Regular paper

Journal of the KIECS. pp. 605-610, vol. 11, no. 6, Jun. 30 2016, t. 74, pISSN 1975-8170 | eISSN 2288-2189
http://dx.doi.org/10.13067/JKIECS.2016.11.6.605

16비트 신호처리 프로세서 기반 유효성분 누설전류 감지 알고리즘 구현

한영오*

The Implementation of Active Leakage Current Detecting Algorithm based on 16 bit Signal Processor

Young-Oh Han*

요 약

누전차단기는 전기재해로 인한 사고를 미연에 방지하기 위해 사용되는 유일한 방법이다. 그러나 기존의 누전차단기는 15mA~30mA의 차단범위에서 합성 누설전류를 검출하여 동작하기 때문에 저항성 누설전류에 의해 발생하는 화재 및 인체감전으로 인한 인명 및 재산피해를 미연에 방지하는데 한계가 있다. 또한 용량성 누설전류에 의한 오동작으로 인한 생산성 감소 및 신뢰성 등의 문제를 가지고 있다. 본 연구에서는 기존 누전차단기의 문제를 해결하기 위해 위상차를 측정을 통하여 유효성분(저항성) 누설전류를 감지할 수 있는 알고리즘을 개발하였고, 감지된 누설전류를 기술표준규격에서 규정하는 0.03초 이내에 차단을 할 수 있도록 16 bit 신호처리 프로세서인 MSP430 프로세서를 사용하여 유효성분 누설전류 감지 알고리즘을 구현하였다.

ABSTRACT

The ELCB(: Earth Leakage Circuit Breaker) is the only way being used to prevent accidents from happening caused by electrical disaster. However, the existing ELCB has a limit to prevent damages to life and property due to a electric fire and a human body electric shock caused by the resistive leakage current, because of detecting the total leakage current in the block range of 15mA~30mA. It also has problems such as reduced productivity and reliability due to malfunctions by capacitive leakage currents. In this study, we have implemented the algorithm for the resistive leakage current detection technique and developed the resistive leakage current detection module based on a MSP430 processor, 16bit signal processor and this module can be operated in a desired block threshold within 0.03 seconds as specified in KS C 4613.

키워드

ELCB, Resistive Leakage Current, Capacitive Leakage Current, Active Leakage Current Detection, MSP430 Processor
누전 차단기, 저항성 누설 전류, 용량성 누설 전류, 유효 누설 전류 감지, MSP430 프로세서

Ⅰ. 서 론

전기가 발견된 이래로 전기는 인간에게 편리함을 제공하여 인간에게 윤택하고 풍요로운 삶을 줌과 동시에 화재 및 감전 등의 전기재해로 사고를 일으켜 인간의 삶에 위협이 되기도 한다. 현재 전기재해로 인

* 교신저자 : 남서울대학교 전자공학과
• 접 수 일 : 2016. 06. 10
• 수정완료일 : 2016. 06. 13
• 게재확정일 : 2016. 06. 24
• Received : Jun. 10, 2016, Revised : Jun. 13, 2016, Accepted : Jun. 24, 2016
• Corresponding Author : Young-Oh Han
Dept. of Electric Engineering, Namseoul University,
Email : youngoh@nsu.ac.kr

한 사고를 사전에 방지하기 위해 사용되고 있는 방법은 누전차단기가 유일한데, 기존의 누전차단기는 저항성 누설전류와 용량성 누설전류의 벡터합인 합성 누설전류를 검출하기 때문에 저항성 누설전류는 물론 용량성 누설전류에 의해서도 동작한다[1]. 화재와 인명피해를 유발하는 요인은 저항성 누설전류로서 용량성 누설전류는 아무런 피해를 유발하지 않는다. 그러나 기존의 누전차단기는 합성 누설전류에 의해 동작함으로서 위험요인인 저항성 누설전류의 위험 한계치 이상에서 동작하고, 용량성 누설전류에 의해 오작동을 일으키기도 한다. 각 국가마다 누전차단기의 차단 용량에는 차이가 있으며, 유럽의 RCCB(: Residual Current Circuit Breaker)의경우 30mA 합성 누설전류이고, 북미의 GFCI(: Ground Fault Circuit Interrupt)는 6mA의 저항성 누설전류로 제한하고 있다[2-3]. 국내에서는 한국공업규격 KS C 4613에 의해 일반장소 30mA, 습기장소 15mA 이하의 누설전류를 0.03초 내에 차단하도록 규정 되어있다[4-5]. 그러나 일반적으로 대략 10~20mA의 저항성 누설전류가 흐르면 줄열이 발생해 화재가 일어나고 5mA 이상의 저항성 누설전류는 접촉크기와 시간에 따라 인체에 악영향을 미친다. 이와 같이 전기화재와 인체감전이 누전차단기의 안전 한계치 내에서 발생하기 때문에 더 이상 누전차단기에만 의존해서는 인명피해, 화재, 재산피해를 주는 전기에 대한 안전을 보장 받지 못한다[6].

