

그린 스마트 홈의 직류배전용 누전 차단기에 관한 연구

김혜진*, 백종복*, 서갑수*, 최규식*, 배현수**, 조보형*
서울대학교 전기컴퓨터공학부*, 서울대학교 공학연구소**

Research on Earth Leakage Circuit Breaker for DC-Based Green Home

Hye-Jin Kim*, Jongbok Baek*, Gab-Su Seo*, Kyusik Choi*, Hyunsu Bae** and Bohyung Cho*

*School of Electrical Engineering and Computer Science, Seoul National University

**Engineering Research Institute, Seoul National University

ABSTRACT

최근 가정이나 산업용 건물에서 컴퓨터, TV, LED 조명 등 제품 내에서 직류를 사용하는 부하가 증가함에 따라 직류배전 도입에 대한 요구가 증가하고 있다. 직류배전을 통해 가전기기 내부의 전력변환단계를 줄임으로써 에너지 효율을 높일 수 있다. 또한, 직류기반의 태양광발전, 배터리 등의 배전 연계가 용이해진다. 하지만 직류배전의 도입을 위해서는 안전성을 위한 직류 배전용 누전차단기, 배전용 차단기의 개발이 필요하다. 본 논문에서는 상용 교류용 누전차단기의 직류배전 적용 가능성을 알아보고 직류배전에서의 누전차단기 동작특성을 분석한다.

1. Introduction

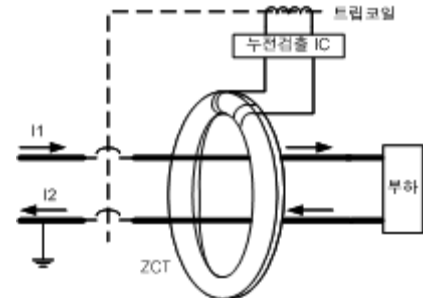
일반적으로 가정이나 사무용 건물에서 사용하는 전기기기들은 교류-직류, 직류-직류 두 단계의 전력변환단계를 거치게 된다. 이러한 전력변환단계에서 발생하는 손실을 줄이기 위해서 교류-직류 변환과정을 제거할 수 있는 직류배전에 대한 연구가 진행되고 있다^[1]. 또한, 직류배전은 태양광발전, 배터리 등의 신재생에너지와 연계가 용이하다는 이점이 있다. 하지만 직류 배전의 상용화를 위해서는 기술적인 문제와 표준화 그리고 안전성 같은 문제들이 있다^{[2],[3]}.

본 논문에서는 이러한 직류배전의 안전성에 대한 문제 중 누전 차단기 대해서 연구하였다. 우선 기존 누전 차단기의 동작 원리를 알아보고 직류배전에서의 누전차단기 동작특성을 분석한다. 그리고 직류 시스템 적용을 위한 해결방법을 알아본다. 이러한 연구 결과는 L사의 3상 3선식 15A, 정격 감도 30mA 규격의 누전차단기 실험을 통해 검증하였다.

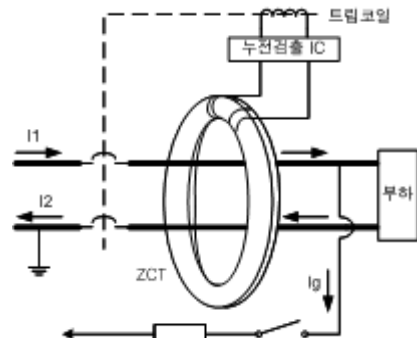
2. 누전차단기 동작 원리

본 논문에서 사용한 누전차단기는 부하단의 누전에 의하여 누설전류가 발생했을 때, 이를 검출하여 회로를 차단하는 방식의 전류동작형 누전차단기로 영상변류기(ZCT)를 사용하고 있다. 그림 1은 누전차단기의 동작원리를 설명하기 위한 구성도이다. 그림 1의 (a)는 정상상태의 회로를 보여주고 있으며, 영상변류기(ZCT)를 통과하는 부하전류의 벡터합이 0이기 때문에 ZCT 2차측에 유기전압이 발생하지 않는다. 그림 1의 (b)는 누설발생

상태의 회로를 보여주고 있다. 여기서 ZCT를 통과하는 전류의 벡터합이 0이 아니기 때문에 ZCT 2차측에 유기전압이 발생하게 되어 트립코일을 여자시켜 회로를 차단한다.



