

디지털 거리계전기의 Zone 설정에 관한 연구

이재규^o, 정창호, 정병태, 안복신, 김석일*
 LG산전 전력연구소 *한국전력

A Study on the Zone Setting of Digital Distance Relay

Jae-Gyu Lee^o, Chang-Ho Jung, Byung-Tae Jung, Bok-Shin Ahn, Sok-Il Kim*
 LGIS Electrotechnology R&D Center, KEPCO*

Abstract - The distance relay is very important for transmission line protection. A quadrilateral zone shape is used mainly for a modern digital distance relay. The shape of quadrilateral is vendor specific. At the stage of design, the shape is determined considering all possible types of faults and diverse configurations of system. Also this type relay must be designed to avoid the operation by a sound phase at single-phase-to-ground fault, by a sound phase at two-phase-to-ground fault. The effect of a source impedance and a load impedance is another important factor to design. In this paper, a reliable zone shape which is appropriate for the KEPCO's transmission system is provided.

1. 서 론

송전선로 보호에서 거리계전기는 매우 중요한 요소이며, 거리계전기의 Zone 설정에는 사변형 특성이 많이 사용되고 있다. 사변형 특성은 선로의 다양한 고장 및 여러 가지 계통조건에 대하여 적절히 동작될 수 있도록 해야 하고, 또한 오부동작이 방지되도록 보호범위가 설정되어야 한다. 사변형 Zone 설정은 1선 지락 또는 2선 지락 고장시 건전상 계전기의 오동작방지, 고저항의 영향, 부하의 영향, 그리고 전원 임피던스 영향 등이 고려되어야 한다. 또한 각 계전기 제작사마다 조금씩 다른 형태의 사변형 특성을 가지고 있으나, 우리나라 전력계통 특성에 적합하도록 설정되었다고 보기 어렵다. 따라서 우리 계통에 적절한 보호특성을 제시할 필요가 있고 보호계전기 개발에 앞서 이에 대한 연구가 선행되어야만 한다.

본 논문에서는 우리 나라 전력계통에서 발생할 수 있는 다양한 고장의 유형 및 계통조건 변화에 따라 동작 신뢰도를 향상시킬 수 있는 거리계전기의 Zone 설정에 대하여 기술하였다.

2. 고장해석

그림 1과 같은 편단전원 병행 2회선 송전선로에서 1선지락 사고시, 정상분 임피던스와 영상분 임피던스의 등가회로는 그림 2와 같다. 그림 2에서 1선지락 사고시, 건전회선과 고장회선 각각에서의 영상분 전류와 정상분 전류는 식 1~ 4와 같다.

$$I_0 = \frac{(1-x)Z_{0L} + (1-x)^2 Z_{0M} + (2-x)Z_{Load}}{(1-x^2)Z_{0L} + (1-x)^2 Z_{0M} + 2Z_{Load}} \times \left(\frac{I_f}{3} \right) \quad (1)$$

$$I_{0M} = x \left[\frac{(1-x)Z_{0L} + Z_{Load}}{(1-x^2)Z_{0L} + (1-x)^2 Z_{0M} + 2Z_{Load}} \right] \times \left(\frac{I_f}{3} \right) \quad (2)$$

$$I_1 = I_2 = \frac{(1-x)Z_{1L} + (2-x)Z_{Load}}{(1-x^2)Z_{1L} + 2Z_{Load}} \times \left(\frac{I_f}{3} \right) \quad (3)$$

$$I_{1M} = I_{2M} = x \left[\frac{(1-x)Z_{1L} + Z_{Load}}{(1-x^2)Z_{1L} + 2Z_{Load}} \right] \times \left(\frac{I_f}{3} \right) \quad (4)$$

병행 2회선 선로에서 건전회선 영상전류를 보상하지 않는 경우, 계전기 설치점에서의 실제 고장전류는 대칭분 고장전류에 부하전류를 더하여 식 5와 같이 구할 수 있고, 계전기가 측정 한 전압은 식 6과 같다.

