

비접지 계통에서 영상전류 위상을 이용한 개선된 보호협조 방안

논 문
59-1-4

The Advanced Protection Coordination Scheme using Phase Angle of Zero-Sequence Current in Ungrounded System

최영준* · 임희택† · 최면송** · 이승재***
(Young-jun Choi · Hee-Taek Lim · Myeon-Song Choi · Seung-Jae Lee)

Abstract - Most faults are single-phase-to-ground fault in ungrounded system. The fault currents of single-phase-to-ground are much smaller than detection thresholds of measurement devices, so detecting single-phase-to-ground faults is difficult and important in ungrounded system. The protection coordination method using SGR(Selective Ground Relay) and OVGR(Overvoltage Ground Relay) is generally used in ungrounded system. But this method only detects fault line and it has the possibility of malfunction. This paper proposed to advanced protection coordination method in ungrounded system. The method just using zero-sequence current can detect fault line, fault phase, fault section at terminal device. The general protection method is used to back up protection. In the case study, the proposed method has been testified in demo system by Matlab/Simulink simulations.

Key Words : Distribution System, Distribution Automation, Ungrounded System, Protection Coordination, Zero-Sequence Current

1. 서 론

비접지 계통은 우리나라 배전자동화시스템의 주요 수출 대상국으로 삼고 있는 중국, 인도, 리비아 및 동남아 일부 국가 등 전 세계의 약 80% 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.

비접지 계통은 1선 지락 고장 시 건전상의 대지 정전용량에 의한 고장전류가 고장 점으로 유입되지만 그 크기가 매우 작아서 전력공급을 계속할 수 있고, 또한 변압기 교체나 수리 시 V결선으로 전환하여 전력공급을 계속할 수 있는 장점이 있다.

반면에 단락사고의 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. 그리고 지락고장을 제거하지 않은 상태에서 2선 지락으로 확대될 경우 계통의 외란으로 작용하여 큰 영향을 미치고, 사용전압이 높고 선로의 공장이 길어지면 충전전류가 커져 충전전류에 의한 간헐 아크 지락으로 인해 이상전압이 발생할 수 있다는 단점이 있다.

비접지 계통의 보호방식으로는 지락과전압계전기(OVGR)로 영상전압을 검출하여 보호하지만 단독으로 사고 회선을 구분할 수 없어, 방향(선택)지락계전기(SGR)와 조합하여 사용하고 시간 지연을 두어 보호협조 되어있다. 그러나 비접지 계통의 지락보호 특성은 지락점 저항이 커질수록 영상전압과 영상전류가 낮아지고, 배전선로의 길이가 길수록 배전회선 회선수가 많을수록 선로의 충전전류는 커지는 반면 영상전압은 낮아져 유도형 방향(선택)지락계전기(SGR)와 지락과전압계전기(OVGR)의 오동작 원인이 된다[2]. 또한 지락사고 발생 시 해당 지락보호계전기의 오·부동작에 관한 연구[3]들이 많이 진행되어 왔다.

이러한 계통보호와 관련된 문제점 때문에 지금까지는 비접지 계통에서 지락사고 시 고장검출을 한 번에 하지 못하고 고장회선을 판별하고 구간을 판별하는 2개의 과정을 통해 지락사고를 처리하고 있다[4].

따라서 본 논문에서는 단말에서 직접 영상전류의 위상을 이용하여 고장회선, 고장상, 고장구간을 검출할 수 있도록 하여 고장을 판별, 기존의 방법과 달리 별도의 고장구간 판별과정을 거치지 않고 신속히 차단하는 방법을 사용하고 지락고장에 대한 신뢰도를 높이기 위해 기존의 지락보호계전기와의 보호협조 방안을 제안한다.

본 논문에서 제안한 알고리즘의 검증은 Matlab simulink를 통하여 계통 상황을 모의한 결과를 제시하고, 개선된 보호협조 방법의 flowchart를 제시하고 있다.

2장에서는 비접지 계통의 일반적인 보호협조 방법에 대하여 전반적으로 살펴보고 그 방법의 단점을 제시하고, 3장에서는 본 논문에서 제안한 비접지 계통에서 지락사고에 대한 고장판별과 보호협조 방안에 대하여 설명하고, 4장에서는 사례연구를 통해 제안한 방법의 타당성과 적용 가능성을 입증

* 정 회 원 : (주)효성 중공업연구소, 수석연구원
** 정 회 원 : 명지대 공대 전기공학과 교수
*** 펠로우회원 : 명지대 공대 전기공학과 교수
† 교신저자, 정회원 : 한전 KDN 전력IT연구원, 배전IT그룹
E-mail : swish41@kdn.com
접수일자 : 2009년 8월 8일
최종완료 : 2009년 11월 18일

할 것이다.

