

A New Method for Resistive Leakage Current Measurement

咸承珍* · 韓松曄** · 高彰燮[†]

(Seung Jin Ham · Song Yop Hahn · Chang Seop Koh)

Abstract - It is important to measure the resistive component separately from the total leakage current at power distribution line. It is because electric disasters such as electric shock and fire are caused mainly by the resistive component of the total leakage current. In this paper, a new theory for measuring the resistive component separately from the total leakage current is suggested, and is embodied to an actual circuit using operational amplifiers, analog switch and R-C low pass filter. Through experiments for various cases containing both the resistive and capacitive leakage currents, the suggested algorithm is confirmed to be able to measure the resistive leakage current within 4.1% of error even when the capacitive leakage current is much bigger than the resistive one. The suggested method is expected to lower the total cost because it can be realized using simple and cheap devices, and implies the measuring time can be possibly reduced because the resistive leakage current is computed exactly from the signals during only a half period of power voltage.

Key Words : Leakage Current, Resistive Leakage Current, Capacitive Leakage Current

1. 서 론

전선로에 흐르는 누전전류는 저항성 누전전류(Resistive leakage current)와 용량성 누전전류(Capacitive leakage current)로 구성 된다. 저항성 누전전류는 전원전압과 동상인 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. 누전전류가 증가하여 일정 수준 이상이 되면 전기화재 또는 인체감전사고 등을 유발하기 때문에, 이를 방지하기 위하여 전선로에는 누전차단기를 의무적으로 설치하도록 규정하고 있다[1,2]. 또한 클램프(Clamp type current transformer) 누전전류계를 이용하여 전선로의 누전전류량을 주기적으로 측정하도록 하고 있다[3-7]. 누전전류로 인한 전기화재는 대부분이 저항성 누전전류에 의하여 발생하므로, 이런 측면에서 보면 누전차단기는 마땅히 저항성 누전전류에 의하여 동작하여야 하나 현재 국내 법규에 따르면 합성 누전전류(Total leakage current)에 의하여 동작하도록 규정하고 있다. 현재 국내의 가정에

설치하도록 규정되어 있는 고감도형 누전차단기는 정격 누전 감도전류와 차단시간이 각각 30mA와 30ms이다[8]. 따라서 현재 널리 보급되어 있는 누전차단기는 용량성 누전전류가 아주 적은 경우에는 합성 누전전류와 저항성 누전전류의 크기가 비슷하여 별 문제가 없지만, 용량성 누전전류가 많이 흐르는 경우에는 실제의 저항성 누전전류가 아주 작은 경우에도 동작하여 선로를 차단하게 된다. 한편 저항성 누전전류는 그 크기가 규정치인 30mA 이하로 장시간 흐르는 경우에는 발열량이 많아, 전선로 주변을 구성하는 물질에 따라서는 전기화재를 유발하는 것으로 알려지고 있다[9-11].

따라서 엄밀한 의미에서 볼 때, 전기화재를 예방하기 위해서는 합성 누전전류로부터 저항성 누전전류를 분리 검출할 필요가 있으며, 현재까지 몇몇 방법들이 개발되고 있다[12-14]. 그러나 대부분 기존에 개발된 저항성 누전전류 검출 방법들은 그 이론이 복잡하여 아날로그 회로와 디지털 연산회로를 병행하여 사용하여야 하므로, 검출에 많은 시간이 소요됨은 물론 가격이 비싸지는 단점이 있다.

본 논문에서는 영상변류기(Zero current transformer)를 이용하여 합성 누전전류를 검출하고, 이로부터 아날로그 스위치와 저역통과 필터를 이용하여 저항성 누전전류를 검출하는 새로운 방식을 제안하였다. 이 방법은 그 이론이 간단하여 저항성 누전전류의 검출시간이 짧아질 수 있음은 물론 저렴하게 구현할 수 있는 장점을 갖는다. 본 논문에서 제안한 저항성 누전전류 검출 방법은 실제 회로를 구현하고 동작상태를 PSIM 프로그램을 이용한 시뮬레이션과 다양한 경우에 대한 실험을 통하여 그 타당성을 검증하였다.

* 교신저자, 正 會 員 : 忠 北 大 電 氣 電 子 컴퓨터 工學部 敎授
E-mail : kohcs@chungbuk.ac.kr

* 學生會員 : 忠 北 大 電 氣 工學科 碩 士 課 程

** 正 會 員 : 世 爾 大 名 譽 敎 授
接 受 日 字 : 2007年 4月 4日
最 終 完 了 : 2007年 7月 6日

2. 저항성 누전전류 산출 원리

선로에 흐르는 합성 누전전류(I_G)는 그림 1(a)와 같이 선로의 대지 절연저항 또는 부하기의 대지 절연저항의 열화로 인하여 선로 P에서 대지로 흐르는 저항성 누전전류(I_R)과 선로와 대지사이의 정전용량 또는 부하기와 대지사이의 정전용량으로 인하여 발생하는 용량성 누전전류(I_C)로 구성된다. 그림에서와 같이 영상변류기를 이용하여 측정되는 양은 합성 누전전류에 비례하는 양이고, 합성 누전전류와 저항성 누전전류 및 용량성 누전전류는 다음 식을 만족한다[15].

