

자기단 전원 임피던스 추정 기법을 사용한 병행 2회선 송전선로 고장점 표정 알고리즘

논문

61-3-4

A Fault Location Algorithm Using Adaptively Estimated Local Source Impedance for a Double-Circuit Transmission Line System

박건호* · 강상희† · 김석일** · 신종한***

(Gun-Ho Park · Sang-Hee Kang · Sokil Kim · Jonathan H. Shin)

Abstract - This paper presents a fault location algorithm based on the adaptively estimated value of the local sequence source impedance for faults on a parallel transmission line. This algorithm uses only the local voltage and current signals of a faulted circuit. The remote current signals and the zero-sequence current of the healthy adjacent circuit are calculated by using the current distribution factors together with the local terminal currents of the faulted circuit. The current distribution factors consist of local equivalent source impedance and the others such as fault distance, line impedance and remote equivalent source impedance. It means that the values of the current distribution factors can change according to the operation condition of a power system. Consequently, the accuracy of the fault location algorithm is affected by the two values of equivalent source impedances, one is local source impedance and the other is remote source impedance. Nevertheless, only the local equivalent impedance can be estimated in this paper. A series of test results using EMTP simulation data show the effectiveness of the proposed algorithm. The proposed algorithm is valid for a double-circuit transmission line system where the equivalent source impedance changes continuously.

Key Words : Current distribution factor, Estimated local source impedance, Fault location algorithm, EMTP simulation

1. 서 론

송전선로는 넓은 지역에 분포되어 있고 외부에 노출되어 있어 다른 전력설비에 비하여 고장이 발생할 확률이 상당히 높다. 따라서 공급지장 기간을 최소화하기 위해서는 정확한 고장상 판단 및 고장점 표정이 이루어져야만 한다[1].

지금까지 발표된 고장점 표정 논문은 크게 두 가지 즉, 진행파 기반의 고장점 표정 방법[2~3]과 임피던스 기반 방법[4~14]으로 나눌 수 있다. 임피던스 기반 방법은 다시 자기단 전압, 전류 신호만을 사용한 방법과[2~5, 9~12, 14] 양단 전압, 전류 신호 모두 사용한 방법[6~8, 13]으로 나눌 수 있다. 임피던스 기반의 고장점 표정 알고리즘의 오차 요인은 고장점 저항, 근접 회선 영상분 전류로 인한 상호임피던스 작용, 배후 등가 전원 임피던스의 변화 등이다. 그러나, 기존의 알고리즘들은 배후 등가 전원 임피던스 변화에 대응할 수 없었다[11]. 배후 등가 전원 임피던스의 변화가 고장점 표정 오차 요인이 되는 이유는, 자기단 전압, 전류 신호만을 사용하여 고장점 표정을 실시할 경우, 상대단 전류 신호와 건전회선의 전류 신호를 고장회선의 자기단 전류 신호와 전류분배계수를 이용하여 추정하는데, 전류분배계수가 배

후 전원임피던스의 함수이기 때문이다.

전류분배계수는 자기단과 비교 대상단의 전류 관계에 해당하는 임피던스 비율을 말하며 고장 발생 후 회로에서 구할 수 있다. 전류분배계수는 자기단 및 상대단 배후 등가 전원 임피던스와 선로 임피던스 그리고 고장거리의 함수이다. 따라서, 전류분배계수를 결정하는 배후 등가 전원 임피던스 값이 변하게 되면 전류분배계수 값 또한 바뀌게 되고 최종 고장점 표정 값에 영향을 미치게 된다.

전력계통의 배후 등가전원은 계통의 운영상황에 따라 끊임없이 변하게 된다. 따라서, 배후 등가 전원 임피던스도 계통 운영상황에 따라 변하게 되며, 고장점 표정 시 변화된 전원 임피던스 값을 고려하지 않고 고정된 전원 임피던스 정정값을 고장점 표정 알고리즘에 사용할 경우, 고장점 표정 결과에 오차가 발생하게 된다. 본 논문은 변화된 자기단 배후 등가 전원 임피던스를 추정한 값을 사용한 고장점 표정 알고리즘을 제안 하였으며, 제안한 알고리즘을 검증하기 위해 전력계통 모의 프로그램인 EMTP를 이용하여 154[KV] 병행 2회선 송전선로에서 고장을 모의하였고, 알고리즘 성능 테스트결과 자기단 배후 등가 전원 임피던스 변화에 대응하여 정확하게 고장점을 추정할 수 있음을 보였다.

