

2회선 송전선로에서 상호임피던스와 고장저항을 고려한 거리계전기의 동작 특성 연구

이원석 · 정창호 · 이준경 · 김진오
한양대학교 전기공학과

A Study on Adaptive Distance Protection of Double-circuit Line with Mutual Impedance and Fault Resistance

Won-Seok Lee · Chang-Ho Jung · Jun-kyong Lee · Jin-O Kim
Dept. of Electrical Engineering, Hanyang University

Abstract - This paper describes an adaptive distance relay for double-circuit line protection with mutual impedance and fault resistance. Double-circuit lines have two operating condition; both lines of a double-circuit line are in operation and one line is switched-off and both ends of the line are grounded. For optimal distance protection, the trip region is calculated, which have respect to mutual impedance and fault resistance.

1. 서 론

송전계통에서 2회선 송전선로는 신뢰성 있고 안정된 전력공급과 송전손실이 감소하는 장점을 가지고 있다.

2회선 송전선로에서 회선을 유지 보수하거나 사고 신속히 사고를 판단, 사고구간을 계통에서 분리하면 남은 회선으로 계속 송전이 가능하다. 사고를 신속하고 정확하게 판단하기 위해서는 거리계전기의 트립영역을 정확하게 알 필요가 있다. 후비보호의 장점을 가지고 있는 거리계전기는 설치점에서 계속용 PT, CT로 측정된 전압과 전류를 입력 신호로 하여 고장 임피던스를 계산한다. 이러한 거리계전기의 한정된 입력정보는 계통의 변화나 선로 임피던스의 변화에 능동적으로 대응하지 못함으로 오동작이나 부동작을 초래한다. 또한 2회선 송전선로는 1회선 송전선로 보다 사고 위치와 사고저항에 따라 계전기가 보는 임피던스에 변화가 많고 상호임피던스가 존재하므로 계전기의 트립영역이 달라질 수 있다.

본 논문은 경우에 따라 1회선운전과 2회선운전이 가능한 2회선 송전선로에서 1선지락 사고시 상호임피던스를 고려하여 고장임피던스를 구한 뒤 트립영역을 비교하여 거리계전기의 동작 특성을 분석하였다.

2. 본 론

2.1. 2회선 송전선로의 운전

2회선 송전선로에서 1선 지락사고시의 모델은 그림 1과 같고 계전기 설치점은 Line G에서 Bus A쪽에 설치되어 있다.

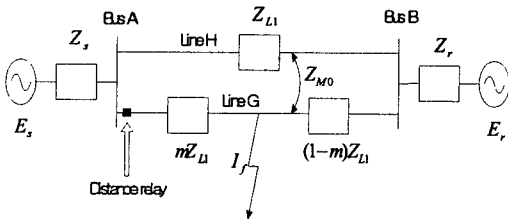


그림 1. 2회선 송전선로에서 1선지락 사고시 모델

Line G에서 1선지락 사고 시 버스내의 임피던스는 사고 위치의 변화에 상관없이 Z_{M0} 로 되므로 정상분, 역상분, 영상분 임피던스를 계산하기 위해서는 Y회로로 변환하여 계산해야 한다. 그림 2에서 2회선송전선로는 필요에 따라 1회선만 운전하는 경우(Single circuit operation)와 2회선 모두를 운전하는 경우(Double circuit operation)가 있다. 1회선운전 시에는 유도 기전력이 Line H에 발생하므로 양단을 접지를 시켜야 한다. 운전상태에 따라 정상분, 역상분, 영상분 등가임피던스 회로가 변하므로 각각에 맞는 등가 임피던스를 구하여 계전기가 바라보는 임피던스를 계산하여야 한다.

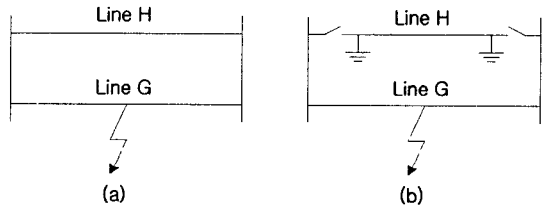


그림 2. 2회선 송전선로에서 (a) 2회선운전 (b) 1회선운전

2.2. 고장계산

그림 3은 각 운전상태에 따라 영상분 임피던스 등가 회로를 나타낸 것이다. 그림 3(b)에서와 같이 1회선만 운전하는 경우에도 상호 임피던스의 영향을 받을 수 있다. 이것은 Line G에서 1선지락사고시 지락전류가 Line H으로도 흐르기 때문이다.

본 논문에서는 선로의 운전상태에 따라 상호임피던스와 고장저항을 고려한 등가회로를 가지고 거리계전기가 바라보는 임피던스를 계산하였다.