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

$$I_R = I_G \cos \theta \quad (2)$$

일반적인 저항성 누전전류의 검출 과정은 다음과 같이 정리된다. 그림 1에서 선로의 전원전압 V의 순시치는 다음과 같이 표현되며,

$$v(t) = v_m \sin(\omega t) \quad (3)$$

여기서 v_m 은 전원전압의 최대치이고, ω 는 $2\pi f$ 이고 f 는 전원주파수이다. 합성 누전전류의 순시치 $i_G(t)$ 는 다음과 같이 표현된다.

$$i_G(t) = i_R \sin(\omega t) + i_C \sin(\omega t + \pi/2) \quad (4)$$

여기서 i_R 과 i_C 는 각각 저항성 누전전류와 용량성 누전전류의 최대치이다. 따라서 순시 누전전력 $P(t)$ 는 다음과

같이 표현된다.

$$P(t) = v_m(t)i_G(t) = v_m \sin(\omega t) \{i_R \sin(\omega t) + i_C \sin(\omega t + \pi/2)\} \quad (5)$$

순시 누전전력의 평균값 $\overline{P}(t)$ 는 저항성 평균누전전력 $\overline{P}_R(t)$ 와 용량성 평균누전전력 $\overline{P}_C(t)$ 의 합으로 구성되고, 또한 용량성 평균누전전력이 영이 됨을 이용하면 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} \overline{P}(t) &= \overline{P}_R(t) + \overline{P}_C(t) \\ &= -\frac{v_m i_R}{4\pi} \int_0^{2\pi} \{\cos(2\omega t) - 1\} dt \\ &\quad - \frac{v_m i_C}{4\pi} \int_0^{2\pi} \{\cos(2\omega t + \pi/2)\} dt \\ &= \frac{v_m i_R}{2} \end{aligned} \quad (6)$$

따라서 저항성 누전전류의 크기는 누전전력의 평균값으로부터 다음과 같이 구해진다.

$$i_R = \frac{2\overline{P}(t)}{v_m} \quad (7)$$

이 방법은 승산기(Multiplier)와 평균치 계산을 위한 저역 통과필터(Low pass filter)를 이용하여 간단하게 구현될 수 있다. 그러나 이 방법은 저항성 누전전류의 크기가 전원 전압의 변동에 따라 달라지기 때문에 정확한 저항성 누전전류의 검출이 어렵다는 문제점을 갖고 있다.

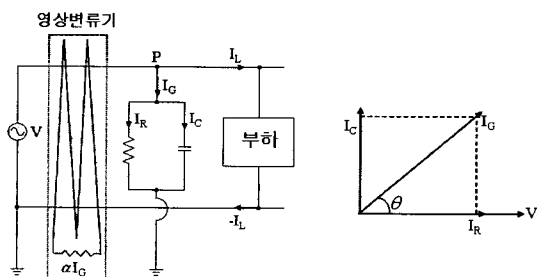
2.1 종래의 저항성 누전전류 산출 원리

그림 2는 영상변류기를 이용하여 측정된 합성 누전전류로부터 저항성 누전전류를 산출하는 대표적인 기존의 방법들을 나타낸 것이다. 그림 2(a)는 2004년에 일본의 다카카모나 오히로가 제안한 방법으로 선로에서 전원전압의 순시치(v)와 합성 누전전류의 순시치(i_G)를 검출하고, 두 신호로부터 평균전력(W)을 구한 후 전원전압의 실효치(V)로 나누어 저항성 누전전류를 얻는 방법을 나타내고 있다[12]. 이 때 저항성 누전전류의 실효치는 다음과 같이 계산된다.

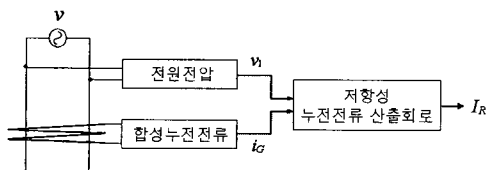
$$I_R = \frac{W}{V} = \frac{VI_G \cos \theta}{V} = I_G \cos \theta \quad (8)$$

이 방법은 저항성 누전전류에 의한 전력손실(Watt loss) 정보를 부가적으로 얻을 수 있는 장점이 있으나 CPU에서 데이터 처리를 위하여 아날로그 신호를 디지털 신호로 변환하는 과정이 필요하고 이 과정에서 별도의 A/D변환소자가 요구되며, 또한 샘플링된 전원전압 및 합성 누전전류 신호를 저장하기 위한 기억장치 등이 필요하여 계산시간이 많이 걸리고 제작 단가가 비싸지는 단점이 있다.

