기술해설

최근의 전자식 안정기의 보호 회로 기술

한수빈〈한국에너지기술연구원〉

1. 서 론

전자식 안정기는 자기식 안정기와 비교하여 경량이며 전체 시스템 효율이 증가하고 조광이 가능한 여러 장점이 있지만 반도체 소자를 사용하기 때문에 전압, 전류의 동작 영역을 초과하는 경우 쉽게 파괴되어 영구적인 고장 상태에 빠지는 신뢰성의 문제가 존재한다. 예를 들면 전자식 안정기의 작동 중에 광원의 동작에 문제가 생기는 경우, 즉 광원이 제거되거나 정상 동작을 못하게 되는 경우가 빈번히 발생되며, 이 때 안전 확보를 위해서 안정기의 동작이 차단되어야 한다. 안정기의 동작이 계속된다면 전력 손실과 열이 계속 증가하고 인버터를 구성하는 전력 소자가 과전압, 과전류 및 열에 의해 손상되게 된다. 또한 입력 상용 전원측에서 전원의 불안정에 의한 전압의 이상 변동 및 낙뢰 등 예상치 못한 환경에 의한 서지 전압의 발생에 대해서 전자식 안정기가 손상을 입는 경우도 빈번히 발생된다.

이를 극복하기 위해서 전자식 안정기에 여러 형태의 보호 회로가 장착이 되고 있다. 현재 형광등 전자식안정기의 경우는 신뢰성 측면에서 많은 진전이 있었지만, 고압방전등용 전자식 안정기의 경우는 기술을 주도하는 필립스, 오스람, GE 등의 메이저 제조회사의 경우도 아직 해결해야 할 많은 과제가 남아 있다. 사용되는 보호회로의 경우 서지 보호회로, 무램프 보호회로, 과전압 보호회로, 과전류 보호회로 그리고 램프 단락시 보호 회로 및 수명 말기 보호회로 등 다양하게 존재한다. 기능은 다양하지만 기본적으로 전압 또는 전류를 감지하여 동작하는 공통적인 형태를 갖고 있다.

본고에서는 이와 관련된 다양한 회로 구현 방식에 대해서 소개하기로 한다. 특별히 형광등 전자식 안정기의 보호회로와 관련해서는 참고문헌 [1]을 참조하기 바란다.

2. 과전압 보호 회로

램프가 정상적인 동작이 아닌 경우 또는 오랜 시간을 사용한 경우 전압이 상승하게 된다. 따라서 과전압을 감지하여 보호회로를 구성하는 것은 당연한 발상이며 그 방식은 통상의 과전압 제어 회로와 유사하게 적용된다. 통상 과전압 보호의 개념은 어느 기준 전압을 정하고 그 이상이면 과전압으로 판단하여 모종의 조치를 취하는 것이다. 관련해서 구현방법이 매우 다양하며 대표적으로 다음과 같이 분류된다.

