

에어컨에서 직렬아크검출 알고리즘에 관한 연구
A Study on the Detection Algorithm of Series Arc Signals
in Air Conditioners

지홍근* 최성국* 정광석* 박대원** 길경석†
Hong-Keun Ji Sung-Kuk Choi Kwang-Seok Jung Dae-Won Park 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 170 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

매년 가전기기의 사용이 급증하고 있으며, 이에따라 전기사고 또한 증가하고 있다. 전기화재의 경우 2008년 소방방재청의 통계에 따르면 전체 49,631건의 화재 중 전기적 요인에 의한 발생은 11,308건으로 전체화재의 22.2%, 화재의 재산피해는 107, 459 백만원으로 전체의 28%를 차지하고 있다[1]. 이들 화재발생 중 60% 이상이 아크를 동반하는 단락사고에 의해 발생한다[2]. 현재 과부하나 단락에 의한 사고를 방지하기 위하여 차단기와 퓨즈 등의 보호기기를 사용하고 있으나, 이들 기기로는 절연파괴 또는 전기적 사고의 징후를 예측할 수 없다.

일반적으로 전기화재는 접촉불량이나 절연파괴에 의한 아크가 지속적으로 발생할 때 일어난다. 아크는 장시간 경과되면 국부적인 과열에서 단락으로 발전되어 최종적으로 기기파손이나 전기화재로 이어지는 것이다[3-6].

본 논문에서는 가전기기중 지난 십년간 사용량이 급격히 증가하고 있는 에어컨과 같은 냉방기기에서 발생가능한 직렬아크신호의 검출에 대하여 기술하였다. 배선의 접촉불량, 절연열화 등으로 인해 발생하는 직렬아크를 모의하기 위하여 아크발생장치를 이용하였으며, 최근 많이 적용되고 있는 인버터형 에어컨에서 적용가능한 아크 신호의 검출방법을 제안하였다.

2. 이 론

아크란 절연체에서 발생되며 보통 전극의 소손을 동반하며 연속적으로 빛을 내는 방전현상이다. 아크 발생시 지속시간은 순간에서부터 오랜 시간에 이르기까지 다양하며, 통전전류 크기와 아크지속시간이 전기화재발생의 주요 요인이 된다. 직렬아크는 그림 1과 같이 부하와 전기적으로 직렬로 연결되어 있는 부분에서 발생하며, 이때 흐르는 아크전류는 아크임피던스와 부하임피던스에 의해 제한되어 에너지 레벨이 낮기 때문에 기존 차단기로는 차단하기 어렵다.

† 책임저자 : 정희원, 한국해양대학교 전기전자공학부 교수
E-mail : kilgs@hhu.ac.kr

TEL : (051)410-4414 FAX : (051)403-1127

* 정희원, 한국해양대학교 전기전자공학부 대학원 석사과정

** 정희원, 한국해양대학교 전기전자공학부 대학원 박사과정

특히 일부 비선형적 특징을 가지는 위상제어부하에서는 정상상태에서도 아크신호와 유사한 고주파 신호가 발생하기 때문에 아크신호의 검출에 어려움이 있다.

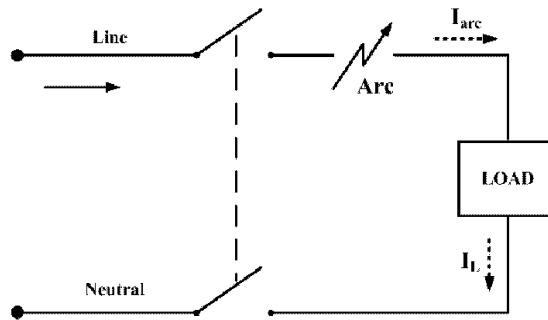


그림1. 직렬아크

3. 실험장치 및 구성

3.1 아크발생장치

전압이 인가된 선로의 접촉부 또는 열화된 선로에 발생하는 직렬아크를 모의하기위해 그림 2와 같은 UL1699의 규정에 의한 아크발생장치를 제작하였다. 전극은 도선의 접촉면에 형성된 탄화 도전료를 모의하기 위하여 탄소봉과 구리재질로 구성하였다[7]. 아크발생장치는 전원과 부하사이에서 직렬로 연결하며, 마이크로미터로 이동전극을 조절하여 고정전극과 이동전극간에 임의적으로 직렬아크를 발생시킬 수 있다.

