

배전자동화시스템에서 전류방향성을 이용한 단말장치의 고장표시 오류 개선 방법

An Improved Algorithm of Fault Indicator Generation of FRTU in Distribution Automation System

서정수* · 김형승* · 임성일* · 최면송* · 이승재*

(Jung-Soo Seo · Hyung-Seung Kim · Seong-Il Lim · Myeon-Song Choi · Seung-Jae Lee)

Abstract - In this paper, an improved method of fault indicator generation algorithm in FRTUs is proposed for the present Distribution Automation System. In order to find fault area, correct FI information should be generated. But when a single line-to-ground fault occurs, FI information is generated in downside of the fault in some circumstance because existing FI algorithm considers only magnitude. It is found that the upside fault current direction is different from the downside fault current direction. Therefore, in order to prevent to generate the wrong fault indication information for FRTU at the downside of the fault, an improved fault indication generation method is developed. Not only the basic conditions are taken into account, but also the directions from the angle difference between zero and positive sequence currents are considered to generate the fault indication information. In case study, the proposed method has been testified and shown the reasonability in generating correct the fault indication information for many kinds of faults according to conditions.

Key Words : Distribution Automation System, Fault Indication, Fault Indicator, FI

1. 서 론

국내 배전자동화 시스템은 전력계통 운영기술과 IT 기술을 이용하여 원거리에 산재해 있는 배전선로용 자동화 개폐기와 물리적으로 연결 설치되어 있는 배전자동화용 단말장치(FRTU : Feeder Remote Terminal Unit)에 원격으로 감시하거나 제어하는 명령을 내리고, 고장을 자동인지하고 고장구간을 자동 판단하며, 전압, 전류, 고장파형 등의 선로 운전 정보를 자동으로 수집하여 배전계통을 효율적으로 운영할 수 있도록 지원하는 종합제어 시스템이다[1].

배전계통은 수용가와 직접 연결되어 있기 때문에 배전계통을 운영하는데 있어서 전력공급의 신뢰도는 가장 중요한 개념 중의 하나이다. 설비고장이 발생하였을 때 빨리 복구하는 것은 수용가의 정전시간을 줄여 전력공급신뢰도를 높이는 매우 중요한 요소가 된다. 따라서 수용가의 입장에서 배전자동화 시스템이 제공하는 기능 중에서 가장 유익한 기능은 빠른 정전복구기능이라고 할 수 있다.

중성점 접지방식을 사용하는 배전계통에서는 고장구간을 검출하기 위하여 'Yes-No' 방식이라고 알려진 고장표시 정보 생성 알고리즘을 사용한다. 이 방법은 방사상 선로구조에서

고장점을 기준으로 하여 전원측에 설치된 단말장치들은 고장전류를 경험하고(Yes), 부하측에 설치된 단말장치들은 고장전류를 경험하지 않는다는(No)는 간단한 원리를 기반으로 한다. 즉, 보호계전기가 동작하여 고장발생이 확인되면 중앙 제어장치는 고장선로에 설치된 각 단말장치의 고장표시 정보를 수집하여 고장전류를 경험한 단말장치와 고장전류를 경험하지 못한 단말장치 사이에서 고장이 발생했다고 판단한다[2,3]. 그리고, 이 결과에 따라 배전계통 고장처리가 고장구간의 위치에 따라 수행되므로, 정확한 고장구간의 위치 결정이 매우 중요하다.

그런데 'Yes-No' 방식 고장표시 알고리즘은 배전계통은 방사상계통으로 부하단에서 고장전류가 공급되지 않으며, 단상해석으로 배전계통이 해석가능하다는 기본가정을 하고 있다. 그러나 배전계통은 불평형부하를 갖는 3상계통이며, 분산전원이나 부하측의 전동기로 인하여 고장시에는 부하단에서 고장전류가 공급될 수도 있기 때문에, 이 'Yes-No' 방식 고장표시 알고리즘의 기본 가정이 성립되지 않기 때문에 많은 오류가 있을 수 있다. 실제로 배전자동화 시스템의 실제 운전에서 고장점 부하측의 고장표시도 고장전류를 경험하는 문제점이 많이 발견되는데, 그 원인은 중부하 선로에서 1선 지락사고가 발생한 경우 고장구간 부하측에도 고장으로 판단될 크기의 영상전류가 검출되거나, 동기기형태의 분산전원이나 전동기가 '와이-델타' 변압기 결선으로 부하측에 연결되어 있는 경우, 고장시에 분산전원이나 전동기가 발전기로 동작하여 고장점으로 역전력을 공급하거나 큰 영상전류를 공급하기 때문이다. 고장표시 정보를 생성하는 고장표시기가 오동작하여 고장구간을 잘못판단하면 복구시에 고장구간

* Corresponding Author : Dept. of Electrical and Electronic Engineering, Gyeongnam University, Korea.

Email : slim@kyungnam.ac.kr

* Dept. of Electrical and Electronic Engineering, Myongji University, Korea.

Received : November 13, 2014; Accepted : August 21, 2014

에 전력을 공급하여 설비에 충격을 주거나, 건전한 연계선로로 절체함으로써 정전구간이 확대되는 등 매우 심각한 결과를 초래한다.

배전자동화 시스템의 정전복구 기능은 매우 중요하기 때문에 복구방법에 관하여는 다양한 연구가 진행되어 왔다. 전통적으로 경험적 탐색방법[4,5]이나 전문가시스템[6,7]이 이용되어 왔는데, 최근에는 G-net[8], 퍼지로지[9], 패트리넷[10]을 이용한 적용하거나 이를 조합한 방법[11]이 소개되고 있다. 그러나 정전복구에 대한 대부분의 연구는 고장구간이 확정된 이후에 복구해를 생성하는 알고리즘에 관한 것으로서, 실용적인 관점에서 더욱 중요한 문제점으로 대두되고 있는 정확한 고장구간을 검출에 관한 연구는 [1]에서 찾아볼 수 있다. 이 연구에서 고장표시알고리즘의 오류는 고장전류의 크기만을 이용하기 때문이라고 밝히고 고장전류의 방향을 동시에 이용하면 이 문제가 해결될 수 있음을 보였다. 그런데, 이 연구에서는 고장전류의 방향을 결정하기 위하여 기준이 되는 위상을 영상전압의 위상으로 하였다. 그런데, 영상전압은 정상시에 0이며, 고저항 지락시에 영상전압이 매우 작다. 그리고, 배전계통의 단말장치에서 측정하는 전압의 측정 장치의 원리상 전주에 설치되기 때문에 공간적인 제약이 있어 작은 전압을 정확하게 측정하기는 매우 어렵기 때문에 이 연구에서 주장하는 방법을 현실적으로 적용하기는 어려움이 있다.

