

누전검출 및 차단기능을 가진 가로등용 HID 전자식 안정기 개발

(The development of the HID Electronic Ballast for the street lamp with the leakage Current detection and circuit breaker function)

박종연* · 임병노** · 최원호*

(chong-yeun Park · byoung-noh Lim · won-ho Choi)

Abstract

We developed the electronic ballast for the street HID lamps with the leakage current detection and circuit breaker function. By detecting the leakage current and breaking the system, we are protected from the electric shock and the ballast is safe from the electric damage at the time of the continuous reignition state.

1. 서 론

누전은 전로의 외부로 전류가 유출되는 것을 의미한다. 누전은 화재, 감전, 기기손상 등의 전기재해를 일으키는 원인이 될 수 있으므로 국내에서는 사람이 접촉할 우려가 있는 장소에 시설하는 60V이상의 기구에 대하여 누전차단기를 시설할 것을 원칙으로 규정하고 있다.[1]

이러한 기준에 의하여 인체와 접촉빈도가 높은 가로등 관련 전기설비에도 누전에 대한 고려가 필요하다. 특히 가로등의 경우 국내 기후 특성상 빈번히 발생하는 호우에 의한 침수로 누설에 의한 사고위험이 매우 높다. 국내의 경우 이를 보호할 목적으로 설치되는 누전차단기는 대부분 가로등 분전반에 위치하여 있다.[1-2] 그러나 통계자료에 의하면 가로등 분전반과 부하회로인 가로등간의 거리가 길어서 전선과 대지간의 정전용량이 증대됨에 따라 건전상태에서 상시누설전류가 715mA로 비교적 크게 나타나 누전차단기의 오작동 확률이 높아지는 문제점을 안고 있다. 또한 가로등용 자기식 안정기로 인하여 발생하는 고조파는 누설전류를 증가시키는 원인이 되어 누전차단기의 오작동 확률은 더욱 높아진다.

위와 같은 이유로 많은 가로등 설비에서 누전차단기의 오작동이 빈번하게 일어남에 따라 오작동과 실제 누전상황에 의한 작동을 구별하는 것이 매우 어렵기 때문에 현장에서는 누전차단기의 정격감도전류를 상향조정하는 사례가 많은 상태이다.[1][3]

본 논문은 위와 같은 배경에서 누전상황의 가시성을 높임으로서 누전차단기의 오작동과 실제 누전상황을 구별 가능하고 이를 통한 시설관리의 효율성, 편의성 및 사고에 대한 안정성을 높일 목적으로 가로등용 전자식안정기에 누전검출 및 차단기능을 첨가하였다.

2. 본 론

2.1. 누설전류의 검출

누설전류는 전로 이외의 경로로 흐르는 전류로서 정상적인 회로에 흐르지 않고 전선의 절연 파괴 등으로 인하여 전로로부터 대지로 전류가 흐르는 것을 말한다. 가로등 설비의 경우 분전반과 가로등간의 거리가 길어짐에 따라 대지와 부유정전용량이 증가하고 절연체의 절연저항이 무한대가 아니므로 이에 의한 누설전류가 흐르게 된다. 부유정전용량에 의한 누설전류는 표 1.에서처럼 전선의 사이즈 및 대지와 거리에 의해서 변하게 된다.

표1. 3심 400V 가교 폴리에틸렌 절연전선의 누설전류의 특성
Table 1. The proposed of leakage current of CV

| 3심 400V 가교 폴리에틸렌 절연전선(CV) | | | | | | |
|---|------|------|------|------|------|------|
| 전선사이즈 (mm ²) | 5.5 | 8 | 14 | 22 | 30 | 38 |
| 누설전류(mA/km) (대지에 밀착) | 36.1 | 41.5 | 52.9 | 54.6 | 61.2 | 69.9 |
| 누설전류(mA/km) (대지로부터 1.5mm이상 띄운경우) | 7.3 | 8.3 | 10.6 | 10.9 | 12.2 | 14.0 |
| 누설전류(mA/km) (대지로부터 10cm이상 띄운경우) | 0.47 | 0.54 | 0.69 | 0.7 | 0.79 | 0.91 |
| 누설전류(mA/km) (대지로부터 4m이상 띄운경우) | 0.22 | 0.25 | 0.32 | 0.33 | 0.36 | 0.42 |

일반적으로 선로는 비닐관 매입 공사를 하며, 비닐관의 살 두께만큼 대지 대략 1.5mm이상 띄워서 배선한 경우로 나타낸다.[3][6]

본 논문에서는 누전차단기의 오동작과 실제 누설에 의한

* 강원대학교 전기전자 정보통신 공학부

** 한림대학교 전자과

동작을 명확히 구분하기 위하여 표1에서 나타난 누설전류를 포함한 분전합과 가로등 사이 혹은 가로등과 가로등 사이에서 발생하는 누설(선간누설)과 등주 자체에서 그림1과 같이 전선 결속상태가 좋지 않거나 기타원인에 의한 누설(등주누설)을 서로 분리하여 고려하였다. 그러므로 누설전류의 검출은 그림 2와같이 2지점에서 각각 검출하도록 설계하였다.