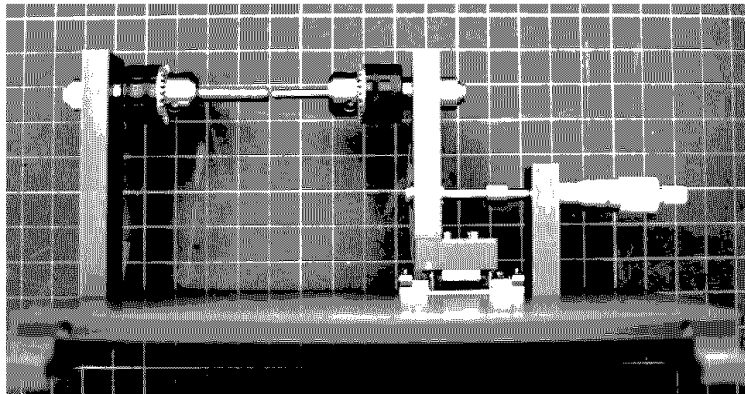
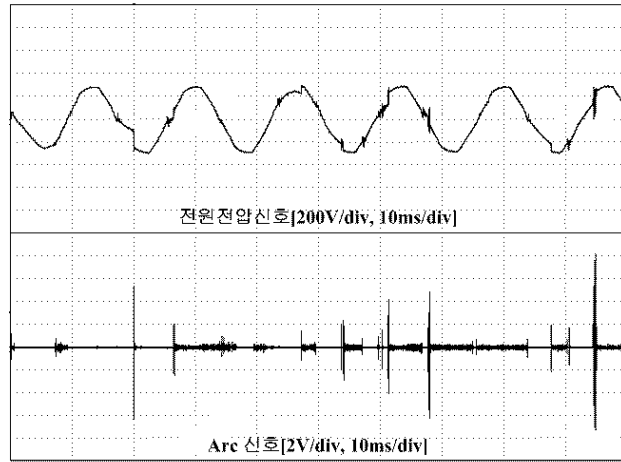


그림2. 직렬아크 발생장치

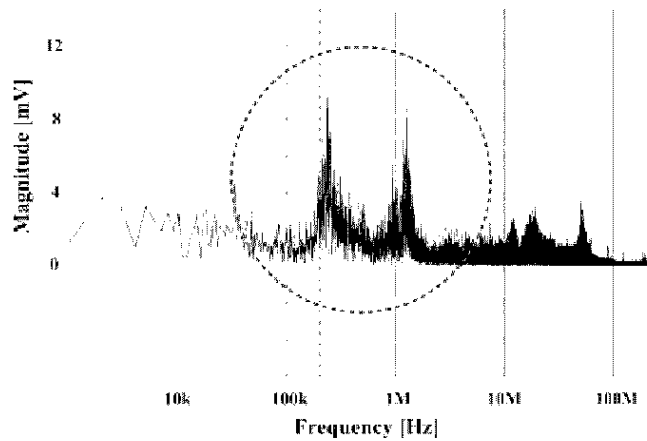
3.2 검출회로 설계

일반적으로 아크의 발생 유무는 아크 발생시 급격한 임피던스의 변화로 나타나는 고주파 전압 또는 전류를 검출하여 판단한다. 직렬아크의 방전신호는 전원주파수 성분에 중첩되고, 상대적으로 그 크기가 미소하기 때문에 전원주파수 성분에 대한 영향을 제거할 필요가 있다.

