

대역통과필터를 이용한 직렬아크 검출에 관한 연구

김일권*, 김진수*, 박건우*, 김광순*, 김영일**
(주) 케이디파워*, 대림대학**

A Study on Series Arc Detection Using Band-pass Filters

Il-Kwon Kim*, Jin-Su Kim*, Keon-Woo Park*, Kwang-Soon Kim*, Young-Il Kim**
KD Power Co., Ltd.*, Daelim College**

Abstract - This paper described a method of determining whether arcing is present in a low-voltage wiring system. We simulated the series arcing that generated in electrical loads and fabricated a arc detection module which can discriminate between normal and arcing state. The module consists of a high-pass filter with a low cut-off frequency of 3 kHz to attenuate power frequency voltage and an active band-pass filter with a frequency of 4 kHz ~ 8 kHz to detect series arc signals only. We tested an Incandescent lamp that was controlled by a dimmer and analysed . The module consists of a 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. From the experimental results, we could detect series arc signals without an influence of non-linear loads.

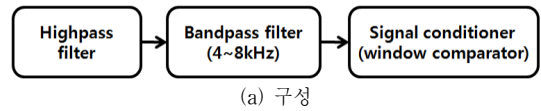
1. 서 론

산업의 발달 및 경제의 규모가 증가함에 따라 전기 사용량은 해마다 증가하고 있으며, 이와 더불어 전기화재에 대한 위험이 높아지고 있다. 전기화재는 재산의 손실뿐만 아니라 인명피해를 동반하는 재해이기 때문에 전기화재의 징후를 조기에 발견하고 방지할 수 있는 대책이 시급히 요구되고 있다^{(1),(2)}. 일반적으로 퓨즈나 차단기 등과 같은 보호장치는 옥내 배전선로를 보호하기 위하여 사용되며, 과부하 또는 단락을 차단함으로써 배선의 과열로 인한 화재의 위험을 감소시킨다. 그러나 아크는 기존의 보호장치가 동작하지 않는 영역에서 발생할 수 있으며, 이를 즉시 차단하지 못하면 국부적인 과열로 인하여 절연물이 파괴되고 주변 의 가연성 물질을 통하여 화재가 발생한다. 따라서 많은 연구자들은 아크 발생에 따른 고속도 차단기 개발에 대해 연구하고 있으며, 이를 위해 아크를 보다 효과적으로 검출하기 위한 회로 및 기술이 요구되고 있다⁽³⁾.

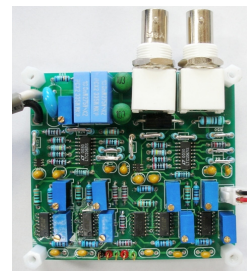
본 논문은 대표적인 비선형 부하인 조광기에 의해 제어되는 백열등 부하를 대상으로 아크의 발생을 판별할 수 있는 방법에 대하여 기술하였다. 아크발생장치를 이용하여 신호 및 부하에서 발생하는 직렬아크를 모의하였으며, 이를 검출하기 위한 아크검출모듈을 설계, 제작하였으며, 아크검출모듈의 출력특성과 부하전류의 크기에 대한 영향을 분석하였다.

2. 실험장치 및 구성

제안한 아크검출모듈은 그림 1(a)와 같이 고역통과필터, 대역통과필터, 신호 정형회로로 구성된다. 전원선으로부터 검출된 전압신호는 고역통과 필터회로에 의해 60Hz 성분이 제거되고 아크발생에 의한 고유의 고주파 신호만을 통과시킨다. 대역통과 필터회로는 옥내배선의 길이, 선로 임피던스 등을 고려하여 중심주파수를 4~8kHz의 범위로 선정하였다. 또한 신호 정형회로는 후단에 DAQ 또는 마이크로프로세서를 이용하여 아크의 크기, 발생주기 등을 분석하기 위해 적용하였다. 일반적으로 아크는 발생시 급격한 임피던스의 변화로 인하여 나타나는 고유의 전압, 전류신호를 검출하여 발생 유무를 판단한다. 그러나 직렬아크방전 신호는 전원전압에 중첩되고 상대적으로 미소한 크기로 인하여 이를 구분하기가 매우 어렵기 때문에 전원주파수 성분에 대한 영향을 제거할 필요가 있다. 본 연구에서는 직렬아크 발생시 전압신호 중 전원주파수 성분을 제거하고 아크발생에 따른 고유의 고주파 신호만을 검출하기 위하여 4차 고역통과 필터회로를 설계, 제작하였다. 제안한 필터는 2단의 결합 콘덴서와 검출 임피던스로 구성되며, 직렬아크의 주요 주파수 성분이 3 kHz 이상에서 분포하는 것을 고려하여, 저역 차단주파수를 3kHz로 설정하였다.



