

ARM 프로세서를 이용한 저항성 누전 차단기 개발

이현도

The Development of Resistive Leakage Current Circuit Breaker using a ARM Processor

Hyun-Do Lee

요약

본 연구에서는 저항성 누설전류를 검출 및 차단할 수 있는 누전차단기를 32 bit ARM 프로세서를 기반으로 개발하였다. 개발된 누전차단기는 기술표준규격(KS C 4613)에서 규정하는 0.03초 이내에 저항성 누전을 차단할 수 있도록 구현되었다. 이러한 누전차단기는 스마트분전반에서 전기화재 및 감전 예방을 위한 차단기로 사용될 수 있을 것으로 기대된다.

ABSTRACT

In this study, we have developed the resistive leakage current detecting and tripping circuit breaker based on a 32bit ARM processor. The developed leakage circuit breaker can be operated in a desired trip threshold within 0.03 seconds as specified in KS C 4613. This resistive leakage current breaker is expected to be applicable as a circuit breaker for prevention of electric fires and electric shock in smart distribution panel.

키워드

ELCB, Resistive Leakage Current, Capacitive Leakage Current, Smart Distribution Panel, ARM Processor
누전 차단기, 저항성 누설 전류, 용량성 누설 전류, 스마트 분전반, ARM 프로세서

1. 서론

미국에서 UL 943 Class 'A'의 인체 보호용 누전차단기는 트립(trip) 전류를 5mA로 매우 엄격하게 적용하고 있다. 2006년 2월에 발표된 UL 규정에서는 '누전 차단기의 실효성'을 검토한 결과, 1970년 이전에는 연간 700명 이상 감전사망에서 2001년까지 점차 400명 선까지 감전사망 수가 감소 추세지만, 설치된 지 얼마간의 시일이 경과된 누전차단기에 고장이 발생한다는 현장조사를 근거로 2006년 7월부터는 생산중인

모든 누전차단기의 생산을 중지하고 신규기능의 추가를 의무 권고하였다. 유럽 RCCB(Residual Current Circuit Breaker)의 경우 30mA 합성 누설전류이고, 미국 이외의 북미 GFCI(Ground Fault Circuit Interrupt)는 약 5mA~6mA의 저항성 누설전류로 차단전류로 제한하고 있다[1].

2003년 2월 산자부의 전기설비기술기준 개정고시에 의하면 인체 보호용 누전차단기는 15mA 이하에서, 0.03초 이내로 차단되도록 되어 있으나 UL 기준에 비해 다소 위험수준이라 할 수 있다. 국내의 현재 KS

* 교신저자 : 토즈테크(주)
• 접수일 : 2017. 06. 30
• 수정완료일 : 2017. 07. 13
• 게재확정일 : 2017. 08. 01

• Received : Jun 30, 2017, Revised : July 13, 2017, Accepted : Aug 01, 2017
• Corresponding Author : Hyun-Do Lee
Dept. TozzTech
Email : happy-4911@hanmail.net

C 4613 누전차단기 규격은 트립 전류를 30mA 이상으로 되어 있으나, 15mA 이상은 치사 수준임을 고려하면 이것은 UL 기준보다 훨씬 초과하는 수치임을 알 수 있다.

한국공업규격 KS C 4613에 의해 일반장소 30mA, 습기장소 15mA 이하의 누설전류를 0.03초 내에 차단하도록 규정되어 있다[2]. 그러나 일반적으로 대략10~20mA의 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 기존 누전차단기에만 의존해서는 전기화재로부터 안전을 보장받지 못하고 있다[3]. 따라서, 전기설비 인입부에 설치되는 누전차단기에 전기화재의 주된 원인인 저항성 누설전류(I_{gr})만을 검출할 수 있는 기능을 내장함으로써, 일반적인 누전차단기에서 검출하지 못하는 저항성 누설전류만을 감지하여 전기화재, 인체감전사고 및 전기설비 사고를 예방할 필요가 있다[4].

기존의 누전차단기는 유효성분 누설전류와 용량성 누설전류의 벡터합인 합성 누설전류를 기준으로 하는 차단특성을 갖기 때문에 유효성분 누설전류는 물론 용량성 누설전류에 의해서도 트립된다. 따라서, 실제 감전 및 전기화재에 영향을 미치는 유효성분의 저항성 누설전류와 전선과 대지 간에 대지정전용량 또는 디지털 장비 전원공급기의 고조파에 의한 무효성분의 용량성 누설전류를 각각 분리하여 누전차단기의 트립 동작전류로 하는 연구가 진행되고 있다.

본 연구에서는 저항성 누설전류 검출 알고리즘을 32bit ARM 프로세서로 구현 및 모듈화하여 스마트분전반에 적용될 수 있는 지능화된 누전감지기[5-7]를 개발하고자 한다.

