

승산기를 이용한 저항성 누전전류 측정 방법

함승진, 한승엽*, 고창섭
 충북대학교 전기공학과, 서울대학교*

A Method for Resistive Leakage Current Measurement using a Multiplier

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

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

Abstract - 누전으로 인한 전기화재나 감전사고와 같은 전기재해는 저항성 누전전류에 의해 발생하므로 전선로에서 저항성 누전전류의 측정은 매우 중요하다. 따라서 본 논문에서는 합성 누전전류로부터 저항성 누전전류를 산출할 수 있는 이론을 제시하였고 이것을 실제 회로로 구현하였다. Multiplier와 저역통과필터를 통과한 합성 누전전류신호는 저항성 누전전류의 크기에 해당하는 직류 전압신호로 출력된다. 따라서 Multiplier와 R-C 필터를 이용하여 간편하게 저항성 누전전류를 구할 수 있었다. 그리고 누전실험을 통하여 저항성 누전전류와 용량성 누전전류가 합쳐진 합성 누전전류에서 저항성 누전전류를 정확하게 산출하는 것을 확인하였다.

1. 서 론

전선로에서 전선로의 대지절연저항 또는 그 전선로에 접속된 부하기기의 절연저항이 열화하면 저항성 누전전류가 증가하여 전기화재 및 감전사고 같은 전기재해가 발생할 수 있다. 따라서 전선로에서 저항성 누전전류량은 전기재해예방을 위해 반드시 고려되어야 한다. 그래서 누전으로 인한 전기재해를 미연에 방지하기 위해 대지절연저항을 주기적으로 측정하거나 수용가에 누전차단기를 설치하여 누전 발생시 전선로를 전원으로로부터 개방시키는 방법을 시행해 왔다[1].

그러나 저항성 누전전류량의 계산을 위해 대지절연저항을 측정하는데 있어 전선로를 전원으로로부터 개방한 후 부하를 일시 정전시키고 복잡한 절차를 수행해야 하는 불편함이 있었다[2]. 그래서 최근 저항성 누전전류 측정을 위한 활발한 연구로 새로운 기술들이 개발되었다[2,3,4]. 하지만 이들의 기술은 디지털 회로와 마이크로프로세서 등을 이용하기 때문에 연산과정이 복잡하여 회로의 부피가 커지게 되므로 실제로 회로의 구현과 응용에 있어 기술적으로 많은 어려움이 따랐다.

따라서 본 논문에서는 이러한 문제점을 극복하기 위해 새로운 저항성 누전전류를 산출하는 원리를 제시하고 실제 회로로 구현 하였다. 전선로 전압으로부터 얻어진 구형파신호와 전류변성기로부터 얻어진 합성누전전류 신호와의 승산(Multiplier)연산과 저역통과필터에 의한 필터링 연산을 통해 직류 전압신호로 출력되는 저항성 누전전류를 별도의 복잡한 연산과정 없이 직접 산출하는 방법을 이용함으로써 회로를 기존의 것보다 간단하게 구현할 수 있었다. 그리고 저항성 누전전류 산출을 위한 누전 실험 통하여 제작된 회로의 실험결과를 분석함으로써 정확성을 검증하였다.

2. 누전전류 성분 및 저항성 누전전류 산출 이론

2.1 누전전류 성분

그림 1은 전선로의 누전전류 성분을 나타낸다. 여기서 전선로나 또는 그 전선로에 접속된 부하기기의 절연열화

로 인한 누전(이하 ‘저항성 누전전류’라 한다)이 발생하면 누전전류 I_R 이 흐르게 된다. 그리고 전선로와 대지와의 정전용량에 의한 누전전류(이하 ‘용량성 누전전류’라 한다)는 I_C 된다. 따라서 누전 발생시 두 누전전류의 합성성분(이하 ‘합성 누전전류’라 한다)인 I_G 에 의해 영상전류변성기(zero current transformer) 2차 권선에 전압이 유기된다.

