

**웹기반 활선 절연측정장치의 개발**

김영일

대림대학 전기과

**A Study of Web based Hot-Line Insulation Device**

Young-il, Kim

Daelim College , Department of Electrical Engineering

**Abstract** 기존의 기술이 Off Line 상태에서 대지 정전 용량을 포함 하는 영상 전류 방식의 절연 저항을 측정 하는 반면, 본 기술은 기본적으로는 부하 Line에 흐르는 누설 전류를 샘플링 하여 얻어진 계측 값을 기초로 절연 저항에 흐르는 대지 절연 저항 전류 Igr을 구한다.

이와 같이 본 시스템은 웹 기반에서 원격 감시/제어를 가능케 한 것으로 Line을 Off시키지 않고 절연 저항을 구한다. 이때 얻어진 절연 저항, 선전류, 각 상별 전압을 Local 계기에서 Display하고 통신 출력을 통해 원격지에서 측정 시 제어를 수행한다.

이러한 기술적 기반은 Igr방식을 채용, 기존의 Io방식의 결점인 누설 전류의 크기인 스칼라량 검출로 인한 정전 용량, 잡음, 그리고 손실 오차와 부동작 요인에 관한 한계를 Igr방식의 채용으로 극복할 수 있어 절연 저항 측정에 대한 신뢰성과 안전성을 도모할 수 있다.

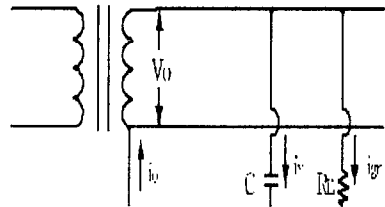


그림1 저압 배전선의 등가회로

그림1에서 대지누설전류 Igr은 전원전압 Vo와 동상이며, 무효전류 Ix는 Vo에 대해 위상이 90° 앞선다. 따라서 접지선전류 Io는

$$I_o = I_{gr} + I_x \text{ -----(1)}$$

대지정전용량 C는 일선접지 2도체 전선간의 정전용량 C1과 전선대전간의 정전용량 Ce의 합으로서..

2도체 전선의 정전용량 C1 은 다음 식으로 계산한 값으로 된다.

$$C1 = 27.8\epsilon_s / \ln(D/d) \text{ [nF/Km]}$$

여기서  $\epsilon_s$  :절연피복의 비유전률

D :피복외경 [mm]

d :도체외경 [mm]

또한 전선과 대지간의 정전용량 Ce는, 앞의 식에 의해서 유도하면, 다음 식이 된다.

$$C_e = 2 * 27.8 / \ln(2h/a) \text{ [nF/Km]}$$

여기서 h : 전선의 지상 높이 [mm]

a : 전선도체의 반경 [mm]

저압전로의 절연저항 값은 0.2M 이상으로 되는 것이 바람직하기 때문에 누설저항 값 0.2M에 대한 Igr은, 1mA(220V선로)가 될 때의 옥내선 200m에 대한 접지선에 흐르는 합성전류 Io는 1.72mA가 된다. 따라서 접지선에 삽입한 종래의 클램프형 전류계 지시치로는 Igr과 Ix를 분리시켜 계측할 수 없다. 이와 같이 피 측정계는 통상 대지정전용량이 크고 이것에 의한 무효전류는 절연불량에 의한 누설전류에 비해 대단히 크게 된다.

**3. 하드웨어 구성**

무정전 절연장치의 하드웨어 구성은 그림 2에서 보는 것처럼 크게, 중첩용 변성기, Main Unit, 그리고 기준전압 발생장치로 구분되며, 최대 8채널의 측정개소에서 원격 감시가 가능하도록 시스템을 설계하였다.

**3.1.중첩용 변성기**

중첩용 변성기는 측정용 전압을 일점 접지방식의 접지선에 공급하기 위한 변성기이다.

**1. 서 론**

자가용 전기설비에서 가장 많이 발생하는 트러블은 저압 회로의 누전에 기인하는 사고로서, 전기 화재나 감전사고, 그리고 정전 범위의 확대 등으로 진행하기 때문에 조속한 누전 검출 및 경보를 통해 사전에 회로의 차단이 무엇보다도 중요하다.

그러나 절연 저항의 측정은 정전을 필요로 하여 전기계통 전체에서의 절연 측정이 불가능 할 뿐만 아니라, 정전으로 인해 컴퓨터 및 중요한 전자기기의 파손을 초래하기도 한다. 또한 컴퓨터를 이용한 시스템 및 정보관리 등에 의해 정전이 불가능한 경우도 있어 절연 저항 측정을 수행할 수 없는 경우도 발생한다.

그밖에 정전으로 인해 시스템의 정지나 주요정보의 상실로 주변 지역사회의 혼란과 복잡성이 가중되어 손실이 막중하게 된다.