(a) 정상상태



(b) 누설발생상태

그림 1 누전차단기의 누설전류 검출 구성도

3. 실험 및 분석

3.1 실험방법

기존 누전차단기의 직류배전에서의 동작성능을 분석하기 위해서 L사 제품의 3상 3선식, 정격전류 15A, 정격감도전류 30mA, 정격동작시간 0.1sec의 누전차단기를 사용하였다. 그리고 모의 누설실험은 그림 1의 (b)처럼 누전차단기의 1차측과 2차측 선간에 가변저항을 접속함으로써 모의로 누설전류를 만들어 누전차단기의 감도전류와 누전 트립 동작시간을 측정하였다.

3.2 실험 결과 및 분석

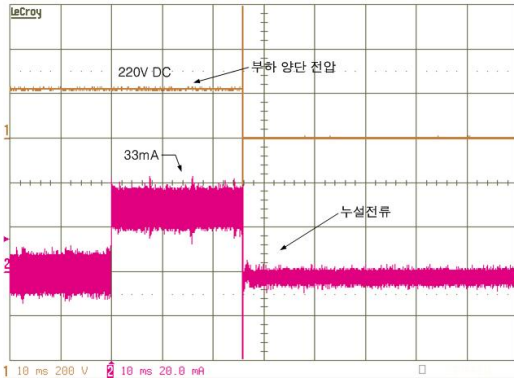


그림 2 누설전류가 33mA일 때의 부하 양단 전압과 누설전류

그림 2는 순간 누설전류 발생 시 부하양단 전압과 누설전류 파형을 나타낸다. 누설전류가 33mA가 되는 순간 누전차단기가 작동하는 것을 확인할 수 있다.

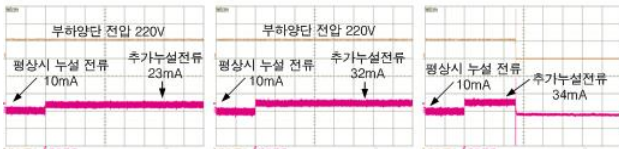


그림 3 정상시 누설전류(10mA)가 존재할 때, 추가누설(23mA, 32mA, 34mA)로 인한 누전차단기의 동작특성

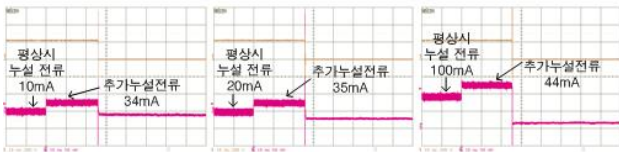


그림 4 정상시 누설전류가 정격감도전류에 미치는 영향

일반적으로 정상시에도 누설은 조금씩 존재한다. 따라서 정격감도전류 이하의 누설전류에서는 누전차단기가 작동하지 않도록 설계되어 있다. 하지만 직류배전에 기존 누전차단기를 적용할 경우 기존의 누설전류를 감지하지 못하는 문제가 발생한다. 그림 3은 정상시 누설전류를 10mA로 가정했을 때, 추가누설이 23mA, 32mA, 34mA 발생하여 정격감도전류 이상이 되었을 때의 부하양단 전압과 누설전류 파형을 나타낸다.

