

Measurement Device of Resistive Leakage Current for Arrester Deterioration Diagnosis

吉 暻 碩* · 韓 柱 燮** · 金 正 培***
(Gyung-Suk Kil · Ju-Seop Han · Jung-Bae Kim)

Abstract - Resistive leakage current flowing ZnO blocks increases with its ages, which is an important indicator of arrester deterioration. However, a complicated circuitry is essential to measure the resistive leakage current included in the total leakage current, and the difficult handling of the measurement makes few applications to the fields.

In this paper, we propose a resistive leakage current measurement device which is composed of a current detection circuit and an analysis program operated on a microprocessor. The device samples the input leakage current waveform digitally, and discriminate the zero-cross and the peak point of the waveform to analyze the current amplitude vs. phase. The capacitive leakage current is then eliminated from the total leakage current by using an algorithm to extract the resistive leakage current only. Also, the device can be operated automatically and manually to analyze the resistive leakage current even when the leakage current waveform is distorted due to various types of arrester deterioration.

To estimate the performance of the device, we carried out a test on ZnO blocks and lightning arresters. From the results, it is confirmed that the device could analyze most parameters needed for the arrester diagnostics such as total leakage current, resistive leakage current, and the 3rd harmonic leakage current.

Key Words: resistive leakage current, deterioration, measurement device, microprocessor, arrester diagnostics, harmonic leakage current

1. 서 론

전력계통에서 이상전압에 대한 기술적, 경제적으로 가장 효과적인 대책은 전압-전류의 비선형 저항특성이 우수한 산화아연(ZnO)형 피뢰기(Lightning Arrester)를 기기 또는 선로에 병렬로 설치하는 것이다^{[1],[2]}. 그러나 피뢰기도 제조사의 결함이나 사용환경에서의 흡습, 이상전압에 대한 반복되는 보호동작으로 열화가 진전되며, 열화된 피뢰기가 계통에 설치되어 있으면 정상운전전압에서도 누설전류에 의해 과열되거나, 열폭주에 도달하면서 피뢰기의 완전 전도현상에 의한 지락사고로 진전하여 2차적인 인적·물적 사고를 유발시킨다. 따라서 피뢰기의 열화정도를 상시 관측하여 열화된 피뢰기를 사전에 제거함으로써, 피뢰기로 인한 사고를 예방하여 전력공급의 신뢰성을 확보할 목적으로 다양한 방식의 피뢰기 열화진단기술이 개발되어 왔다^{[3]-[8]}. 현재까지 발표된 피뢰기의 열화진단기술에는 피뢰기의 제한전압, 방전전류, 손실전력, 누설전류, 정전용량 등을 측정하는 것이 있으며, 그 중에서도 운전 중인 피뢰기의 누설전류를 측정하여 열화를 진단하는 방법이 광범위하게 사용되고 있다^{[4]-[11]}.

누설전류를 기준으로 피뢰기를 진단하는 방법은 열화진단에 따른 저항분 누설전류의 증가분을 대신하여 단순히 전체 누설전류의 실효값과 최대값, 제 3조파 누설전류 성분의 최대값에 의하여 판단하는 것으로 측정 방법과 설치환경에서의 오차를 포함하게 되므로 열화진단에 필요한 정보를 충분히 제공하지 못하고 있는 실정이다^{[3],[4],[8]}.

본 연구에서는 여러 가지 피뢰기 특성 및 진단기술에 관한 연구 경험을 통하여 전체 누설전류와 제 3조파 누설전류 및 저항분 누설전류를 측정할 수 있는 피뢰기 누설전류 측정장치를 개발하였다^{[10]-[11]}.

누설전류 검출센서는 기존의 규소강판 소재 대신 망간 코어를 사용하는 고감도 영상변류기를 적용하였으며, 마이크로프로세서를 기반으로 주변장치와 미소 누설전류 성분들의 측정과 분석을 위한 각종의 알고리즘을 설계하였다. 기존의 열화진단기술 중에서 자기소거법의 원리를 이용하는 장치는 저항분 누설전류 검출에 있어 모두 하드웨어에 의존하므로 회로구성이 복잡하고 기능의 수정과 보완이 어려웠다^{[5]-[7]}.

그러나 본 연구에서 개발한 누설전류 측정장치는 전체 누설전류의 검출 이후의 모든 과정이 마이크로프로세서로 처리되므로 회로 구성이 간단하고 측정과 분석이 신속하게 완료되는 특징이 있다.

2. 누설전류와 열화진단기술

ZnO 소자의 전기적 증가모델은 그림 1과 같으며, R_{gb} 는

* 正 會 員 : 韓國海洋大學 電氣電子工學部 副教授 · 工博
 ** 正 會 員 : 韓國海洋大學 産業技術研究所 研究員 · 工博
 *** 正 會 員 : (株)曉星 重工業研究所 責任研究員 · 工博
 接受日字 : 2003年 4月 18日
 最終完了 : 2003年 8月 25日

입계층의 전위장벽에 생기는 비선형 저항이며, C_g 는 ZnO 입자와 입자사이의 정전용량을 나타낸 것으로 다음 식과 같이 나타낼 수 있다^{[11],[12]}.

$$C_g = \frac{\epsilon_0 \epsilon_s A}{d} [\mu F]$$

여기서 ϵ_0 는 진공의 유전율, ϵ_s 는 입계층의 비유전율, A 는 전극의 면적이고, d 는 입계층의 두께이다. 또한 회로에서 I_T , I_R , I_C 는 각각 전체 누설전류, 저항분 누설전류, 용량분 누설전류를 나타낸다.