본 연구는 무정전의 활선 상태에서 절연저항을 웹 기반 하에서 24시간 실시간 감시하고, 이 데이터를 분석, DB구축을 통해 미세한 절연 열화를 조기에 감지함으로써, 지락 사고에 의한 전기 화재, 재산 손실, 인명 피해 등을 사전에 예방하고자 한다. 이와 같이 전기 설비의 절연 불량으로 인한 재해를 사전에 예방 할 뿐만 아니라 경비 절감을 위하여 웹 기반(Online)의 무정전 활선 절연 저항 측정 장치를 개발 하였다.

**2. 연구 배경**

기존 기술의 경우에는 ZCT를 전원 접지선에 삽입시켜, 대지 누설전류의 유효 분을 계측할 경우, 피 측정계의 문제를 개선하지 않으면 안 된다.

옥내배선을 포함한 저압 배전선의 일반적인 피 측정계의 등가회로를 그림 1에 나타내었다.

그림1에서 Vo는 전원전압, Io는 접지선 전류, Igr은 대지 누설저항 RE에 의한 누설전류(유효 분), Ix는 대지 정전용량 C에 의한 무효전류이다.

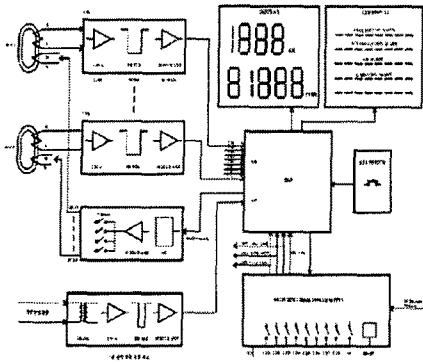


그림 2 H/W 구성도

중첩용 변성기는 일차 측에 수 회외 여자코일을 감고 창 내를 관통시킨 피 절연 감시전로의 변압기 제 2종 접지선이 1 TURN, 2차 도체로서 작용하고, 접지선에는 저주파의 전압이 유기된다. 여기에 접지선을 전원(절연 검출용)으로 하고, 전로의 대지간 절연 임피던스를 부하로 하는 절연감시의 회로가 구성된다.

### 3.2 메인 유닛

Main Unit는 ZCT 입력회로, 디지털 신호처리회로, 저 잡음 라인 I/F회로, 그리고 디스플레이부로 구성하였다.

#### 3.2.1 ZCT신호 입력 및 디지털 신호처리부

ZCT신호 입력회로는 ZCT를 포함한 신호 검출회로로 구성된다. 누설전류 파라미터 항목을 측정하는데 있어 고조파 성분을 포함한 전류와 전압신호를 변환하는 변환기의 동작은 측정처리에 필수적이다.

이러한 변환기의 기능은 전력시스템에서 전류 또는 전압측정을 위해 직접적인 연결이 불가능한 환경에서 장비의 동작과 병행할 수 있는 수준으로 맞추는 것이다.

디지털 신호처리회로는 크게 A/D 변환부와 마이크로 프로세서, 그리고 디지털 필터로 구성된다. A/D 변환부는 전단의 신호전압과 기준전압을 개별적으로 디지털로 변환하고, 마이크로프로세서에 입력된다.

아날로그 신호를 디지털로 변환시켜주는 A/D변환부는 누설전류 계측시스템의 중요한 부분이라 할 수 있다.

#### 3.2.2 저잡음 라인 I/F부

저 잡음 라인 I/F회로는 8채널의 절연측정 개소마다 절연상태를 감시, 제어하기 위한 채널의 인터페이스 회로로서, Coupler, OP Amp, Active Low Pass Filter, Buffer Amplifier로 구성된다.

각 8채널마다 ZCT입력에 대한 인터페이스를 제공할 뿐만 아니라 60Hz의 ZCT 입력신호의 외부잡음을 제거하여 누설 절연데이터의 정확도를 높이기 위한 기능을 갖는 정밀 설계를 필요로 한다.

#### 3.2.3 디스플레이부

그림 2의 디스플레이부는 영상 변류기로 검출한 부하 절연 임피던스에 흐르는 절연 검출용 주파수 성분의 전류에 대해 변압기의 접지선(또는 중성선)과 대지 간으로부터 받아들인 절연검출용 주파수의 전압에 의해 유효분 검출회로에서 유효분 연산을 행한 저항성의 전류를 분리 추출한다.

출력전류 환산회로에서는 추출한 저항성의 전류를 대상전로의 대지전압에 환산한 전류치(통과기준)또는 절연 저항치로 변환하여 후단의 LED 디스플레이 등의 회로에 공급한다.

