

## 차단기 트립코일 이상감지 장치

(A Trip Coil Fault Detection of Circuit Breaker)

윤주혁\* · 이종헌 · 박노식 · 이동희\*\*

(Ju-Houc Youn · Jong-Hun Lee · Noh-Sik Park · Dong-Hea Lee)

### Abstract

The circuit breaker of power distribution board is essential part for the protection of electrical disaster from load short, trouble of power system. For the normal operation of circuit breaker, trip coil of the circuit breaker can cut the mechanical contact of circuit breaker from the detection of power system troubles.

This paper presents a design and experimental results of trip coil fault detection system for the real time monitoring of the circuit breaker. The designed system is consisted by the trip coil fault detector which is connected to the each circuit breaker and remote monitoring unit. The trip coil fault detector can detect the impedence and operating voltage of the trip coil, and the detected values are compared with the normal state. And the remote monitoring unit can be connected to the 32 channels of trip coil fault detectors by serial communication. From the designed system, the fault and normal states of the trip coil can be remotely monitored in real time.

The designed system is verified by the practical circuit breaker of power distribution board. And the results shows the effectiveness of the designed system.

Key Words : Trip Coil Fault Detection System, Real Time Monitoring

### 1. 서 론

배전용 차단기는 배전선로에서 누설 전류 및 과전류로 인한 감전사고와 부하 장치의 오동작 및 소손, 전기 재해를 방지하기 위하여 사용되는 필수적인 전력장치

이다[1-4]. 이러한 배전용 차단기는 간단한 누설감지 회로와 기계적인 접점을 동작시키기 위한 전기기계적인 부품으로 구성되어 있으며, 전력을 사용하고 있는 모든 설비 및 공장, 가정 및 상업용 시설물에 필수적으로 설치되고 있다. 최근 공장에서의 각종 자동화 시스템의 증가와 가정에서의 편의장치의 급증 및 농업용 전력 소비량의 증가에 따라 차단기의 사용은 크게 증가하고 있다[3-5].

차단기의 설치로 인하여 누전으로 인한 인명 사고 및 전기에 의한 재해는 크게 감소하였지만, 차단기의

\* 주저자 : 경성대학교 메카트로닉스공학과 석사과정

\*\* 교신저자 : 경성대학교 메카트로닉스공학과 조교수

Tel : 051-663-4693, Fax : 051-624-5980

E-mail : leedh@ks.ac.kr

접수일자 : 2010년 10월 9일

1차심사 : 2010년 10월 15일

심사완료 : 2010년 12월 11일

제품 불량 및 노후화와 서지 유도 전류 및 고조파에 의한 오동작으로 인하여 순간 정전 현상이 발생하기도 하며, 이러한 전압의 변동은 전력을 공급받는 부하 장치에 안정적으로 전력을 공급하지 못하게 되므로 장치의 소손과 전력 공급의 중단으로 인한 많은 손실을 발생시키게 된다. 특히 제품의 노후화로 인한 교체 시기를 판단하지 못하여 많은 노후화된 차단기에서 여전히 인명 및 전기 재해의 문제를 안고 있으며, 이러한 장비의 교체를 위한 많은 인력과 경제적 손실을 발생시키고 있다.

최근 30년간 기술 개발의 추이를 살펴보면, 전력 소비량은 지속적으로 증가하고 있고, 앞으로도 각종 편의 시설 및 자동화 장치의 증가로 인한 전력 소비량은 증가할 것으로 예상되고 있다. 이러한 전력소비는 필수적으로 안전 문제를 동반하게 되므로 배전용 차단기는 인명 사고 및 전기 재해와 전기 부하장치의 보호를 위해 매우 중요하다. 실제로 배전용 차단기의 오동작에 대한 다양한 원인이 지속적으로 규명되고 있고, 이를 보완하기 위한 기술들이 점진적으로 개발되고 있다. 하지만 제품의 불량 및 노후화로 인한 오동작은 차단기에 있어서 큰 문제가 되고 있다[3-5].