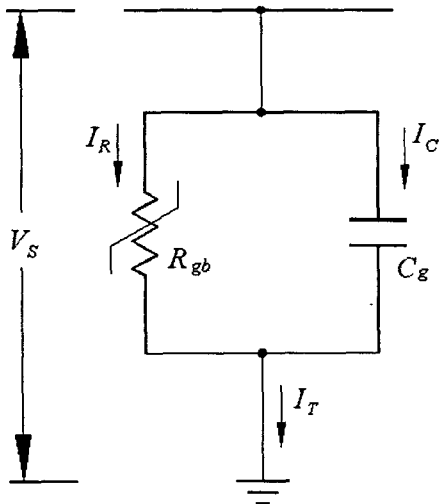


그림 1 ZnO 소자의 전기적 등가모델
Fig. 1 Electrical equivalent circuit of ZnO blocks

ZnO 피뢰기 소자에 흐르는 누설전류의 파형 예를 그림 2에 나타내었다. 전체 누설전류는 인가되는 전압과 동상인 저항분 누설전류와 위상이 $\pi/2$ 앞선 용량분 누설전류의 합으로 나타나며, 용량분 누설전류가 저항분 누설전류에 비해 크게 나타난다^{[3],[4],[9]~[12]}.

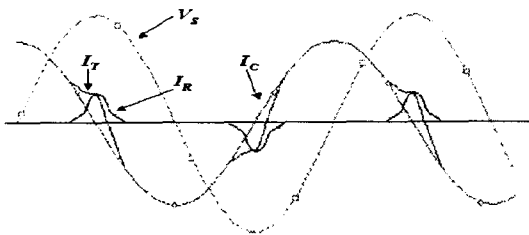


그림 2 누설전류 파형
Fig. 2 Leakage current waveforms

또한 ZnO 피뢰기 소자가 열화시 저항분 누설전류는 증가하지만 용량분 누설전류는 거의 변화를 나타내지 않는다^{[3],[8]}. 이것은 열화진전에 따라 ZnO 입계면에서 전위장벽의 저하로 저항분 누설전류가 증가하고, 어떤 값 이상으로 되면 ZnO 소자는 주울열에 의해 지속적인 온도상승과 누설전류의 증가가 반복되어 나타나는 현상이다. 이와 같이 저항분 누설전류는 ZnO 소자 열화시 지속적으로 증가하는 경향을 나타내므로 열화진단에 중요한 척도가 된다. 그러나 전체 누설전류 중

저항분 누설전류를 측정하기 위해서는 여러 가지 복잡한 회로의 부가적인 장치가 필요하며, 대표적인 방법에는 자기소거법, 동기정류법, 제 3조파 검출법, 와트로스법 등이 있다. 자기소거법은 슈미트 트리거 회로와 저역통과필터 등을 이용하여 용량분 누설전류에 해당하는 정현파를 발생시켜 전체 누설전류와의 차동회로를 통하여 저항분 누설전류를 검출하는 방법이다. 전체 누설전류에 포함된 고조파 함유율이 높거나 슈미트 트리거 회로의 정도에 의하여 저항분 누설전류의 검출에 많은 오차를 포함한다^{[5]~[7]}.

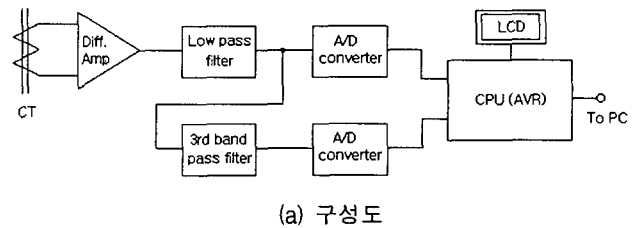
따라서 본 논문에서는 마이크로프로세서의 연산기능을 이용하여 자기소거법에서와 같이 누설전류의 영점(zero cross)을 검출하여 위상을 분석하는 알고리즘을 설계하여 저항분 누설전류 검출장치를 개발하였다. 관통형 변류기를 이용하여 전체 누설전류를 검출하고 분석된 위상으로부터 용량분 누설전류에 해당하는 정현파를 생성시켜 반전한 신호(소거파)와의 차동연산으로 저항분 누설전류만을 검출하는 것이다.

기존의 자기소거법에서는 이러한 기능의 구성을 모두 하드웨어로 설계하였으나, 본 연구에서는 누설전류 검출 이후의 모든 과정이 소프트웨어로 처리되므로 주변회로가 간단해지고 소프트웨어의 수정으로 기능의 향상이 쉽게 진행될 수 있다.

