

고주파 노이즈의 RSSI신호를 이용한 Arc검출방법

(Arc Detection Method using RSSI Signal to High Frequency Noise)

양승국* · 이 주**

(Seung Kook Yang · Ju Lee)

Abstract

In order to avoid the electrical fire, AFCI(Arc Fault Circuit Interrupter) has been obligated to be adopted in the United States of America since 2002. A study was carried out on how to detect Arc. In this paper, The propose is high-frequency signal detection methods and RSSI(Received Signal Strength Indication) signal processing algorithm for Arc detection, and the electrical characteristics were verifying.

Key Words : AFCI, AFDD , Arc Fault, RSSI

1. 서 론

1990년대 미국에서 전기화재의 주요원인이 Arc라는 사실이 발표되면서 이에 대한 연구를 시작하여 1999년 AFCI(아크차단기, Arc Fault Circuit Interrupter)가 UL(Underwriters Laboratories) 1699 규격으로 등록되었고 2002년 NEC(National Electric Code)규정에 의하여 침실에 AFCI의 사용이 의무화 되었고 2008년 NEC규정에 따라서 모든 거주공간으로 확대 적용하게 되었다[1]. 또한 2000년 IEC(International Electrotechnical Commission)에서는 AFDD(Arc Fault Detection Device)에 관하여 연구가

진행되어 2013년 AFDD에 관한 규격서 IEC 62602 Edition 1.0이 제정되었다.

독일의 경우 매년 600,000건의 화재관련 사고가 발생 약 6조 유로의 손실비용이 발생하고 60,000명의 피해자가 발생한다. 이중 6,000명의 중환자와 600명의 사망자가 발생하는 것으로 보고되고 있다. 2010년 화재원인 분석에 따르면 그림 1과 같이 전체화재중 34%가 전기로 인한 화재이고 이러한 원인 중 인간의 방화나 휴면에러, 기타와 같은 화재를 제외하면 전기화재가 50% 이상이다[2]. 또한 우리나라의 경우 2011년 43,875건 중 전기로 인한 화재가 10,663건으로 전체 화재 중 24%를 차지하고 약 580억의 재산피해와 사망 29명 부상 248명의 인명피해가 발생하였다[3].

따라서 이러한 전기화재를 줄이기 위한 AFCI나 AFDD와 같은 기기에서 Arc를 검출하는 방법으로 Arc 발생 시 나타나는 고주파 노이즈를 감지 검출하는 방안에 대하여 연구하고자 한다.

* Main author : Dept. of Electrical Engineering, Hanyang University

** Corresponding author : Dept. of Electrical Engineering, Hanyang University, Professor
Tel : 031-8040-9757, Fax : 031-8040-9749
E-mail : skyang@danam.co.kr

Received : 2015. 1. 5

Accepted : 2015. 1. 22

Causes of fire (2010)