특히 차단기의 트립은 각종 전력사고인 OCR(Over Current, 과전류), OCGR(Over Current Ground, 누설지락전류), OVR(Over Voltage, 과전압), UVR(Under Voltage, 부족전압)에 대하여 전력계통으로부터 부하를 차단하는 동작을 수행한다. 일반적으로 차단기의 트립은 이러한 이상상황에서 트립코일에 전압을 인가하여 기계적인 접점을 차단함으로써, 부하와 전력 계통을 차단하게 된다. 정상적인 상태에서는 트립코일은 여자전류에 의하여 기계적인 접점을 차단할 수 있지만, 트립 코일에 이상이 있는 경우에는 전력계통의 이상을 차단기가 차단하지 못함으로 인하여 계통의 이상이나 부하의 이상이 연속적으로 다른 계통이나 부하에 오동작을 유발하여 막대한 경제적 및 인명 손실을 일으키는 중요한 원인이 된다. 따라서 이를 예방하기 위해 노후된 차단기나 트립코일의 이상으로부터 교체 시기를 확인하기 위한 차단기의 동작 상태를 지속적으로 감지하는 장치의 중요성이 크게 대두되고 있다. 특히 공장 설비나 비닐하

우스와 같이 전력을 사용하는 설비와 실제 사무실의 거리가 매우 먼 상태에 존재하는 경우에는 이러한 차단기의 동작을 원격으로 감시하여야 하며, 차단기의 오동작 빈도를 분석하여 적절한 시기에 교체하도록 하여, 사전에 인명 및 전기 재해를 예방할 필요가 있다[6-7].

본 논문에서는 차단기의 트립코일의 이상상태를 트립코일 구동전압 및 트립코일의 임피던스를 상시적으로 검출하여 트립코일이 정상적으로 동작하지 못하는 상태를 실시간으로 감지하는 원격 감시장치를 설계하고, 실제 실험을 통하여 그 성능을 확인하였다. 본 논문에서 적용한 원격 감시장치는 각 차단기와 연결되어 차단기의 트립코일 이상을 감지하는 트립코일 감지기와 다수개의 트립코일 감지기를 원격으로 제어하고 이상상태를 알려주는 원격모니터링 장치로 구성되어 있다. 트립코일 감지기는 절연형으로 설계된 트립코일 구동 전압 감지회로와 트립코일 임피던스 감지회로를 통하여 트립코일의 이상상태를 판단하도록 구성되어 있으며, 하나의 원격모니터링 장치는 최대 32개의 차단기와 연결된 트립코일 감지기를 실시간으로 감시하고, 모니터링된 결과는 데이터로 저장하여 차단기의 상태를 시간에 따라 통계적으로 확인할 수 있도록 구성하였다.

## 2. 차단기의 구성

그림 1은 일반적으로 배전반에 적용되는 차단기의 내부 구조를 나타내고 있다. 그림 1에서 차단기는 차단기를 개폐하기 위한 개폐코일(Close coil)과 차단기를 차단하기 위한 트립코일(Trip coil)로 구성되어 있고, 차단기 내부에 설치된 전류, 전압 및 지락검출 회로로부터 비정상적인 전력계통에 대해서 차단기의 트립코일에 전력을 공급하여 전력을 계통으로부터 차단하는 동작을 수행한다[6-7].

이때 전력계통에서 비정상적인 상태에 대하여 차단기를 정상적으로 차단하기 위해서는 차단기의 기계적인 접점을 강제적으로 오픈시키기 위한 충분한 힘이 트립코일로부터 공급되어야 한다. 만약 차단기 트립코일의 구동전압이 충분하지 못하거나, 트립코일이 개

방 또는 단락 및 이에 준하는 이상이 있는 경우에 트립코일은 기계적인 접점을 강제적으로 개방시키지 못하게 된다.

