

Adaptive보호범위를 가진 송전선로 보호용 디지털 거리계전기

정창호*, 이재규, 정병태, 안복신
 LG산전 전력연구소

Digital Distance Relay with Adaptive Protection Zone

Chang-Ho Jung*, Jae-Gyu Lee, Byung-Tae Jung, Bok-Shin Ahn
 LGIS Electrotechnology R&D Center

Abstract - This paper presents the adaptive setting method of distance relay under the single line ground fault. The apparent impedance measured at the relaying point and actual impedance is different because of fault resistance and various prefault loading condition.

For a resistance earth fault detection, relay setting zone is adaptively changed with measured load current and bus voltage at the relaying point to avoid maloperation.

- * Z_A = A Phase impedance
- * I_A = A Phase line current
- * V_A = A Phase line voltage
- * Z_{L0} = Zero-sequence line impedance
- * Z_{L1} = Positive-sequence line impedance
- * I_0 = Zero-sequence current

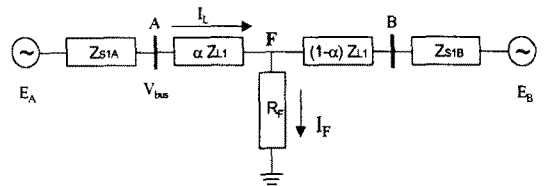


그림 1. Ground fault model(Two-terminal)

송전선 보호용 디지털 거리계전기는 송전선로에서 일어날 수 있는 사고에 대하여 신속하고 정확한 보호가 가능하도록 여러 보호방식을 가지고 있으나 송전선로에서 일어날 수 있는 사고는 너무나 다양하여 모든 사고를 보호하지는 못한다. 특히 사고의 약 80% 이상을 차지하는 지락사고의 경우는 거리계전기의 정상적인 동작을 방해하는 요소들이 많아 종종 오동작하는 경우가 있으며 이중 고저항지락사고의 경우는 그 사고빈도가 높은 반면 이러한 사고에 대한 거리계전기의 동작이 아주 취약하다는 단점을 안고있다. 따라서 본 논문에서는 사용자가 정정한 보호범위를 바탕으로 계통조건에 따라 거리계전기가 스스로 보호범위를 변경하여 보호함으로써 거리계전기의 오동작을 최소화하였다.

1. 서 론

2. 거리계전기의 동작

일반적으로 송전선로 보호용 디지털 거리계전기는 계전기가 설치된 지점에서 측정된 전압과 전류로 임피던스를 계산하여 사용자가 미리 정정한 값과 비교하여 측정된 임피던스가 정정한 Zone안에 존재하면 동작하도록 되어 있다. 그러나 거리계전기의 지락요소는 그 특성상 사고유형과 사고 전 계통조건에 따라 계전기가 측정된 임피던스와 실제 사고 임피던스에 오차가 발생할 가능성을 내포하고 있어 사용자가 정정 당시의 계통상황만을 고려하여 정정할 경우 계전기가 쉽게 오동작을 일으킬 수 있다.

2.1 거리계전기가 보는 임피던스

거리계전기가 측정하는 임피던스는 계전기가 설치된 지점에서의 전압과 전류를 이용하므로 부하가 증가하거나 고저항지락사고가 발생하면 측정하는 임피던스의 특성이 변화한다.

거리계전기의 임피던스 계산은 아래와 같다.

$$Z_A = \frac{V_A}{I_A + K_0 \cdot 3I_0} \quad (1)$$

여기서, * $K_0 = (Z_{L0} - Z_{L1}) / 3Z_{L1}$
 (zero-sequence compensation factor)

그림 1의 F지점에서 사고가 발생하였을 때 A모선에 설치된 계전기에 입력되는 전압, 전류로 계산한 임피던스(식 1)는 $R_F = 0$, 무부하의 경우 그림 2의 Line선상에 위치하여 정확한 보호가 가능하나 고저항 R_F 의 증가와 사고 전 부하전류(I_L)에 따라 거리계전기가 보는 임피던스는 Underreach 또는 Overreach선상에 위치하여 계전기에 오동작을 일으킨다. 또한 오동작 범위도 부하전류에 따라 R_F 가 클수록 넓어져 정확한 보호는 더욱더 어렵게 된다.

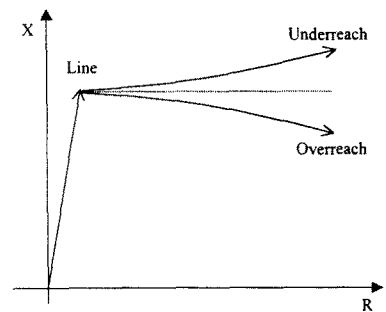


그림 2. Impedance diagram for a resistive fault

3. 거리계전기의 Adaptive Zone

본 논문은 송전선로의 보호에 있어 거리계전기가 계통조건과 고저항에 따라 오동작을 일으키지 않도록 하기 위해 사용자가 정정한 정정치를 기준으로 현재 계통조건에 맞도록 거리계전기가 스스로 지락요소의 정정치를 변경하여 보호하도록 함으로써 거리계전기가 Underreach 및 Overreach 하는 것을 방지하도록 하였다.

