

저압계통에서 직렬아크신호의 검출

Detection of Series Arc Signal in Low-voltage Systems

지홍근† 박찬용* 길경석** 김일권*** 조영진§
Hong-Keun Ji Chan-Yong Park Gyung-Suk Kil Il-Kwon Kim Young-Jin Cho

ABSTRACT

This paper described the design and fabrication of a series arc detection module to monitor electrical insulation in low-voltage system. The module consists of a passive high-pass filter with a low cut-off frequency of 3 kHz to attenuate power frequency voltage by 80 dB and an active band-pass filter with a frequency of 4 kHz to detect series arc signals only. For the application experiment, we simulated series arcing phenomena on various loads such as incandescent lamp controlled by dimmer and inverter fed induction motors by an arc generator specified in UL1699. From the experimental results, we could detect series arc signals without an influence of noises.

1. 서 론

산업의 고도화, 생활의 윤택함과 편리함을 위해 전기에너지의 사용량은 폭발적으로 늘어나고 있으며, 전기 사용량의 증가와 더불어 전기사고도 증가하고 있다.

전기사고를 예방하기 위한 다각적인 노력에도 불구하고 가장 대표적인 전기사고인 전기화재의 발생건수는 해마다 10,000여건을 유지하고 있으며, 특히 아크를 동반하는 단락과 누전사고는 전기화재 발생 원인의 68.8%로 높은 비율을 차지하고 있다^[1]. 이 같은 전기사고는 전기기기가 밀집 되어있는 철도차량에서도 발생가능하며, 폐쇄적이고 운행중인 철도차량에서의 사고는 대규모의 인명손실과 막대한 재산피해로 귀결된다. 현재 차단기와 퓨즈 등의 보호 장치를 통하여 전기사고의 발생을 억제하고 있으나, 이들 보호 장치들은 사고 발생 후 선로와 전기기기들을 보호하기 위해 사용될 뿐, 사고가 발생하기 전에 미리 위험신호를 검출하여 예방할 수는 없다. 이런 전기사고를 미리 예측하기 위해서 쉽게 사용될 수 있는 것이 아크 신호이다. 특히 높은 전기 사고의 발생원인인 선로와 전기기기들의 접촉, 접촉 불량에 의해 임피던스가 증가하면 대부분 직렬아크가 발생하며, 일정 시간이 지나면 국부적인 과열로 인해 전기사고가 발생하게 된다^[2-4].

본 논문에서는 전기사고 예방을 위한 직렬아크를 검출할 수 있는 모듈을 개발하였으며, 국부적인 방전, 접촉불량, 열화에 의한 사고방지와 전기기기를 보호에 적용 할 수 있는 직렬아크 신호를 측정하였다.

2. 실험장치 및 구성

2.1 직렬아크

직렬아크는 노화된 전선을 잡아당기거나 콘센트의 접촉이 느슨하게 고정된 경우 또는 금속성 물체에 전선이 찢겨진 경우 및 잦은 진동에 의해 전선의 소선이 일부 절단된 경우와 같이 단일 도체의 불완전한 연결부위에서 발생한다^[5-6]. 그림 1과 같이 직렬아크는 부하와 전기적으로 직렬로 연결되어 있는

† 한국해양대학교 전기전자공학부 대학원 석사과정, 정회원

E-mail : adonis1024@hhu.ac.kr

TEL : (051)410-4893 FAX : (051)403-1127

* 한국해양대학교 전기전자공학부 대학원 석사과정, 정회원

** 한국해양대학교 전기전자공학부 교수, 정회원

*** 주식회사 케이디파워 중앙연구소 선임연구원, 정회원

§ 국립과학수사연구소 공업연구사, 정회원

부분에서 발생하기 때문에 아크전류가 부하에 의해 제한되므로 에너지 레벨이 작다. 직렬아크발생시 전류는 부하전류와 같기 때문에 기존의 차단기의 보호 레벨 범위 내에서 흐르며, 일부 아크와 유사한 부하로 인하여 정상상태로 오인되는 경우가 많아서 아크고장 발생시 신속한 제거가 매우 어렵다.