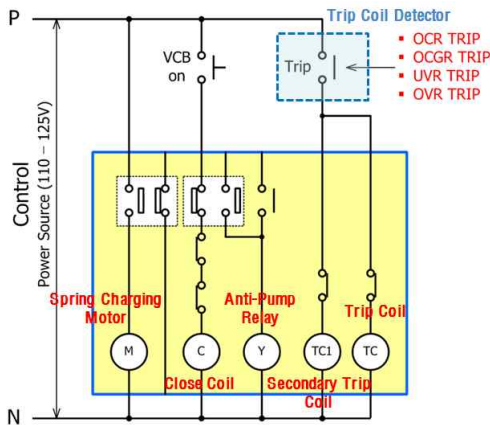


그림 1. 차단기의 내부 구조  
Fig. 1. Internal structure of circuit breaker

### 3. 차단기 트립코일 이상감지 장치의 설계

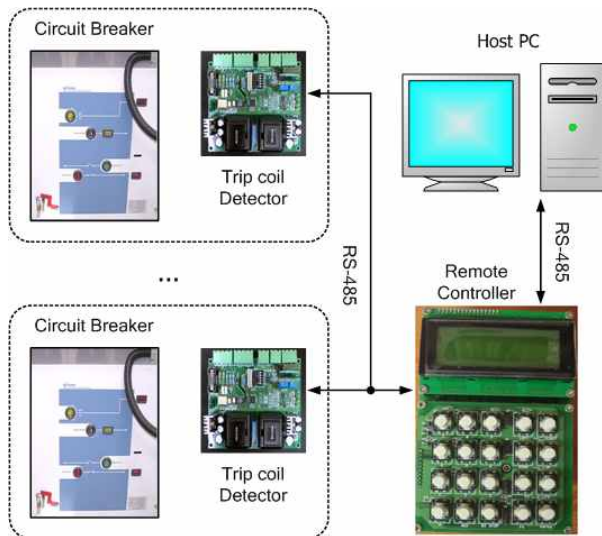


그림 2. 차단기 트립코일 이상감지 장치의 구성  
Fig. 2. Configurations of the proposed trip-coil fault detection system

본 논문에서 개발된 차단기 트립코일 이상감지 장치의 구성은 그림 2와 같다. 그림 2에서 개발된 차단

기 트립코일 이상감지 장치는 각 차단기와 연결된 트립코일 감지기와 각 트립코일 감지기의 상태를 원격으로 모니터링 하는 원격 모니터링 장치로 구성되어 있다.

각 트립코일 감지기는 차단기의 트립코일의 구동 전압 상태와 트립코일의 임피던스를 상시적으로 감시하고, 이를 원격 모니터링 장치에 송신하며, 원격 모니터링 장치는 각 감지기의 파라미터 설정 및 이상 상태를 컴퓨터 및 내장 메모리에 저장하도록 설계되어 있다.

#### 3.1 트립코일 이상 감지기의 설계

본 논문에서 설계된 트립코일의 이상감지기는 그림 3과 같다. 그림 3에서 트립코일은 저항  $R_{TC}$ 와 인덕턴스  $L_{TC}$ 로 모델링 되어 질 수 있다. 트립코일의 동작은 접점이 동작하는 경우에 구동전압  $V_{PN}$ 으로부터 트립코일에 턴-온 전류  $I_{on}$ 이 흐르게 되고, 이 전류에 의한 솔레노이드 동작에 의해 차단기의 기계적인 접점이 차단된다. 트립코일 접점이 오프되면, 프리휠링 다이오드  $D_F$ 를 통하여 턴-오프 전류  $I_{off}$ 를 흘릴 시키도록 한다.

