

새로운 저항성 누전전류 검출회로 및 누전차단제어기 개발

함승진, 한송엽*, 고창섭
충북대학교 전기공학과, 서울대학교*

New Algorithm for Measuring Resistive Leakage Current and Development of ELB Controller

Seung Jin Ham, Song Yop Hahn*, Chang Seop Koh

Dept. of Electrical Eng. Chungbuk National University, Seoul National University*

Abstract - The conventional method used low pass filter for computing resistive leakage current from total leakage current. Therefore, it takes long time for computation. In this paper, a new algorithm is proposed to reduce the computation time. In the theory, the resistive leakage current is computed exactly from the signals during only a half period of power voltage. The suggested method uses integrator and sample-hold circuit and it is confirmed to be able to measure the resistive leakage current from total leakage current by simulation.

1. 서 론

누전차단기(Earth Leakage Current Braker, ELB)는 누전전류에 의한 전기화재 또는 인체 감전사고 등을 방지하기 위하여, 기준치 이상의 누전전류가 흐르는 경우 회로를 차단하는 장치로 모든 전선로에 의무적으로 설치하도록 규정하고 있다[1,2]. 전선로에 흐르는 누전전류는 저항성 누전전류(Resistive leakage current)와 용량성 누전전류(Capacitive leakage current)로 구성된다. 저항성 누전전류는 전원전압과 통상인 성분으로 전선로의 대지 절연저항 또는 전선로에 접속된 전기기기의 대지 절연저항의 열화가 주된 요인이다. 한편 용량성 누전전류는 전원전압보다 위상이 90° 빠른 성분으로 전선로와 대지사이의 정전용량 또는 접속된 전기기기의 대지 정전용량으로 인하여 흐르게 된다.

현재 이용 중인 누전차단기는 저항성 누전전류는 물론 용량성 누전전류에 의해서도 동작하여 회로를 차단하게 된다. 따라서 용량성 누전전류가 아주 작은 경우에는 그 동작에 별 문제가 없지만, 전선로에 용량성 누전전류가 많이 흐르는 경우에는 저항성 누전전류가 아주 작은 경우에도 회로를 차단하게 된다. 이는 누전차단기의 오동작에 의하여 회로가 차단됨을 의미하여 이로 인하여 많은 문제들이 야기되고 있다 [3]. 또한 누전으로 인한 전기재해는 저항성 누전전류에 의해 발생하므로 누전전류에 의한 전기재해를 방지한다는 관점에서 보면 누전차단기는 마땅히 저항성 누전전류에 의하여 동작하여야 한다.

저항성 누전전류 검출법이 동작시간 규정치가 30ms인 누전차단기에 적용되기 위해서는 현재 이용 중인 차단기 개폐기구의 동작시간 (대략 6ms)을 감안할 때, 저항성 누전전류의 검출시간이 24ms 이하라야 한다. 그러나 종래에 제안된 방법들은 큰 시정수를 갖는 저역통과 필터(Low pass filter)를 이용하여 저항성 누전전류를 산출하기 때문에 검출 시간이 과다하여 대부분 누전차단기에 적용하기에는 부적합하다[4,5].

따라서 본 논문에서는 저항성 누전전류 검출시간이 이론상 8.3ms이하인 새로운 누전전류 검출기법을 제안하고, 이를 PSIM 프로그램을 이용한 시뮬레이션을 통

여 다양한 누전전류가 흐를 경우 정확하게 저항성 누전전류를 검출하는지 검증하였다.

