

LabVIEW 기반의 수배전반 누설전류 진단기법 연구

A Study on the Diagnostic Techniques of Leakage Current for Switch-Gear Based on LabVIEW

김 용 성* 장 성 일** 최 정 환*** 김 광 호†
Kim, Yong-Seong Jang, Sung-Il Choi, Jung-Hwan Kim, Kwang-Ho

Abstract

Recently, Because the consumption of electricity is increased, having stable electricity supply and diagnosis of the power device is important. In this paper, I propose a diagnostic techniques of the leakage current for switchgear based on LabVIEW NI's. Using the data obtained from the leakage current sensor installed in switchgear panels, in performed continuously diagnosis, notifications and warnings can be the administrator immediately results. It is expected accordingly, the administrator will be able to take prompt action. Using the virtual switchgear with a PXI NI's, war tested the proposed techniques.

키워드 : 수배전반, 누설 전류, 위치 판단, 상 판단, 저항성 누설전류
Keywords : *Switchgear, Leakage current, Determining the location, Determining the phase, Resistive leakage current*

1. 서론

수배전반은 수용가에 전기를 공급해주는 설비로 한전으로부터 특고압을 인입 받아 수용가에서 사용할 수 있도록 저압으로 변환하여 공급한다. 최근에 건물 내에 위치하게 되었고 소형화, 집적화되는 추세에 있으며 외함은 사고로부터 관리자를 보호하기 위하여 큐비클이라는 칸막이 구조물로 이루어져있다[1]. 이러한 수배전반에 누설이 발생할 경우 인명피해는 물론 사고의 파급까지 우려된다. 국내의 경우 누설전류의 차단 규격이 엄하게 규정되

어 있음에도 불구하고 감전 및 누설전류로 인한 인명피해가 다수 발생한다. 또한 최근 전기의 사용량이 증가함에 따라 전기의 안정적인 수급과 전력기에 대한 진단도 중요시되고 있는 실정이다 [2][3]. 수배전반에서 사고가 발생하게 될 경우 정전 후 사고에 대한 조치를 취하기 때문에 그만큼 전기의 안정적인 수급에 문제가 생긴다. 또한 어느 수배전반에서 또는 어느 상에서 누설이 발생했는지에 대한 진단은 어려워 대처 시간도 오래 걸리게 되어 유지보수가 어려운 문제점이 있다. 때문에 수배전반의 누설사고에 대한 신속하고 정확한 조치가 요구된다. 이를 통하여 인명피해의 감소 및 사고에 대한 예방과 정전시간의 최소화를 기대할 수 있다. 이에 본 논문에서는 수배전반 누설에 대한 새로운 진단방법으로 누설전류에 대한 상시 발생여부 및 누설이 발생한 수배전반의 위치, 누설이 발생한 상을 판단하고 사고에 직접적으로 영향을 미치는 저항성 누설전류의 크기를 산출하여 사고의 위험성을 판단하는 기법을 제안하는 바이다.

* 강원대학교 대학원 전기전자공학과 석사과정
** ㈜ 시티이텍, 공학박사
*** ㈜ 채움시스템, 공학박사
† 강원대학교 IT대학 전기전자공학부 교수, 교신저자