그림 1의 등가회로는 그림 3과 같다.

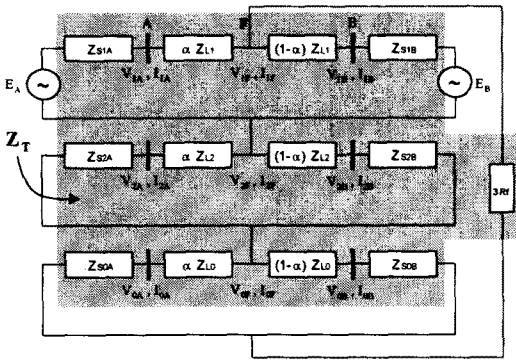


그림 3. Sequence component diagram for resistive 'a' phase to ground fault

그림 3에서

$$\begin{aligned} Z_{1A} &= Z_{S1A} + \alpha Z_{L1}, & Z_{2A} &= Z_{1A} \\ Z_{0A} &= Z_{S0A} + \alpha Z_{L0} \\ Z_{1B} &= Z_{S1B} + (1-\alpha) Z_{L1}, & Z_{2B} &= Z_{1B} \\ Z_{0B} &= Z_{S0B} + (1-\alpha) Z_{L0} \end{aligned} \quad (2)$$

$$Z_T = \frac{2 \cdot Z_{1A} \cdot Z_{1B}}{Z_{1A} + Z_{1B}} + \frac{Z_{0A} \cdot Z_{0B}}{Z_{0A} + Z_{0B}} + 3R_F \quad (3)$$

$$Ph = 1 - \frac{I_L \cdot (Z_{1A} + Z_{1B})}{E_A} \quad (4)$$

($E_A = V_{bus} + I_L \cdot Z_{S1A}$)

F지점에서의 사고 전 전압은

$$V_F = V_{bus} - I_L \cdot \alpha Z_{L1} \quad (5)$$

F지점에서 사고시 Sequence 전류는 $I_{1F} = I_{2F} = I_{0F}$ 이므로 $I_F (I_{1F} + I_{2F} + I_{0F})$ 는

$$I_F = 3 \frac{V_F}{Z_T} \quad (6)$$

계전기 설치점에서 본 Sequence 전류는

$$I_{1A} = \frac{Z_{1B}}{Z_{1A} + Z_{1B}} \cdot I_{1F}, \quad I_{2A} = I_{1A} \quad (7)$$

$$I_{0A} = \frac{Z_{0B}}{Z_{0A} + Z_{0B}} \cdot I_{0F}$$

그러므로 계전기 설치점에서 본 고장전류는 $I_{AF} (I_{1A} + I_{2A} + I_{0A})$ 를 구할 수 있다.

계전기가 측정하는 전류 I_A 는 계전기 설치점에서 고장전류 I_{AF} 에 부하전류 I_L 를 합한 전류 ($I_A = I_{AF} + I_L$)이며 전압은

$$V_A = I_F \cdot R_F + (I_L + I_{1A}) \cdot \alpha Z_{L1} + I_{2A} \cdot \alpha Z_{L1} + I_{0A} \cdot \alpha Z_{L0} \quad (8)$$

식 1에 대입하면

$$Z_A = \alpha Z_{L1} + \frac{3R_F}{\frac{Z_T \cdot (1-Ph)}{Z_{1B} + Z_{1A} \cdot Ph} + \frac{2 \cdot Z_{1B}}{Z_{1A} + Z_{1B}} + \frac{Z_{0B}}{Z_{0A} + Z_{0B}} \cdot (1+3Kn)} \quad (9)$$

따라서 계전기가 보는 임피던스 Z_A 는 실제 임피던스 ($\alpha Z_{L1} + R_F$)와 차이가 발생하여 계전기가 오동작하게 된다. 그러므로 사용자가 정정한 R_F 와 사고 전 계전기가 측정하는 전압 (V_{bus})과 부하전류 (I_L)를 기준으로 식 9에 의해 현재의 계통에서 계전기가 보는 임피던스를 구

한 다음 사용자가 정정한 R_F 를 R_{var} (식 10)로, jX 축의 θ 를(식 11-12) 조정한다. 여기서 계전기가 보는 임피던스는 exp함수를 가지므로 오차를 줄이기 위해 θ 를 n 개까지 구할 수 있는데 이때 $\theta(n)$ 는 R_F/n 을 이용하여 계산하면 된다.