a) SCR을 사용한 보호회로
b) 전압 클램핑에 의한 방식
c) 전압 제한 제어에 의한 방식

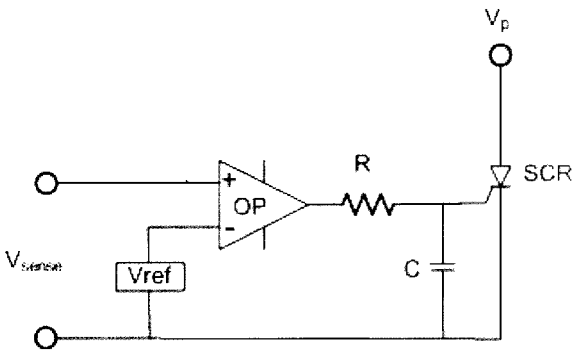


그림 1. 과전압 보호 회로의 구현 방법

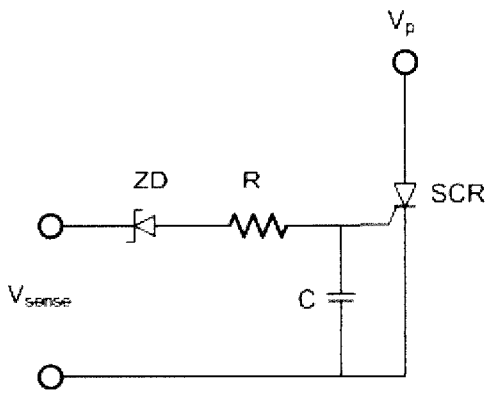


그림 2. 제너다이오드를 사용한 과전압 보호 회로

실제적으로 안정기에서는 대부분 SCR을 이용한 방식을 사용하므로 이에 대해서 주로 소개하기로 한다. 기본 개념은 과전압이 검출되면 SCR의 게이트를 트리거하여 안정기가 동작하지 않도록 하는 것이다. 구현 방법은 그림 1과 같이 전압을 검출하고 이 전압이 과전압인지를 정해진 전압 V_{ref}와 비교하여 판단한다. 통상 검출되는 전압은 램프 관전압 또는 공진 필터의 한 부분을 선택하게 된다. 만약 기준 전압보다 큰 전압이 측정되면 과전압 상태로 판단하게 되고 op-amp는 SCR의 게이트를 통해서 충분히 큰 양의 전압을 출력시켜 SCR을 도통시키게 된다. SCR의 anode는 안정기의 동작을 차단할 수 있는 신호에 연결된다. 보통은 전자식 안정기의 인버터 스위치의 구동신호를 연결하거나 구동용 IC의 disable 기능을 갖고 있는 핀에 연결하여 보호감지 시 이들의 동작을 차단함으로써 안정기를 shut down 시키게 된다. 그림에서 저항 R과 커패시터 C는 low pass filter 역할로서 잡음에 대한 필터링 역할도 하지만 RC, 시정수에 의한 도통 타이밍을 조절하는 데 적절히 선택된다. 안정기 회로에서 가장 간단히 과전압 회로를 구현하는 예는 그림 2와 같으며 op-amp와 V_{ref} 회로를 따로 사용하지 않고 단순히 제너 다이오드 Z_D 하나로 동작을 시키는 방법도 자주 사용된다. 여기서 V_{ref}의 역할은 제너 다이오드가 갖는 고유적인 항복(Break down) 전압이 되며 측정 전압이 제너 다이오드의 항복 전압을 넘게 되면 제너다이오드는 도통하여 SCR에 게이트 신호를 공급하게 되어 SCR을 도통시키게 된다.

실제로 안정기에서 과전압 보호를 위한 회로는 이와 같은 개념을 갖고 동작하지만 제품마다 여러 다양한 기능을 추가하여 동작되며 구현 방식도 저마다 틀리게 된다.

3. 과전류 보호 회로

과전류 보호회로의 경우는 수동적인 방식과 능동적인 방식이 존재한다. 수동적인 방식은 통상 퓨즈, 회로 차단기, PTR 등을 들 수가 있으며 이들은 회로 단락 등 가장 파괴적인 환경에서 안정기를 화재로부터 보호하기 위한 최후의 수단으로 사용된다. 이 수동적 장치가 동작된 상태에서는 이미 안정기의 내부 소자들은 파괴된 상태로 볼 수 있다. 가장 대표적 수동 장치인 퓨즈에 대한 내용은 참고문헌 [1]을 참조하기 바란다.

능동적인 방식은 전자회로를 이용하여 정상적인 전류값 이상에 도달하면 부품의 손상을 주지 않고 안정기의 동작만 중지시키는 방식이다. 회로적 구현은 측

정 성분이 전류인 것을 제외하고는 궁극적으로 과전압회로의 구현과 동일하다. 즉 전류가 흐르는 저항의 전압을 측정하거나 그림 4와 같이 전류를 CT (Current Transformer)를 사용하여 전압으로 변환하여 측정하기 때문에 과전류는 과전압 형태의 회로로 구현된다.