2.1.1 2회선 운전시 임피던스 계산

그림 3(a)에서 계전기설치점에서 본 영상분 임피던스를 구하기 위해 Z_{M0} 를 Y회로로 바꾼다.

$$\begin{aligned} Z_{a0} &= m(Z_{L0} - Z_{M0}) \\ Z_{b0} &= Z_{L0} - Z_{M0} \\ Z_{c0} &= (1-m) \cdot (Z_{L0} - Z_{M0}) \end{aligned} \tag{1}$$

을 변환하면

$$\begin{aligned} Z_{A0} &= Z_{a0} + Z_{b0} + Z_{c0} \\ Z_{A0} &= \frac{Z_{a0} \cdot Z_{c0}}{Z_{A0}} \\ Z_{M0} &= \frac{Z_{a0} \cdot Z_{b0}}{Z_{A0}} \end{aligned} \tag{2}$$

$$Z_{a0} = \frac{Z_{bc0} \cdot Z_{ca0}}{Z_{a0}}$$

$$Z_{A0} = Z_{B0} + Z_{a0} + m Z_{M0}$$

$$Z_{B0} = Z_{a0} + Z_{r0} + (1-m) Z_{M0}$$

이 된다.

영상분 임피던스 합은

$$Z_{A0} = Z_{a0} + \frac{Z_{A0} \cdot Z_{B0}}{Z_{A0} + Z_{B0}} \quad (3)$$

와 같이 구해지고 같은 방법으로 정상분과 역상분을 구하면

$$Z_{A1} = Z_{A2} = Z_{a1} + \frac{Z_{A1} \cdot Z_{B1}}{Z_{A1} + Z_{B1}} \quad (4)$$

이 된다. Total squence 임피던스는 식(5)과 같이 된다.

$$Z_T = 2 Z_{A1} + Z_{A0} \quad (5)$$

부하전류는 식(6)로 나타내며 한 회선의 부하전류는 식(7)와 같이 된다.

$$I_{LD-2} = \frac{(1-h e^{-j\theta}) E_s}{\frac{Z_{L1}}{2} + Z_{a1} + Z_{r1}} \quad (6)$$

$$I_{LD-1} = \frac{I_{2LD-2}}{2} \quad (7)$$

사고전 사고점의 전압은 식(8)과 같다.

$$U_{ADF} = E_s - I_{LD-2} \left(Z_{a1} + \frac{m Z_{L1}}{2} \right) \quad (8)$$

1선 지락사고시 영상분, 정상분, 역상분의 고장전류는 동일하며 식(9)로 나타낼 수 있다.

$$I_{F1} = I_{F2} = I_{F0} = \frac{U_{ADF}}{Z_T + 3 R_F} \quad (9)$$

버스A에서 사고점까지 흐르는 영상분 전류 I_{ab0} 는 그림 3(a)에서 보는 것과 같이 I_{F0} 가 임피던스 비에 따라 2번 분배됨을 볼 수 있다.

$$I_{bc0} = C_0 \cdot I_{F0} \quad (10)$$

$$I_{ab0} = D_0 \cdot I_{F0} \quad (11)$$

$$C_0 = \frac{Z_{Bc0}}{Z_{A0} + Z_{B0}} \quad (12)$$

$$D_0 = \frac{(C_0 \cdot Z_{B0}) + Z_{a0}}{m(Z_{L0} - Z_{M0})} \quad (13)$$

같은 방법으로 정상분 전류 I_{ab1} 를 구할수 있다.

$$I_{bc1} = C_1 \cdot I_{F1} \quad (14)$$

$$I_{ab1} = D_1 \cdot I_{F1} \quad (15)$$

$$C_1 = \frac{Z_{Bc1}}{Z_{A1} + Z_{B1}} \quad (16)$$

$$D_1 = \frac{(C_1 \cdot Z_{B1}) + Z_{a1}}{m Z_{L1}} \quad (17)$$

고장전류는 식(18)이 되고 고장전압은 식(19)로 나타낼 수 있다.

$$I_A = I_{LD-1} + 2 I_{ab1} + I_{ab0} \quad (18)$$

$$V_A = 3 I_{F1} R_F + m Z_{L1} (I_{LD-1} + I_{ab1}) + m Z_{L1} I_{ab0} + m Z_{L0} I_{ab0} \quad (19)$$

계전기 설치점에서 계전기가 바라보는 임피던스는 식(20)로 나타낼수 있다.

$$Z_A = \frac{V_A}{I_A + \left(-\frac{Z_{L0} - Z_{L1}}{Z_{L1}} \right) I_{ab0} + \left(-\frac{Z_{M0}}{Z_{L1}} \right) I_{bc0}} \quad (20)$$