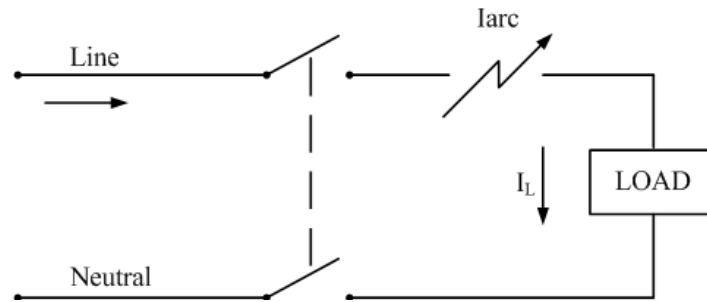


그림 1. 직렬아크

2.2 직렬아크 발생장치

전압이 인가된 선로의 접촉부 또는 열화된 선로에 발생하는 직렬아크를 모의하기위해 그림 2와 같은 UL1699의 규정에 의한 아크발생장치를 제작하였다. 전극은 도선의 접촉면에 형성된 탄화 도전로를 모의하기 위하여 탄소봉과 구리재질로 구성하였다^[7].

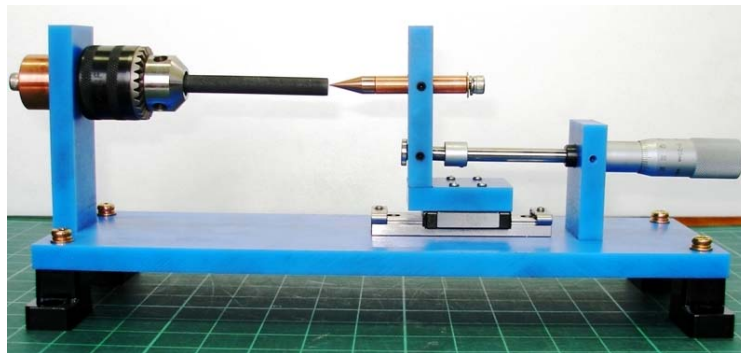
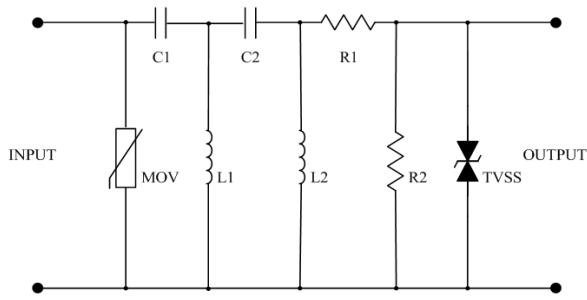


그림 2. 직렬아크 발생장치

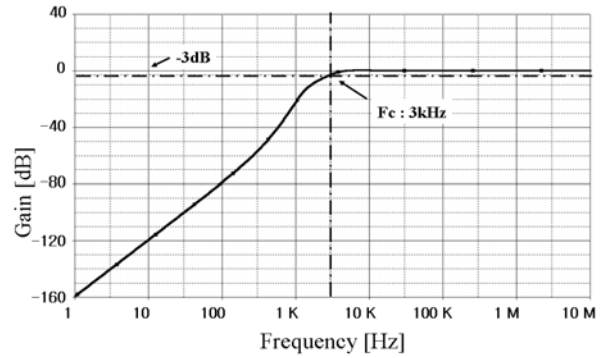
아크발생장치는 전원과 부하사이에 직렬로 연결하며, 마이크로미터로 이동전극을 조절하여 고정전극과 이동전극간에 임의적으로 직렬아크를 발생시킬 수 있다. 일반적으로 아크의 발생 유무는 아크 발생시 급격한 임피던스의 변화로 인하여 나타나는 고유의 전압, 전류신호를 검출하여 판단한다. 그러나 직렬아크방전 신호는 전원주파수 성분에 중첩되고, 상대적으로 미소한 크기를 갖기 때문에 전원주파수 성분에 대한 영향을 제거할 필요가 있다.

2.3 고역통과필터, 대역통과필터

본 연구에서는 직렬아크 발생시 전압신호 중 전원주파수 성분을 제거하고 아크 고유의 고주파 신호만을 검출하기 위하여 그림 3과 같이 4차 고역통과필터를 설계, 제작하였다. 직렬아크의 주요 주파수 성분이 3 kHz 이상에서 분포하는 것을 고려하여, 저역 차단주파수를 3 kHz로 설정하였다. 주파수 특성에 대한 시뮬레이션 결과를 나타낸 것이다. 본 필터의 적용으로 60 Hz 전원성분은 80 dB 이상 감쇄되고 3 kHz 이상의 고주파 성분 즉, 직렬아크성분은 감쇄없이 검출할 수 있다.



