

평가함수를 이용한 새로운 송전선로 고장점 추정법

설 용 태
호서대학교 전기공학과

A New Fault Location Technique by Criterion Function

YONG-THE SUL
Dept. of Electrical Eng. Ho Seo Univ

Abstract

This paper presents a new method for the computation of fault location in multi-terminal transmission lines. This technique based upon the distributed model of transmission lines to overcome the problems encountered in traditional approaches. This method uses the magnitude of the differential currents at each terminal and also uses an algorithm an equivalent conversion from an multi-terminal to a 3 terminal system.

1. 서론

가공송전선로는 자연에 노출되어 있어 지중선에 비해서 사고의 빈도가 높다.

일반적으로 송전선로의 고장점 표정은 거리계전기 이론에 의해 선로의 한쪽 단자의 전압, 전류 등을 마이크로프로세서를 이용하여 연산처리하는 디지털 고장점 표정방식(Digital Fault Locator)이 채용되고 있다. 또한 최근에는 고장점 표정 기능은 물론 선로, 변전설비 등을 종합적으로 감시, 보호하는 기능을 가진 디지털 보호 계전기(Digital Relay)도 개발 운용 되고 있다.

고장점 표정에서 고장위치 계산은 2단자 선로의 경우는 비교적 간단하지만, 3단자 이상의 다단자 선로의 경우에는 본선과 분기선 고장의 구별, 분기선 부하전류에 의한 오차, 여러전원에 의한 유입전류의 위상차 등 많은 문제점이 있다. 이의 개선책으로 전 단자의 전류를 광 PCM전송에 의해서 1단자에 집중하여 표정연산을 수행하는 방법등이 제안되었으나 개선의 여지는 많다.

본 연구에서는 각 선로 단자의 차분전류를 이용하여 다단자 송전선로의 고장점을 추정하는 기법을 다루었다. 선로는 C를 고려한 분포정수회로로 고려하였고, 다단자는 3단자의 송전선로로 등가화해서 계산하였으며, EMTP를 이용한 시뮬레이션을 통해서 그 효용성을 검증 하였다.

2 기초이론

그림 1과 같은 3단자 송전선로의 점 F₁ 고장에 대해서 보자.

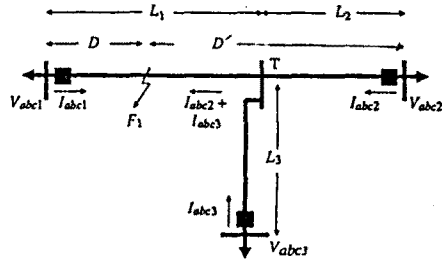


그림 1 3단자 송전선로

이 경우 각 모선의 상전압 V_{F1} , V_{F2} , V_{F3} 는

$$V_{F1} = V_{FP} + DZ_{F1} I_{F1} \quad (1)$$

$$V_{F2} = V_{FP} + L_2 Z_{F2} I_{F2} + (L_1 - D)Z_{F1} (I_{F2} + I_{F3}) \quad (2)$$

$$V_{F3} = V_{FP} + L_3 Z_{F3} I_{F3} + (L_1 - D)Z_{F1} (I_{F2} + I_{F3}) \quad (3)$$

식 (1)과 (2)에서 V_{FP} 를 소거하여 정리하면

$$V_{F1} - V_{F2} + (L_1 Z_{F1} + L_2 Z_{F2}) I_{F2} + L_1 Z_{F1} I_{F3} = DZ_{F1} (I_{F1} + I_{F2} + I_{F3}) \quad (4)$$

식 (4)를 행렬식 형태로 쓰면 다음과 같이 된다.