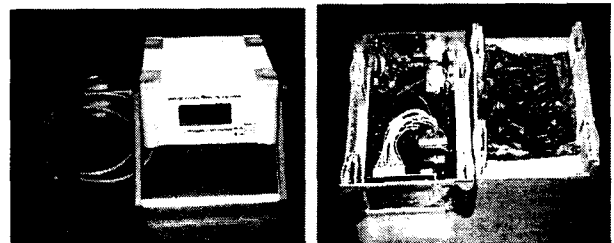
3. 누설전류 검출장치

3.1 설계 및 제작

누설전류 검출장치는 그림 3과 같이 관통형 영상변류기, 차동증폭회로, 저역통과필터 및 대역통과필터로 구성되는 신호입력부, 마이크로프로세서(ATMEGA 103, Atmel), A/D 변환기(MAX122)로 구성되는 신호처리부, PC와 데이터를 전달하는 통신부, 표시부(LCD 20×4)와 개인용 컴퓨터로 구성되며, 입력신호는 전체 누설전류만을 이용한다. 차동증폭기의 최대 이득은 60 dB로 설계하였으며, 누설전류 검출장치의 감도는 1 mV/ μA 로 수 μA 에서 5 mA까지 측정이 가능하다.



(a) 구성도



(b) 사진

그림 3 누설전류 검출장치
Fig. 3 Leakage current detection unit

전력계통에서 전원전압에 포함된 고조파의 영향으로 누설 전류 파형에도 고조파 성분이 그대로 포함될 수 있으므로 정확한 측정을 위하여 차단주파수 460 Hz(-3 dB)의 저역통과필터를 설계하였다. 또한 제 3조파 누설전류 측정을 위하여 중심주파수 180 Hz, 공진의 첨에도 Q값을 10으로 하는 대역통과필터를 설계하여 검출된 누설전류 중 제 3조파 성분만을 측정할 수 있도록 구성하였다^[13].

3.2 특성 평가

누설전류 검출장치의 적용성 평가를 위하여 입·출력 특성 및 주파수 응답 특성을 평가하였다. 영상변류기를 관통하는 누설전류를 8 μ A에서 5 mA까지 변화시키면서 출력특성을 평가하였으며, 그림 4에 검출파형의 예를 나타내었다. 입력전류에 따른 출력전압의 변화는 그림 5와 같이 10 μ A에서 5 mA까지 출력신호가 선형적으로 변화하므로 누설전류의 정확한 측정이 가능하다.