그림1. 누설위험이 높은 가로등주의 결선상태
fig 1. A street lamp pole in dangerous state

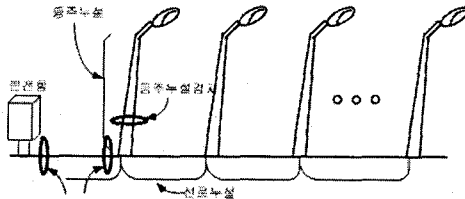


그림2. 누설전류 검출위치
fig 2. A detection point of the leakage current

그림2와 같이 각각의 가로등 주에 위치한 안정기가 두 지점에서의 누설전류를 측정하여 그 양을 대략적으로 표시해 준다면 선로누설 중 상시누설전류와 다른 기타원인에 의한 누설전류를 구분 가능하다. 즉, 표 1에 의하면 분전합에서 멀어질수록 검출된 누설전류의 양이 점차적으로 줄어들 것이므로 이와와의 차이는 다른 원인에 의한 누설전류임을 쉽게 알 수 있다. 또한, 분전합에서 측정된 누설전류 중 가로등주의 누설이 얼마나 일어나고 있는지도 쉽게 판단할 수 있다. 게다가 문제가 발생할 때 각 등주에 존재하는 안정기가 표시하는 누설전류량을 종합하여 판단함으로써 비교적 정확한 누설지점을 예측 가능하다.

누설전류의 검출은 일반적으로 영상변류기(ZCT)를 사용하며, 동작 원리는 그림 3과 같다.

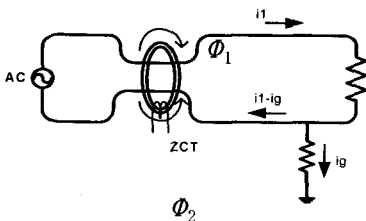


그림 3. 누설 전류 검출 원리
fig 3. Principal of the leakage current detection

전원으로부터 부하로 흐르는 전류 i_1 과 부하에서 전원으로 흐르는 전류 i_2 의 항상 같다. 그러나 누설전류가 발생시에는 i_1 과 i_2 의 전류량은 차이가 나게 된다. 즉, i_1 의해서 발생하는 자계 Φ_1 과 i_2 에 의해서 발생하는 자계 Φ_2 는 값의 차이를 보이게 되며, 누설전류에 의한 자계의 차이는 $\Phi_1 - \Phi_2 = \Phi_g$ 가 되며, 이 자계로부터 영상변류기(ZCT)의 2차측에 기전력이 발생된다. 누전차단기는 정격감도전류 30mA이하 동작시간은 0.03초 이하로 동작하게 되어있다.

2.2. 누전 차단 기능을 갖춘 안정기 구성

본 연구에서 사용한 안정기의 블록도는 그림 2와 같다.

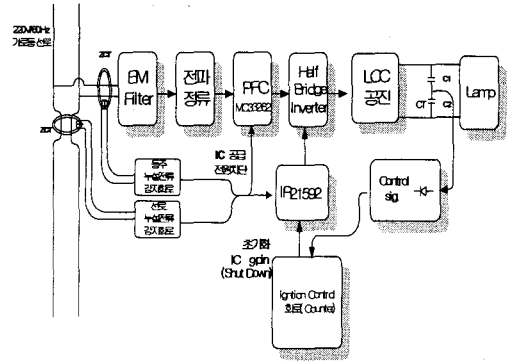


그림 4. 250W HID 전자식 안정기 구조
fig 4. Diagram of 250W HID Electronic Ballast

가로등용으로 주로 사용되는 램프는 250W 나트륨 램프이며 안정기로는 자기식 안정기가 많이 사용되고 있다. 대부분의 자기식 안정기는 앞에서 밝힌 바와 같이 고조파 발생률이 높아 이로 인한 누설전류의 증가를 초래 한다. 또한 전자식 안정기에 비하여 무게가 무겁고 광 변환 효율이 떨어지며 제어가 용이하지 않다. 이러한 이유로 본 논문에서는 그림 4와 같은 250W 나트륨 HID 램프용 전자식 안정기를 개발 하였다.