* 준 회원 : 명지대 공대 전기공학과 석사과정

† 교신저자, 시니어회원 : 명지대 공대 전기공학과 교수

E-mail : shkang@mju.ac.kr

** 정 회원 : YPP(주) 기술본부장

*** 정 회원 : YPP(주) 중앙연구소 이사

접수일자 : 2011년 11월 18일

최종완료 : 2012년 2월 14일

2. 본 론

2.1 1선 지락 고장시 전압 방정식

그림 1은 병행 2회선 송전선로에서 1선 지락 고장시 고장 회로를 나타내며, Locator가 설치된 모선을 자기단, 선로 건

너편의 모선을 상대단으로 정의하며, 각 모선 양단의 배후는 이상 전원과 테브난 등가임피던스로 나타내었다.

그림 1에서 계전점 전압에 대한 전압방정식은 다음과 같다.

$$V_{Sa} = m [Z_{L1}I_{Sa} + (Z_{L0} - Z_{L1})I_{S0} + Z_m I_{T0}] + R_F I_F \quad (1)$$

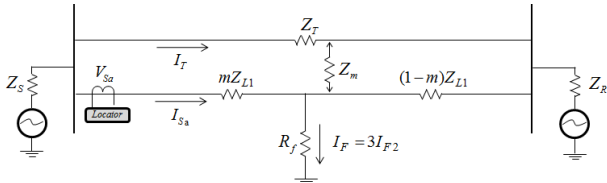


그림 1 1선 지락 고장
Fig. 1 Single-Phase to Ground Fault

표 1 모델 시스템 데이터

Table 1 System model data

기 호	정 의	단 위
Z_{S012}	자기단 등가전원 S의 영상분, 정상분, 역상분 임피던스	[Ω]
Z_{R012}	상대단 등가 전원 R의 영상분, 정상분, 역상분 임피던스	[Ω]
Z_{L012}	고장회선의 영상분, 정상분, 역상분 임피던스	[Ω]
Z_{T012}	건전회선의 영상분, 정상분, 역상분 임피던스	[Ω]
Z_m	회선간 선로의 영상분 상호 임피던스	[Ω]
R_F	고장 저항	[Ω]
I_{S012}	자기단 영상분, 정상분, 역상분 전류	[A]
I_{R012}	상대단 영상분, 정상분, 역상분 전류	[A]
I_{T012}	건전회선의 영상분, 정상분, 역상분 전류	[A]
I_{F012}	고장점으로 흐르는 영상분, 정상분, 역상분 전류	[A]
m	계전기 설치점에서 고장점까지 거리	[PU]
K_{ST012}	영상분, 정상분, 역상분 전류분배계수 (고장회선 자기단 전류와 건전회선 전류의 비)	
K_{SR012}	영상분, 정상분, 역상분 전류분배계수 (고장회선 자기단 전류와 상대단 전류의 비)	
V_{Subc}	자기단 계전점 계측 a상, b상, c상 전압	[V]
I_{Subc}	자기단 계전점 계측 a상, b상, c상 전류	[A]

식(1)의 전압방정식은 계전점에서 고장점까지의 고장회선의 전압강하분 $m[Z_{L1}I_{Sa} + (Z_{L0} - Z_{L1})I_{S0}]$ 과 건전회선의 상호 임피던스의 전압강하분 $m[Z_m I_{T0}]$ 그리고 고장저항의 전압강하분 $R_F I_F$ 의 합으로 표현된다. 식(1)에서 미지 변수는 건전회선의 영상분 전류 I_{T0} , 고장회선의 고장전류 I_F , 고장저항 R_F 이다. 고장 저항 R_F 를 제외한 나머지 미지 변수들은 계전점 전류와 전류분배계수를 계산하여 추정한다. 고장전류 I_F 를 역상분 전류분배계수 K_{SR2} 와 계전점 역상분 전류 I_{S2} 로, 건전회선 영상분 전류 I_{T0} 를 영상분 전류분배계수 K_{ST0} 와 계전점 영상분 전류 I_{S0} 로 표현되며, 식 (1)을 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$V_{Sa} = m [Z_{L1}I_{Sa} + (Z_{L0} - Z_{L1})I_{S0} + Z_m \frac{I_{S0}}{K_{ST0}}] + R_F \frac{3I_{S2}}{K_{SR2}} \quad (2)$$

2.2 전류분배계수

전류분배계수는 건전회선의 자기단 영상분 전류, 고장회선의 상대단 역상분 전류를 추정할 때 사용된다. 이때, 전류분배계수는 각각의 전류에 상응 되는 임피던스 비로 나타내며, 전류분배계수의 구성요소는 선로임피던스, 양단 배후 등가 전원 임피던스 그리고 고장거리이다.

2.2.1 영상분 전류분배계수

병행 2회선 송전선로 1선 지락 고장 시 건전회선의 영상분 전류로 인한 상호 임피던스 Z_m 이 발생되는 것이 특징이며, 본 논문에서는 상호 임피던스의 영향을 고려하였다.