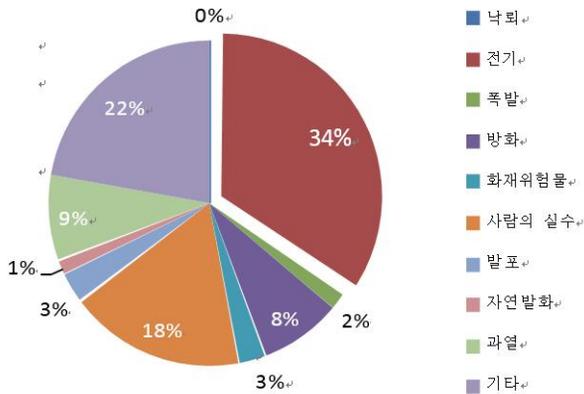


그림 1. 2010년 독일의 화재 원인
Fig. 1. Causes of fire in Germany in 2010

2. 아크의 검출 방식

일반적으로 Arc를 검출하기 위한 방법은 1. 전류파형 분석방법, 2. 고조파(Harmonic Wave) 신호를 이용한 검출 방법, 3. 고주파(High-frequency wave) 신호를 이용한 검출 방법이 주로 사용 된다. 그러나 전류파형 분석방법은 병렬아크 검출에 주로 사용되고 직렬아크 방식에서는 사용하기 어렵다. 또한 고조파 분석 방식은 주파수 범위가 낮아 일반적인 전기기기에서 발생하는 고조파 성분의 파형과 유사하므로 활용도가 떨어진다. 이 중 고주파 신호를 이용한 검출 방법은 Arc 발생 시 발생하는 고주파 노이즈 신호를 수신하여 특정 주파대의 전파강도를 검출하여 이를 신호 처리하는 방법으로 수신 주파수 대역의 정의 및 하드웨어적 구성이 어렵다는 단점을 가지고 있다.

일반적으로 냉장고, 에어컨과 같은 가전기기, 전원공급기와 모터에서 발생하는 기계적인 소음과 동물 및 새에서 발생하는 가청주파수대의 생물학적 노이즈, 사람의 말, 파도, 경적, 자동차에서 발생하는 교통소음 등을 Background Noise라고 칭하는데 이러한 Background Noise는 그림 2와 같이 15MHz~18MHz 대역에서 높은 신호를 발생시킨다[2]. 그러나 Arc 발생 시 발생하는 고주파 Noise는 전체 주파수 대역에 걸쳐서 나타나며 이러한 고주파 신호 중 Background

Noise와 간섭을 피하기 위하여 22MHz~24MHz 대역의 Arcing Noise 신호를 수신하여 FM IF System의 RSSI(Received Signal Strength Indication)를 이용한 전파강도를 검출하는 방법을 사용하였다.

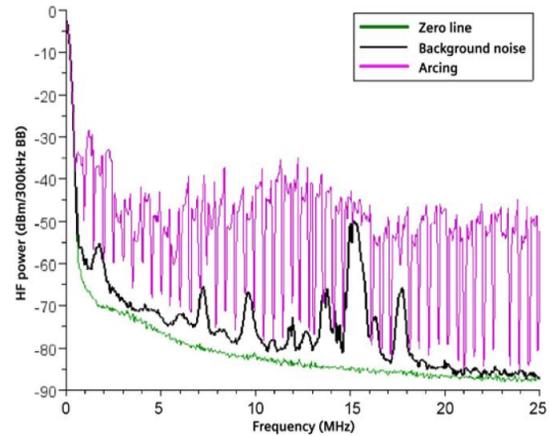


그림 2. 고주파 노이즈 : Background Noise 및 Arc
Fig. 2. High frequency noise : Background Noise and Arc

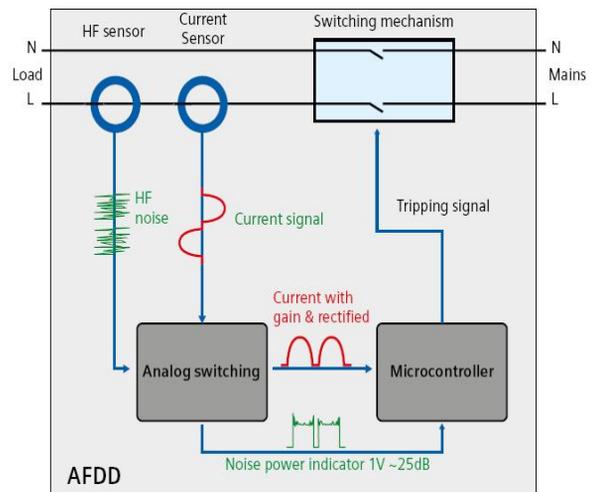


그림 3. AFDD의 기본 구성도
Fig. 3. Basic design of AFDD

고주파 노이즈 신호를 이용하는 AFCI 또는 AFDD의 기본 블록도는 그림 3과 같이 Arc신호를 검출하기 위해서는 60Hz의 상용 주파수 신호를 검출하기 위하여 전류변류기(Current Transformer)와 고주파 신호

를 검출하기 위한 HF Sensor를 사용한다[2]. 이러한 HF Sensor는 22MHz~24MHz의 주파수특성을 만족하는 RF Coupler를 사용하여 Power Noise를 검출하며 이렇게 검출된 RF신호를 LNA와 Filter를 통과시킨 신호를 Mixer와 IF AMP 그리고 Limiter AMP를 통하여 신호처리 하면서 이때 수신된 신호 감도의 세기를 감지하는 RSSI 신호를 얻는다[4].