여기서 합성 누전전류 I_G 는 I_R 과 I_C 의 벡터합성임으로 I_G 는 다음 식과 같다.

$$I_G = \sqrt{I_R^2 + I_C^2} \tag{1}$$

따라서 저항성 누전전류 I_R 과 용량성 누전전류 I_C 는 다음과 같다.

$$I_R = I_G \cos\theta, I_C = I_G \sin\theta \tag{2}$$

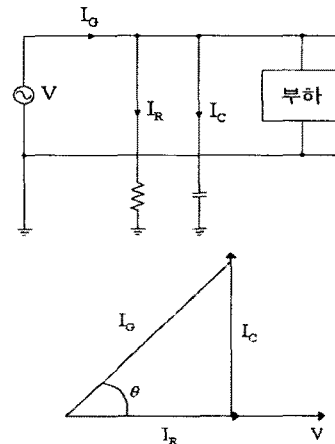


그림 1. 누전 전류 성분
 Fig. 1. Components of the leakage current

2.2 저항성 누전전류 산출 이론

저항성 누전전류 I_R 을 산출하려면 합성누전전류 순시치 i_g 와 전원전압과의 위상차 θ 를 알아야 한다. 따라서 그림 2와같이 영상전류변성기로 합성 누전전류 순시치 i_g 를 측정하고 전원전압과의 위상차 θ 는 전원전압의 순시치 v_1 과 합성 누전전류 순시치 i_g 와의 위상차로 얻을 수 있다[2].

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. 그리고 전원전압의 순시치 v_1 을 구형파 v_2 로 변환하면

$$v_2 = V_2 R(\omega t) \quad (4)$$

가 된다. 여기서 V_2 는 구형파의 Peak치이다. 그리고 합성 누전전류 순시치 i_x 는

$$i_x = \sqrt{2} I_C \sin(\omega t + \theta) \quad (5)$$

가 된다. 여기서 I_C 는 합성 누전전류의 실효치이다. 따라서 i_x 는 다음과 같은 식에 의하여 전압신호로 변환된다.

$$v_3 = K1 i_x \quad (6)$$

여기서 $K1$ 은 영상전류변성기의 변비비이다. 그리고 두 전압신호 v_2 와 v_3 를 승산 연산한 신호를 P 라 하면

$$\begin{aligned} P &= v_2 \cdot v_3 \\ &= V_2 K1 \sqrt{2} I_C \sin(\omega t + \theta) R(\omega t) \\ &= V_2 K1 \sqrt{2} I_C \sin(\omega t + \theta), [0 < \omega t < \pi] \\ &= -V_2 K1 \sqrt{2} I_C \sin(\omega t + \theta), [\pi < \omega t < 2\pi] \end{aligned} \quad (7)$$

가 된다. 그리고 승산 연산후의 신호 P 를 $\omega t = 0$ 에서 2π 까지 적분한 값의 평균치를 \bar{P} 라 하면

$$\begin{aligned} \bar{P} &= \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} P d(\omega t) \\ &= \frac{V_2 K1 \sqrt{2} I_C}{2\pi} \cdot 4 \cos \theta \\ &= K2 I_C \cos \theta \\ &= K2 I_R \end{aligned} \quad (8)$$

가 된다. 여기서 $K2 = \frac{V_2 K1 \sqrt{2}}{\pi}$ 이며 상수이다.

따라서 \bar{P} 는 저항성 누전전류 I_R 에 비례한다. 즉 저항성 누전전류 I_R 은 합성누전전류 순시치 i_x 를 Low pass filter에 통과 시켜 직류전압 신호로 얻을 수 있다.

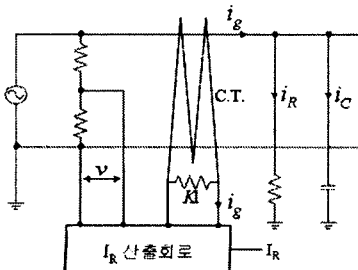


그림 2. 전원전압 및 합성누전전류 측정회로
Fig. 2. Line voltage and total leakage current measurement circuit

3. 저항성 누전전류 I_R 산출 회로

그림 3은 저항성 누전전류의 산출을 위한 회로 블록다이어그램이다. 다음은 이 회로의 기능과 동작상태를 나타낸다.