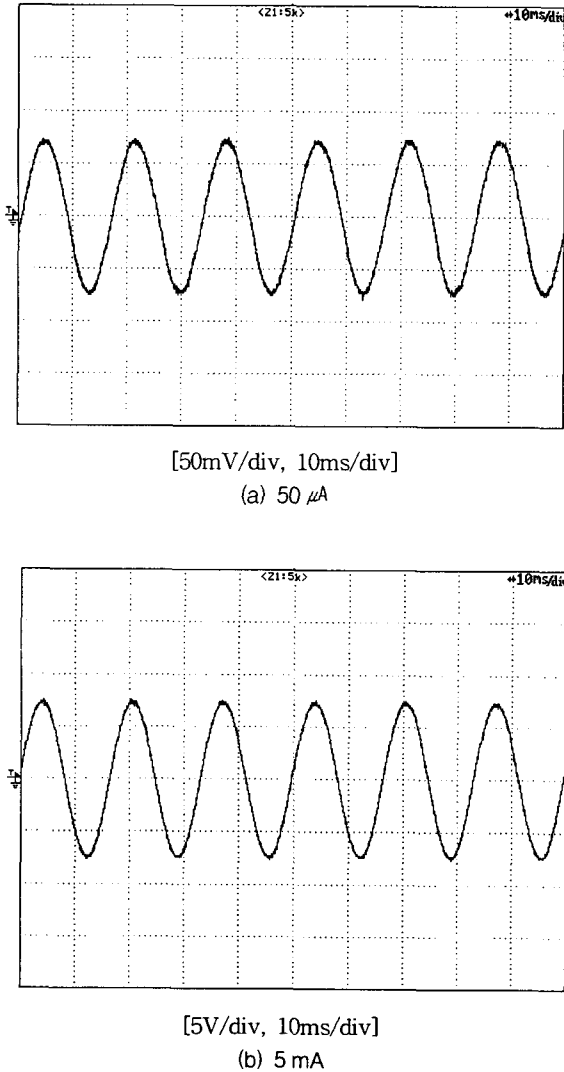


그림 4 검출 파형의 예
Fig. 4 Typical waveforms detected

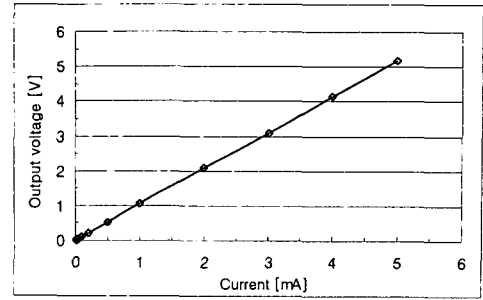
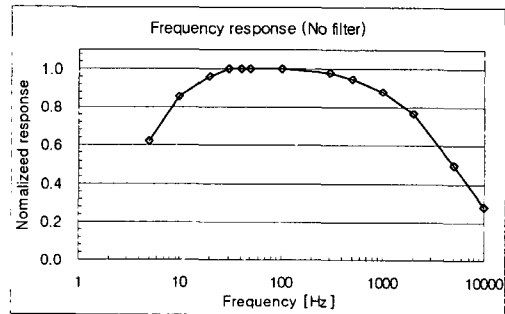
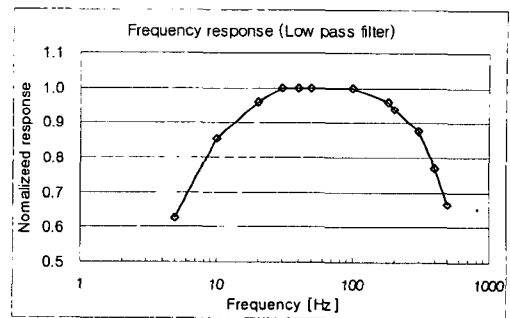


그림 5 누설전류 검출장치의 특성
Fig. 5 Characteristics of the leakage current detection unit

누설전류 검출장치의 주파수 응답 특성은 영상변류기를 관통하는 누설전류의 크기를 100 μ A로 하고 주파수를 5 Hz에서 10 kHz까지 변화시키면서 입출력 전류의 비를 분석하였으며, 그 결과를 그림 6에 나타내었다. 그림 6(a)는 필터회로를 첨가하지 않은 경우로 -3 dB의 주파수 대역은 7 Hz에서 2.8 kHz이었으며, 450 Hz까지는 감쇄가 발생하지 않는 특성이다. 그림 6(b)는 차단주파수를 460 Hz로 하는 저역통과필터를 설치한 예로서 -3 dB의 차단주파수는 460 Hz이며, 200 Hz까지는 감쇄가 발생하지 않는다. 따라서 저역통과필터를 설치한 경우 제 7조파 성분까지 유효한 범위로 측정되므로 전력계통에서 발생하는 고조파의 영향을 최대한 제거하여 정확한 검출이 가능하다. 특히 제 3조파 성분에 대한 감쇄가 전혀 없기 때문에 제 3조파 성분의 측정에 유효한 특성을 갖는다.



(a) 저역통과필터를 부가하지 않은 경우



(b) 저역통과필터를 부가한 경우

그림 6 주파수 특성
Fig. 6 Frequency characteristics

본 연구에서 설계 제작한 누설전류 검출장치를 ZnO 소자와 전력용 피뢰기에서 적용성능을 평가하였으며, 측정된 누설전류파형의 예를 그림 7에 나타내었다. 본 측정장치는 피뢰기 소자에서 송·변전용 피뢰기까지 누설전류 검출에 충분한 특성을 가지는 것으로 판단된다.

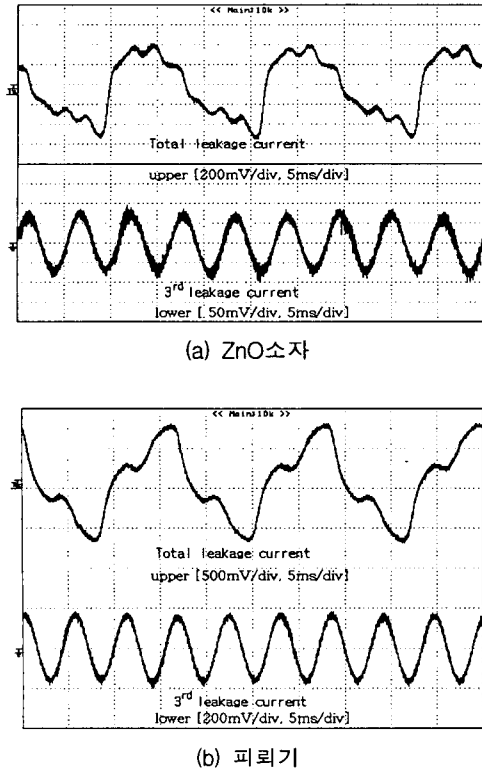


그림 7 누설전류 검출 파형 예
Fig. 7 Typical leakage current waveforms

4. 저항분 누설전류의 측정방법과 알고리즘

피뢰기를 흐르는 전체 누설전류는 그림 2에 나타난 것처럼 용량분과 저항분으로 이루어져 있으며, 전체 누설전류 중에서 저항분 누설전류는 용량분 누설전류에 비하여 대단히 작다. 또한 전체 누설전류의 영점은 저항분 누설전류의 크기에 따라 변화하고 피뢰기의 열화 정도에 따라 정·부 비대칭의 누설전류가 나타나며, 전체 누설전류와 $\pi/2$ 정도의 위상차가 있기 때문에 저항분 누설전류를 단순 측정에 의하여 검출하는 어렵다.

