

영상어드미턴스에 의한 직접접지 배전방식에서의 역가압 지락사고 검출

유 명호* 김 일동*
한전 기술연구원*

한 홍석**
프로컴시스템**

박 칠원***
성균관대***

Back Fed Earth Fault Detection in Three Wire-Unigrounded Distribution-System By Zero Sequence Admittance

Myeong-Ho Yoo* Il-Dong Kim*
KEPCO Research Center*

Hong-Seok Han**
PROCOM System**

Chul-Won Pak***
Seong-Kyun-Kwan Univ***

ABSTRACT

This paper presents the developing a new algorithm for detecting the Backfed Earth Fault in three wire-unigrounded distribution system by zero sequence admittance. So called "Backfed Earth Fault" of the electric power distribution line refers to a class of earth faults that the load-side line only is grounded, following after the distribution line broken into two parts, the source-side and the load-side. Because its mechanism differs from that of other earth faults, it is therefore, required to examine.

This paper deals with the detailed software of the digital protective relay for Backfed earth fault. In order to prove that the proposed schemes is good, we performed off-line simulation using data from EMTP and ETSA(Electricity Trust Of South Austrilia). It is shown that the suggested algorithm is never maloperated.

1. 서 론

배전선로에 있어서 신속한 사고검출은 감전사고예방, 전기화재방지 및 전력설비의 운용에 있어서 매우 중요한 요소이다. 그러나, 전력설비, 공급방식 및 부하종류 등이계통에 따라서 다양하고, 또한 사고발생시 나타나는 임의성 때문에 아직도 해결되지 못하고 있는 특수한 사고들이 존재한다.

역가압지락사고는 배전선로 지락사고의 한 종류로서 선로의 단선사고에 이어서 그림 1.1과 같이 전원측 선로는 지락되지 않고 부하측 선로만이 지락되는 사고를 말한다. 이 때에 지락전류는 선로변압기의 1차 권선을 통하여 흐르는 점이 다른 지락사고와 역가압지락사고가 구분되는 특징이다. 특히 선로변압기 delta-ye 결선일경우의 역가압지락사고시에는 다른 지락사고와는 달리 중성선전류가 아주 적고, 부하에 종속적이며, 부하전류와 구분이 어렵기 때문에 사고검출이 까다롭게 된다. 따라서 역가압지락시에는 기존의 보호계전시스템이 동작하지도 않을 뿐 아니라 지금까지 이에 대한 연구가 보고된 바도 없는 형편이다.

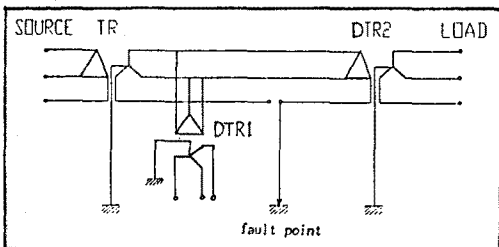


그림 1. 역가압지락사고시의 배전계통도

본 논문에서는 삼상 직접접지방식 배전선로에서 역가압지락사고를 검출하는 새로운 알고리즘을 제안한다. 이 알고리즘은 영상어드미턴스를 구하고 이를 적절히 처리하여 역가압지락 사고를 판정하는 것이다.

본 논문의 구성은 먼저 대칭좌표법을 이용한 역가압사고시의 계통해석을 통하여 이론적인 고찰을 설명하고, 다음에 역가압지락사고시 계통에서 일어나는 현상을 파악하기 위하여 남호주전력청(ETSA)에서 시행된 실제 사고데이터 및 EMTP 출력데이터를 분석하여 제시하며 끝으로 영상어드미턴스를 이용하는 역가압지락사고 검출알고리즘을 제안한다. 또한 실제 사고데이터 및 EMTP 출력데이터를 제안된 검출시스템에 입력하고, 그 결과가 검토됨으로서 제안되는 알고리즘을 평가했다.

2. 역가압 지락사고시 계통해석

삼상직접접지 배전계통(그림 1)에서 배전선로가 단선되고 이어서 전원측 선로가 접지되는 일반적인 지락사고의 경우, 기존의 보호계전시스템은 이를 검출할 수 있다. 그러나 단선에 이어서 부하측 선로가 지락되는 역가압 지락사고의 경우, 기존의 계전기는 이를 감지하기 어렵게 되고 따라서 신뢰성 문제가 야기된다. 이러한 현상을 일으키는 원인을 규명하기 위하여, 이 장에서는 역가압지락사고시 배전계통의 특성을 해석한다.

