

고장저항의 영향을 최소화한 거리계전기법

안용진, 강상희  
명지대학교

A Digital Distance Relaying Algorithm Immune to Fault Resistance

Yong-Jin Ahn, Sang-Hee Kang  
Myongji University

**Abstract** - A digital distance relaying algorithm immune to the effect of the fault resistance in single-phase to ground fault is proposed. The power frequency components of relaying signals are extracted by the 1 cycle DFT. To compensate the magnitude and phase of the estimated impedance, which is calculated by the general method, this algorithm uses phase difference between the zero sequence impedance of networks on both sided of the system.

1. 서 론

전력계통에 고장 발생이 발생하면 보호계전기가 동작하여 계통을 보호한다. 지락고장시 계통의 고장점에 고장저항이 개입하면 고장저항의 영향으로 고장시 임피던스의 크기와 위상이 건전시 선로의 저항과 리액턴스에 의해 계산되는 임피던스와 차이를 갖는다. 이 때문에 계전기의 트립구간임에도 불구하고 트립을 내지 못하는 경우가 있다.

이러한 단점을 보완하고자 계전기의 트립구간을 넓히는 방식이 주로 사용되고 있다. 하지만 트립구간을 넓히는 방식은 계전기의 오동작을 유발할 우려가 있기에, 본 논문에서는 계통에 지락고장이 발생하면 영상분 전류를 보상한다는 점을 이용하여, 상대단의 영상 임피던스 정보를 미리 계산한 후에 그 정보를 가지고, 계전기 설치점의 전압과 전류를 이용하여 고장저항으로 트립구간을 벗어나는 임피던스의 크기와 위상을 보상하는 보상방법을 사용하여 고장점에 고장저항이 개입하여도 고장저항의 영향을 최소화하는 알고리즘을 제안하였다.

이렇게 건전시 선로의 저항, 리액턴스 정보와 계통의 고장시 영상분의 정보를 이용하여 고장 저항의 영향을 최소화할 수 있는 크기와 위상을 보상함으로써 계전기의 트립구간을 넓힘으로 생기는 단점을 극복하고자 하였다.

2. 본 론

2.1 고장저항의 영향(1)

지락고장의 경우 고장저항이 계전기의 동작에 부정적인 영향을 미친다.

그림 1에 보여진 전력계통의 선로 a상에 고장저항

$R_g$ 가 개입되어 F점이 지락고장이 된 경우에 L점에서 측정되는 a상의 임피던스는,

$$Z_m = \frac{V_A}{I_A + K \cdot I_{0L}} = Z_{1L} + Z_R$$

$$= Z_{1L} + \left| \frac{3 \cdot I_{0F}}{I_A + K \cdot I_{0L}} \right| \cdot R_g \cdot e^{\left| \frac{j \cdot I_{0F}}{I_A + K \cdot I_{0L}} \right|} \quad (1)$$

$V_A, I_A, I_{0L}$ 은 L점에서 측정할 수 있고,

$K = (Z_{0L} - Z_{1L}) / Z_{1L}$ 은 주어진다.

선로 LM의 Zone1 경계부근 고장의 경우에 그림 2에 보여진 것처럼 고장저항  $R_g$ 의 영향으로 임피던스  $Z_R$ 이 증가한다. 따라서 계전기의 트립구간임에도 불구하고 계전기가 동작을 하지 않게 된다.

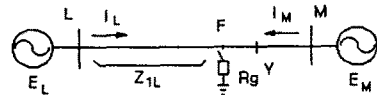


그림 1. 전력계통

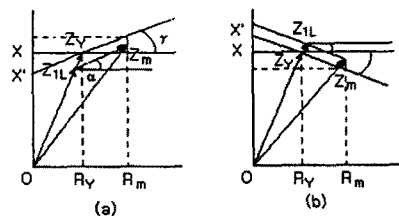


그림 2. 계전기 특성과  $Z_m$ 의 관계

$Z_y$ 는 선로 LM의 셋팅 임피던스이다.

2.2 보상 알고리즘

만약 임피던스 계전기의 동작 경계점이 셋팅 임피던스  $Z_y$ 를 중심으로  $\alpha$ 로 회전한다면 계전기의 보호구간을 넓히거나  $Z_m$ 을 Zone1의 보호구간 이내로 보상시켜야 한다.

선로에 지락고장이 발생하면  $I_{0F}$ 는 측정할 수 없으므로

로,  $I_{0F}$  대신에  $\alpha$ 를 보상하여  $I_{0L}$ 를 이용한다.

$$\alpha = \text{Arg} \frac{I_{0F}}{I_A + K \cdot I_{0L}}$$

$$= \text{Arg} \frac{I_{0L}}{I_A + K \cdot I_{0L}} + \text{Arg}(\theta) \quad (2)$$

$\theta$ 는 고장점 F에 의하여 분리되는 계통의 영상 등가 임피던스의 위상차이다.  $\theta$ 는 선로 LM의 고장 위치에 따라 다르지만 Zone1의 경계선 Y에서  $\theta$ 는 계통의 대부분의 동작조건에서 매우 작게 변화하고 미리 계산할 수 있다.