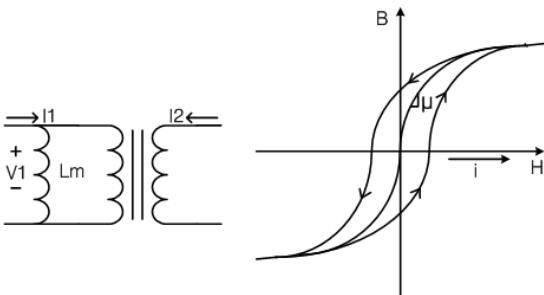


그림 5 ZCT 등가모델과 magnetic core의 B-H curve

초기 누설전류가 없는 상황에서 33mA에서 작동했던 누전차단기가 총 누설전류가 33mA가 되었음에도 작동하지 않는 것을 볼 수 있다. 그림 2와 비교하면, 정상시 누

설전류와 상관없이 누설전류 변화량이 34mA가 될 때, 누전차단기가 작동함을 알 수 있다. 이는 누설전류가 직류이기 때문에 발생하는 문제이다. 그림 5의 영상변류기 등가모델을 보면 영상변류기에 유기되는 전압은 다음과 같다.

$$V1 = L_m \frac{dI1}{dt} \quad (1)$$

하지만 누설전류가 직류이기 때문에 영상변류기에 유기되는 전압이 0이 된다. 따라서 정상시 누설전류 값에 상관없이 일정 전류 이상의 변화가 있어야 누전차단기가 작동하는 것이다.

그리고 직류배전에서 직류누설전류는 영상변류기의 포화 문제를 일으키게 된다. 그림4는 정상시 누설전류의 크기가 누전차단기 작동에 미치는 영향을 보여준다. 그림에서 볼 수 있듯이, 정상시 누설전류가 클수록 누전차단기가 반응하게 되는 전류변화량이 커지는 것을 볼 수 있다. 그림 4의 B-H curve를 보면 magnetic core에 흐르는 전류가 클수록, 기울기가 감소한다. B-H curve의 순간변화율은 유전율(μ)을 의미하기 때문에 식(2)에 의해 L_m 값 이 감소하게 된다.

$$L_m = n^2 \frac{\mu A c}{l_m} \quad (2)$$

식(1)에 의해 L_m 이 작으면 영상변류기 2차단에 일정 크기의 전압을 유기하게 하는 전류변화량이 커지는 것을 알 수 있다. 따라서 직류배전에서 누설전류를 검출하기 위해서는 직류전류를 정확하게 센싱할 수 있는 기술이 누전차단기에 적용되어야 한다. 현재 직류전류를 센싱할 수 있는 방법으로는 홀센서를 이용한 방법이 있다.

4. 결론

본 논문에서는 기존의 누전차단기를 직류배전에 적용하였을 때, 누전차단기의 동작특성을 분석하였다. 상용 누전차단기를 기존 직류배전에 적용하면 정격감도전류 30mA기준을 만족시킬 수 없다. 그리고 직류전류와 영상변류기의 특성으로 인해 정상시 존재하는 누설전류의 크기를 감지할 수 없어 정격감도전류 이상으로 흘러도 누전차단기가 작동하지 않는다. 또한, 직류전류로 인해 영상변류기의 포화문제가 발생하여 안전성에 문제가 생긴다. 따라서 직류배전에서 누설전류를 차단하기 위해서는 정확한 직류전류를 감지할 수 있는 누전차단기의 개발이 필요하다.

이 논문은 지식경제부(10030491-2010-01)의 연구비 지원에 의하여 연구되었음

참고 문헌

- [1] 백종복, 서갑수, 박철우, 배현수, 조보형, “직류기반 소용량 건물 전력계 모델링 및 해석”, 2010 전력전자학회, 2010.
- [2] 이경호, “그린빌딩을 위한 저압 직류배전기술”, 전력전자학회지 제15권 제5호, 2010.
- [3] George D. Gegory, “Applying Low-Voltage Circuit Breakers in Direct Current Systems”, *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 31, no. 4, pp. 650 - 657, July/August. 1995.