역가압지락시 고장점의 전압은 선로 변압기의 1차 권선을 통하여 가압되므로, 델타결선을 통하여 비접지 방식과 같은 선로형태로 구성되므로 지락아아르는 발생되지만 지락고장전류는 Pick up치(5A) 이하로 나타나게 된다. 따라서 Sensitive ground Relay도 이를 검출하지 못하는 경우가 있게 된다. 그림 2는 역가압지락사고시의 등가회로이다.

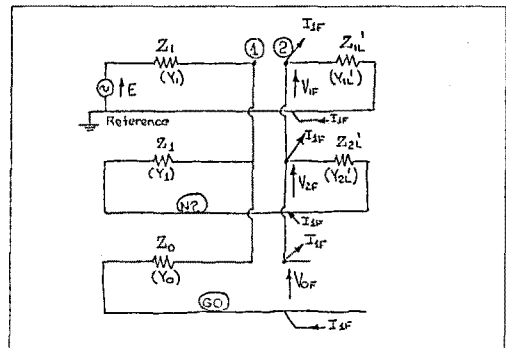


그림 2. 역가압 지락사고시 대칭분 등가회로

삼상직접접지계통의 역가압 지락사고시 대칭좌표법에 의한 고장점에서의 전압, 전류 관계식은 다음과 같다.

$$V_{1F} + V_{2F} + V_{0F} - 3R_F I_F = 0$$

$$V_2 + (V_2 - V_{N2}) + (V_2 - V_{G0}) - 3R_F I_F = 0$$

따라서

$$3V_2 - V_{N2} - V_{G0} - 3R_F I_F = 0$$

$$(Y_1 + Y_1 + Y_0) V_1 - Y_1 V_{N2} - Y_0 V_{G0} = Y_1 E_1$$

$$(Y_{1L}' + Y_{2L}') V_2 - Y_{2L}' V_{N2} + 3I_{1F} = 0$$

$$- Y_1 V_1 - Y_{2L}' V_2 + (Y_1 + Y_{2L}') V_{N2} - I_{1F} = 0$$

$$- Y_0 V_1 - Y_0 V_{G0} - 3R_F I_{1F} = 0$$

여기서 V_1, V_2, V_{N2}, V_{G0} 은 각각 기준절점에 대한 절점전압이다.

3. 역가압지락사고 검출알고리즘

삼상직접접지 배전계통에서 평상시 영상전압은 ZERO이며, 영상전류 또한 부하 불평형을 선로변압기 1차측 델타결선에서 서로 보상되므로 ZERO이다. 그러나 역가압지락사고시에는, 단선시 부하측 전력선에 나타나는 전압상승 효과와 대지귀로가 형성되는 지락전류에 의해 영상전류가 나타나게 된다. 그러나 이 영상전류는 크기가 미소하므로 기존의 지락보호계전기가 이를 검출할 수 없다.

이 장에서는 영상어드미턴스를 이용하여 역가압지락사고를 검출하는 알고리즘을 제안한다.

가. 검출 평가함수

미소한 영상전류(Y_0)의 변화를 어떤 작은 기준값 영상전압(V_0)으로 나눌경우 그 변화는 대단히 크게되므로 역가압지락사고의 평가함수는 다음과 같이 영상어드미턴스로 선정한다.

$$Y_0 = \frac{I_0}{V_0} = \left(\frac{I_a + I_b + I_c}{V_a + V_b + V_c} \right)$$

여기서

$$Y_{0i} = \frac{I_0 + \alpha}{V_0 + \alpha}$$

이고, α 는 평가함수의 분모가 영이 되지않기 위한 최소한의 조건이다.

나. 검출 알고리즘

역가압지락사고를 검출하는 알고리즘의 세부 과정은 다음 그림 3과 같다.

Y_{0i} 는 각주기마다 평균 값으로 계산되고 event 검출이 초과되는지를 체크한다. Y_{0i} 값이 Thresold 값을 초과하면 역가압 지락사고를 일단 인식하고 event를 count하면서 Fault를 확인하게 된다. Waiting Interval 동안 count하여 Setting치를 초과하면 Fault로 판정하고 아니면 단순 event로 인정하고 다시 처음부터 계산을 반복한다.