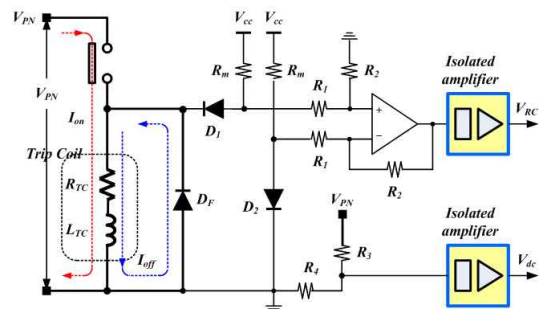


그림 3. 트립코일 이상감지 회로  
Fig. 3. Trip coil fault detecting circuit

검출회로에 역방향으로 배치된 다이오드  $D_1$ 은 트립코일이 턴-온 및 턴-오프 상태에서 트립코일을 구동하는 전류가 검출회로로 인입되지 않도록 방지하기 위하여 설계되고, 다이오드  $D_1$ 으로 인한 검출회로의 대칭을 위하여 다이오드  $D_2$ 가 차동증폭기의 다른 입

력단에 배치된다. 트립코일의 임피던스의 감지는 트립코일이 동작하지 않는 상태에서 상시적인 검출을 하게되고, 검출을 위한 동작전압  $V_{cc}$ 와 검출전류를 제한하는 저항  $R_m$ 에 의하여 수 mA의 미세한 검출전류로부터 트립코일의 상태를 검출하게 된다.

그림 4는 트립코일의 임피던스 검출을 위한 등가회로를 나타내고 있다.

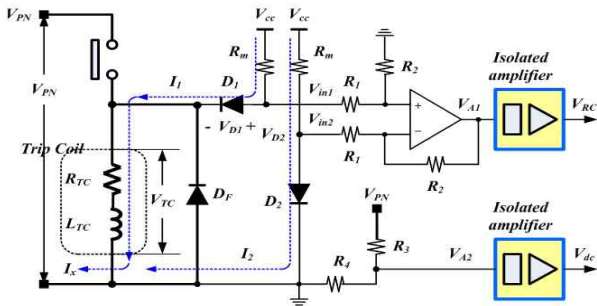


그림 4. 임피던스 검출 등가회로  
Fig. 4. Equivalent circuit for impedance detection

그림 4에서 검출전류  $I_x$ 는 검출전압  $V_{cc}$ 와 저항  $R_m$ 에 의해 제한되어, 10[mA] 내외로 설계되었으며, 그 크기는 다음과 같다.

$$I_x = I_1 + I_2 = \left( \frac{V_{cc} - V_{D1}}{R_m + R_{TC}} \right) + \left( \frac{V_{cc} - V_{D2}}{R_m} \right) \quad (1)$$

이때, 차동증폭회로의 입력  $V_{in1}$  및  $V_{in2}$ 는 다음과 같다.

$$V_{in1} = V_{TC} + V_{D1} = I_1 \cdot R_{TC} + V_{D1} \quad (2)$$

$$V_{in2} = V_{D2} \quad (3)$$

다이오드 양단의 전압강하  $V_{D1}$  및  $V_{D2}$ 는 이상적인 경우에 동일하다고 가정하면, 증폭기의 출력 및 절연 증폭기의 출력은 다음과 같다.

$$V_{A1} = \frac{R_2}{R_1} \cdot (V_{in1} - V_{in2}) = \frac{R_2}{R_1} \cdot V_{TC} \quad (4)$$

$$V_{RC} = K_a \cdot V_{A1} \quad (5)$$

단,  $K_a$ 는 절연 증폭기의 증폭률

트립코일의 임피던스 검출회로의 출력은 아날로그 전압으로, 검출저항  $R_m$ 과 트립코일의 임피던스비에 따른 전압의 증폭을 통해 마이크로 프로세서의 AD 컨버터를 통하여 입력되고, 검출된 전압을 통하여 트립코일의 임피던스를 역으로 계산하게 된다. 따라서 역으로 검출된 트립코일의 임피던스는 다음과 같다.

$$\widehat{R}_{TC} = \frac{V_{RC} \cdot R_1 \cdot R_m}{K_a \cdot R_2 \cdot (V_{cc} - V_{D1}) - V_{RC} \cdot R_1} \quad (6)$$

단  $\widehat{R}_{TC}$ 는 추정된 트립코일 저항을 의미한다.

