

태양광 발전용 단상 30kW급 직류누전차단기 개발

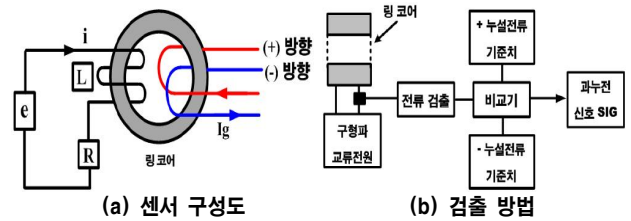
한후석, 조성철
기초전력연구원

Development of DC Leakage Disconnecter for Solar Power Generation System

Hoo Sek Han, Sung-Chul Cho
Korea Electrical Engineering & Science Research Institute

Abstract - 태양광 발전시스템에서 발생하는 누설전류에 인하여 누전 화재와 인체감전 등의 전기재해를 방지하기 위해서 직류누전차단기를 개발하였다. 직류누설전류를 측정할 수 있는 센서를 개발하여 (+)전선로와 (-)전선로에 흐르는 누설전류를 각각 검출하는 방법을 제안하였다. 제안된 방법과 개발된 센서를 이용하여 시작품을 제작하고 센서에 대한 감도전류 특성시험을 수행하였다. 또한 인버터가 포함되어 있는 태양광 발전시스템에 적용하여 실제 나타나는 직류누설전류를 측정하는 시험을 수행하였다. 그 결과 직류누설전류센서의 정확성을 확인하였으며, 전선로에 흐르는 직류 및 교류성분의 누설전류를 $\pm 5\%$ 범위 내에서 측정함을 확인하였다. 개발된 센서를 적용한 태양광 발전용 직류누전차단기를 제작하였다.

2에 나타내었다.



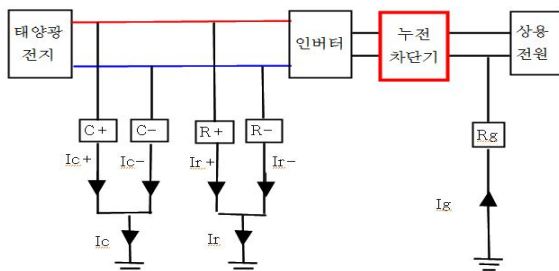
<그림 2> 제안된 직류 누설전류센서의 구성도와 검출 방법

1. 서 론

현재 국내에서는 지속적인 태양광 발전설비 증가와 함께 급격한 노후화가 진행되고 있어 태양광 발전설비에서 누전에 의한 전기화재와 인체감전의 위험에 노출되어 있다. 그럼에도 불구하고 이에 대한 보호장치가 전혀 없는 것이 실상이다. 그 이유는 태양광 발전설비에서의 누설전류는 정현파가 아니고 직류와 교류가 합쳐진 맥류이기 때문에 기존의 교류전선로에서 사용되는 AC형 누전차단기로는 누전에 대한 보호가 불가능하기 때문이다[1]. 태양광 발전 시스템에서의 누설전류 종류와 경로는 그림 1과 같다. 현재 국내에는 전원주파수인 정현파 교류성분의 누설전류만을 검출할 수 있는 AC 누전차단기만 개발되어 있는 상황이기 때문에 직류용 전기용품 및 설비에 대한 보호가 불가능하다[2]. 한편 독일에서는 B형 누전차단기를 개발하여 태양광 발전설비에 사용하고 있는데 매우 고가이기 때문에 국내에서의 사용이 기피되고 있다. AC형 누전차단기로는 누전 맥동 직류전류를 검출할 수 없기 때문에 태양광발전, 풍력발전 등의 시스템에서는 인체감전, 누전화재 등의 전기재해를 예방할 수 없을 뿐만 아니라 교류계통의 전력계, 보호계전기 등에 오동작을 유발한다.

