직렬아크신호의 검출
Detection of Series Arc Signal

지홍근† 박대원* 김일권* 길경석**
Hong-Keun Ji Dae-Won Park Il-Kwon Kim Gyung-Suk Kil

ABSTRACT

This paper describes a series arc detection algorithm in a low-voltage wiring system. We designed and fabricated an arc detection circuit which consists of a high-pass filter with the low cut-off frequency of 3 kHz to attenuate power frequency. The series arcing phenomena was simulated by an arc generator specified in UL1699. In the experiment, various loads such as resistive loads, resistive loads controlled by a dimmer, and vacuum cleaners were used. Whether the signal is arc or noise is discriminated by pulse counts and periodicity of the detected signal.

1. 서 론

지속적인 경제환경의 팽창과 IT산업의 급속한 성장으로 수용가의 전력사용량은 매우 가파른 상승세를 나타내고 있다. 이같은 전력사용량의 증가는 설비의 증설을 요구함과 동시에 전기사고의 발생도 증가하고 있는 실정이다.

전기사고를 예방하기 위한 다각적인 노력에도 불구하고 가장 대표적인 전기사고인 전기화재의 발생건수는 매년 10,000여건을 유지하고 있으며, 특히 아크를 동반하는 단락과 누전사고는 전기화재 발생 원인의 68.8%로 높은 비율을 차지하고 있다[1]. 이 같은 전기사고는 주택, 회사, 공장 뿐만 아니라 전기기기가 밀집 되어있는 철도, 항공기, 선박에서도 발생가능하며, 폐쇄적이고 운행중인 장소에서의 사고는 대규모 인명손실과 막대한 재산피해로 이어진다.

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 아크신호이다. 특히 높은 전기 사고의 발생원인인 선로와 전기기기들의 접속, 접촉 불량에 의해 임피던스가 증가하면 대부분 직렬아크가 발생하며, 일정 시간이 지나면 국부적인 과열로 인해 전기사고가 발생하게 되기 때문에 아크신호의 검출이 꼭 필요하다[2-4].

본 논문에서는 전기사고 예방을 위한 직렬아크를 검출할 수 있는 모듈을 개발하였으며, 국부적인 방전, 접속불량, 열화에 의한 사고방지와 전기기기의 보호에 적용 할 수 있는 직렬아크 신호를 측정하였고, 아크발생 상태를 판단할 수 있는 아크경보 알고리즘을 제안하였다.

2. 실험장치 및 구성

2.1 직렬아크

직렬아크는 노화된 전선을 잡아당기거나 콘센트의 접속이 느슨하게 고정된 경우 또는 금속성 물체에 전선이 찢겨진 경우 및 잦은 진동에 의해 전선의 소선이 일부 절단된 경우와 같이 단일 도체의 불완전

† 책임저자 : 정회원, 한국해양대학교 전기전자공학부 대학원 석사과정
E-mail : adonis1024@hhu.ac.kr
TEL : (051)410-4893 FAX : (051)403-1127
* 정회원, 한국해양대학교 전기전자공학부 대학원 박사과정
** 정회원, 한국해양대학교 전기전자공학부 교수

한 연결부위에서 발생한다[5-6]. 그림 1과 같이 직렬아크는 부하와 전기적으로 직렬로 연결되어 있는 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.

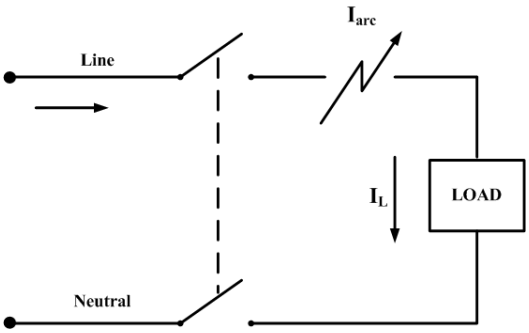


그림 1. 직렬아크

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].