$\theta_y$ 에 의해서 식 (2)을 다시 표현하면,

$$\beta = \text{Arg}[I_{0L}/(I_A + K \cdot I_{0L})] = \alpha - \theta \quad (3)$$

로 가정하면,

$$\gamma = \text{Arg}[I_{0L}/(I_A + K \cdot I_{0L}) + \text{Arg}(\theta_y)]$$

$$= \beta + \theta_y \quad (4)$$

일반적으로,

$$\gamma - \alpha = \theta_y - \theta \quad (5)$$

Y점 부근에서 고장이 발생하면,  $\theta$ 는  $\theta_y$ 에 근사하다. 또한  $\gamma$ 는  $\alpha$ 에 근사하다.

그러므로  $\alpha$ 를 이용하여 고장점의 R, X를 계산할 수 있다.

그림 2에서,

$$X2 = X1 \pm R1 \cdot \tan \alpha \quad (6)$$

$$R0 = \frac{X2}{L/R - (X1 - X2)/R1} \quad (7)$$

$$X0 = L/R \cdot R0 \quad (8)$$

여기서,

R : 선로의 저항 [ $\Omega$ /km]

L : 선로의 인덕턴스 [mH/km]

R1 : 측정된 선로의 저항 [ $\Omega$ /km]

L1 : 측정된 선로의 인덕턴스 [mH/km]

R0 : 고장점까지의 선로 저항 [ $\Omega$ /km]

X0 : 고장점까지의 선로 인덕턴스 [mH/km]

따라서, 직선 O -  $Z_y$ 와  $Z_m$  - X2의 교점을 이용하여 고장점의 R0, X0를 구할 수 있다.

이는 고장 저항으로 변환된 임피던스의 크기와 위상 모두를 보정하는 효과를 갖는다.

### 2.3 사례연구

본 논문에서 제시한 보상 알고리즘의 타당성을 검증하기 위하여 그림 3에 나타난 4모선의 154[kV]급 송전 계통에서 EMTP를 이용하여 고장데이터를 생성하였다. 고장 데이터는 선로 길이가 100[km]인 송전선에서 전압 위상각 0도인 경우와 90도인 경우에  $\alpha$ 상 지락사고를 고장점(0[km], 30[km], 50[km], 80[km])을 변화시키면서 모의한 경우와 고장지점 50[km] 지점에서 고장저항(10[ $\Omega$ ], 20[ $\Omega$ ], 30[ $\Omega$ ], 40[ $\Omega$ ])을 변화시켜 모의한 경우이다.

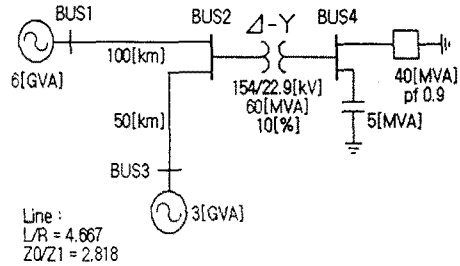


그림 3. 모의 계통

R과 X값은 전압과 전류신호에 포함된 직류성분을 제거하기 위해 식 (9)와 같이 감쇠 특성을 고려한 2샘플 FIR 필터를 사용한 후[3], 한 주기 DFT(1 Cycle Discrete Fourier Transform) 알고리즘을 사용하여 계산하였다.

$$y_k = x_k - \frac{x_{k-1}}{\exp(\Delta t / \tau)} \quad (9)$$

$\Delta t$  : 샘플링 간격  $\tau$  : 시정수

먼저 R과 X값의 계산에 사용한 알고리즘의 계산 오차를 확인하고, 저항이 일정할 때 거리에 따른 R과 X, 거리가 일정할 때 저항의 변화에 따른 R과 X의 계산 오차를  $\alpha$  보상후의 계산 오차와 비교하는 방식으로 R과 X의 계산 오차를 비교해 보았다.

고장저항이 없을 때 R과 X의 임피던스 계산 알고리즘의 오차는 표 1에서 보듯이 R은 5[%]이내에서 계산되고, X는 선로 데이터 값에 가깝게 계산됨을 알 수 있다.

거리	R[%]	X[%]
10[km]	5.0	0.3
30[km]	5.0	0.3
50[km]	5.0	0.2
80[km]	5.0	0.1

표 1. 고장저항이 없을 때 R, X 계산오차

표 2는 고장저항 30[ $\Omega$ ]인 경우에 R과 X의 계산오차를 나타낸 것으로 R과 X값이 부정확하게 계산되어 실제의 선로 데이터와 커다란 차이를 보이고 있다. 이는 고장저항이 개입하면 임피던스가 상당히 부정확하게 계산되어짐을 나타낸다.