전류는 그림 2(a) 저항단자에 나타나는 전압을 마이크로프로세서로 읽어 들어 측정한다. 마이크로프로세서에서 수행하는 직류 누설전류 검출 원리는 그림 2(b)와 같다. 구형파 교류전압이 인가된 L-R 회로로부터 마이크로프로세서 전류를 검출하여 이 전류값이 (+)방향의 누설전류 기준치 또는 (-)방향의 누설전류 기준치를 초과할 경우 과누전신호 SIG를 발생한다.

직류 누설전류 검출 센서의 동작원리를 확인하기 위하여 그림 3과 같이 센서의 시작품을 제작하였다. 마이크로프로세서를 사용하여 소비전력이 적고 센서의 크기도 작은 직류 누설전류 센서이다. 마이크로프로세서는 마이크로칩사의 12F510을 사용하였다[3].



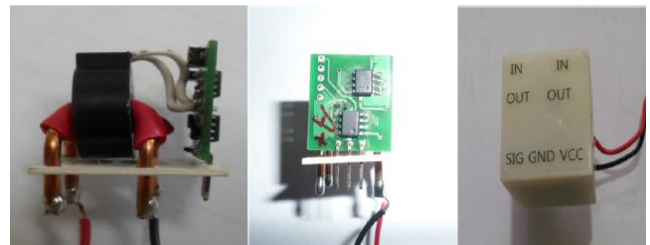
<그림 1> 태양광발전 시스템에서의 누설전류 종류와 경로

본 논문에서는 누전 맥동 직류전류에 작동하는 누전차단기 또는 누전 평활 직류전류에도 작동하는 누전차단기를 개발하였으며, 누전차단기에 적용된 직류 누설전류 센서의 특성시험과 이에 대한 결과, 그리고 센서를 적용한 누전차단기를 중심으로 기술하였다.

2. 본 론

2.1 누설전류 센서의 검출 방법과 시작품

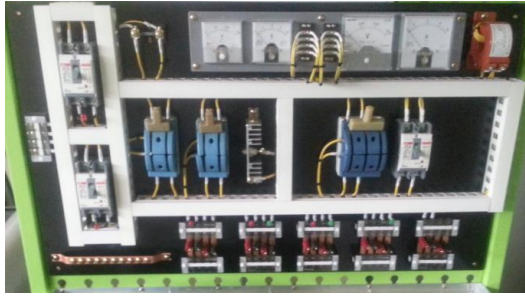
직류 누설전류를 검출하기 위해서 링 코어에 인가하는 구형파 교류전압은 디지털 회로로 구현한다. 즉 크기가 +E와 0이 일정 주기로 교차하여 나타나는 구형파 교류전압에서 크기가 E/2인 직류전압을 감(-)하여 크기가 +E/2와 -E/2의 구형파 교류전압을 발생하여 L-R회로에 인가한다. 본 연구에서 제안된 직류 누설전류센서의 구성도와 검출방법을 그림