일반적으로 RF신호를 처리하기 위한 RF Front End는 그림 4와 같이 변조신호를 안정적으로 처리하기 위하여 Mixer를 사용하여 주파수를 낮추게 된다. 이때 Mixer에 수신 신호의 주파수(f_{RF})와 국부 발진기의 주파수(f_{LO})를 입력하게 되면 두신호의 합과 차의 신호가 출력 된다. 이때 (1)식과 같이 2개의 주파수가 나타나므로 필요한 신호만 수신하기 위하여 대역통과 Filter가 필요하다.

$$f_{RF} \times f_{LO} = (f_{RF} + f_{LO}) + (f_{RF} - f_{LO}) \quad (1)$$

이때 수신신호가 22MHz~24MHz이고 IF부는 10.7MHz의 슈퍼헤테로다인 방식을 사용하므로 국부 발진기(LO)의 발진주파수는 11.3MHz~13.3MHz가 되도록 한다[5].

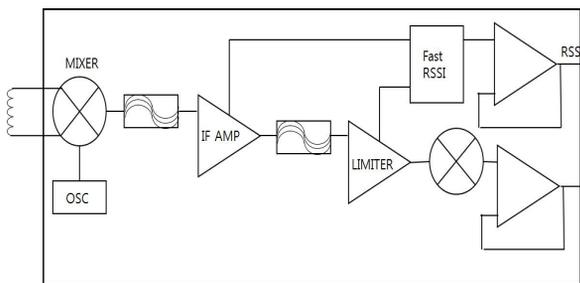


그림 4. RF Front End의 기본 구성도.
Fig. 4. Basic Circuit of RF Front End

Filter를 통과한 IF 신호는 보통 60~90dB의 매우 큰 증폭을 하므로 안정된 발진기 회로설계가 필요하다. 또한 매우 큰 이득을 가진 IF 증폭기의 출력신호는 왜곡된 파형이 나타나게 되므로 Filter를 다시 한 번 통과하여 Limiter 증폭기로 인가되어 충분히 증폭되도록 하여야 한다.

3. Arc 신호 처리

Arc 발생 시 나타나는 저주파 신호는 진류변류기에 의하여 검출된 전류를 증폭하여 이를 미분하고 절대치를 취한 후 이를 기준전압과 비교하여 Arc의 유무를 판단한다. 또한 고주파 신호의 경우 RF Coupler를 통하여 수신된 고주파 노이즈를 Mixer와 IF Amp.를 통과시킨 후 로그형 앰프 (Logarithmic Amplifier)를 사용하여 RSSI 신호를 생성시킨다. 이렇게 생성된 RSSI 신호를 처리하기 위한 기본적인 Algorithm은 수신된 RSSI 신호를 일차적으로 시간에 대하여 미분하고 이를 절대치를 취한 후 포락선 검출기를 거친 후 기준 전압에 대한 비교기를 거쳐 logic 신호로 변환시킨 후 이를 적분기를 통하여 Trip 전압과 비교한 후 적분기의 충전 전압이 기준전압보다 큰 경우 차단기를 동작시킨다.