고장회선의 상대단 영상분 전류를 추정하기 위해 사용되는 영상분 전류분배계수는 영상분 회로의 건전회선을 통과하는 전압 루프 방정식과 고장회선을 통과하는 전압 루프 방정식을 연립하여 I_{T0} 를 소거한 후 고장회선의 자기단 영상분 전류와 상대단 영상분 전류에 상응되는 임피던스 비로 식 (3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$K_{SR0} = \frac{I_{S0}}{I_{S0} + I_{R0}} = \frac{1}{1 + (I_{R0}/I_{S0})} = \frac{mB_{SR0} + C_{SR0}}{A_{SR0}} \quad (3)$$

여기서,

$$A_{SR0} = (Z_{L0} - Z_m)(Z_{S0} + Z_{R0} + Z_m) + (Z_{T0} - Z_m)(Z_{S0} + Z_{R0} + Z_{L0})$$

$$B_{SR0} = (Z_m - Z_{L0})(Z_{S0} + Z_{R0} + Z_m) - (Z_{T0} - Z_m)Z_{L0}$$

$$C_{SR0} = (Z_{L0} - Z_m)(Z_{S0} + Z_{R0} + Z_m) + (Z_{T0} - Z_m)(Z_{R0} + Z_{L0})$$

건전회선의 자기단 영상분 전류를 추정하기 위해 사용되는 영상분 전류분배계수는 위와 같은 방법으로 두 루프 방정식을 연립하여 I_{R0} 를 소거 한 후, 고장회선의 자기단 영상분 전류와 건전회선의 자기단 영상분 전류에 상응되는 임피던스 비로 식 (4)과 같이 나타낼 수 있다.

$$K_{ST0} = \frac{I_{S0}}{I_{T0}} = \frac{mA_{ST0} + B_{ST0}}{mC_{ST0} + D_{ST0}} \quad (4)$$

여기서,

$$A_{ST0} = (Z_m - Z_{L0})(Z_{S0} + Z_{R0} + Z_m) - (Z_{T0} - Z_m)Z_{L0}$$

$$B_{ST0} = (Z_{L0} - Z_m)(Z_{S0} + Z_{R0} + Z_m) + (Z_{T0} - Z_m)(Z_{R0} + Z_{L0})$$

$$C_{ST0} = (Z_{L0} - Z_m)(Z_{S0} + Z_{R0})$$

$$D_{ST0} = (Z_m - Z_{L0})Z_{S0}$$

2.2.2 역상분 전류분배계수

고장회선의 상대단 역상분 전류를 추정 하기 위해 사용되는 역상분 전류분배계수는 역상분 회로의 건전회선을 통과하는 전압 루프 방정식과 고장회선을 통과하는 전압 루프 방정식을 연립하여 I_{T2} 를 소거 한 후 고장회선의 자기단 역상분 전류와 상대단 역상분 전류에 상응되는 임피던스 비로 식 (5)와 같이 나타낼 수 있다.

$$K_{SR2} = \frac{I_{S2}}{I_{S2} + I_{R2}} = \frac{1}{1 + (I_{R2}/I_{S2})} = \frac{mB_{SR2} + C_{SR2}}{A_{SR2}} \quad (5)$$

여기서,

$$\begin{aligned} A_{ST2} &= Z_{L2}(Z_{S2} + Z_{R2}) + Z_{T2}(Z_{S2} + Z_{R2} + Z_{L2}) \\ B_{ST2} &= -Z_{L2}(Z_{S2} + Z_{R2} + Z_{T2}) \\ C_{ST2} &= (Z_{L2})(Z_{S2} + Z_{R2}) + (Z_{T2})(Z_{R2} + Z_{L2}) \end{aligned}$$

같은 방법으로 두 방정식에서 I_{R2} 를 소거 하여 고장회선 자기단 역상분 전류와 건전회선의 역상분 전류의 임피던스 비로 나타낸 역상분 전류분배계수를 구할 수 있다.

$$K_{ST2} = \frac{I_{S2}}{I_{T2}} = \frac{mA_{ST2} + B_{ST2}}{mC_{ST2} + D_{ST2}} \quad (6)$$

여기서,

$$\begin{aligned} A_{ST2} &= -Z_{L2}(Z_{S2} + Z_{R2}) - Z_{T2}Z_{L2} \\ B_{ST2} &= Z_{L2}(Z_{S2} + Z_{R2}) + Z_{T2}(Z_{R2} + Z_{L2}) \\ C_{ST2} &= Z_{L2}(Z_{S2} + Z_{R2}) \\ D_{ST2} &= -Z_{L2}Z_{S2} \end{aligned}$$

2.3 병행 2회선 송전선로 고장시 자기단 전원 임피던스 추정 기법

모든 전류분배계수는 각 대칭분 배후 등가 전원 임피던스를 포함한다. 따라서, 배후 등가 전원 임피던스가 변하면 전류분배계수 값 또한 변하게 됨을 알 수 있다. 본 논문에서는 자기단 전원 임피던스 추정 기법을 제안하고 보다 정확한 자기단 전원 임피던스 추정값을 얻기 위해 반복법을 사용하였다.