$$I_{RY} = (I_0 + I_1 + I_2) + I_{LOAD} \quad (5)$$

$$V_{RY} = x \cdot Z_{1L} \cdot (I_{RY} + \frac{Z_{0L} - Z_{1L}}{3Z_{1L}} \cdot 3I_0 + \frac{Z_{0M}}{3Z_{1L}} \cdot 3I_{0M}) \quad (6)$$

여기서, V_{RY} : 계전기가 측정 한 전압
 x : 계전기 설치점에서 고장점까지의 거리
 I_{RY} : 계전기가 측정 한 전류
 I_0, I_1, I_2 : 고장회선의 영상, 정상, 역상전류
 I_{0M}, I_{1M}, I_{2M} : 건전회선의 영상, 정상, 역상전류
 Z_{0L}, Z_{1L} : 선로의 영상, 정상 임피던스

따라서 지락 거리계전기의 임피던스는 식 7과 같다.

$$Z_{RY} = \frac{V_{RY}}{I_{RY} + \frac{Z_{0L} - Z_{1L}}{3Z_{1L}} \cdot 3I_0} \quad (7)$$

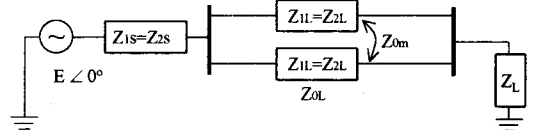


그림 1. 편단전원 병행 2회선 Model계통

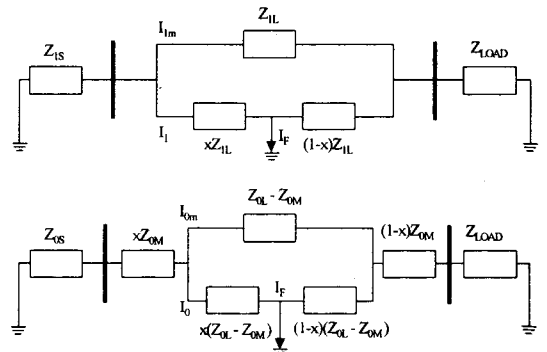


그림 2. 1선지락시 대칭분 등가회로

3. Zone설정을 위한 사례연구

사례연구를 위해 판단전원 병행 2회선의 계통조건은 아래와 같고, 1선 지락과 2선지락의 경우 선로 길이의 0%~100%까지 고장점 위치를 변화시킬 때 계전기 설치점에서 계전기가 본 임피던스 궤적을 나타내었다.

System Parameters

- $Z_{1S} = Z_{2S} = 0.5334 + j4.1126$ (/km)
- $Z_{0S} = 0.1.8712 + j10.0961$
- $Z_{1L} = Z_{2L} = 0.0436 + j0.3445$ (Ω /km)
- $Z_{0L} = 0.2380 + j1.0443$ (Ω /km)
- $Z_{0M} = 0.1948 + j0.5633$ (Ω /km)
- Zone-1 = 75%
- Zone-2 = 150%
- Zone-3 = 250%

3.1 1선 지락시 건전상 계전요소 Overreach방지

지락 거리계전기가 고장점까지의 임피던스를 정확히 측정하기 위하여 식 7과 같이 계전기 측정전류에서 영상전류를 보상하여야 한다. 그러나 직접접지 계통에서는 영상전류가 건전상의 부하전류보다 커서 건전상을 영상보상하면 문제가 없으나, 고장점이 멀어짐에 따라 영상전류가 작아지기 때문에 건전상의 지락 거리계전기가 그림 3과 같이 4상한의 영역에서 Zb가 동작할 수 있어 지락 거리계전기가 Overreach할 수 있다 이러한 현상은 고장점과 지락저항의 변동에 따라 더욱 심하게 나타난다. 여기서 3상한의 Zone-4로 동작된 Zc는 내부방향 우선 회로에 의해 무시되므로 신뢰도에 영향을 주지 않는다. 그러나 그림3에서 4상한의 방향요소 특성각이 30°로 설정되어 있으면 Zb가 Zone-1 영역으로 진입할 수 있으므로 건전상 Zb의 Zone-1동작은 계전기의 Overreach원인이 되기 때문에 4상한에서 건전상 지락계전기가 동작하는 것을 방지하기 위해 4상한의 방향각을 15°로 그림 4와 같이 변경하였다. 따라서 4상한의 방향요소 특성각을 변화시킴으로써 4상한의 Zb에 대한 Zone-1의 오동작을 방지하였다.

