

선택 지락 계전기의 성능 향상을 위한 연구

*남 순 열 *신 영 재 *홍 정 기 **박 종 근
 *효성 중공업 연구소 **서울 대학교

Study for Performance Enhancement of Selective Ground Relays

*S. R. Nam *Y. J. Shin *J. K. Hong **J. K. Park
 *Hyosung Corporation **Seoul National Univ.

Abstract - 본 논문에서는 비접지 계통에서 주로 사용되는 선택 지락 계전기를 디지털화 함으로써 구현할 수 있는 성능 향상 방법을 제시한다. 선택 지락 계전기는 영상 전압과 영상 전류를 이용하여 지락 사고를 검출하지만, 지락 사고시 계전점의 역상 전류가 영상 전류보다 큰 값을 가지며 위상도 앞서게 되므로, 역상 전류를 사용하는 것이 바람직하다. 6.6 kV 비접지 계통에서의 지락 사고를 EMTP를 이용하여 모의하였으며, 1회선 계통과 2회선 계통에 대한 계전점의 영상 전류와 역상 전류를 비교하여 이를 검증하였다.

1. 서 론

선택 지락 계전기(Selective Ground Relay, SGR)은 영상 전류 검출을 위한 영상 변류기(Zero-sequence Current Transformer, ZCT)와 영상 전압 검출을 위한 접지 변성기(Grounding Potential Transformer, GPT)를 이용하여 비접지 계통에서의 지락 사고를 검출한다. 하지만, 디지털 계전 방식에서는 영상 변류기와 접지 변성기를 별도로 사용할 필요 없이, 각 상의 전압과 전류를 측정하여 영상 전압과 전류를 계산함으로써 구할 수 있으며, 역상 전압과 전류도 구할 수가 있다. 일반적으로 지락 사고에 의한 영상 전류와 역상 전류는 동일한 것으로 알려져 있다. 이는 사고점에서의 영상 전류와 역상 전류가 같다는 것으로서, 계전기가 위치한 계전점에서의 영상 전류와 역상 전류가 동일하다는 것을 의미하지 않는다. 이론적으로 계전점의 역상 전류는 영상 전류보다 큰 값을 가지며 위상도 앞서게 되는데, 회선의 수가 적을수록 이러한 현상이 뚜렷하다. 본 논문에서는 이러한 사실을 계통 해석을 통해 알아보고 EMTP를 이용한 모의를 통해 검증하였다. 따라서, 비접지 계통의 지락 사고를 검출하기 위해서는 영상 전류보다 역상 전류를 이용하는 것이 바람직하다.

2. 본 론

2.1 비접지 모델 계통

그림 1은 본 논문에서 사용한 비접지 모델 계통으로서 변압기, D/L "A"와 D/L "B"의 2 회선, 접지 변성기로 구성된다. 변압기는 22.9/6.6kV Δ-Δ 결선을 사용하였으며, 각 회선에는 길이 1km인 250 mm² CV 케이블을 사용하였다. 접지 변성기의 open delta측에 있는 저항 R_{cl}은 "제한저항" 또는 "한류 저항"이라고 부르며 제 3 고조파의 흡수와 지락 고장시 유효분의 영상 전류를 선택 지락 계전기에 공급하는 역할을 한다. 제한저항은 1차측으로 변환할 경우 R_{CL-N} = $\frac{R_{cl}}{9} n^2$ 의 접지 저항으로 해석되며, 영상 회로에서는 R_{CL} = $\frac{R_{cl}}{3} n^2$ 으로 나타낸다.

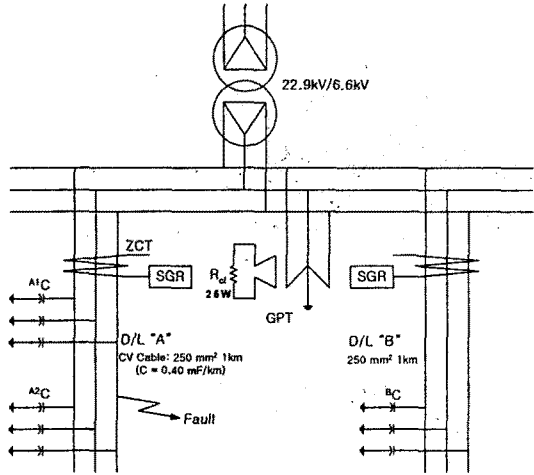


그림 1. 비접지 모델 계통

일반적으로 접지 변성기의 2차 전압은 $\frac{190}{3}$ V이며, 6.6 kV 비접지 계통에서의 제한 저항은 25 Ω 이므로, R_{CL-N}은 다음과 같다:

$$R_{CL} = \frac{R_{cl}}{3} n^2 = \frac{25}{3} \left(\frac{6600}{\sqrt{3}} / \frac{190}{3} \right)^2 \approx 30,166 \Omega \quad (1)$$

$$R_{CL-N} = \frac{1}{3} R_{CL} \approx 10,055 \Omega \quad (2)$$

이는 계통의 다른 임피던스 성분에 비해 매우 큰 값이므로, 접지 변성기는 고저항 중성점 접지를 하는 효과를 나타낸다.