I_{bc0} 는 식(11)를 구한 같은 방법으로 구할 수 있다. 식(20)에 식(18)과 식(19)을 대입하면

$$Z_A = \frac{3 R_F + m Z_{L1} \left(X_1 + 2 D_1 + \frac{Z_{L0}}{Z_{L1}} D_0 \right)}{X_1 + 2 D_1 + (1 + K_1) D_0} \quad (21)$$

식(21)를 구할 수 있으며 여기서 X_1 와 K_1 은 다음과 같다.

$$X_1 = \frac{(1-h e^{-j\theta})(Z_T + 3 R_F)}{2 \left(\left(Z_{r1} + \frac{(1-m) Z_{L1}}{2} \right) + h e^{-j\theta} \left(Z_{a1} + \frac{m Z_{L1}}{2} \right) \right)} \quad (22)$$

$$K_1 = \frac{Z_{L0} - Z_{L1}}{Z_{L1}} + \left(-\frac{Z_{M0}}{Z_{L1}} \right) \times \frac{m Z_{r0} - (1-m) Z_{a0}}{(2-m) Z_{r0} + (1-m)(Z_{a0} + Z_{L0} + Z_{M0})} \quad (23)$$

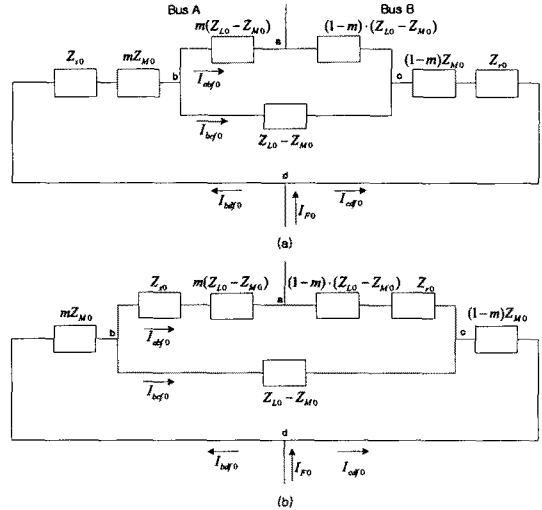


그림 3. 2회선송전선로에서 상호임피던스를 고려한 영상분 임피던스 등가회로 (a)2회선송전 (b)1회선송전

2.1.2 1회선 운전시 임피던스 계산

2회선송전선로에서 1회선운전시 계전기가 바라보는 임피던스 계산은 2회선운전과 동일한 방법으로 계산한다. 그림 3(b)의 등가 회로와 식(20)을 이용하여 구한다.

1회선 송전시 계전기 설치점에서의 계전기가 바라보는 임피던스는 식(24)와 같다.

$$Z_A = \frac{3 R_F + m Z_{L1} \left(X_2 + 2 D_1 + \frac{Z_{L0}}{Z_{L1}} D_0 \right)}{X_2 + 2 D_1 + (1 + K_2) D_0} \quad (24)$$

식 (24)에서

$$X_2 = \frac{(1 - h e^{-j\delta})(Z_T + 3 R_F)}{(Z_{r1} + (1 - m) Z_{L1}) + h e^{-j\delta}(Z_d + m Z_{L1})} \quad (25)$$

$$K_2 = \frac{Z_{L0} - Z_{L1}}{Z_{L1}} + \left(\frac{Z_{M0}}{Z_{L1}} \right) \times \frac{Z_{M0}((1 - m) Z_{d0} - m Z_{r0})}{Z_{L0}((1 - m) Z_{L0} + Z_{r0}) - (1 - m) Z_{M0}^2} \quad (26)$$

이며 Z_T 와 전류비 D_1 , D_0 도 2회선송전과 같은 방법으로 구할 수 있다.

3. 사례연구

3.1. 상호임피던스를 고려한 트립영역

사례연구를 위해 2회선 송전선로는 154KV, 전압차 $h=0.98$, $\delta = 20^\circ$ 각 회선의 선로 임피던스는 같다. 1선 지락사고시 계전기 설치점에서 85%까지를 Zone-1으로 하였다. 고장 저항은 0-200Ω까지 고려하였고 선로거리는 100km이다.

$$\frac{E_r}{E_s} = h \cdot e^{-j \cdot \delta}$$

Equivalent system impedance:

$$Z_{d0} = 1.8712 + j0.0961(\text{ohm})$$

$$Z_{d1} = 0.5334 + j4.1126(\text{ohm})$$

$$Z_{r0} = 2.3598 + j11.6198(\text{ohm})$$

$$Z_{r1} = 0.5929 + j4.9798(\text{ohm})$$

Line impedance:

$$Z_{L0} = 0.2380 + j1.0443(\text{ohm/km})$$

$$Z_{L1} = Z_{L2} = 0.0436 + j0.3445(\text{ohm/km})$$

$$Z_{M0} = 0.1948 + j0.5633(\text{ohm/km})$$

식 (19), (22)을 이용하여 트립영역을 그리면 그림 4와 같다.

