

AFCI용 온도보상회로의 ASIC화에 관한 연구

(A Study on the ASIC of Temperature Compensation Circuit for AFCI)

양승국* · 신명호

(Seung-Kook Yang · Myoung-Ho Shin)

서울산업대학교 대학원

요 약

2002년부터 미국에서 전기화재 보호를 위하여 AFCI(Arc Fault Circuit Interrupter)사용이 의무화 되었으며 중성선의 선로저항을 이용하여 아크를 검출하는 방식의 AFCI의 경우 중성선 선로저항의 저항온도계수에 대한 온도보상이 필요하다. 이러한 온도보상회로를 주문형반도체(ASIC)에서 구현하는 방안을 제시하고 ARC 신호에 대하여 시뮬레이션하여 전기적 특성 및 온도특성을 검증하였다.

Abstract

In order to protect the electrical fire, AFCI(Arc Fault Circuit Interrupter) was obligated to adopted in United States of America since 2002. AFCI using by line resistor of neutral trace needs to compensate the resistance variation of the line resistor by temperature variation. In this paper, the ASIC including the temperature compensation circuit is implemented. The successful implementation is verified by showing the effectiveness of an electric and a temperature characteristics for ARC signals by simulation results.

Key Words : AFCI, ASIC, arc fault, temperature compensation, neutral trace

1. 서 론

미국을 비롯한 전 세계적인 산업발전에 따라 가정 및 산업현장에서 사용하는 전기제품 및 전기사용량이 증가하고 있으며 이에 따라서 전기화재 또한 증가하여 재산상의 피해도 지속적으로 증가하고 있다. 이러한 전기화재의 발생 원인을 조사한 결과 전기화재가 발생하기 전에 일차적 증후로 아크가 발생하고 이 아크로 인하여 전기화재가 발생할 수 있다고 보고되었고 미국 NEC(National Electric Code)에서는 2002년부터 전기화재 보호를 위하여 AFCI(Arc Fault Circuit Interrupter)의 사용을 법적으로 의무화 하였다.

초기 AFCI의 아크전류 검출방식은 변류기에 의한 아크검출방식을 주로 사용하고 있으나 2004년 이후 원가절감을 위하여 중성선(Neutral Trace)의 선로저항을 이용한 아크검출 방법을 사용하게 되었다. 그러나 이러한 방법은 중성선의 저항온도계수(TCR, Temperature Coefficient of Resistance)에 대한 온도보상회로가 필요하며 이 온도보상회로는 일반적으로 OP-AMP와 PTC(Positive Temperature Coefficient) 저항을 이용하여 구현하였으나 아크검출용 회로가 주문

형반도체(ASIC, Application Specific Integrated Circuit)화 되면서 온도보상회로의 ASIC화가 필요하게 되었다.

본 논문에서는 중성선 선로저항을 아크검출용 센서로 사용하는 AFCI에 대하여 온도보상회로를 ASIC화하는 방안을 제시하고 이에 따른 시뮬레이션을 통하여 특성을 검증 및 평가하고자 한다.

2. 아크의 종류 및 특성

아크는 " 전기적으로 절연체를 가로질러 연속적으로 빛을 내는 발광, 방전현상으로써 보통 전극의 부분적인 발산을 동반하며, 일반적으로 음극(Cathode)과 양극(Anode)은 공기에 의하여 분리되고 아크가 발생할 때의 아크의 중심온도는 5000℃~15,000℃정도이다. 또한 아크 영역에서 높은 이온화 가스 압력이 생성 된다". [1]

2.1 아크의 종류

일반 가정이나 산업현장의 전력계통에서 발생하는 아크 전류는 일반적으로 아크 발생 위치에 따라 직렬 아크(Series Arc), 병렬 아크(Parallel Arc), 접지 아크(Ground Arc)의 형태로 나타난

다.[3]

2.1.1 직렬 아크 (Series Arc)

직렬 아크는 그림 1(a)에서와 같이 부하와 직렬로 연결된 단일도체 즉 Line-To-Line 또는 Neutral-To-Neutral 사이에서 발생하는 아크로서 전구나 전열기 사용 시 콘센트의 접촉이 느슨하거나 전선의 일부가 절단된 경우와 같이 전선의 불완전한 연결부분에서 발생한다.