본 논문에서는 중성점 접지 계통의 배전자동화 시스템에서 사용되는 'Yes-No' 방식 고장표시기의 오동작 원인을 해석적으로 밝히고, 이러한 문제점을 해결하기 위하여 현재까지는 고장전류의 크기에 관한 정보만을 이용하였는데, 이 논문에서 현실적으로 측정되는 신뢰성이 있는 정보를 사용하여 고장전류의 방향까지 이용하여 고장표시 정보를 생성하는 알고리즘을 제시한다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2장에서는 배전자동화 시스템의 고장구간 검출방법을 설명하고 현재 사용되고 있는 고장표시 정보 생성 알고리즘의 문제점을 분석하였다. 3장에서는 고장전류의 방향을 이용하는 새로운 고장표시 정보 생성 알고리즘을 제안하였다. 4장에서는 본 논문에서 제시한 알고리즘의 유용성을 검증하기 위한 컴퓨터 시뮬레이션 결과를 제시하였다

2. 배전계통 보호원리와 복구방법 및 문제점

배전계통의 전력공급 신뢰도 향상은 사고 시에 고장전류를 차단하여 설비를 효과적으로 보호하며, 신속하게 고장구간을 파악하여 이를 계통에서 분리하고, 불필요하게 정전된 부하구간을 신속하게 건전 계통으로 절체하여 정전시간을 줄이는 것이다.

2.1 배전계통의 보호

배전계통의 보호기기로는 변전소 인출단의 차단기(CB)와 배전선로의 재폐로계전기(Recloser)가 있다. 이 보호기기들은 배전설비를 사고전류로부터 보호하도록 선간단락, 1선지락, 2선지락, 3상단락 등의 고장으로 부터 각상의 과전류를

보호하는 과전류요소(OCR)와, 지락 과전류로부터 보호하는 지락 과전류요소(OCGR)가 있다. OCR은 단락사고에 대하여, OCGR은 지락사고에 대하여 최소고장 전류이상에 동작하도록 각각 보호요소의 정정값인 Tap을 설정한다. 보통은 단락사고가 발생하면 차단기나 재폐로 계전기의 OCR요소가 동작하고, 지락사고가 일어나면, 고장상에 과전류와 지락과전류가 동시에 발생하기 때문에 OCR요소와 OCGR요소가 동시에 동작한다. 그러므로 보통의 지락사고에서는 보호 이중화가 실행된다고 볼 수 있다. 그런데, 지락사고의 최소동작전류가 단락사고의 최소동작전류보다 작기 때문에 OCGR 요소의 또 하나의 목적은 OCR요소가 동작하지 않는 작은 고장전류의 고저항 지락사고에서 설비를 보호하는 것이다. 또한 고장점 상단의 보호기기들은 차단기 동작시간이 협조를 이루도록 정정하여 같은 사고에 동시에 동작하지 않도록 하여야 사고에 있어 정전구역을 최소로 할 수 있다.

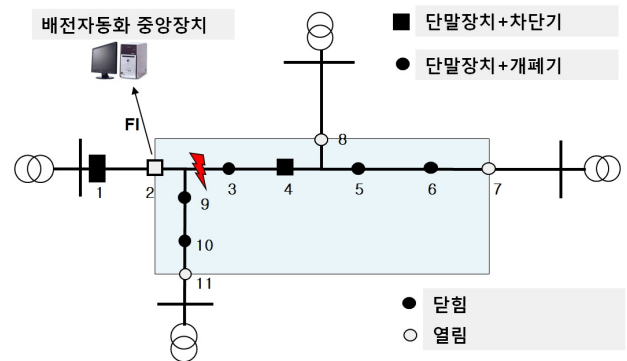


그림 1 배전계통의 보호
Fig. 1 Protect of Distribution System

그림 1은 6분할 3연계를 표준으로 하는 일반적인 국내 배전계통의 단선도이다. 정상상태의 부하전력은 CB 1에서 단방향으로 공급하는 방사상 계통이다. 만약 단말장치 2,3,9사이의 구간에서 고장이 발생하면 고장점 상단의 모든 단말장치가 고장전류를 감지하지만, 차단기가 있는 단말장치 2(Recloser)가 CB1과 동작시간을 협조하여 고장전류를 차단한다. 즉 그림 1의 고장에 대하여 2번 Recloser가 1번 CB보다 동작시간이 작게 정정되어 있으므로 먼저 동작하여 정전구간을 최소로 한다. 배전계통 고장 시 고장전류로부터 설비를 보호하기 위하여 빠른 속도의 신뢰성있는 차단동작이 필요하므로 방사상 계통의 보호에 있어서는 보호협조에 신뢰성과 속도가 보장되지 않는 한 통신을 이용하지 않는다. 단말장치 2의 차단기가 동작하여 고장전류를 차단하면 그림에서와 사각형의 구간만큼 정전구간이 생성된다.

보호기기가 동작하여 무전압을 경험한 고장점 상단의 CB를 제외한 모든 단말장치는(2번)은 배전자동화 중앙장치로 고장표시(FI:Fault Indication) 정보를 전송한다. 그러나 그 외의 고장점 하단의 단말장치는 중앙장치로 고장표시 정보를 전송하지 않는다.

2.2 배전계통의 복구

복구 서비스는 배전자동화 시스템에 있어서 가장 중요한 서비스로 불필요한 정전구간을 복구하여 고장구간을 가능한 빨리 최소화시켜주는 서비스이다. 현재의 복구 서비스는 사고 발생 시 사고와 관련하여 단말장치로부터 취득한 고장표시 정보를 중앙 장치가 수집하고 이를 분석하여 고장구간과 복구 대상 정전구간을 판단한다. 그러면 운영자나 시스템이, 먼저 파악된 고장구간을 계통으로부터 분리하고, 그 이후 복구 대상 정전구간을 연계선로로 절체하여 정전을 복구하는 복구해를 구하고, 이에 따라, 필요한 구간의 자동화 개폐기를 조작하여 정전을 복구하는 복구절차를 수행한다.

고장점 상단의 단말장치만 고장표시 정보를 발생한다는 원리를 이용하여 배전자동화 시스템 중앙장치는 고장구간과 정전구간을 파악한다. 고장구간을 파악하는 간단한 원리는 무전압을 경험한 고장점 상단의 모든 단말장치가 고장표시 정보를 생성하도록 되어 있으므로, 고장표시 정보를 보낸 단말장치 중 전원에서 가장 먼 단말장치 하단구간이 고장구간이며, 방사상계통이기 때문에 고장구간 이하는 모두 정전구간이라고 판단한다. 그림1에서 단말장치 2이하구간이 정전구간이며, 고장구간은 단말장치 2,3,9에 사이구간이므로 먼저 개방 명령을 하달하여 고장구간을 계통에서 분리하고, 고장구간을 제외한 나머지 정전구간을 복구할 수 있는 개폐기 조작순서인 복구해를 구한다.

복구해에 있어 중요한 점은 복구대상 정전구간을 이웃한 연계선로로 절체할 때 연계선로가 과부하되지 않도록 정전구간의 부하를 적당히 분할하여 절체할 수 있게 개폐기들의 동작순서 조합을 구하는 것이다.

