

적분기를 이용한 저항성 누전전류 작동방식 누전차단기 개발

함승진, 한송엽*, 고창섭
충북대학교 전기공학과, 서울대학교*

Development of an Earth Leakage Breaker Operating by Resistive Leakage Current using a Resettable Integrator

Seung Jin Ham, Song Yop Hahn*, Chang Seop Koh
Dept. of Electrical Eng. Chungbuk National University, Seoul National University*

Abstract - The former earth leakage breaker is operating by total leakage current which is the vector-sum of resistive leakage current and capacitive leakage current. However, the electric disaster like the electric shock and fire is caused mainly by resistive leakage current. Therefore, the earth leakage breaker is ideal when it is operating by resistive leakage current. In this paper, the theory for finding the component of resistive leakage current from total leakage current is suggested and it is embodied to actual circuit. The resistive leakage current can be found by integrating the total leakage current during half cycle of line voltage. Thus, we can simply find resistive leakage current by using OP-AMP integrators, and we can confirm that the resistive leakage current is computed exactly from total leakage current obtained by resistive leakage current and capacitive leakage current. The results that the earth leakage breaker is operating within regular interrupt time are verified when the former earth leakage breaker's controller circuit is replaced by the proposed controller circuit.

1. 서 론

교류전선로에서 전선로나 부하기기의 대지절연저항의 열화로 인해 누전전류가 흐르면 감전사고 또는 전기화재가 발생한다. 따라서 현재 누전차단기를 설치하여 기준치 이상의 누전전류가 흐르면 전로를 차단시키는 방법을 사용하고 있다. 그런데 누전으로 인한 전기재해는 저항성 누전전류에 의해 발생하므로 누전차단기도 저항성 누전전류에 동작하는 것이 바람직하다. 그러나 현재 누전차단기는 전선로의 대지절연저항 열화에 의한 저항성 누전전류와 선로 대지정전용량에 의한 용량성 누전전류와의 합성 누전전류에 의해 동작하는 방법을 택하고 있기 때문에 용량성 누전전류가 비교적 큰 선로에서는 차단에 대한 신뢰성이 없다.

그래서 저항성 누전전류에 의해 동작하는 누전차단기에 대한 활발한 연구로 현재 국·내외에 특허들이 등록되어 있다. 대표적 예로는 전원 전압과 합성누전전류와의 위상차를 마이크로프로세서를 이용하여 산출하고 일련의 연산과정을 통해 저항성 누전전류를 산출하는 방법이 있다 [4,5]. 그러나 이 방법은 회로의 연산 과정이 복잡하기 때문에 회로의 부피 또한 커지게 되므로 제작단가의 상승과 더불어 실제로 회로의 구현과 응용에 있어서 기술적으로 많은 어려움이 따랐다.

따라서 본 논문에서는 이러한 문제점을 극복하기 위해 새로운 저항성 누전전류를 산출하는 원리를 제시하고 실제로 구현 하였다. 제작된 회로는 저항성 누전전류를 별도의 복잡한 연산과정 없이 직접 산출하는 방법을 이용함으로써 회로를 기존의 것 보다 간단하게 구현 할 수 있었다. 그리고 제작된 회로에 의한 누전전류 차단실험을 통하여 타당성을 검증 하였다.

2. 누전전류 성분 및 종래 누전차단기의 문제점

그림 1에서 보면 대지정전용량으로 인한 용량성 누전전류 I_C 와 부하기기 및 전선로의 대지절연저항 열화에 의한 저항성 누전전류 I_R 의 합성 누전전류는 I_G 이다.

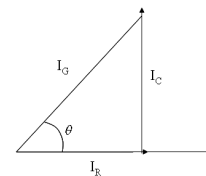
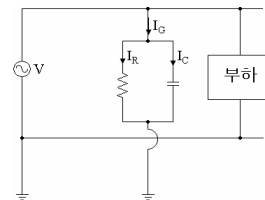
여기서 합성 누전전류 I_G 는 I_R 과 I_C 와의 벡터합성이므로 다음과 같은 식으로 표현된다.

$$I_G = \sqrt{I_R^2 + I_C^2} \quad (1)$$

따라서 저항성 누전전류 I_R 및 용량성 누전전류 I_C 의 크기는 다음과 같이 표현된다.

$$I_R = I_G \cos \theta, \quad I_C = I_G \sin \theta \quad (2)$$

현재 국내에서 사용되고 있는 누전차단기는 누전전류 즉 합성누전전류 I_G 가 30mA 이상이 되면 작동하게 되어있다 [1,2,4]. 그런데 전기재해를 일으키는 누전전류 성분은 저항성 누전전류 I_R 이므로 종래의 누전차단기는 용량성 누전전류가 비교적 큰 선로에서는 차단의 신뢰성이 떨어진다. 따라서 누전차단기는 저항성 누전전류 I_R 에 의하여 작동되는 것이 가장 이상적이다.