그림 3(a)는 에어컨 전원접속부에서 아크발생시의 전압신호와 측정된 신호 중 60 Hz 전원주파수성분이 제거된 신호를 나타낸 것이다. 그림 3(b)는 측정된 아크신호의 주파수분석을 나타낸 것으로 에어컨에서 발생한 아크신호는 190 kHz ~ 250kHz, 900 kHz ~ 1.6 MHz 사이의 주파수대역에 존재하는 것으로 나타났다.



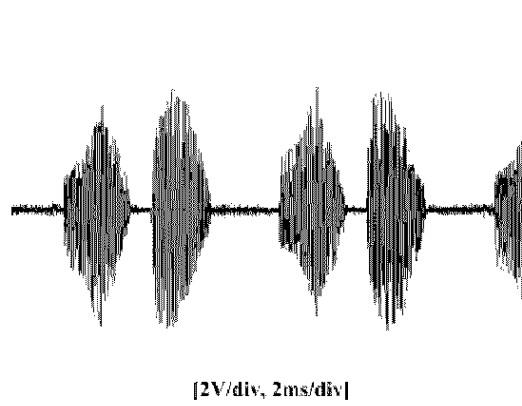
(a) 아크신호



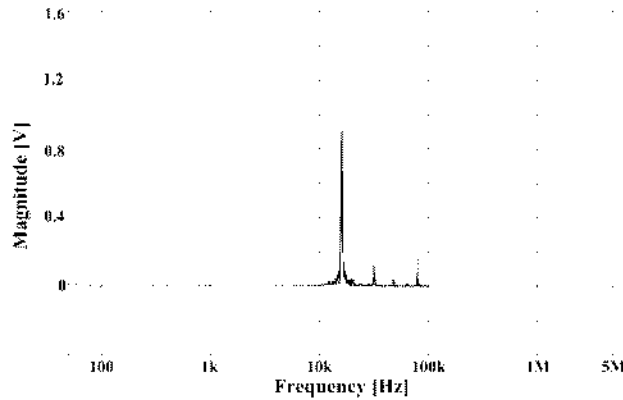
(b) 아크신호 FFT

그림3. 에어컨에서의 아크신호

그림 4는 최근 사용량이 증가하고 있는 대용량 에어컨에 많이 적용되는 인버터형 에어컨을 대상으로 실험한 결과이다. 아크가 발생하지 않는 정상적인 에어컨 동작상태에서의 전압파형에서 60 Hz의 전원주파수 성분을 제거한 파형을 그림 4(a)에 나타내었다. 60 Hz성분을 제거한 결과 인버터의 고속 스위칭 동작에 의해 아크신호와 혼동할 수 있는 고주파신호가 검출되었다. 검출한 인버터의 동작에 의한 고주파신호를 주파수 분석한 결과 그림 4(b)와 같이 16 kHz, 32 kHz, 80 kHz의 주파수성분을 가지는 것으로 나타났다.