그림 2(b)는 2006년에 일본의 오노다케미가 고안한 방법으로 선로에서 전원전압의 순시치(v)와 합성 누전전류의 순



(a) 누전전류 성분



(b) 저항성 누전전류 검출법

그림 1 누전전류의 성분과 저항성 누전전류 산출회로
Fig. 1 Components of leakage current and its general detection

시치(i_C)를 검출하여 두 신호로부터 위상차(θ)를 검출하고 합성 누전전류의 실효치(I_C)와 역율($\cos\theta$)을 곱하여 저항성 누전전류 실효치(I_R)을 얻는 방법을 나타내고 있다[13]. 이 방법은 전원전압과 합성 누전전류와의 위상차(θ)를 직접 계산하기 때문에 저항성 누전전류 외에 용량성 누전전류를 간단한 알고리즘을 추가하여 계산할 수 있는 장점이 있다. 그러나 이 방법은 실효치 계산과 위상차(θ)검출 및 역율($\cos\theta$)계산을 CPU에서 직접 처리하기 때문에 역시 별도의 고가의 디지털 연산회로가 필요하다는 단점을 가지고 있다.

그림 2(c)는 저주파 증첩법을 나타내고 있다. 접지선에 별도로 장착된 저주파증첩장치에 의해 두개의 저주파(20Hz 이하) 전압신호 E_1 , E_2 가 상용주파수에 의해 흐르는 누전전류와 증첩된다. 이때 영상변류기를 이용하여 검출된 합성 누전전류 신호는 두개의 대역통과필터를 거쳐 E_1 , E_2 에 의해 흐르는 전류신호 i_{n1} , i_{n2} 를 출력한다. 이 신호들은 CPU에 입력되고 소정의 알고리즘에 기초하여 절연 저항치 R값을 계산한다. 그런 후에 CPU내에 미리 설정된 전원전압 값 V를 절연 저항치 R로 나누어 저항성 누전전류를 계산하는 방법이다[14]. 이때 저항성 누전전류의 실효치는 다음과 같이 계산된다.

$$I_R = \frac{V}{R} = \frac{V}{\{E_1 \times (\frac{f_1}{f_2} - 1)\} / \{-\frac{i_{na}}{b} \times \frac{f_1}{f_2} \times \frac{E_1}{E_2} - \frac{i_{na}}{a}\}} \quad (9)$$

여기서 f_1 은 E_1 의 주파수, f_2 는 E_2 의 주파수이며, a 는 f_1 의 증폭도, b 는 f_2 의 증폭도, i_{na} 는 f_1 주파수성분에 해당하는 최종 증폭된 전류값, i_{nb} 는 f_2 주파수성분에 해당하는 최종 증폭된 전류값이다. 이 방법은 전원전압과 합성 누전전류 신호와의 위상관계를 고려하지 않으므로 전원전압신호가 불필요하다는 장점이 있으나 대신 별도의 저주파 증첩장치가 필요하기 때문에 주로 고정식 절연 감시 장치로만 사용된다. 그리고 전선로의 배전환경에 따라 장비 적용이 매우 제한적이다.

이와 같이 종래의 저항성 누전전류 산출 알고리즘은 위상차 계산, 실효치 계산, 평균전력 계산 등 복잡한 연산을 수행해야 하기 때문에 아날로그 회로를 비롯한 고가의 기억소자와 CPU가 쓰이므로 회로의 부피 또한 커지고 제작 단가가 비싸지는 단점이 있어 현장 적용이 쉽지 않은 실정이다.

2.2 제안된 저항성 누전전류 산출 이론

그림 3은 본 논문에서 제안된 저항성 누전전류 산출 알고리즘을 나타낸 것으로, 전원 전압으로부터 만들어지는 동기신호(S), 합성 누전전류, 그리고 아날로그 스위치와 저역통과 필터 등으로 구성된다. 또한 그림 4는 본 논문에서 제안된 알고리즘을 구현한 회로도를 나타내며, 각 부분에 해당되는 신호의 파형은 그림 5와 같다. 그 구체적인 동작원리는 다음과 같이 설명된다.

전원 전압(220V)으로부터 변압기를 이용하여 얻어지는 $\pm 10V$ 수준의 전압(v_1)은 그림 5(a)에 나타낸 바와 같이 다

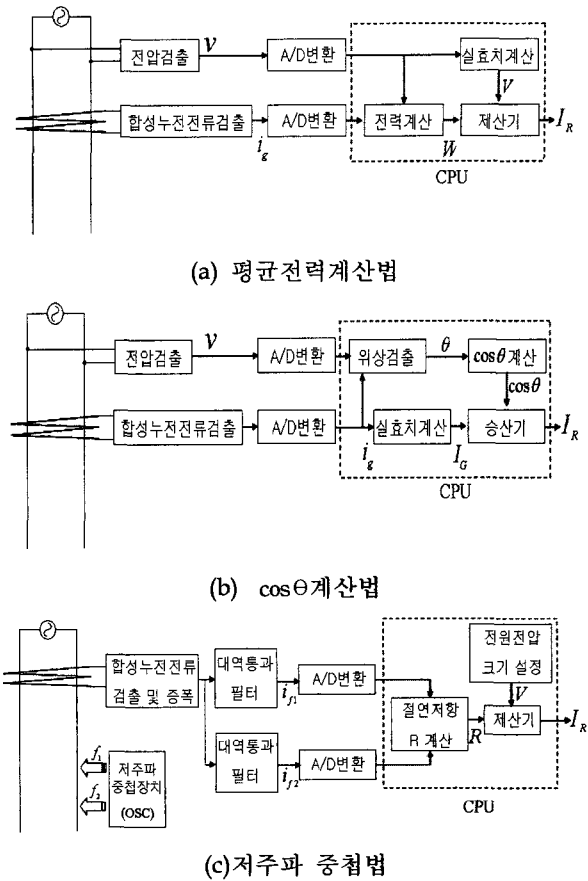


그림 2 종래의 저항성 누전전류 산출회로
Fig. 2 Former resistive leakage current computation circuit