따라서 이와 같은 문제를 해결하기 위해 저항성 누설전류만을 검출하는 IC 개발과 위상차, 주파수 주입, 평균전력 등을 통한 저항성누설전류 검출 기법을 개발하는 연구가 이루어지고 있다.

본 연구에서는 위상차를 통한 저항성 누설전류 검출 기법을 이용하여 저항성 누설전류 검출 알고리즘을 개발하고, 개발한 알고리즘을 MCU에 프로그램으로 구현해 합성 누설전류에서 저항성 누설전류를 검출한다. 본 연구에 사용된 MCU는 MSP430F47187로서 전압과 전류의 샘플링을 동시에 할 수 있는 복합신호처리 프로세서이다[7]. 장시간 배터리 수명을 요구하는 작은 기기, 모바일 디바이스, 의료기기에 이르기까지 다양한 용도에 많이 사용되고 있다. 연구에서는 전압과 전류를 동시에 샘플링하여 전력을 구하고 빠른 연산을 통해 저항성 누설전류를 0.03초 이내에 차단해야 되기 때문에 복합신호처리 프로세서인 MSP430F47187을 사용하였다. MSP430F47187에서 저항성 누설전류를 검출하기 위해서 저항성 누설전류 검출 모듈에는 전압 검출부 회로와 변류기와 영상변류기(Zero Phase Current Transformer, ZCT)를 통해 검출된 각각의 전압, 전류 및 합성 누설전류가 AD컨버팅된 값을 가지고 제안된 알고리즘을 이용해 저항성 누설전류를 검출한다.

본 연구에서는 위상차 측정을 이용한 저항성 누설전류 검출기법을 기반으로 알고리즘을 개발하고, 제안된 알고리즘을 16bit 신호처리 프로세서인 MSP430에서 프로그램으로 구현하였다.

II. 위상차 측정을 이용한 저항성 누설전류 검출

본 연구에서는 저항성 누설전류 검출 알고리즘 개발을 위하여 위상차 측정을 이용한 누설전류 검출기법을 사용하였다. 전압검출부에서 검출된 전압을 기준전압으로 하여 영상변류기에서 측정한 누설전류에 용량성 누설전류의 성분이 흐를때 위상차 Θ를 산출한 다음, 벡터 분해 공식을 이용하여 저항성 누설전류를 분리 및 산출하는 매우 신뢰성 있는 방식으로 고조파가 발생하는 환경에서도 측정값의 오차가 거의 없는 방법이다. 이 방법은 실효치 계산, 위상차, 역률계산을 CPU에서 직접 처리해야 되기 때문에 고가의 MCU가 필요하지만 프로그램을 통해 저항성 누설전류 검출이 가능하고 추가적으로 전력량과 용량성 누설전류도 구하는 것이 가능하여 위상차 측정을 이용한 저항성 누설전류 검출 기법을 사용하였다[8-9].