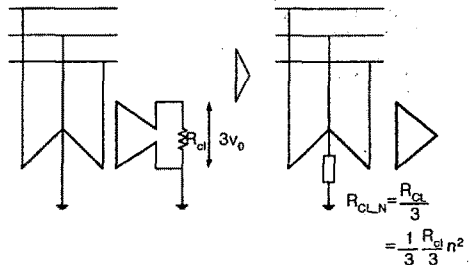


그림 2. 접지 변성기의 접지 효과

2.2 1회선 비접지 계통

그림 3은 그림 1에서 D/L "B"를 개방한 1회선 비접지 계통에서의 지락 사고에 대한 대칭 성분 회로의 연결을 보여 주고 있다. 사고점 기준에서 계전점까지와 회선 말단까지의 정전용량인 $^{A1}C_k$ 과 $^{A2}C_k$ 를 합하여 그림 4와 같이 AC_k 로 표현하여도 계전점에서의 전압과 전류는 영향을 받지 않는다. 본 연구에서 사용한 250 mm² CV 케이블의 영상 정전 용량은 0.4μF/km로서 60Hz에서의 임피던스는 6,631 Ω/km의 큰 값이 되며 정상과 역상의 정전 용량도 비슷한 값을 가진다. 영상 회로에서는 제한 저항 R_{CL} 도 큰 값을 가지므로, 정전 용량이 제한 저항과 병렬 회로로 구성되지만 정상 회로와 역상 회로에서는 다른 성분에 비해 매우 큰 값이므로 회로에 영향이 거의 없다. 그림 4는 이러한 점을 고려하여 그림 3을 축약시킨 회로로서, 1회선 비접지 계통의 지락 사고에 직접적으로 영향을 주는 요소가 제한 저항, 정전 용량, 사고 저항인 것을 알 수 있다. 사고점의 영상 전류 I_0 는 제한 저항의 영상 전류 $^{CL}I_0$ 와 정전 용량의 영상 전류 $^{C}I_0$ 의 합이지만, 계전점의 영상 전류 $^{Ry}I_0$ 는 $^{CL}I_0$ 와 동일한 성분이 되며 영상 전압과 동일한 위상을 가지게 된다.

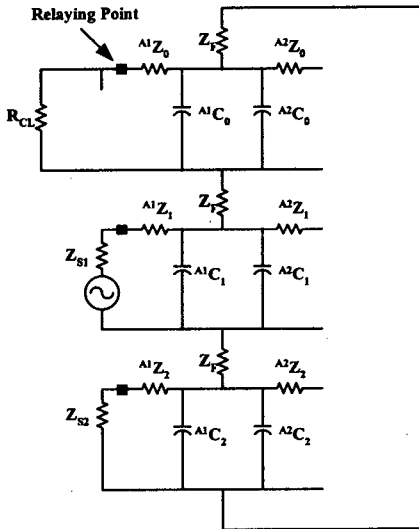


그림 3. 1회선 비접지 계통의 지락 사고

- $^{A1}Z_0, ^{A1}Z_1, ^{A1}Z_2$: 계전점에서 사고점까지 선로의 영상, 정상, 역상 임피던스
- $^{A2}Z_0, ^{A2}Z_1, ^{A2}Z_2$: 사고점에서 회선 말단까지 선로의 영상, 정상, 역상 임피던스
- $^{A1}C_0, ^{A1}C_1, ^{A1}C_2$: 계전점에서 사고점까지 선로의 영상, 정상, 역상 정전 용량
- $^{A2}C_0, ^{A2}C_1, ^{A2}C_2$: 사고점에서 회선 말단까지 선로의 영상, 정상, 역상 정전 용량
- Z_{s1}, Z_{s2}, Z_{s0} : 정상, 역상 (전원 + 변압기) 임피던스
- R_{CL} : 영상회로로 환산된 제한 저항
- Z_F : 사고 임피던스