$$\begin{bmatrix} Y_{1a} \\ Y_{1b} \\ Y_{1c} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} M_a \\ M_b \\ M_c \end{bmatrix} D \quad (5)$$

$$Y_{1j} = V_{F1} - V_{F2} + \sum_{K=a,b,c} (L_1 Z_{1K} + L_2 Z_{2K}) I_{F2} + L_1 \sum_{K=a,b,c} Z_{1K} I_{F3}$$

$$M_j = \sum_{K=a,b,c} (I_{K1} + I_{K2} + I_{K3}) Z_{F1}, \quad j=a,b,c$$

또한 식 (1)과 (3)에서 V_{FP} 를 소거하여 정리하면

$$V_{F1} - V_{F3} + (L_1 Z_{F1} + L_3 Z_{F3}) I_{F3} + L_1 Z_{F1} I_{F2} = DZ_{F1} (I_{F1} + I_{F2} + I_{F3}) \quad (6)$$

식 (6)을 행렬식 형태로 쓰면 다음과 같이 된다.

$$\begin{bmatrix} Y_{2a} \\ Y_{2b} \\ Y_{2c} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} M_a \\ M_b \\ M_c \end{bmatrix} D' \quad (7)$$

$$Y_{2j} = V_{j1} - V_{j2} + \sum_{K=a,b,c} (L_1 Z_{1jK} + L_3 Z_{3jK}) I_3 + L_1 \sum_{K=a,b,c} Z_{1jK} I_{2K}$$

따라서 고장점까지의 거리는 식 (5)와 (7)로부터 다음과 같은 식으로 구해진다.

$$D = (M' M)^{-1} M' Y_1 \quad (8)$$

$$D' = (M' M)^{-1} M' Y_2 \quad (9)$$

3. 송전선로 모델

송전선로는 그림 2와 같이 C를 고려한 분포정수회로로 모델링하였다.

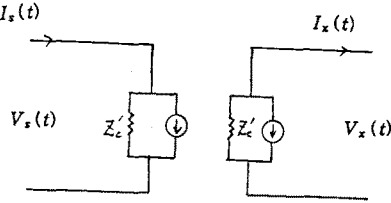


그림 2 송전선로 모델

이 경우 $I_x(t), V_x(t)$ 는 각각

$$I_x(t) = K_1 V_x(t-T) + K_2 I_x(t-T) + K_3 V_x(t-T) + K_4 I_x(t-T) + K_5 V_x(t) + K_6 I_x(t) + K_7 V_x(t+T) + K_8 I_x(t+T) \quad (10)$$

$$V_x(t) = K'_1 I_x(t) + K'_2 V_x(t-T) + K'_3 I_x(t-T) + K'_4 V_x(t-T) + K'_5 I_x(t-T) \quad (11)$$

4. 차분전류법

그림 3과 같은 병렬 2회선의 3단자 송전선로에 대해서 보자.

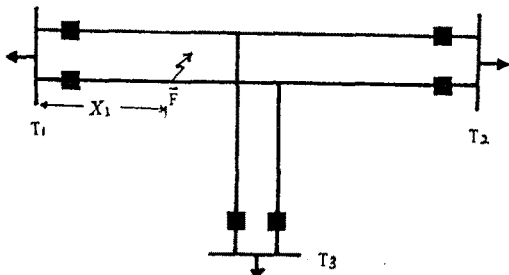


그림 3 병렬 2회선 3단자 송전선로

이 경우 모든 구간에서 선로 임피던스가 같다고 가정하면 선로 1과 선로 2 사이의 차분전류는

$$\Delta I_{11} = I_{111} - I_{112} \quad (12)$$

$$\Delta I_{21} = I_{211} - I_{212} \quad (13)$$

$$\Delta I_{31} = I_{311} - I_{312} \quad (14)$$

$$\Delta I_{12} = I_{121} - I_{122} \quad (15)$$

먼저 키르히호프의 전류법칙에 의해 영상분부에 대해서만 생각하면

$$I_{110} + I_{210} + I_{310} = I_{10} \quad (16)$$

$$I_{120} + I_{220} + I_{320} = I_{20} \quad (17)$$

이 되고, 식 (16)과 (17)의 차를 구하면

$$\Delta I'_{10} + \Delta I'_{20} + \Delta I'_{30} = \Delta I'_{10} \quad (18)$$

키르히호프의 전압법칙에 의해 고장점에서의 영상분전압 V'_{10}, V'_{20} , 고장점에서의 차분전압의 관계로부터 단자 T_1 에서 고장점까지의 거리 X_1 은 다음과 같은 식으로 구해진다.

