정밀한 아크검출을 위한 아크의 전기적 특성 분석

서현욱, 방선배[1], 조영훈, 최규하
건국대학교 전력전자 연구실, 전기 안전연구원[1]

The Electrical Characteristics of Arc for Precise Arc Detection

Hyunuk SEO, S.B Bang[1], Y.H Cho, G.H Choe
Power Electronics Lab., Konkuk Univ., Kesco[1]

국문요약

본 논문에서는 아크검출 알고리즘을 제안한다. 아크를 검출하기 위하여 아크의 전기적 특성 중 하나인 고조파에 대하여 분석하고 아크로 인한 홀수고조파의 변화를 분석하여 아크를 검출할 수 있는 아크 검출 알고리즘을 설계한다. 이를 증명하기 위하여 UL1699에서 제안하는 직렬아크 발생장치를 통하여 아크를 발생시키고 측정한 전류파형을 기반으로 알고리즘을 검증하였다.

1. 서 론

아크 사고는 전기화재의 주된 원인 중 하나이다. 소방방재청 통계자료에 의하면 아크로 인한 전기 화재가 매년 증가하고 있으며, 이로 인한 피해와 사상자 또한 지속해서 증가하고 있다. 아크사고의 주 원인은 낙후된 전기시설, 반복적인 전선의 접힘과 또는 벌레나 동물에 의한 전선의 절연물 파손 때문에 발생한다. 도선의 절연이 파괴된 경우 아크사고의 위치, 전압의 형태에 따라 아크의 종류가 결정되며, 악화될 경우 화재로 연결될 수도 있다. 아크로 인한 화재 및 사고를 예방하기 위하여 미국 및 영국에서는 AFCI(Arc Fault Circuit Interrupters)가 법적으로 의무화 되고 있으며 세계적으로 아크를 검출하는 알고리즘의 연구가 활발히 진행되고 있다.[1]

일반적인 아크검출 알고리즘은 아크의 물리적, 전기적 특징을 통하여 검출한다. 물리적 검출 방법은 아크사고 시 발생하는 빛을 비디오센서를 통하여 검출하는 방법이 있으며, 아크사고 시 고조파의 소음과 열에너지를 통하여 검출하는 방법이 있다. 전기적 검출 방법으로는 아크사고 시 전류 파형에 의해 생기는 영구간(shoulder), 피크값의 변화, 실효값의 변화를 통하여 검출하는 방법과 아크로 인하여 발생하는 고조파 성분을 추출하여 검출하는 방법이 있다. 앞의 영구간이나 피크값을 기준으로 알고리즘을 구성할 경우 UL1699에서 제안하는 'Unwanted Tripping Test'의 유사아크 부하가 아크 파형과 매우 흡사하기 때문에 정확한 아크 검출이 어렵다. 이로인한 대부분의 전기적 특징을 사용한 아크 검출 알고리즘은 고조파 검출과 주기성에 초점을 맞추고 있다.[2]

본 논문에서는 고조파 중 홀수 고조파의 크기 값에 의한 아크검출 알고리즘을 제안한다. 알고리즘을 검증하기 위하여 실제 저항부하에 1k[W]의 전력을 공급하고, UL1699에서 제안하는 직렬아크 발생장치를 이용하여 발생한 아크전류 파형을 데이터 파일로 저장하여 Mathlab simulink에서 구성한 알고리즘을 검증한다.[1]

2. 제안된 아크검출 알고리즘

아크는 양극의 방전현상에 의하여 발생하며 그 전류의 형태는 일반적인 저항부하에서 그림 1과 같이 shoulder를 가지는 특징으로 나타난다. 또한 정상상태에 비하여 홀수 고조파의 크기가 변하게 된다. 이러한 특징은 아크의 전형적인 특징이며 제안된 알고리즘은 아크를 검출하기 위하여 Band pass 필터를 이용하여 이러한 홀수 고조파영역을 관측함으로서 아크의 발생여부를 판단할 수 있도록 하였다.