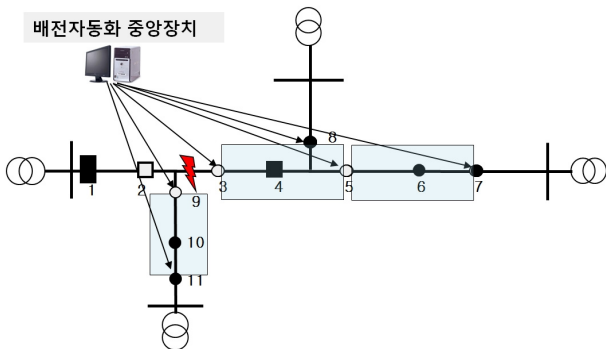


그림 2 배전계통의 복구
Fig. 2 Restoration of Distribution System

그림 2에서 연계선로의 여유용량을 살펴 단말장치 9와 11 사이의 구간을 절체하게 위하여 먼저 단말장치 9의 열림(Open)을 확인하고 단말장치 11을 닫는다(Close). 만약 단말장치 9의 열림이 확인이 안 된 상태에서 단말장치 11을 닫으면, 통신이상이나 통신지연에 의하여 연계선로에 고장구간이 절체될 수 있어 문제가 된다. 그리고, 고장점 하단구간을 연계선로의 여유용량을 고려하여 분할하여 절체하고자, 단말장치 5를 열고, 단말장치 3과 단말장치 5의 열림을 확인한 후에 단말장치 8과 7을 닫아 정전부하 복구동작을 마무리한다. 만약 단말장치 5의 열림을 확인하지 않고 단말장치 7과 8을 닫으면, 정전구간이 복구될 때 일시적으로 이중전원상태

가 되며, 연계선로들의 전력공급 변전소가 다른 경우, 변전소간의 위상차로 인하여 큰 순환전류가 흐를 수 있으며, 이로 인하여 이중 전원된 구간의 보호기기 동작하여 원치않는 정전구간이 발생한다. 단말장치 3과 4사이의 구간에서 고장이 발생하면 전원으로부터 고장점까지 고장전류가 흐른다. 이때 1번에 위치한 보호기기가 동작하여 고장전류를 차단하면 그림에서와 같이 정전구간이라고 되어있는 사각형의 구간만큼 정전구간이 생성된다.

이러한 정전복구 기능을 수행하기 위해서 가장 중요한 것이 정확하게 고장구간을 검출해내는 것이다. 이를 위해서 고장표시정보를 종합하여 고장구간을 검출하게 되는데 바로 이 고장표시정보를 신뢰할 수 없다면 신속하고 정확한 고장복구가 불가능하며, 배전자동화 시스템의 자동 정전복구 기능이 불가능하므로 무용지물이 될 것이다.

2.2 현재 배전계통 단말장치의 고장표시 정보 성방법과 문제점

정확한 고장구간을 판단하기위하여 배전계통의 단말장치는 고장 시에 차단동작을 수행한 보호기기 이하의 모든 단말장치중 고장점 상단의 단말장치는 고장표시 정보를 발생하고, 고장점 하단의 단말장치는 고장표시 정보를 발생하지 말아야 한다.

현재 고장점 상단과 고장점 하단을 구분하여 고장표시 정보를 생성하는 원리는 사고시에 변전소 전원을 기준으로 전원단에서 고장지점으로 흐르는 고장전류를, 고장점의 상단에서는 경험하는데 반하여 고장점의 하단에서는 경험하지 못한다는 가정에 기초한다.

배전자동화 단말장치는 재폐로계전기와 자동화개폐기로 이루어져 있으며, 고장 시에 재폐로계전기는 고장전류를 감지하여 차단동작을 수행하고, OCR요소가 동작하는 상 과전류에 상 고장표시, OCGR요소가 동작하는 중성선 과전류에 N상 고장표시를 발생하여 중앙으로 전달한다. 자동화개폐기는 고장전류를 감지하지도 차단동작을 수행하지 못하지만 미리 설정된 최소동작전류(Minimum pick up)값 이상의 전류가 일정시간 이상 지속적으로 흐르면 고장이 발생하였다고 판단하여 재폐로계전기와 마찬가지로 상고장표시, N상 고장표시를 발생하여 중앙으로 전달한다.

현재 사용되는 이와 같은 ‘Yes-No’방식 고장표시 알고리즘은 고장시의 3상 배전계통에 대하여 충분한 이해가 없는 상태에서 너무 간단한 원리만을 사용하였다. 이 방법은 고장 시 3상배전계통의 현실을 고려하면 잘못된 두 가지의 가정을 하고 있으므로, 현실적으로 많은 오류가 있어 정확한 고장구간 판정을 못하므로 배전자동화시스템의 복구자동화에 큰 걸림돌이 되고 있다.

첫 번째 잘못된 가정은 배전계통은 3상계통인데, 단상해석이론을 적용한 것이다. 즉 고장시에 고장전류는 전원단에서만 공급한다는 단상해석이론을 가정한 것이다. 그러나, 3상계통에서 1선지락과 같은 불평형 고장에서 건전상의 전류가 부하단의 변압기 결선에 따라 고장상으로 공급될 수 있다. 그리고, 고장전류의 영상전류 성분은 지락사고의 경우, 부하단에서 공급될 수 있어 고장구간 하위의 단말장치에서도 잘못된 고장표시정보를 생성하는 경우가 있다. 그림 3은

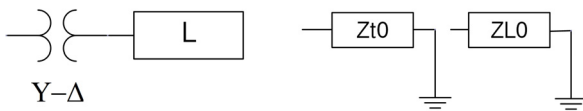


그림 3 '와이-델타'변압기결선의 영상회로도
 Fig. 3 Zero-sequence diagram of the 'Y-Δ'transformer

지락고장 시 등가 영상회로도이다 전원과 부하는 어느 정도 3상평형이 되었다고 가정하면 영상전압을 공급하지 않는다. 그러나 지락사고 시 3상 불평형으로 인하여 고장점에 영상 전압이 발생하며 이로 인하여 고장전류의 영상분이 부하단과 전원단에 병렬로 흐른다.

특히 그림 4와 같이 부하단의 변압기가 “와이-델타”결선 일 경우 부하단의 영상 임피던스가 매우 작아져 매우 큰 영상전류가 부하단에서 공급될 수가 있다. 따라서 고장전류는 전원단에서만 공급된다는 가정은 성립하지 않는다.

상전류에 의한 상 고장표시 정보생성에 있어 고장상의 고장전류는 전원단에서만 공급된다는 이 가정은 부하단에 전원이 없으면 성립하므로 상 고장표시에 있어 고장표시 정보 생성에 오류가 없지만, N상 고장표시는 고장 시 영상전류를 이용하고 있으므로 고장시 영상전류는 전원단에서만 흐른다는 잘못된 가정에서 출발한 N상 고장표시 정보 생성방법은 많은 문제점을 가지고 있어 근본적인 수정이 필요하다.