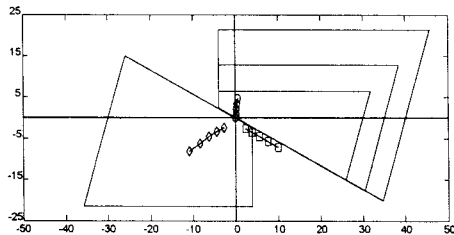


그림 3. 1선 지락시(Ag) 지락 거리계전기의 임피던스 궤적 (방향요소 특성각=30°)
Za, Zab = ○, Zb, Zbc = □, Zc, Zca = ◇

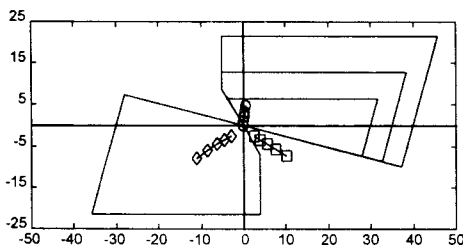


그림 4. 1선 지락시(Ag) 지락 거리계전기의 임피던스 궤적 (방향요소 특성각=15°)

1선 지락고장이 발생하였을 때 단락거리계전기가 보는 임피던스 궤적은 그림 5와 같다. 그림 5에서 무부하에서 A상 지락고장이 발생한 경우 단락요소인 Zab, Zca가 Zone-1의 동작범위로 진입하여 동작할 우려가 있다. 따라서 1선 지락 사고시 단락요소의 동작은 사변형 Zone의 변화로 보호할 수 없으므로 영상전류의 크기가 일정치 이상이면 단락 거리계전기의 출력을 저지하는 것이 필요하다.

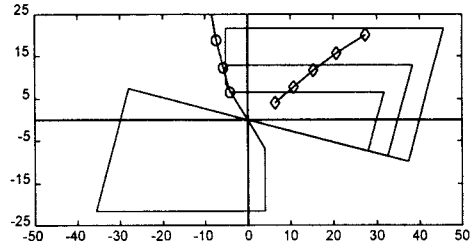


그림 5. 1선 지락시(Ag) 단락 거리계전기 임피던스 궤적

3.2 2선 지락시 진상 Overreach 방지

2선 지락고장의 경우도 1선 지락고장의 고장계산과 마찬가지로 고장계산을 위하여 2선 지락고장시 정상분 임피던스 등가회로와 영상분 임피던스 등가회로에 의해 건전회선과 고장회선 각각의 영상분 전류와 정상분 전류를 구한 다음, 부하전류를 합하여 식 7에 의해 거리계전기가 보는 임피던스를 계산하였다.

그림 6은 2선지락(bc지락)시 지락 거리계전기의 임피던스 궤적을 나타낸 것이다. Zb와 Zc는 단락 거리계전기가 측정하는 임피던스 Zbc보다 작게 되고, 특히 Zb가 Zc보다 작게되어 진상 Overreach가 발생되어 오동작 가능성을 내포하고 있다. 따라서 2선 지락시 지락요소에 의한 오동작 가능성을 제거하기 위해서 정상전류에 대하여 영상전류의 비율이 일정치 이하일 때는 2선 단락 고장으로 판단하여 지락 거리계전기를 저지하는 것이 바람직하다.