2.1.2 병렬아크(Parallel Arc)

병렬 아크는 그림 1(b)에서와 같이 서로 다른 도선 즉 Line 과 Neutral 사이의 절연저항의 저하 또는 파괴에 따른 선간 단락(Short)에 의한 방전이 발생할 때 나타나는 아크이다.

2.1.3 접지아크 (Ground Arc)

접지 아크는 병렬 아크의 한 종류로 Line 과 Ground 나 Neutral 과 Ground 간의 단락에 의하여 발생하는 아크이다.

2.2 아크의 특성

일반적으로 아크는 아크발생 시 전압과 전류에 고주파 잡음이 발생하며 아크에 의한 전압강하가 발생하고 아크 전류는 정상전류 보다 낮아지며 아크 전류의 상승 비율은 정상전류의 상승을 보다 크고 각각의 반주기에서 아크 전류는 전류가 Zero Crossing 전에 소멸되고 Zero Crossing이 지난 후에 다시 나타난다. 이렇게 Zero Crossing 부분에서 그림 (2)과 같이 나타나는 것을 "Shoulder" 라고 한다. 일반적으로 전압의 파형은 구형파에 가까우며 산발적으로 정상전류 사이에서 순간적으로 높게 나타나는 경우가 많다. [2]

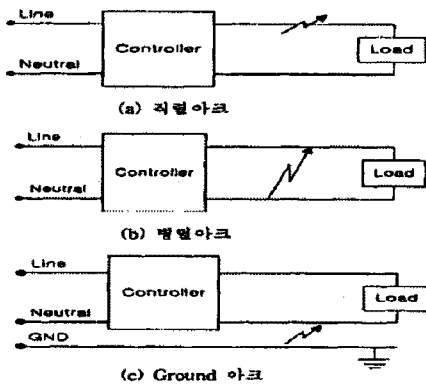


그림 1. 아크의 종류

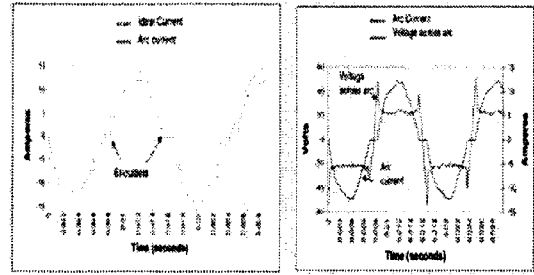


그림 2. 저항부하 시 직렬아크의 전류와 전압파형

2.3 아크의 검출방식

AFCI에서 아크를 검출하는 가장 일반적인 방법은 전류검출 센서인 변류기 (C.T, Current transformer)를 사용하여 일차 측 도선에 흐르는 전류량과 변류기의 권선비에 의한 2차측 전류를 발생하여 부하저항을 통하여 전류를 전압으로 변환하는 방식을 사용했으나[3], 최근에는 중성선 (Neutral Trace)에 흐르는 전류와 중성선 선로 양단의 저항차이에 의하여 발생하는 전압차를 직접 검출하여 아크신호를 검출하는 방법을 사용하는데 중성선의 선로저항은 온도가 증가하면 저항값이 증가하는 정 온도계수의 특성을 가지며 따라서 온도보상회로가 필요하다.