잘못된 가정의 두 번째는 고장 시에도 정상 시에 마찬가지로 전원단에서만 전류를 공급한다는 것이다. 대부분의 경우, 정상상태나 고장 시에 전원단에서 전류를 공급한다. 그러나, 부하단에 큰 전동기가 있다면 정상 시에는 부하로 작용하다가 선로에서 고장이 일어났을 때 전동기가 관성에 의하여 계속 회전하여 발전기 작용을 할 수 있으므로 보호기기가 동작하기 전의 짧은 시간동안 부하단에서 고장점으로 고장전류를 공급할 경우가 있다. 그리고 부하단에 전력변환설비가 없는 분산전원이 존재하는 경우에도 마찬가지로 고장시에 분산전원에서 고장점으로 고장전류를 공급할 경우가 있다.

이 잘못된 두 가정은 배전계통 보호의 고장검출 알고리즘에도 일반적으로 사용하지만 적용에 있어 큰 문제가 되지는 않는다. 그 이유는 배전계통 보호기기는 차단기 동작시간으로 협조를 하고 있어 같은 고장에 동시에 두 개의 보호기기가 동작하지 않도록 하고 있으며, 고장점 상단의 보호기기가 동작하기만 하면 고장점 하단의 보호기기가 동작하더라도 고장시 설비보호에 있어 큰 문제가 되지 않기 때문이다. 그러나 이 잘못된 가정을 배전계통 고장표시 정보생성 알고리즘에 도입하였을 때, 큰 문제가 되는 이유는 고장표시정보의 목적이 고장구간을 정확하게 찾는 것으로서 고장점 상단과 하단의 기기가 동시에 고장표시 정보를 생성하면 문제가 되지만 설비보호에 있어서는 문제가 되지 않는다는 사실을 감안하지 못한 결과이다.

현재의 배전계통 고장표시 생성 알고리즘은 정해진 지속 시간 이상의 고장전류의 크기만을 사용하고 있어, 보호기기에서 사용하는 협조의 개념이 없다, 그리고 고장점 상단과 고장점 하단의 단말장치가 동시에 고장표시 정보를 생성하

면 정확한 고장구간 판정에 큰 문제가 있으므로, 배전계통 보호에 사용되는 잘못된 가정을 사용하면 안 된다.

이와 같이 잘못된 가정에 의한 고장표시 정보의 오류, 특히 N상 고장표시 정보의 오류는 의하여 배전계통 운영에 있어 많은 문제점이 되어 왔다. 그러므로, 현재는 상고장표시 없이 단독으로 발생하는 N상 고장표시정보는 무시하고 배전계통을 운영한다. 그러나 배전계통 보호 및 복구의 목적상 OCR이 보호하지 못하는 영역의 고장은 OCGR만이 보호하는데, 이 고장과 관련된 고장표시 정보는 N상 고장표시만 발생하는데 이를 무시한다면, 이 고장에 대한 복구는 포기하는 결과이다.

이와 같은 오류를 해결할 수 있는 방법은 현재의 단말장치가 전류의 크기를 고려하여 고장표시 정보를 생성하기 때문이므로 더 추가적인 정보로 전류의 크기에 전류의 방향까지 고려하여 고장표시 정보를 생성하도록 개선하여야 한다.

3. 지락고장 시 영상전류와 정상전류의 위상비교에 의한 방향판정 방법과 이를 이용한 고장표시 정보 생성방법

3.1 지락고장 시 영상전류 방향을 이용한 개선된 고장표시 정보 생성방법

배전계통 고장 시 배전자동화 단말장치가 잘못된 고장표시 정보를 생성하는 경우는 고장점 하단에서 큰 영상전류로 인하여 N상 고장표시정보를 생성할 때와 고장점 하단에 분산전원이나 전동기의 발전작용으로 인하여 고장시에 순간적으로 부하에서 고장점으로 전력을 공급할 때 상 고장표시 정보를 생성 또는 N상 고장표시 정보를 생성할 때이다.

본 논문에서는 먼저 부하단에 ‘와이-델타’ 변압기 권선이 있어 고장시에 부하단에서 고장점으로 큰 영상전류를 공급할 때, 고장점 상단과 고장점 하단의 전류의 위상을 분석하였으며, 다음으로 고장 시에 전동기의 발전작용이나 분산전원에 의하여 부하단에서 고장점으로 역전력을 공급할 때, 고장점 상단과 고장점 하단의 전류의 위상을 분석하였다.

먼저 지락고장 시 부하단에서 공급하는 고장전류의 영상분으로 인하여 고장구간 하단의 단말장치가 잘못된 고장표시 정보를 생성할 수가 있는 오류를 방지하는 개선된 고장표시 정보 생성 방법은 그림 3에서와 같이 고장전류의 영상분은 고장점을 중심으로 고장상단과 고장점 하단에서는 반대방향으로 흐르므로 고장전류의 영상분 방향을 고려하여 고장상단에서만 고장표시 정보를 생성하게 하는 것이다.

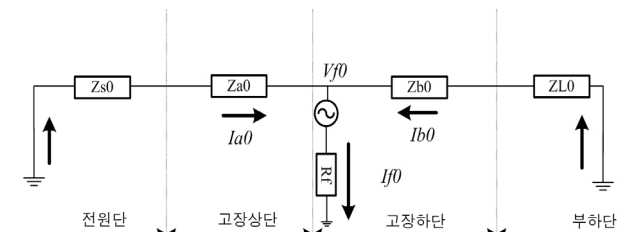


그림 4 지락고장시 영상회로도
 Fig. 4 Zero-sequence circuit diagram in ground fault Case

고장 시 영상전류의 방향으로 고장 상단인지 아니면 고장 하단인지를 판단하기 위하여 기준방향이 필요하다. 배전자동화 단말장치는 3상전압과 위상각, 3상전류와 위상각을 모두 측정하는데, 배전계통의 전주에 설치되는 측정장치의 특성에 의하여 3상 전압의 크기와 위상각에는 오차가 많이 포함되어 정밀한 용도에 사용하기에는 신뢰성이 부족하다. 그러므로 측정되는 3상전류를 이용하여 기준방향을 정하여야 한다. 3상전류로부터 정상전류를 구하여 정상전류의 방향을 기준으로 하면 고장종류에 따라 영상전류의 방향을 구하면 고장상단에서 측정된 영상전류인지 아니면 고장하단에서 측정된 영상전류인지 쉽게 판단이 가능하다. 본 논문에서는 이를 이용하여 정상전류의 위상과 영상전류의 위상을 비교하여 고장전류의 방향을 계산하고 이를 고장표시 정보 생성 시에 고려한다.

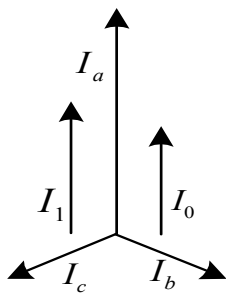


그림 5 A상 지락고장시 고장점 상단에서 측정된 전류
 Fig. 5 Three-phase current measured at the upper side of the fault in phase A-to-ground fault case

A상 지락고장 시 고장점 상단에서는 A상 전류가 고장전류이므로 증가한다. 정상전류는 A상전류와 같은방향이며, 영상전류는 그림5과 같이 3상전류의 합과 같은 방향이므로 A상 전류와 같은 방향이다. 그러나 고장점 하단에서는 건전상의 전압이 증가하며, 영상전류가 부하단에서 고장점으로 공급되므로 건전상의 전류는 일반적으로 증가한다.

