

누설전류 검출 및 차단을 위한 제어알고리즘 설계 (Controller design for Leakage current detection and disconnection)

반 기 중, 윤 광 호, 박 진 수 남 문 현, 김 낙 교

(Gi Jong, Ban, Kwang Ho, Yoon, Jin Soo, Park, Moon Hyun, Nam, Lark Kyo, Kim)

* 건국대학교 전기공학과 (전화:(02)456-2585, 팩스:(02)444-8868, E-mail : sky@skylogo.org)

Abstract : In this paper, we have designed the ground faults detection and disconnection algorithm at normal condition of AC 120V to 240V rating voltage. Ground faults in electrical network have the characteristics of low current, 60Hz frequency to 2kHz frequency. The load condition are no load and 20A load. The controller have the trip level are 6mA with ground faults. Conventional controller does not have the miswiring condition . The Controller algorithm using pic16c71 microprocessor .

Keywords : Leakage, Current interrupter

I. 서론

전기가 발명된 이래로 전기는 인류에 많은 공헌을 하였고, 없어서는 안될 필요불가결한 것이 되어 있다. 그러나 이런 편리함을 주는 것임에도 불구하고 많은 피해를 주고 있다.

그 중에서도 전기로 인한 감전, 화재 등을 대표로 볼 수 있다. 매년 다수의 감전 및 화재사고가 발생하고 있으며 이로 인한 인적 물적인 피해가 매우 크게 나타나고 있다. 본 논문에서는 현재 30mA의 규격을 갖는 누설차단기를 대체할 것으로 기대되는 15mA 및 6mA의 누설을 검출할 수 있는 알고리즘을 설계하고자 하드웨어를 설계하고 낮은 누설전류에서도 선형적으로 전류를 검출할 수 있는 검출센서를 설계하였으며 제어 알고리즘을 적용하기 위하여 RISC 타입의 PIC16C71를 사용하였다.

전기계통에서 발생하는 누설전류를 검출하여 차단하는 것은 1930년경 배전 전압이 높은 유럽에서 절연과피된 전기기기에서의 발생하는 감전사를 방지하기 위하여 사용되기 시작하였고 일본의 경우에는 1964년부터 건설현장등에서 발생하는 감전을 방지하기 위하여 사용하기 시작하였다. 또한 국내에서는 이보다 늦은 1976년에 누설 차단기에 대한 규정을 제정하여 사용되기 시작하였다.

각국마다 규정하는 누설전류의 차단 용량에는 많은 차이가 있으며 전원전압이 높은 유럽의 경우 30mA로 규정되어있고, 북미의 경우에는 6mA로 낮은 전류로 제한

되어 있다. 국내의 경우 경우 30mA로 되어 있다.

30mA의 차단레벨은 인구의 90%정도의 보호를 목적으로 하며 6mA의 경우 인구의 99.5%의 보호를 목적으로 한다.

본 논문에서는 누설전류의 규격이 30mA로 규정되어 있음에도 불구하고 감전 및 누전으로 인한 화재가 다수 발생하는 것을 방지하여 인명피해 및 재산피해를 최소화 할 수 있도록 하기 위하여 정격전압 120V에서 240V, 누설전류는 6mA에서 15mA의 감도 전류를 검출하고 차단 시킬 수 있는 기능을 갖는 제어기를 설계하였다.[1]

II. 누설전류 및 센서의 특성

1. 누설전류의 기본 특성

누설 전류는 정상적으로 동작하는 전기계통에서 절연 파괴등에 의해 대지나 기타 대상을 통하여 외부로 빠져나가는 전류로 규정할 수 있다. 이 전류의 양에 따라 사람이 감지할 수 있는 차이가 발생하며 일반적으로 사람이 감지할 수 있는 감지전류는 5mA 정도로 알려져 있다. 또한 사람이 누설전류에 노출 되었을 경우 근육의 수축을 일으키는 불수의 전류는 5-20mA이며 , 30mA 이상일 경우에는 인체의 심근이 경련하고 혈액순환기능에 장애를 초래하여 사망에 이를 수 있는 전류이다. 그림1은 인체의 감전 전류와 통전시간을 나타낸다.