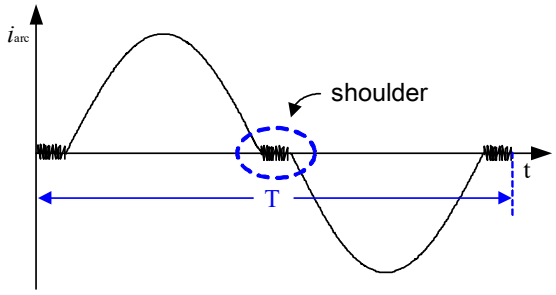

그림 1 저항 부하에서 일반적인 아크전류
Fig. 1 General arc current of resistor road

2.1 Band-pass 필터 설계

Band pass 필터를 구성하기에 앞서서 어떠한 영역에 고조파를 관측할지를 결정 하여야 한다. 영역을 결정하기 위하여 실제 구현 시 보급형 DSP에서 측정이 용이한 저차고조파 영역에서 아크사고 시 고조파의 크기 값의 변화를 관측하였다. 1k[W]의 저항부하에 계통전압을 인가하고 전력을 공급하며 아크를 발생시킨 결과를 표 1에 나타냈으며, 고조파의 크기값의 변화를 관측한 결과 3차 5차 7차 9차 와 같은 홀수 고조파의 영향이 두드러지게 나타났다.

표 1 저항성 부하의 아크 사고 시 고조파 크기 변화율
Table 1 Variable of harmonics magnitude of arc faults

주파수영역[Hz]	1차	2차	3차	4차	5차
변화율[%]	19	1	5	3	12
주파수영역[Hz]	6차	7차	8차	9차	10차
변화율[%]	0	7	2	5	5

그래서 이와 같은 홀수 고조파를 관측하기 위하여 알고리즘에는 홀수고조파인 180[Hz], 300[Hz], 420[Hz], 480[Hz]의 Bansd pass 필터를 설계하였으며 식 (1)과 같다.

$$H(s) = \frac{\beta s}{s^2 + \beta s + \omega_o^2} \quad (1)$$

ω_o : center frequency

β :bandwidth ($\omega_{c2} > \omega_{c1}$)

필터는 2차 필터로 구현되었으며 β는 bandwidth로서 식 (2)와 같이 선정 하였다. 제안하는 알고리즘에서 홀수 고조파를 측정하기 위하여 bandwidth의 값은 10[Hz]로 선정하였다.

$$\beta = \omega_{c1} - \omega_{c2} \quad (2)$$

ω_{c1}, ω_{c2} : cutoff frequencies

2.2 검출부 설계

검출부 설계는 알고리즘의 구성에서 가장 중요한 부분이다. 아크가 발생한 전류를 측정하여, 아크 발생에 따른 홀수 고조파를 관측함으로서 아크 발생여부를 판단한다. 판단 결과에 따라 스위치에 ON/OFF신호를 출력하여 부하에 공급 전력을 차단한다. 이런 기능들을 구현하기 위하여 그림 2와 같이 구성하였다. 고조파 크기 값의 변화량과 각 고조파 크기의 정상동작 시 리플을 고려하여 고조파 크기의 이득을 선정 후 값을 더한다. 그 값을 시지연 함수와 비교기를 사용하여 홀수고조파의 크기의 변화량을 출력하고 정상 동작 시 리플의 영향으로 인한 오동작을 감소시키기 위하여 데드존을 선정하여 노이즈 및 리플 성분에 대하여 대처하였다.