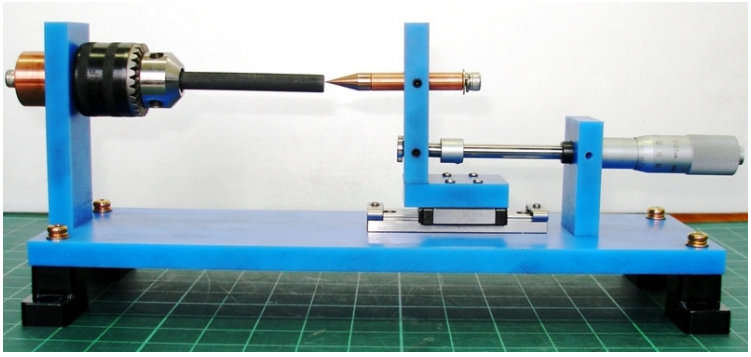
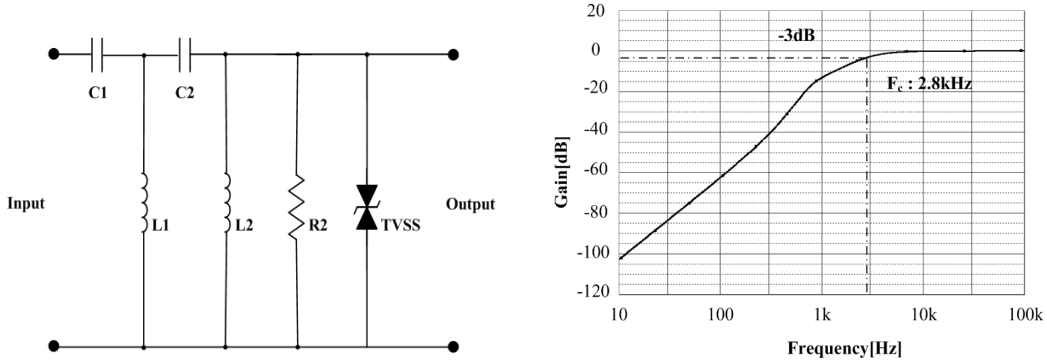


그림 2. 직렬아크 발생장치

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 아크검출회로

본 연구에서는 직렬아크 발생시 전원주파수 성분을 제거하고 아크 고유의 고주파 신호만을 검출하기 위하여 그림 3(a)의 4차 고역통과필터를 설계하였다. 직렬아크의 주요 주파수 성분이 3 kHz 이상에서 분포하는 것을 고려하여, 고역통과필터의 저역 차단주파수를 3 kHz 이하(2.8 kHz)로 설정하였다[8]. 그림 3(b)는 주파수 특성에 대한 시뮬레이션 결과를 나타낸 것이다. 본 필터의 적용으로 60 Hz 전원성분은 -70 dB 이상 감쇄되고 3 kHz 이상의 고주파 성분 즉, 직렬아크성분은 감쇄없이 검출할 수 있다.



(a) 회로도 (b) 주파수특성

그림 3. 고역통과필터

2.4 신호정형회로

고역통과필터를 통과한 신호는 아크 발생에 의한 고주파 신호 이외에 다양한 노이즈가 함께 포함되어 있기 때문에 일정 레벨 이상의 신호만을 검출할 필요가 있다. 또한 발생한 아크신호를 MPU(Micro Processor Unit)에서 처리 가능한 신호로 정형할 필요가 있다. 따라서 그림 4(a)와 같이 일정 노이즈 레벨 이상의 아크신호를 정형화 하는 비교기 회로를 설계하였다. 정형회로의 앞부분에는 +,-에서 발생하는 모든 아크신호를 검출하기위해 정류회로를 적용하였다.

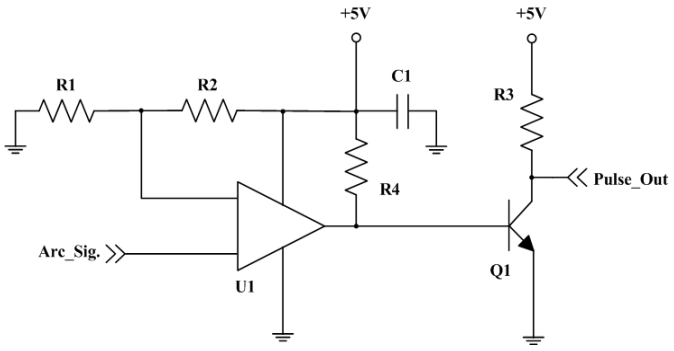


그림 4. 신호정형회로

2.5 실험계 구성

실험계는 그림 5과 같이 AC 220 V 전원에 부하를 연결하고 전원과 부하사이에 아크발생장치를 직렬로 연결하였다. 전원 주파수 성분을 제거하고 아크신호를 검출할 수 있는 고역통과필터와 아크신호를 5V 펄스로 출력시켜주는 신호정형회로를 부하와 병렬로 연결하였다. 부하로는 백열등부하와 진공청소기 부하, 비선형적 특징을 가지는 위상제어 저항부하를 사용하였다.

