

전동차 형광등 시스템의 플리커 문제 해결방안에 관한 연구

The study for Resolution of flicker problems in Electric Multiple Unit fluorescent lamp

조연옥* 이상수* 박찬우*
Cho, Yun-Ok Lee, Sang-Soo Park, Chan-Woo

ABSTRACT

플리커란 형광등의 광 출력 변동폭이 크므로 인해 인간의 눈과 뇌로 이루어진 감각시스템이 불유쾌한 감각을 인지하는 현상이다. 이러한 플리커 현상에 대한 저감 및 감소 대책이 미흡한 실정이며, 인간의 인지 능력 향상을 위해 플리커 문제 해결방안에 대한 연구 수행이 필요하다.

본 논문에서는 플리커를 감소시키기 위한 방법으로 정전력 단권 변압기 회로를 이용한 안정기 적용 방법을 제시하였다. 이 방법은 형상시스템의 전압원이 가변되더라도 형광등에 인가되는 전압을 허용범위 내에서 제어함으로 감소시킬 수 있다.

플리커 현상을 감소시키기 위하여 정전력 단권 변압기 회로를 이용한 안정기 적용법과, 전자식 안정기의 적용법을 제시하였으며, 본 연구에서 제시한 방법을 사용한다면 허용 한계 및 그 이하로 감소시킬 수 있을 것이며, 이를 이용한 장치를 사용하는 곳에서는 인간의 인지 능력을 향상시킬 수 있을 것으로 사료된다.

1. 서론

전동차에서 실내조명으로 사용되는 형광등의 전원은 한전으로부터 지상전원을 공급받아 SIV(Static Inverter)시스템을 변환하여 사용하는 것이 아니라 역률 보상 전원을 사용한다. 따라서 전원의 파형이 완전한 정현파가 아니고 왜율이 +10% 정도 발생되며, 전압 변동폭이 -30% ~ +20%까지 이르고 있다. 따라서 형광등 전원은 지상전원에 비하여 안정된 전압이라고 볼 수가 없는 원천적인 문제를 가지고 있다.

플리커는 형광등 광 출력의 변동폭이 커서 인간의 눈과 뇌로 이루어진 감각시스템이 불유쾌한 감각을 인지하는 현상으로서, 현재 일부 전동차 승객으로부터 불만을 접수 받고 있는 등, 이에 대한 대책이 매우 시급한 실정이다. 플리커를 감소시키기 위해서는 형광등시스템의 전원전압이 가변되더라도 형광등에 인가되는 전압을 허용할 수 있는 수준의 플리커를 일으킬 수 있는 정도까지 안정시켜야 한다. 이 문제의 해결책으로 세계적인 추세인 전자식 안정기를 채택하는 경향이다. 하지만 이 방법은 전자식 안정기가 가지는 근본적인 문제점인 일정 전력 전력전원장치인 이유인데, 플리커 문제를 해결하기 위하여 전자안정기를 사용하는 문제점이 있다. 현재 개발되어 있는 전자식 안정기가 서지에 대한 내성이 좋지 않고, 차량의 가혹한 환경에서 사용될 때 부품의 내구성이 자기식에 비해서 떨어지기 때문이다.

이러한 문제를 해결하기 위한 방법으로 정전력 단권변압기 회로를 이용한 안정기 적용법과, 전자식 안정기의 적용법을 적용하여 플리커 문제의 해결방안으로 삼고자 한다.

2. 형광등 조명시스템 분석

* 한국철도기술연구원, 철도시스템안전연구본부

2.1 형광등 조명 시스템 종류

형광등 조명시스템은 설비등급에 따라서 광 출력을 발생시키는 형광등, 형광등을 시동하고 형광등에 인가되는 전압을 안정시키는 안정기, 또는 안정기와 별도로 형광등을 구동하는 스타터 등 두 개 또는 세 개의 물리적인 부품을 포함한다.



그림 1. 형광등 회로도

또한 형광등 조명시스템의 종류는 다음과 같이 예열, 래피드스타트 및 인스턴트 스타트 등 세 가지로 구분된다. 종류에 따라서, 형광등은 전류를 구동하기 위해서 가열 음극을 사용하거나, 시동 이온화에 의존하는 냉열 음극설계를 이용한다. 기본적인 차이점은 표 1과 같다.

표 1. 형광등 조명시스템의 차이점

설비종류(안정기 및 램프형식)	시동방식	스타터 유무
예열	시동 시 음극 가열	유
래피드 스타트	연속적인 음극 가열 및 이온화	기능이 안정기에 포함
인스턴트 스타트	고압의 시동전압, 이온화	무

가. 형광램프

형광램프는 유리관 내벽에 형광물질이 도포되고 관의 양단에는 텅스텐 코일로 만들어진 2중 코일, 3중 코일의 필라멘트로 설치되어진 전극이 있고 그 코일에는 전자방사물질(Ba, Ca 등의 산화물)이 도포되어 있다. 관내에는 방전개시를 용이하게 하기 위해 200~400파스칼의 아르곤가스와 미량의 수은이 봉입되어 있다.