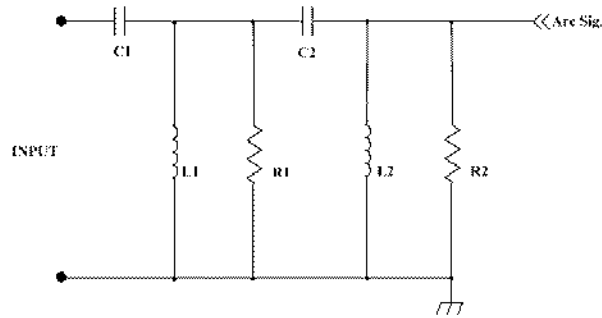
(a) 인버터동작에 의한 고주파신호



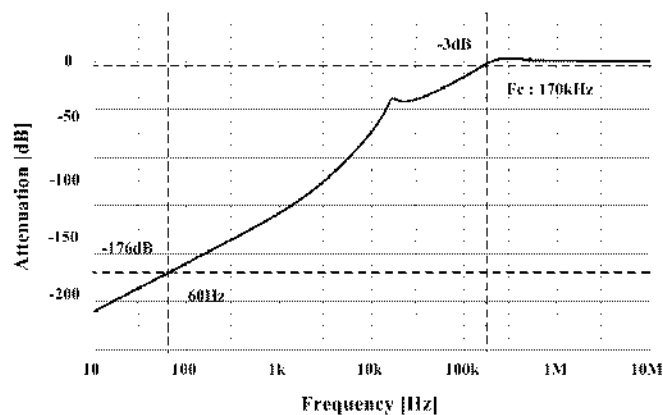
(b) 인버터신호의 FFT

그림4. 인버터형 에어컨에서의 고주파신호

아크 발생시 전압신호의 전원주파수 성분을 제거하고, 아크 고유의 고주파 신호만을 검출하기 위하여 그림 5(a)와 같은 고역통과필터를 설계 적용하였다[8]. 그림 5(b)는 적용한 고역통과필터의 주파수 특성을 나타낸 그림으로서 60 Hz의 신호의 감쇄, 아크신호의 FFT결과, 인버터 동작시 발생하는 고주파 신호 FFT를 고려하여 저역차단주파수를 170 kHz로 설계하였다.



(a) 고역통과필터



(b) 고역통과필터의 주파수특성

그림5. 아크검출회로

그림 5의 필터와 아크신호의 인코딩 회로, 'Noise 발생상태'와 'Arc 발생상태'를 구분하기 위한 MPU회로를 추가하여 그림 6과 같은 아크 검출 모듈을 제작하였다. 아크상태 구분을 위해 LED를 이용하여 정상동작시는 '녹색LED', 노이즈발생시는 '황색LED', 아크발생시는 '적색LED'를 표시하도록 제작하였다.

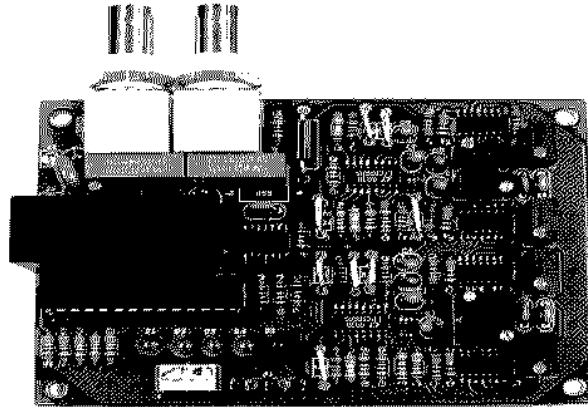


그림6. 아크검출모듈

3.3 아크신호판별 알고리즘

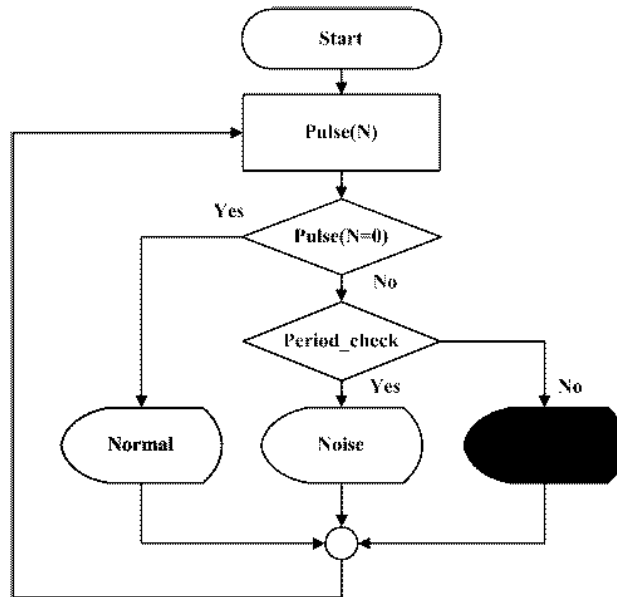


그림7. 아크판별 알고리즘

아크신호의 경우 검출필터의 적용만으로는 아크신호만을 검출하는데 한계가 있다. 위상제어 저항부하 또는 인버터 구동 유도전동기와 같은 전류의 불연속 제어를 포함하는 부하의 운전시 아크신호와 유사한 고주파 성분이 발생되어 오작동 할 수 있기 때문이다[9].