2. 비접지 계통의 보호협조

2.1 비접지 계통의 일반적인 보호협조 방법

비접지 선로의 선간단락고장은 직접접지계통과 다르지 않고 고장전류의 크기가 커 쉽게 고장을 검출할 수 있다. 일반적으로 2개의 CT로 V결선하고 과전류계전기(OCR) 2개를 사용하여 과전류계전방식을 사용하고 있다.

1선지락고장시 지락전류는 충전전류와 GPT를 통한 유효전류이며, 수 ampere 정도에 지나지 않는다. 반면 건전상의 전위는 $\sqrt{3}$ 배 까지 상승된다. 고장 전류의 크기가 작아 계통의 안정도에 큰 영향을 끼치지 않으므로 지락고장이 발생하였다더라도 지속적인 송전을 할 수 있는 장점이 있다. 그러나 이 지락사고 전류가 간헐적으로 생기거나 계속 흐르도록 방치하면 심각한 과도 이상전압이 대지 간에 생길 수 있으며 그 크기가 상전압의 6배 내지 8배에 이른다. 이것이 절연을 파괴시키고 동시다발의 전동기 소손 사고를 일으키는 원인이 된다. 또한 지락고장을 제거하지 않은 상태에서 2선지락으로 확대될 경우 선간단락고장과 같아 고장전류가 커지므로 1선지락고장이 발생하였다더라도 조기에 고장제거가 필요하다.

비접지 계통의 보호방식으로는 지락과전압계전기(OVGR)로 영상전압을 검출하여 보호하지만 단독으로 사고 회선을 구분할 수 없어, 방향(선택)지락계전기(SGR)와 조합하여 사용하고 시간 지연을 두어 그림 1과 같이 보호협조 되고있다.

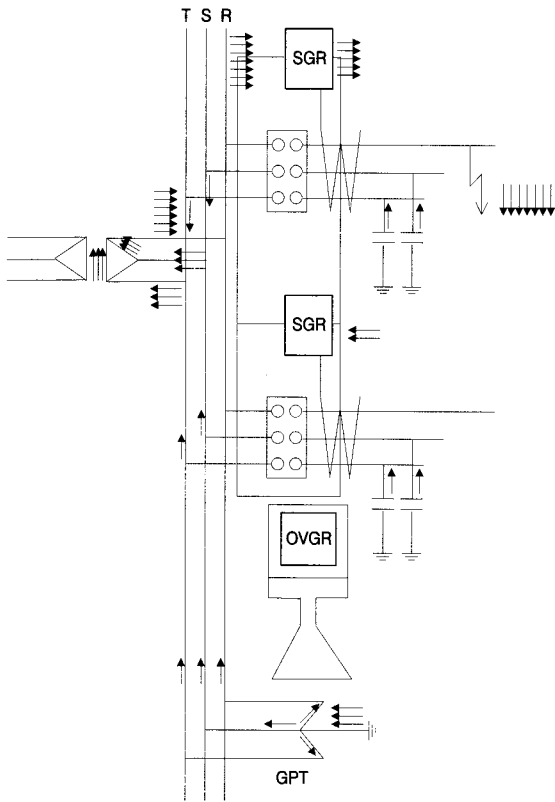


그림 1 비접지 계통에서 1선지락시의 보호협조
Fig. 1 Protection coordination at phase to ground fault in unground system

방향지락계전기는 위상차가 있는 GPT 3차의 영상전압과 ZCT에서 검출되는 영상전류의 곱으로 동작하며 사고 회선만 선택적으로 차단한다. ZCT에서 검출하는 지락전류는 GPT 중성점으로 흐르는 유효분 전류와 선로 정전용량에 의한 충전전류의 벡터 합성분이 된다.

비접지 배전계통의 지락보호는 지락고장 시 지락저항이 크고 유효분 지락전류가 작아서, 배전선로의 정전용량에 의한 충전전류 크기가 지락보호 계전기 동작에 영향을 준다. 따라서 배전회선의 길이에 따라 충전전류 크기가 달라 방향(선택)지락계전기의 오동작 또는 오부동작의 원인이 된다. 충전전류가 클 경우 영상전압이 낮아지고 계전기 검출 감도가 저하되어 방향(선택)지락계전기의 오부동작 원인이 된다.

2.2 비접지 계통의 보호협조 방법의 단점

비접지 계통은 지락과전압계전기(OVGR)와 방향(선택)지락계전기(SGR)와 조합하여 시간지연을 두어 보호협조 되어 있지만 고장회선의 판별 및 차단만 가능하고 오·부동작의 가능성이 있다는 단점이 있다. 대표적인 방법으로 일본의 경우에는 선택지락과전류계전기를 이용하여 고장회선을 판단한 후에 고장구간을 탐색하는 순송 방식이 사용되고 있다.