본 연구에서 제시한 누전차단기능을 갖춘 HID 전자식 안정기는 등주 및 선로의 누설을 차단하는 기능을 갖추고 있으며, 램프의 파손시의 안정기 보호회로를 추가 하였다. 또한 PFC 회로가 첨가되어 저가의 자기식 안정기에 비하여 고조파 전류의 발생치가 현격히 적음에 따라 누설전류의 원인을 최소화 할 수 있다.

그림 5는 제안한 누설전류 검출 및 안정기 제어회로이다. 이 회로는 등주 및 선로 누설전류가 30mA이상일 때 Half bridge 인버터의 동작과 Boost 컨버터의 동작을 멈추게 된다. 이 밖에 누설전류 발생량을 LED로 표현하도록 설계 되었다.

그림 5에서의 R1과 C1은 안정기의 구동주파수인 57KHz를 차단주파수로 하는 1차 Lowpass로 구동주파수영역의 잡음 제거를 목적으로 사용되었다. 전압증폭회로는 비 반전증폭기를 사용하였으며, D1과 C2를 이용하여 누설전류에 비례하는 전압의 Peak를 검출하였다. 검출된 Peak 전압은 기준전압과 비교되어 설정된 기준 값을 초과하면, Half Bridge의 구동IC의 공급전원을 차단시킨다.

3. 실험

검출회로의 동작을 실험하기 위하여 등주 및 선로의 누설 전류를 가상적으로 발생시킬 수 있도록 그림 7과 같이 실험회로를 구성 하였다.

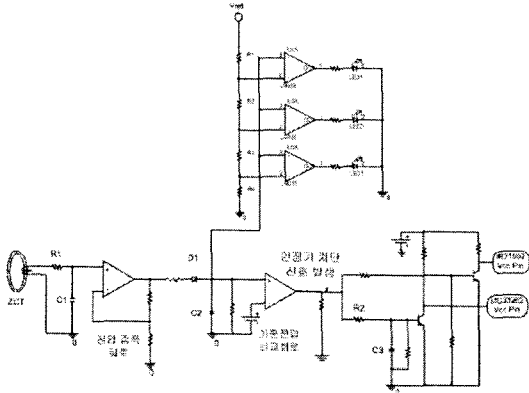


그림 5. 누설전류 검출 회로의 구조
fig 5. The structure of leakage current detection circuit

또한, 20ms 차이를 두고 PFC(Power Factor Collector) 컨트롤 IC의 전원공급을 차단하게 된다. Q1은 안정기 차단신호가 발생하면 바로 동작을 하게 되며, Q2는 R2와 C3에 시정수에 의해서 20ms 정도 후에 순차적으로 동작하게 된다.

그림 5에 상측회로는 누설전류의 량을 LED로서 표시하기 위한 회로로서 가장 단순한 A/D변환회로를 응용하였다. 전압을 저항 분배한 전압이 각 비교기에 기준전압이 된다. 각각의 비교기가 측정된 누설 전류량에 해당하는 전압과 설정된 기준 전압을 비교함으로써 누설 전류량에 비례하여 LED를 순차적으로 점등시킬 수 있다. 그림 5에서는 누설 전류량을 3단계로 축약하여 표현하였다.

2.3. 안정기 보호회로

램프의 과손 및 고장 시에 안정기는 계속적인 ignition 동작을 하게 된다. 계속적인 ignition 동작은 안정기의 고장의 원인이 될 수 있다. ignition 상태를 관찰하여 계속적인 ignition 펄스가 발생 시에는 Half Bridge 인버터를 차단하여 안정기를 보호하였다. 그림 6의 회로와 같이 램프 양단의 ignition 전압을 Differential OP-AMP를 이용하여 측정하였으며, 기준 전압을 초과 했을 때에만 펄스 신호를 발생하게 된다. 발생된 펄스는 Counter IC의 입력 펄스로 동작을 하며, Counter IC의 설정된 값이 되면, Half Bridge 구동 IC의 전원을 차단하여 안정기를 보호한다.