본 논문에서는 검출된 절연증폭기의 출력  $V_{RC}$ 로부터 정형화 함수를 사용하여 트립코일의 임피던스를 역으로 추정하였다.

또한 트립코일의 구동전압  $V_{PV}$ 은 구동전압 양단의 저항  $R_3$  및  $R_4$ 의 분압을 통하여 검출하고, 검출된 전압은 절연 증폭기를 통하여 증폭되어 마이크로 프로세서의 AD 컨버터로 연결된다. 검출된 전압의 크기는 다음과 같다.

$$V_{dc} = K_a \cdot V_{A2} = K_a \cdot \left( \frac{R_4}{R_3 + R_4} \right) \cdot V_{PV} \quad (7)$$

단  $K_a$ 는 절연 증폭기의 증폭률

이때 절연 증폭기의 증폭률 및 저항값은 고정된 값으로 상수로 표현되어, 검출전압은 트립코일의 구동전압에 비례한 값을 나타낸다.

식 (6)과 식 (7)을 통하여 검출된 트립코일의 임피던스와 구동전압은 차단기 트립코일의 정격 임피던스와 정격전압과 비교하여 정상범위인지 아닌지를 판단하게 된다. 본 논문에서는 검출된 임피던스와 구동전압이 정격의  $\pm 20\%$ 이내에 존재하는 경우에는 정상으로 판단하고, 그렇지 않은 경우에는 비정상 상태로 판단하도록 설계하였다.

한편 트립코일이 실제로 동작하는 경우에는 트립코일의 임피던스 검출은 실제로 불가능하게 되므로, 감

지장치에서는 트립코일이 동작하는 시간동안에 검출 이상이 발생하더라도, 비정상 상태로 판단하지 않도록 하는 타이머 기능을 가지도록 하였다. IEC 60464의 기준에 맞추어(120~240[V]시 트립시간 5초이내)트립코일이 정상적으로 동작하는 경우에는 3초 이내에 트립코일이 동작하고, 다시 원래상태로 복귀하여야 하므로, 3초 이상의 오류가 지속되는 경우에 비정상상태로 판단하도록 구성하였다.

### 3.2 원격 모니터링 장치의 설계

실제 현장에서 각각의 차단기는 서로 멀리 떨어져 있는 경우가 많으며 이를 사람이 직접 이동하면서 검사하기에는 실용성이 떨어진다. 따라서 각각의 차단기에는 감지회로를 부착하고 이 감지회로는 차단기의 이상 여부를 감지하며 원격 모니터링 장치에 연결된다. 원격 모니터링 장치는 최대 32개의 감지회로를 제어할 수 있다.

원격 모니터링 장치는 각각 감지회로의 값을 모니터링 하며 이상 감지 시 오류 사항을 부저, LED 그리고 LCD화면을 통해 표현하여 사용자가 고장을 수리할 수 있게 한다. 또한 발생한 사고는 채널별로 사고 발생 년, 월, 일, 시, 분 그리고 사고 형태를 기록한다. 그림 5는 본 논문에서 설계된 원격 모니터링 장치의 구성을 나타내고 있다.