$$X_1 = \frac{|\Delta I'_{20}| + |\Delta I'_{30}|}{|\Delta I'_{10}|} \left(\frac{l_T}{l_2 + l_3} \right) \quad (19)$$

$$\text{단, } |\Delta I'_{10}| = |\Delta I'_{11}| + |\Delta I'_{12}| + |\Delta I'_{13}|$$

이러한 과정을 이용하면 고장점이 단자 T_2 와 가지점 사이에 위치한 경우 단자 T_2 로부터 고장점까지의 거리 X_2 는

$$X_2 = \frac{|\Delta I'_{31}| + |\Delta I'_{11}|}{|\Delta I'_{20}|} \left(\frac{l_T}{l_3 + l_1} \right) \quad (20)$$

또한 고장점이 단자 T_3 와 가지점 사이에 위치한 경우 단자 T_3 로부터 고장점까지의 거리 X_3 는 다음 식으로 구해진다.

$$X_3 = \frac{|\Delta I'_{31}| + |\Delta I'_{21}|}{|\Delta I'_{10}|} \left(\frac{l_T}{l_1 + l_2} \right) \quad (21)$$

5. 단단자 송전선로의 등가이론

(이론 1) 다음과 같은 식이 정의될 때 그림 4 (a)에 표시된 2단자 차분전류 회로는 그림 (b)에 표시된 가상단자 T'_2 를 갖는 1단자 차분전류 회로와 등가이다.

$$\text{즉, } \Delta I'_2 = \Delta I_1 + \Delta I_2$$

$$I'_2 = \frac{l_1 l_2}{(l_1 + l_2)} \quad (22)$$

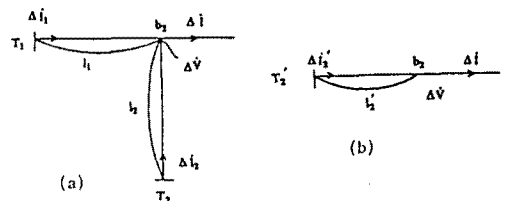


그림 4 등가변환 회로도

그림 4의 (a), (b) 회로는 가지점 b_2 로 부터 흐르는 각 차분전류 ΔI 가 서로 같고, 가지점 b_2 에서의 각 차분전압 ΔV_2 도 서로 같다는 동가성을 갖는다.

(이론 2) 차분전류회로가 그림 5 (a), (b)와 같을 때

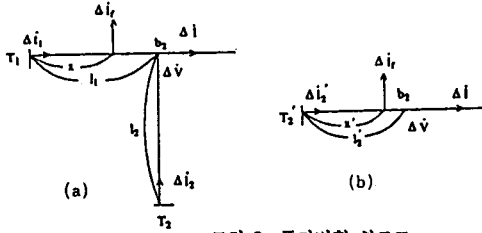


그림 5 동가변환 회로도

$$\begin{aligned} \Delta I_2' &= \Delta I_1 + \Delta I_2 \\ l_2' &= \frac{l_1 l_2}{(l_1 + l_2)} \\ X' &= \frac{X l_2}{l_1} \end{aligned} \quad (23)$$

가 성립하며, 그림 5 (a), (b)의 두 회로 역시 이론 1에서와 같이 동가성을 갖는다.

