# 직류배전용 누설전류 검출기 개발

이원기*, 한병훈**, 정해민**, 김효성**
*충남테크노파크 자동차센터, **공주대학교 전기전자제어공학부

# Development of residual current detector for DC distribution system

Won Ki Lee*, Byunghun Han**, Hae Min Jung**, Hyosung Kim**
*Chungnam Techno Park Automobile Center, **School of EE and Control Engineering, Kongju National University

## ABSTRACT

디지털 제품의 사용 증가로 직류를 사용하는 부하가 급증하고, 태양광발전 등 직류발전의 보급이 확대 되며 직류배전에 대한 관심이 높아지고 있다.[1] 기존 영상변류기(ZCT; Zero phase sequence Current Transformer)를 사용하여 누설전류를 감지하는 교류배전용 차단기는 영상변류기의 특성상 직류에서 적용이 불가능하다.[2] 이에 따라 직류배전에서 누설전류에 의한 사고를 방지하기 위해서 누설전류를 검출하고 차단할 수 있는 장치 개발이 필요하다. 본 논문에서는 직류에서 검출에 문제가 없는 Fluxgate current transducer를 이용하여 직류배전에서 사용 가능한 검출기를 개발하였다.

## 1. 서론

최근 TV, 컴퓨터, LED조명 등 직류를 사용하는 부하가 증가함에 따라 전력변환단계에서 발생하는 손실을 줄 일수 있는 방안으로 직류배전 도입에 대한 관심이 높아지고 있다. 또한 직류 배전은 신재생에너지와의 연계가 용이하고, 교류보다 신뢰성 및 전력 품질이 우수하며, 인체에 대해 안전하다.

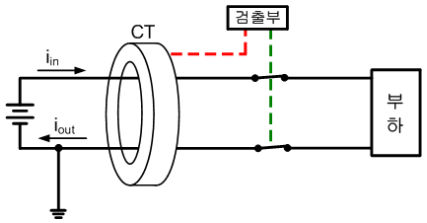
이러한 장점 등으로 가정과 건물에 직류 배전의 활용이 증가될 것으로 예상되며 이를 위하여 설비안정성과 인체안정성을 확보하기 위한 안전장치의 개발 및 연구가 필요하다.[3][4]

현재 개발된 DC 누설전류 검출기는 노이즈성 누설전류에도 반응하여 사용 시 신뢰성이 저하되는 반면, 본 논문에서는 직류배전계통에서 발생할 수 있는 누설전류를 검출 및 차단하며 차단시간을 지연·제어하여 노이즈성 누설전류에서 오동작 하지 않는 직류누설전류검출장치(DC Residual Current Detector; DC RCD)를 개발하고 실험을 통하여 DC RCD의 동작 특성을 알아보았다.

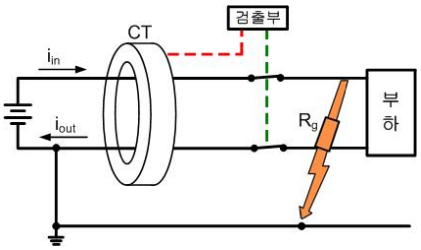
## 2. 누설전류 검출

### 2.1 Fluxgate current transducer

누설전류검출장치가 누설전류를 감지하기 위해서는 전류를 측정할 수 있는 센서가 필요하다. 기존 교류방식에서는 영상변류기를 사용하여 누설전류를 감지하는데, 이것은 주기적으로 진동하는 교류전류에 대해서 검출이 가능하다. 그러나 직류는 항상 크기가 일정하기 때문에 기존의 변류기로는 누설전류를 감지하지 못하는 문제가 발생한다. 따라서 직류에서 전류를 정확하게 측정할 수 있는 센서가 필요하다. 본 논문에서는 직류용 Hall CT를 사용하여 누설전류를 검출한다. 사용된 HCT인 Fluxgate current transducer는 자기 회로의 포화 상태를 검출하는 원리로 정확도가 높아 직류 및 교류를 검출하는데 널리 사용 되고 있다.[5]