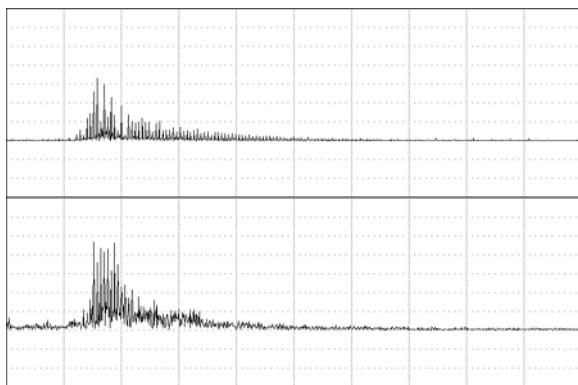
(a) 구성



(b) 주파수 응답

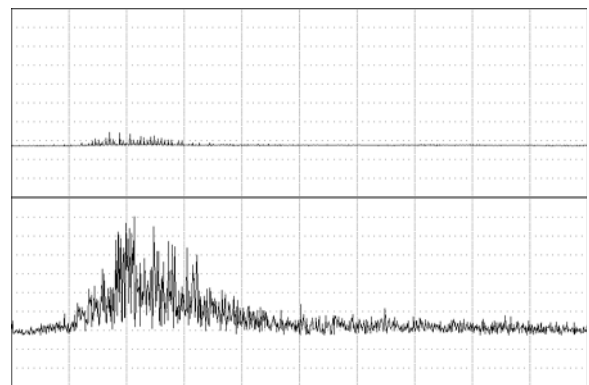
그림 3. 고역통과필터

그림 4는 고역통과필터를 적용하여 조광기와 인버터를 이용한 부하의 직렬아크 성분을 알아보기 위한 주파수 분석의 결과이다. 조광기 제어 백열등에서는 정상상태 신호와 아크상태 신호의 차이가 크진 않았지만, 아크신호를 3~8kHz의 주파수대역에서 확인할 수 있다. 인버터구동 전동기에서는 아크신호가 상대적으로 크게 검출되어 3~7kHz대역에서 쉽게 확인할 수 있다.



상 : 정상상태 FFT [2mV/div, 2kHz/div]
하 : 아크상태 FFT [2mV/div, 2kHz/div]

(a) 조광제어 백열등



상 : 정상상태 FFT [20mV/div, 2kHz/div]
하 : 아크상태 FFT [20mV/div, 2kHz/div]

(b) 인버터 구동 전동기

그림 4. 직렬아크파형의 주파수 분석

정상상태의 신호와 직렬아크 상태의 신호를 구별하기 위해 아크신호의 주파수 대역인 3~8kHz에서 4kHz의 중심주파수를 갖는 대역통과필터를 설계·적용하였다. 그림 5는 본 실험에서 적용한 대역통과 필터의 주파수특성을 나타낸 것이다.

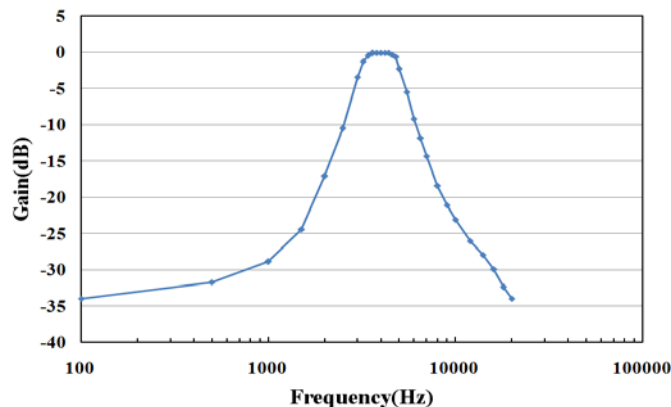


그림 5. 대역통과필터의 주파수 응답

2.4 실험계 구성

실험계는 그림 6과 같이 AC 220 V 전원에 부하를 연결하고 전원과 부하사이에 아크발생장치를 직렬로 연결하였다. 철도차량 내에서 발생 가능한 직렬아크를 모의하기 위해 조광기에 의해 제어되는 백열전구와 인버터 구동 유도전동기를 대상으로 측정·분석하였다.