(a) 구성

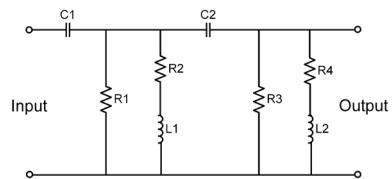


(b) 사진

<그림 1> 아크검출모듈

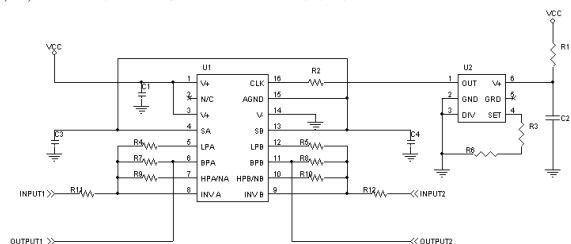
본 연구에서는 직렬아크 발생시 전압신호 중 전원주파수 성분을 제거하고 아크발생에 따른 고유의 고주파 신호만을 검출하기 위하여 4차 고역통과 필터회로를 설계, 제작하였다. 제안한 필터는 2단의 결합 콘덴서와 검출 임피던스로 구성되며, 직렬아크의 주요 주파수 성분이 3 kHz 이상에서 분포하는 것을 고려하여, 저역 차단주파수를 3kHz로 설정하였다.

그림 2는 설계한 고역통과 필터회로의 구성을 나타내고 있으며, 본 필터의 적용으로 60 Hz 전원성분은 80 dB 이상 감쇄되고 3 kHz 이상의 고주파 성분 즉, 직렬아크성분은 감쇄없이 검출할 수 있다.



<그림 2> 고역통과 필터회로

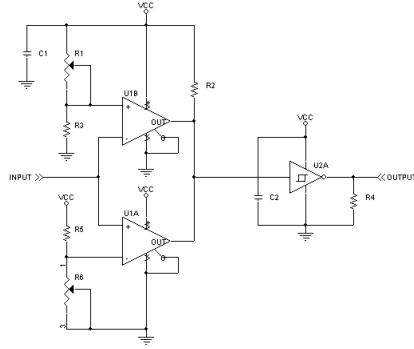
본 연구에서는 앞단의 고역통과 필터회로를 통과한 아크 고유의 고주파 신호 중 특징적인 주파수 성분(4~8 kHz)만을 통과시키는 2차 대역통과 필터회로를 적용하였다. 그림 3은 직렬아크 검출회로에 적용한 대역통과 필터회로를 나타낸 것으로서 전용의 능동필터 IC를 사용하였으며 4, 6, 7, 8 kHz의 고주파 성분을 검출하였다.



<그림 3> 대역통과 필터회로

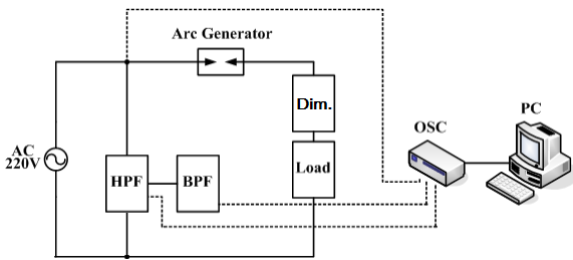
대역통과 필터회로의 출력신호는 아크 발생에 의한 고주파 신호 이외에도 다양한 노이즈가 함께 포함되어 있기 때문에 일정 레벨 이상의 신호만을 검출할 필요가 있다. 또한 본 연구에서 설계, 제작한 대역통과 필터회로는 전원회로의 소형, 단순화를 위해 단전원으로 구성하였기 때문에 출력신호는 일정한 레벨(VCC의 1/2)이 플로팅 되어있다. 따라서 아크 발생에 따른 일정 범위의 교류 고주파 신호를 검출하기 위해서는 신호의 상한과 하한을 조절할 수 있는 비교기(windows comparator)가 필요하다.