점등을 할 때는 전극(음극)에 저류를 흘려 예열하면 열전자가 풍부하게 관내에 방출된다. 그 열전자가 반대 측의 적극(양극)에 당겨져 이동하고 방전이 시작된다. 방전에 의하여 흐른 전자는 관내의 수은전자와 충돌하고 자외선(235.7nm)에너지를 발생시켜 방전관 내벽에 칠한 반투명의 형광물질을 자극시킴으로써 빛으로 변환시킨다. 형광물질의 종류에 의하여 백색, 주광색, 녹색, 청색 등의 여러 가지 빛이 램프로부터 방사된다.

나. 안정기

형광등은 방전관의 일종으로 방전에 필요한 열전자를 방출하기 위하여 초기에 높은 전압이 필요하며, 방전 후 형광등에 인가된 램프전류가 커지만 반대로 감소하는 부성저항특성을 갖고 있다. 따라서 부저항 특성으로 인해 점들이 불안정해지거나 그 자체로 램프가 파손될 수 있다. 즉, 안정기는 초기에는 점들에 필요한 고전압을 공급하여 램프를 점등시키고, 점등 후에는 램프의 전류를 제어하여 일정한 밝기를 유지시켜주는 역할을 한다.

2.2 형광등 조명시스템의 특성

가. 부저항 특성

형광램프는 초기방전을 위하여 수백-수천 볼트의 전압이 필요하다. 이러한 초기점등전압을 우리는 방전전압이라 한다. 점등이 종료된 후 램프는 전압이 계속감소하고 전류가 증가하는 현상이 발생된다. 이것을 부저항 특성이라 하며, 램프전압이 감소하면 램프전류가 증가한다.

나. 흑화현상

흑화 현상은 램프의 한쪽 관단 또는 양단의 전극 부분이 검게 되는 것을 말하며 이것은 램프 점등 수명이 경과된 것으로 램프의 전극에 도포되어진 전자방사 물질이 비산되어 전극부근의 램프관 벽에 부착되어 만들어 진다. 그 원인을 살펴보면 다음과 같다.[1]

- 장시간 사용으로 램프의 수명이 다됨
- 단시간에 이 현상이 일어나는 경우는 빈번한 점멸의 반복
- 안정기와 램프의 점등관 조합이 나쁜 경우

다. 플리커(Flicker) 현상

플리커는 쉽게 말하면 형광램프의 떨림 현상이 시각적으로 보이는 현상이다. 우리가 쓰는 전원은 220[V] 60[Hz]이다. 그런데 사람의 눈은 120[Hz] 정도의 깜빡임은 눈으로 감지할 수 있고 이것은 사람의 눈이 빛의 깜빡임에 자극을 받아 동공의 수축 팽창을 많이 하여 눈에 피로감을 준다.

라. 연색성

인공광은 설이장소 및 그 목적에 따라 가급적 색깔을 자연 그대로(자연적인 태양광처럼)재연주어여 한다. 이때의 판단기준이 광원의 연색성인데, 일반적으로 연색지수 Ra로 표시하며 연색지수의 수치가 낮아질수록 색상의 재연도는 점점 떨어진다.

마. 전자장애(Electro Magnetic Interference : EMI)

전자 또는 전기회로가 높은 주파수로 스위칭하기 때문에 발생하는 것이다. 이것은 전원을 통해 전달되는 전도 노이즈(잡음 단자전압) 와 주파수로 공기 중에 방출되는 잡음전계강도 두 가지로 구분된다.

전자파 장애의 개념에는 타 기기의 정상작동에 영향을 주는 것을 말하는 전자장애(EMI)와 타 기기에서 발생하는 전자파에 영향을 받지 않고 정상동작을 할 수 있는 능력을 말하는 전자내성(EMS : Electro Magnetic Suceptability)이 있다.

또한 이 2가지 개념을 모두 갖고 있는 것, 즉 타기기에 영향을 미치지 않도록 전자파의 발생을 억제하고 동시에 외부에 침입하는 전자파에도 영향을 지 않고 정상 작동을 할 수 있는 능력을 말하는 전자적합성(EMC : Electro Magnetic Compatibility)이 있다.

3. 전동차 형광등 조명 시스템의 플리커 분석

가. 플리커 주파수 함수로서의 눈-뇌 조합의 민감도

전원전압의 변동에 따라 광원의 방출의 변동에 의한 인간의 시각적 인식에 발생된 효과로 정의될 수 있다. 변동은 전력수요가 시간에 따라서 일정하지 않은 장치에서 소비되는 전류의 반복적인 변화에 의해서 플리커는 발생한다.