II. 저항성 누전차단기

본 연구에서는 저항성 누설전류 검출 알고리즘 개발을 위하여 위상차 측정을 이용한 누설전류 검출기법을 사용하였다. 전압검출부에서 검출된 전압을 기준 전압으로 하여 영상변류기에서 측정된 누설전류에 용량성 누설전류의 성분이 흐를 때 위상차 θ 를 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[8-10].

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 같다.

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

전원전압 v 는 정현파이므로 식 (2)와 같이 나타낸다.

$$v = \sqrt{2} V \sin(\omega t) \quad (2)$$

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

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

여기서, I_o 는 합성 누설전류(i_o)의 실효치이며 θ 는 전원전압(v)와 합성 누설전류(i_o)와의 위상각이다. 이 때, i_o 를 전원전압(v)의 극성이 '양'인 구간 ($0 < \omega t < \pi$)에서 적분한 값을 K_1 , '음'인 구간 ($\pi < \omega t < 2\pi$)에서 적분한 값을 K_2 라 하면 식 (4)와 같다.

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

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

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.

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

따라서, 저항성 누설전류 I_{gr} 은 영상변류기에서 검출되는 합성 누설전류 I_g 를 A/D 변환 후, 32bit ARM 프로세로에서 전원전압의 반주기 동안을 적분하면 얻을 수 있다.

그림 1은 저항성 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, 차단 임계치보다 작으면 통과시킨다.

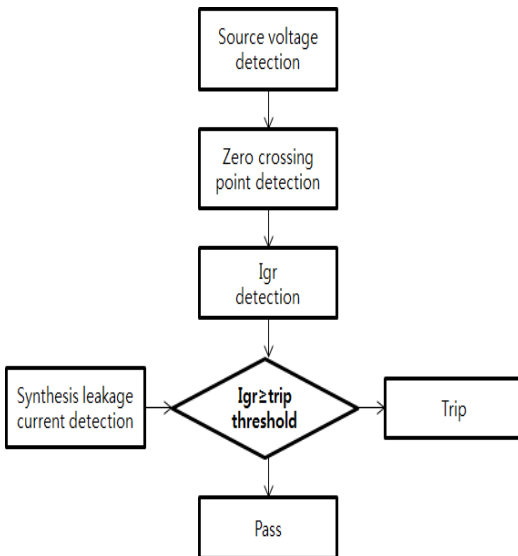


그림 1. 저항성 누설전류 검출 알고리즘 순서도
Fig. 1 Resistive leakage current detecting algorithm flow chart

그림 2는 본 연구에서 개발한 저항성 누전차단기의 구성도를 나타낸다. ARM Cortex M0 32비트 프로세서[7]는 입력된 합성 누설전류를 저항성과 용량성 누설전류로 각각 분해한 후, 저항성 누설전류를 기반으로 트립을 제어하도록 설계하였다. 또한 향후 기능 확장을 고려하여 출력단에 그래픽 입출력과 무선통신 기능을 추가하였다.

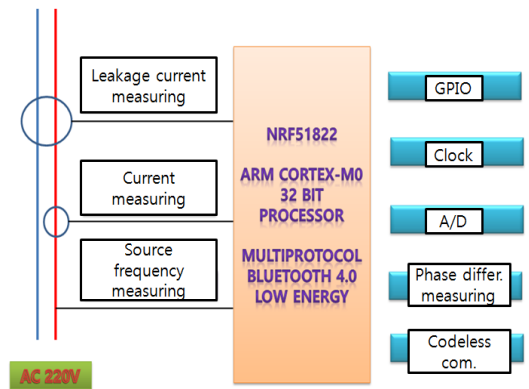


그림 2. 저항성 누전 차단기 회로 구성도
Fig. 2 Resistive leakage current circuit breaker circuit block diagram

III. 실험 및 고찰

그림 3과 그림 4는 본 연구에서 사용한 ARM Cortex M0 32비트 프로세서의 실물사진 및 내부구조를 각각 나타낸다[11].