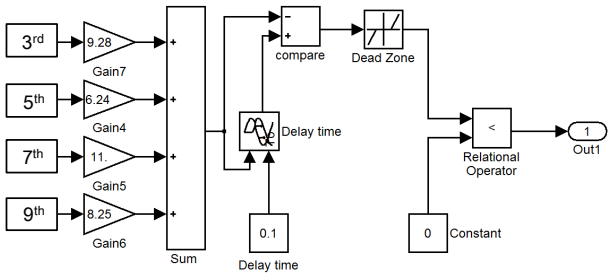

그림 2 홀수고조파의 변화량 기반의 아크 검출부

Fig. 2 Arc detector based variation of odd harmonics

3. 아크검출 알고리즘 검증

제안된 아크 검출 기법을 검증하기 위하여 알고리즘을 Mathlab Simulink를 사용하여 검증하였다. 알고리즘을 검증하기 위하여 아크고장 실험을 1k[W] 저항부하로 수행하였다. 실험을 통하여 측정한 전류파형은 데이터 파일로 저장하여 아크 검출 알고리즘에 적용하여 증명하였다. 그림 3의 Arc Current는 부하에 공급되는 전류로서 아크사고가 발생하면 그림 1과 같은 전형적인 아크전류의 형태를 보인다. Arc Voltage는 직렬 아크 발생장치 양단의 전압으로 아크의 크기와 아크의 발생여부를 판단하는 지표로 사용되어진다.

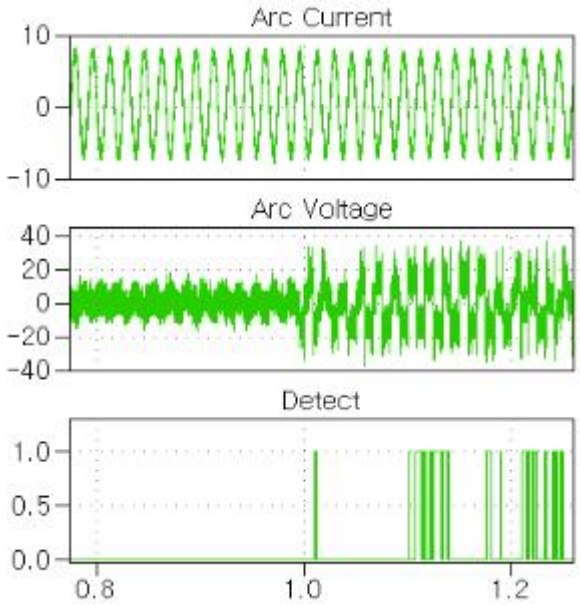

그림 3 아크검출 시뮬레이션 결과

Fig. 3 Result of arc detect simulation

마지막으로 Detect는 아크사고 시 아크검출 알고리즘이 정확하게 동작하는지를 확인하기 위한 척도가 된다. 그림 3에서는 1.0초에서 Arc voltage가 형성되며 알고리즘을 통하여 1.03초에 아크를 검출하는 것을 확인할 수 있다.

4. 결 론

본 논문에서는 아크의 전기적 특성을 이용하여 아크를 검출하는 알고리즘을 제안하였다. 아크의 고조파적 특성을 확인하기 위하여 저항부하에 직렬아크 발생실험을 수행하였다. 이를 통하여 아크에 의하여 홀수 고조파의 영향이 두드러짐을 파악 하였다. 아크 검출 알고리즘에서 이러한 특징을 이용하기 위하여 홀수 고조파 영역에 band pass 필터를 설계하고 그 크기 값을 관측하여 아크를 검출하고 스위치를 차단할 수 있는 검출 부를 구성하였다. 구성된 알고리즘을 기반으로 실제 아크 전류의 데이터를 기반으로 시뮬레이션 결과 정상상태에서 아크 사고 시 Detect신호를 출력하는 것으로 아크 검출 알고리즘의 성능을 확인하였다.

본 연구는 2013년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (No.600601)

참 고 문 헌

[1] Hyun Uk.Seo, Gyu Ha,Choe "Analysis of Arc Characteristics in Power Conversion Systems," Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers, vol. 27, pp. 8 16, 2013.

[2] N. Hadziefendic, M. Kostic, et Z. Radakovic, "Detection of series arcing in low voltage electrical installations", European Transactions on Electrical Power, Vol. 19, no. 3, pp. 423 432, 2009.