음 식으로 표현된다.

$$v_1(t) = \sqrt{2} V_1 \sin(\omega t) \quad (10)$$

여기서 V_1 은 전압(v_1)의 실효치이다. 동기신호 $S(t)$ 는 그림 5(b)와 같이 전원 전압(v_1)의 부호를 나타내는 신호로 연산증폭기(OP1)를 이용하여 얻어지고 그 크기는 연산증폭기(OP1)의 포화전압 $\pm V_s$ 에 해당한다. 동기신호 $S(t)$ 는 다음 식으로 표현된다.

$$S(t) = \begin{cases} +V_s & 0 < \omega t < \pi \\ -V_s & \pi < \omega t < 2\pi \end{cases} \quad (11)$$

선로에 흐르는 합성 누전전류의 순시치 $i_C(t)$ 는 다음과 같이 표현되며,

$$i_C(t) = \sqrt{2} I_C \sin(\omega t + \theta) \quad (12)$$

여기서 I_C 는 합성 누전전류의 실효치이고 θ 는 전원 전압과 합성 누전전류 사이의 위상차이다. 합성 누전전류 i_C 가 흐를 때, 영상변류기(ZCT)의 출력전압은 통상의 경우 수

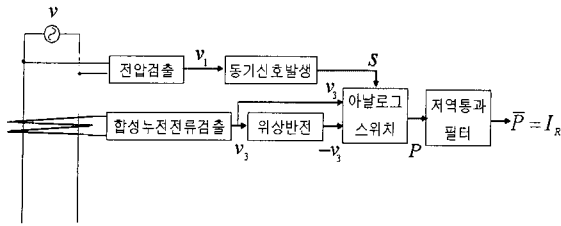


그림 3 제안된 저항성 누전전류 산출방법
Fig. 3 Proposed method for resistive leakage current

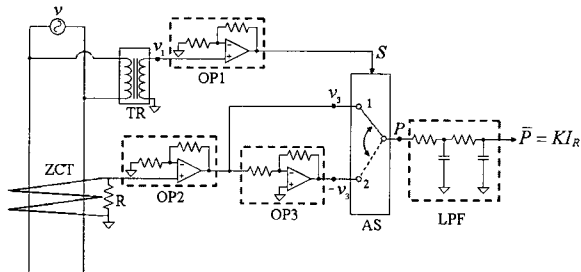


그림 4 제안된 저항성 누전전류 산출 회로
Fig. 4 Proposed circuit for resistive leakage current computation

mV 수준이고, 이를 연산증폭기(OP2)로 증폭하여 얻어지는 출력신호(v_3)는 그림 5(c)와 같이 다음 식으로 표현된다.

$$v_3(t) = K i_G \quad (13)$$

여기서 K 는 영상변류기의 변류비와 연산증폭기(OP2)의 이득상수를 포함하는 상수이다. 한편 출력신호 $v_3(t)$ 는 이득상수가 -1 인 연산증폭기(OP3)를 이용하여 그림 5(d)와 같이 반전된 출력신호 $-v_3(t)$ 로 변환된다. 지금 아날로그 스위치(AS)를 이용하여, 동기신호가 양인 구간과 음인 구간에서 각각 $v_3(t)$ 와 $-v_3(t)$ 이 통과되도록 하면, 아날로그 스위치(AS)의 출력 $P(t)$ 는 그림 5(e)와 같이 다음 식으로 표현된다.

$$P(t) = \begin{cases} K i_G(t) & 0 < \omega t < \pi \\ -K i_G(t) & \pi < \omega t < 2\pi \end{cases} \quad (14)$$

그림 5(e)로부터 알 수 있듯이 아날로그 스위치(AS)의 출력 $P(t)$ 는 $0 < \omega t \leq \pi$ 구간과 $\pi < \omega t \leq 2\pi$ 구간에 대하여 정확히 동일하게 나타난다. 따라서 그 직류성분 \bar{P} , 즉 평균값은 전원 전압의 한주기 또는 반주기에 대한 적분으로 구할 수 있으며 다음과 같이 표현된다.

$$\bar{P} = \frac{K}{2\pi} \left\{ \int_0^\pi i_G dt - \int_\pi^{2\pi} i_G dt \right\} = \frac{2\sqrt{2}K}{\pi} I_R \quad (15-a)$$

$$\bar{P} = \frac{K}{\pi} \int_0^\pi i_G dt = \frac{2\sqrt{2}K}{\pi} I_R \quad (15-b)$$

$$\bar{P} = \frac{K}{\pi} \int_\pi^{2\pi} -i_G dt = \frac{2\sqrt{2}K}{\pi} I_R \quad (15-c)$$