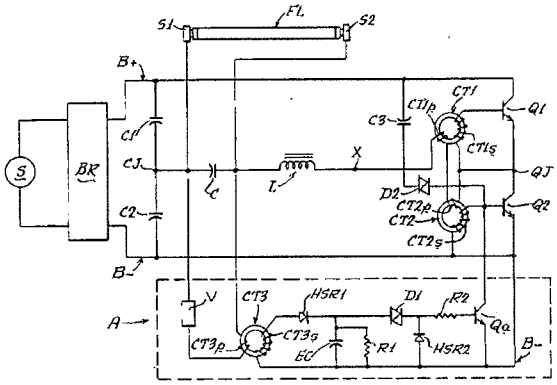


그림 3. CT를 사용한 과전류 보호 회로의 구현 방법[2]

4. 무램프 보호 회로

무램프 보호기능의 경우는 물리적으로 램프가 연결되지 않은 경우를 감지하여 동작을 제한하기 위해서 필요하다. 형광등의 경우에 램프 자체는 물리적으로 연결되어 있지만 필라멘트가 끊어진 경우에는 램프연결 상태에 따라 무램프 동작과 같은 상태로 볼 수 있다.

물리적으로 연결되어 동작은 하지만 램프가 어느 정도 손상이 된 경우는 다른 현상으로 보아야 한다. 안정기 제조회사에 따라 다르지만 물리적으로 연결되지 않은 경우의 보호회로의 방식은 전류의 유무를 판정하여 동작하도록 하고 램프가 손상된 경우는 전압의 비정상적 상승을 감지하여 보호하는 방식을 보편적으로 사용하게 된다. 램프가 손상되어 상승된 전압을 감지하는 경우는 결국 과전압 보호회로와 동일하게 되므로 과전압 보호회로 부분을 참조하기 바란다.

무램프 보호회로와 램프 손상감지 회로의 적용의

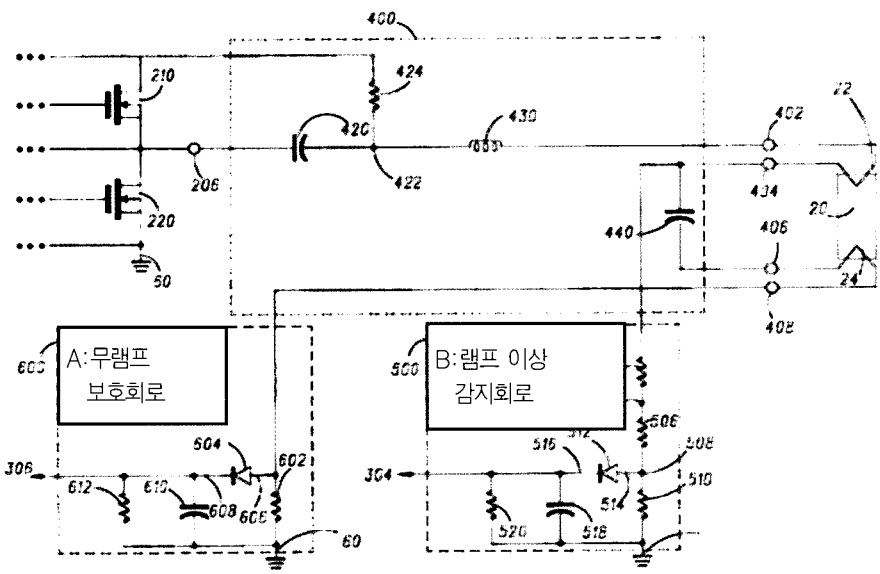


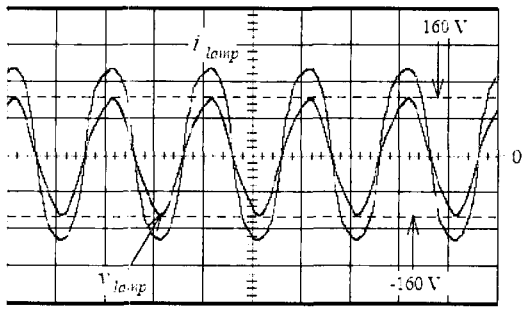
그림 4. 무램프 보호회로 및 램프 이상 감지 회로의 예[3]