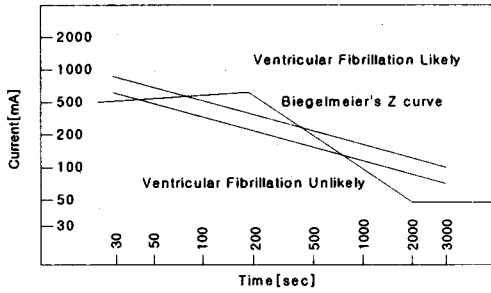


그림 1. 인체 감전 전류와 통전시간
(IEEE Std 80-2000)

2. 검출 센서

검출 센서로는 일반적으로 영전류를 검출 할 수 있는 ZCT(Zero Current transformer)를 사용한다. 이는 코아에 코일을 환상형으로 권선하는 형태가 사용된다.

일반적으로 금속의 투자율은 300-10000 사이의 제품을 사용한다. 정밀한 누설 전류를 검출하기 위해서는 일정한 부하 임피던스를 가지며 누설 자속이 0이 되어야 한다. 여자전류가 작아야 하며 무한대의 자속밀도 등의 특성을 갖는 센서를 설계하여야 한다.

부하의 임피던스가 증가하면 core의 flux가 증가하여 여자 전류가 증가하는 특성을 갖는다.

실험에 알맞는 성능을 갖기 위해서 정도와 크기 및 저 가격의 센서를 사용 하였다. 일반적으로 core 재료는 50%의 포화자속밀도보다 적은 곳에서 좋은 정도를 갖는다. 센서는 1차측은 적게 감고, 2차측은 많은 횟수를 감는 형태로 하며 높은 turn 비율은 많은 누설자속을 발생시킨다. 누설 자속을 줄이기 위해 환형 형태의 높은 투자율을 갖는 재료를 사용하여 밀접한 core 결합을 하고 두 권선을 결합시키면 누설 자속을 최소화 할 수 있다. 여자 전류는 센서의 정도를 결정한다. 여자 전류는 core의 히스테리시스와 와전류손에 해당하는 1차측 전류의 일부로서 2차 전류는 1차 전류에서 여자 전류를 뺀 값과 비례하기 때문에 오차의 원인이 되며 오차의 크기는 1차 전류의 자화전류의 비율에 정비례한다.

센서의 설계는 부하조건을 고려하여 설계한다. 부하는 저항과 최대 출력의 전류로 결정한다. 2차측의 부하전류는 부하저항과 결합하여 2차 전압을 형성한다.

2차 전압은 식 (1)으로 나타낸다.

$$E_s = I_s \times R_B \quad (I_s : \text{부하전류}, R_B : \text{부하저항}) \quad (1)$$

1차측 전류 I_P 는 식(2)로 표현되며 I_P 는 측정 또는

조절된 전류이므로 1차와 2차 전류의 비는 turn 비와 반비례한다.

$$I_P = I_S \times \frac{N_S}{N_P} \quad (2)$$

대부분의 경우 1차측은 1회이므로 1차 전류는

$$I_P = I_S \times N_S \text{이 된다.}$$

1차측에서 사용되는 권선의 단면적은 식 (3)에 의해 결정된다.

$$W_a = \frac{A_{Cu} \times N_S}{K} \quad (3)$$

여기서 K는 winding factor로 권선간 공극과 권선 절연, 층간 절연과 판련이 있으며 2차와 1차권선에 높은 전압이 사용되면 K값은 감소되어야 한다.

센서 다른 특성은 포화특성으로 자속밀도 B는 식 (4)로 나타낸다.

$$B = \frac{E_S \times 10^8}{4.44 \times N_S \times f \times A_C} \quad (4)$$

(B : 자속밀도[gauss], f : 주파수, A_C : 유효 core의 단면적 [cm^2])

core의 자속밀도는 재료의 최대 자속밀도보다 적은 값을 확인하고, 적지 않으면 보다 큰 면적의 core를 선택하고, 계산된 자속밀도가 재료의 최대보다 작으면 단면적이 적은 core를 사용한다.[2]

본 실험에서는 1차 측은 1회의 권선을 하고 2차측은 1000turn의 권선을 한 센서를 사용하였다.

III 제어기 설계

누설전류의 검출 원리는 키르히호프의 전류법칙을 이용하여 검출한다. 그림 2는 누설전류의 검출 원리를 나타낸다. 그림에서 정상적인 경우 부하쪽으로 흐르는 전류를 i_1 , 부하에서 입력측으로 feedback 되는 전류를 i_2 라고 하면 $i_1 + i_2 = 0$ 의 식이 성립한다.