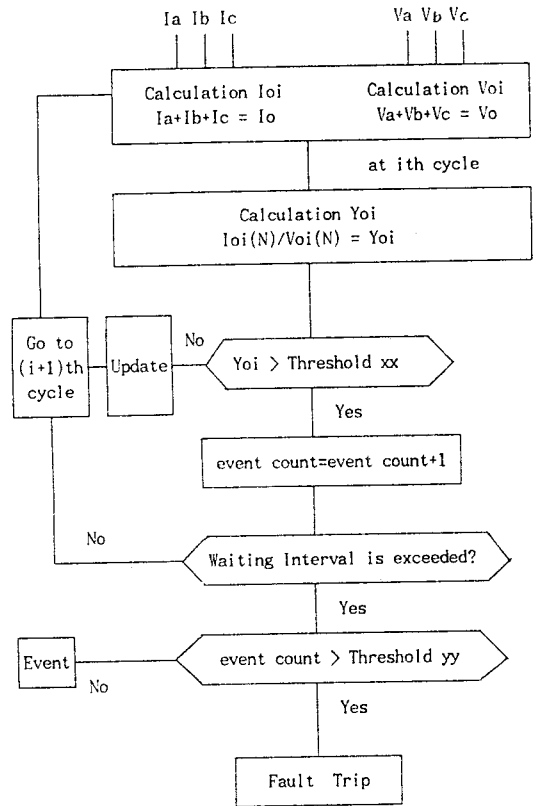


그림 3. 역가압 지락사고 검출 흐름도

4. EMTP 시뮬레이션 및 결과고찰

가. 모델링

EMTP 시뮬레이션을 위한 계통은 다음 그림 4와 같이 모델링하였다.

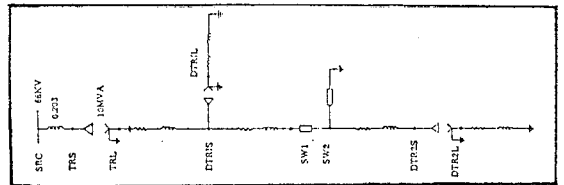


그림 4. 모델 계통도

- 0. Frequency : 50 Hz
- 0. Source Impedance $Z_0 = 0 + j 26.528$
 $Z_1 = 0 + j 8.842$
- 0. MTr
 - . MVA : 10 MVA %Z :
 - . Voltage ratio : 66kV/11kV/3
- 0. Line Impedance (3Km) $Z_0 = 2.4282 + j 4.5318$
 $Z_1 = 2.4282 + j 4.5318$
- 0. Pole Tr
 - . KVA : 500KVA
 - . 전압비 : 11KV/220V
 - . $\cos\theta : 0.9$

나. 시뮬레이션 방법

EMTP 시뮬레이션은 표 1과 같이 평형과 불평형으로 구분하여 수행하였으며, 여기서 Event와 역가압 지락사고의 형태는 다음과 같다.

- 0. Event : - Load 변화 (단상 선로차단)
- " (3상 선로차단)
- 0. Fault : A상 지락사고 (0.1sec 단선 0.3sec Ground Fault)

모델 번호		DTR 1	DTR 2	비 고
1	평형 부하	full 부하	full 부하	A ϕ 사고
2		full 부하	50% 부하	
3		50% 부하	full 부하	
4	불평형 부하	0 ϕ 무부하	full 부하	A ϕ 사고
5		full 부하	0 ϕ 무부하	
6		B ϕ 무부하	0 ϕ 무부하	

표.1 시뮬레이션 방법

다. EMTP 시뮬레이션 결과

위와 같은 방법으로 시뮬레이션을 수행한 결과는 표 2와 같으며, 여기서는 6번 모델인 평형부하 A ϕ 역가압지락사고 (DTR1 50% Load, DTR2, FULL Load)의 각상 전류, 전압 및 영상 전류 파형과 영상임피던스 만을 도시하며, 각각 그림 5, 6, 7과 같다.