<그림 3> 직류 누설전류센서 시작품 사진

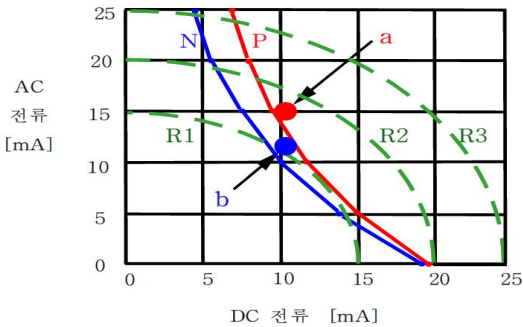
2.2 센서의 특성 시험과 신뢰성 시험

개발하고자 하는 직류 누설전류 검출 센서는 감도전류 $\pm 20\text{mA}$ 급, 정확도 $\pm 5\%$ 의 성능을 목표로 한다. 인버터가 내장된 태양광발전시스템에서는 누설전류가 AC와 DC 성분 모두를 포함하기 때문에 복합된 누설전류 신호에 대한 특성 시험을 수행해야 한다. 누설전류 특성시험에 대한 실험계 구성을 그림 4에 나타내었다. 제작된 센서 시료 5개에 대한 특성시험의 결과[3]를 이용하여 감도전류 특성 곡선을 그림 5에 나타내었다. 특성시험의 결과에서 직류전류와 교류전류가 중첩되어 흐르는 경우의 감도전류는 교류전류 값이 증가할수록 직류 감도전류는 감소함을 알 수 있다. 그림 5에서 직류 누설전류 센서에 직류전류와 교류전류를 동시에 흘린 경우 감도전류를 나타낸다. P곡선은 (+)방향의 누설전류 발생 시의 특성이며, N곡선은 (-)방향의 누설전류 발생 시의 특성 곡선이다. R1, R2, R3 점선은 각각 직류전류와 교류전류가 합쳐진 전류의 실험치가 15 mA, 20 mA, 25 mA인 곡선이다. 즉, 감도전류 특성 곡선은 P곡선과 N곡선을 기준으로 우측 영역인 감도전류 이상의 누설전류가 발생 시 누전을 검출할 수 있음을 나타낸다. 따라서 본 센서는 직류 누설전류와 교류 누설전류가 동시에 흐르는 전선로에 사용하는 경우 과누전 신호와 합성 누설전류 실험치 R1과 R3 영역 사이 값인 15 내지 25 mA 사이에서 과누전 신호가 출력됨을 알 수 있다. 본 센서는 감도전류를 변화하면 감도전류 값을 증가 또는 감소하는 것이 가능하다.



〈그림 4〉 누설전류 특성시험의 실험계 구성

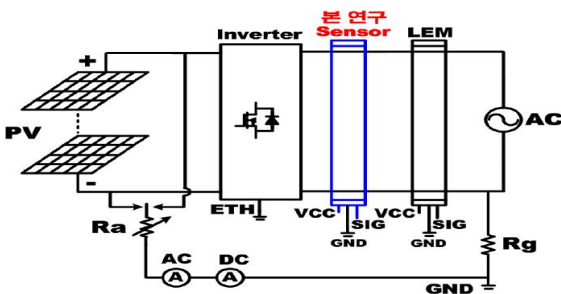
또한 센서의 신뢰성을 검증하기 위하여 한국기계전기전자시험연구원에 의뢰하여 센서의 특성 시험을 수행하여 시험성적서를 발급 받았다. 수행된 시험항목으로는 동작 온도 시험, 내전압 시험, 절연저항시험, 버퍼펄스 시험, 서지내성 시험이다.



〈그림 5〉 감도전류 특성 곡선

2.3 인버터 회로 시험

개발한 직류 누설전류 검출 센서의 성능을 인버터가 동작하는 실제 시스템에서 검증하기 위하여 태양광발전시스템에 직류 누설전류 시험시스템을 그림 6과 같이 구성하였다.



〈그림 6〉 태양광발전시스템의 누설전류 실험회로의 구성

실험용 시스템은 태양전지 PV, Hexpower system사의 태양광용 인버터, 개발한 직류 누설전류 센서, 누설전류의 파형을 관측하기 위한 그독 일 LEM사의 전류센서(CSTR 0.3-P), 사용전원, 누설 가변저항, 직류 및 교류전류계, 접지저항으로 구성된다. 실험결과 누설저항이 12 kΩ일 때 과누전 신호가 발생하였으며, 이때의 누설저항 양단 직류전압은 135 V이며, 직류 누설전류 계측치는 10.8 mA, 교류 누설전류 계측치는 15 mA이었다. 이 상태는 그림 5의 a 지점에 해당된다. 태양광 모듈의 (-) 전선로에서 누전이 발생한 경우는 누설저항이 10 kΩ일 때 과누전 신호가 발생하였다. 이상의 실험 결과에서 본 연구에서 제안한 직류 누설전류 검출 센서는 직류누설전류와 교류누설전류가 동시에 흐르는 교류전선로에서도 누설전류를 비교적 정확하게 검출함을 알 수 있다.