누설 전류가 발생하지 않은 상태에서는 센서의 내부에서 두 전류가 상쇄되어 영전류가 되고 자장이 발생하지 않으며 센서의 출력은 0이 된다.

또한 그림에서와 같이 i_3 의 전류가 외부로 누설될 때는 $i_1 + i_3 = i_2$ 이 되어 i_1 과 i_2 사이 에 불평형 상태가 된다. 이때에 센서에서는 누설양에 해당하는 자장이 생성되고 센서에서 이 값을 전압의 형태로 출력력을 한다.

센서는 누설전류가 6mA보다 커지면 출력력을 내도록 설계가 하였다.

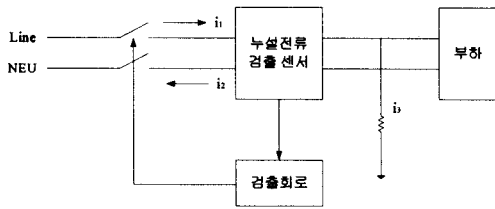


그림2. 누전 전류의 검출 원리

그림 3은 마이크로프로세서에 입력되는 신호로써 A와 C의 펄스폭을 측정하여 마이크로프로세서에서 연산을 하여 trigger 신호를 발생시킨다.

센서에서 검출하는 신호는 60Hz의 전류파형을 모니터링하여 누설이 발생시에 두가지 형태의 펄스폭으로 필터링한다. 제어기는 그림 3 A 와 C의 두개의 신호를 받아서 두 신호의 레벨이 원하는 값에 도달하였을때 트리거 신호를 발생한다.

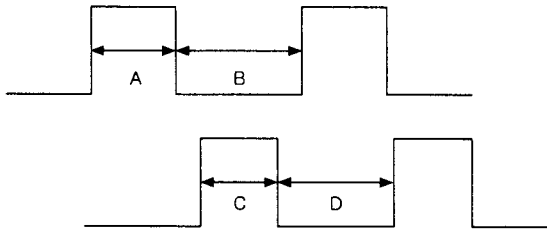


그림 3. 센서에서의 누설 전류 검출

그림 4는 누설전류를 인위적으로 발생시키는 회로를 보여준다. 그림에서 SW1과 SW2 및 SW3의 3개의 스위치를 이용하여 실제 배선에서 발생할 수 있는 누설의 위치에 따른 누설 시험을 실시하였다. 그림에서 Line과 Neutral에 전압을 인가하고 SW1과 SW2 및 SW3을 연결한 후 VR을 통하여 전류계의 눈금이 4mA에서 300mA까지 가변되도록 설치하고 가변저항을 조절하여 전류계에 6mA가 흐르게 하면 센서는 누설전류를 검출하여 그림 3과 같은 펄스 파형을 발생시킨다. 이 펄스는 마이크로프로세서에 입력되고 마이크로프로세서의 연산을 통하여 트리거 펄스를 출력함으로써 load에 흐르는 전류를 제거할 수 있도록 설계하였다. 제어기는 누설전류의 양에 따라 전원을 제거하는 시간은

$$t = \left(\frac{20}{i}\right)^{1.43} \text{로 나타낼 수 있다.}$$

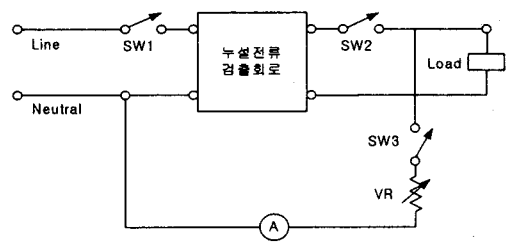


그림 4. 누설 전류 실험 회로

본 논문에서 설계한 제어알고리즘은 부하를 갖는 경우와 부하가 없는 경우의 두가지 형태의 실험을 통하여 성능을 판단하였다.

IV. 실험결과

3장에서 설계한 알고리즘을 이용하여 UL 규정을 이용하여 낮은 전류에서 높은 전류를 갖는 실험을 통하여 설계된 제어기의 성능을 확인하였다. 그림 5는 6mA 누설시 센서에서의 출력 파형을 나타낸다. 그림에서와 같이 센서는 120Hz의 주파수로 신호를 검출한다. 그림6과 그림 7은 6mA 및 264mA에서 발생하는 누설을 검출하여 마이크로프로세서에 입력하기 위한 파형을 보여 주며 이 파형을 정전압 회로를 사용하여 5V의 전압 레벨로 마이크로프로세서에 인가한다.