### 3.3 기준전압전원발생장치

그림 3 에서처럼 기준전압 전원발생장치는 60Hz, 220V의 활선상태의 중첩용 트랜스로부터 0.25V, 10Hz의 기

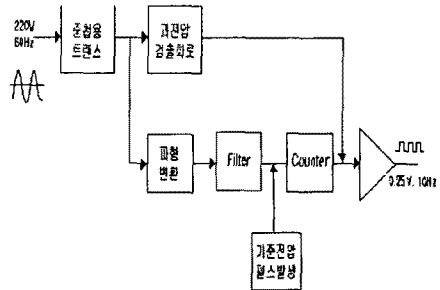


그림 3 기준전압 전원장치

준전압을 발생시키기 위한 회로로서, 과전압 검출회로, Schmidt Trigger, Active Filter, Counter, 기준전압펄스 발생회로, Power Amplifier로 구분된다.

220V, 60Hz의 정현파 신호입력을 받는 중첩용 트랜스는 1차 측에 수회외의 코일을 감고, 접지선을 1회 권수의 2차 도체로 하는 변압기로서, 접지선을 절연검출을 위한 전원 측으로 하고, 전로와 대지간의 절연 임피던스를 부하로 하는 절연감시회로로 구성하였다.

### 4. 연산 및 제어 알고리즘

ZCT로 검출한 부하 임피던스에 흐르는 절연 검출용 주파수 성분의 누설전류에 대해서, 변압기 접지선과 대지 간으로부터 받아들인 전로와 대지 간에 가한 절연 검출용 주파수 성분의 기준전압에 의해 저항성의 실효치 전류 Igr을 분리 추출하고, 절연저항 값을 구한다.

기준신호(Ref)는 상용전원으로부터 전압, 위상을 정확하게 조정된 것으로서, 상용전원은 통상 저차수의 기수 고조파가 1~2[%]함유되어 있기 때문에 DSP에 의해서 DFT처리를 하여 기본 상용주파수의 성분만을 산출한다.

기본 상용주파수의 스펙트럼 값은 식 (2)와 같다.

$$X_1 = \frac{1}{N} \cdot \sum_{k=0}^{N-1} X_k (\cos \frac{2\pi k n}{N} - j \sin \frac{2\pi k n}{N}) \quad (2)$$

N : 샘플링 수, n : 정수, T : 피 측정파의 주기

X(\*) : 기본 상용주파수의 스펙트럼

Xk : 샘플링 k번째의 순시 값

90° 앞선 스펙트럼으로 하면

$$X_2 = \frac{1}{N} \cdot \sum_{k=0}^{N-1} X_k (-\sin \frac{2\pi k n}{N} - j \cos \frac{2\pi k n}{N}) \quad (3)$$

그림 4는 Igr의 연산 플로우차트를 나타낸다.

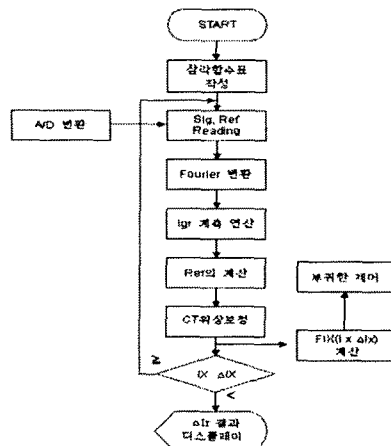


그림 4 Igr의 연산 플로우차트

## 5. MMI 화면구성

Web Browser를 이용하여 설치장소에 구애받지 않도록 원격에서 제어가 가능하도록 MMI(Man Machine Interface)를 개발하고, 누설전류, 전압, 전력 등의 계속 값이 누설 Data Logger를 통해 수집되도록 시스템을 구성하였다.

- 일보, 월보, 년보 등의 절연 저항 측정일지 출력
- 경보출력 및 E-mail의 경보 메시지 전송
- 기간별 통계분석 자료 출력
- 절연상태 변화 이력관리 출력
- RS-485 인터페이스
- TCP/IP 프로토콜 변환 회로 개발

### 5.1 Main 화면

- 전압, 전류, 전력
- 역률, 주파수, 불평형률
- %THD, Igr
- 절연상태
- Trend Graph 및 Trend 합성
- Trend 이력
- 경보설정 및 경보이력
- 일보, 월보 Report 출력

그림 5와 같이 MMI Main 화면에 전압, 전류, 전력, 역률, 주파수, %THD 등을 디스플레이 하는 프로그램 모듈로서 6개의 서브 모듈로 구성한다.