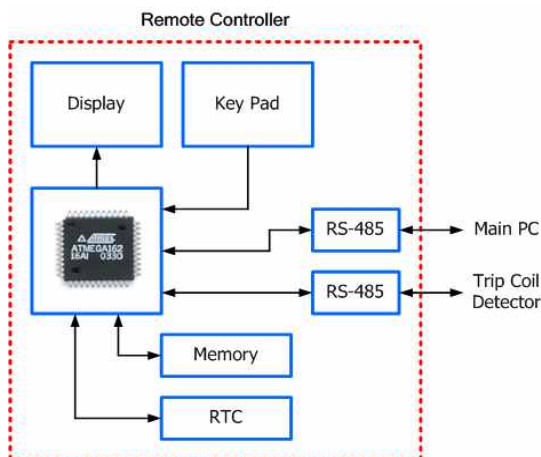


그림 5. 원격 모니터링 장치의 구성  
Fig. 5. Configurations of remote monitoring unit

원격 모니터링 장치는 추가적으로 PC와 연결이 가능하며 PC와 연결될 경우 모든 데이터기록은 PC에 의존한다. 단 차단기의 이상 감지 시 사용자는 반드시 메인컨트롤러 조작을 통해 사고발생을 초기화 시킨다. 그림 5에서 원격 모니터링 장치는 각 채널의 상태를 설정하거나 표시하기 위한 LCD와 파라미터를 설정하기 위한 키패드 및 트립코일 감지기의 이벤트를 기억하기 위한 외부 메모리와 실시간을 상시적으로 검출하기 위한 RTC(Real Time Clock)로 구성되어 있다. 또한 각 32채널의 트립코일 감지기와 통신을 하기 위한 RS-485 회로와 메인 컴퓨터와 통신을 하기 위한 RS-485 회로인 2개의 시리얼 통신 기능을 가지도록 설계하였다. 메인 컴퓨터는 원격 모니터링 장치와 동일한 역할을 수행하며, 고장의 시간 및 복귀상태와 시간을 파일로 저장하여 사용자가 확인할 수 있는 기능을 추가적으로 가지고 있다. 메인 컴퓨터와 원격 모니터링 장치가 연결되지 않는 경우에 각 감지회로의 이벤트는 원격모니터링 장치의 외부 메모리에 저장하고, 메인 컴퓨터가 연결되면, 외부 메모리에 저장된 데이터와 메인 컴퓨터의 데이터를 상호 비교하여 메인 컴퓨터의 데이터를 업데이트 하도록 구성하였다.

### 4. 실험결과

본 논문에서 제안된 트립코일 이상감지 장치의 성능을 검증하기 위하여 실제 회로를 설계 제작하고, 실제 최대 17.5[KV], 최대 공칭전류 5,000[A]급의 차단기의 연결을 통하여 실험을 수행하였다.

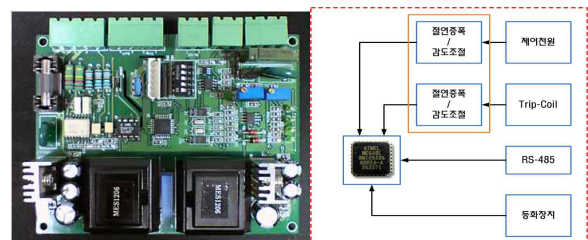


그림 6. 설계된 트립코일 감지기 와 구성  
Fig. 6. Designed trip coil fault detector and configurations



차단기 트립코일 이상감지 장치



그림 7. 설계된 원격 모니터링 장치  
Fig. 7. Designed remote monitoring unit

그림 6과 그림 7은 본 논문에서 설계된 트립코일 감지기와 원격 모니터링 장치를 나타내고 있으며, 그림 8은 실험 장치의 구성을 나타내고 있다. 또한 메인 컴퓨터의 원격모니터링을 위해 비주얼 프로그램을 제작하고, 이를 통하여 상시적인 감시가 이루어지도록 하였다.



그림 8. 실험장치의 구성  
Fig. 8. Experimental configurations

그림 9와 그림 10은 실제 차단기에 대하여 트립코일의 임피던스와 구동전압을 측정한 실험 결과를 나타내고 있다. 실험 결과에서 트립코일의 임피던스는 낮은 값의 경우 실제값의 최대  $\pm 10\%$  이내, 일반적인 경우에는  $\pm 5\%$  이내에서 구동전압은 실제값의  $\pm 5\%$  이내에서 안정적으로 모니터링 되고 있음을 확인할 수 있다.