2. 기존의 누설진단



(a) 영상변류기



(b) 클램프식 전류계

그림 1 기존의 누설진단 장치

위의 그림 1은 기존의 누설진단 장치이다. 저압에서는 누전차단기를 설치하여 누전 시 전기를 차단하는 간단한 방법을 이용하지만 고압에서는 영상변류기(ZCT:Zero Current Transformer)와 클램프식 전류계(Clamp Meter)를 이용해 누설에 대해 진단한다. 영상변류기와 클램프식 전류계는 모두 전자기유도작용을 원리로 한다. 영상변류기 그 자체만으로는 검출 기능밖에 없기 때문에 지락계전기와 조합 사용하여 누전 시 회로를 차단하는 방법을 사용한다. 영상변류기를 수배전반에 적용하면 누설이 발생한 유무는 판단할 수 있지만 어느 수배전반에서 누설이 발생했는지는 알 수 없다. 클램프식 전류계는 임시적으로 상태를 감시할 경우 사용된다. 클램프식 전류계를 수배전반에서 사용할 경우 각각 수동적으로 측정해야 되기 때문에 판단 시간이 오래 걸리는 문제점을 갖고 있다. 이러한 이유로 수배전반에서의 새로운 누설 진단 방법이 필요하다고 판단된다.

3. 수배전반 누설전류 진단기법

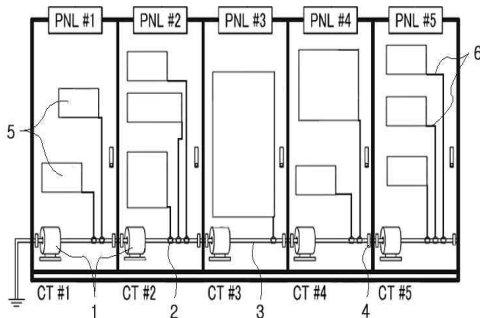


그림 2 수배전반 전체 구성 개략도

여기서,

PNL#1~#5 : 수배전반 패널

1 (CT#1~#5) : 전류센서

2 : 기기 접지단자

3 : 접지 부스바

4 : 외함 접지단자

5 : 기기 및 설비

6 : 기기 접지선

위의 그림 2는 수배전반 누설전류 진단기법에 대한 대상인 5패널 큐비클형 수배전반에 대한 전체 구성 개략도이다. 이러한 구성에서 일반적으로 구리재질인 접지선의 저항이 철이나 스틸재질인 외함, 고정용 볼트의 저항에 비하여 상대적으로 작기 때문에 대부분의 누설전류는 접지선을 따라 접지 부스바로 흐르고 이는 최종 접지로 흐르게 된다.

3.1 누설 위치 판단 알고리즘

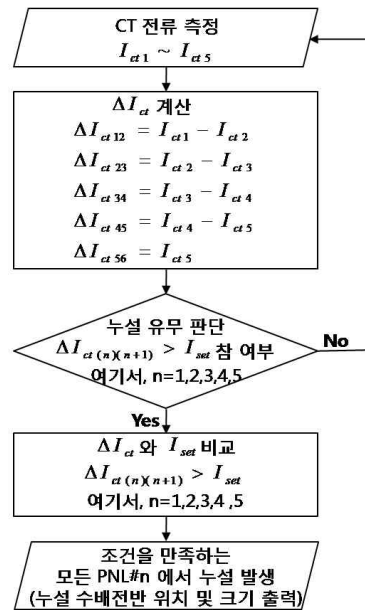


그림 3 위치 판단 알고리즘 순서도

위의 그림 3은 누설이 발생한 위치를 찾는 알고리즘에 대한 순서도이다. 상기 알고리즘에서 사용되는 값은 순서도가 아닌 실효치를 의미한다. 순서도에서 사용된 전류 값($I_{ct1} \sim I_{ct5}$)은 각각 전류센서에서 취득한 값을 의미하며 I_{set} 은 누설 판단 기준 값으로 사용자가 제한하고자 하는 누설전류의 크기를 직접 입력한 값을 의미한다.

수배전반에서 누설은 여러 개의 패널에서 발생할 수 있지만 본 논문에서는 한 개의 패널에서만 누설이 발생한다고 가정한다. 이러한 가정 하에 수배전반에서 누설의 발생은 5가지 경우의 수를 갖는데, 이는 PNL#1~#5에서 각각 누설이 발생한 경

우를 의미한다. 각각 경우의 수에 대한 결과 값을 생각해보면 아래의 표 1과 같은 결과를 얻을 수 있다.