<그림 1> 누전 전류의 성분

3. 새로운 저항성 누전전류 산출 원리

저항성 누전전류 I_R 를 산출하려면 우선 합성누전전류 순시치 i_g 와 전원전압과의 위상차 θ 를 알아야 한다. 따라서 그림 2와 같이 전원변성기 (current transformer)에 의해 측정된 합성누전전류 순시치를 i_g 라 하면 전원전압과의 위상차 θ 는 전원전압의 순시치 v_1 과 합성누전전류 순시치 i_g 와의 위상차로 얻을 수 있다.

전원전압의 순시치 v_1 을

$$v_1 = \sqrt{2} V \sin(\omega t) \quad (3)$$

라 하자. 여기서 V 는 전원전압의 실효치이고 $\omega = 2\pi f$ 이고 f 는 전원전압의 주파수이다.

따라서 합성누전전류 순시치 i_g 는

$$i_g = \sqrt{2} I_G \sin(\omega t + \theta) \quad (4)$$

로 표현될 수 있다.

합성누전전류 순시치 i_g 를 $\omega t = 0$ 에서 π 까지 적분한 값을 S_a 라 하면

$$\begin{aligned} S_a &= \int_0^\pi i_g d(\omega t) \\ &= \sqrt{2} I_G [-\cos(\omega t + \theta)]_0^\pi \\ &= -2\sqrt{2} I_G \cos \theta \\ &= K I_R \end{aligned} \quad (5)$$

가 된다.

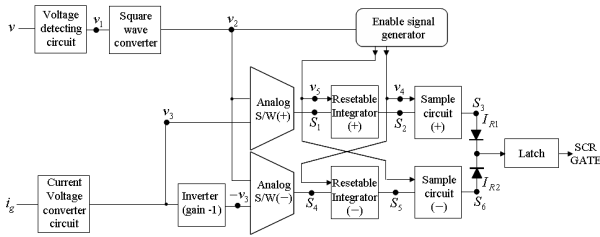
여기서 $K = -2\sqrt{2}$ 이고 상수이다. 따라서 S_a 는 저항성 누전전류 I_R 에 비례한다.

또한 합성누전전류 순시치 $-i_g$ 를 $\omega t = \pi$ 에서 2π 까지 적분한 값을 S_b 라 하면

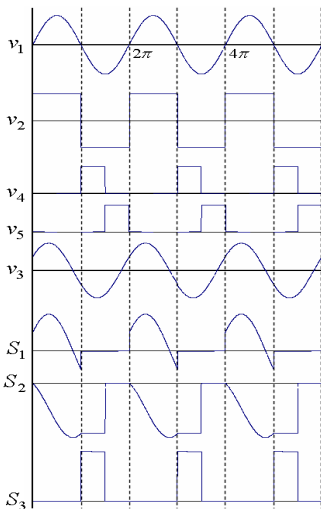
$$\begin{aligned} S_b &= \int_{\pi}^{2\pi} -i_g d(\omega t) \\ &= \sqrt{2}I_G [\cos(\omega t + \theta)]_{\pi}^{2\pi} \\ &= -2\sqrt{2}I_G \cos\theta \\ &= K I_R \end{aligned} \quad (6)$$

가 된다.

여기서 $K = -2\sqrt{2}$ 이고 상수이다. 따라서 S_b 도 저항성 누전전류 I_R 에 비례한다. 즉 저항성 누전전류 I_R 은 합성누전전류 순시치 i_g 를 적분기로 적분하여 얻을 수 있다. S_4, S_5, S_6 의 파형은 각각 S_1, S_2, S_3 와 같으며 180° 만큼 위상차를 갖는다. 위에서 설명한바와 같이 출력전압 S_3 와 S_6 은 저항성 누전전류 I_R 이 된다. 그림 3은 그림 2의 회로 블록 다이어그램에서 각 노드 전압파형의 한 예이다.



<그림 2> 저항성 누전전류 I_R 산출을 위한 회로 블록 다이어그램



<그림 3> 그림 2에서 각 노드의 전압파형(시뮬레이션 예)

4. 누전차단 실험

누전차단 실험을 위하여 기존 누전차단기(동작전류 30mA, 차단시간 30ms)내의 제어회로를 제거한 후 본 연구에서 고안된 제어회로(I_R 산출 회로 및 SCR동회로)를 접속시킨 후 누전실험 회로를 구성하였다.