그리고 고장조건에 따라 고장저항이 작아질수록, 부하단의 영상 임피던스가 작아질수록 부하단에서 고장점으로 흐르는 영상전류의 크기는 증가한다. 따라서 고장상의 전류는 영상전류가 커짐에 따라 고장전의 반대방향으로 증가하기 시작한다. 그림 6(a)는 부하단에서 고장점으로 공급되는 영상전류가 작을 때의 전류벡터도이다. 고장상의 전류크기는

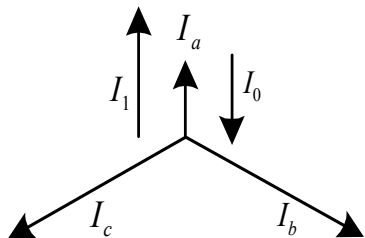


그림 6(a) A상 지락고장시 영상전류가 작을 때 고장점 하단에서 측정된 전류
 Fig. 6(a) Three-phase current measured at the downside of the fault in little zero-sequence current in A-to-ground fault case.

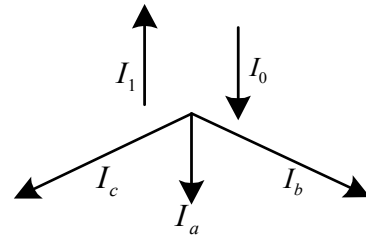


그림 6(b) A상 지락고장시 영상전류가 클 때 고장점 하단에서 측정된 전류
 Fig. 6(b) Three-phase current measured at the downside of the fault in large zero-sequence current in A-to-ground fault case.

고장정보보다 작다. 그리고 그림 6(b)는 영상전류가 큰 경우의 전류 벡터도로서 고장상의 전류는 고장전의 전류방향과 반대이며 그 크기는 고장전 전류보다 작을 수도 있으며, 영상전류가 매우 크면 고장전의 전류보다 커질 수 있다.

그러나 영상전류의 크기와 관계없이 정상전류는 A상 방향으로 부하 방향이며, 정상전류와 영상전류는 반대방향으로 위상차는 약 180도이다.

마찬가지로 B상 지락고장시 고장점 상단에서 정상전류와 영상전류의 위상차는 영상전류가 120도 뒤지며, 고장점 하단에서는 정상전류위상보다 영상전류의 위상이 60도 앞선다.

마찬가지로 C상 지락고장시 고장점 상단에서 정상전류와 영상전류의 위상차는 영상전류가 120도 앞서며, 고장점 하단에서는 정상전류 위상보다 영상전류의 위상이 60도 뒤진다.

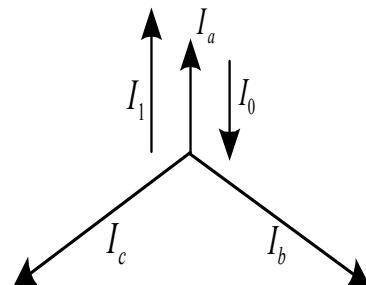


그림 7 BC상 지락고장 시 고장점 상단에서 측정된 전류
 Fig. 7 Three-phase current measured at the upper side of the fault in phase BC-to-ground fault case

그림 7은 BC상 지락고장시 고장점 상단에서 측정된 전류이다. BC상 지락고장시에는 B상과 C상의 전류가 증가한다. 그러므로 영상전류의 방향은 A상 전류의 방향과 반대이나 정상전류의 방향은 A상 전류의 방향이므로 영상전류와 정상전류의 방향이 반대이다.

그림 8(a)는 BC상 지락고장 시 부하단에서 고장점으로 공급되는 영상전류가 작을 경우 고장점 하단에서 측정된 전류의 벡터도이다. 그리고 그림 8(b)는 같은고장에서 부하단에서 고장점으로 공급되는 영상전류가 클 경우 고장점 하단에서 측정된 전류의 벡터도이다.

건전상의 전류는 BC상 지락고장으로 인하여 상전압이 증가하고 부하에서 큰 영상전류가 공급되므로 고장전에 비해

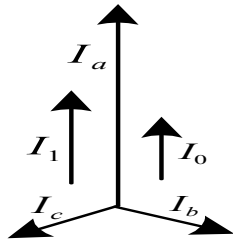


그림 8(a) BC상 지락고장 시 영상전류가 작을 경우 고장점 하단에서 측정된 전류

Fig. 8(a) Three-phase current measured at the downside of the fault in little zero-sequence current in BC-to-ground fault case.

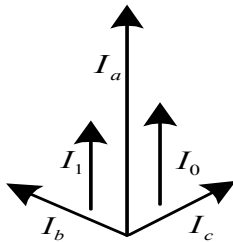


그림 8(b) BC상 지락고장 시 영상전류가 클 경우 고장점 하단에서 측정된 전류

Fig. 8(b) Three-phase current measured at the downside of the fault in large zero-sequence current in BC-to-ground fault case.

여 증가한다. 그러나 고장상의 전류는 영상전류가 커짐에 따라 고장전 전류방향과 반대방향으로 증가하기 시작한다. 그러나 BC상 지락고장 시 고장점 하단에서는 정상전류와 영상전류의 위상은 같다.

마찬가지로 AB상 지락고장시 고장점 상단에서 정상전류와 영상전류의 위상은 영상전류의 위상이 60도 뒤지며, 고장점 하단에서는 영상전류의 위상이 120도 앞선다. 그리고 AC상 지락고장시 고장점 상단에서 정상전류와 영상전류의 위상은 영상전류의 위상이 60도 앞서며, 고장점 하단에서는 영상전류의 위상이 120도 뒤진다.

그런데 고장시 3상전류의 크기만을 보면, A상 1선지락사고 시 고장점 상단에서 측정된 3상전류의 크기와 BC상 지락고장 시 고장점 하단에서 측정된 3상전류와 동일하며, 정상전류와 영상전류의 위상차도 동일하다. 즉 BC상 지락사고 시 고장점 하단에서 고장전류의 크기만을 가지고 A상 1선지락이라고 판단하고 정상전류와 영상전류의 위상을 비교하면 같은 방향이므로 A상 1선지락을 고장점 상단에서 측정된 것으로 판단하여 잘못된 고장표시정보를 생성할 수 있으므로 A상 1선지락 사고 시 고장점 상단에서 측정된 것과 BC상 지락사고시 고장점 하단에서 측정된 것을 구분할 필요가 있다. 마찬가지로 고장점 상단에서 측정된 BC상 지락고장과 고장점 하단에서 측정된 A상지락 고장을 구분하여야 한다.