2. 종래의 저항성 누전전류 검출법

2.1 승산기(Multiplier)를 이용한 검출법

그림 1은 승산기와 저역통과필터를 이용하여 저항성 누전전류를 얻는 방법을 나타낸 것으로, 전원전압으로부터 얻어진 동기신호 S 와 영상변류기로부터 얻어진 합성 누전전류신호 V_G 를 승산연산 하여, 그 출력 P 에서 저역통과필터를 이용하여 평균치 \bar{P} 를 얻어내는 일련의 방식을 가진다[4]. 여기서 \bar{P} 는 저항성 누전전류의 실효치에 비례한다. 이 방법은 평균치($\bar{P} = I_R$)를 얻는 과정에서 저역통과필터를 사용하였는데, 이 필터는 출력의 오차율을 줄이기 위해 큰 시정수를 갖는 R-C필터로 설계되어지기 때문에 연산 시간이 과다하게 소요되므로 누전차단기의 적용에는 부적합 하다.

2.2 아날로그 스위치를 이용한 검출법

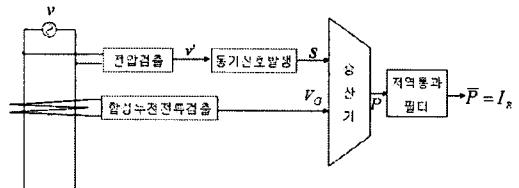


그림 1 승산기를 이용한 저항성 누전전류 산출방법

승산기를 이용한 방법은 동기신호 S 및 V_G 크기에 따라 P 의 크기가 변하지만, 아날로그 스위치를 이용한 방법은 I_R 의 크기에만 영향을 받는다. 또한 아날로그 스위치는 보통 저가의 트랜지스터로 구현이 가능하기 때문에 승산기 보다 회로구성을 간단하고, 저렴하게 구현하기에 적합한 이점이 있다. 그림 2는 아날로그 스위치를 이용하여 저항성 누전전류를 검출하는 방법을 나타내고 있다 [5]. 이 방법 역시 저역통과필터를 이용하여 신호 P 에서 평균치 \bar{P} 를 얻어내고 있어, 결국 승산기를 이용한 방법과 동일한 단점을 가지고 있다. 따라서 두 방법 모두 저항성 누전전류 측정 장치의 적용은 가능하나 누전차단기 적용은 불가능하다.

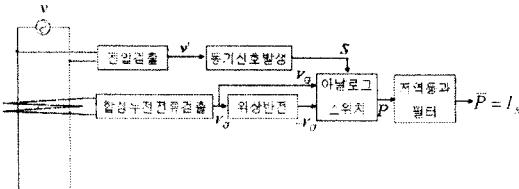


그림 2 아날로그 스위치를 이용한 저항성 누전전류 산출방법

3. 제안된 저항성 누전전류 검출법

3.1 제안된 검출이론

합성 누전전류를 전원전압의 반주기에 대한 적분연산으로 저항성 누전전류 검출이 가능하도록 다음 식을 정의 한다.

$$P_{h,1} = a \int_0^{\pi} i_G d\tau = 2\sqrt{2} a I_R \quad (1)$$

$$P_{h,2} = a \int_{\pi}^{2\pi} -i_G d\tau = 2\sqrt{2} a I_R$$

여기서 i_G 는 합성 누전전류 신호이며, a 는 비례상수이다. 즉, 합성 누전전류를 전원전압의 반주기에 대하여 적분을 하면 그 출력은 저항성 누전전류의 실효치에 정확히 비례함을 알 수 있다.

3.2 제안된 저항성 누전전류 산출원리

본 논문에서는 저항성 누전전류를 검출하기 위하여 초기화 가능 적분기(resettable integrator)와 샘플 앤 홀드(sample and hold)회로를 도입하였다. 그림 3은 본 논문에서 제안된 저항성 누전전류 검출 알고리즘을 나타낸 것으로, 전원전압으로부터 초기화 신호 및 샘플링신호를 만들어 내는 부분, 각 신호들로부터 합성 누전전류의 적분을 수행하는 부분, 그리고 적분결과를 샘플링하는 부분과 샘플링된 신호를 홀드하는 부분으로 구성된다. 구체적인 동작원리는 그림 3과 4에 의해 다음과 같은 절차로 설명된다.