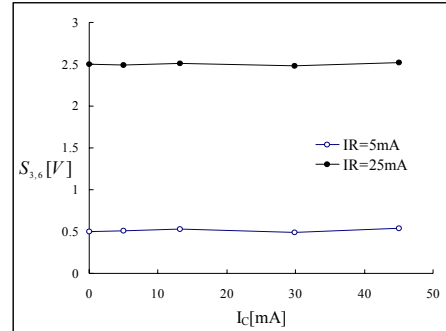
4.1 전선로에 I_R 과 I_C 가 동시에 흐르는 경우 회로 출력

전선로에 용량성 누전전류 I_C 가 흐르고 있는 상태에서 저항성 누전전류 I_R 이 흐르는 경우 저항성 누전전류 I_R 을 정확하게 산출하는지 알아보기 위한 실험이다. 저항성 누전전류 I_R 이 각각 5mA, 25mA가 흐르도록 고정된 상태에서 용량성 누전전류 I_C 를 변화시켰다. 결과는 그림 4를 보면 알 수 있듯이 회로의 출력은 용량성 누전전류 I_C 가 증가함에 도 불구하고 변하지 않고 일정하게 출력됨을 알 수 있다. 본 연구에서는 누전전류가 1mA흐를 때 회로의 출력이 0.1V가 되도록 증폭비를 고정하였다.

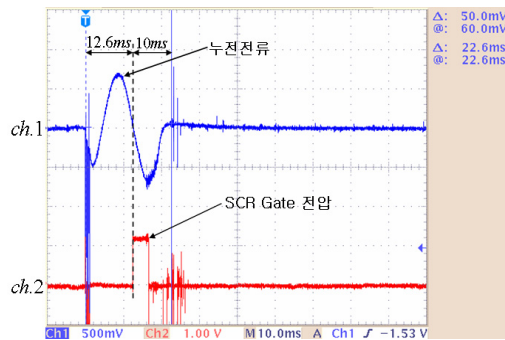
4.2 누전전류 차단시간 측정

그림 5는 제작된 회로의 누전전류 차단시간을 보여 준다. 여기서 ch.1은 그림 2의 회로 블록 다이어그램에서 합성 누전전류 신호 v_3 에 해당하

는 전압신호이고 ch.2는 차단기내의 트립코일에 전류를 인가하기 위한 SCR의 GATE전압신호 이다. ch.2신호는 Latch 비교기(그림 2참조)에서 출력된 신호로서 최초 12.6ms에서 출력되었다. 그리고 누전차단기의 기계적인 동작시간에 의해 약 10ms이후인 약 22.6ms에서 누전전류가 완전히 차단됨을 볼 수 있다. 제작된 회로는 어떠한 경우라도 합성 누전전류 I_C 를 적분하여 1주기(60Hz 기준, 16.67ms)내에 저항성 누전전류 I_R 을 산출한다.



<그림 4> I_C 변화에 따른 회로출력



<그림 5> 누전전류 차단시간 테스트

3. 결 론

종래의 누전차단기는 저항성 누전전류와 용량성 누전전류의 합인 합성 누전전류에 의하여 동작한다. 그런데 감전이나 전기화재와 같은 전기 재해는 저항성 누전전류에 의하여 발생하므로 저항성 누전전류에 의하여 누전차단기가 동작하도록 하는 것이 이상적이다.

본 논문에서는 합성 누전전류에서 저항성 누전전류 성분을 산출할 수 있는 이론을 제시하였고 이것을 실제회로로 구현하였다. 저항성 누전전류는 합성 누전전류를 전원의 반주기 동안 적분하여 얻을 수 있다. 따라서 OP-AMP 적분기를 이용하여 간편하게 저항성 누전전류를 구할 수 있었다. 저항성 누전전류와 용량성 누전전류가 합쳐진 합성 누전전류에서 저항성 누전전류를 정확하게 산출함을 확인 하였다.

종래의 누전차단기에서 제어회로를 제거하고 본 연구에서 제안한 제어회로를 대치한 후 차단시간을 시험한 결과 규정시간 내에 동작함을 확인 하였다.

본 논문에서 제안한 제어회로를 이용하면 누전차단전류를 현재의 30mA에서 5mA 수준까지 낮출 경우라도 용량성 누전전류로 인한 차단기의 오동작을 없앨 수 있어 수용가에 신뢰성 있는 전력을 공급할 수 있고, 저항성 누전전류의 누전으로 인한 전기 재해를 현저하게 줄일 수 있을 것으로 기대된다.

[참 고 문 헌]

- [1] LS 산전, 누전차단기 기술자료
- [2] 이재복 외 4명, "누전차단기의 뇌씨지 동작특성 분석 및 오동작 대책", 대한전기학회 논문지, Vol. 51C, No. 10, pp. 479~484, 2002. 10.
- [3] 길경성, 한주섭, 주문노, "누설전류측정에 의한 피뢰기 열화진단에 있어 전원고조파의 영향", 대한전기학회 논문지, Vol. 52C, No. 1, pp. 42~46, 2003. 1.
- [4] 반기중, 김낙교, "미소 누전전류 검출 및 차단제어기 설계", 대한전기학회 논문지, Vol. 53D, No. 3, pp. 161~165, 2004. 3.
- [5] 가부시기가이샤 도마토, "누설 전류 측정 장치", 대한민국특허청, 특 2003-0042661, 2003. 6.