(a) 정상상태




(b) 누설전류 발생상태

그림 1. 누설전류 검출 시험장치 구성도

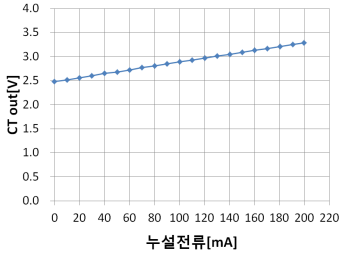



그림 2. Flux-gate current transducer의 외관 및 누설전류량에 따른 출력 특성 그래프

### 2.2 HCT동작원리 및 출력특성

그림 1은 HCT를 사용한 누설전류 검출 구성도를 나타낸다. 그림 1 (a)와 같은 정상상태에서는 HCT에 통과하는 두선에 흐르는 전류 $I_{in}$과 $I_{out}$의 합이 0이기 때문에 누설전류는 발생하지 않는다. 하지만 그림 1 (b)와 같이 누설전류 발생 상태에서는 HCT를 통과하는 두 도선에 흐르는 전류 벡터의 합이 0이 아니기 때문에 누설된 전류가 HCT에 의해 검출된다. 이때 누설전류의 크기는 $R_g$에 의해 결정되며, 누설전류의 크기에 따른 HCT의 출력 특성은 그림 2와 같다.

### 2.3 누설전류측정 및 차단시간 설정

DC RCD 실험 구성도는 그림 3과 같다. 100V의 직류 전원과 100ohm의 저항부하를 구성하여 100mA의 누설전류를 발생시키도록 하였다.

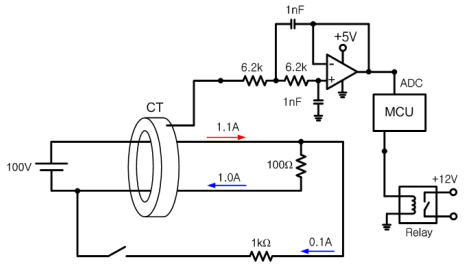



그림 3. DC RCD 실험 구성도

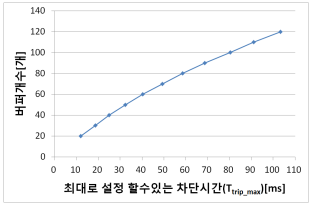



그림 4. 최대 설정 차단시간 - 버퍼개수 그래프

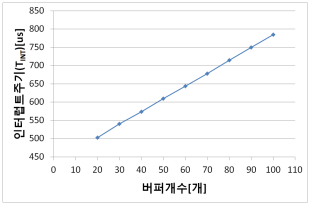



그림 5. 버퍼개수 - 인터럽트주기 그래프

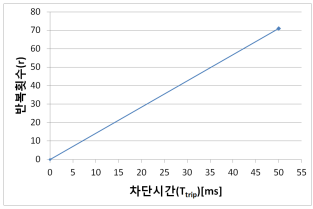



그림 6. 반복횟수 - 차단시간 그래프

개발된 DC RCD는 허용치 이상의 누설전류가 일정시간 이상 흐르면 차단동작을 한다. 또한 노이즈성 누설전류에 대하여는 오작동을 하지 않게 설계되었다. 이를 위해 타이머인터럽트와 이동평균기법을 이용하여 소프트웨어 필터링을 구현하였다. 제어부는 마이크로프로세서 ATmega2561를 사용하였다. 이동평균 버퍼의 개수를 설정하면 그에 맞는 타이머인터럽트주기가 결정된다. 마이크프로세서의 특성상 버퍼의 개수가 많아지면 연산하는 시간이 길어져 타이머인터럽트 주기는 늘어난다. 이와 같은 특성을 이용하여 누설전류의 평균을 구하고 차단시간의 지연을 설정할 수 있다.