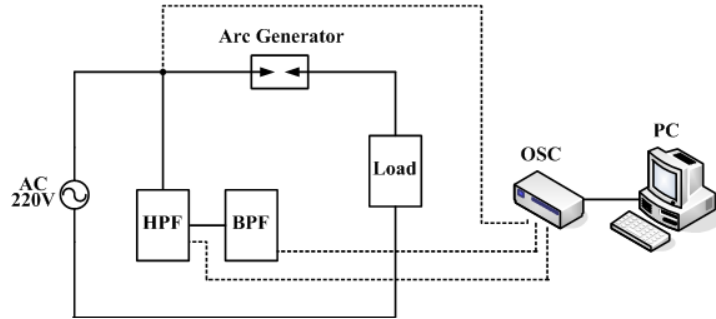
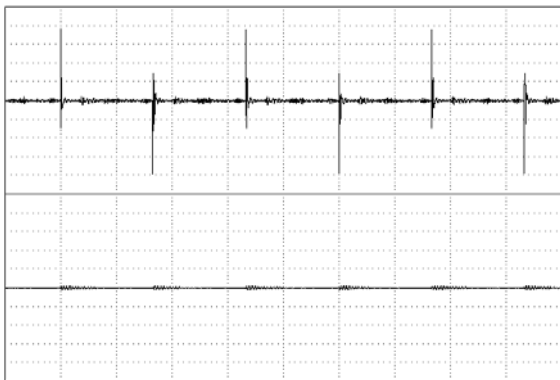


그림 6. 실험계의 구성

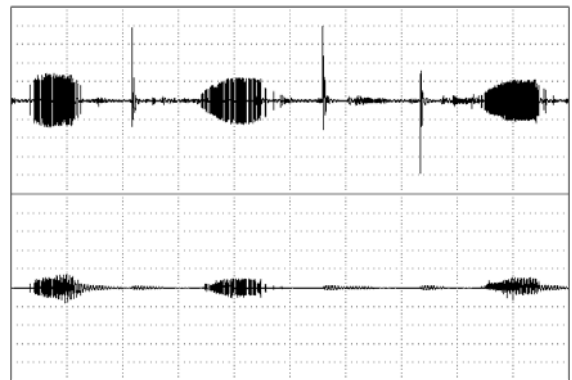
3. 실험결과

3.1 조광제어 백열등

본 실험의 목적은 정상상태와 직렬아크가 발생했을 때의 전기적 신호의 차이점을 분석하고, 비선형 부하에서 정상상태 신호와 직렬아크시의 신호의 구별을 통해 직렬아크신호만을 검출하는 것이다. 그림 7은 위상제어방식의 조광기에 의해 직렬로 제어되는 백열전구를 대상으로 정상상태와 직렬아크상태에 대한 부하 양단의 고역통과필터출력과 대역통과필터출력을 나타낸 것이다. 그림 7(a)에 나타난 바와 같이, 조광기에 의해 제어되는 백열등은 정상상태 임에도 불구하고 스위칭 소자에 의해 위상제어되면서 고주파 신호가 발생함을 확인할 수 있다. 그림 7(b)는 직렬아크 발생시의 파형을 나타낸 것이다. 고역통과필터의 출력에서 스위칭소자에 의한 고주파 신호가 직렬아크 신호와 검출되었다. 대역통과필터를 적용한 경우 고주파 신호를 제외한 직렬아크 신호만을 검출할 수 있다.