따라서 본 논문에서는 아크로 오인할 수 있는 노이즈신호를 구분할 수 있는 그림 7과 같은 아크판별 알고리즘을 구성하였다. 주기적으로 발생하는 노이즈의 구별하는 방법은 여러 가지가 있겠지만 본 논문에서는 100ms를 한 구간으로 나누어 구간당 입력되는 펄스의 수를 비교하여 입력되는 신호의 상태를 구별하였다. 앞구간과 다음구간에 입력되는 펄스 수를 비교할 때 실험을 통해 얻은 오차범위 내에 있으면 'Noise 상태', 오차 범위를 벗어나면 'Arc 상태'로 구별할 수 있다.

4. 실험계 구성

본 논문에서는 에어컨의 실외기와 실내기의 전원 접속부에서 발생하는 직렬아크 신호를 검출하기 위하여 그림 8과 같은 실험계를 구성하였다. AC 220V 전원선과 실외기의 접속부 사이에 아크발생장치를 직렬로 연결하여 실내외기 선로에서 발생하는 직렬아크를 모의하였다. 설계한 아크검출 모듈을 전원과

병렬로 접속함으로써 직렬아크의 전압신호를 검출할 수 있었다. 본 검출방식은 전원성분에 포함된 아크 신호만을 검출하는 것으로 부하의 용량에 관계없이 적용가능하다는 장점이 있다.

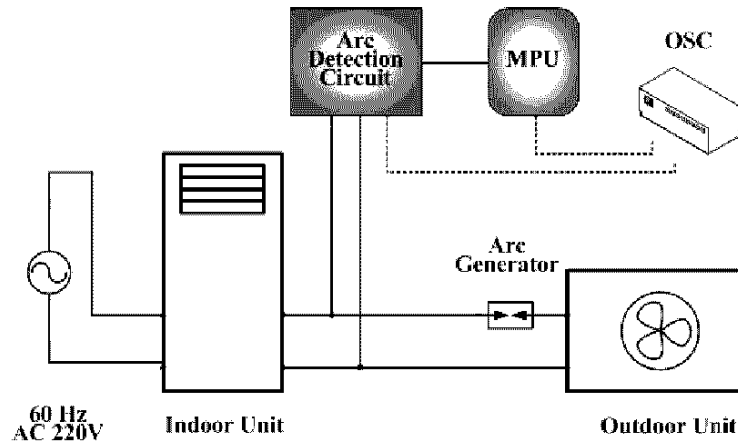
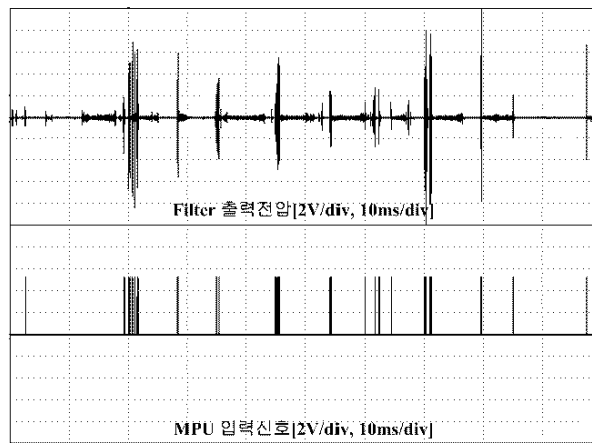