그림 4는 최대 설정 차단시간과 버퍼개수를 나타낸 그래프이고 그림 5는 그에 따른 버퍼개수와 인터럽트주기를 나타낸 그래프이다. 그림 4 및 그림 5의 특성그래프를 수식으로 나타내면 식 (1), 식 (2)와 같다. 최대 설정 차단시간과 타이머인터럽트주기를 결정하면 그림 6과 같은 그래프의 기울기를 계산하고 반복횟수를 설정하여 사용자가 원하는 차단시간을 설정할 수 있다. 그에 따른 수식은 식 (3)과 같다.

$$n = -0.0044 Trip_\max^2 + 1.586 Trip_\max + 2.4768 \quad (1)$$

$$T_{INT} = 3.5073n + 433.8 \quad (2)$$

$$r = A T_{trip} \quad (3)$$

(A: 반복횟수와 차단시간 그래프에 대한 기울기)

### 2.4 차단시간 실험 결과

최대 설정 차단시간을 50ms, 차단시간 30ms의 조건에서 식 (1)에 의해 버퍼의 개수는 71개, 식 (2)에 의해 타이머인터럽트주기는 682us, 식 (3)에 의해 30ms에서의 반복횟수는 43회가 계산되었다. 이 때 오실로스코프를 사용하여 마이크로프로세서의 차단신호출력 시간을 확인한 결과 그림 7과 같이 29.8ms에서 출력이 발생되었다.

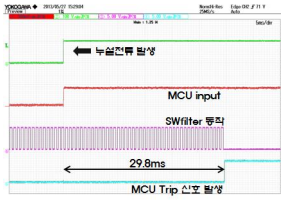
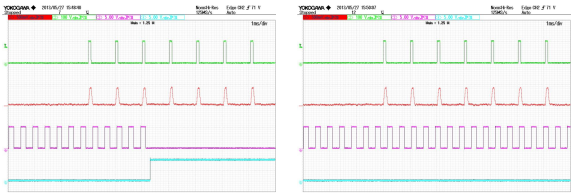



그림 7. 마이크로프로세서의 차단신호 출력시간



(a) 버퍼설정개수: 1개 (b) 버퍼설정개수: 2개

그림 8. 버퍼설정개수에 따른 차단신호 파형

### 2.5 노이즈성 누설전류

개발된 DC RCD는 노이즈성 누설전류에 대해 오작동하지 않게 개발되었다. 70mA이상의 누설전류가 흐를 때 차단신호를 출력 하도록 DC RCD를 설정하고 100mA, 1kHz의 펄스성 노이즈를 발생하였다. 그림 8 (a)와 같이 버퍼의 개수가 1개일 때 펄스성 노이즈에 의해 잘못된 차단신호가 출력된다. 하지만 버퍼의 개수가 2개 이상이면 펄스성 노이즈에 반응하지 않는다.

## 3. 결론

본 논문에서는 직류배전계통의 인체안전성과 설비안전성을 확보하기 위한 주요기술인 누설전류 검출기를 개발하였다. 직류전류를 측정할 수 있는 HCT의 일종인 Fluxgate current transducer를 사용한 누설전류 검출회로를 개발하였다. 마이크로프로세서를 사용한 데이터처리를 통하여 노이즈에 대하여는 둔감하며 미세한 누설전류의 분석과 트립신호의 결정을 할 수 있는 소프트웨어 필터링 방법을 제안하였고, 성능의 우수성을 증명하였다. 마이크로프로세서의 데이터처리시간을 분석하여 요구 차단시간을 확보하기 위하여 필요한 소프트웨어 버퍼의 개수와 인터럽트 주기를 결정하고, 소프트웨어 필터의 반복횟수를 결정하는 설계 방법을 제안하였다. 제안된 기술은 고도의 신뢰성이 보장되어야하는 배전망에 적용할 수 있다.

이 논문은 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임 (No. 2012R1A1A2039747).

## 참 고 문 헌

[1] 이경호, “직류(DC)배전 동향 및 안전대책”, 전력전자학회, 전력전자학회지, 제14권 2호, pp. 21 26, 2009, 4.

[2] 김혜진, 백종복, 서갑수, 최규식, 배현수, 조보형, “그린 스마트 홈의 직류배전용 누전 차단기에 관한 연구”, 전력전자학회, 전력전자학회, 추계학술대회 논문집 pp. 76 77, 2010.11.

[3] G. Byeon, "A Research on the Characteristic of Fault Current of DC distribution system and AC distribution system", IEEE 8th International Conference, 2011.

[4] IEC TR 60755, "residual current protective device dependent or independent of line voltage", 2008.

[5] Manuel Román, “Low Consumption Flux gate Transducer for AC and DC high current Measurement”, PESC, IEEE, 2008.