선로에서 전원전압의 순시치(v)와 합성 누설전류의 순시치(i_c)를 검출하고, 두 신호로부터 평균전력(W)를 연산한 후 전원전압의 실효치(V)로 나누어 저항성 누설전류를 구하는 방법이다. 이 때, 저항성 누설전류의 실효치는 식 (1)과 같이 연산된다.

$$I_{gr} = \frac{W}{V} = \frac{VI_o\cos\theta}{V} = I_o\cos\theta \quad (1)$$

단상회로에서 공급되는 전원전압(v)은 정현파이므로 식 (2)와 같이 나타낸다.

$$v = \sqrt{2}\, V sin(wt) \quad (2)$$

여기서 V는 전원전압(v)의 실효값이고, $w = 2\pi f$는 각속도이며, f는 전원 주파수이다. 따라서 전선로에 흐르는 합성 누설전류는 정현파이며, 식 (3)과 같다.

$$i_o = \sqrt{2}\, I_o \sin(wt + \theta) \quad (3)$$

여기서 I_o는 합성 누설전류(i_o)의 실효치이며 θ는 전원전압(v)와 합성 누설전류(i_o)와의 위상각이다. 이때, i_o를 전원전압(v)의 극성이 '양'인 구간 $(0 < wt < \pi)$에서 적분한 값을 K_1, '음'인 구간 $(\pi < wt < 2\pi)$에서 적분한 값을 K_2라 하면 식 (4)와 같다.

$$K_1 = \sqrt{2}\, I_o \int_0^{\pi} \sin(wt+\theta) d(wt) = 2\sqrt{2}\, I_o \cos\theta$$

$$K_2 = \sqrt{2}\, I_o \int_{\pi}^{2\pi} \sin(wt+\theta) d(wt) = -2\sqrt{2}\, I_o \cos\theta \quad (4)$$

따라서 $|K_1| = |K_2|$가 되며, $I_{gr} = I_o \cos\theta$이므로 $|K_1| = |K_2| = 2\sqrt{2}\, I_{gr}$ 이고, 최종적으로 저항성 누설전류는 식 (5)와 같이 구할 수 있다.

$$I_{gr} = \frac{K_1}{2\sqrt{2}} = \frac{K_2}{2\sqrt{2}} \quad (5)$$

최종적으로, 저항성 누설전류(I_{gr})은 영상변류기에서 검출되는 합성 누설전류를 A/D 변환 후, MCU에서 전원전압의 반주기 동안을 적분하면 얻을 수 있다.

Ⅲ. 저항성 누설전류 검출 알고리즘

일반적으로 피상전력 $S = P + jQ$라는 식에서 전력을 유효전력과 무효전력으로 구분되어 진다. 따라서 마이크로프로세서를 이용한 소프트웨어적인 방법은 적분을 이용한 방법으로 전류와 전압을 마이크로프로세서의 A/D port를 이용하여 측정 후, 전압과 전류를 한 주기 동안 300uS로 54번 전후로 샘플링 하여 구한 후 이의 곱으로 이루어지는 부분을 +부분과 -부분으로 정리하여 이를 합한 후 순수하게 남는 부분은 유효전력 $P = VI\cos\theta$이고 $\cos\theta = P/VI$이므로 역률(Power Factor)을 구한다. 본 연구에서는 영점이 검출된 이후로 한 주기를 샘플링한 값을 연산하여 저항성 누설전류를 구하므로, 그림 1과 같이 검출시간은 이론적으로 최소 16.67mS의 시간을 가진다.

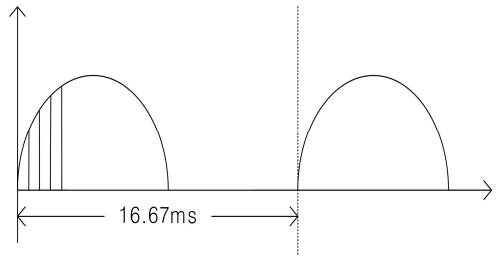

그림 1. 한 주기동안의 전압, 전류 샘플링

Fig 1. Voltage and current sampling for one cycle

A/D port에서 전압을 샘플링한다. 2채널을 이용하여 한번은 전압을 샘플링하고 다른 한 채널은 전류를 샘플링하여 이 값을 곱하여 전력을 계산한다.

전압의 영점에서 시작하여 전압과 전류값을 읽는데, 이 때 A/D채널의 선택에 있어서 변환되는 시간이 동시에 일어날 수 없으므로 전류는 그림 2와 같이 레벨을 쉬프트 시켜 놓고 일정 DC 레벨의 값에서 +되는 부분은 +로 하고 DC 레벨에서 -되는 부분으로 하여 적분을 실시하여 값을 저장 해 놓고 전력 값을 구해 저항성 누설전류를 구한다.