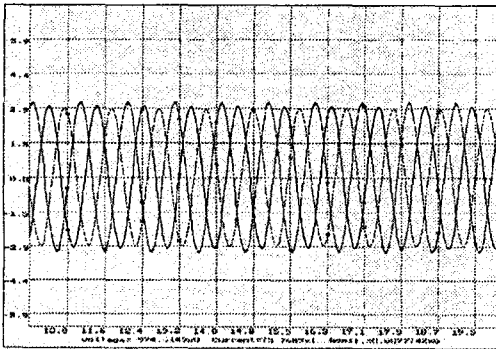


그림 5. 6번 모델의 각상 전압파형

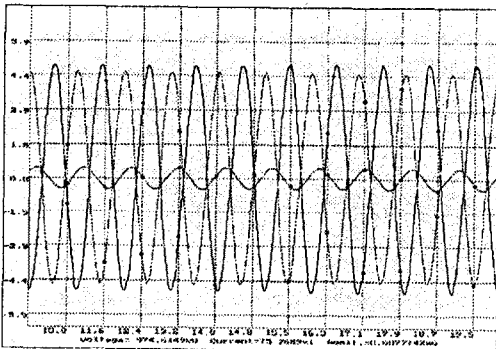


그림 6. 6번 모델의 각상 전류파형

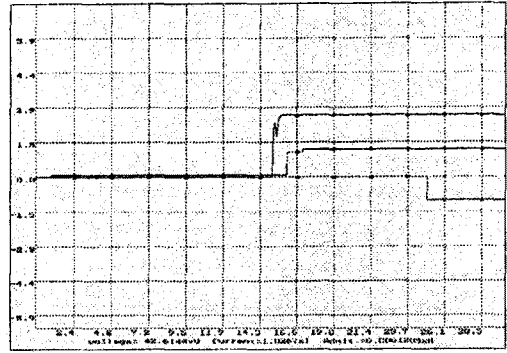


그림 7. 6번 모델의 영상전류, 영상어드미턴스 및 TRIP 출력

표 2. EMTP 출력데이터 분석 결과표

모델번호	고장 형태	V_0	I_0	Y_{0f}	결과
1 (EMTP)	· 평형부하시 A ϕ 단선(Event)	0	0	1.0	변화없음
2 (EMTP)	· 평형부하시 3 ϕ 부하차단(Event)	0	0	1.0	"
3 (EMTP)	· 평형부하시 A ϕ 역가압 지락사고(Event)	0	-	약 10배 이상	검출가능
4 (EMTP)	· 불평형 부하시 A ϕ 단선(Event)	0	0	1.0	변화없음
5 (EMTP)	· 불평형부하시 3 ϕ 부하차단(Event)	0	0	1.0	"
6 (EMTP)	· 불평형부하시 A ϕ 역가압 지락사고(Event)	0	-	약 10배 이상	검출가능

상기 표 2의 EMTP 시뮬레이션 결과, 모델 1,2,4,5. 어느 형태에서도 I_0, V_0, Y_{0f} 의 변화는 전혀 나타나지 않지만 모델 3,6.의 역가압 지락사고는 I_0 와 Y_{0f} 의 변화는 10 배 비율로 변화하여 사고 검출을 확실히 할 수 있음을 알 수 있다.

또한 DTR1, DTR2 의 부하변화 와 고장점 임피던스의 변화에 따라 영상전류 및 영상어드미턴스가 변화하는 가능성을 검토하였다. 그 결과는 다음과 같다.

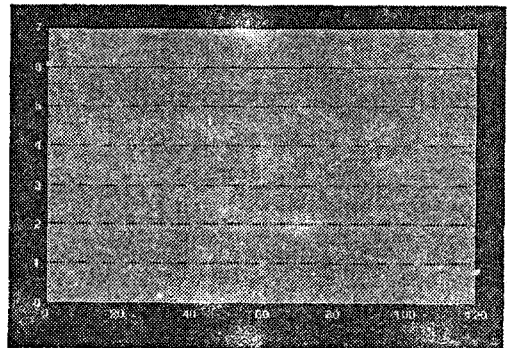


그림 8. DTR2 의 변화에 따른 영상어드미턴스

위 그림에서와 같이 DTR2 의 변화에 따라 영상어드미턴스는 변화하지만 DTR1이나 고장점임피던스의 변화에는 영향이 없을 수 있었다. 그러나 DTR2에 따른 영상어드미턴스의 변화는 역가압 지락사고시에도 크게 변화하기 때문에 사고검출에는 영향이 없다.

5. 실측 데이터 분석결과

남호주 전력청(ETSA)에서 실측된 그림 1과 같은 배전계통의 역가압지락사고 파형을 재생하고, 그 데이터를 제안된 검출 알고리즘에 의하여 처리하여 분석된 결과는 다음 그림 9와 표 3과 같다.