표 1 각각 패널 사고별 결과 값

| 누설 위치 | ΔI_{cd12} | ΔI_{cd23} | ΔI_{cd34} | ΔI_{cd45} | ΔI_{d5} | 전체 누설 전류 $I_g = I_{cd}$ |
|-------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-----------------|----------------------------|
| PNL#1 | High | Low | Low | Low | Low | |
| PNL#2 | Low | High | Low | Low | Low | |
| PNL#3 | Low | Low | High | Low | Low | |
| PNL#4 | Low | Low | Low | High | Low | |
| PNL#5 | Low | Low | Low | Low | High | |

위의 표 1에서 알 수 있듯이 High의 값을 갖는 차이 값을 이용하여 누설이 발생한 수배전반의 위치를 판단할 수 있다.

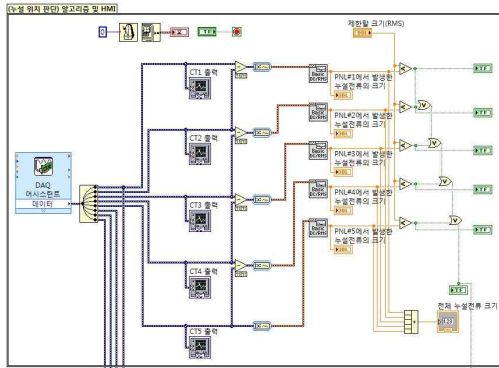


그림 4 LabVIEW 기반의 위치 판단 알고리즘 블록 다이어그램

위의 그림 4는 LabVIEW 기반으로 개발된 수배전반 누설 위치 판단 알고리즘의 블록 다이어그램이다.

3.2 누설 상 판단 알고리즘

수배전반은 평형 3상 시스템으로 운영되며 누설이 발생할 경우 어느 상에서 누설이 발생하였는지는 알 수 없다. 따라서 누설이 발생한 상을 판단하여 신속한 조치를 취할 수 있게 함으로써 유지보수에 걸리는 시간을 단축시킬 수 있다.

누설이 발생한 상 역시 여러 상에서 발생할 수 있지만 본 논문에서는 한 상에서 발생하였다고 가정한다. 누설 상 판단 알고리즘은 수배전반 전원전압의 A상 위상과 누설전류의 위상을 비교하여 판단한다. 만약 A상에서 누설이 발생하였다면, 누설전류의 위상과 전원전압 A상의 차이는 0도가 된다. 마찬가지로 B상의 경우는 위상 차이가 240도,

C상의 경우는 위상 차이가 120도가 된다. 하지만 상기 방법은 누설전류가 저항성 누설전류만 존재할 경우이다. 하지만 실제 누설전류는 그림 5과 같이 저항성 누설전류와 용량성 누설전류의 합으로 나타난다. 용량성 누설전류는 저항성 누설전류에 비해 위상이 90도 앞선다.

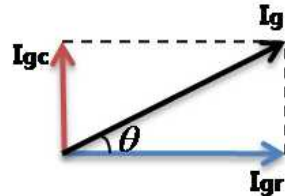


그림 5 전체 누설전류 벡터도

따라서 누설이 발생한 상을 판단하는 확실한 방법은 위상의 경계를 나누는 방법이다. 예를 들어, A상에서 누설이 발생할 경우에 최소 0도에서 최대 90도까지의 위상을 갖는다. B상의 경우 240도에서 330도, C상의 경우 120도에서 210도까지의 위상을 갖는다. 아래의 그림 6는 누설이 발생한 상별로 누설전류 위상이 존재할 수 있는 영역을 나타내는 벡터도이다.