거리	R[%]	X[%]
10[km]	35	6
30[km]	31	7
50[km]	13	8
80[km]	7	10

표 2. 고장저항 30[ $\Omega$ ]인 경우의 R, X 계산오차

표 3은 고장저항 30[Ω]인 경우에  $\alpha$  보상후에 거리별 R오차를 나타낸 것으로과 X의 계전기 근접고장인 경우는 오차가 5[%]이내, 말단인 경우는 오차 1[%] 이내로 R과 X값이 계산됨을 알 수 있는데, R과 X의 오차가 같은 것은 이는 크기와  $\alpha$  보상을 두 직선(O-Z<sub>v</sub>와 Z<sub>m</sub>-X<sub>2</sub>)의 교점을 구했기에 같은 비율을 나타내었다.

거리	R[%]	X[%]
10[km]	5	5
30[km]	2	2
50[km]	1	1
80[km]	0.7	0.7

표 3. 고장저항 30[Ω]인 경우 R, X 계산오차 (Z<sub>m</sub>,  $\alpha$  보상)

계전기 설치점 L에서 50[km] 지점에서 고장저항을 변화시킨 경우에 R과 X의 오차는 저항이 증가함에 따라 정확도가 낮아지는 경향을 보임을 표 4에서 알 수 있다.

저항	R[%]	X[%]
10[Ω]	6.0	3.0
20[Ω]	11.0	6.0
30[Ω]	13.0	8.0
40[Ω]	17.0	10.0

표 4. 50[km]지점의 고장시 R, X 계산오차

표 5는 계전기 설치점 L에서 50[km] 지점에 고장저항을 변화시킨 경우  $\alpha$  보상후의 R과 X의 오차를 나타낸 것으로 모든 경우에 있어서 1[%]이내의 아주 정확한 R과 X를 계산함을 알 수 있다.

저항	R[%]	X[%]
10[Ω]	0.3	0.3
20[Ω]	0.7	0.7
30[Ω]	1.0	1.0
40[Ω]	1.0	1.0

표 5. 50[km]지점의 고장시 R, X 계산오차 (Z<sub>m</sub>,  $\alpha$  보상)

그림 4와 그림 5는 계전기 설치점에서 50[km] 지점의 고장시 리액턴스의 오차를 나타낸 것으로  $\alpha$ 를 보상해 줌으로써 R은 물론이고, X 성분의 오차가 현저하게 감소했음을 확인할 수 있다.

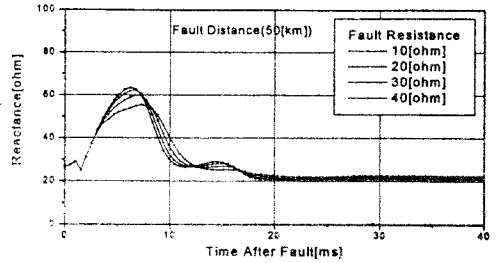


그림 4. 50[km]지점의 고장시 X

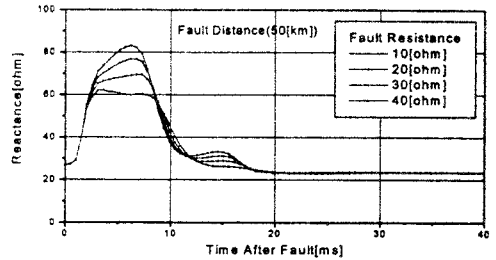


그림 5. 50[km]지점의 고장시 X (Z<sub>m</sub>,  $\alpha$  보상)

### 3. 결 론

전력계통의 고장시 고장저항의 영향으로 계전기가 부동작하는 것을 방지하기 위하여 보통 R의 트립구간을 넓히거나 X의 기울기를 조정하는 방식을 사용한다.

본 논문에서는 고장 저항의 영향을 최소화한 임피던스의 크기 및 위상을 보상하는 거리계전기법을 제안하였다. 사례 연구 결과, 트립구간은 그대로 사용하고 고장저항으로 인하여 영향받는 R과 X를 미리 계산된 상대단의 영상분 임피던스 정보와 자기단의 영상전류를 이용하여 임피던스의 크기와 위상을 보상 알고리즘 방식은 계통의 고장이후 한 주기 정도에 작은 오차 범위 내에서 R, X값을 구함으로써 고장저항에 따른 영향을 최소화하였다.

### (참 고 문 헌)

- [1] Zhang Zhizhe, Chen Deshu, "An Adaptive Approach in Digital Distance Protection", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol.6, No.1, January 1991, pp.136-137
- [2] W.D.Breingan, M.M. Chen, T.F. Gallen, "The Laboratory Investigation of a Digital System for the Protection of Transmission Lines.", IEEE Trans. pas, Vol Pas-98, pp.350-357./mar./Apr.1979
- [3] Sang-Hee Kang, Jong-Keun Park, Nam-Ho Kim, "A New Digital Distance Relaying Based on the Fast Harr Transformation Using Half Cycle Offset Free Signals", Trans. of the IEE of Japan, Pt.B, Vol.114, No.6, 1994, pp. 601-608