따라서 본 논문에서는 저항분 누설전류의 측정을 위하여 전체 누설전류의 최대값에서 용량분 누설전류를 소거시키는 자기소거법을 기본원리로 적용하고 전류 영점도 비교하여 오차를 줄일 수 있도록 하였다. 즉, 전체 누설전류를 측정하고 최대값과 영점을 검출하여 전류 영점에서 용량분 누설전류에 해당하는 60 Hz 정현 소거파를 발생시켜 전체 누설전류에서 용량분 누설전류를 소거시킴으로서 저항분 누설전류를 검출하는 것이다. 기존의 자기소거법은 전체 누설전류의 영점에서 슈미트 트리거 회로, 저역통과필터 등의 하드웨어를 이용하여 소거파를 발생하기 때문에 전체 누설전류에 포함된 고조파 성분이 증가하면 저항분 누설전류를 검출하지 못하며,

누설전류 영점을 검출하는 슈미트 트리거 회로의 정도에 의하여 오차를 포함하는 단점이 있었다^{[5]-[7]}.

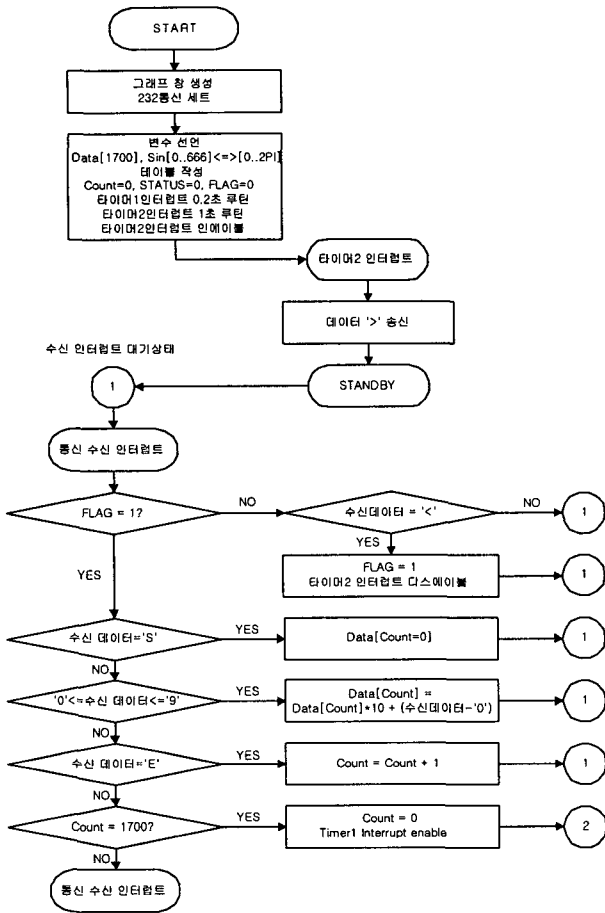
마이크로프로세서의 연산작용에 의하여 전체 누설전류의 최대값이 나타나는 위상에서 샘플링에 의하여 누설전류의 위상과 크기를 검출하고 전류 영점을 비교한다. 최대값의 크기가 같고 검출된 위상만큼 지연시킨 임의의 용량분에 해당하는 소거파를 만들어 전체 누설전류와 소거파의 차를 구하면 저항분 누설전류가 된다.

신호검출부는 누설전류의 파고분포에 의한 열화진단장치와 같이 운전전압에서 피뢰기의 접지측을 전력계통에서 분리하지 않고 누설전류를 검출할 수 있는 고감도 관통형 변류기를 사용하였다^[10]. 미소한 누설전류를 증폭할 수 있도록 이득 60 dB의 차동증폭기와 전체 누설전류에 포함되어 있는 고조파를 제거하기 위하여 차단주파수가 460 Hz인 저역통과필터 및 제 3조파 누설전류를 측정하기 위한 중심주파수가 180 Hz인 대역통과필터를 설계·제작하였다.

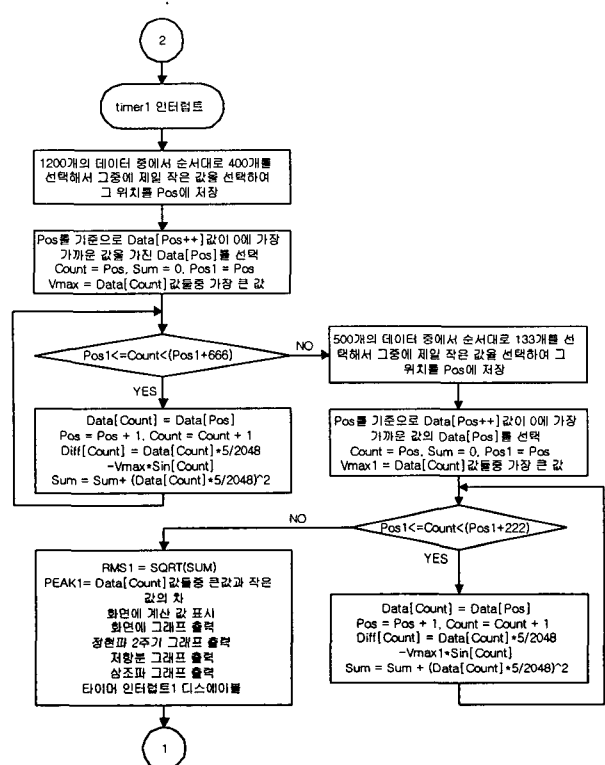
A/D 변환기(수직분해능 12 bit, 변환시간 2.6 μ s, Max122)를 적용하여 전체 누설전류와 제 3조파 누설전류를 마이크로프로세서에 입력할 수 있도록 구성하였으며, 데이터는 마이크로프로세서에서 20 kS/s의 속도로 수신된다.