- [1] 전원전압 v 로부터 저항으로 구성된 전압검출 회로를 이용하여 $\pm 10V$ 수준의 전원전압 신호 v' 를 검출
- [2] 트랜지스터와 저항, 콘덴서로 구현된 동기 펄스 신호 발생 회로는 전원전압 신호 v' 을 입력으로 받아 S_1, S_2 신호를 출력한다.
- [3] 영상변류기와 저항으로 구성된 합성 누전전류검출 회로로부터 출력된 합성 누전전류신호 V_G 는 초기화 적분기(+)에 입력되고, 동시에 연산증폭기로 구현된 반전회로를 이용하여 반전된 출력신호 $-V_G$ 는 초기화 적분기(-)에 입력되어 합성 누전전류를 전원전압에 대해 한주기 적분동안 적분연산을 수행한다.
- [4] 초기화 적분기(+)는 초기화 신호 S_1 이 입력되면 적분기를 초기화시키고, 다시 적분을 하며 이 과정을 반복한다. 초기화 적분기(-)도 초기화 신호 S_2 에 의해 같은 과정을 반복한다.
- [5] 각각의 적분기 출력 V_{GP} 와 V_{GN} 은 트랜지스터로 구현된 샘플링회로에 입력되고, 동시에 샘플링신호 S_2, S_1 가 입력되면, 이때 샘플링된 신호는 콘덴서와

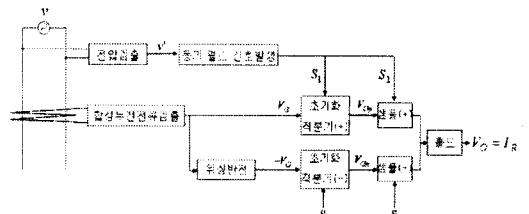


그림 3 제안된 저항성 누전전류 산출방법

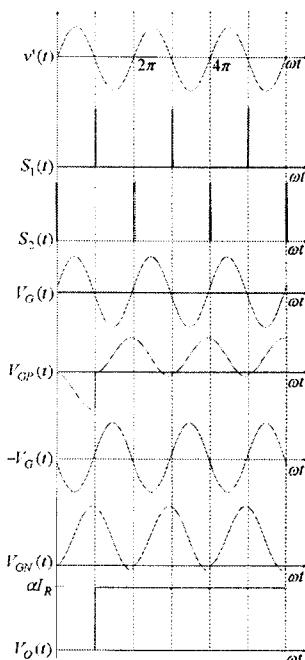


그림 4 그림3에서 각 노드의 전압파형(시뮬레이션 예)

연산증폭기로 구현된 홀드회로에 입력된다. 여기서 적분연산은 합성 누전전류를 전원전압의 한주기에 대해 수행 되었지만, 실제로 샘플링신호 S_2, S_1 은 전원전압의 반주기에 해당하는 시간에 출력 되므로, 결국 합성 누전전류를 전원전압의 반주기에 대해 적분연산을 하게 되는 셈이다.

[6] 홀드회로의 출력 V_O 는 DC전압 형태로 최초 8.3ms에서 출력되었음을 볼 수 있으며, 그 크기는 저항성 누전전류의 실효치 I_R 에 비례하는 신호이다. 결국 최종적으로 다음과 같은 식에 의해 저항성 누전전류는 산출된다.

$$I_R = \frac{V_O}{2\sqrt{2}a} \quad (2)$$

3.3 시뮬레이션 결과

선로에 다양한 경우의 누전전류가 흐를 경우, 제안된 회로가 저항성 누전전류를 정확하게 출력하는지 확인을 위하여 PSIM프로그램을 이용하여 시뮬레이션 하였다.