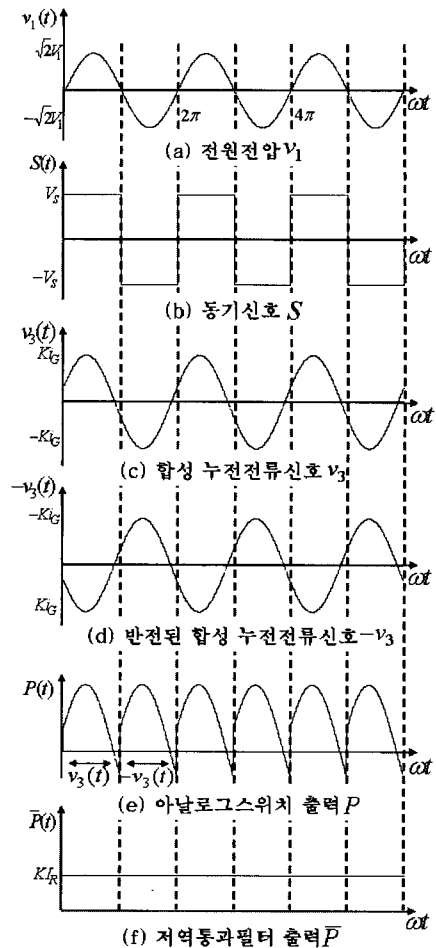


그림 5 그림 4의 각 노드에서의 전압파형
Fig. 5 Voltage wave forms at each node in Fig. 4

이 과정은 동상 저역통과필터(LPF)를 이용하여 쉽게 구현될 수 있으며, 저항성 누전전류의 실효치(I_R)는 최종적으로 다음과 같이 산출된다.

$$I_R = \frac{\pi}{2\sqrt{2}K} \bar{P} \quad (16)$$

식(15)와 식 (7)을 비교하면, 본 논문에서 제안된 검출방법은 평균치 계산을 위한 저역통과필터(LPF)의 시정수를 무시하면 전원전압의 반주기에 대한 적분만으로도 계산될 수 있기 때문에 전체적인 검출시간이 단축되는 장점을 가짐을 알 수 있다.

3. 저항성 누전전류 산출 실험

3.1 누전실험 회로 및 출력파형

본 논문에서 제안된 저항성 누전전류 검출 알고리즘의 타당성을 확인하기 위하여 다양한 경우의 저항성 누전전류와 용량성 누전전류가 동시에 흐르는 경우에 대하여 실험을 수행하였다. 그림 6은 저항성 누전전류와 용량성 누전전류를

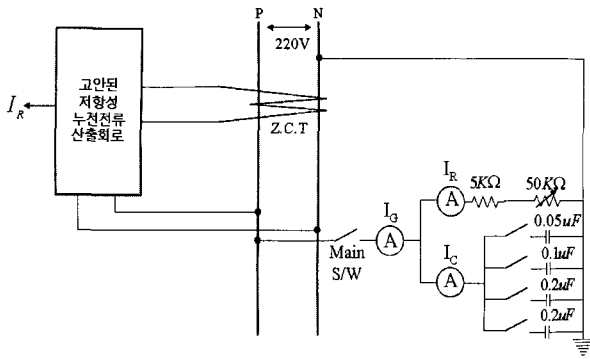
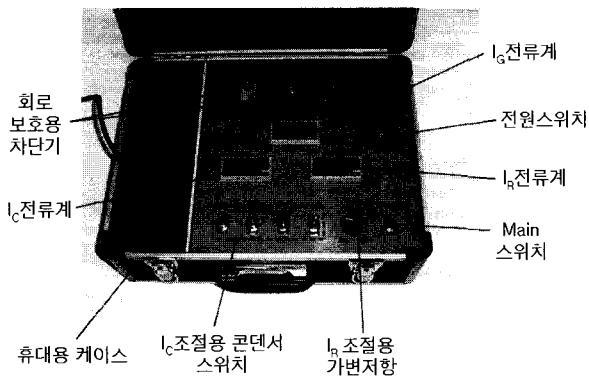
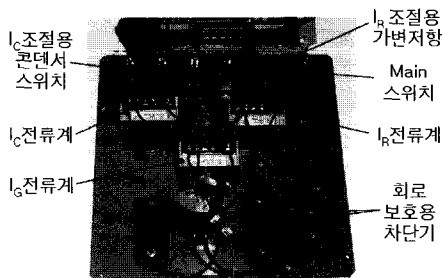


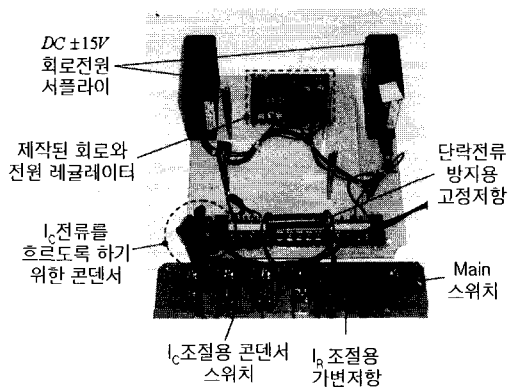
그림 6 누전 실험 회로의 구성
Fig. 6 Leakage current test circuit



