로 위 ZCD회로로 램프의 상태를 정확하게 판별하였다.

3. 결 론

본 논문에서는 HID-Lamp용 하이브리드 안정기의 원리와 ZCD회로를 사용해야하는 당위성을 설명하였다. 또한 기존의 CT를 이용한 인덕터 전류 센싱회로의 문제점을 도출하였으며 이 문제를 해결하기 위해 인덕터 전류와 램프전류, 램프전압에 대한 연관성과 Dimming시 전압, 전류의 크기변화를 측정하여 인덕터전류를 CT로 바로 센싱하는 것보다 동위상의 램프전압을 통해서 인덕터전류의 영점 및 상태를 판별할 수 있다는 결론을 얻었다. 이러한 결론으로 포토커플러를 이용한 ZCD회로를 제안하고 제작 및 실험을 통해서 하이브리드 안정기의 ZCD회로로서 적합함을 확인하였다. 제안한 회로는 향후 교류전원의 부하 상태를 판별하는데 널리 사용되어질 것으로 기대된다.

감사의 글

본 과제(결과물)는 지식경제부의 지원으로 수행한 에너지자원인력양성사업의 연구결과로써, 관계부처에 감사드립니다.

[참 고 문 헌]

- [1] 정광현, 이현진, 박종연, "릴레이 수명 연장 방법에 의한 HID램프용 디밍 자기식 안정기의 구현", Trans. KIEE, Vol. 58, No.3, pp.516 - 521, 2009
- [2] Walter Kaiser, Ivan E. Chabu, Edward A.C.Louren Go, "Design of a hybrid ballast with magnetic shunts: application to control of HID lamp", Industry Applications Conference, pp.2270 - 2275, 1997
- [3] 박종연, 신동식, 이현진, 임병노, "250W HID-Lamp용 자기식 조도 제어형 안정기 연구", 2007년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp. 1996-1997, 2007