마이크로프로세서는 전송받은 데이터를 이용하여 소거파를 생성하고 누설전류의 크기를 계산하며 LCD에 분석한 결과를 출력하도록 C-언어를 이용하여 프로그램을 구성하였다. 또한 개인용 컴퓨터와 연결하여 A/D 변환기로부터 받은 누설전류 데이터를 데이터 요청 신호에 의해서 전송하도록 구성하였으며, 개인용 컴퓨터에서는 누설전류 데이터를 파형으로 표현하기 위해서 Delphi-언어를 이용하여 RS-232통신이 가능하게 하였다.

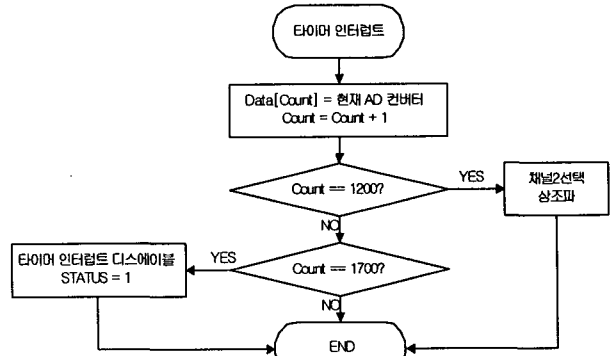
저항분 누설전류에 의한 진단시스템에는 두 가지의 프로그래밍 언어를 이용하여 그림 8에 나타난 순서도에 따라 동작하도록 구성하였다. 그림 8(a)는 A/D 변환기에서 전체 누설전류 데이터를 일정 개수를 입력받아 저장하고 데이터 요청 신호에 의하여 개인용 컴퓨터로 전송하는 단계를 나타낸 순서도이다. 컴퓨터의 화면에서 데이터를 나타내기 위하여 창을 만들고 RS-232 통신을 설정하며, 데이터를 저장할 메모리 공간을 확보한다. 통신 수신 인터럽트에 의해서 연산에서 필요한 2주기를 나타내기 위한 1,700개의 데이터를 저장한다. 그림 8(b)는 장치로부터 제공받은 데이터 1,700개를 전체 누설전류 데이터 1,200개와 제 3조파 데이터 500개로 구분하여 누설전류의 영점을 찾고, 파형을 나타내기 위한 순서도이다. 전체 누설전류의 파형은 영점에서부터 2주기를 나타내며 전체 누설전류의 최대값의 위상에서 같은 크기의 최대값을 갖는 60 Hz 소거파를 만든다. 두 신호의 차를 계산하여 2주기의 신호로 표현되는 저항분 누설전류를 저장한다. 전체 누설전류(타이머2 인터럽트)의 연산을 끝내고 제 3조파 누설전류(타이머1 인터럽트)를 나타내기 위하여 500개의 데이터에서 영점을 기준으로 갖는 신호를 저장한다. 저장된 신호들을 2주기의 평균으로 최대값을 나타내며, 실효값의 계산에는 직사각형 적분법을 적용한 후 2주기의 값을 평균하여 오차를 최소화하였다^[14]. 그림 8(c)는 타이머 인터럽트의 알고리즘으로 A/D 변환기 2개를 받은 데이터 개수에 의하여 선택할 수 있게 구성하였다. A/D 변환기 1에서 1200개의 데이터는 전체 누설전류를 A/D 변환기 2에서 500개의 데이터는 제 3조파