먼저, 그림 5와 그림8(a)를 비교하면, 모든 것이 동일하나 그림 8(a)의 영상전류가 작기 때문에 고장상의 전류는 고장전의 전류보다 크기가 작다. 따라서, 고장전의 전류와 고장

후의 각 상전류의 크기를 비교하여 고장 후에 어떤상의 전류의 크기가 감소하였다면, 고장점 하단이라고 판단할 수 있다. 그리고, 그림 5와 그림8(b)를 비교함에 있어 그림 8(b)의 영상전류가 클 때, 모든 상의 전류의 크기가 고장전보다 클 때가 있다. 그러면, 전류가 가장 큰 상을 고장상으로 보고 나머지를 건전상으로 보아 고장상과 건전상의 위상각 차의 합을 구하면 그림 5에서는 위상각 차의 합이 180이상이 되며, 그림 8(b)에서 위상각 차의 합이 180도 이하가 된다.

이상을 정리하면, 지락사고시 고장점 상단과 고장점 하단을 구분하는 방법은 표 1과 표 2와 같다.

먼저 표 1에서 고장전의 각 상전류크기와 고장후의 각상 전류크기를 비교하여 만약 한 상이라도 고장전과 전류크기보다 고장후의 전류크기가 작다면 고장점 하단이라고 판단할 수 있다.

그리고, 표 2는 표 1을 이용하여도 고장점 상단인지 고장점 하단인지 구분하지 못한 사고로서 영상전류가 큰 경우에 사용한다. 먼저 고장 후의 각상의 전류의 크기로 고장종류를 구분한다. 그리고 정상전류와 영상전류의 위상차가 고장종류에 따라 어떤 범위안의 값에 들어야 하며, 건전상과 고장상의 위상차의 합이 180도 이상이면 고장점 상단이므로 N상 고장표시 정보를 생성한다면, 부하단으로부터 오는 큰 영상전류에 의하여 고장점 하단에서 발생하는 N상 고장표시 오류는 모두 피할 수 있다.

표 1 고장 시 고장점 상단과 하단의 차이

Table 1 The difference between the upper side of the fault and the downside of the fault

	고장점 상단	고장점 하단
사고 시	고장 후의 모든 상의 전류크기는 고장전의 전류크기보다 증가한다.	고장 후의 전류크기가 고장전의 전류크기보다 작은 상이 있을 수 있다.

표 2 지락고장 시 고장점 상단과 하단의 차이

Table 2 The difference between the upper side of the fault and the down side of the fault

고장종류	고장점 상단		고장점 하단	
	정상전류와 영상전류의 상차각	건전상과 고장상의 상차각의 합	정상전류와 영상전류의 상차각	건전상과 고장상의 상차각의 합
A상지락	0±90도이내	180도 이상	180±90도이내	180도 이하
B상지락	120±90도이내	180도 이상	-60±90도이내	180도 이하
C상지락	-120±90도이내	180도 이상	60±90도이내	180도 이하
BC상지락	180±90도이내	180도 이상	0±90도이내	180도 이하
AC상지락	-60±90도이내	180도 이상	120±90도이내	180도 이하
AB상지락	60±90도이내	180도 이상	-120±90도이내	180도 이하

표 3 고장저항 (1[Ω]) 지락고장 시 고장점 상단과 하단의 차이

Table 3 Fault resistance 1[Ω] / The difference between the upper side of the fault and the down side of the fault

고장종류	A단말장치(고장상단)						B단말장치(고장하단)						C단말장치(고장하단)					
	영상전류[A]	고장전후최소전류비	정상전압전류위상차[도]	정상전류위상차[도]	건전상고장상위상차합[도]	고장표시발생여부	영상전류[A]	고장전후최소전류비	정상전압전류위상차[도]	정상전류위상차[도]	건전상고장상위상차합[도]	고장표시발생여부	영상전류[A]	고장전후최소전류비	정상전압전류위상차[도]	정상전류위상차[도]	건전상고장상위상차합[도]	고장표시발생여부
A상지락	539	1.0(B)	37	12	266	1	952	1.0(B)	-117	-14	94	0	196	1.3(A)	18	-148	46	0
B상지락	542	1.0(C)	37	132	266	1	961	1.0(C)	-117	106	94	0	197	1.3(B)	18	-29	46	0
C상지락	541	1.0(A)	37	-107	266	1	958	1.0(A)	-116	-134	94	0	196	1.3(C)	18	91	45	0
BC상지락	444	1.2(A)	25	-168	219	1	783	1.2(A)	-141	179	138	0	161	1.2(C)	18	26	46	0
AC상지락	447	1.2(B)	25	-48	220	1	793	1.2(B)	-141	-61	138	0	162	1.2(A)	18	146	45	0
AB상지락	446	1.2(C)	25	72	220	1	790	1.2(C)	-142	60	137	0	162	1.2(B)	18	-93	45	0

3.2 부하단의 전동기나 고장전류를 공급하는 분산전원이 있을 경우 이를 고려한 개선된 고장표시 정보 생성 방법

부하단에 전동기가 있을 경우 선간단락고장이나 지락고장 시 전동기가 발전기 역할을 하여 부하단에서 고장점으로 큰 고장전류를 공급할 수가 있다. 또한 전력변환설비가 없이 직접 계통에 연결된 분산전원은 고장시에 고장점으로 고장전류를 공급할 수 있다. 이 경우 정상전류의 방향이 바뀌게 되고 앞서 언급된 정상전류와 영상전류의 위상차를 이용한 방법을 이용하더라도 고장구간 하단의 단말장치가 잘못된 고장표시 정보를 생성 할 수 있다. 이를 해결하기 위해서는 정상전압과 정상전류의 위상차를 이용하는 방법을 같이 적용하여 고장점 상단과 하단을 구분하여 고장점 하단에서 고장점 하단의 단말장치가 잘못된 고장표시 정보를 생성하지 못하도록 하여야 한다.

그 원리는 고장점 상단에서는 고장시에 고장저항과 부하의 역할에 따른 정상전류를 공급한다. 그러나 고장점 하단에서는 부하단에서 고장점으로 정상전류를 공급하며, 전류를 측정하는 CT의 방향은 전원단에서 부하단을 기준이다. 때문에 고장시 고장점 하단에서 정상전압과 정상전류의 위상차는 고장점 상단과 180도 차이가 난다. 배전계통에서 주상변압기등의 개폐기에 설치된 PT를 이용하여 전압을 측정하면 PT의 구조상 신뢰성있는 측정값을 얻기가 어렵다. 그러나 정상전압은 3상전압의 A상 위상각 방향의 평균값이므로 각상의 전압보다는 더 신뢰성이 있으므로, 정상전류의 방향을 판단하는데 사용가능하다.

즉 정상전압과 정상전류의 위상차가 ±90이상이면 전동기나 분산전원이 고장점으로 역전력을 공급하는 경우의 고장점 하단이기 때문에 고장표시 정보를 생성하면 안 된다.

이상을 종합하면 배전선로의 전압측정오차를 고려하여 영상전압이 아닌 정상전류 및 정상전압을 기준으로 하여 영상전류와의 위상각차이를 이용한 방법과, 정상전압 정상전류 위상각차를 이용하여 현재 사용되는 배전자동화 단말장치의 고장표시정보 생성 알고리즘에 역전력에 의한 조건과 표1의 부하단에서 공급하는 영상전류에 의한 조건을 추가로 적용시키면 배전자동화 단말장치가 고장점 하단에서 오류에 의한 고장표시정보를 생성하는 것을 방지할 수 있다.