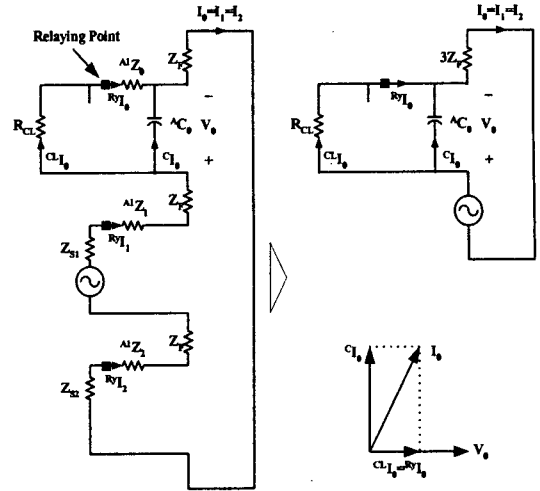


그림 4. 1회선 비접지 계통의 지락 사고에 대한 축약

이에 비해서 계전점의 역상 전류 $^{Ry}I_2$ 는 I_0 와 거의 동일한 성분이 되므로, $^{Ry}I_0$ 보다 큰 값을 가지며 영상 전압보다 앞선 위상을 가지게 된다.

$$\begin{aligned}
 I_F &= 3I_0 \\
 &= 3 \times \frac{E_{an}}{3Z_F + \frac{1}{\frac{1}{R_{CL}} + j\omega ^{A}C_0}} \\
 &= \frac{V^{LL}}{\sqrt{3}} \times \frac{1}{Z_F + \frac{1}{\frac{9}{n^2 R_{cl}} + j\beta \omega ^{A}C_0}} \quad (3)
 \end{aligned}$$

$$^{Ry}I_0 = I_0 \times \frac{1}{1 + j\omega ^{A}C_0 R_{CL}} \quad (4)$$

그림 5는 1회선 비접지 계통의 지락 사고를 EMTP를 이용하여 모의한 후, 차단 주파수 600Hz인 2차의 Butterworth 저역 통과 필터를 거친 파형을 보여 주고 있다. i_0 는 $^{Ry}i_0$ 보다 약 4배 정도의 크기를 가지며 접지 변성기의 영상 전압 $3v_0$ 보다 약 90° 위상이 앞서는데, $^{Ry}i_0$ 는 $3v_0$ 와 동일한 위상을 가진다. 그림 6은 DFT를 이용하여 계산한 계전점의 영상 전류와 역상 전류의 크기를 보여 주고 있다.

2.3 2회선 비접지 계통

그림 7은 2회선 비접지 계통의 지락 사고에 대한 대칭 성분 회로의 결선과 이를 축약한 회로를 보여 주고 있다. 2회선 비접지 계통에서는 D/L "A"와 D/L "B"의 정전 용량이 영상 회로에서 병렬로 나타난다. 그림에서 알 수 있듯이 D/L "A"에 설치된 선택 지락 계전기에서 측정되는 영상 전류 $^{Ry}i_0$ 는 D/L "B"의 정전 용량으로 흐르는 $^{B-C}i_0$ 와 제한 저항으로 흐르는 $^{CL}i_0$ 의 합이 된다. 사고점에서의 영상 전류는 이러한 $^{Ry}i_0$ 와 D/L "A"의 정전 용량으로 흐르는 $^{A-C}i_0$ 의 합이 되며, 계전점에서

서의 역상 전류와 거의 동일한 값이 된다. 즉, 계전점에서의 역상 전류와 영상 전류는 D/L "A"의 정전 용량으로 흐르는 영상 전류만큼의 차이가 발생한다. 그림 8은 2회선 비접지 계통의 지락 사고를 EMTP를 이용하여 모의한 결과를 보여 주고 있다. 사고점의 영상 전류가 계전점의 영상 전류보다 약 2배 가까이 큰 값을 가지며, 영상 전압과의 비교를 통해 상대적인 위상을 알 수 있다. 그림 9는 DFT를 이용하여 계산한 계전점의 영상 전류와 역상 전류의 크기를 보여 주고 있다.