(a) 전체구성



(b) 회로구성 1



(c) 회로구성 2

그림 7 제작된 실험장치
Fig. 7 Experiment apparatus

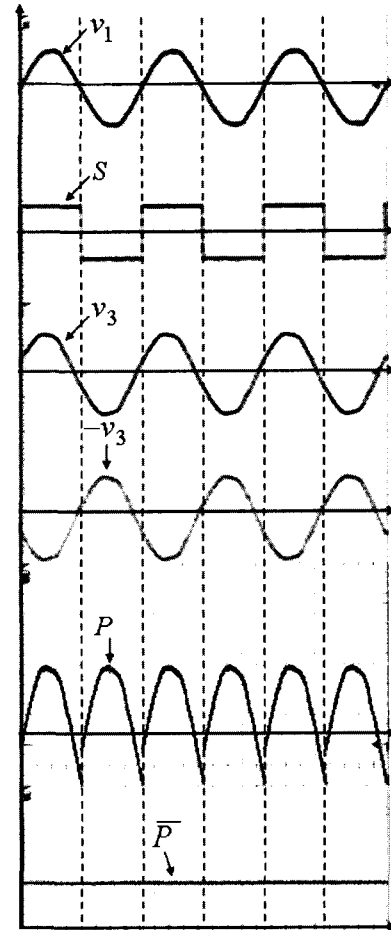


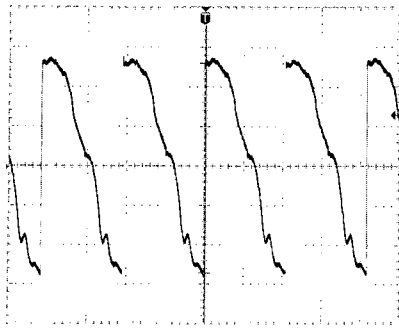
그림 8 누전전류에 의한 그림 4에서 각 노드의 실제 전압 파형

Fig. 8 Actual voltage wave forms at nodes of Fig. 4 for a leakage current

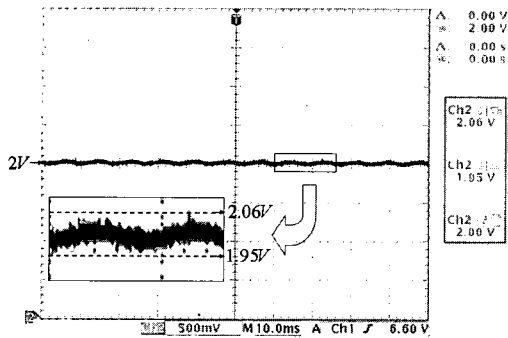
다양하게 조절할 수 있도록 본 논문에서 고안한 실험회로를 나타낸 것이다. 그림에서와 같이 단상 220V, 60Hz 선로를 대상으로 하였으며, 저항성 누전전류(I_R)의 크기는 50KΩ 가변저항을 이용하여 조절할 수 있도록 하였고, 용량성 누전전류(I_C)는 여러 가지 용량의 콘덴서를 병렬로 연결하여 조합하여 사용함으로써 그 양을 조절할 수 있도록 하였고, 전류계를 분리 설치하여 각각의 누전전류 성분과 합성 누전전류를 측정하였다. 또한 실험 중 단락전류가 흐르는 것을 방지하기 위하여 5KΩ의 저항을 삽입하였다.

그림 7은 누전 실험을 위해 제작된 실험장치로서 그림 7의 (a)는 전체적인 외부 모습을, (b)과 (c)는 회로구성을 나타내는 것으로, 제작된 저항성 누전전류 검출 회로 및 전원 공급 장치 그리고 누전 전류가 흐를 수 있도록 하기 위한 저항 과 콘덴서, 스위치 등을 포함하고 있다.

그림 8은 제작된 회로의 연산과정을 확인하기 위하여 저항성 누전전류와 용량성 누전전류가 동시에 흐르는 경우에 대하여 측정된 전압파형을 나타낸 것으로 그림 5와 비교할 때 그 결과가 시뮬레이션에 의한 파형과 거의 일치함을 알 수 있다.



(a) 아날로그 스위치(AS) 출력 P



(b) LPF 출력 \bar{P}

그림 9 아날로그 스위치 출력 및 LPF 출력 신호
Fig. 9 Analog switch and LPF output signals

본 논문에서 제안된 저항성 누전전류 검출 알고리즘은 그림 4 및 그림 5에서 알 수 있듯이 지역통과필터(LPF)의 R과 C의 값에 따라 그 정확도가 달라진다. 본 논문에서는 정확도는 물론 제작비용을 고려하여 $R=200K\Omega$, $C=0.2\mu F$ 으로 구성된 2단 R-C 수동필터를 이용하였다. 이 경우, 필터의 특성이 이상적이지 않기 때문에 실제 출력에는 약간의 교류성분(Ripple)이 포함된다. 그림 9(a) 및 9(b)는 전선로에 저항성 누전전류(I_R)와 용량성 누전전류(I_C) 및 합성 누전전류(I_G)가 각각 10mA와 41mA, 42.2mA일 때, 즉 용량성 누전전류(I_C)가 저항성 누전전류(I_R) 보다 약 4배가량 큰 경우, 각각 아날로그 스위치(AS)의 출력 신호(P)와 저항성 누전전류(I_R)에 비례하는 LPF출력 (\bar{P})를 측정된 파형을 나타낸 것이다. 그림으로부터 출력신호의 평균값은 2V이고, 여기에 포함되는 교류성분은 아날로그 스위치(AS)의 출력신호(P)의 기본주파수인 120Hz에 해당하는 것으로 약 $\pm 2.5\%$ ($\pm 0.05V$)가 됨을 알 수 있다. 이는 출력신호로부터 식(16)을 이용하여 저항성 누전전류를 계산하는 경우 약 2.5%정도의 오차가 포함될 수 있음을 의미한다.