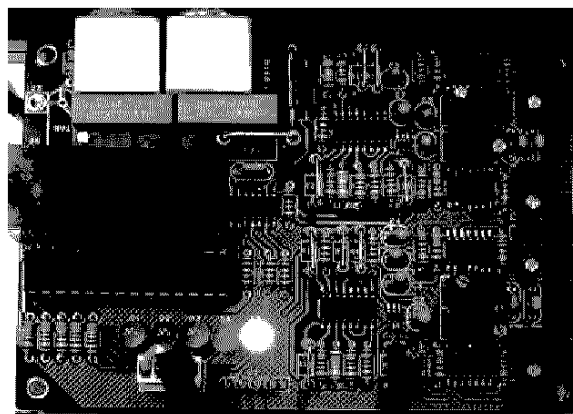
그림.8 실험계의 구성

5. 실험결과

본 논문의 목적은 에어컨 전원접속부에서 아크발생시 전기적신호를 검출하고, 아크판별 알고리즘을 이용하여 아크 발생 유무를 판별하는 것이다.



(a) 아크발생상태



(b) 아크검출모듈 동작사진

그림 9. 실험결과

그림 9(a)는 에어컨 실외기 전원접속부에서 접속불량에 의한 아크발생시 아크검출회로를 통해 검출된 아크신호와 MPU(Micro processor unit)로 입력되는 펄스로 인코딩된 아크신호를 나타낸 것이다. 아크검출회로를 통해 전원주파수 성분을 제거한 결과 아크신호만을 검출 할 수 있었다. 그림 9(b)는 검출한 아크신호를 MPU의 아크판별 알고리즘을 통해 상태를 판별하는 사진으로, 그림 9(a)와 같은 아크신호 입력시 'Arc발생상태'을 정상적으로 동작함을 확인하였다.

6. 결 론

논문에서는 인버터형 에어컨의 전원부에서 발생하는 직렬아크의 검출 방법에 대해 연구하였다. 60 Hz 전원주파수 성분의 감쇄와 인버터 동작시 발생하는 고주파 신호, 검출할 아크신호의 주파수대역을 고려하여 저역차단주파수가 170 kHz인 아크신호 검출필터를 설계하였다. 또한 아크신호의 인코딩 회로, 'Noise 발생상태'와 'Arc 발생상태'를 구분하기 위한 MPU회로를 추가하여 아크 검출 모듈을 제작하였으며, 'Noise 발생상태'와 'Arc 발생상태'를 판별하는 알고리즘을 제안하였다. 설계한 검출모듈의 적용으로 에어컨의 전원접속부에서 발생한 아크신호를 노이즈에 관계없이 검출하였으며, 'Arc 발생상태'를 확인할 수 있었다.

본 논문에서 설계한 아크검출회로와 아크판별 알고리즘의 적용을 통해 에어컨뿐만 아니라 다른 전기 기기에서 아크발생에 의한 전기화재를 예방할 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 지식경제부와 한국산업기술재단의 지역혁신인력양성사업과 삼성전자(주)의 위탁연구사업으로 수행된 연구결과임

참고문헌

1. 소방방재청(2008), "2008년 화재발생현황 분석".
2. 소방방재청(2007), "2006년도 화재통계 연감".
3. George D. Gregory(1998), "The Arc-Fault Circuit Interrupter : An Emerging", IEEE Trans. on Industry Applications, Vol.34, No.5, pp.928-933.
4. 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.
5. George D. Gregory(2004), "More about Arc-Fault Circuit Interrupters," IEEE Trans. Industry Applications, vol.40, No.4, pp.928-933.
6. James M. McCormick, Pete Theisen(2003), "Arc Fault Circuit Interrupter Development Overviews," SAE Technical Papers, 2003-01-3233.
7. Underwriters Laboratories(2006), "UL1699-Standard for Arc-Fault Circuit-Interrupters".
8. 길경석, 지홍근, 박대원, 김일권, 류길수, 송재용(2008), "직렬아크신호의 검출방법", 한국철도학회, Vol.11, No.5, pp.477-481.
9. Muhamman H. Rashid(2005), "전력전자공학(3판)", 교보문고