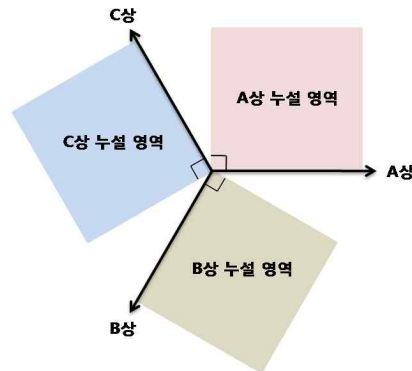


그림 6 상별 누설 영역 벡터도

따라서 위상을 검출하여 위상 차이 값의 크기를 앞으로써 누설이 발생한 상을 판단할 수 있다.

3.3 누설 위험성 판단 알고리즘

전체 누설전류의 성분은 저항성 누설전류 Igr과 용량성 누설전류 Igc로 구분할 수 있다. 저항성 누설전류는 전기화재, 인명피해 등의 사고에 직접적으로 영향을 미치는 성분이다. 반면 용량성 누설전류는 시스템의 오동작을 유발시키는 등의 장애 요인이다. 때문에 용량성 누설전류 성분은 사고에 위협적이지 않다. 그래서 저항성 누설전류의 크기를

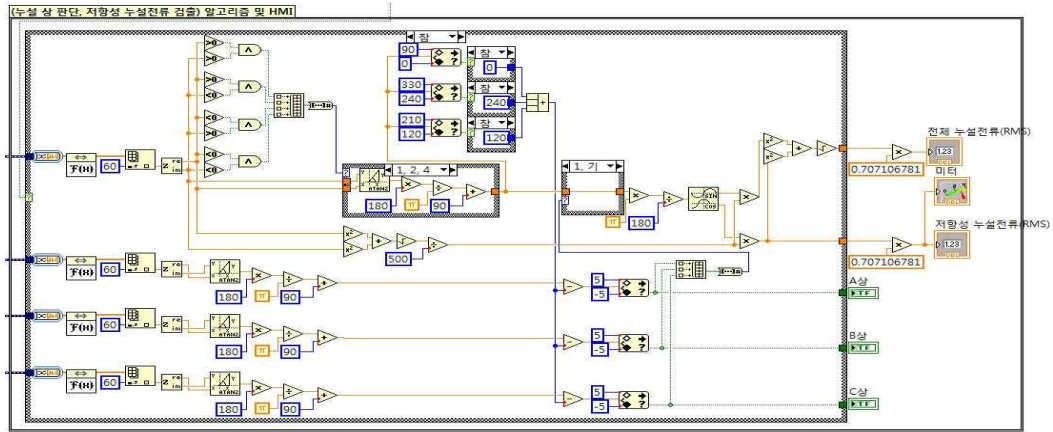


그림 7 LabVIEW 기반의 누설 상 판단 및 위험성 판단 알고리즘 블록 다이어그램

검출하여 누설의 위험성을 판단할 수 있다. 국내의 경우 누설전류 차단 규정이 30mA로 규정되어 있기 때문에 저항성 누설전류의 크기가 30mA이하의 경우에는 사고가 다소 덜 위험하다고 판단할 수 있다. CT로부터 측정된 전류는 전체 누설전류를 의미하고 저항성 누설전류는 아래의 식 (2)과 같이 측정한 전류의 cosine 성분으로부터 검출한다.

$$I_g = \sqrt{I_{gr}^2 + I_{gc}^2} \quad (1)$$

$$I_{gr} = I_g \times \cos\theta \quad (2)$$

위의 그림 7은 LabVIEW 기반으로 개발된 수배전반 누설 상 판단 알고리즘과 누설 위험성 판단 알고리즘의 블록 다이어그램이다.