한 예로는 그림 4를 참조하기로 한다. 보호회로 A는 무램프 보호회로이며, 여기에서는 물리적으로 램프가 연결되지 않거나 필라멘트가 끊어진 경우에 저항 602가 회로적으로 연결이 되지 않게 되고 전류가 흐를 수 없음을 알 수 있다. 따라서 저항 602 양단의 전압강하가 없게 되므로 이 전압의 유무로서 무램프 상태인지를 제어기가 판단하게 된다. 제어기는 이 전압이 설정된 전압(예로 0.3[V])이하이면 무램프 상태로 판단하게 된다. 보호회로 B는 램프 이상 감지회로로 램프의 점등 상태가 정상이 아니면 임피던스가 변화하게 되고 따라서 관전압이 변화한다. 측정 전압이 설정된 전압(예로 0.3[V])보다 크면 램프가 비정상적으로 동작하고 있다고 판단하게 된다.

4. 수명 말기 감지 회로

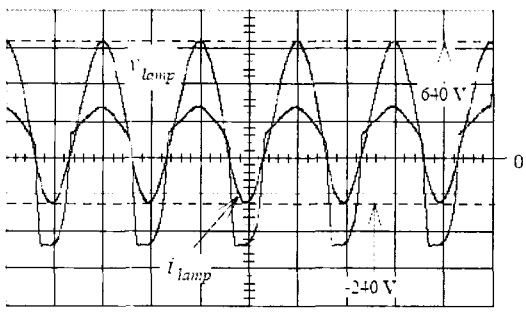
형광램프는 일반적으로 교류동작을 동일한 전극에 의해서 대칭적으로 하게 된다. 교류의 전기장이 램프에 인가되면 두 전극의 필라멘트에서는 전자(Electron)를 번갈아 가면서 방출하여 교류 아크 전류를 형성하게 된다. 양 쪽 전극을 균일하게 사용하기 위해서 안정기는 순수한 교류 전류를 공급하는 것이 중요하다.

형광등이 수명말기에 이르면 전극의 끝에서 붉은색의 방전이 나타나고 램프의 아크를 유지하기가 어려워져서 깜박임이 나타난다. 원인중 하나로는 두 전극사이에 전자 방출이 균형을 이루지 못하게 되어 비대칭적인 동작을 하게 된다. 램프가 정상인 경우는 그림 5 (a)와 같이 관전압, 관전류의 파형이 대칭적인 교류 파형이나 수명말기로 갈 수록 두 전극의 전자방출시 불규형으로 인하여 램프가 등가회로 측면에서 보면 양의 전류와 음의 전류에 대해서 다른 저항으로 동작하게 된다. 이 경우 램프의 전압은 그림 5 (b)와 같이 비대칭이 되고 심한 경우는 교류 전압이 정류된 전압처럼 나타나게 된다. 이 현상은 그림 5 (c)와 같이 조광을 할 경우, 보다 심하게 나타나는 데 그 원인은 램프 관전력을 낮출 경우 램프 저항은 증가하기 때



