

비접지 계통 배전자동화 시스템에서 지락사고 시 FI 검출 알고리즘

임희택*, 임일형*, 최면송*, 이승재*, 하복남**
 명지대학교*, 한국전력연구원**

A Fault Indicator Detecting Algorithm on Single-Phase-to-Ground fault in Ungrounded System

Hee-Taek Lim*, Il-Hyung Lim**, Myeon-Song Choi***, Seung-Jae Lee****, Bok-Nam Ha*****
 Myongji University*, Myongji University**, Myongji University***, Myongji University****, KEPRI*****,

Abstract - 비접지 계통에서 대부분의 고장은 1선 지락 고장이며 1선 지락 고장 시 고장 전류의 크기가 매우 작기 때문에 고장 검출에 어려움이 있다. 본 논문에서는 영상전류를 이용하여 새로운 FI 검출 알고리즘을 제안한다. 제안된 알고리즘은 선간전압과 영상전류만을 이용하여 단말에서 고장회선, 고장상, 고장구간을 한 번에 판별하여 FI를 검출한다. 제안된 알고리즘은 Matlab/Simulink를 통해 계통을 모의하여 검증하였다.

1. 서 론

비접지 계통은 우리나라 배전자동화시스템의 주요 수출 대상으로 삼고 있는 중국, 인도, 리비아 및 동남아 일부국가 등 전 세계의 약 81% 국가에서 사용하는 방식이다[1]. 접지계통과는 달리 지락고장 시 고장전류의 귀로도체가 형성되지 않아 고장전류의 크기가 매우 작아서 사람이나 전력 설비에 대한 충격이 작기 때문에 많이 사용된다.

반면에 단락고장사고의 경우 접지계통과 동일하게 고장전류의 크기가 커져서 보호계전기가 계통을 보호하는데 큰 어려움은 없지만 지락 고장에 대해서는 고장 전류의 크기가 매우 작기 때문에 고장검출의 어려움이 있어 지락보호계전기의 확실한 동작을 기대하기 어렵다.

이러한 문제점 때문에 지금까지도 많은 연구들이 진행되어오고 있다. 고장회선의 판별을 위한 연구들로는 wavelets transform을 이용하여 판별하는 방법[2]등 다양한 연구가 있었다. 현재 주로 사용하는 방법은 GPT로 이상전압을 측정하여 고장상황을 판단하고, ZCT로 영상전류의 방향을 측정하여 고장 회선을 판별하는 방법을 주로 사용하고 있다[3].

고장 구간의 판별 방법은 과도전류를 이용한 방법[4], 상시연계점을 이용하여 고장을 검출하는 방법 등 여러 가지 다양한 방법들이 있다.

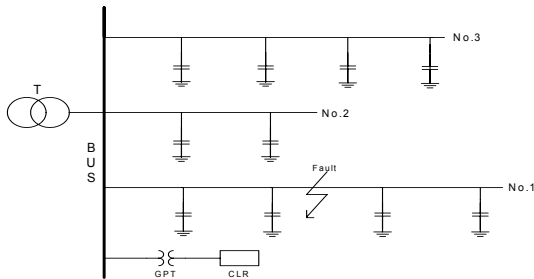
이러한 방법들은 좋은 방법들이긴 하지만 고장회선, 고장상에 국한되어 있거나, 고장구간을 판별하더라도 복잡한 알고리즘과 실존하지 않는 설비 때문에 적용에 어려움이 있거나, 개폐기의 투입 개방으로 일시적인 정전이 발생하고 많은 개폐기의 투입 개방으로 개폐기의 수명을 단축시키는 특징들이 있다. 또한 이러한 모든 방법들은 대부분 중앙운영의 방법들이기 때문에 통신속도에 의해 고장구간 판별 소요시간에 영향을 주기도 한다.

본 논문에서는 단말에서 직접 영상전류의 위상을 이용하여 고장회선, 고장상, 고장구간을 검출할 수 있도록 단말에서 FI(fault indicator)를 발생하도록 하여 계통운영자가 쉽고 빠르게 고장구간을 판단하여 분리할 수 있는 방법을 제안하고 있다.