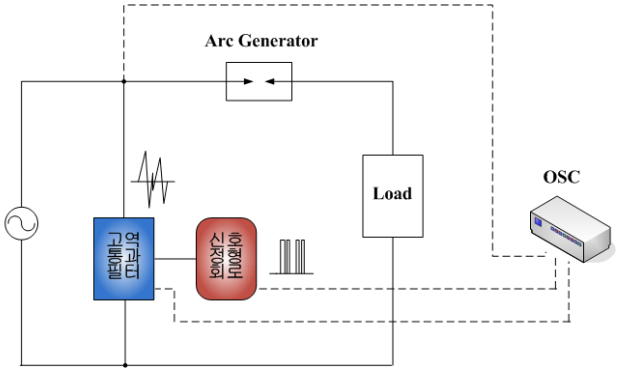
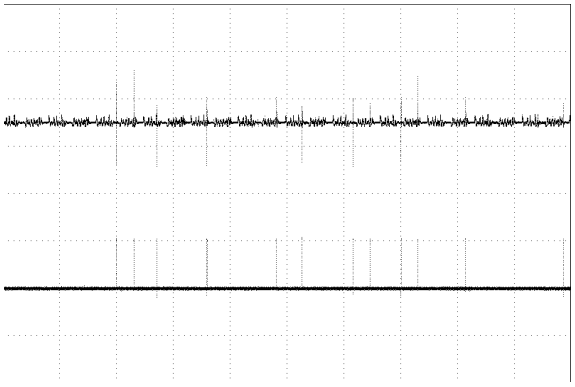


그림 5. 실험계의 구성

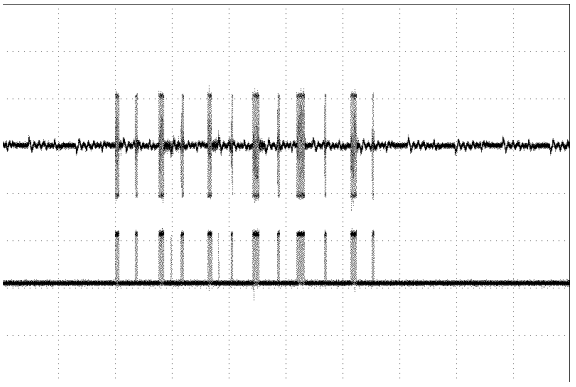
3. 실험결과

본 논문의 목적은 직렬아크 발생시의 전기적 신호를 검출하여, 노이즈를 제외한 직렬아크 신호만을 검출하고 MPU에서 처리할 수 있는 신호형태로 정형화하는 것이다.

그림 6(a)와 6(b)는 백열등부하와 진공청소기부하에서 아크 발생시 고역통과필터의 출력과 정형화된 아크신호의 파형을 나타낸 것이다. 아크발생시 고역통과필터를 통하여 60 Hz의 전원주파수 성분이 제거된 아크파형과, +, -영역에서 발생하는 모든 아크신호의 정형화된 신호를 확인할 수 있다. 그림6(c)와 6(d)는 조광기에 의해 위상제어되는 비선형적 특성의 백열전구를 대상으로 정상상태와 직렬아크상태에 대한 고역통과필터와 정형화된 아크신호의 파형을 나타낸 것이다[8]. 위상제어백열등 부하에서는 아크가 발생하지 않는 정상상태 임에도 불구하고 스위칭 소자에 의해 위상제어 되면서 고주파 신호가 발생함을 확인할 수 있었다. 아크 발생시에는 정상상태의 고주파신호와 함께 직렬아크신호가 검출됨을 확인하였다.

