

송전선로에 있어서 Mutual Coupling을 고려한 디지털 거리계전기의 신뢰도 향상

최석민^o 이재규^{**} 유석구^{*}

* 한양대학교 **LG산전

An Improvement of Digital Distance Relay Reliability considering Mutual Coupling in Transmission Lines

Ch'oi Seok-min^o Lee Jae-gyu^{**} You Seok-ku^{*}

*Han-Yang Univ. **LGIS

Abstract - In this paper, the digital distance relay of transmission lines under fault conditions is discussed. Distance relay is used to protect transmission lines. The principle of distance relay is well-known ; the impedance measured by a relay is proportional to the distance from the relay to the fault. Hence, by measuring the impedance, it can be determined whether the line is faulted or not. Unfortunately, the measurement of the fault distance is distorted by Mutual Coupling. To implement more reliable and practical digital distance relay, the mutual coupling effect has to be considered.

2. 상호작용(Mutual Coupling)

송전선로에서 상호작용을 해석하는데 있어서, 정상, 역상의 상호 임피던스는 자기 임피던스의 3-5% 정도로 상대적으로 값이 작으므로 무시할 수 있다. 하지만 영상의 상호임피던스는 각상이 동상이고 크기도 같아서 자기 임피던스의 70%정도 되므로 무시할 수 없다[1]. 본 논문에서는 154kV 송전선 ACSR 636MCM(322²)의 데이터 값을 사용하였다.

1. 서 론

송전선로 보호에 있어서, 마이크로 프로세서를 이용한 디지털 계전기가 실용화되면서 종래의 아날로그 보호계전 장치로는 이를 수 없었던 다양하고 복잡한 기술을 구현하고 있다. 송전선로 보호 방식중 가장 널리 쓰이고 있는 거리계전기는 전압변성기와 변류기를 통하여 들어온 전압과 전류의 비가 미리 설정된 정정치 임피던스보다 작으면 동작하는 계전기이다. 거리계전기는 건전상태와 고장상태의 식별능력이 높고, 고장전류의 크기에 관계없이 거리측정 능력이 일정한 장점이 있다. 그러나, 실제 송전선로의 사고시 자회선과 타회선의 상호작용(Mutual Coupling)에 의하여 계전기 설치점에서 본 임피던스가 변하는 결과를 가져온다. 즉, 계전기 설치점에서 측정된 임피던스의 크기가 실제 고장점까지의 임피던스보다 더 크게 보이거나(Under-reach), 작게 보이는(Over-reach) 결과를 가져와 거리계전기의 심각한 오동작을 일으킨다. 따라서, 이러한 문제점을 규명하여야만 보다 신뢰성이 있고, 실용적으로 적용 가능한 거리계전기를 구현할 수 있다.

본 논문에서는 병행2회선 송전선로에서 지락사고시 상호작용에 의해 임피던스가 변하는 원인을 규명하고, 타단사고시 타회선 영상전류를 보상함으로써 생기는 오버리치현상에 대한 대책을 제시하고 검증함으로써 보다 정확하고 우수한 신뢰성을 가진 디지털 거리계전기를 구현하고자한다.

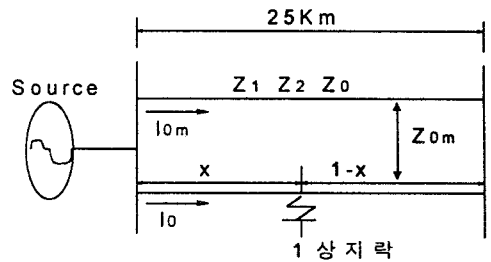


그림 1 병행 2회선 송전선로

그림 1과 같은 병행2회선 송전선로에 1상지락사고가 발생하면 그림2와 같은 대칭성분으로 나타낼 수 있다[1].

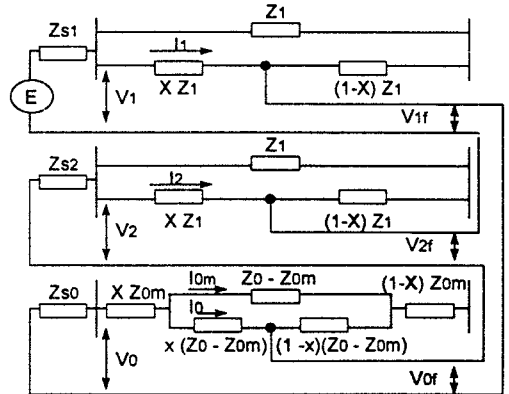


그림 2 병행2회선 송전선로에서 a상 지락시 Sequence diagram

그림 2에서 고장점의 정상, 역상, 영상전압은 다음 식

(1)과 같다.