6. 선로 임피던스의 보상

각 구간마다의 선로 임피던스가 서로 다른 경우 선로 임피던스를 표준화 하기위해 다음과 같은 평균 선로 임피던스를 정의한다.

$$Z_{po} = \frac{\left(\sum_{K=1}^3 l_K Z_{K0} \right)}{\left(\sum_{K=1}^3 l_K \right)} \quad (24)$$

$$Z_{pom} = \frac{\left(\sum_{K=1}^3 l_K Z_{K0m} \right)}{\left(\sum_{K=1}^3 l_K \right)} \quad (25)$$

$$Z_{pl} = \frac{\left(\sum_{K=1}^3 l_K Z_{Kl} \right)}{\left(\sum_{K=1}^3 l_K \right)} \quad (26)$$

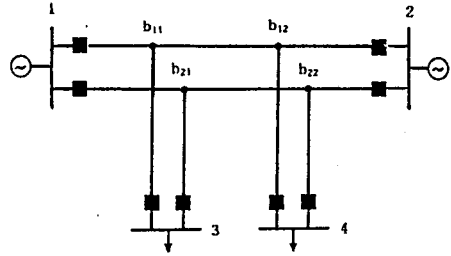
윗 식에서 정, 역, 영상분에 대해서 정리하면

$$\frac{(Z_{K0} - Z_{K0m})}{(Z_{po} - Z_{pom})} \approx \frac{|Z_{K0} - Z_{K0m}|}{|Z_{po} - Z_{pom}|} = \rho_{K0} \quad (27)$$

$$\frac{Z_{Kl}}{Z_{pl}} \approx \frac{|Z_{Kl}|}{|Z_{pl}|} = \rho_{K1} = \rho_{K2} \quad (28)$$

7. 사례연구

(1) 모델계통



(2) 시뮬레이션 과정

SYSTEM DATA
EMTP를 이용한 System의 고장 전, 후 DATA
EQUIVALENT CONVERSION
다단자 선로의 3단자로의 동가화 및 선로 임피던스 보상
FAULT LOCATION CALCULATION
3단자 동가변환 선로에서의 고장점 거리계산

(3) 결과분석

고 장 점	고 장 형 태	계 산 값	
		보상전	보상후
구간: BUS 1 ~ b11 지점: BUS 1로부터 2[Km]	1φ (선로 1)	2,147	2,068
	L-L (선로 2)	2,104	2,079
구간: b11 ~ BUS 2 지점: BUS 2로부터 7[Km]	1φ (선로 1), 2φ (선로 2)	1,793	1,948
	2φ (선로 2)	7,634	7,278
구간: BUS 4 ~ b12 지점: BUS 4로부터 5[Km]	1φ (선로 1), 1φ (선로 2)	6,485	6,687
	3φ (선로 2)	7,592	7,204
	1φ (선로 1)	5,370	5,196
	2φ (선로 1), 1φ (선로 2)	5,471	5,204
	3φ (선로 2)	5,297	5,178

8. 결론

- (1) 송전선로 모델을 C를 고려한 분포정수 회로로 모델링하므로써 선로모델의 정확성을 기했다.
- (2) 다단자 송전선로를 등가 3단자선로로 변환한 후 차분전류를 이용하여 고장점을 비교적 간단하면서도 정확하게 추정할 수 있다.
- (3) 항후 DR의 운용이 일반화 되면 별도의 DFL보다는 고장점 표정기능을 강화한 DR의 이용이 더 실용적이다.

9. References

- (1) A.O.Ibe, B.J.Cory, " A travelling wave-based fault locator for two-and three-terminal networks", IEEE PWRD-1, No. 2, pp. 283-288, Apr. 1986.
- (2) K.Srinivassan, A.St-Jacques, " A new fault location algorithm for radial transmission lines with loads ", IEEE PWRD-4 No. 3, pp. 1676-1682, July. 1989.
- (3) A.M.Ranjbar, et al., "A new approach for fault location problem on power lines", IEEE Trans. PD, No. 2, April, pp. 146-151, 1992.