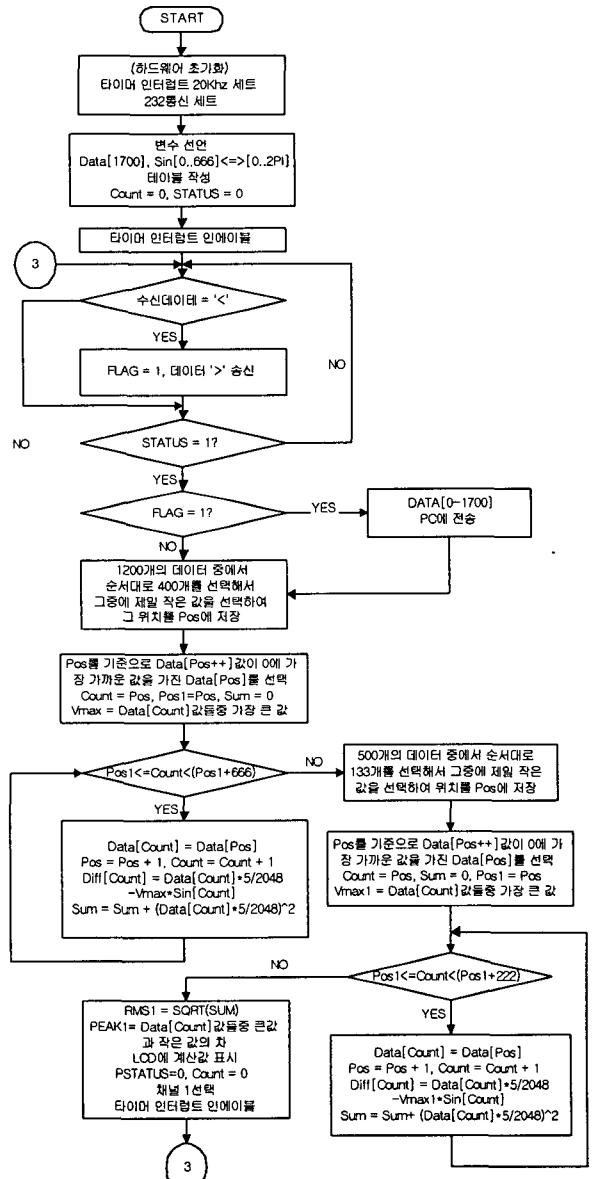
(a) 데이터 요청 알고리즘



(b) PC용 계산 알고리즘



(c) 타이머 인터럽트 알고리즘



(d) Unit용 계산 알고리즘

그림 8 저항분 누설전류 측정 알고리즘

Fig. 8 Algorithm for measuring the resistive leakage current

누설전류를 나타낸다. 그림 8(d)는 장치에서 처리되는 과정을 나타낸 순서도이다. 마이크로프로세서를 초기화시키고 타이머 인터럽트와 RS-232 통신을 설정하고, 데이터를 저장할 변수를 선언한다. 필요한 개수만큼의 데이터를 받은 후 컴퓨터에서 데이터 요청 신호가 있다면 데이터를 전송하며, 컴퓨터에서와 같이 전체 누설전류와 제 3조파 누설전류 데이터를 처리하여 저항분 누설전류를 나타낸다.

그림 3에 나타낸 누설전류 검출장치에서는 이와 같은 알고리즘으로 저항분 누설전류와 제 3조파 누설전류의 최대값, 전체 누설전류의 최대값과 실효값을 출력한다. RS-232 통신 프로토콜을 이용하여 개인용 컴퓨터로 데이터를 전송하고, 마이크로프로세서를 제어하는 프로그램은 컴퓨터에서 구성하여 병렬포트를 통하여 프로그램을 전송 받을 수 있게 구성하였다. 개인용 컴퓨터에서 표시되는 누설전류 측정 프로그램의 화면은 그림 9와 같이 전체 누설전류, 저항분 누설전류 및 제 3조파 누설전류의 파형과 각각의 크기를 나타내도록 구성하였다.

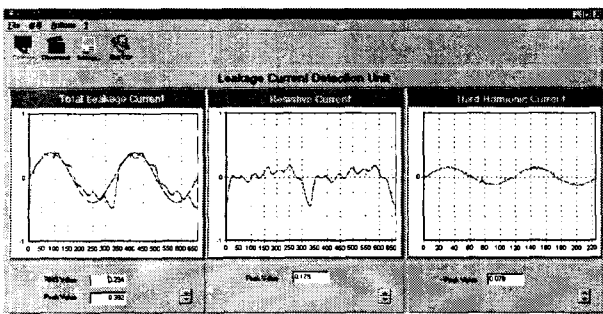
x축은 위상(전체 누설전류)과 데이터 개수(제 3조파 누설전류), y축에는 누설전류의 크기로 표시하였으며, y축은 누설전류의 크기에 따라 변형이 가능하다.

고감도 영상변류기를 센서로 하는 누설전류 검출장치를 설계·제작하였으며, 특성실험으로부터 측정범위는 10 μ A ~ 5 mA, 주파수 대역은 7Hz ~ 460Hz(-3 dB)로 평가되었다.

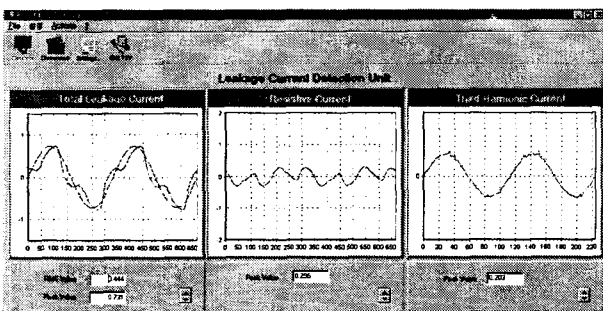
이는 피뢰기 누설전류 측정시 오차의 원인이 될 수 있는 전원 고조파의 영향을 최소화할 수 있으며, 전체 누설전류의 제 3조파 및 제 5조파 성분, 저항분 누설전류의 측정에도 충분한 특성이다.