$$\begin{aligned} V_{I1} &= V_1 - xZ_1 \cdot I_1 \\ V_{21} &= V_2 - xZ_1 \cdot I_2 \\ V_{01} &= V_0 - xZ_{0m} \cdot (I_{0m} + I_0) - x(Z_0 - Z_{0m}) \cdot I_0 \\ &= V_0 - xZ_0 \cdot I_0 - xZ_{0m} \cdot I_{0m} \end{aligned} \quad (1)$$

완전지락시, 고장점 전압은 0이므로, 다음 식(2)와 같다.

$$\begin{aligned} V_{af} &= V_{I1} + V_{21} + V_{01} \\ &= (V_1 + V_2 + V_0) - xZ_1(I_1 + I_2 + I_0) \\ &\quad - x(Z_0 - Z_1)I_0 - xZ_{0m}I_{0m} = 0 \end{aligned} \quad (2)$$

또한, 계전기에서의 측정전압 $V_R = V_0 + V_1 + V_2$ 이고, 측정전류 $I_R = I_0 + I_1 + I_2$ 므로 식(3)처럼 나타내었다

$$\begin{aligned} V_R &= xZ_1(I_1 + I_2 + I_0) + x(Z_0 - Z_1)I_0 + xZ_{0m}I_{0m} \\ &= xZ_1 \left[I_R + \frac{Z_0 - Z_1}{Z_1} I_0 + \frac{Z_{0m}}{Z_1} I_{0m} \right] \end{aligned} \quad (3)$$

병행2회선 송전계통에서 1선지락 사고가 발생하면, 계전기 설치점전압은 $xZ_1 \times \{ ((Z_0 - Z_1) / Z_1) \times I_0 + (Z_{0m} / Z_1) \times I_{0m} \}$ 만큼 커지므로, 고장거리를 정확히 측정하기 위하여, 상기전압에 상당하는 전류를 보상해 주어야 한다. 보상할 전류 I 는 다음 식(4)와 같다.

$$I = I_R + m I_0 + m' I_{0m} \quad (4)$$

여기서, $m = \frac{Z_0 - Z_1}{Z_1} \rightarrow$ 자회선 보상계수
 $m' = \frac{Z_{0m}}{Z_1} \rightarrow$ 타회선 보상계수

3. 시뮬레이션 및 고찰

본 논문에서는 전력계통 과도현상 해석 프로그램인 EMTDC(Electro-magnetic Transient DC)를 이용하여, 154kV 단거리(25km) 병행2회선 송전선로에서 정상상태와 고장상태의 전압 및 전류데이터를 거리계전 알고리즘에 적용하였다.

병행2회선 송전선로에서 상호작용의 영향을 규명하기 위해 송전선로(25km)의 각각 5%, 10%, 30%, 50%, 70%, 75%, 80%, 85%지점에 1상 지락사고를 내어 계전기의 동작 여부와 특성 등을 알아보았다. 1상 지락사고시, Sequence Diagram을 이용한 고장 계산결과와 EMTDC의 데이터를 이용한 계전기의 계산결과는 표1,2에서도 알 수 있듯이 고장계산 전류와 계전기 측정전류는 거의 같다. 그러나, 전압의 경우, 계전기가 측정한 전압이 Sequence Diagram을 이용한 계산에서의 전압보다 높음을 알 수 있다. 따라서, 이때 계산된 측정임피던스는 실제 임피던스보다 커보이는 현상(Under-reach)이 일어난다. 이 현상은 지락고장이 났을 때, 선로의 영상전류에 의한 자회선의 상호작용 때문에 1회선 선로에서는 $x(Z_0 - Z_1)I_0$ 만큼, 자회선과 타회선의 상호작용 때문에 병행2회선 선로에서는 $x(Z_0 - Z_1)I_0 + xZ_{0m}I_{0m}$ 만큼의 전압상승이 더 일어났기 때문이다. 따라서, 계전기가 임피던스값을 정확하게 측정할 수 없게 되므로, 정확한 임피던스 측정을 위해 전압상승분 만큼 전류를 보상해 주어야 한다. 본 논문에서는 ACSR 636MCM(322[□])의 데이터를 이용하여, 자회선 보상계수(m)를 0.6057-j0.0182로 하여

고, 타회선 보상계수(m')를 0.5057-j0.0397로 하여 전류에 보상하여 Sequence diagram 계산 결과와 Simulation 계산 결과가 일치함을 알 수 있었다.

그림 3에 병행2회선 송전선로에서 1상지락사고시, 상호작용을 고려하여 보상한 후의 고장 측정거리를 나타내었다.