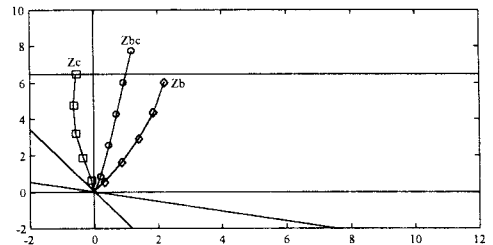


그림 6. 2선 지락시(BCg) 지락 거리계전기 임피던스 궤적

그림 7은 2선 지락고장시(bc지락), 단락 거리계전요소의 임피던스 궤적을 나타내었다. 단락 거리계전요소중 사고상인 Zbc는 정확한 동작이 가능하나, 진상요소인 Zab는 Zone-1으로 동작을 하였고, 지상요소인 Zca는 영상전류의 크기에 따라 차이가 있지만 그림 7에서 2상한의 보호범위를 최소화하였으므로 보호가 가능하나 방향요소 특성각을 30°로 설정한 기존 보호범위로서는 오동작할 가능성이 많다. 그러므로 2상한의 보호범위를 줄여야 하는데 영상전류가 큰 우리계통에서는 2상한의 보호범위를 30° 이내로 하는 것이 바람직할 것 같다. 또한 진상인 Zab의 경우는 2선 지락시 계전기의 Overreach를 일으킬 수 있는 요인이 될 수 있으므로 단락 우선 트

림회로를 채택하는 것이 바람직하다.

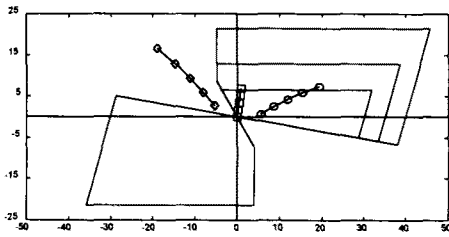


그림 7. 2선 지락시(BCg) 단락 거리계전기 임피던스케적

3.3 지락저항의 영향

그림 8은 75%, 100%에서 1선 지락시 Rf가 100Ω까지 변한 경우의 계전기가 보는 지락요소 임피던스이다. 가까운 지점의 사고일수록 R축 Overreach가 심하며 고저항지락일수록 리액턴스에 상당한 오차가 발생하기 때문에 jX축의 각을 조정할 수 있도록 Zone이 설정되어야 한다. 또한 건전상 지상(Zb)에 의한 영향으로 계전기가 Overreach할 수 있다. 즉 Z2, Z3의 사고에 대해 건전상 지상 지락요소에 의해 Z1 동작이 우려되므로 4상한의 방향각을 줄일 필요가 있다. 편단전원 2회선 송전선로에서 건전회선의 영상전류를 보상하지 않을 경우 최대 25%까지 계전기가 Overreach할 수 있음을 알 수 있다.

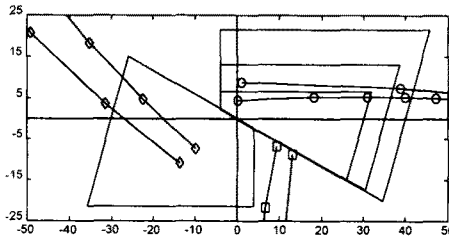


그림 8. 고저항 변화에 따른 지락계전기 임피던스케적

3.3 Source Impedance의 영향

그림 9는 75%지점에서 1선 지락고장이 발생한 경우, Source Impedance를 1~5배까지 변화시켰을 때 지락거리계전기의 임피던스케적이다. Source Impedance는 jX축의 각에 약간의 영향을 미친다. 따라서 거리계전기 jX축의 각을 조정시 Source Impedance를 고려하여 조정하여야 한다.