$$R_{var} = \text{Real}(Z_{A(n)}) - \frac{\text{Imag}(Z_{A(n)})}{\tan(\theta_L)}, \quad \theta_L = \text{선로각} \quad (10)$$

$$\theta_{(n-1)} = \tan^{-1} \left(\frac{\alpha \text{Imag}(Z_{L1}) - \text{Imag}(Z_{A(n-1)})}{\text{Real}(Z_{A(n-1)})} \right) \quad (11)$$

$$\theta_{(n)} = \tan^{-1} \left(\frac{\text{Imag}(Z_{A(n-1)}) - \text{Imag}(Z_{A(n)})}{\text{Real}(Z_{A(n)}) - \text{Real}(Z_{A(n-1)})} \right) \quad (12)$$

이러한 방법으로 사용자가 정정한 Zone을 근거로 계전기가 정정한 Zone은 그림 4와 같이 되며 요약하면 그림 5와 같다.

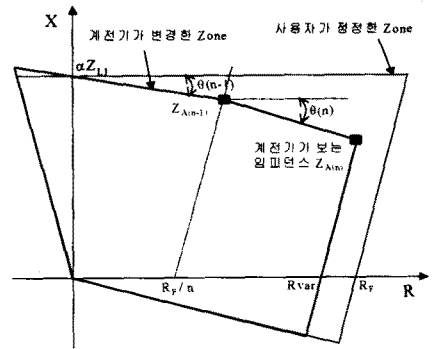


그림 4. Adaptive setting Zone

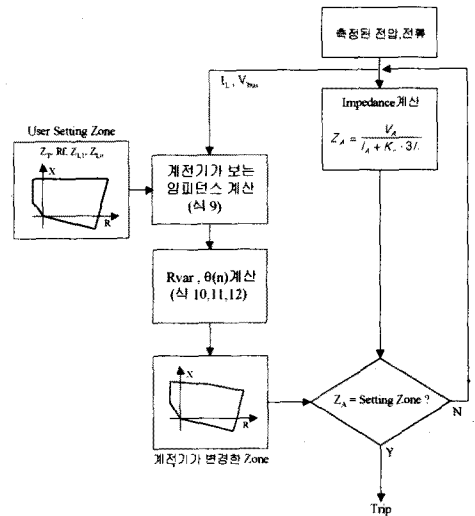


그림 5. Flow chart for adaptive relay setting algorithm

4. 사례연구

그림 1에서 사고 전 계전기가 측정하는 전압과 전류를 바탕으로 식 9에 의해 계전기가 보는 임피던스를 구하면 그림 6과 같다. 따라서 계전기가 변경한 보호범위는 $R_{var} = 48.19(\Omega)$, $\theta_1 = 1.93^\circ$, $\theta_2 = 4.46^\circ$ 을 갖는 Zone이 된다.

*** System Parameters**

$Z_{S1A} = 0.5334 + j4.1126 \Omega$
 $Z_{S0A} = 1.8712 + j10.0961 \Omega$
 $Z_{S1B} = 0.5929 + j4.9798 \Omega$
 $Z_{S0B} = 2.3598 + j11.6198 \Omega$
 $Z_{L1} = 0.0436 + j0.3445 \Omega/\text{km}$
 $Z_{L0} = 0.2380 + j1.0443 \Omega/\text{km}$
 $\alpha = 0.7, R_F = 50 \Omega, \delta = 7^\circ$
 Line length : 25 km

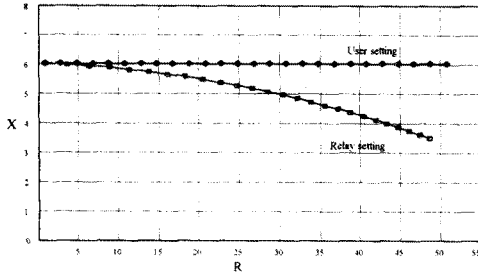


그림 6. The apparent Impedance at the relaying point

Zone-2 지역인 80%지점에서 30Ω의 고저항지락사고가 발생하였을 경우 사용자가 정정한 보호범위로 보호하였을 경우와 계전기가 정정한 보호범위로 정정하였을 경우를 비교하였다. 사용자가 정정한 보호범위와 계전기가 계산한 임피던스는 그림 7과 같고 계전기는 Zone-1으로 동작하여 계전기는 Overreach하였다.(그림 8참조) 그러나 계전기가 정정한 정정치로 보호하였을 경우 Zone-2로 동작하여 정확한 보호가 가능하였다.(그림 8참조)