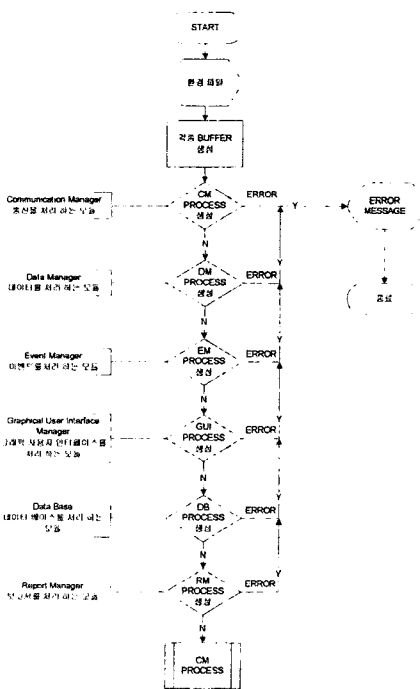


그림 5 Main Process Module

### 5.2 사용자인터페이스조작

개발 장치의 단자를 통해 RS-232C의 통신방식으로 PC와 데이터 통신에 의해 상기한 조작보다 편리한 사용자 인터페이스가 가능하도록 화면을 구성하였다.

## 6. 원격 감시Web Server의 프로세스

원격프로세스를 진행하기 위하여 내장된 각종 버퍼구조를 초기화시키고, RS-485통신을 경유하여 Queue의 전송 주기에 따라 계속자료를 분석 및 연산함으로써 서버로 데이터를 전송한다. 그림 7은 서버의 프로세스를 나타낸다.

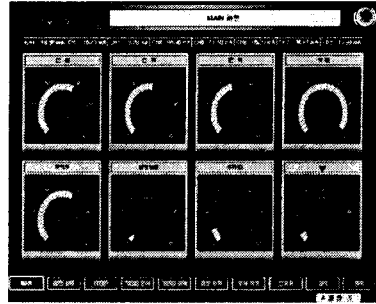


그림 6 주 화면

### 6.1 Start 프로세스

임베디드 서버의 초기실행은 데이터 버퍼의 생성과 연산 프로세서의 기동, 통신 및 계속 프로세서의 기동, 그리고 UDP 프로세서의 기동으로 이루어진다

### 6.2 계속 프로세스

현장의 Call 신호를 수신한 계속 프로세서는 센서의 수량파악과 계속주기의 버퍼를 생성시키고 RS-485로부터의 Queue 신호를 생성한다.

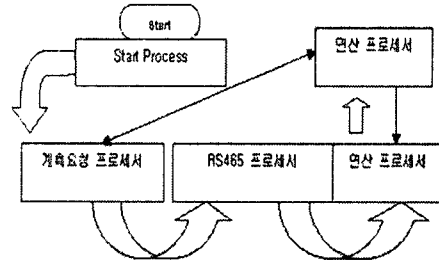


그림 7 임베디드 서버의 프로세스 절차

### 6.3 연산 및 통신 프로세서

수신된 자료를 전력계측제어기 서버로 전송하고 수신된 자료에 따라 각 프로세서로 연동시키는 역할을 수행하며, TimeSend 버퍼생성과 전송시간에 따라 UDP 프로세서로 전송한다. Queue에 들어온 자료를 RS-485에 전송하고 RS-485에 들어온 자료가 있으면 연산 프로세서로 전송하는 기능을 수행한다.

## 7. 결 론

본 연구는 운전 중인 전기설비를 부정전 상태로 상시 누설전류를 측정하여 정해진 값 이상의 누설전류가 흐를 경우, 신속한 조치를 취할 수 있도록 관리자에게 이상상태를 알려주는 시스템이다.

기존의 기술이 Off Line 상태에서 대지 정전 용량을 포함 하는 영상 전류 방식의 절연 저항을 측정하는 반면, 본 기술은 기본적으로는 부하 Line에 흐르는 누설 전류를 샘플링 하여 얻어진 계속 값을 기초로 절연 저항에 흐르는 대지 절연 저항 전류 Igr을 구한다. 이와 같이 본 시스템은 웹 기반에서 원격 감시/제어를 가능케 한 것으로 Line을 Off시키지 않고 절연 저항을 구한다. 이때 얻어진 절연 저항, 선전류, 각 상별 전압을 Local 계기에서 Display하고 통신을 통해 원격지에서 측정 시 계어를 수행한다. 이와 같이 Igr방식을 채용, 기존의 Io방식의 결점인 누설 전류의 크기인 스칼라량 검출로 인한 정전 용량, 잡음, 그리고 손실 오차와 부동작 요인에 관한 한계를 Igr방식의 채용으로 극복할 수 있어 절연 저항 측정에 대한 신뢰성과 안전성을 도모할 수 있다.

### [참고 문헌]

- [1] 전기서원, "저압전로의 절연성능", 전기설비 기술기준과 해석, 17권, 2000.8.15
- [2] 요코가와 전기산업, "절연저항 측정장치", 공개특허공보