- [1] Voltage detecting circuit는 220V 전원전압 v 를 10V수준의 전압 v_1 으로 낮추는 역할을 한다.
- [2] Square wave converter는 정현파 전압 v_1 을 구형파 전압 v_2 로 변환하는 역할을 한다.
- [3] Current Voltage converter circuit은 Z.C.T.(zero current transformer)와 저항으로 구성되어 있으며 이 회로는 합성 누전전류 순시치 i_x 를 전압 v_3 로 변환시킨다.
- [4] Multiplier는 전압 v_2 와 v_3 를 승산 연산하여 출력 P 에 나타나다록 한다.
- [6] Low Pass Filter는 저항과 콘덴서로 구성된 10Hz대의 Cut-off 주파수를 가진 저역통과필터로써 Multiplier 출력 P 의 평균치를 직류전압신호로 출력 \bar{P} 에 나타나다록 하며 식(8)의 결과와 같다.
- [7] Amplifier는 OP-AMP로 구성된 증폭기로서 mV수준의 입력신호 \bar{P} 를 증폭하여 V수준의 출력신호 \bar{P}' 를 낸다. 본 논문에서는 1V/1mA의 비율로 증폭비율을 고정하였다.

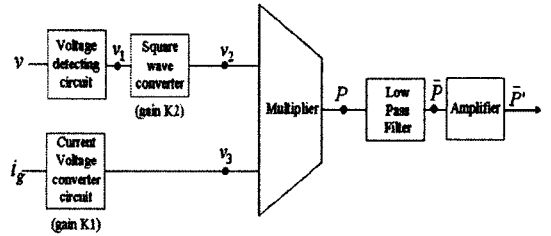


그림 3. 저항성 누전전류 I_R 산출을 위한 회로 블록다이어그램
Fig. 3. Block diagram for computation of I_R

4. 저항성 누전전류 산출 실험

4.1 누전 실험 회로 및 회로 출력파형

누전 실험을 위하여 그림 4와 같은 누전 실험 회로를 구성하였다. 단상 220V, 60Hz 교류전선로에 저항성 누전전류 I_R 과 용량성 누전전류 I_C 가 흐르도록 하기 위해 저항과 콘덴서를 접속하였다. 그리고 두 전류성분에 의한 합성누전전류 I_C 의 크기와 각 누전전류 성분의 크기를 알아보기 위하여 전류계를 접속하였다. 저항은 실험

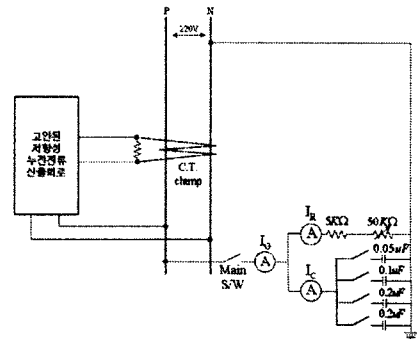


그림 4. 누전 실험 회로도
Fig. 4. Leakage current test circuit

중 단락사고를 방지하기 위한 5KΩ 고정저항과 저항성 누전전류 I_R 의 크기를 가변시키기 위한 50KΩ 가변저항을 직렬로 접속하였다. 그리고 콘덴서는 용량성 누전전류 I_C 의 전류량을 조절할 수 있도록 각 용량별로 콘덴서에 스위치를 연결시켰다. 그림 5는 제작된 회로의 연산과정을 알아보기 위해 임의의 크기의 합성 누전전류를 흐르도록 한 상태에서 오실로스코프로 측정한 전압파형이다.

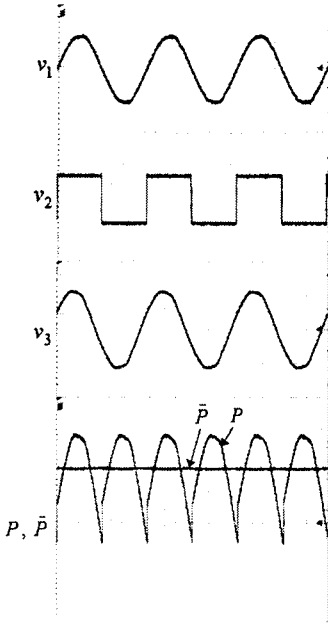


그림 5. 누전전류에 의한 그림 3에서 각 노드의 실제 전압 파형

Fig. 5. Actual voltage wave forms at nodes of Fig. 4 for a leakage current

4.2 전선로에 I_R 만 흐르는 경우 회로 출력 \bar{P}'

이 실험은 제작된 회로의 출력 \bar{P}' 의 선형성을 알아보기 위한 실험이다. 저항성 누전전류 I_R 의 크기가 변화할 때 그림 3의 회로 블록다이어그램의 출력 \bar{P}' 를 오실로스코프를 통해 측정했다. 우선 콘덴서를 개방한 상태에서 가변저항을 조절하여 저항성 누전전류 I_R 이 5mA에서 15mA까지 흐르도록 하였다. 회로내의 고정된 증폭비(1V/1mA)에 따라 그림 6과 같이 저항성 누전전류 I_R 이 증가함에 따라 회로의 출력 신호 \bar{P}' 가 선형적으로