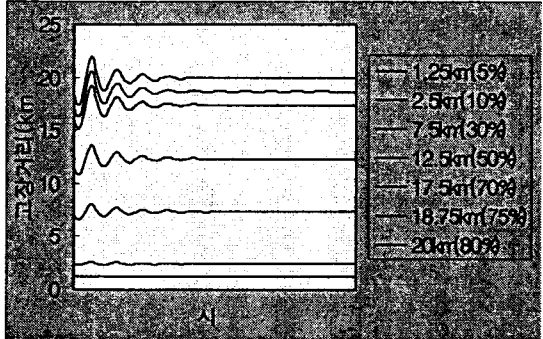


그림 3 병행2회선 1상지락시 고장거리 측정 (자단사고시)

병행2회선에서 1상 지락시, 고장상 회선에 대해서는 자회선보상과 타회선보상을 계전기 측정전류에 보상해 주므로써, 정확한 거리측정을 할 수 있다. 그러나, 고장이 나지 않은 회선에 대해서도 타회선보상을 해주면 고장회선이 아닌데도 고장회선으로 오판하는 경우가 생긴다. 그 이유는 건전상 영상전류에 비해 고장상 영상전류는 매우 크므로, 타회선 보상을 해주면, 너무 많은 값이 보상되어 임피던스를 실제 임피던스보다 작게 측정해 고장으로 판단하는 경우가 있다. 따라서, 건전상인지 고장상인지 판단할 수 있는 기준을 찾아야 한다.

본 논문에서는 자회선 영상전류와 타회선 영상전류의 관계에서 기준을 정했다. 자단사고시 타단의 영상전류는 상대적으로 작으므로, 자회선 영상전류 대 타회선 영상전류비(I_0 / I_{0m})가 1보다 크다. 특히, 지근단 사고시에는 비가 20이상이 된다. 반면, 타단의 경우 자회선 영상전류보다 타회선 영상전류가 커서 영상전류비(I_0 / I_{0m})는 1보다 작은 값이 된다.

지락 계전기의 Zone 1의 정정을 선로의 80%지점으로 한다고 하면, 타단의 80%지점에서의 자회선 영상전류와 타회선 영상전류의 비(I_0 / I_{0m})가 0.65이므로, 이 비보다 클 때만 타회선 보상계수를 보상해주었다.

그림4,5은 병행2회선 타단 a상 지락사고시, 기준설정 전과 후의 고장거리 측정을 나타내었다.

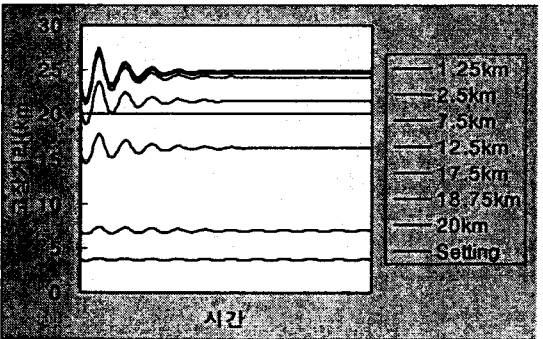


그림 4 병행2회선 타단사고시 F.L. (기준설정 전)

표 1 병행2회선 선로에서의 Sequence Diagram을 이용한 a상지락 고장계산

거리(kM)	1.25 (5%)	2.5 (10%)	7.5 (30%)	12.5 (50%)	17.5 (70%)	18.75 (75%)	20 (80%)	21.25 (85%)
고장전압 kV	5.703 ∠ -0.350	10.104 ∠ 0.199	20.605 ∠ 1.991	25.510 ∠ 3.548	27.167 ∠ 5.145	25.8737 ∠ 2.567	26.91 ∠ -0.262	25.6311 ∠ 5.838
고장전류 kA	9.556 ∠ -78.18	8.465 ∠ -77.63	5.754 ∠ -75.84	4.274 ∠ -74.69	3.251 ∠ -72.69	3.0137 ∠ -74.74	2.818 ∠ -78.09	2.6342 ∠ -73.34
임피던스 Ω	0.1258+j0.583	0.2515+j1.166	0.754+j3.5003	1.257-j5.8338	1.760+j18.167	1.8863+j8.3756	2.012+ j9.334	2.1378+j9.4924