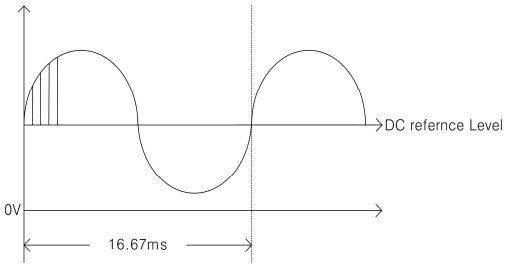

그림 2. 직류 레벨링

Fig. 2 DC leveling

그림 3은 유효성분 누설전류 검출을 위한 알고리즘의 순서도이다. 먼저 전원전압을 검출하고 영교차점을

검출한 뒤, ZCT에서 입력되는 합성 누설전류와 연산 처리하여 저항성 누설전류 I_{gr}을 구한다. 연산 처리를 통해 구해진 저항성 누설전류가 임계값보다 크면 릴레이를 차단하고, 차단임계값보다 작으면 통과시킨다.

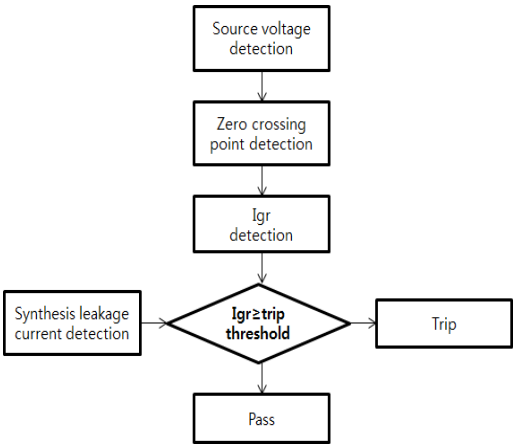

그림 3. 유효성분 누설전류 검출 알고리즘 순서도

Fig. 3 Active leakage current detecting algorithm block diagram

본 연구에서는 인체에 영향을 미칠 수 있는 저항성 누설전류인 6mA를 차단 임계값으로 설정하고, 표준 안전규격인 0.03초 이내에 차단하는지 실험하였다. 그림 4와 같이 6.5mA의 저항성 누설전류, 20.0mA의 용량성 누설전류 즉, 합성 누설전류 20.0mA를 통과시키고 영상변류기에 오실로스코프의 1번 채널을 연결해 저항성 누설전류의 파형을 확인하고 2번 채널은 릴레이에 신호가 나오는 부분에 연결하여 저항성 누설전류가 차단되는 파형을 확인하였다.

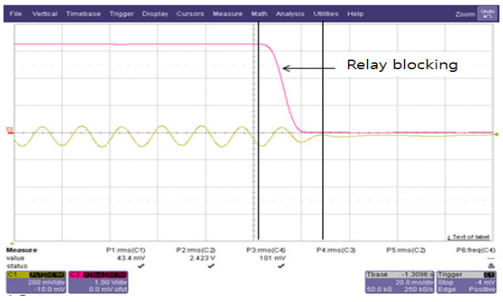

그림 4. 6mA 저항성 누설전류 차단 파형

Fig. 4 6mA resistive leakage current blocking signal

표 1은 저항성 누설전류 차단 임계값을 6mA 설정하고 저항성 누설전류가 각각 5.5mA 및 6.5mA 일 때 실험결과 값으로, 용량성 누설전류의 변화에 상관없이 저항성 누설전류만을 감지하여 차단됨을 알 수 있다.

표 1. 저항성 누설전류 차단 상태

Table 1. resistive leakage current blocking state

resistive leakage current	capacitive leakage current	synthesis leakage current	trip state
5,5mA	5mA	7.3mA	pass
5,5mA	15mA	15.8mA	pass
5,5mA	25mA	25.4mA	pass
6,5mA	5mA	8.1mA	trip
6,5mA	15mA	16.2mA	trip
6,5mA	25mA	25.7mA	trip

그림 5는 오실로스코프로 측정한 저항성 누설전류 차단한 시간 신호이다. 차단시간의 정확성을 확인하기 위해 30번의 차단실험을 반복하였을 때, 26ms~30ms 사이에서 동작하는 것을 확인 할 수 있었다.