3.2 저항성 누전전류만 흐르는 경우의 회로 출력

선로에 저항성 누전전류(I_R)만 흐르는 상태에서 I_R 의 크기의 변화에 따른 저항성 누전전류 검출회로의 출력(\bar{P})을 오실로스코프를 이용하여 측정하였다. 이를 위하여 그림 6의 콘덴서를 모두 개방한 상태에서 가변저항을 조절하여

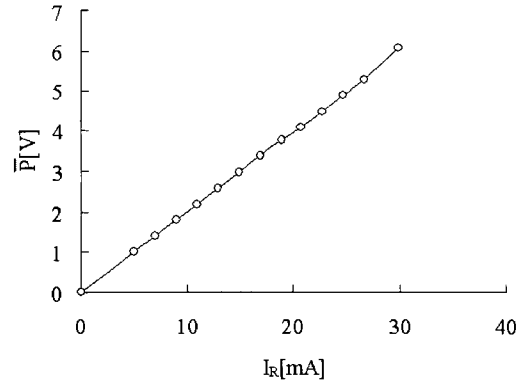


그림 10 저항성 누전전류 I_R 변화에 따른 회로 출력 \bar{P}
Fig. 10 Output voltage \bar{P} according to I_R change

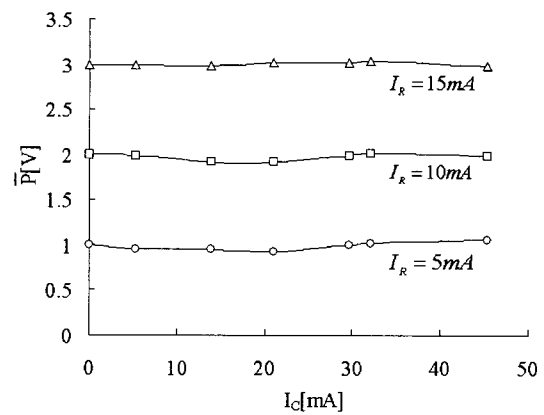


그림 11 I_C 변화에 따른 회로출력 \bar{P}
Fig. 11 Output voltage \bar{P} according to I_C change

저항성 누전전류(I_R)가 5mA에서 30mA까지 변화하도록 하였다. 본 실험에서는 저항성 누전전류(I_R)의 크기가 1mA일 때 회로의 출력(\bar{P})이 0.2V가 되도록 이득상수 K 를 고정하여 실험을 수행하였다. 그 결과 그림 10과 같이 저항성 누전전류(I_R)가 증가함에 따라 검출회로의 출력 신호(\bar{P})가 선형적으로 증가함을 확인할 수 있었다. 이는 본 논문에서 제안한 검출회로를 이용하여 다양한 크기의 저항성 누전전류를 정확히 측정할 수 있음을 의미한다.

3.3 저항성 누전전류와 용량성 누전전류가 동시에 흐르는 경우 회로 출력

선로에 용량성 누전전류(I_C)와 저항성 누전전류(I_R)가 동시에 흐르는 경우, 제안된 검출회로가 저항성 누전전류(I_R)를 정확하게 검출하는지 확인하였다. 이를 위하여 가변저항을 조절하여 각각 5mA, 10mA, 25mA의 저항성 누전전류가 일정하게 흐르도록 한 상태에서 콘덴서 스위치를 차례로 투입하여 용량성 누전전류(I_C)를 0mA에서 45mA까지 변화시키면서 검출회로의 출력전압(\bar{P})을 측정하였다. 그 결

과 그림 11에 나타낸 바와 같이 용량성 누전전류가 0mA에서 45mA까지 크게 변하는 경우에도 제안된 검출회로의 출력(\bar{P})은 거의 일정하게 측정되었고, 즉 저항성 누전전류만을 분리 검출할 수 있었으며 그 변화율은 저항성 누전전류가 5mA, 10mA, 25mA인 경우에 대하여 각각 4.1%, 1.9% 및 0.8%이하임을 확인하였다. 이는 본 논문에서 제안된 검출회로를 이용하여 실제의 저항성 누전전류를 측정하는 경우, 용량성 누전전류가 가정용 누전차단기의 동작전류인 30mA이상인 경우에도 4.1%의 오차 범위에서 측정 가능함을 의미한다.