3.3.1 저항성 누전전류만 흐르는 경우의 회로 출력

선로에 저항성 누전전류(I_R)만 흐를 경우, 제안된 검출회로의 출력 선형성을 알아보기 위하여 시뮬레이션하여 그림 5에 나타내었다. 회로의 출력은 저항성 누전전류가 1mA일 때 0.1V가 출력되도록 그 비율을 적분기의 R과 C의 값을 정하여 고정하였다. 회로의 출력은 매우 선형적이며, 이는 본 논문에서 제안한 검출회로를 이용하여 다양한 크기의 저항성 누전전류를 정확히 측정할 수 있음을 의미한다.

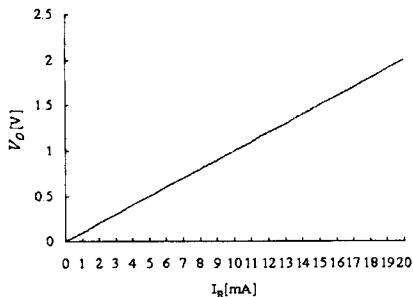


그림 5 저항성 누전전류 I_R 변화에 따른 회로 출력

3.3.2 저항성 누전전류와 용량성 누전전류가 동시에 흐르는 경우의 회로 출력

선로에 용량성 누전전류(I_C)와 저항성 누전전류(I_R)가 동시에 흐르는 경우, 제안된 검출회로가 저항성 누전전류를 정확하게 출력하는지 확인하였다. 그 결과 그림 6에 나타낸 바와 같이 용량성 누전전류가 0mA에서 15mA까지 변하는 경우에도 제안된 검출회로의 출력은 거의 일정하게 출력되었고, 즉 저항성 누전전류만을 분리 검출할 수 있음을 알 수 있다.

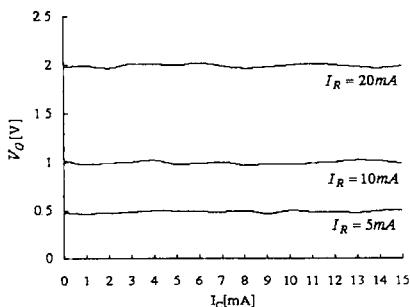


그림 6 용량성 누전전류 I_C 변화에 따른 회로 출력

4. 결 론

본 논문에서는 선로에 흐르는 합성 누전전류를 전원전압의 반주기에 대한 적분연산만으로 저항성 누전전류를 분리 측정할 수 있는 새로운 알고리즘을 제안하였다. 제안된 알고리즘을 저항성 누전전류와 용량성 누전전류가 다양하게 혼합되어 흐르는 경우에 대하여 시뮬레이션 한 결과, 선로에 저항성 누전전류만 흐르는 경우는 물론 저항성 누전전류와 용량성 누전전류가 동시에 흐르는 경우에도 합성 누전전류로부터 저항성 누전전류를 정확하게 산출함을 확인하였다. 또한 제작된 회로는 24ms안에 저

항성 누전전류를 산출하였고, 따라서 누전차단기의 규정 차단시간을 만족함을 확인하였다. 또한 본 논문에서 제안한 알고리즘은 연산증폭기와 트랜지스터를 이용하여 매우 간단하게 구현될 수 있고 회로의 부피도 최소화 할 수 있어 현재 널리 사용되는 누전차단기에 쉽게 적용할 수 있는 이점이 있는 것으로 판단된다.

[참 고 문 헌]

- [1] LS산전, 누전차단기 기술자료
- [2] 전기설비 기술기준, 제14조, 제57조
- [3] 유재근 외 2인, “자가용 수용가에서 배선용 및 누전차단기 오동작에 대한 조사연구”, 한국조명·전기설비학회, Vol. 19, No. 2, pp. 87-93, 2005. 03
- [4] 함승진 외 2인, “송신기를 이용한 저항성 누전전류 측정 방법”, 대한전기학회 춘계학술대회 논문집, pp. 110-112, 2007. 04
- [5] 함승진 외 2인, “새로운 저항성 누전전류 측정 방법”, 대한전기학회 논문지, Vol. 56, No. 8, pp. 1397-1404, 2007. 08