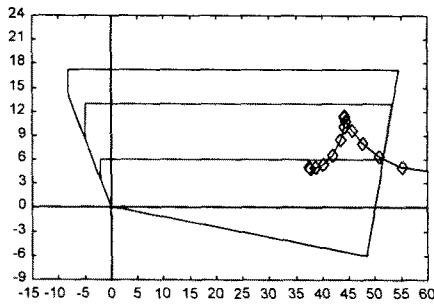


그림 7. Protection Zone and apparent impedance

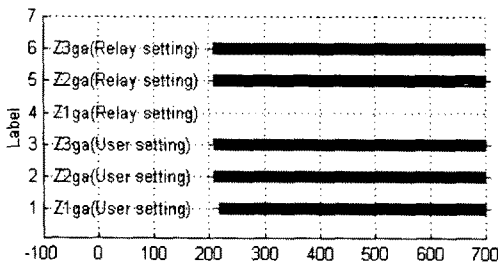


그림 8. Ground relaying elements

4-1. Source Impedance 영향

정정 당시의 Source Impedance가 계통변화로 인해 정정 당시와 차이가 발생하였을 경우 계전기가 정정한 정정치에 오차가 발생할 수 있다. 따라서 다양한 조건으

로 Source Impedance를 변화 시키며 계전기가 정정하는 정정치, 사용자가 정정한 정정치 그리고 Source Impedance가 변화된 값을 근거로 계산한 정정치와의 차이를 분석하였다. 그림 9는 B모선의 Source Impedance가 ($Z_{S0A}/Z_{S1A} \approx Z_{S0B}/Z_{S1B}$)조건으로 2배 증가하였을 경우이다. 이 경우 Real system과 Relay setting과는 약 40Ω이상에서만 오차가 발생하였다. 즉, 계전기가 변경한 정정치로 보호하였을 경우 사고 저항이 40Ω이상일 경우에 한해서 계전기가 약 20% Overreach할 수 있다. 그림 10은 ($Z_{S0A}/Z_{S1A} < Z_{S0B}/Z_{S1B}$)조건으로서 Z_{S0B} 가 2배 증가하였을 경우이다. 이 경우 40Ω이상의 사고에 대해서는 9%정도 Overreach하며 40Ω이하의 사고에 대해서는 4%정도 Underreach할 수 있다. 그러나 사용자가 정정한 정정치로 보호할 경우는 40%정도까지 Overreach할 수 있다.

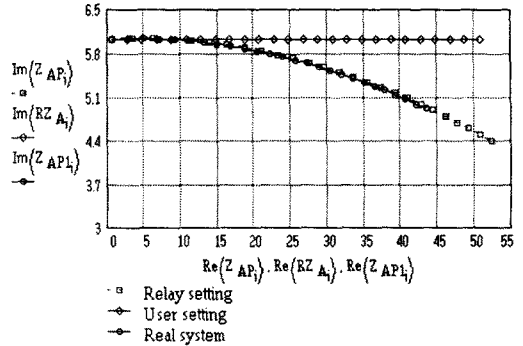


그림 9. The apparent impedance to various source impedance($Z_{S0A}/Z_{S1A} \approx Z_{S0B}/Z_{S1B}$)

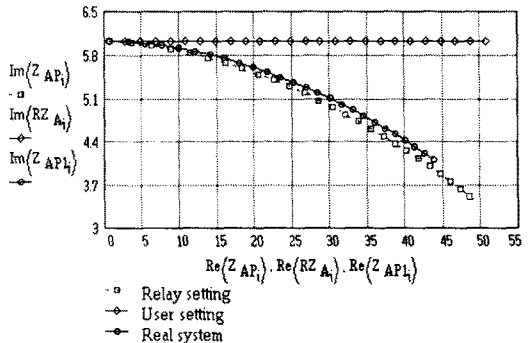


그림 10. The apparent impedance to various source impedance($Z_{S0A}/Z_{S1A} < Z_{S0B}/Z_{S1B}$)

5. 결론

본 연구를 통하여 계통은 변화하는데 비해 정정치가 고정되어 있어 발생할 수 있는 계전기의 오동작을 최소화할 수 있음을 확인하였으며 향후 더욱더 다양한 계통변화에 따른 계전기의 보호범위 정정에 관한 연구를 지속적으로 진행할 예정이다.

[참고 문헌]

- [1] Y.Q.Xia, "Adaptive Relay Setting for Stand-Along Digital Distance Protection", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol.9, No.1, 1994.
- [2] P.J.MOORE., "Performance of Adaptive Distance Protection Under High Resistance Earth Faults", Cigre, 1992.
- [3] 이종범, 정창호외, "송전계통 고저항지락사고에 대한 보호계전기 시험 및 특성분석에 관한 연구", 대한전기학회 논문지, pp.412-421 1998. 4.