4. 사례연구

본 논문에서 제안한 방법의 타당성을 검증하기 위하여 모의 배전계통에서 1선지락사고나 2선지락사고가 일어났을 경우를 가정하여 개선된 고장표시 정보 생성방법이 정확한지를 사례연구의 결과로 보였다.

배전자동화 장치의 고장표시 생성에서 오류가 일어날 수 있는 경우를 가정하여 본 논문에서 제안한 개선된 고장표시 정보 생성방법의 타당성을 검토하기 위하여 <그림 9>과 같은 모의계통을 대상으로 하였다. A단말장치는 고장점 상단에 위치하므로 보호기기가 동작한 하단의 고장에 대하여 일정시간 동안 영상전류가 허용값을 초과하면 고장표시 정보를 생성하여야 한다. 그러나 B 단말장치는 고장점 하단에 위치하므로 고장시에 전동기나 고장전류를 공급하는 분산전원에 의하여 고장점으로 부하단에서 역전력을 공급받아 영상전류가 허용값을 초과하더라도 고장표시 정보를 생성하면 안된다. 그리고 C 단말장치는 고장점 하단에 위치하므로, 변압기 결선에 의하여 고장시에 부하단에서 고장점으로 허용값 이상의 영상전류를 공급하더라도 고장표시 정보를 생성하면 안된다. 사례연구에서는 모의 계통의 시뮬레이션에서 1선지락 고장과 2선지락고장시에 고장점 상단과 고장점 하단의 각 단말장치에서 측정하는 영상전류의 크기, 정상전압과 정상전류의 위상차, 정상전류의 영상전류의 위상차, 건전상과 고장상의 상차각의 합을 단말장치의 위치와 고장종류에 따라 살펴보았다.

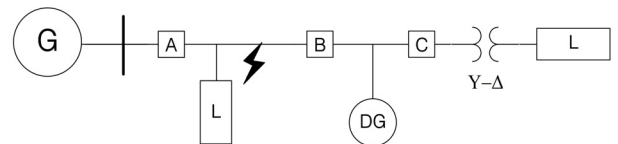


그림 9 지락고장 모의계통 Fig. 9 The distribution system of simulation

표 3에서 A상 지락고장 시 B단말장치는 전류크기로 A상 지락이라고 판단한다. 그리고 정상전압과 정상전류의 위상차가 3사분면에 위치하여 역전력이 있고, 건전상과 고장상의 위상차 합이 180도 이하이므로 모두 고장점 상단이라는 조

표 4 고장저항 (5[Ω]) 지락고장 시 고장점 상단과 하단의 차이

Table 4 Fault resistance 5[Ω] / The difference between the upper side of the fault and the down side of the fault

고장종류	A단말장치(고장상단)						B단말장치(고장하단)						C단말장치(고장하단)					
	영상전류[A]	고장전후최소전류비	정상전압전류위상차[도]	정상전류위상차[도]	건전상고장상위상차합[도]	고장표시발생여부	영상전류[A]	고장전후최소전류비	정상전압전류위상차[도]	정상전류위상차[도]	건전상고장상위상차합[도]	고장표시발생여부	영상전류[A]	고장전후최소전류비	정상전압전류위상차[도]	정상전류위상차[도]	건전상고장상위상차합[도]	고장표시발생여부
A상지락	253	1.1(B)	12	5	254	1	448	1.1(B)	212	-15	106	0	92	0.1(A)	18	180	220	0
B상지락	253	1.1(C)	12	125	254	1	449	1.1(C)	213	105	106	0	92	0.1(B)	18	-60	297	0
C상지락	253	1.1(A)	12	-115	254	1	448	1.1(A)	213	-135	106	0	92	0.1(C)	18	60	222	0
BC상지락	236	1.1(A)	6	-170	240	1	418	1.1(A)	195	-177	125	0	86	0.9(C)	18	1	129	0
AC상지락	236	1.1(B)	6	-50	231	1	419	1.1(B)	193	-57	125	0	85	0.9(A)	18	120	130	0
AB상지락	236	1.1(C)	6	70	231	1	419	1.1(C)	193	62	125	0	86	0.9(B)	18	-120	130	0

표 5 고장저항 (15[Ω]) 지락고장 시 고장점 상단과 하단의 차이

Table 5 Fault resistance 15[Ω] / The difference between the upper side of the fault and the down side of the fault

고장종류	A단말장치(고장상단)						B단말장치(고장하단)						C단말장치(고장하단)					
	영상전류[A]	고장전후최소전류비	정상전압전류위상차[도]	정상전류위상차[도]	건전상고장상위상차합[도]	고장표시발생여부	영상전류[A]	고장전후최소전류비	정상전압전류위상차[도]	정상전류위상차[도]	건전상고장상위상차합[도]	고장표시발생여부	영상전류[A]	고장전후최소전류비	정상전압전류위상차[도]	정상전류위상차[도]	건전상고장상위상차합[도]	고장표시발생여부
A상지락	110	1.0(C)	26	-19	245	1	160	1.0(C)	140	47	115	0	33	0.6(A)	21	165	273	0
B상지락	110	1.0(A)	26	101	245	1	160	1.0(C)	140	167	115	0	33	0.6(B)	21	-75	273	0
C상지락	110	1.0(B)	26	-138	245	1	160	1.0(B)	140	-73	115	0	33	0.6(C)	21	45	273	0
BC상지락	108	1.0(A)	16	172	237	1	156	1.0(A)	166	-159	121	0	32	0.8(B)	21	-14	192	0
AC상지락	108	1.0(B)	16	-68	237	1	156	1.0(B)	166	-39	121	0	32	0.8(C)	21	105	192	0
AB상지락	108	1.0(C)	16	52	237	1	126	1.0(C)	166	81	121	0	32	0.9(A)	21	-134	192	0

건을 만족하지 않으므로 고장점 하단이라고 판단하여 고장 표시정보를 생성하지 않는다. 마찬가지로, C단말장치는 전류 크기로 BC상 지락으로 판단한다. 그리고, 정상전압과 정상전류의 위상차 조건으로 역전력이 없음을 확인하고, 정상전류와 영상전류의 위상차 조건이 맞지만 건전상과 고장상의 위상각차의 합이 180도 이하이므로 고장점 상단의 조건에 충족하지 않아 고장점 하단이라고 판단하여 고장표시를 발생하지 않는다. 마찬가지로 BC상 지락사고 시 C단말장치는 고장전류크기로 A상 지락사고라고 판단하지만, 고장상과 건전상의 위상각차의 합이 180도 이내이므로 고장점 하단이라고 판단하여 고장표시 정보를 생성하지 않는다.

표 4는 일반적인 저항지락 사고에서 고장점 상단과 고장점 하단의 차이를 표시한 것이다. 모든 고장에 대하여 B단말장치는 정상전압과 정상전류의 위상차 조건과 건전상과 고장상의 위상차합의 조건이 모두 충족되지 않아 고장표시 정보를 생성하지 않는다. 그리고 모든 고장에 대하여 단말장치는 고장 전 후의 최소 전류비의 조건과, 건전상과 고장상의 위상차합의 조건이 동시에 충족되지 않아 고장표시 정보를 생성하지 않는다.