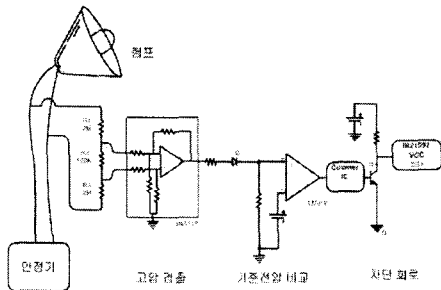


그림 6. 이그나이터 동작 중단 회로
fig 6. The ignitor breakdown detection circuit

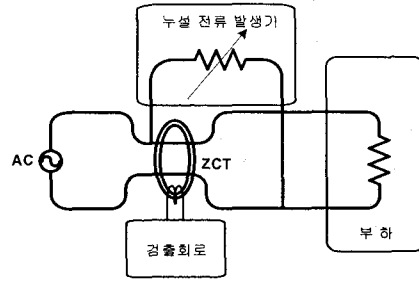


그림 7. 누설전류 발생시키기 위한 회로
fig 7. The circuit for generating leakage current

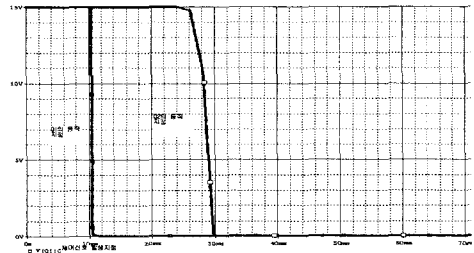


그림 8. 제안한 전원차단회로의 지연 시간
fig 8. A delay time of proposed circuit breaker

그림 7의 실험회로를 이용하여 누설전류를 변화시키면서 그림 5의 누설전류 검출회로에 의해서 측정된 전압 값을 측정하는 동시에 Current-probe를 이용하여 오실로스코프로 실제 누설전류를 측정함으로써 누설전류검출회로의 정상동작과 선형성을 확인하였다. 실험결과는 그림 9와 같다.

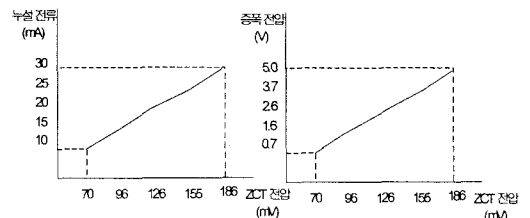


그림 9. 영상변류기의 누설전류 - 전압 특성
fig 9. Leakage current vs output voltage Characteristic -s of proposed leakage detection circuit.

또한 그림 8의 측정 결과에서 알 수 있듯이 누설전류에 의해 동작하는 제안된 차단회로의 지연시간은 규격인 30ms를 넘지 않는다.

4. 결 론

본 논문은 누전상황의 가시성을 높임으로서 누전차단기의 오작동과 실제 누전상황을 구별 가능하고 이를 통한 시설관리 의 효율성, 편의성 및 사고에 대한 안정성을 높일 목적으로 가로등용 전자식안정기에 누전검출 및 차단기능을 첨가하였다. 또한, ignition 검출회로를 구성하여 안정기의 파손을 방지 하였다. 제안된 누설전류 검출회로는 누설전류량을 LED로 표현하는 기능을 가지고 있으며 선로 및 등주 누설전류 발생 시 ZCT의 자속 변화량을 측정하여 안정기 내부 구동 IC의 전원을 차단함으로써 안정기회로의 동작을 멈출 수 있다.

본 논문에서 개발된 안정기를 적용할 경우 누설전류의 종류와 발생지점을 대략적으로 추정할 수 있다. 그러나 제안된 제어기는 누설에 의하여 누전차단기가 작동하여 전원이 끊어 지게 되면 이전의 누설전류량을 기억하지 못하는 단점이 있다. 이러한 문제는 전자식 안정기에 마이크로 컨트롤러를 내장함으로써 쉽게 해결할 수 있으며 향후 전력선 통신과 같은 통신시스템을 연계하기 용이하여 중앙시스템에서 가로등의 상태 와 누설 전류량을 실시간으로 감시, 제어가 가능한 장점을 가지므로 향후, 이러한 시스템에 대하여 연구하고자 한다.

본 논문은 산업자원부 전력기술기초연구사업(기초전력연구소 주관)의 지역거점 핵심과제 연구비 지원에 의하여 연구되었음.

참 고 문 헌

- [1] 朴相泰, “電氣施設物の 漏電에 關한 研究”, 충주대학교 전기공학과 산업대학원 정보제어공학과 공학석사학위논문. 2. 2005
- [2] 申大成, “인체감전보호용 누전차단기의 인체안전성에 관한 연구”, 서울산업대학교 산업대학원 안전공학과 공학석사학위논문. 1.2003.
- [3] KS C8324 가로등용 분전함, 한국표준협회
- [4] 崔甲石, “교류 누설전류 및 가변과부하 전류 차단기의 게이트 제어 회로에 관한 연구”, 明大 論文集 제11집
- [5] 申士鉉, “마이크로컨트롤러를 이용한 전기화재 감시장치에 관한 연구”, 조선대학교 대학원 전기공학과 공학박사학위논문. pp.9-11. 8.2002.
- [6] LS산전 “누전차단기 기술자료”
- [7] 박상태, “가로등설비 누전시 전위분포에 대한 실험 연구”, 한국조명·전기설비학회 2005년춘계학술대회 논문집 (2005.5.13~14).