플리커의 크기는 전압변동의 크기, 주파수 및 지속시간에 의해 좌우된다. 정상적인 운전조건에서는 전원전압의 변동 크기가 정격전압의 $\pm 10\%$ 이내이다. 대부분의 기존장비는 이들 변동에 민감하지는 않지만, 램프, 모니터, TV 수신기 및 유사한 가전기기와 같이 특별히 이들 전압변동에 민감한 것들이 있다. 또한 전자식 안정기를 갖지 않은 더 낮은 민감도 등급을 가진 형광등과 같은 부하도 있다.

플리커 주파수는 0.5에서 대략 25Hz까지의 주파수에 내에 있을 때 주파수의 함수인 민감도로 눈-뇌 조합으로 인식할 수 있는데, 10Hz에서 최대가 된다.

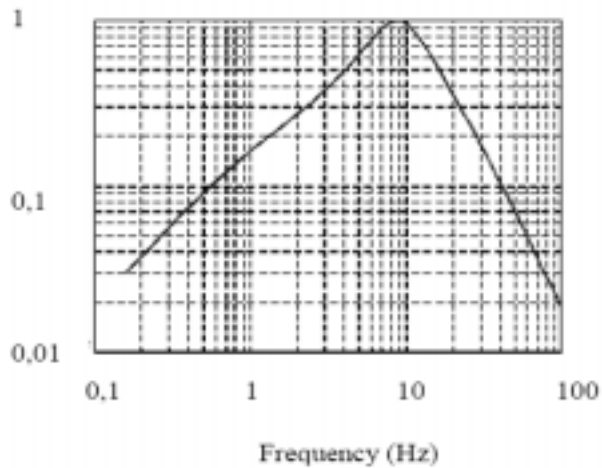


그림 2. 플리커 주파수 함수로서의 눈-뇌 조합의 민감도

매우 낮은(0.5Hz 이하) 플리커 주파수는 눈-뇌 조합이 깜빡거림을 완전하게 분리할 수 있기 때문에 고통을 주지 않으나, 특정한 주파수에서부터 플리커 현상이 시작되어 매우 불쾌한 감각을 야기한다. 최대 플리커는 조명의 환경조건에 좌우되므로 특정하지는 않다. 최대는 30Hz 근처에 이를 수도 있다. 플리커 감각은 주파수가 30Hz 이상이 되면 사라지게 된다.

나. 플리커 한계

플리커는 광원의 문제 또는 전원전압의 변동에 의해 야기될 수 있다. 만약 플리커에 대해서 누군가가 불평하고, 그것이 전압에 의해 야기된다면, 그것의 원인을 규명해야 한다. 때로는 플리커는 램프 근처의 장치의 부하변동에 의해서 야기된다. 그러한 문제는 자주 용이하게 해결될 수 있다. 그렇지 않은 경우에는, 조사를 하여야 하며 플리커를 명확하게 측정해야 한다.

다. 플리커 미터

전압변동에 의해 야기되는 플리커는 플리커 미터로 간접적으로 측정한다. 플리커미터는 전압변동을 측정하며 다음을 고려하여 광 플리커를 유도한다. 전압변동의 주기, 전압변동율, 램프의 종류, 광에 대한 눈의 민감도 및 뇌의 인식. 이러한 모든 인자가 IEC/IEEE 플리커미터에 모델 되어 있다. 이러한 내부적인 어려움에도 불구하고, 다행히도 IEC 플리커미터의 출력은 단순하다.

라. 계획 및 적합성 등급

IEC방법은 플리커에 대해서 계획 및 적합성 등급을 기술하고 있다. 이 개념은 변동부하 사이에서 공정한 방법으로 허용 가능한 전압변동을 할당하고, 이들 전압변동이 현저하게 광 플리커를 야기함으로써 고객에게 악영향을 미치지 않도록 할 목적을 가지고 있다.

그림 2에서 플리커 사건이 발생하는 곳의 Pst분포가 있는 데, 이를 “교란등급”이라고 불린다. “내성 등급”은 Pst 등급이 그만큼 높으면 고객의 광 플리커 불평건수라고 볼 수 있다.