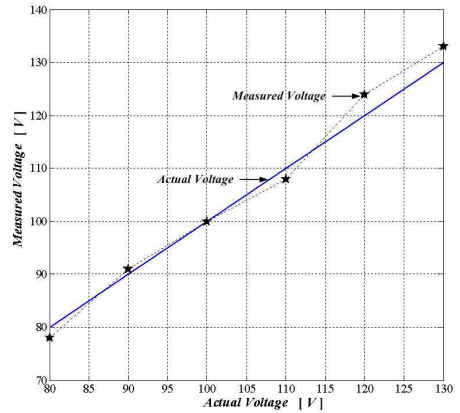


그림 9. 트립코일 감지회로의 전압검출 모니터링 시험결과  
Fig. 9. Experimental results of trip coil voltage detecting

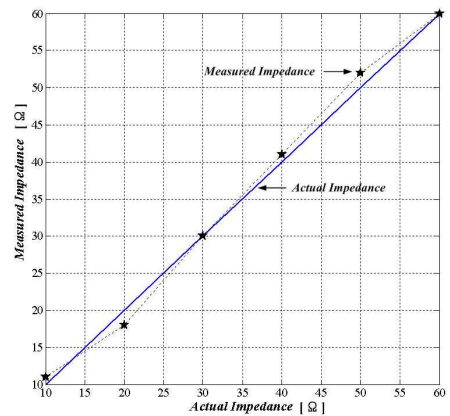


그림 10. 트립코일 감지회로의 임피던스 모니터링 시험결과  
Fig. 10. Experimental results of trip coil impedance detecting

그림 11은 실제 32채널 동작에 따른 원격 모니터링 장치의 설정 및 오류 화면의 구성을 나타내고 있다. 설정화면에는 센서의 총수와 각 센서의 설정이 가능하도록 되어 있고, 오류 검출은 검출된 오류의 종류와 검출 시간을 표시하도록 구성되어 있다.

그림 12는 트립 코일 감지기의 트립코일 임피던스 감지와 제어전압 감시에 따른 에러 검출과 에러 검출에 따른 통신 데이터의 상태를 보이고 있다. 그림 12(a)에서 트립코일의 임피던스는 3초 이상 이상을 감지하는 경우에 오류를 검출하게 되며, 채널당 통신은 2

초 마다 원격 모니터링 장치와 통신을 수행하고 있음을 보이고 있다. 그림 12 (b)에서 전압 이상 검출은 전압 오류 시간이 1초 이상 지속되면, 오류로 판단하여 오류 상태 신호를 발생하게 된다. 트립코일의 임피던스 이상 유지 시간이 3초로 설정된 것은 실제로 트립코일이 동작하는 경우에, 트립코일의 동작시간이 최대 3초 이내에서 이루어지기 때문에 이 시간 동안에는 트립코일의 임피던스를 정상적으로 검출할 수 없기 때문이다.