상 : 고역통과필터 출력[0.5 V/div, 5 ms/div]
하 : 대역통과필터 출력[0.5 V/div, 5 ms/div]
(a) 정상상태

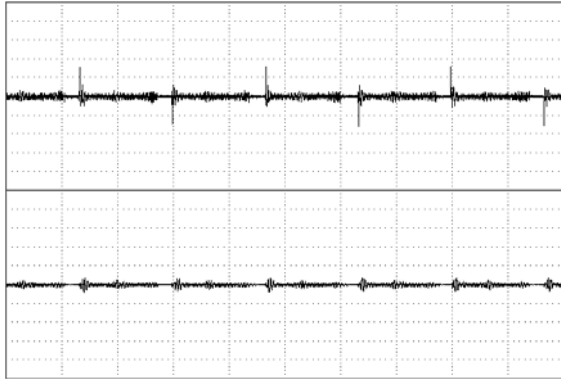


상 : 고역통과필터 출력[0.5 V/div, 5 ms/div]
하 : 대역통과필터 출력[0.5 V/div, 5 ms/div]
(b) 직렬아크상태

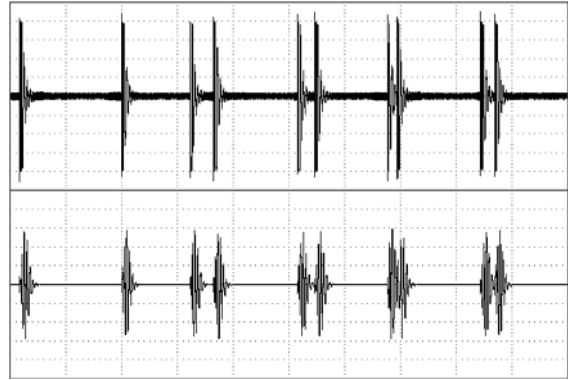
그림 7. 조광제어 백열등 부하

3.2 인버터 구동 유도전동기

그림 8은 인버터를 사용하는 유도전동기를 대상으로 인버터의 입력전원에서 직렬아크를 발생시켜 정상상태와 직렬아크상태의 필터출력을 나타낸 것이다. 조광기를 이용한 부하에서와 같이 인버터 구동시에 고주파신호가 발생하게 되는데 대역통과 필터를 이용하여 인버터의 고주파신호를 제거한 직렬아크 신호만을 검출할 수 있다.



상 : 고역통과필터 출력[0.5 V/div, 5 ms/div]
 하 : 대역통과필터 출력[0.5 V/div, 5 ms/div]
 (a) 정상상태



상 : 고역통과필터 출력[0.5 V/div, 5 ms/div]
 하 : 대역통과필터 출력[0.5 V/div, 5 ms/div]
 (b) 직렬아크상태

그림 8. 인버터 구동 유도전동기

4. 결론

본 논문에서는 저압계통의 비선형 부하에서 직렬아크 성분의 검출에 관하여 기술하였다. 직렬아크 발생시 60Hz의 전원주파수성분을 제거하고 아크신호가 포함된 고주파 신호만을 검출하기 위하여 3kHz의 저역차단주파수를 갖는 고역통과필터를 설계·제작하였다. 고역통과필터를 통한 아크신호의 주파수 분석을 통해 대부분 3~8kHz대역에 존재함을 확인하였고, 부하에 따른 고주파 신호를 제외한 아크신호만을 검출할 수 있는 중심주파수 4kHz의 대역통과필터를 설계·제작하여 적용하였다.

조광제어 백열등, 인버터 구동 유도전동기에서 직렬아크 신호는 고역통과필터를 통해 검출할 수 있었지만, 조광기의 위상제어에 의해 발생된 고주파 신호와 인버터 구동시 발생하는 고주파 신호가 함께 검출되어, 아크신호 검출에 오류를 범할 수 있다. 이에 본 연구에서 제안한 대역통과필터를 통해 고주파 신호를 제외한 양호한 직렬아크 신호만 검출함으로써 오류의 범위를 최소화하고 신뢰도를 향상시킬 수 있다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부 교통체계 효율화사업과 (주)케이디과워 위탁연구개발사업의 연구결과로 수행되었음

참고문헌

1. 소방방재청(2007), "2006년도 화재통계 연감"
2. George D. Gregory(1998), "The Arc-Fault Circuit Interrupter : An Emerging", IEEE Trans. on Industry Applications, Vol.34, No.5, pp.928-933
3. Chunlin Li, Francis Dawson, Hassan Kojori, Chris Meyers, and Edwin Yue(2003), "Arc Fault Detection and Protection-Opportunities and challenges", SAE Technical Papers, 2003-01-3037, p.591
4. 이상호, 오홍석(2002), "전기화재 예방을 위한 EFPCD 동작 특성에 관한 연구", 한국화재소방학회, Vol.12, No.3, pp.8-11
5. C.-S. Maroni, R. Cittadini, Y. Cadoux & M. Serpinet(2001), "Series arc detection in low voltage distribution switchboard using spectral analysis", ISSPA, pp.473-476
6. Carlos E. Restrepo(2007), "Arc Fault Detection and Discrimination Methods", IEEE Conf. on Electrical Contacts, pp.115-122
7. Underwriters Laboratories(2006), "UL1699-Standard for Arc-Fault Circuit-Interrupters"