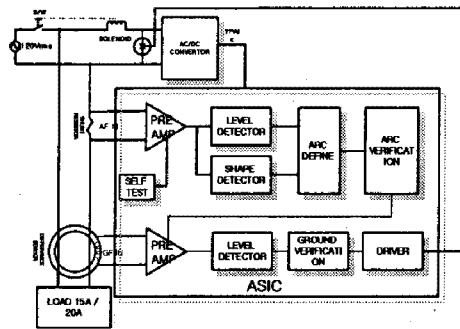


그림 3. 중성선의 선로저항을 이용한 AFCI

3. 온도보상 방안 및 SIMULATION

중성선의 선로저항을 아크 검출용 센서로 사용하는 경우 일반적으로 중성선의 선로는 구리가 주성분인 구리판재를 가공하여 사용하는데 이 구리판재의 온도저항계수가 4,300PPM의 정 온도계수를 갖고 있어 그림 (4)와 같이 Pre-AMP의 출력이 온도에 따라서 출력이 증가하는 것을 알 수 있다.

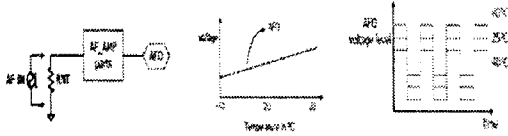


그림 4. 중성선 선로저항을 이용한 아크검출

증폭기의 출력전압(V_{out})은 중성선 선로저항 (R_{nt})와 ASIC의 내부등가저항(R_{eq})의 저항값의 비로써 결정할 수 있다. 만약 내부등가저항(R_{eq})의 TCR이 중성선 선로저항의 TCR과 같다면 증폭기의 출력전압(V_{out})은 온도에 따라 독립적이라고 할 수 있다.

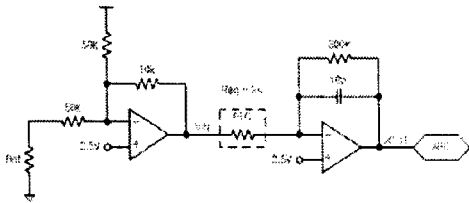


그림 5. 정 온도계수 (PTC) 이득을 갖는 증폭회로

$$V_{out} = -I_{in} \cdot 60k \cdot \frac{R_{nt}}{R_{eq}} \quad (1)$$

따라서 ASIC의 내부등가저항(R_{eq})의 TCR을 중성선의 선로저항(R_{nt})의 TCR과 같은 4,300PPM의 정 온도계수 (PTC, Positive Temperature Coefficient) 특성을 갖게 하기 위하여 내부등가저항 R_{eq} 을 아래와 같이 구성하였다.

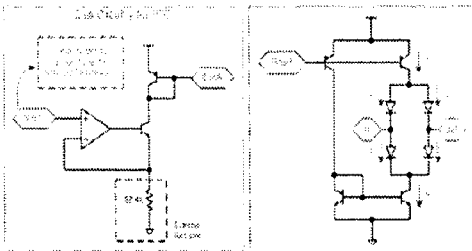


그림 6. 정 온도계수 특성의 BIAS 회로

이때 내부등가저항은 식(2)과 같이 결정이 되며

$$R_{eq} = \frac{V_t}{I} = \frac{kT}{q} \cdot \frac{R_{ext}}{R_{ref}} \quad (2)$$

이상과 같이 R_{eq} 을 $2k\Omega$ 으로 설계하여 온도변화에 증폭도의 변화를 시뮬레이션 한 결과 온도의 변화에 출력의 변화가 38.6%의 변화 폭이 3.33%로 줄어든 것으로 볼 수 있다.

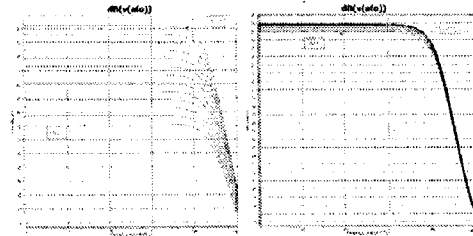


그림 7. 정 온도계수 (PTC) 방식의 증폭도 변화

또한 이상적인 아크 신호에 대하여 상온에서 중성선의 선로저항값(R_{nt})을 변화시키면서 출력파형을 관찰하여 출력특성 및 동작지연시간을 확인하였다