또한 전체 누설전류만으로 저항분 누설전류의 분석이 가능하도록 자기소거법의 원리를 적용하여 마이크로프로세서를 탑재한 저항분 누설전류의 검출 알고리즘과 분석프로그램을 개발하였다. 전체 누설전류의 검출 이후의 모든 과정이 소프트웨어로 처리되므로 기존 장치에 비해 주변회로가 간단해지고 단계별 측정작업이 요구되지 않으며, 누설전류의 측정과 분석이 신속하게 처리된다.

본 논문에서 개발한 누설전류 측정장치는 피뢰기의 온라인 열화진단에 요구되는 저항분 누설전류와 전체 누설전류, 제 3조파 누설전류에 대한 충분한 정보를 제공할 수 있으므로 향후 피뢰기로 인한 전력계통 사고를 감소시켜 전력공급의 신뢰성 향상에 기여할 수 있을 것으로 생각한다.



(a) ZnO소자



(b) 피뢰기

그림 9 출력 화면 예
Fig. 9 Example of the output display

5. 결 론

본 논문에서는 피뢰기 열화진단에 있어 중요한 지표로 사용되는 저항분 누설전류의 측정방법과 장치에 대하여 연구하였다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부의 지원에 의하여 기초전력공학공동연구소 주관으로 수행된 과제(00-역-02)이며, (주) 효성의 시제품 제작과 적용실험 협조에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- [1] J.R.Ribeiro, M.E.McCallum, "An application of metal oxide arresters in the elimination of need for closing resistors in EHV breakers", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol.4, No.1, pp.282~291, 1989.
- [2] J.J.Burke, "Application of mov gapped arrester on noneffectively grounded distribution systems", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol.6, No.2, pp.794~800, 1991.
- [3] S.Shirakawa et al., "Maintenance of surge arrester by portable arrester leakage current detector", IEEE Transaction on Power Delivery, Vol.3, No.3, pp.998~1003, 1988.
- [4] J.Lundquist et al., "New method for measurement of the resistive leakage currents of metal-oxide surge arrester in service", IEEE Transaction on Power Delivery, Vol.5, No.4, pp.1811~1822, 1990.
- [5] 宇治田克 外, "酸化亞鉛形避雷器用漏れ電流檢出器", 三菱電機技報, Vol.55, No.3, pp.228~231, 1981.
- [6] 石辺信治, "酸化亞鉛形避雷器の劣化診斷テクニック", 電氣計算, Vol.44, No.3, pp.56~60, 1987.
- [7] 石崎義弘 外, "避雷器の外部診斷技術", OHM, Vol.74, No.4, pp.45~50, 1987.

- [8] 江藤伸夫 外, “酸化亞鉛形避雷器の漏れ電流檢出方式の提案”, 日本電氣學會 電力・エネルギー部門大會, pp.850~851, 1994.
- [9] 길경석, 한주섭, “다중뇌충격전류에 의한 산화아연형 피뢰기 소자의 전기적 특성 변화”, 대한전기학회 논문지, 제49C권, 12호, pp.685~690, 2000.
- [10] 길경석 외, “뇌충격전류에 의한 산화아연형 피뢰기 소자의 전기적 특성과 피뢰기 열화진단 전문가 시스템”, 대한전기학회 논문지, 제51C권, 4호, pp.152~157, 2002.
- [11] T. K. Gupta, “Application of zinc oxide varistors”, Journal of the American Ceramic Society, Vol.73, No.7, pp.1817~1840, 1990.
- [12] L. M. Levinson, H. R. Philipp, “The physics of metal oxide varistors”, Journal of Applied Physics, Vol. 46, No.3, pp.1332~1341, 1975.
- [13] Robert F.Coughlin, Frederick F.Driscoll, “Operational Amplifiers and Linear Integrated Circuits”, Prentice-Hall, 1987, pp.266~298.
- [14] Robert J.Schilling, Sandra L.Harris, “Applied Numerical Methods for Engineers Using MATLAB and C”, BROOKS/COLE PUBLISHING COMPANY, 1999, pp.321~328.

저 자 소 개



길 경 석 (吉 曠 碩)

1962년 6월 30일생. 1984년 인하대 전기공학과 졸업. 1987년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1996년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박사). 1996~현재 한국해양대학교 공과대학 전기전자공학부 부교수.

2003년 2월~현재 영국 Cardiff University 방문교수.

Tel : 051-410-4414, Fax : 051-403-1127

E-mail : kilgs@hhu.ac.kr



한 주 섭 (韓 柱 燮)

1972년 1월 13일생. 1997년 부경대학교 제어계측공학과 졸업. 1999년 한국해양대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2003년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박사). 2003년~현재 한국해양대학교 산업기술연구소 연구원

Tel : 051-410-4893, Fax : 051-403-1127

E-mail : jshan@bada.hhu.ac.kr



김 정 배 (金 正 培)

1966년 10월 12일생. 1989년 한양대학교 전기공학과 졸업. 1991년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2000년 일본 규슈대학 대학원 전기공학과 졸업(공학박사). 1991~현재 효성중공업연구소 창원분소 책임연구원.

Tel : 055-268-9917, Fax : 055-268-9928

E-mail : hico-jbkim@hyosung.com