그림 4는 신호 정형회로의 구성을 나타낸 것으로, U1은 비교기 전용의 IC로써 가변저항 R1과 R6에 의해 하한, 상한의 레벨이 결정되며, 설정 레벨의 신호는 High, Low의 디지털 신호로 변환된다. U2는 Not 게이트의 슈미트트리거(Schmitt-Trigger) 회로로 비교기의 신호를 정형, 반전 시킨다.



〈그림 4〉 신호 정형회로

실험계는 그림 5와 같이 AC 220V 전원에 부하를 연결하고 전원과 부하사이에 아크발생장치를 직렬로 연결하였다. 부하로는 대표적인 비선형 부하인 조광기를 이용하였으며, 옥내 배전선로에서 발생하는 직렬아크를 모의하기 위해 조광기에 의해 제어되는 백열전구를 대상으로 측정·분석하였다.

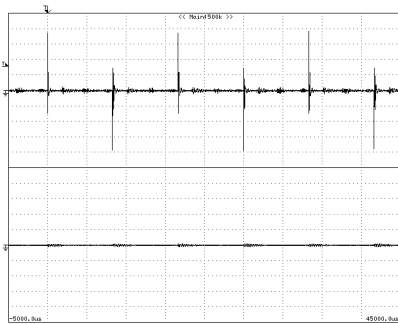


〈그림 5〉 실험계의 구성

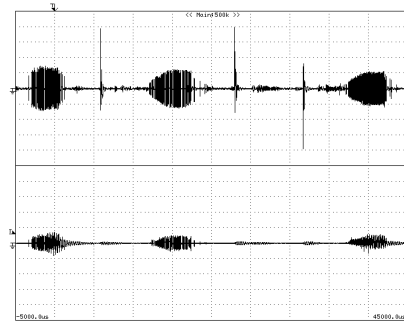
3. 실험결과 및 고찰

본 연구의 목적은 정상상태와 직렬아크 발생했을 때의 전기적 신호의 차이점을 분석하고, 비선형 부하에서 정상상태 신호와 직렬아크시 신호의 구별을 통해 직렬아크신호만을 검출하는 것이다.

그림 5는 위상제어방식의 조광기에 의해 직렬로 제어되는 백열전구를 대상으로 정상상태와 직렬아크상태에 대한 부하 양단의 고역통과 필터출력과 대역통과필터출력을 나타낸 것이다.



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



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

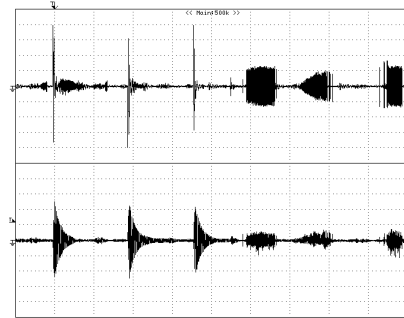
〈그림 5〉 4kHz 대역통과 필터회로 출력파형

그림 5(a)에 나타난 바와 같이, 조광기에 의해 제어되는 백열등은 정상상태 임에도 불구하고 스위칭 소자에 의해 위상제어되면서 고주파 신호가 발생함을 확인할 수 있다. 그림 5(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.

그림 6은 8kHz 대역통과필터를 적용했을 때의 파형이다. 그림 5와는 대조적으로 고역통과필터의 출력은 약 0.5V의 진동성 파형을 나타내고 있다. 이는 아크가 발생하더라도 정상상태와 아크상태를 구분하기가 매우 까다로우며 보다 고정도의 아크 판별 알고리즘을 적용해야 한다.



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



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

〈그림 6〉 8kHz 대역통과 필터회로 출력파형

3. 결 론

본 논문에서는 비선형 부하에서 직렬아크 성분을 검출하기 위하여 고역통과필터 및 대역통과필터의 적용에 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.

저압 옥내배선에서 발생하는 아크는 주로 3~8kHz 부근의 주파수 성분이 우세하였으며, 조광기에 의해 제어되는 백열등 부하에 적용할 경우, 4kHz 대역통과필터를 적용한 회로의 출력전압이 아크의 발생 전과 후의 차이가 뚜렷하게 구별할 수 있다.

[참 고 문 헌]

- [1] George D. Gregory, "The Arc-Fault Circuit Interrupter : An Emerging", IEEE Trans. on Industry Applications, Vol.34, No.5, pp.928-933, 1998.
- [2] 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.
- [3] Carlos E. Restrepo, "Arc Fault Detection and Discrimination Methods", IEEE Conf. on Electrical Contacts, pp.115-122, 2007.