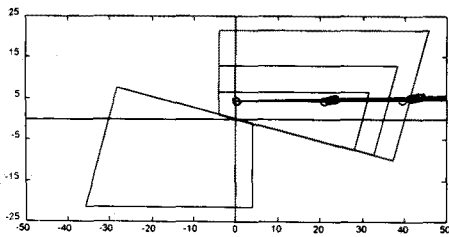


그림 9. Source impedance변화에 지락계전기 임피던스케적

3.5 부하의 영향

계통에서 부하는 상시 변동될 수 있다. 따라서 계전기가 측정하는 전류에는 부하전류가 포함되어 있어 부하에 따라 계전기가 측정하는 임피던스에 영향을 미친다. 그림 10은 부하가 1~3배까지 증가한 경우 계전기가 보는

지락요소 임피던스이다. 그림에서 부하가 증가할수록 R축의 오차보다 jX축의 오차가 많이 발생하여 계전기가 부하에 따라 고저항 사고시 쉽게 Underreach, 및 Overreach할 수 있다. 따라서 평상시 부하각을 고려하여 jX축의 각을 조정할 필요가 있다.

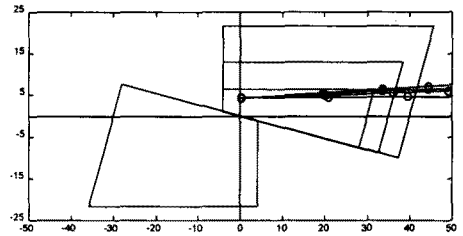


그림 10 부하변동에 따른 지락 거리계전기

4. 결론

송전선로 보호에서 디지털 거리계전기의 Zone설정에는 사변형 특성이 많이 사용되고 있다. 사변형 Zone을 설정할 때 방향요소 특성각 1선 지락시 건전상 지상 지락요소의 오동작과 고저항 사고시 지상요소의 Overreach를 방지하기 위하여 15°로 조정하는 것이 바람직하다. 2상한의 각은 2선 지락시, 영상전류의 크기에 따라 단락 거리계전기의 건전상 지상 단락요소가 오동작할 우려가 있으므로 30°로 조정하는 것이 바람직하다. 마지막으로 jX축의 각은 전원 임피던스의 영향은 작으나 고저항과 부하의 변동에 따라 리액턴스의 오차가 심하고, 또한 계통상태의 영향을 많이 받으므로 어떤 값으로 설정하기가 어렵다. 따라서 jX축의 각은 계통상태에 따라 적절히 사용자가 조정할 수 있도록 하거나 평상시 전력조류를 판단하여 Adaptive하게 계통조건에 따라 조정치를 변경하도록 하는 것이 보다 바람직할 것으로 사료된다. 또한 부하와 Source Impedance 그리고 지락저항의 영향은 양단전원계통과 수전중, 송전중 사고 등 다양한 계통조건에서의 검토를 향후 실시할 예정이다.

본 논문에서는 계통의 다양한 고장유형과 계통조건 변화에 따라 거리계전기의 동작특성을 분석하여, 거리계전기의 신뢰도를 향상시킬 수 있는 사변형 거리계전기의 Zone을 제시하였다.

[참고 문헌]

- (1) J. Lewis Blackburn, "Protective Relaying Principle and application", 2nd edition, Marcel Dekker INC, 1998.
- (2) E. B. Davison, B.S.c and Wright, Ph D, M.Sc, Associate Members, "Some factors affecting the accuracy of distance-type protective equipment under earth-fault conditions", PROC. IEE, pp1678-1688.
- (3) A. G. Jongepier, L. van der Sluis, "Adaptive Distance Protection of a Double-Circuit Line", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 12, No 1, July 1994 pp. 1289~1297
- (4) 關根泰次, "電力系統 過渡解析論", 오-ム社, 1983.
- (5) CIGRE, "Application Guide on Protection of Complex Transmissions Network Configurations", 1992.
- (6) Stanley H. Horowitz, "Power System Relaying second edition.", Research studies press LTD, 1995.