		0.275 mΩ	0.25 mΩ	0.225 mΩ
Ideal Arc	70Arms	20 msec	22 msec	27 msec
	50Arms	35 msec	44 msec	60 msec
	40Arms	-	-	-

표 1. PTC 방식의 R_{nt} 값 변화 따른 Trip 시간

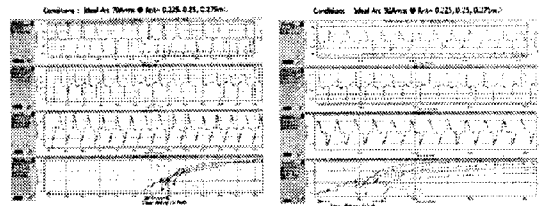


그림 8. PTC 방식의 R_{nt} 값 변화 따른 Trip 시간

실제 아크파형을 Modeling한 아크파형을 사용하여 동작온도를 -40°C ~ 80°C 로 변화시키면서 출력의 변화를 확인하였으며 그 결과는 동작특성이 정상적으로 확인할 수 있었다.

		-40°C	20°C	80°C
ARC75AN	NB-01	37 msec	39 msec	46 msec
	NB-02	34 msec	42 msec	45 msec
	SPT-01	18 msec	84 msec	101 msec

표 2 PTC방식의 온도변화에 대한 Trip 시간

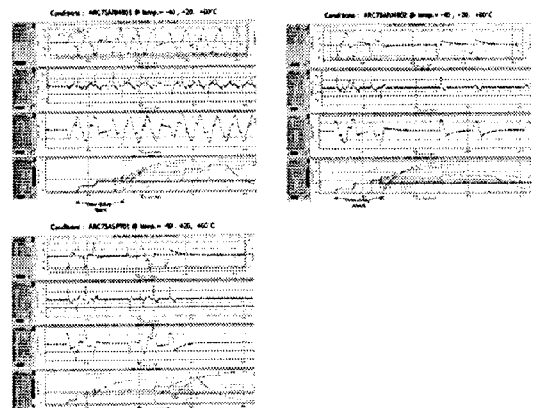


그림 9. PTC방식의 온도변화에 대한 Trip 시간

4. 결 론

본 논문에서는 미국에서 전기화재 보호를 위하여 사용되고 있는 AFCI에 대하여 ARC 신호를 검출하기 위하여 중성선의 선로저항을 ARC 검출용 센서로 사용하는 경우 중성선 선로저항의 온도변화에 따른 저항값의 변화 특성을 주문형반도체(ASIC, Application Specific Integrated Circuit)화에 따른 정 온도계수 (PTC) 이득특성을 갖는 증폭회로의 구성방안을 제시하고 이에 따른 시뮬레이션을 통하여 주문형반도체의 ARC Fault에 대하여 온도특성 및 전기적 특성을 검증하였다. 또한 차후 제시한 방안에 대하여 주문형반도체를 제작하여 성능 평가 및 온도특성을 검증하고자 한다.

Reference

- [1] George D. Gregory, Senior Member, IEEE, and Gary W. Scott "The Arc-Fault Circuit Interrupter: An Emerging Product" IEEE Transactionson Industry Applications, VOL. 34, NO. 5, September/October 1998.
- [2] George D. Gregory, Senior Member, IEEE, and Kon Wong, Robert F. Dvorak "More About Arc-Fault Circuit Interrupter" IEEE Transactions on Industry Applications, VOL. 40, NO. 4, July/August 2004.
- [3] 반기중, 김낙교 " 전기화재 방지를 위한 아크 고장 전류 차단기 설계", Trans KIEE. Vol.55D , No 5, May, 2006
- [4] 문식 " 아크 회로차단기(AFCI)의 특성에 관한 연구", 호서대학교, 2003
- [5] 반기중 " 아크 검출 알고리즘을 이용한 새로운 차단 시스템에 관한 연구", 건국대학교, 2003
- [6] Underwriters Laboratories, "UL1699-Standard for ARC-Fault Circuit Interrupters", 2006