표 2 병행2회선에서의 a상 지락사고시 계전기 측정값

거리(kM)	1.25 (5%)	2.5 (10%)	7.5 (30%)	12.5 (50%)	17.5 (70%)	18.75 (75%)	20 (80%)	21.25 (85%)
계전기 전압kV	8.844 ∠ -5.653	15.833 ∠ -4.71	33.529 ∠ -3.48	42.98 ∠ -3.016	48.629 ∠ -2.82	49.673 ∠ -2.81	50.602 ∠ -2.80	51.431 ∠ -2.812
계전기 전류kA	9.485 ∠ -81.01	8.445 ∠ -80.53	5.756 ∠ -78.90	4.233 ∠ -77.60	3.234 ∠ -76.43	3.032 ∠ -76.13	2.846 ∠ -75.85	2.671 ∠ -75.564
보상 안함	Z 0.2357+j0.902	0.459+j1.8177	1.466+j5.6368	2.697+j19.787	4.243+j14.425	4.700+j15.690	5.183+j17.007	5.704+j18.3846
자회선 보상	F.L. 1.9330(km)	3.8947(km)	12.0780(km)	20.9713(km)	30.9091(km)	33.6193(km)	36.4425(km)	39.3927(km)
자회선 보상	Z 0.1324+j0.568	0.255+j1.1468	0.791+j3.5704	1.414+j6.2539	2.156+j9.3023	2.376+j10.146	2.585+j11.030	2.817+j11.9608
자회선 보상	F.L. 1.2184(km)	2.4572(km)	7.6632(km)	13.4003(km)	19.9321(km)	21.7418(km)	23.6349(km)	25.6284(km)
타회선 보상	Z 0.1248+j0.568	0.236+j1.1381	0.682+j3.4301	1.129+j5.7497	1.571+j8.1057	1.683+j8.7032	1.792+j9.3022	1.9061+j9.9050
타회선 보상	F.L. 1.2185(km)	2.4387(km)	7.3496(km)	12.3198(km)	17.3681(km)	18.6485(km)	19.9319(km)	21.2234(km)

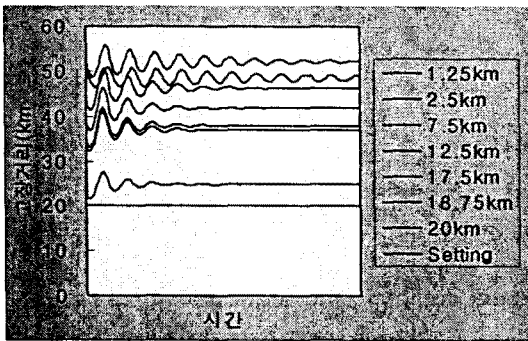


그림 5 병행2회선 타단사고시 F.L. (기준설정 후)

그리고, 이 비(0.65)값이 타당한지를 알아보기 위해 동일도체(ACSR636MCM(322[□]))에 대해 송전선로 거리를 각각 15km, 20km, 30km와 같이 다르게 해서 시뮬레이션 해보고, 동일 거리에(25km)에 대해서도 도체의 종류를 각각 ACSR397.5MCM(201[□]), ACSR477MCM (240[□]), ACSR556.5MCM(280[□])등과 같이 다르게 시뮬레이션 해보았다. 시뮬레이션 결과 역시 같은 값을 얻었고, 그 결과를 표3,4에 나타내었다.

표 3 송전선로의 거리에 따른 타단사고시 영상전류의 비

비율	거리	15km	20km	25km	30km
75%		0.5901	0.5883	0.5863	0.5842
80%		0.6577	0.6560	0.6541	0.6525
85%		0.7317	0.7303	0.7285	0.7283

표 4 도체의 종류에 따른 타단사고시 영상전류의 비

비율	종류	ACSR 397.5 MCM (201-)	ACSR 477 MCM (240-)	ACSR 556.5 MCM (280-)
75%		0.5824	0.5857	0.5838
80%		0.6507	0.6536	0.6521
85%		0.7256	0.7281	0.7265

4. 결 론

송전선로 보호 방식중 가장 널리 쓰이는 디지털 거리 계전기의 신뢰도를 향상시키기 위하여, 병행2회선에서 1상 지락 고장을 발생시켜 계전기의 동작특성을 알아보았다. 지락사고시 임피던스의 측정오차는 영상전류에 의한 선로간의 상호작용 때문에 계전기 측정전압이 상승하였으므로, 자회선 및 타회선 선로에 그 전압상승분 만큼 전류를 보상함으로써 정확한 거리측정을 할 수 있다. 그리고, 병행2회선 선로에서 타단사고시 타회선 영상전류를 보상함으로써 생기는 오버리치현상을 막기위한 판단 기준이 있어야 하는데, 본 논문에서는 자회선 영상전류와 타회선 영상전류의 비($I_o / I_{om} = 0.65$)로 판단기준을 제시하고 그 값이 타당한지를 검증하였다.

이 논문은 1997년 한양대학교의 교내연구비에 의하여 지원되었습니다.

[참 고 문 헌]

- [1] CIGRE, "Application Guide on Protection of Complex Transmissions Network Configurations"
- [2] Stanley. H. Horowitz, "Power System Relaying", p106-164. Research Study Press
- [3] The Electricity Training Association, "Power System Protection" Vol1-4 Short Run Press Ltd. Exter
- [4] J. Lewis Blackburn "Protective Relaying principle and applications" Marcel Dekker, Inc
- [5] Arun G. phadke "Computer relaying for power systems" John wiley & Sons INC