2.4 직류 누전차단기

직류 누설전류를 측정할 수 있는 센서를 적용한 태양광 발전용 직류 누전차단기를 그림 7에 나타내었다. 현재 20 A와 30 A 용량의 누전차단기를 제작하였으며, 센서가 적용된 내부와 외부 사진을 확인 할 수 있다. 우선 누전차단기는 감도전류 및 차단 특성시험을 통과해야한다. 태양광전선로의 (+)전선에서 누전이 발생할 때와 (-)전선에서 누전이 발생할 때 모두 동작해야 한다. 이를 확인하기 위해서 (+)측 전선로 누전 감

도전류와 (-)측 전선로 누전감도전류를 모두 측정하는 시험을 수행해야한다. 또한 30 kW 태양광 발전시스템에 콘덴서와 저항을 연결하여 누설전류가 30/60/150/300 mA가 발생되도록 하여 차단기의 동작 특성을 확인해야 한다.



〈그림 7〉 직류 누전차단기 사진

국내 태양광발전시스템에 본 누전차단기 및 누전 모니터를 적용하여 누전화재 및 인체감전으로부터 안전성을 확보할 수 있다. 또한 태양광발전 시스템은 물론 상용교류전원을 정류하여 사용하는 전기시설에 적용하여 누전 맥동 직류전류에 의한 인체감전 및 누전화재 예방 그리고 국내 제품의 안정성을 확보할 수 있게 된다.

3. 결 론

본 논문은 태양광 발전시스템에서 발생하는 직류누설전류에 의한 전기화재 및 인체 감전 등의 피해를 방지하기 위한 보호 대책으로 직류누설전류를 측정할 수 있는 센서가 적용된 직류누전차단기를 개발한 내용을 기술하였다. 직류 누전전류 센서는 인버터에 의해서 전선로에 교류와 직류가 섞인 복합적인 누설전류를 측정할 수 있도록 설계되었다. 설계된 직류 누설전류센서를 시제품으로 제작하고 이에 대한 특성 시험을 수행하였다. 센서의 감도전류를 확인하는 특성시험을 시료 5개에 대해서 정극성과 부극성으로 시험을 수행하였다. 교류전류는 0에서 25 mA까지 5 mA단위로 수행하였다. 그 결과 감도전류 특성곡선을 제시하였으며, 직류 누설전류의 극성에 따른 센서의 감도를 확인할 수 있다. 실제 태양광발전시스템에서의 직류 누설전류를 측정 여부를 확인하기 위해서 인버터가 포함된 태양광 발전시스템에서의 실험을 수행하였다. 그 결과 제안된 직류센서가 ±5% 범위의 정확도에서 직류 누설전류를 측정하는 것을 확인하였다. 마지막으로 직류 누설전류 센서를 적용한 30 kW급 직류 누전차단기를 개발하였다. 향후 직류 누전차단기의 특성시험을 통해서 차단기의 성능을 확인할 계획이다.

감사의 글

본 연구는 2014년 중소기업청의 지원의 소재부품기술개발사업으로 수행되었습니다.

(No.10050364)

[참 고 문 헌]

- [1] R. Gonzalez, J. Lopez, P. Sanchis and L. Marroyo, "Transformerless Inverter for Single-Phase Photovoltaic Systems", IEEE TPEL Transactions, pp.693~697, 2007.
- [2] X. Su, Y. Sun, Y. Lin, "Analysis on Leakage Current in Transformerless single-Phase PV Inverters Connected to the Grid", Power and Energy Engineering Conference, pp.1~5, 2011.
- [3] 김희선, 한송엽, 한후석, "태양광발전시스템용 직류 누설전류 센서 개발", Tran. of the Korean Institute of Electrical Engineering, Vol.63, No.6, pp.828~833, 2014.