4. 사례 연구

4.1 테스트 시스템 구축

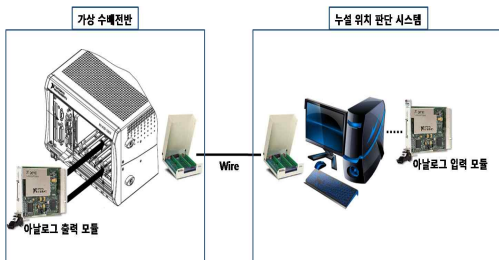


그림 8 시스템 구성도

위의 그림 8은 본 논문에서 제안하는 알고리즘을 테스트하기 위한 시스템의 구성도이다. 실제 수배전반에서 누설 발생 및 데이터 취득에는 한계가 있기 때문에 수배전반에서 누설이 발생했을 때의

CT측정값을 출력하는 가상 수배전반을 LabVIEW 기반으로 구현하였다. 출력하는 값은 실제 누설전류 데이터와는 상이하지만 본 알고리즘을 테스트하기 위하여 가정 하였다. 각 출력 값들은 아날로그 출력 모듈을 통해 출력되어 아날로그 입력 모듈이 장착된 PC에서 입력받아 LabVIEW 기반으로 진단 알고리즘을 수행한다. 그리고 수행 결과를 보여주 기 위한 HMI를 구성하여 진단 결과를 확인할 수 있다.

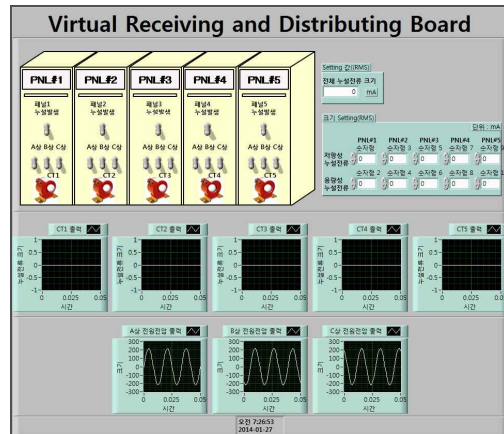


그림 9 가상 수배전반 구성

위의 그림 9는 LabVIEW 기반으로 개발된 가상 수배전반이다. 각 패널별, 상별로 누설을 발생시킬 수 있고, 각 패널별로 누설의 크기를 설정할 수 있으며, 각 패널별로 발생시킨 누설과 전원전압의 출력을 그래프로 확인할 수 있다.

아래의 그림 10은 LabVIEW 기반으로 개발된 알고리즘에 대한 HMI를 보여준다. 누설발생 유무,

누설이 발생한 패널의 위치, 누설이 발생한 상, 누설전류의 크기, 누설사고의 위험성 등을 확인할 수 있다.

(2) 패널4, C상, 저항성 10mA, 용량성 4mA
아래의 그림 12는 (1)항과 마찬가지로만 설정을 다르게 했을 때의 시뮬레이션 결과이다.

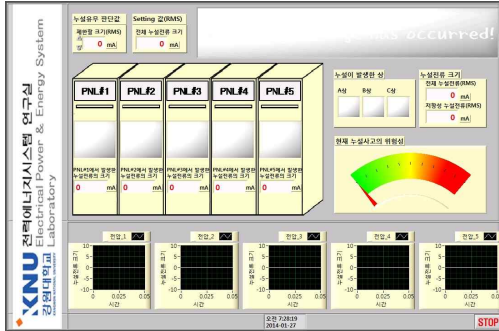
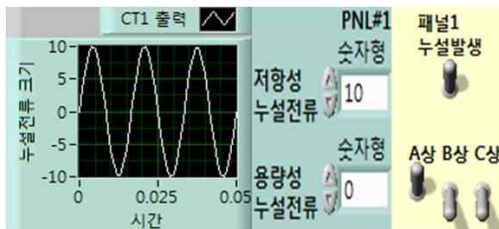