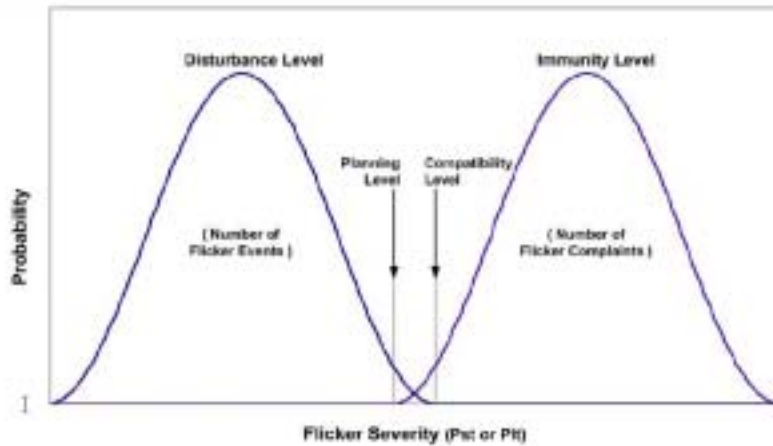


그림 2. 플리커 발생확률 및 해당 등급

플리커에 대한 한계를 설정할 때, 매우 한정된 고객만 불평하도록 초과금지선을 설정하는 것이 적정한데, 이는 그림에서 “적합성 등급”이다.

4. 전동차 조명시스템 플리커 개선방안

4.1 정전력 단권변압기 회로를 이용한 안정기 적용

그림3 은 적절한 비용으로 훌륭한 제어를 제공하기 때문에 가장 적합하다. 일정전압 단권변압기 회로 안정기의 역할은 90%를 초과한다. 램프제어는 리액터 및 고 리액턴스 회로에 비해 훨씬 더 정밀하게 이루어진다. 추가적으로 안정기 입력전류는 예열 중에 램프가 안정될 때의 전류를 초과하지 않는다.

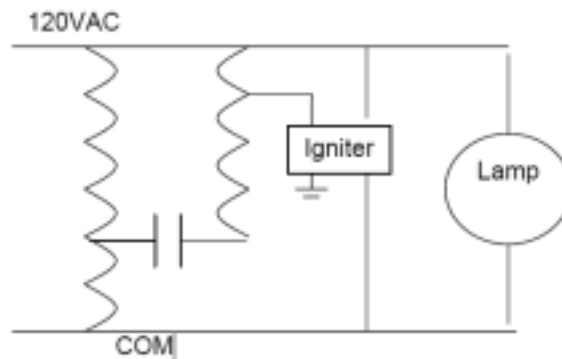


그림 3. 정전력 단권변압기 회로를 이용한 안정기 적용

일정전압 단권변압기 회로는 램프에 직렬 연결된 매칭 커패시터를 가진 누설변압기 안전기로 구성된다. 커패시터는 램프전류를 제어하고 역률을 개선한다. 또한, 커패시터는 램프수명 말기에 정류효과 발생을 억제한다. 일정전력제어장치의 주된 이점은 제어의 정도가 1차 전압의 변동의 경우에도 정격에 가깝게 평균 램프전력을 유지할 수 있다는 것이다. 이회로는 입력전압이 10%만큼 변동하여도 램프전력을 일정하게 유지할 수 있다.

4.2 전자안정기의 적용

플리커 현상을 감소시키기 위해 사용되어지는 전자안정기는 형광등에 고주파 정전력 전원을 공급하므로 플리커 문제를 근본적으로 해결할 수 있다. 하지만 전지 서지에 대한 내성, 환경적합성 및 부품의 신뢰성 측면에서 볼 때 철도차량에 바로 적용하기에 어려운 문제가 있다. 따라서 궁극적으로 플리커 문제를 해결하기 위해서는 추후 전자안정기를 철도차량에 적용하는 방안을 강구할 필요가 있다.

5. 결론

플리커를 감소시키기 위해서는 형광등시스템의 전원전압이 가변되더라도 형광등에 인가되는 전압을 허용할 수 있는 수준의 플리커를 일으킬 수 있는 정도까지 안정시켜야 한다.

본 논문에서는 형광등 전원의 불안정으로 인해 발생하는 전동차 조명시스템 플리커 문제를 해결할 수 있는 정전력 단권변압기회로를 이용한 안정기 적용법과 전자안정기 적용법을 제시하였다. 궁극적으로 플리커 문제를 해결하기 위해서는 추후 전자안정기를 철도차량에 적용하는 방안에 대한 연구가 필요하다.

참고문헌

- [1] 한수빈, “최근의 형광등 안정기 신기술 동향” 전력전자학회지 제10권 제2호
- [2] Chen C. Ku, Raimond Liepins, "Electrical Properties of Polymers", Macmillan Publishing Company, 1987
- [3] “전기동차 유지보수체계 개선을 위한 전기장치 정밀진단”, 한국철도공사, 2005.12
- [4] 김명룡 외 3인, “전동차 실내조명의 FLICKERING 현상에 관한 연구 ” 한국철도학회, 2003 추계학술대회
- [5] Wei-nan.C, et al, "The Influence of Voltage Flicker on Residential Lamps" IEEE, 1997