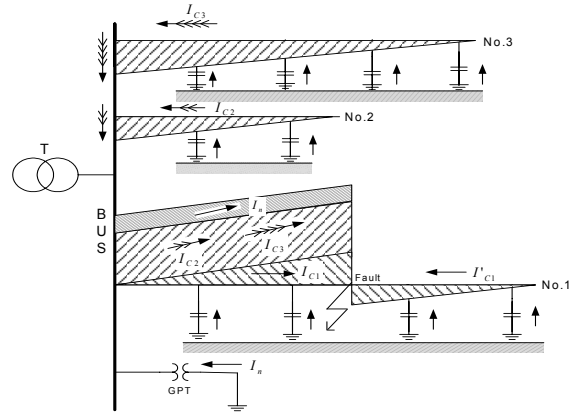
본 논문에서 제안한 알고리즘의 검증은 Matlab simulink를 통하여 계통 상황을 모의한 결과를 제시하였다.

2. 1선 지락 고장 시 비접지 계통의 특징

비접지 계통에서 지락고장 발생 시 고장전류는 대지 정전용량에 의한 충전전류에 의해 결정된다. 그림 1과 같은 배전계통에서 No.1선로에 1선 지락 고장이 발생하면 지락전류의 분포는 그림 2와 같이 나타난다.



〈그림 1〉 비접지 배전 계통



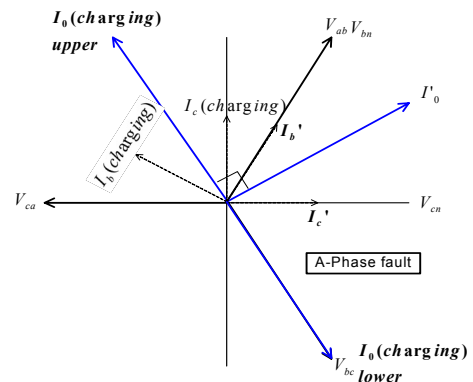
〈그림 2〉 비접지 계통에서 1선지락 고장시의 고장전류분포

간전회선의 충전전류는 모선을 통해 고장 점으로 흘러 들어가고 사고 회선 No.1의 모선 측과 부하 측의 충전전류도 고장 점으로 흘러 들어간다. 하지만 이 충전전류는 매우 작은 값이기 때문에 우리나라와 같은 다중접지방식과 같이 Feeder 인출 단의 OCR 또는 계통 내의 Recloser에 의한 자동재폐로 후 고장회선 분리는 불가능 하다. 따라서 다른 보호계전기의 동작도 확실하다고 할 수 없다.

비접지 계통에서 지락고장 발생 시 전압의 변화는 중성점이 고장 상으로 옮겨가므로 고장 후 선간전압의 변화는 없다.

3. 영상전류 위상을 이용한 새로운 고장표시 생성 알고리즘

비접지 계통에서 A상에 1선 지락고장 발생 시 캐패시턴스 성분만을 고려한 전압과 영상전류의 벡터도를 그림 3에 나타내었다.



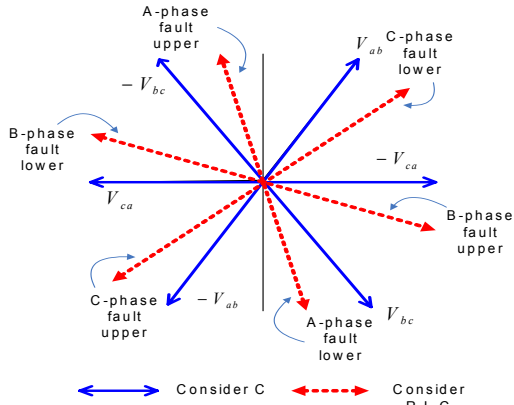
〈그림 3〉 A상 지락고장 시 전압과 영상전류 벡터도

비접지 계통에서 1선 지락고장 발생 시의 선간전압과 영상전류의 방향은 그림 3과 같이 나타난다.