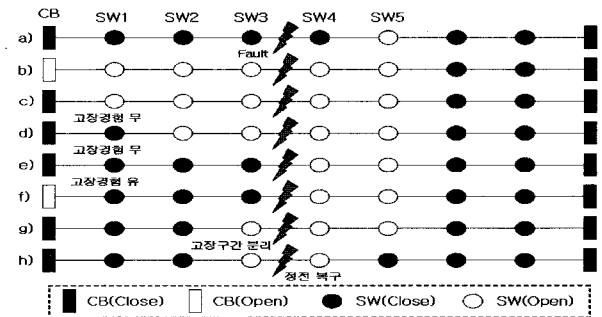


그림 2 일본 배전자동화 시스템의 비접지 계통 지락사고 시 정전 복구

Fig. 2 Service restoration of distribution automation system in Japan when a ground fault in unground system

그림 2와 같이 배전선로에 고장이 발생하면 모선에서 측정되는 영상전압과 영상전류를 이용한 방향지락계전기(SGR)에 의해서 고장회선을 판정한 후에 차단기가 동작하여 고장 회선의 선로가 정전된다. 차단기가 동작하여 무전압이 되면 해당 배전선로의 모든 순송식 자동화개폐기가 자동으로 개방된다. 일정시간 후에 CB가 재폐로하여 배전선로를 가압시키고 순차적으로 첫 번째, 두 번째, 세 번째 순으로 자동화 개폐기가 투입된다. 고장구간의 바로 직전의 자동화 개폐기가 투입되면 영구고장 상태가 지속되고 있으므로 변전소의 차단기가 다시 동작하며, 이때 고장지점 바로 앞에서 최종적으로 투입됐던 개폐기는 투입된 후 정해진 시간 이전에 다시 정전되었기 때문에 자기가 보호하는 구간에서 영구고장이 발생했음을 판단한다.

이러한 순송방식은 시스템과 통신망 의존도가 낮고 실패 가능성이 낮아서 신뢰도가 높다는 장점이 있으나 개폐기의 동작횟수가 많고 수용가의 정전 경험 횟수가 많다는 단점이 있다.

3. 비접지 계통의 개선된 보호협조 방안

3.1 영상전류의 위상을 이용한 고장판별

비접지 계통에서 1선 지락고장 발생 시 각 상에서의 고장을 고려하여 이상적인 환경일 때의 전압과 영상전류 벡터도를 그림 3, 4에서와 같이 나타내었다.

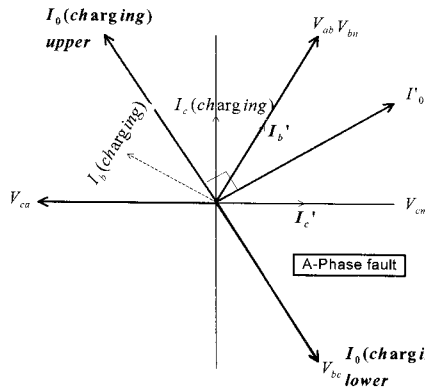
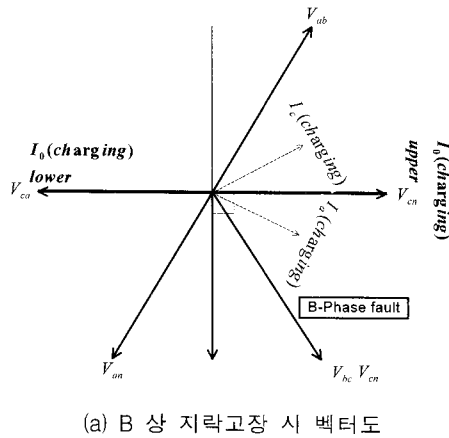
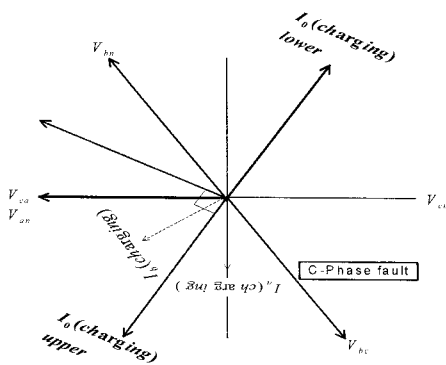


그림 3 그림 3 A상 지락고장 시 전압과 영상전류 벡터도
Fig. 3 Voltage and zero sequence current vector at A-phase fault



(a) B 상 지락고장 시 벡터도



(b) C 상 지락고장 시 벡터도

그림 4 B, C 상 지락고장 시 전압과 영상전류 벡터도
Fig. 4 Voltage and zero sequence current vector when B-phase and C-phase fault

비접지 계통에서 1선 지락고장 발생 시 고장 상의 전위는 대지와 같아지므로 고장 상에는 충전전류가 없어진다. 그러나 건전상의 대지전위는 정상상태보다 $\sqrt{3}$ 배 증가하므로 고장 상단을 기준으로 고장 시의 선간전압과 영상전류의 방향은 그림 3과 같이 나타난다.