표 5는 OCR요소가 동작하지 않고 OCGR요소만 동작하는 고저항 지락사고 시에 고장점 상단과 고장점 하단의 차이를 표시하였다. 모든 고장에 대하여 B단말장치는 정상전압과 정상전류의 위상차 조건과 건전상과 고장상의 위상차합의 조건이 모두 충족되지 않아 고장표시정보를 생성하지 않는

다. 그리고 모든 고장에 대하여 C단말장치는 영상전류가 너무 작고 고장 전 후의 최소 전류비의 조건과, 건전상과 고장상의 위상차합의 조건이 동시에 충족되지 않아 고장표시 정보를 생성하지 않는다. 현재 배전계통 운영에서는 이런 사고시에 A단말장치에서 발생한 고장표시 정보조차 무시하기 때문에 이런 고저항 지락사고 시에 고장구간을 판단하지 못하여 정확한 복구는 불가능하다.

5. 결 론

배전자동화 시스템의 각 단말장치는 전원을 기준으로 하여 단말장치 설치점 하단에 고장이 있으면 고장표시 정보를 생성하여 배전자동화 시스템 중앙장치로 전송하여, 중앙장치가 이 정보를 가지고 고장구간을 파악하고 복구를 할 수 있도록 한다. 그러나 현재의 배전자동화 시스템 단말장치에서 사용되는 고장표시 정보 생성 알고리즘은 잘못된 가정에 기초하기 때문에 고장 종류나 배전계통 조건에 따라 고장점 하단에서도 잘못된 고장표시 정보를 생성하여 정확한 고장구간 판단을 어렵게 한다.

본 논문에서는 현재 배전자동화시스템의 단말장치에서 생성하는 고장표시 정보의 오류를 분석하였으며, 이를 바탕으로 고장전류의 크기만이 아니라 위상까지 고려하는 방법을 사용하여 오류를 방지하는 개선된 고장표시 정보 생성 알고리즘을 개발하였다. 현재 배전계통에 보급 설치되어 있는

단말장치의 오류를 방지하려면 각 단말장치의 소프트웨어를 이 본 논문에서 개발한 개선된 알고리즘을 적용한 소프트웨어로 업그레이드 하면 되기 때문에 본 논문에서 제안한 방법은 용이하게 현장 적용이 가능하리라 사료된다.

감사의 글

이 논문은 2013년도 지식경제부 채원으로 한국에너지 기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구과제입니다.(No.2010T100200301)

References

[1] Boknam Ha, Shinyeol Park, Changhoon Shin, Soyeong Park, "The Development of Intelligent Distribution Management System", The Korean Institute of Electrical Engineers, Summer Conference Proceedings, pp. 429-430, 2006

[2] Kwang-Ho Jung, Myeon-Song Choi, et, al, "A Service Restoration Algorithm for Power Distribution Networks Applying the Multi-Agent System", Vol. 5-2, pp. 125-131, 2005

[3] Yun-Seok Ko, Dae-Seung Hong, et, al, "Autonomous Separation Methodology of Faulted Section based on Multi-Agent Concept in Distribution System", Vol. 55, pp. 227-235, 2006

[4] V. Susheela Devi, D. P. Sen Gupta and G. Anandalingam, "Optimal Restoration of Power Supply in Large Distribution Systems in Developing Countries", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 10, No.1, pp. 430-438, January 1995.

[5] K. Aoki, H. Kuwabara, T Satoh, and M. Kanezashi, "Outage State Optimal Load Allocation by Automatic Sectionalizing Switching Operation in Distribution Systems", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 4, No. 3, pp. 1177-1185, October 1987.

[6] S. J. Lee, K. H. Kim, K. Y. Nam and J. K. Lee, Service Restoration Expert System Adopting Branch Pattern Based Grouping Strategy in Distribution Systems, pp. 273-278, 1994.

[7] H. Fudo, et al., "An Expert System for Restoration of Distribution Network", 3rd Symposium on Expert System Application to Power Systems, April 1991.

[8] Y. L. Ke, "Distribution feeder reconfiguration for load balancing and service restoration by using G-nets inference mechanism", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 19, No. 3, pp. 1426-1433, 2004.

[9] C. M. Huang, "Multi-objective service restoration of distribution systems using fuzzy cause-effect networks", IEEE Trans. on Power System, Vol. 18, No. 2, pp. 867-874, May 2003.

[10] C. S. Chen, C. H. Lin, and H. Y. Tsai, "A rule-based expert system with colored Petri net models for distribution system service restoration", IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 17, No. 4, pp. 1073-1080, November 2002.

[11] W. H. Chen, M. S. Tsai, and H. L. Kuo, "Distribution System Restoration Using the Hybrid Fuzzy-Grey Method", IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 20, No.1, pp. 199-255, February 2005.

[12] Popovic, L.M, "A practical method for evaluation of ground fault current distribution on double circuit parallel lines", Vol 15, pp. 108-113, 2000

[13] S. Sobral, V. Costa, M. Campos, and D. Mukhedkar, "Dimensioning of nearby substations interconnected ground system," IEEE Trans. on Power Delivery, vol. 3, no. 4, pp. 1605-1614, 1988.

저 자 소 개



서 정 수(Jung-Soo Seo)

1986년 11월생. 2013년 명지대학교 전기공학과 졸업. 2013년 동 대학원 전기공학과 입학.
Tel : 031-330-6815
E-mail : sjs1129@mju.ac.kr



김 형 승(Hyung-Seung Kim)

1989년 2월생. 2013년 명지대학교 전기공학과 졸업. 2013년 동 대학원 전기공학과 입학.
Tel : 031-330-6815
E-mail : hskim369@nate.com



임 성 일(Seong-II Lim)

1994년 명지대학교 전기공학과 졸업(공학학사). 1996년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학석사). 2004년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박사). 2004-2005년 명지대학교 차세대 전력기술 연구센터 연구교수. 현재 경남대학교 전기공학과 부교수
Tel : 055-249-2630
E-mail : slim@kyungnam.ac.kr



최 면 송(Myeon-Song Choi)

1967년 4월생. 1989년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1991년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1996년 동 전기공학과 졸업(공학박). 1995년 Pennsylvania State Univ. 방문 연구원. 1992년 기초전력공학 공동연구소 전임연구원. 현재 명지대학교 공대 전기공학과 교수.

Tel : 031-336-3290, Fax : 031-330-6816

E-mail : mschoi@mju.ac.kr



이 승 재(Seung-Jae Lee)

1955년 11월 30일생. 1979년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1981년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1988년 Univ. of Washington 전기공학과 졸업(공학박). 1994년 Univ. of Washington 교환 교수.

현재 명지대학교 공대 전기공학과 교수.

Tel : 031-336-6362, Fax : 031-330-6816

E-mail : sjlee@mju.ac.kr