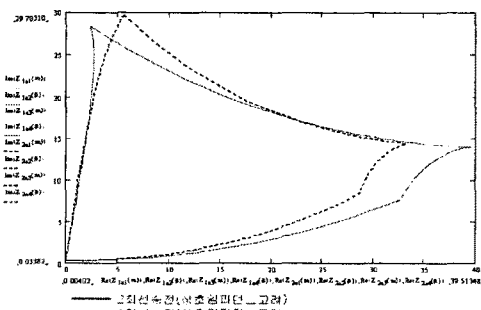


그림 4. 상호임피던스를 고려한 2회선운전과 1회선운의 트립영역 비교

2회선 송전선로에서 2회선운전을 하다가 한 회선을 보수 하거나 사고로 인하여 한 회선이 차단되었을 때에도 1회선만으로도 송전이 가능하다. 그림 4에서 보는 것과 같이 상호임피던스를 고려한 1회선운전과 2회선운전은 계전기가 보는 임피던스값이 다르기 때문에 트립영역이 상이함을 알 수 있다. 그러므로 계전기의 정정시 이를 고려해야 한다.

3.2. 상호임피던스를 고려한 트립영역과 상호임피던스를 고려하지 않은 트립영역의 비교

2회선 송전선로에서 대부분은 상호임피던스를 무시하고 계전기를 정정하고 있다. 상호임피던스를 고려한 경우와 고려하지 않은 경우의 각 운전상태에 따라 트립영역을 그리면 그림 5, 6과 같다.

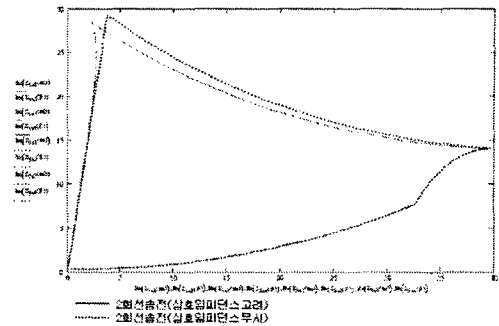


그림 5. 2회선 송전선로에서 2회선운전시의 트립영역

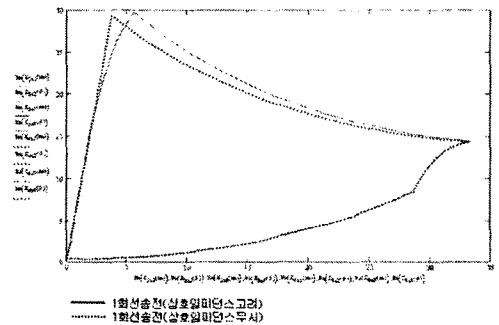


그림 6. 2회선 송전선로에서 1회선운전시의 트립영역

그림 5, 6에서 계전기 선로보호범위 발달에서 고장저항의 변화에 따라 트립영역의 변화를 볼 수 있다.

4. 결 론

거리계전기는 송전선로 보호에 많이 쓰이고 있으며 별도의 통신라인 없이도 단독으로 설치하여 송전선로 보호가 가능하다. 그러나 선로상태와 계통상황을 고려하여 초기 트립영역을 정확히 계산하여 계전기를 정정하여야 하므로 상호 임피던스와 고장저항을 고려하여 정확하게 트립영역을 계산 할 필요가 있다.

본 논문은 2회선 송전선로에서 운전상태에 따른 트립영역의 변화를 보였다. 또한 상호임피던스를 고려한 경우와 고려하지 않은 경우의 트립영역을 각 운전상태 별로 비교해 보았다.

[참 고 문 헌]

- [1] A.G.Jongepier and L.van der Sluis, "Adaptive distance protection of a Double-circuit line", *IEEE Trans. Power Delivery*, Vol. 9, pp. 1289-1295, July 1994.
- [2] Yi Hu, Damir Novosel, Murari M. Saha, "An Adaptive Scheme for Parallel-Line Distance Protection", *IEEE Trans. Power Delivery*, Vol. 17, NO. 1, Jan 2002.
- [3] Y.Q.Xia, K.K.Li, A.K.David, "Adaptive Relay Setting for Stand-alone Digital Distance Protection", *IEEE Trans. Power Delivery*, Vol. 9, NO. 1, Jan 1994.