a상 지락 고장 시 B, C상의 대지상의 전위는 V_{bn} , V_{cn} 이 된다. 선로의 저항성분만을 고려할 경우 전류는 상 전압과 동상이 되므로 영상전류의 방향은 I_b' 와 I_c' 의 합의 방향이 되므로 I_0' 의 방향이다. 하지만 대지 정전용량에 의한 충전전류이기 때문에 캐패시턴스 성분만을 고려할 경우 충전전류는 상 전압보다 90° 앞서므로 영상전류의 방향은 I_0 방향이 된다. 여기서 특징은 선간전압 V_{bc} 와 180° 의 위상차를 갖는 것이다. B상고장

과 C상고장에서는 캐패시터 성분만을 고려한 경우 B상고장은 선간전압 V_{cb} , C상고장은 V_{ab} 에 영상전류가 180°의 위상차를 갖는 것을 볼 수 있다.

선로의 저항, 리액턴스 그리고 캐패시턴스 성분을 모두 고려하면 영상전류의 방향은 캐패시턴스 성분만을 고려한 경우보다 뒤지게 된다. 또한 고장 상단과 하단의 영상전류의 방향은 180°의 위상차를 갖는다. 그림 4에 캐패시턴스 성분만 고려한 벡터도와 모두 고려한 벡터도를 도시하였다.

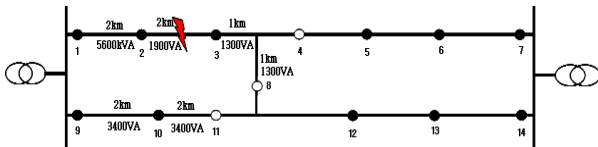


〈그림 4〉 C만 고려한 경우와 R,L,C를 고려한 경우의 영상전류 방향의 비교

고장 상단에서 보았을 때 각 상의 영상전류의 방향은 캐패시턴스, 선로의 저항, 리액턴스 성분에 따라 고장 상을 제외한 선간전압과 (90°~180°)의 위상차를 가질 수 있으나 대부분의 계통에서 캐패시턴스에 의한 영향이 상대적으로 크기 때문에 (130°~180°)의 위상차를 가진다. 따라서 자동화 개폐기에서 측정되는 영상전류의 위상이 고장 상을 제외한 선간전압의 위상보다 (130°~180°)앞선 영역을 동작영역으로 정정한다. 이를 바탕으로 자동화 개폐기에서 측정되는 영상전류의 위상만으로 계통에 FI를 발생시켜 고장회선, 고장상, 고장구간을 한 번에 알 수 있으므로 계통운영자의 빠른 판단에 의해 정전경험도 적고 정확한 운영결과를 낼 수 있다.

4. 사례연구

제한한 알고리즘을 검증하기 위해 그림 5와 같은 모델 계통에 전압은 22.9[kV], 배전선종은 ACSR 160mm² (2,400완철 D=1,008), $Z_1=3.47+j7.07$, $Z_0=11.9+j29.26$ 인 계통정보를 입력하여 Matlab simulink를 통해 1선지락고장을 모의하였다.



〈그림 5〉 모의 배전계통

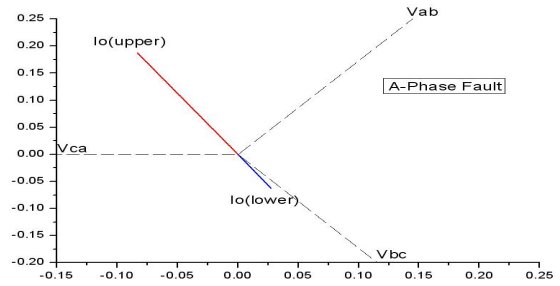
a상 지락고장, b상 지락고장, c상 지락고장을 모의 하였으며, 각 고장 시의 영상전류의 크기와 위상은 표 1과 같이 나타났으며 a상 지락고장의 모의결과를 그림6 같이 벡터도로 나타내었다.