이때의 전압 벡터를 살펴보면 A상 지락 고장 시 A상의 전위는 대지와 같게 되고, 따라서 B, C상의 대지상의 전위는 그림 3의 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.

B상고장과 C상고장에 관한 벡터도는 그림 4와 같이 나타낼 수 있다. 캐패시턴스 성분만을 고려한 경우 B상고장은 선간전압 V_{ca} , 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.

고장 상단에서 보았을 때 각 상의 영상전류의 방향은 캐패시턴스, 선로의 저항, 리액턴스 성분에 따라 고장 상을 제외한 선간전압과 ($90^\circ \sim 180^\circ$)의 위상차를 가질 수 있으나 대부분의 계통에서 캐패시턴스에 의한 영향이 상대적으로 크기 때문에 ($130^\circ \sim 180^\circ$)의 위상차를 가진다. 따라서 자동화 개폐기에서 측정되는 영상전류의 위상이 선간전압의 위상보다 ($130^\circ \sim 180^\circ$) 앞선 영역을 동작영역으로 정정한다. 각 상의 동작영역을 그림 5에 도시하였다. 영상전류의 위상을 이용하여 고장 상하단을 구분 할 수 있으므로 그림 5의 동작영역을 바탕으로 영상전류의 위상을 이용하여 고장회선, 고장구간, 고장상의 판별이 가능하다.

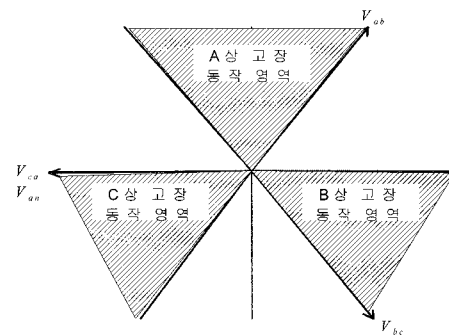


그림 5 각 상의 1선 지락고장 동작 영역
Fig. 5 Active area of each phase when single ground fault

3.2 영상전류 위상을 이용한 보호협조 방안

3.1절에서 설명한 바와 같이 영상전류의 위상만을 이용하여 1선지락고장시 고장회선, 고장상, 고장구간 판별이 가능하다. 이 고장판별방안이 적용되기 위해서는 단말에 소형 ZCT를 달아 단말에서 직접 영상전류를 측정하여야 하고, 단말에서 선간전압을 측정하고 있어야 한다.

소형 ZCT를 단말에 달아 영상전류를 측정하여 영상전류 위상을 이용한 고장판별 방법을 적용하면 기존의 일반적인 지락과전압계전기(OVGR)과 방향(선택)지락계전기(SGR)의 보호협조방법과 시간지연을 두어 그림 6과 같이 개선된 보호협조를 할 수 있다.

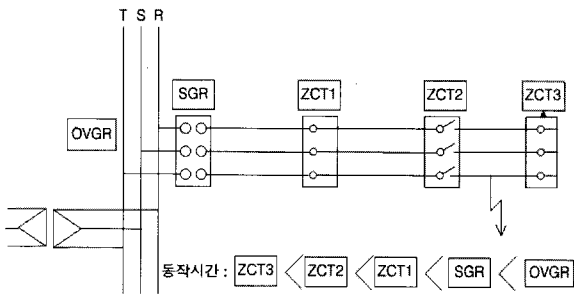


그림 6 개선된 보호협조 방안
Fig. 6 The Advanced Protection Coordination

단말의 ZCT에서 영상전류를 취득하여 1선지락고장시의 영상전류의 위상을 통해 그림 5와 같은 고장영역으로 설정한 고장 동작영역으로 일정시간 이상 영상전류의 위상이 들어오면 지락고장으로 판별할 수 있다. 또한 1선지락시 고장전류의 크기가 매우 작기 때문에 부하전류를 차단할 수 있는 일반 개폐기로도 충분히 고장전류를 차단할 수 있으며 단말의 ZCT를 통한 고장검출의 동작시간을 전원에서 멀수록 짧게 설정함으로써 고장점 상단에서의 고장 차단이 가능하다.

이 방법으로 기존의 보호협조 방법의 단점이었던 고장회선의 검출보다 개선된 고장점 상단에서 고장 검출 및 차단이 가능하다. 또한 단말에서 영상전류의 위상으로 고장검출을 할 수 있으므로 그림 7과같이 계통에 FI를 발생시켜 고장회선, 고장 상, 고장구간을 한 번에 계통 운영자가 알 수 있으므로 계통운영자의 빠른 판단에 의해 사고로부터 계통을 보호할 수 있다.