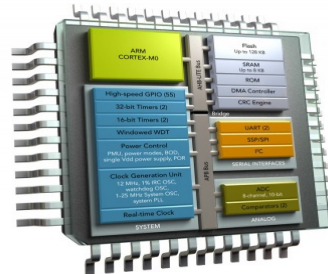


그림 3. ARM Cortex M0 32비트 프로세서
Fig. 3 ARM Cortex M0 32 bit processor

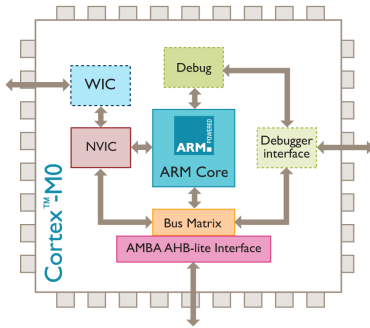


그림 4. ARM Cortex M0 32비트 프로세서 구조
Fig. 4 ARM Cortex M0 32 bit processor structure

구현한 저항성 누설전류 검출 모듈의 성능을 확인하기 위하여 IEC 61008-1 규격의 누전 테스트 회로를 기반으로 제작된 I_{gr} Leakage Analyzer를 사용하였다. I_{gr} Leakage Analyzer는 저항성 누설전류와 용량성 누설전류에 대해 각각 $\pm 3\%$ 의 허용오차를 가진다. 그림 5는 누설전류 검출 알고리즘을 바탕으로 개발된 모듈 테스트를 위한 실험환경을 나타낸다.

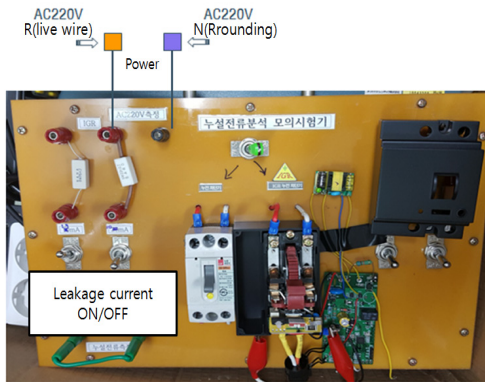


그림 5. 실험 환경
Fig. 5 Experiment environment

그림 6에서와 같이 전원선에 220V, 60Hz 전원을 인가한 후, 부하에 누설전류를 흘려 차단되는 시간을 측정하였다.

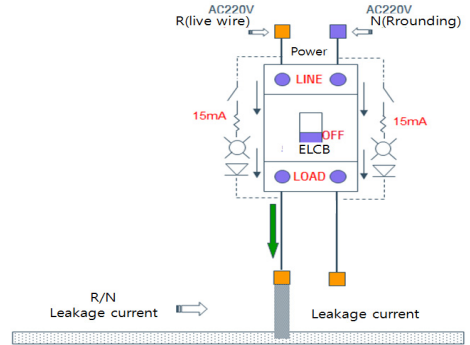
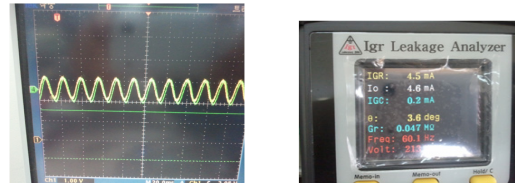
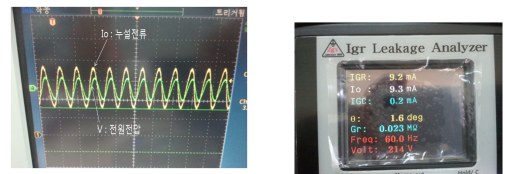


그림 6. 누설전류 측정 방법
Fig. 6 Leakage current measuring method

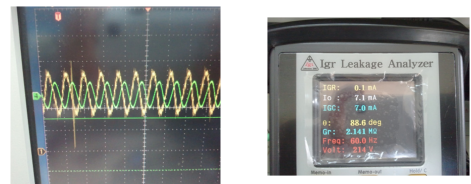
그림 7은 그림 6의 방법으로 각각 세 가지 경우의 저항성 누설전류(I_{gr}), 용량성 누설전류(I_{gc}), 합성 누설전류(I_o)를 인가한 후, 측정한 파형 및 측정치를 나타낸다.



(a) $I_{gr}=4.5\text{mA}$, $I_{gc}=0.2\text{mA}$, $I_o=4.6\text{mA}$



(b) $I_{gr}=9.2\text{mA}$, $I_{gc}=0.2\text{mA}$, $I_o=9.3\text{mA}$



(c) $I_{gr}=0.1\text{mA}$, $I_{gc}=7.0\text{mA}$, $I_o=7.1\text{mA}$

그림 7. 누설전류 파형 및 측정치
Fig. 7 Leakage current signals and measuring values

그림 8은 저항성 누설전류 15mA에서 누전차단기가 트립되는 파형을 나타낸다.

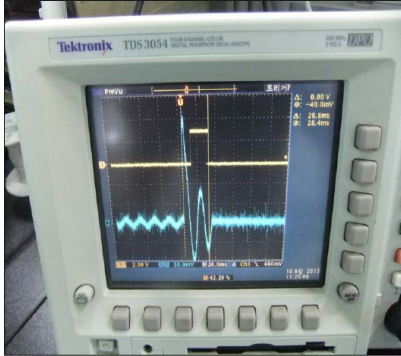


그림 8. 저항성 누설전류 차단 파형
Fig. 8 Resistive leakage current blocking signal

그림 9는 본 연구에서 개발한 저항성 누전차단기와 기존 누전차단기의 트립 특성을 비교한 그래프이다. 저항성 누전차단기는 기존 누전차단기와 달리 저항성 누설전류(I_{gr})에 민감하지만 용량성(I_{gc}) 누설전류에는 둔감한 특성을 보여주고 있다. 그림 10은 개발된 저항성 누전차단기의 실물 사진이다.