(a) 설정 모드 설정 화면

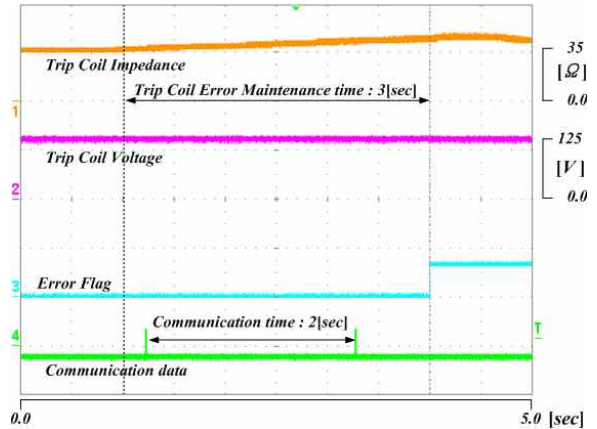


(b) 오류 검출 화면

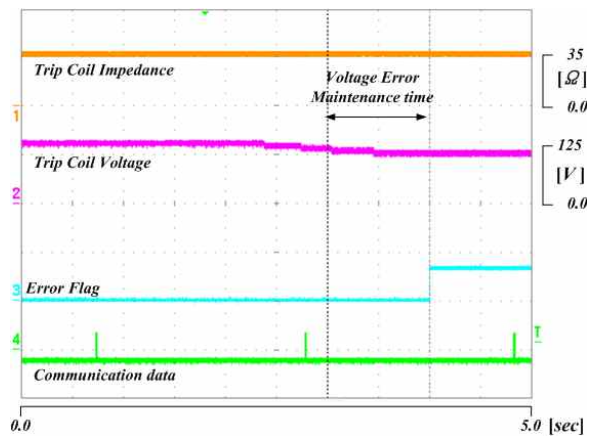
그림 11. 원격 모니터링 장치의 설정 및 오류 화면  
Fig. 11. Set and error of remote monitoring system

## 5. 결 론

본 논문에서는 차단기의 트립코일의 이상상태를 트립코일 구동전압 및 트립코일의 임피던스를 상시적으로 검출하여 트립코일이 정상적으로 동작하지 못하는 상태를 실시간으로 감지하는 원격 감시장치를 설계하고, 실제 실험을 통하여 그 성능을 확인하였다. 본 논문에서 설계한 원격 감시장치는 각 차단기와 연결되어 차단기의 트립코일 이상을 감지하는 트립코일 감지기와 다수개의 트립코일 감지기를 원격으로 제어하고 이상상태를 알려주는 원격모니터링 장치로 구성되어 있으며, 트립코일 감지기는 절연형으로 설계된 트



(a) 트립코일 임피던스 이상 검출 실험 결과(35[Ω])



(b) 전압 이상검출 실험 결과(125[V])

그림 12. 트립코일 감지기의 실험결과  
Fig. 12. Experimental results of trip coil detector

립코일 구동 전압 감지회로와 트립코일 임피던스 감지회로를 통하여 트립코일의 이상상태를 판단하도록 구성되어 있으며, 하나의 원격모니터링 장치는 최대 32개의 차단기와 연결된 트립코일 감지기를 실시간으로 감시하고, 모니터링된 결과는 데이터로 저장하여 차단기의 상태를 시간에 따라 통계적으로 확인할 수 있도록 구성하였다.

설계된 트립코일 이상감지 장치는 실제 실험에서 안정적으로 트립코일의 상태를 검출 할 수 있음을 확인하였다.

### References

- [1] James W. Nilsson, Susan A. Riedel Electric Circuits: Eighth Edition, Pearson Education, Inc, 2007.
- [2] 이현수, 전기전자계측, 도서출판 기한제, 1999.
- [3] 김성규, “전력용 차단기 운전 특성 및 고장원인 분석”, 경상대 산업대학원 석사학위논문, 2008.
- [4] 이익상, 최규하, “공장전기설비의 누전차단기 오동작 조사 및 전력품질분석”, 전력전자학회 논문지, Vol. 13, No. 1, pp. 15 - 21, 2008.
- [5] 이승재, “배전계통의 고장판단 및 사고복구 시스템”, 전기학회지, Vol. 40, No. 3, pp. 57-61, 1991.
- [6] LG 산전, 누전차단기 기술자료.
- [7] 특허, “차단기 동작 코일 감시장치”, 대한민국 특허, 20-0393298.

### ◇ 저자소개 ◇



**윤주혁** (尹珠赫)

1985년 7월 30일생. 2010년 경성대 공대 메카트로닉스공학과 졸업. 2010년~현재 동 대학원 메카트로닉스 공학과 재학.



**이종헌** (李宗憲)

1986년 7월 19일생. 2010년 경성대 공대 메카트로닉스공학과 졸업.



**박노식** (朴魯植)

1959년 9월 7일생. 2006년 전남대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2009년 부경대 대학원 기계공학과 졸업(박사). 현재 세웅테크 대표.



**이동희** (李東熙)

1970년 11월 11일생. 1996년 부산대 공대 전기공학과 졸업. 1998년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2001년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 2002~2005년 OTIS-LG 선임연구원. 2005년~현재 경성대 메카트로닉스 공학과 조교수.