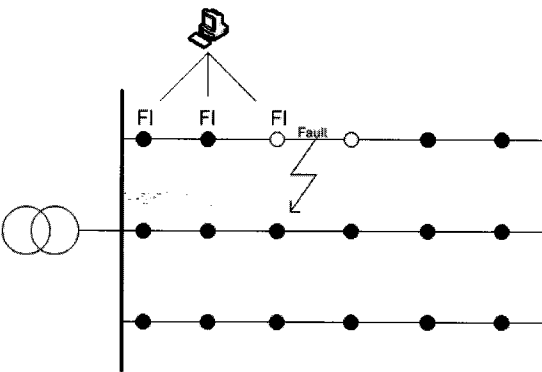


그림 7 FI발생의 예
Fig. 7 Example of FI generation

본 논문에서 제안한 개선된 보호협조방안으로 기존의 보호협조 방법을 후비보호로 설정하고 단말에서 영상전류의 위상을 이용한 보호방법과의 보호협조를 통하여 기존방법의

단점들을 개선하고 현재의 방법과는 달리 무정전으로 정전 구간 복구를 수행할 수 있다. 개선된 보호협조방법의 flowchart를 그림 8에 나타내었다.

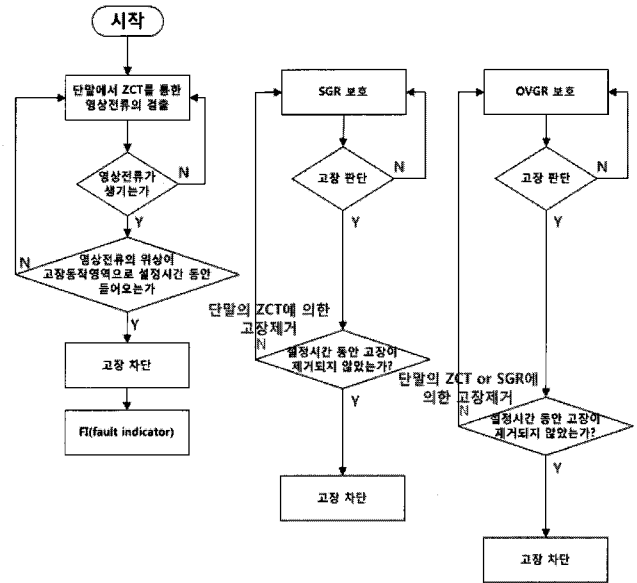


그림 8 개선된 보호협조 방법의 flowchart
Fig. 8 A flowchart of advanced protection coordination

4. 사례연구

제안한 알고리즘을 검증하기 위해 그림 9와 같은 모델 계통으로 Matlab simulink를 통해 1선지락 고장을 모의하였다.

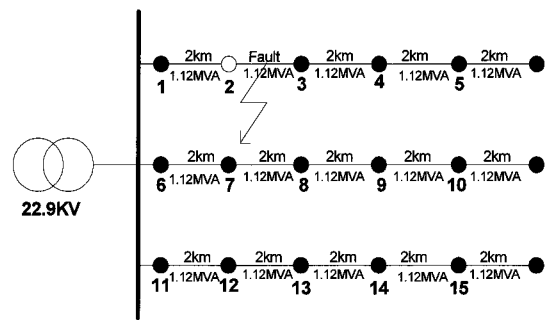


그림 9 모의 배전계통
Fig. 9 Simulation distribution network

A상 지락고장, B상 지락고장, C상 지락고장을 모의 하였으며, 각 고장 시의 영상전류의 크기와 위상은 표 1과 같이 나타났으며 이를 그림 10, 11, 12와 같이 벡터도로 나타내었다.

제안한 알고리즘을 검증하기 위해 그림 9와 같은 모델 계통에 전압은 22.9[kV], R, L, C 각 정상 영상분은 0.17/0.23[ohm], 1.2/5.5[mH], 0.0969, 0.06[uF] 이다. 그리고 각 구간의 길이는 2km로 모의하여 Matlab simulink를 통해 1선 지락 고장을 시뮬레이션 하였고 결과를 표 1에 나타내었다.

그림 10은 A상고장 시 고장점 상하단의 영상전류위상과

선간전압 위상을 나타내는 벡터도이다. 이 그림에서와 같이 고장점 상단의 영상전류 위상이 A상고장 동작영역($60^\circ \sim 120^\circ$)으로 들어왔으므로 A상고장임을 판별할 있으며 고장구간 상단과 하단을 판별할 수 있는 것을 알 수 있다.