v:100V div. i:200mA div. t:10μs div

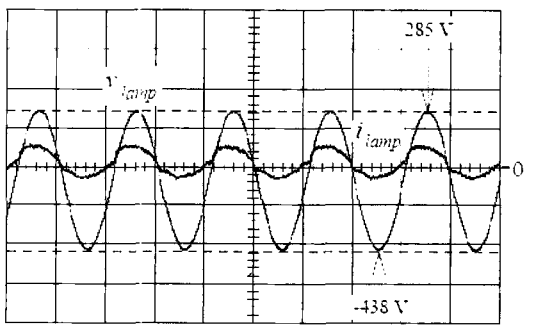
(a) 정상 램프의 관전압, 관전류 파형



v:200V div. i:200mA div. t:10μs div

(c) Flash

(b) 수명 말기 램프의 관전압, 관전류 파형



v:200V div. i:50mA div. t:10μs div

(c) 10% rated power

(c) 수명 말기 램프에서의 조광시 관전압, 관전류 파형

그림 5. 수명 말기 시 관전압, 관전류 파형의 상태

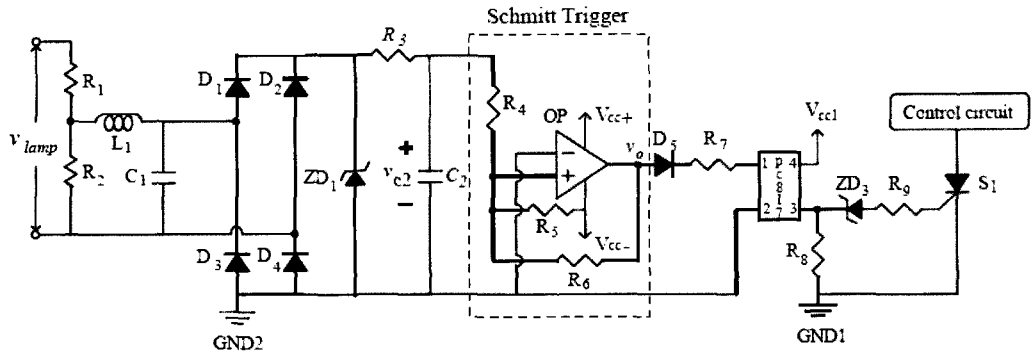


그림 6. 수명말기 검출 회로의 한 예[4]

문이다[4].

수명 말기 감지 회로는 결과적으로 앞에서의 과전압을 검출하는 회로와 동일하게 구성이 된다. 예로 그림 6에서는 관전압을 분배하여 측정하고 LC 필터를 통해서 정류하여 직류성분으로 전압을 측정한다. 이 전압을 설정된 전압과 비교하여 큰 경우는 op-amp를 사용한 슈미트 트리거회로가 SCR S1을 구동할 수 있도록 출력신호를 발생시킨다. 통상 SCR은 게이트 구동신호나 구동 제어기에 연결되어 인버터를 동작시키는 신호를 차단하게 된다.

6. Arc instability 검출

HID(High Intensity Discharge) 램프의 경우는 수은등, 메탈핼라이드 램프 그리고 고압소디움 램프를 지칭하며 대부분 자기식 안정기로 동작한다. 이들 램프에 대해서 저압 방전등인 형광등과 같이 20[kHz] 이상의 고주파로 동작시킬 경우 안정기의 무게가 크게 줄어들고 콤팩트하게 제작할 수 있는 장점이 있어 시도되고 있다. 그러나 HID 광원은 고주파의 동작에서는 음향공명에 의한 아크의 불안정성이 증가하는 문제가 있다. 이 아크의 불안정성은 램프의 용량에 따라, 형태에 따라, 크기에 따라 그리고 방전관의 화학적 성분에 따라서 달라지고 특히 메탈핼리이드 램프의 경우 매우 민감하다.

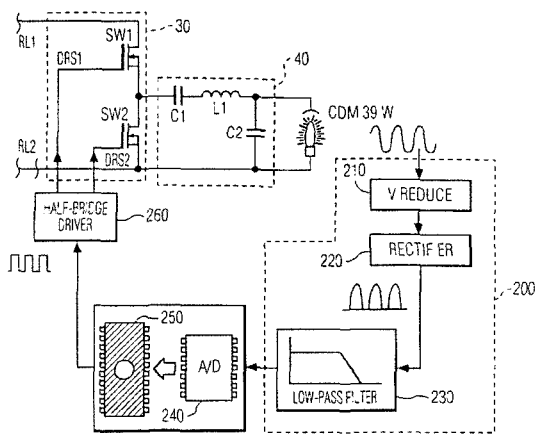


그림 7. Arc instability 감지 방법

따라서 램프 아크의 불안전성을 전기적 신호로 검출하여 이를 제어기에 반영하므로 고주파에서 안정된 동작을 하기 위한 연구가 많이 되고 있다. 필립스의 경우는 그림 7과 같이 램프 전압을 측정하고 이를 quasi-RMS 값으로 변환한 후 저역필터를 통과시킨 신호를 측정하여 아크 상태가 불안정상태에 있는 지를 감지하는 방식을 시도하고 있다[5]. 기본적으로 이 신호는 마이크로프로세서 내에서 패턴의 상태를

파악하여 논리적으로 안정 상태를 결정하게 된다. 이를 위해 판단을 수행할 알고리즘이 필요하며 그 판단은 램프의 사전 측정 정보를 반영하여 데이터베이스를 구축한 상태에서 이루어진다. 그림 7의 block 200에 해당되는 신호처리 회로는 그림 8과 같이 구현하고 있다.