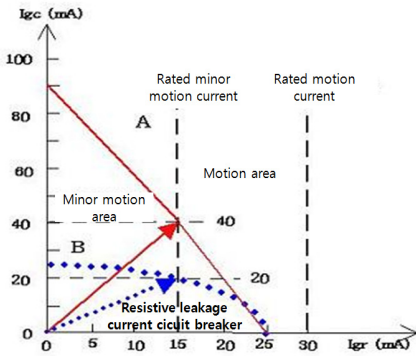


그림 9. 저항성 누전차단기 회로 구성도
Fig. 9 Resistive leakage current circuit breaker circuit block diagram

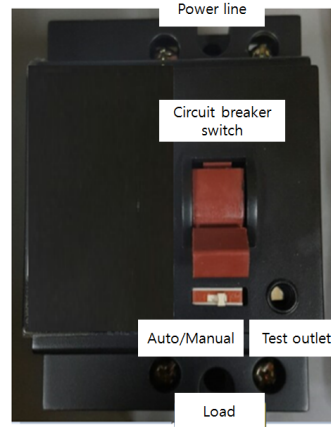


그림 10. 저항성 누전차단기 실물 사진
Fig. 10 Resistive leakage current circuit breaker real image

VI. 결 론

기존의 누전차단기는 KS C 4613 한국공업규격에 의해서 정격부동작전류 15mA, 정격감도전류 30mA에서 트립동작하여 실질적인 위험요인인 저항성 누설전류만을 검출하지 못해 화재와 인체감전의 위험에 노출되어 있다.

본 연구에서 개발한 저항성 누전차단기는 ARM Cortex M0 32비트 프로세서를 MCU로 하여 설계되었다. 실험 결과, KS C 4613에서 규정하는 차단시간 0.03초 이내에 차단 임계치를 초과하면 자동적으로 저항성 누설전류가 차단되었다. 본 제품은 차단 임계치를 5mA까지 설정 가능함으로써 트립 해상도가 우수한 특성이 있어 어린이나 노약자의 감전 예방에 유리한 것으로 판단된다. 또한, 기존 누전차단기와 달리 저항성 누설전류에 민감하지만 용량성 누설전류에는 둔감한 특성을 보여줌으로써 고조파 및 노이즈가 많은 장소에서도 오동작 없이 작동할 수 있다.

향후 현재 개발된 기술을 좀 더 개선하여 스마트본 전반에 적용될 수 있는 지능화된 누전차단기를 개발하고자 한다.

감사의 글

본 논문은 2016년도 산업통상자원부 에너지기술 개발사업의 연구비 지원에 의해 연구되었음.

References

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

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

[3] KESCO, "A Statistical Analysis on the Electrical Accident. Report," *Electric Shocks*, 2015, pp. 3:1-15.

[4] S. Ham S. Han, and C. Go, "The New Earth Leakage Breaker Operating with Resistive Leakage Current," *J. of the Korean Institute of Electrical Engineering*, vol. 57, no. 2, 2009, pp. 198-207.

[5] 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, 2008, pp. 260-265.

[6] Y. Ko, "Development of the Intelligent Switchgear for the Prevention of the Electrical Fire - PART II : The Prototype-Making of Arc-Fault Diagnosis Device," *Proc. of Int. Conf. on Electronic Information and Communication 2015*, vol. 9, no. 1, Goesan, Korea, June 2015, pp. 362-365.

[7] H. Moon, Y. Lim, D. Kim, and S. Lee, "A Study on the Standardization of Smart Distribution Board for Electrical Safety," *J. of the Korean Institute of Electrical Engineering*, vol. 65, no. 1, 2016, pp. 227-231.

[8] 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.

[9] 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.

[10] Y. Han, "The Implementation of active leakage current detecting algorithm based on 16bit signal processor," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 11, no. 6, 2016, pp. 605-610.

[11] Texas Instruments, "ARM Cortex M Family User's Guide," *Texas Instruments Document*, 2015, pp. 450-576.

저자 소개



이현도(Hyun-Do Lee)

2007년 남서울대학교 졸업 (공학사)

2007년 ~ 2015년 필컴퍼니 기술연구소

2015년 ~ 2017년 토즈테크 기술연구소

※ 관심분야 : 전기전자 , IOT