표 1 각 상 지락고장 시의 영상전류의 크기와 위상

Table 1 Magnitude and angle of zero-sequence current at phase to ground fault

<A-phase fault>				
	Node 1	Node 2	Node 3	Node 4
Magnitude	2.009[A]	2.245[A]	0.4691[A]	0.2346[A]
Angle	86.69°	86.71°	-92.77°	-92.75°

<B-phase fault>				
	Node 1	Node 2	Node 3	Node 4
Magnitude	1.71[A]	1.91[A]	0.4174[A]	0.2017[A]
Angle	-28.4°	-28.54°	150.2°	151°

<C-phase fault>				
	Node 1	Node 2	Node 3	Node 4
Magnitude	1.974[A]	2.206[A]	0.4723[A]	0.2415[A]
Angle	-152.5°	-152.6°	26.98°	29.46°

그림 10, 11, 12는 그림 9의 모의계통에서 node 2번과 3번의 각 A, B, C상 1선 지락 고장 시의 고장점 상단(upper)과 하단(lower)의 영상전류의 위상을 나타내고 있다.

그림 10은 A상 지락고장 시 선간전압과 영상전류의 위상비교를 위해 나타낸 그림이다. BC상의 선간전압 위상이 -60° 를 나타내고 있고, 영상전류의 위상이 그림 5에서 표기한바와 같이 반대편 영역에 나타나는 것을 확인할 수 있었다.

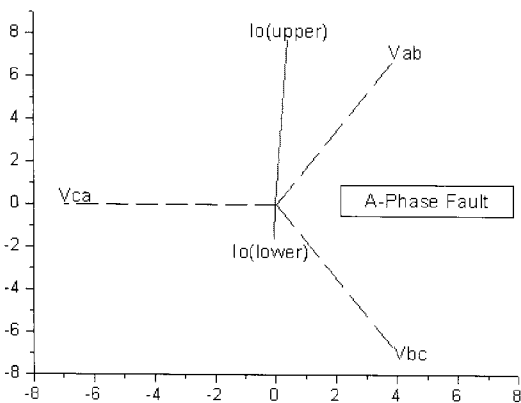


그림 10 A상 지락고장 시 선간전압과 영상전류 벡터도

Fig. 10 Voltage and zero sequence current vector diagram when A-phase fault

그림 11은 B상고장 시 고장점 상하단의 영상전류위상과 선간전압 위상을 나타내는 벡터도이다. 이 그림에서와 같이 고장점 상단의 영상전류 위상이 B상고장 동작영역($-60^\circ \sim 0^\circ$)으로 들어왔으므로 B상고장임을 판별할 수 있으며 고장구간 상단과 하단을 판별할 수 있는 것을 알 수 있다.

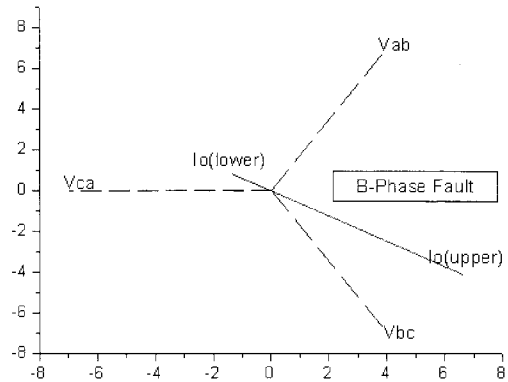


그림 11 B상 지락고장 시 전압과 영상전류 벡터도

Fig. 11 Voltage and zero sequence current vector diagram when B-phase fault

그림 12는 C상고장 시 고장점 상하단의 영상전류위상과 선간전압 위상을 나타내는 벡터도이다. 이 그림에서와 같이 고장점 상단의 영상전류 위상이 C상고장 동작영역($-180^\circ \sim 120^\circ$)으로 들어왔으므로 C상고장임을 판별할 수 있으며 고장구간 상단과 하단을 판별할 수 있는 것을 알 수 있다.

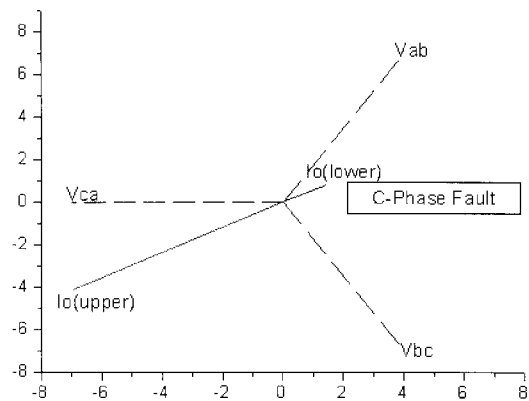


그림 12 C상 지락고장 시 전압과 영상전류 벡터도

Fig. 12 Voltage and zero sequence current vector diagram when C-phase fault

따라서 단말에서 영상전류의 위상을 이용하여 1선지락고장에 대한 보호가 가능하며 이를 통하여 단말에서 영상전류의 위상을 이용하여 1선지락고장에 대한 보호를 하고 기존의 보호방법을 후비보호로 설정하여 보호협조 하는 것이 가능하다.