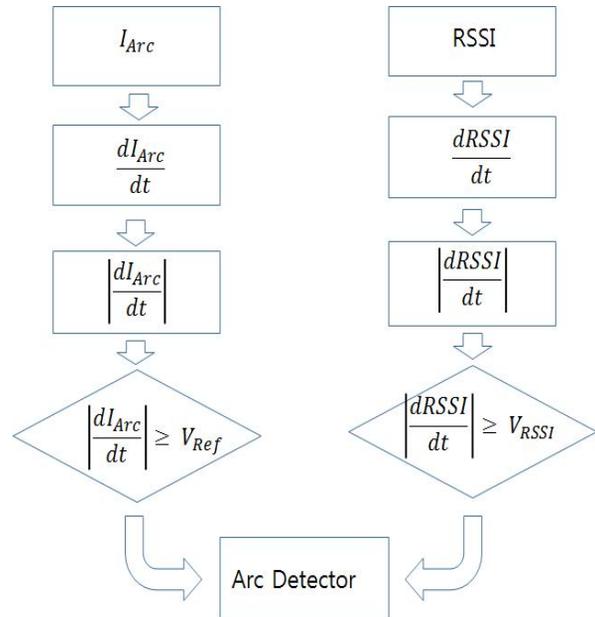


그림 5. 아크 신호의 신호처리 순서도
Fig. 5. Signal processing flow chart for arcing faults

4. 실험 결과 및 고찰

본 논문에서 설명한 Arc 발생 시 나타나는 고주파

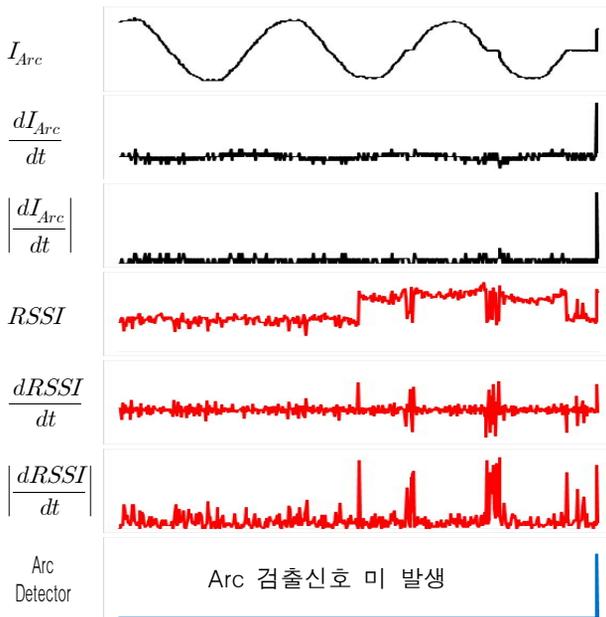


그림 6. 초기 직렬아크 신호의 신호처리
 Fig. 6. Signal processing for initial serial arcing faults