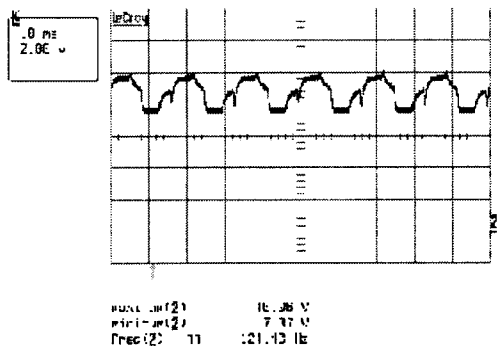


그림5. 6mA 누설시 센서의 출력

그림6과 그림 7에서는 누설 전류의 값이 변동함에 따라 센서에서의 출력 펄스폭의 크기가 다르게 나타난다.

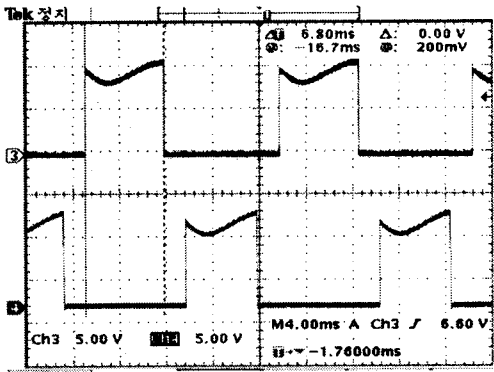


그림 6. 6mA 누설 발생시 필터링된 센서출력 파형

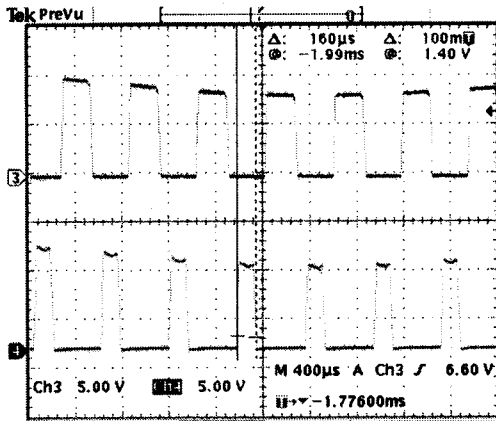


그림 7. 264mA 누설 발생시 필터링된 센서출력

그림 8은 6-264mA의 누설을 발생시켰을 때의 누설을 검출하여 마이크로프로세서에서 연산과정을 통하여 부하전류를 소거시키는 시간을 나타낸다. 그림에서는 18.2ms에 부하전류가 소거되는 것을 확인 할 수 있다.

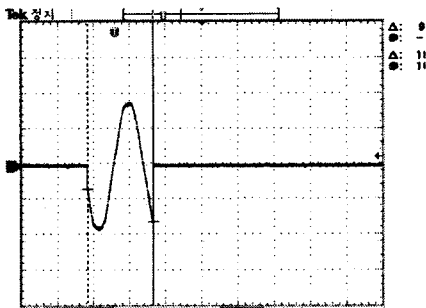


그림 8. 부하전류 제거 시간

V. 결론

본 논문에서 제안한 알고리즘의 성능을 판단하기 위하여 하드웨어를 설계하고 마이크로프로세서에 알고리즘을 설계하여 적용하였다. 실험을 통해 인위적으로 누설 전류를 가변시키면서 발생했을 경우 요구하는 성능을 충족시킬 수 있다. 일반적으로 264mA의 누설 발생시 26ms 이내에 부하전류를 소거하여야 한다. 설계한 제어기는 8ms에서 20ms내에 전류를 소거할 수 있도록 하였다. 본 논문을 통하여 전기로 인한 인적 물적 피해가 줄어들 수 있을 것으로 판단된다.

참고 문헌

1. NEC(National Electric Code) : Article 210-Branch Circuits 210-12, (1999 Edition)
2. W. Wang, S. Liu and J. E. Jones : Flux cored arc welding : Arc signals processing and metal transfer characterization. Welding Journal, Vol. 74, No. 11, (1995), pp 369s-377s
3. Underwriters Laboratories Inc. UL943 ISBN 1-55989-465-2"Ground-Fault Circuit-Interruptions" September 27, 2002.