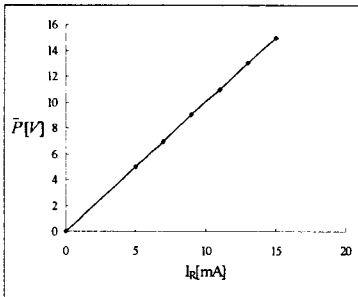


그림 6. 저항성 누전전류 I_R 변화에 따른 회로출력 \bar{P}'

Fig. 6. Output voltage \bar{P}' according to I_R change

로 증가하는 것을 볼 수 있었다.

4.3 전선로에 I_R 과 I_C 가 동시에 흐르는 경우 회로 출력 \bar{P}'

이 실험은 전선로에 대지정전용량으로 인한 용량성 누전전류 I_C 가 흐르고 있는 상태에서 전선로나 부하의 대지절연저항이 감소하여 저항성 누전전류 I_R 이 흐르는 경우 제작된 회로가 저항성 누전전류 I_R 을 정확하게 산출하는지 알아보기 위한 실험이다. 누전실험 회로의 가변저항을 조절하여 저항성 누전전류 I_R 이 각각 5mA, 10mA가 흐르도록 고정한 상태에서 콘덴서 스위치를 차례로 투입하여 용량성 누전전류 I_C 를 0mA~45mA까지 증가시켰다. 그림 7은 제작된 회로의 출력 \bar{P}' 가 용량성 누전전류 I_C 가 변화함에도 불구하고 변하지 않고 일정하게 출력됨을 보여준다.

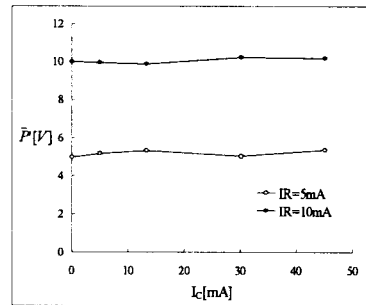


그림 7. I_C 변화에 따른 회로출력 \bar{P}'

Fig. 7. Output voltage \bar{P}' according to I_C change

5. 결 론

전기화재나 감전과 같은 전기재해는 저항성 누전전류에 의해 발생하므로 전선로에서 저항성 누전전류의 측정은 매우 중요하다. 따라서 본 논문에서는 합성 누전전류로부터 저항성 누전전류를 산출할 수 있는 이론을 제시하였고 이것을 실제 회로로 구현하였다. 합성 누전전류 신호는 Multiplier와 저역통과필터를 거쳐 저항성 누전전류의 크기에 해당하는 직류 전압신호로 출력된다. 따라서 Multiplier와 R-C Filter를 이용하여 간편하게 저항성 누전전류를 구할 수 있었다. 그리고 저항성 누전전류와 용량성 누전전류가 합쳐진 합성 누전전류에서 저항성 누전전류를 정확하게 산출하는 것을 확인하였다.

본 논문에서 제안한 회로를 이용하면 부하기기를 정전시키지 않고 저항성 누전전류를 측정하는 것이 가능하다. 따라서 전선로나 부하기기의 절연열화진단을 쉽게 할 수 있어 저항성 누전전류의 누전으로 인한 전기재해를 현저하게 줄일 수 있을 것으로 기대된다.

[참 고 문 헌]

- [1] 반기종, 김낙교, “미소 누전전류 검출 및 차단제어기 설계”, 대한전기학회 논문지, Vol. 53D, No. 3, pp. 161-165, 2004. 3.
- [2] 가부시기가야사 도마토, “누설 전류 측정 장치”, 대한민국특허청, 특2003-0042661, 2003. 6.
- [3] 길경석 외 2명, “피뢰기 열화진단을 위한 저항분 누설전류의 측정장치”, 대한전기학회 논문지, Vol. 52C, No. 10, pp. 469-475, 2003. 10.
- [4] 윤기갑 외 5명, “배전선로용 피뢰기 진단형 누설전류 검출장치 설계”, 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp. 501-503, 2000. 7.17-20.