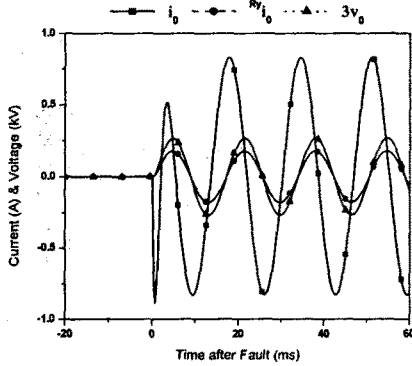


그림 5. 1회선 비접지 계통의 지락 사고에 의한 영상 전류 및 영상 전압 파형

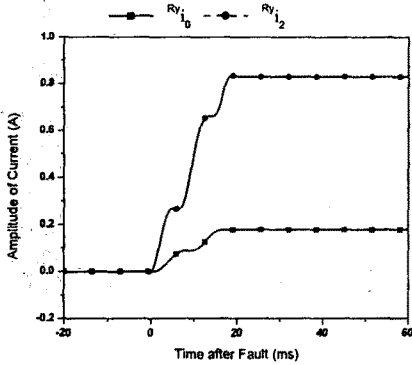


그림 6. 1회선 비접지 계통의 지락 사고에 의한 계전점 영상 전류와 역상 전류의 크기 비교

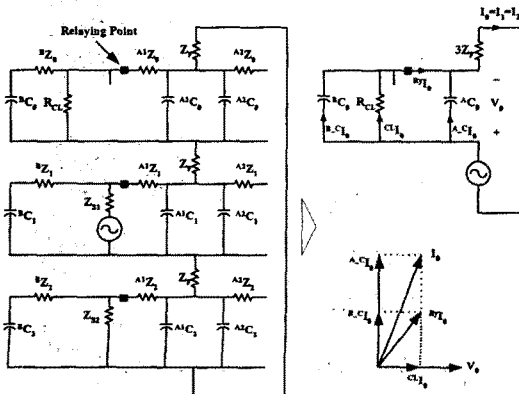


그림 7. 2회선 비접지 계통의 지락 사고

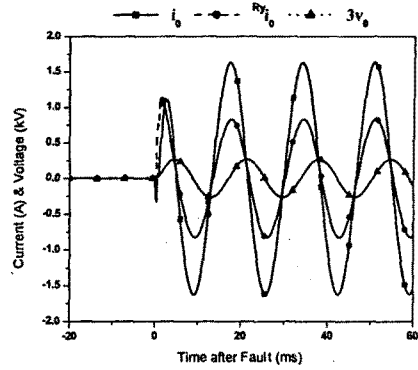


그림 8. 2회선 비접지 계통의 지락 사고에 의한 영상 전류 및 영상 전압 파형

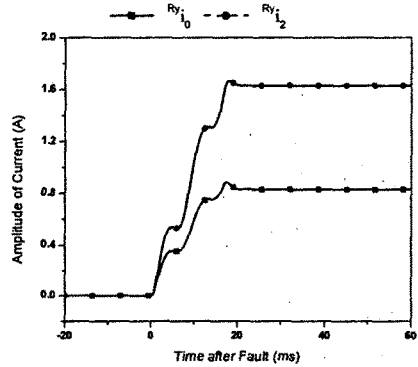


그림 9. 2회선 비접지 계통의 지락 사고에 의한 계전점 영상 전류와 역상 전류의 크기 비교

일반적으로, 회선 수가 증가할수록 계전점의 영상 전류와 역상 전류는 차이가 없어지므로 영상 전류를 이용하여도 상관없지만, 회선 수가 적은 경우에는 역상 전류를 이용하는 것이 바람직하다. 특히, 그림 1과 같은 2회선 비접지 계통에서 D/L "B"가 차단되어 있는 상태에서 D/L "A"에서 지락 사고가 발생할 경우, 정전 용량을 통한 영상 전류는 거의 검출되지 않아 문제가 발생한다. 따라서, 선택 지락 계전기의 성능 향상을 위해서는 영상 전류보다 역상 전류를 사용하는 것이 효과적이다.

3. 결 론

본 논문에서는 비접지 계통에서 사용되는 선택 지락 계전기의 성능 향상을 위한 방법을 제시하였다. 계전점의 역상 전류는 영상 전류보다 큰 값을 가지며 위상도 뚜렷하게 되는데, 회선의 수가 적을수록 이러한 현상이 뚜렷하므로 역상 전류를 사용하는 것이 바람직하다. 6.6 kV 비접지 계통에 대한 EMTP 모의를 통해 이를 검증하였다.

(참 고 문 헌)

- [1] Bergen, "Power Systems Analysis," pp. 387-464, Prentice-Hall, 1986.
- [2] 강창원, 이성우, "계통의 고장전류 계산 II," 전력 기술인, 3월, 2000.
- [2] 신대승, "보호 계전 시스템 기술," pp. 239-246, 2000.