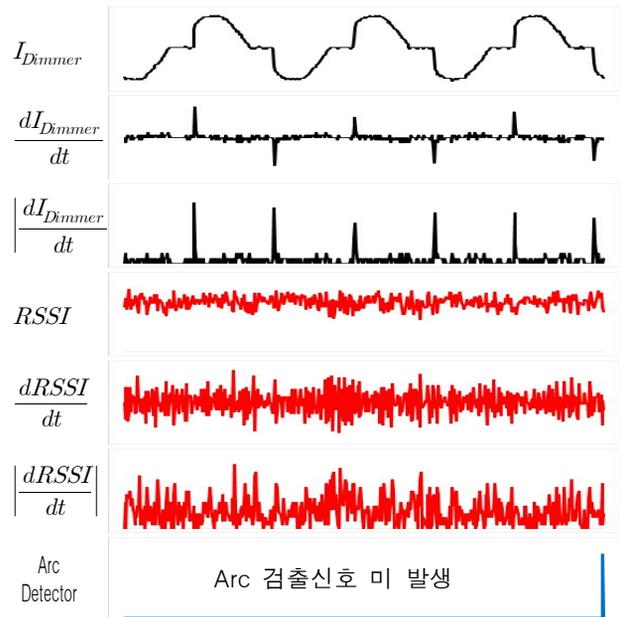


그림 8. 조광기 신호의 신호처리
 Fig. 8. Signal processing for dimmer signal

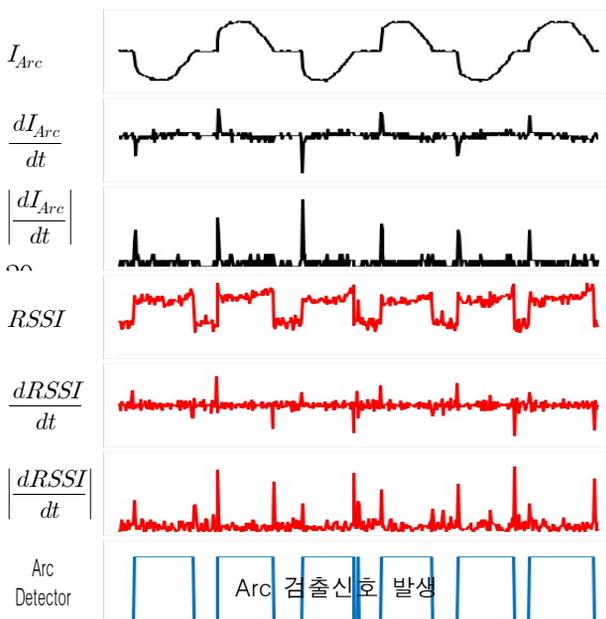


그림 7. 직렬아크 신호의 신호처리
 Fig. 7. Signal processing for serial arcing faults

신호의 RSSI 신호를 이용한 Arc 검출을 시험하기 위하여 미국의 S사에서 개발한 ASIC(Application

Specific Integrated Circuit)을 이용하여 회로를 구현 하였으며 부하로 3Arms의 백열전구를 사용하여 직렬 Arc를 발생시켜 그림 6과 같이 정상 상태에서 초기 Arc 발생 시 Arc 신호가 검출되지 않는 것을 확인할 수 있으며 그림 7과 같이 직렬 Arc가 발생 시 Arc 신호를 검출할 수 있었으며 또한 동일한 부하 조건에서 조광기를 이용한 시험에서 그림 8과 같이 Arc 신호가 검출되지 않는 것을 확인할 수 있었다.

5. 결 론

본 논문에서는 전기화재를 예방하기 위한 AFCI 나 AFDD와 같은 전기기기에서 Arc를 검출하는 방법 중 Arc 발생 시 발생하는 고주파 노이즈 신호를 검출하여 FM IF System의 RSSI 신호로 변환하는 방법과 수신된 RSSI 신호를 분석 처리하는 Algorithm을 제시하였으며 또한 정상적으로 직렬아크가 발생하는 경우 Arc로 인식하는 것과 일반적으로 조광기를 사용하는 상태와 초기직렬 Arc가 발생하는 경우 정상적인 Arc로 인식하지 않는 것을 실험을 통하여 확인하였다.

References

- [1] Section 210.12(B) "NEC Code 2008 Edition".
- [2] Siemens "5SM6 AFD Unit Technology Primer", 2004.
- [3] "Table of Fire Statistics", 2011. Ministry of Public Safety and Security.
- [4] Carlos E. Restrepo "Arc Fault Detection and Discrimination Methods" 53th Holm Conference, 2007, 115~122.
- [5] Restrepo et al "System and Methods for Arc Fault Detection" United States Patent US 7,864,492,b2, 2011.

◇ 저자소개 ◇



양승국(梁承國)

1964년 5월 25일생. 1987년 단국대학교 전자공학과 졸업. 2009년 서울산업대학교 전기공학과 졸업(석사). 2011년 한양대학교 전기공학과 박사수료. 현재 단암 엔지니어링(주).



이 주(李柱)

1963년 8월 30일생. 1986년 한양대학교 전기공학과 졸업. 1988년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1997년 일본 큐슈대학교 전기공학과 졸업(박사). 현재 한양대학교 전기생체공학부 교수.