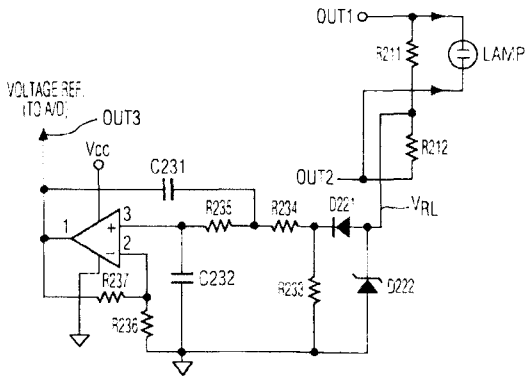


그림 8. Arc instability 측정을 위한 신호 처리 회로

7. 결 론

실제로 안정기에서 대부분의 보호회로는 기본적으로 과전압 보호를 구현하는 회로 형태가 공통적으로 사용된다. 같은 개념을 갖고 동작하지만 제품마다 여러 다양한 기능을 추가하여 동작되며 구현 방식도 저마다 틀리게 된다. 특히 방전등의 경우 시동시에는 큰 관전압, 관전류 특성을 갖게 되며 이 때 과전압, 과전류 상태로 오인되지 않도록 구분하는 문제가 중요하다. 또한 SCR을 사용한 보호회로의 경우 한번 동작이 되면 SCR의 특성상 램프 또는 안정기 상태가 이상 상태에서 회복하는 경우에도 계속 안정기 동작을 차단하기 때문에 다시 시스템을 reset하고 동작시켜야 하는 문제가 따르다. 따라서 고장 상태가 제거되면 안정기의 동작이 바로 회귀하도록 하는 지능적 보호회로들의 고안도 계속 되고 있다. 이들은 대부분 마이크로프로세서를 이용하고 있으며 향후 많은 안정기에서 적용될 것으로 전망된다. 특히 메탈헬라이드 램프용 전자식 안정기에 있어서 음향공명을 단순한 회로로 측정할 수 있는 문제가 아니기 때문에, 이를 위해 마이크로프로세서에 알고리즘을 프로그램화 하여 처리하고 동작 시간에 따라 측정 및 판단 파라미터를 조절하는 방식이 일반화 되고 있다. 따라서 향후 마이크로프로세서를 장착한 보다 유연하게 보호기능을 갖는 전자식 안정기는 조광용 및 HID 전자식 안정기에 걸쳐서 널리 이용될 전망이다.

참고문헌

[1] 주성준 "형광등용 전자식 안정기 설계 기법: 각종 보호회로 설계법" 전자부품 10월호, 2003.
[2] O.K. Nilssen 외, "Electronic Fluorescent Lamp Ballast with Overload Protection", US patent 4554487, 1983.
[3] Edward Li, et al "Electronic Ballast with Inverter Protection Circuit", US patent 5883473, 1999.
[4] S.Y.Tang 외, "Protection Circuit for Electronic Ballasts at Fluorescent Lamp Life-End", IEEE IAS Conference pp. 1938-1942, 2005.
[5] A.H.Bergman 외, "Method and Controller for Operating a High Pressure Gas Discharge Lamp at High Frequencies to Avoid Arc Instabilities", US patent 5859505, 1999.

◇ 저 자 소 개 ◇

한수빈(韓秀彬)

1958년 6월 9일생. 1977년 한양대학교 전자공학과 졸업. 1986년 한국과학기술원(KAIST) 전기및전자공학과 졸업(석사). 1997년 한국과학기술원(KAIST) 전기및전자공학과 졸업(박사). 현재 한국에너지기술연구원 책임연구원. 전력전자학회 이사. 한국조명·전기설비학회 편수위원.