표 3 실제사고 데이터 분석결과 표

시험 번호	모델형태	고장형태	V_0	I_0	Y_0	결과
1 (ETSA)	· DTR2 : 3φ 106% 부하	· 평형부하시 A _φ 역가압 지락사고 (완전지락)	0	0	3배 이상	검출 가능
2 (ETSA)	· DTR2 : 3φ 106% 부하	"	0	0	"	"
3 (ETSA)	· DTR2 : 3φ 무부하	"	0	0	잡음 신호	변화 없음
4 (ETSA)	· DTR2 : 3φ 106% 부하	" (고저항지락)	0	0	"	"
5 (ETSA)	· DTR2 : 3φ 106% 부하	"	0	0	"	"

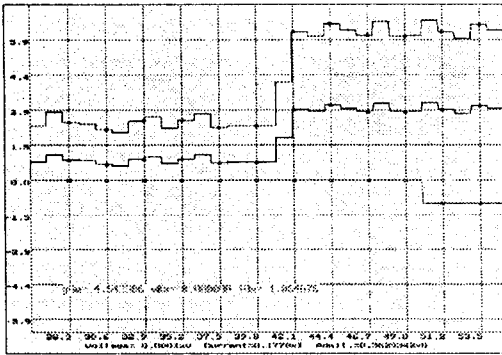


그림 9. 2번 시험의 영상전류 영상어드미턴스의 변화

위 결과 표에서 알 수 있는 바와 같이, ETSA 실측 데이터는 EMTP 시뮬레이션 결과와 일치하며 거의 모든 시험결과가 Y_0 의 값이 3배 이상으로 사고 검출에 어려움이 없지만 단지 전혀 부하가 없는 무부하에서는 값의 변화가 없지만 지락사고시 선로변압기의 부하가 무부하 상태로 운전되는 경우가 없기때문에 역가압 지락사고 보호에는 문제가 없을 것으로 판단된다.

5. 결 론

본 논문에서는 Three wire - Unigrounded Distribution System에서의 역가압지락사고를 검출할수 있는 영상어드미턴스법을 개발하여 제시하였으며, 이 알고리즘을 검증하기 위하여 Salford EMTF에서 66/11KV 계통을 모의하여 그 출력데이터와 남호주 전력청(ETSA)으로 부터 입수한 실측 데이터를 비교하여 결과를 확인하였다. 제시한 영상어드미턴스법은 아직까지는 Three wire-Unigrounded Distribution System 즉, 선로변압기가 모두 델타 - 스타 결선으로 공급되는 시스템에서만 그 성능을 완벽하게 발휘할수 있지만 전력설비의 보호와 인축의 안전사고 방지에 미치는 영향은 지대하리라 판단된다.

시뮬레이션 결과는 아래와 같다.

- 1). 역가압 지락사고는 영상어드미턴스의 변화에 가장 민감하다.
- 2). 역가압 지락사고시 영상어드미턴스는 DTR2의 부하변화에 종속적이다.
- 3). 역가압 지락사고시 영상어드미턴스는 DTR1의 부하변화와 고장점 임피던스의 변화에 무관하다.

앞으로 몇가지 Threshold값을 완벽하게 결정하는 일이 남아있지만 이는 실제통에서 운전을 수행하게 되면 곧바로 데이터화하여 결정할수 있을 것이다.

6. Acknowledgments

Authors는 이 논문이 완성될수 있도록 협조하여주신 ETSA의 관계자인 Senior Technical officer, B.M.JAMESON, Special Test Engineer, R.C.ADAMS, Test Investigation Engineer, D.SOETRATMA 에 깊은 감사를 드린다. 또한 이 논문이 실제통에 적용되어 ETSA의 배전계통 역가압지락사고의 문제점을 완벽하게 해결할 수 있는 계기가 되기를 바란다.

7. Reference

1. Rule Book Volume I,II for ATP Salford Version, 1992
2. Stanley H.Horwitz, Arun G.Phadke, "Power system Relaying", RSP 1992.
3. Williams D.Stevens "Element of Power System Analysis", McGraw - Hill, 1982.
4. 유명호 외 1인 "컴퓨터를 이용한 전력계통 보호기술", 한전 기술연구원 1992.12.
5. 한전 기술연구원 "역가압지락사고의 사전조사 연구", 1992.12.
6. 한전 기술연구원 "다중집지 배전선로 보호계진방식 개선에 관한 연구" KRC-85A-J05, 1987.