그림 10 HMI의 구성

4.2 테스트 결과

(1) 패널1, A상, 저항성 10mA

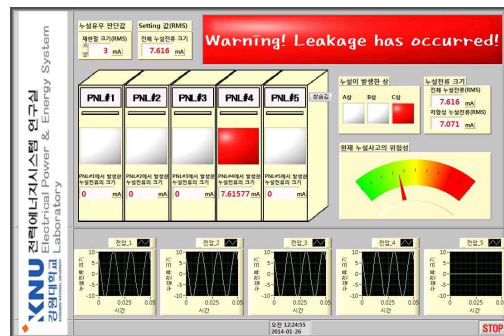
아래의 그림 11은 LabVIEW 기반의 수배전반 누설 진단기법에 대한 시뮬레이션 결과이다. 패널 1, A상에서 저항성 누설전류 10mA를 발생시켰을 경우이며, (a)는 가상 수배전반의 설정에 대한 그림이고 (b)는 그 결과에 대한 HMI이다.



(a) 가상 수배전반 셋팅 값



(a) 가상 수배전반 셋팅 값



(b) HMI 결과

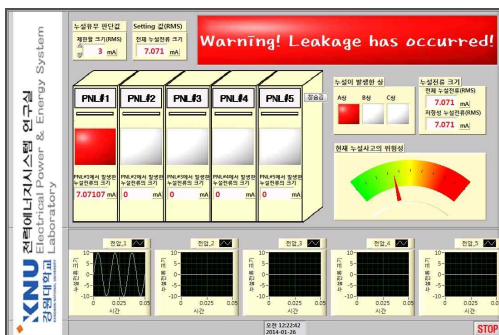
그림 12 패널4, C상에서 누설이 발생한 경우

(3) 시뮬레이션 결과 비교

그림 11과 그림 12를 비교해 보았을 때 누설이 발생한 패널이 달라지고 누설이 발생한 상이 달라져도 정확한 위치를 판단할 수 있었다. 또 누설사고에 대한 위험성에 대해서는 전체누설전류가 아닌 저항성누설전류에 의해 결정된다는 것을 알 수 있다. 시뮬레이션 예로, (1)항에서는 전체 누설전류가 7.616mA 발생하였고 (2)항에서는 전체 누설전류가 7.616mA 발생하였지만 (1), (2)항 모두 저항성 누설전류의 크기는 7.071mA로 동일하기 때문에 누설사고의 위험성을 같은 정도라는 것을 알 수 있다.

5. 결론

최근 전기의 사용량이 증가함에 따라 전기의 안정적인 공급과 전력기기의 진단이 중요시 되었다. 이에 본 논문은 수용가에 전력을 공급하는 중요한 설비인 수배전반의 누설에 대한 새로운 진단기법을 LabVIEW 기반으로 구현하였다. 수배전반에서 누설이 발생한 위치와 누설이 발생한 상, 그리고



(b) HMI 결과

그림 11 패널1, A상에서 누설이 발생한 경우

누설사고의 위험성까지 판단할 수 있게 되었다. 이를 통해 누설에 대해 신속하고 정확한 조치를 할 수 있어 전기의 안정적인 수급, 정전시간의 최소화, 유지보수 비용 감소, 화재 및 인명피해 예방 등의 효과를 기대할 수 있을 것으로 전망된다.

향후 본 연구의 방향은 시뮬레이션의 외로 최근 수배전반에서 주로 사용되는 진단 방법에 맞추어 조금 더 사실적인 연구가 요구된다. 또한 다양한 사고 케이스에 대해 진단이 가능한 기법이 요구된다.

참 고 문 헌

- [1] 등록특허공보 제10-1138735호, “접지 부스바 통전 전류를 이용한 누설 수배전반 위치 판단 방법 및 장치”, 2012.4.16.
- [2] 차상욱, 차현규, 박대원, 박희철, 김경석, “수배전반 진단을 위한 통합형 센서모듈”, *한국철도학회 추계학술대회 논문집*, pp.2043-2048, 2011.
- [3] 박현수, 김대복, 위관복, 이동준, 김기호, 김이원, “수배전반 종합 감시 시스템 개발”, *대한전기학회 하계학술대회 논문집*, pp.2081-2082, 2011.