표 1 각 상 지락고장 시의 영상전류의 크기와 위상 <A-phase fault>

	Node 2	Node 3
Magnitude	0.205[A]	0.0682[A]
Angle	113.95°	-66°
<B-phase fault>		
Magnitude	0.205[A]	0.0682[A]
Angle	-6°	174°
<C-phase fault>		
Magnitude	0.205[A]	0.0682[A]
Angle	-126.05°	53.985°

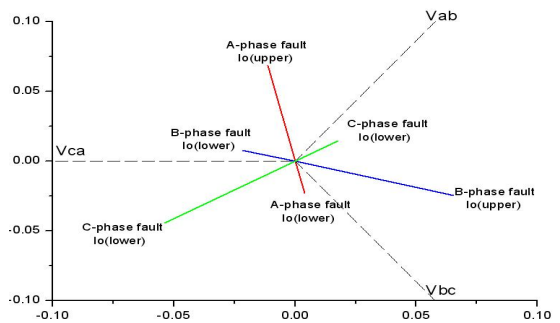
그림 6은 그림 5에서 node 2번과 3번 사이의 a상 1선 지락고장 시의 고장 점 상단(upper)과 하단(lower)의 영상전류의 위상과 선간전압의 위상을 나타내는 벡터도이다. 이 그림에서와 같이 고장 점 상단의 영상전

류 위상이 a상고장 동작영역(60° ~ 120°)으로 들어왔으므로 a상고장임을 판별할 있으며 고장구간 상단과 하단을 판별할 수 있는 것을 알 수 있다.



〈그림 6〉 A상 지락고장 시 선간전압과 영상전류 벡터도

영상전류의 위상은 대기 정전용량, 선로의 저항, 리액턴스에 영향을 받는다. 선로의 저항과 리액턴스 성분이 아주 큰 계통을 고려하여 각 저항과 리액턴스의 크기를 10배 증가시켜 모의 하여도 그림 7과 같이 각 상의 고장 동작영역으로 들어오는 것을 확인 할 수 있었다. 또한 대기 정전용량, 선로의 저항, 리액턴스는 기지 값이기 때문에 계통의 상황에 맞게 동작영역의 수정도 가능하다.



〈그림 7〉 R, L 성분이 큰 계통의 1선 지락 고장 시 벡터도

5. 결 론

본 논문에서는 비접지 계통 운영에 있어서 중요한 문제가 되고 있는 지락사고 중 1선 지락사고에 대한 고장 점 상단의 FI 발생 알고리즘을 연구하였다.

본 논문에서는 제한한 알고리즘은 단말에서 직접 영상전류의 위상을 이용하여 고장회선, 고장상, 고장구간을 검출하고 단말에서 직접 FI를 발생시키는 알고리즘이다. 알고리즘의 검증은 Matlab simulink를 통한 사례연구를 통해 검증하였으며 이 방법은 선로상의 자동화 개폐기에서 취득된 영상전류의 위상정보만을 이용하여 FI를 발생시키므로 계통운영자가 쉽고 빠르게 고장 구간을 판별 할 수 있는 장점을 가지고 있다.

본 논문에서 제한한 알고리즘은 ZCT를 이용하여 단말에서 영상전류를 측정해야 하므로 설비가격에 대한 부담이 있을 수 있으나 현존하는 비접지용 지락사고구간 검출방법의 잦은 스위치 동작 또는 고장구간 판정 중 건전구간의 정전발생에 대한 단점을 보완한 알고리즘이다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부의 전력IT IDMS(Intelligent Distribution Management System) 과제와 과학기술부/한국과학재단 우수연구센터육성사업의 지원으로 수행되었음(차세대전력기술연구센터)

[참 고 문 헌]

[1] Lee Ho Seol, Bok Nam Ha, Mi Ae Jeong, Moon Ho Kang, Sang Ho Lee, "A study of line-to-ground fault solution in ungrounded network base on the distribution automatic system", KIEE summer conference, 4-16, 2004
 [2] Hong-chun Shu, Bai Xiao, "A novel fault line selection algorithm of single-phase ground faults in ungrounded neutral system using wavelets transform", PowerCon, Vol.4, 2532-2536, 2002
 [3] 박영문, 김재철, 전력계통기술계산 응용, 도서출판 의제, 1998
 [4] Bingyin Xu, Yongduan Xue, Jing Li, Yu Chen, "Single phase fault detection technique based on transient current and its application in non-solid grounded network", IEE Conference in Developments in Power System Protection, No.429, 2001