그림 13과 같은 모델 계통으로 Matlab simulink를 통해 1선지락 고장을 모의하였다. 3번 node와 4번 node 사이에 A상 지락고장이 발생하였을 때 고장 상단인 1, 2, 3번 노드에서 취득한 영상전류의 위상이 고장동작영역으로 들어온다.

각 노드의 동작시간을 15초, 10초, 5초로 설정하면 고장 바로 앞의 노드에서 고장을 검출하여 3번 노드에서 고장을 차단할 수 있으며 고장구간 상단은 정상 운영된다. 또한, 1, 2, 3번 노드가 고장을 경험했기 때문에 접지계통과 동일하게 FI를 발생시켜 운영자가 빠르게 고장구간을 판별하고 고장구간을 분리할 수 있다.

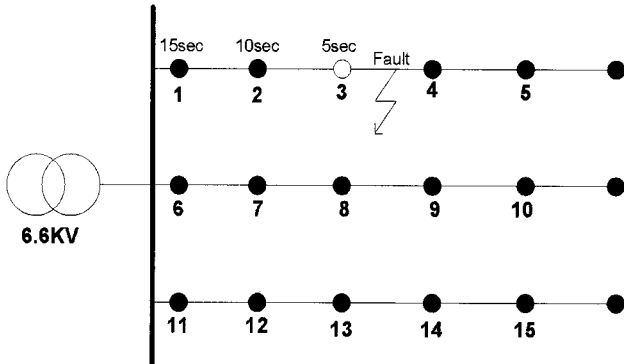


그림 13 모의 배전계통
Fig. 13 Simulation distribution network

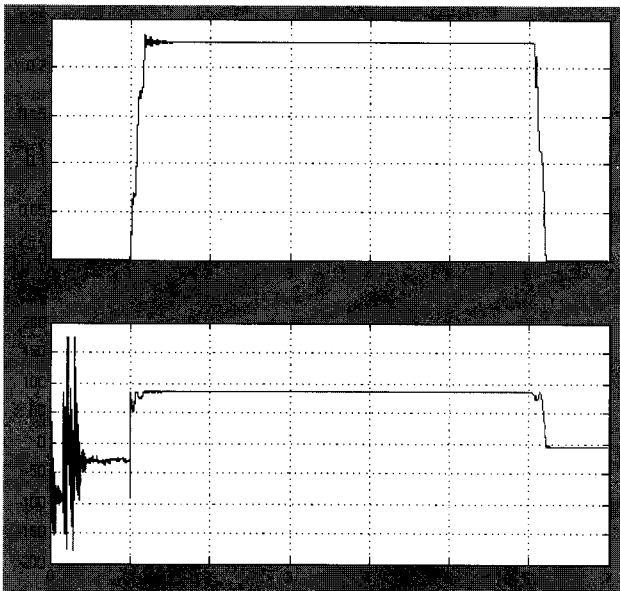


그림 14 Node 3에서 취득한 영상전류의 위상
Fig. 14 The angle of zero-sequence current at node 3

그림 14는 고장점 상단인 3번 노드에서 취득한 영상전류의 크기와 위상을 나타내고 있으며, x축은 시간으로 단위는 sec, y축은 위도의 그래프는 크기를 아래 그래프는 위상을 나타내고 있다. 영상전류의 크기가 매우 작아 계통의 작은 외란에도 큰 영향을 미칠 수 있어 영상전류의 위상을 이용하는 방법이 유리하다.

본 논문의 사례연구에서는 1초에 고장이 발생하여 5초 동안 영상전류의 위상(87.4°)이 A상 지락고장 동작영역(60° ~ 120°)을 유지하므로 고장을 판단하고 6초에 개폐기가 동작하여 고장을 차단한 것을 알 수 있다. 또한 고장점 상단의 1번, 2번 노드의 영상전류의 위상도 A상 지락고장 동작영역

(60° ~ 120°)으로 들어오므로 고장을 확인하였으나 5초 후에 3번 노드에 의해 고장이 제거되므로 FI만을 발생시킨다.

5. 결 론

본 논문에서는 전 세계 배전계통의 약 80%를 차지하는 비접지 계통의 일반전인 보호협조 방법을 간략하게 살펴보고, 비접지 계통 운영에 있어서 중요한 문제가 되고 있는 지락사고 중 1선 지락사고에 대한 개선된 보호협조 방법을 연구하였다.

본 논문에서 제안한 보호협조 방법은 단말에서 직접 영상전류의 위상을 이용하여 고장회선, 고장상, 고장구간을 검출하여 고장을 차단하고 기존의 지락과전압계전기(OVGR)과 방향(선택)지락계전기(SGR)를 후비보호로 하는 개선된 보호협조 방안이다.