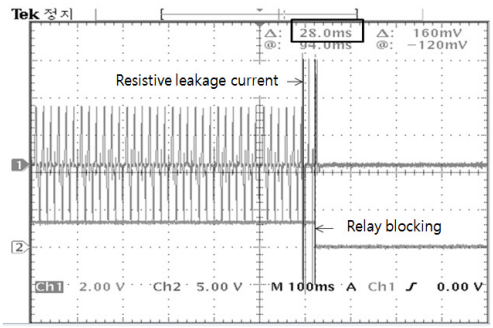

그림 5. 저항성 누설전류 차단시간

Fig. 5 Resistive leakage current blocking time

Ⅵ. 결 론

전기재해로 인한 사고를 미연에 방지하기 위해 사용되고 있는 방법은 누전차단기가 유일하다. 기존의 누전차단기는 KS C 4613 한국공업규격에 의해서 합

성 누설전류 15~30mA에서 동작함으로써 실질적인 위험요인인 저항성 누설전류만을 검출하지 못해 화재와 인체감전의 위험에 노출되어 있다.

본 연구에서는 화재, 인체감전을 일으키는 누전차단기의 한계를 인식하고, 누전차단기가 가지고 있는 위험성을 보완하기 위해서 저항성 누설전류 검출 기법을 이용하여 알고리즘을 개발하였다. 제안된 저항성 누설전류 검출 알고리즘을 16 bit 신호처리 프로세서인 MSP430에서 프로그램으로 구현하였다. 구현된 저항성 누설전류 검출 및 차단 알고리즘은 차단 임계값을 임의로 조정이 가능하며 KS C 4613에서 규정하는 차단시간 0.03초 이내에 차단 임계값을 초과하면 자동적으로 저항성 누설전류를 차단하도록 설계하였다.

본 연구에서 개발된 저항성 누설전류 검출 모듈과 기존의 누전차단기의 특성실험에서는 저항성 누설전류 검출 모듈이 KS C 4613 한국공업규격을 바탕으로 설계된 누전차단기보다 화재사고에 대해 더 안전한 특성을 지니는 것을 확인하였고, 인체감전 실험에서는 6mA의 차단 임계값을 설정하고 한 실험에서는 UL규격의 GFCI와 같은 인체감전 보호용 누전차단기와 같은 차단특성을 보이는 것을 확인하였다.

감사의 글

본 논문은 2015년도 남서울대학교 학술연구비 지원에 의해 연구되었음.

References

[1] Y. Han and D. Kim, "The development of a android application for intelligent outlets," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 9, no. 4, 2013., pp. 447-452.

[2] K. Ban, K. Yoon, J. Park, M. Nam, and N. Kim, “The design of control algorithm for leakage current detection and blocking," *Int. and Control Proc.*, 2003, pp. 417-420.

[3] C. Shoi, H. Kim, and D. Kim, "Flame Spread and Damaged Properties of RCD Cases by Tracking," *IEEE Trans. PE*, vol. 127, no. 1, 2007, pp.321-326

[4] Korea Industrial Standards, KS C 4613, Korea Industrial Standards Association, 2006.

[5] IEC 61009-1 : Residual current operated circuit-breakers with integral over current protection for household and similar uses(RCBO's) : General rules, 2002.

[6] Y. Go, “The Arc Fault Determination Method for the Electric Fire Prevention," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, Vol. 3, No. 4, pp. 260-265, 2008.

[7] Texas Instruments, "MSP430x4xx Family User's Guide," *Texas Instruments Document*, pp. 1-946, 2013.

[8] Y. Han, "The development of a Leakage Current Detection Module for outlets," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 9, no. 4, 2013, pp. 447-452.

[9] S. Ham, S. Han, and C. Go, "The New Earth Leakage Breaker Operating with Resistive Leakage Current," *J. of the Korean Institute of Electrical Engineerings*, vol. 57, no. 2, 2008, pp. 198-207.

저자 소개

한영오(Young-Oh Han)

1986년 연세대학교 전기공학과 졸업(공학사)

1989년 연세대학교 대학원 전기공학과 졸업(공학석사)

1996년 연세대학교 대학원 전기공학과 졸업(공학박사)

1996년 남서울대학교 전자공학과 교수

※ 관심분야 : 디지털신호처리, 헬스케어 시스템, 웨어러블 디바이스