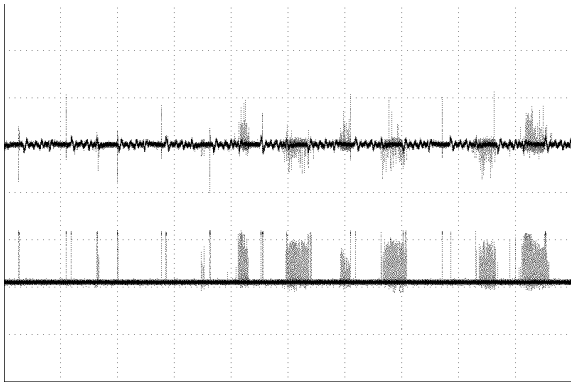


상 : 고역통과필터 출력[10 V/div, 5 ms/div]
하 : 신호정형회로 출력[5 V/div, 5 ms/div]
(a) 백열등부하



상 : 고역통과필터 출력[10 V/div, 5 ms/div]
하 : 신호정형회로 출력[5 V/div, 5 ms/div]
(b) 진공청소기

상 : 고역통과필터 출력[5 V/div, 5 ms/div]
하 : 신호정형회로 출력[1 V/div, 5 ms/div]
(c) 위상제어백열등 정상상태



상 : 고역통과필터 출력[5 V/div, 5 ms/div]
하 : 신호정형회로 출력[1 V/div, 5 ms/div]
(d) 위상제어백열등 아크상태

그림 6. 측정결과

4. 아크경보 알고리즘

본 논문에서는 아크의 전압신호를 검출회로를 통하여 고주파 아크신호를 측정하였다. 일반 저항성 부하의 경우 직렬아크 신호만 검출하였지만, 위상제어백열등 부하의 경우에는 위상제어에 의한 고주파신호가 함께 검출되었다. 따라서 검출된 신호를 이용하여 아크판단을 할 수 있는 알고리즘이 필요할 것으로 판단된다. 하지만 아크의 전압신호를 이용한 아크경보에 대해서는 기준이 정해져 있지 않기 때문에 단계 및 기준레벨의 설정에는 많은 실험적 연구가 필요할 것이며, 그림 8에 아크경보 알고리즘의 한 예

를 나타내었다. 제안한 알고리즘은 위상제어백열등 부하의 정상상태에서 발생하는 고주파 신호를 고려하여, 초당 아크의 발생 횟수에 따라 정상상태, Noise상태, Warning상태, Alert상태를 판단할 수 있도록 설계하였다.

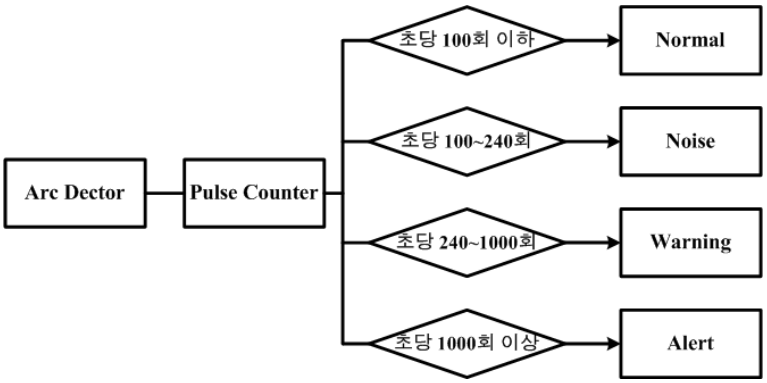


그림 8. 아크경보 알고리즘의 예

5. 결론

본 논문에서는 저항성부하와 비선형적 특징을 가지는 부하에서 직렬아크신호의 검출과 MPU에서 사용 가능한 신호로의 정형화에 관하여 기술하였다. 직렬아크 발생시 60 Hz의 전원주파수 성분을 제거하고 아크신호가 포함된 고주파 신호만을 검출하기 위하여 2.8 kHz의 저역차단주파수를 갖는 고역통과필터를 설계하였다. 또한 아크신호를 MPU에 적용 가능한 신호로 정형할 수 있도록, 비교기회로와 정류회로를 이용한 신호정형회로를 설계하였다. 설계한 고역통과필터와 신호정형회로의 적용으로 아크신호가 포함된 고주파 신호만을 검출할 수 있었으며, 정류회로의 적용으로 +, -영역의 모든 아크신호를 신호정형화 함으로서 직렬아크신호의 검출에 신뢰도를 향상시킬 수 있었다.

본 논문에서 제안한 아크검출회로를 적용하여 적절한 아크경보의 기준레벨만 설정할 수 있다면 아크발생으로 인한 전기사고의 예방에 활용이 가능할 것으로 기대한다.

감사의 글

본 연구는 지식경제부 전력산업연구개발사업(R-2005-1-402)의 지원으로 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"
8. 지홍근, 박찬용, 길경석, 김일권, 조영진(2008), “저압계통에서 직렬아크신호의 검출”, 한국철도학회 춘계학술대회, pp.104.1~104.5