이 방법은 선로상의 자동화 개폐기에서 취득된 영상전류의 위상정보만을 이용하여 고장을 검출하고 차단하며 FI를 발생시키므로 계통운영자가 쉽고 빠르게 고장 구간을 판별할 수 있는 장점을 가지고 있다. 또한 기존의 보호협조방법을 시간지연을 통해 후비보호로 사용함으로써 보호의 신뢰도를 높였으며 고장구간을 찾기 위한 별도의 과정을 거치지 않아도 된다는 장점이 있다.

본 논문에서 제안한 보호협조 방법은 현존하는 일반적인 보호협조 방법의 오·부동작의 가능성과 고장구간 검출을 위한 잦은 스위칭 동작 또는 고장구간 판정 중 건전구간의 정전발생에 대한 단점을 보완한 알고리즘이다. 본 알고리즘은 ZCT를 이용하여 단말에서 영상전류를 측정해야 하므로 설비에 대한 부담이 있을 수 있으나 신뢰도가 높고 신속한 고장판별, 차단이 가능하므로 매우 유용하게 쓰일 수 있기 때문에 투자차이가 충분히 있다고 생각된다. 따라서 본 논문에서 제안한 알고리즘은 우리나라의 전력IT 산업의 수출에 비접지용 배전자동화 시스템 부분에서 큰 경쟁력을 가져다 줄 것이라고 기대된다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부의 전력IT IDMS(Intelligent Distribution Management System) 과제의 지원으로 수행되었음

참 고 문 헌

- [1] Leel 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, July 14-16, 2004.
- [2] 정홍영, "A Study on the Ground Fault Protection in Nongrounding High Voltage Distribution System of Subway" 서울산업대학교 2008
- [3] 김병태, 전명수 "6600V 비접지 전력계통 지락보호계전기의 오·부동작에 관한 연구", 대한전기학회 하계학술

대회 논문집, 2008, pp. 2013-2014

- [4] 하복남 외6, The Development of the New Distribution Automation System, KEPRI '98 전력연-단663, 1998.
- [5] 박영문, 김재철, 전력계통기술계산 응용, 도서출판 의제, 1998.
- [6] 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 2001 Conference in Developments in Power System Protection, No.429, 2001.
- [7] Z. Q. Bo, G. Weller, M. A. Redfern, "Accurate fault location technique for distribution system using fault-generated high-frequency transient voltage signals", IEE Proceedings on Generation, Transmission and Distribution, Vol. 146, issue 1, pp. 73-79, Jan. 1999.
- [8] Baldwin, T.; Renovich, F., Jr.; Saunders, L.F.; L.F.; Lubkeman, D., "Fault locating in ungrounded and high-resistance grounded systems", IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 37 No. 4, pp. 1152-1159, July-Aug. 2001
- [9] Baldwin, T.; Renovich, F.; Saunders, L., "Directional ground fault indicator for high-resistance grounded systems", 2002 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Technical Conference, pp. 103-109, 2002
- [10] Baldwin, T.; Renovich, F., "Analysis of fault locating signals for high-impedance grounded systems", IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 38 No. 3, pp. 810-817, May/June 2002
- [11] Hong-chun Shu, Bai Xiao, "A novel fault line selection algorithm of single-phase ground faults in ungrounded neutral system using wavelets transform", PowerCon 2002, Vol.4, pp. 2532-2536, Oct. 2002.
- [12] In Sun Choi, Myeon Song Choi, Seong Il Lim, Seung Jae Lee, "A new algorithm of the line to ground fault section isolation & restoration in ungrounded distribution power system", Trans. KIEE, Vol. 53A, No. 10, Oct. 2004.

저 자 소 개



최영준 (崔榮峻)

1967년 7월 27일생, 1991년 한양대학교 전기공학과 졸업. 1993년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사), 현 명지대학교 박사 수료, 현 (주)효성 중공업연구소 수석연구원

Tel : 031-596-1730

Fax : 031-596-1698

E-Mail : swot87@hyosung.com



임희택 (林熙澤)

1981년 3월 15일생, 2007년 명지대학교 전기공학과 졸업(학사), 2009년 동대학 전기공학과 졸업(석사), 2009년 ~ 현재 한전KDN(주) 전력IT연구원 재직

Tel : 031-420-0768

Fax : 031-420-0799

E-mail : swish41@kdn.com



최면송 (崔勉松)

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

Tel : 031-330-6367

E-mail : mschoi@mju.ac.kr



이승재 (李承宰)

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

1994년 Univ. of Washington 교환 교수.

현재 명지대학교 공대 전기공학과 교수.

Tel : 031-330-6362

E-mail : sjlee@mju.ac.kr