4. 결 론

본 논문에서는 선로에 흐르는 합성 누전전류로부터 저항성 누전전류를 분리 측정할 수 있는 알고리즘을 제안하고 이를 실제 회로로 구현하였다. 제안된 알고리즘을 저항성 누전전류와 용량성 누전전류가 다양하게 혼합되어 흐르는 경우에 대하여 실험한 결과, 선로에 저항성 누전전류만이 흐르는 경우는 물론 저항성 누전전류와 용량성 누전전류가 동시에 흐르는 경우에도 합성 누전전류로부터 저항성 누전전류를 4.1% 정도의 오차범위 내에서 정확하게 산출함을 확인하였다. 본 논문에서 제안한 알고리즘은 연산증폭기와 아날로그 스위치, 그리고 R-C 필터만을 이용하여 매우 간단하게 구현될 수 있기 때문에 종래의 방법에 비하여 제작단가가 매우 저렴하고 회로의 부피도 최소화 할 수 있어 저항성 누전전류 측정을 위한 각종기기에 쉽게 적용할 수 있는 이점이 있는 것으로 판단된다.

한편 본 논문에서 제안된 저항성 누전전류의 검출 방법은 그 이론상 종래의 방법과는 달리 전원 전압의 반주기에 대한 검출 신호로부터 정확히 계산될 수 있기 때문에, 향후 초기화가능 적분기(Resettable integrator) 등을 이용하여 저항성 누전전류의 검출 시간을 더욱 단축시킬 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부의 지역혁신 인력 양성 사업의 연구결과로 수행되었음.

참 고 문 헌

- [1] LS산전, 누전차단기 기술자료
- [2] 전기설비 기술기준, 제14조, 제57조
- [3] 임용배 외 3인, "누설전류 측정을 이용한 부재수용가의 전기안전 점검", 한국조명·전기설비학회 춘계학술대회 논문집, pp. 260-263, 2006. 05
- [4] 강문호, "접지선 누설전류를 이용한 접지저항 측정에 관한 연구", 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp. 515-517, 2004, 07. 14
- [5] 박영태, 유광민, "클램프 형 직교류 저 전류 측정 센서", 전기전자재료학회논문지, Vol. 15, No. 12, pp. 1045-1053, 2002. 12
- [6] 대한전기협회지, "클램프형 전류계에 의한 누설전류 측정방법", 1987. 11
- [7] John D. Ramboz, "A Highly Accurate, Hand-Held Clamp-on Current Transformer", IEEE Trans. on Instrument and Measurement, Vol. 45, No. 2, pp. 445-448, 1996. 04
- [8] 한국공업규격, KSC4613, 한국표준협회
- [9] 기사회원을 위한 이론과 실무, "누전에 의한 감전재해와 누전차단기", 대한전기협회지, 1987. 05
- [10] 이상호, "전기화재의 발생원인 및 분석 -누전차단기의 동작특성을 중심으로-", 한국화재·소방학회, Vol. 17, No. 2, 2003
- [11] 홍성호, 김두현, "누전차단기로 보호되는 저압선로에서의 발화위험성", 한국산업안전학회, Vol. 15, No. 1, pp. 93-99, 2000. 03
- [12] 다카카모나오히로 외 2인, "저항 측정 방법", 대한민국 특허청, 공개번호 10-2004-0071673, 2004. 08. 12
- [13] 오노다께미, "누전전류차단 및 방법", 국제특허, 국제 공개번호 WO2006/035519, 2006.04.06
- [14] 김보경, "저압 선로의 활선 절연 감시장치", 대한민국 특허청, 공개번호 20-0401675, 2005. 11. 14
- [15] 한주섭 외 3인, "누설전류 파고분석에 의한 전력설비의 열화진단 기술", 한국해양정보통신학회 추 계종합 학술대회, Vol. 5, No. 2, pp. 367-370, 2001.

저 자 소 개



함승진 (咸承珍)

1980년 4월 2일생. 2006년 홍익대학교 전기공학과 졸업. 2006년~현재 충북대학교 대학원 전기공학전공 석사과정.

Tel : 043-274-2426

Fax : 043-274-2426

E-mail : hsj1234@chungbuk.ac.kr



한승엽 (韓松暉)

1963년 서울대학교 전기공학과 졸업(학사). 1967년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1979년 프랑스 로렌공과대학 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 1985년~1986년 프랑스 그레노블대학 방문교수. 1995년~1998년 한국전기연구원 이사. 1994년~1998년 한국전력공사 이사. 1968년~2004년 서울대학교 공과대학 전기공학과 교수. 2004년~현재 서울대학교 명예교수.

Tel : 02-880-7646

Fax : 02-883-0827

E-mail : syhahn@snu.ac.kr



고창섬 (高彰燮)

1986년 서울대학교 전기공학과 졸업(학사). 1988년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1992년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 1993~1994년 미국 Florida International University 전기 및 컴퓨터 공학과 객원 연구원. 1994~1996년 삼성전기(주) 종합연구소 선임연구원. 2003년 2월~2004년 1월 미국 Texas A&M University, 전기컴퓨터공학과 객원 교수, 1996~현재 충북대학교 전기전자컴퓨터 공학부 교수.

Tel : 043-261-2426

Fax : 043-274-2426

E-mail : Kohcs@chungbuk.ac.kr