2.3.1 자기단 영상분 전원 임피던스 추정

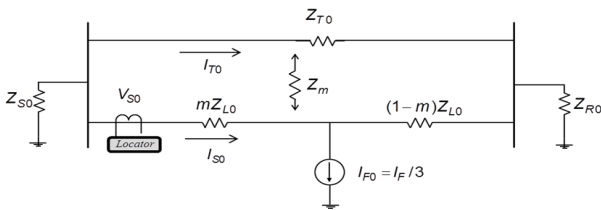


그림 2 1선 지락 고장시 영상분 회로

Fig. 2 Zero-sequence diagram after a Single-Phase to Ground Fault

그림 2는 1선 지락 고장 발생 시 영상분 회로를 나타낸 것이다. 고장 발생 후 영상분 회로에는 배후 등가 전압원이 포함되지 않는다는 것이 특징이다. 따라서 고장후 정보만을 이용한 자기단 영상분 전원 임피던스 추정이 가능하다. 자기단 영상분 배후 등가 전원 임피던스는 계전점 배후 모선단 영상분 전압과 영상분 전류 신호값으로부터 구한다. 이때 배후 모선단 영상분 전류는 건전회선 자기단 영상분 전류와 고장회선 자기단 영상분 전류의 합과 같다. 자기단 배후 영상분 전원 임피던스 추정식은 식 (7)과 같이 표현할 수 있다.

$$Z_{S0} = -\frac{V_{S0}(Post-Fault)}{I_{S0}(Post-Fault) + I_{T0}} = -\frac{V_{S0}(Post-Fault)}{I_{S0}(Post-Fault) + \frac{I_{S0}(Post-Fault)}{K_{ST0}}} \quad (7)$$

위 식 (7)과 같이 자기단 배후 영상분 전원 임피던스 추

정 식을 구하였으나 건전회선의 자기단 영상분 전류를 추정하기 위해 사용되는 영상분 전류분배계수 K_{ST0} 의 요소인 고장거리 m 이 미지 값이기 때문에, 전류분배계수 K_{ST0} 의 값을 알기 전에는 자기단 배후 영상분 전원 임피던스 추정이 불가능하다. 본 논문은 전류분배계수 K_{ST0} 값을 구하고 최종 자기단 배후 영상분 전원 임피던스 값을 정확하게 추정하기 위해 반복법을 제안하였다.

2.3.2 자기단 역상분 전원 임피던스 추정

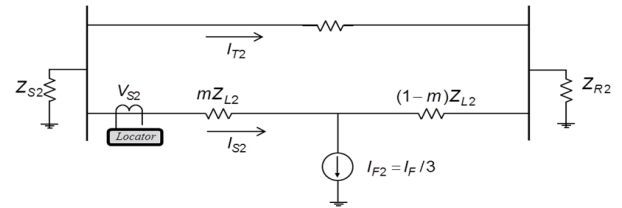


그림 3 1선 지락 고장시 역상분 회로

Fig. 3 Negative-sequence diagram after a Single-Phase to Ground Fault

그림 3은 1선 지락 고장 발생 시 역상분 회로를 나타내었다. 영상분 회로와 마찬가지로 고장 후 정보만을 이용한 자기단 배후 역상분 전원 임피던스 추정이 가능하다. 자기단 역상분 배후 등가 전원 임피던스는 계전점 배후 모선단 역상분 전압과 역상분 전류 신호값을 계산하여 구한다. 이때 배후 모선단 역상분 전류는 건전회선 자기단 역상분 전류와 고장회선 자기단 역상분 전류의 합과 같다. 자기단 배후 역상분 전원 임피던스 추정식은 식 (8)과 같이 표현할 수 있다.

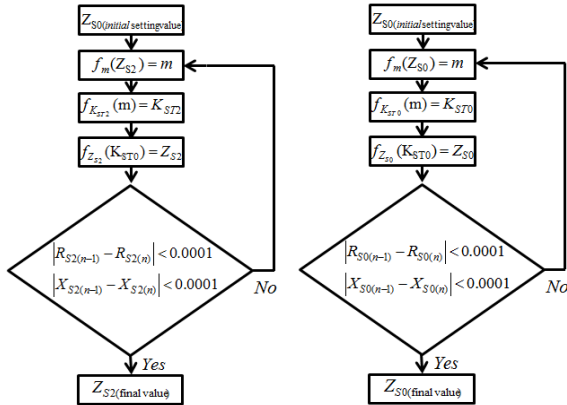
$$Z_{S2} = -\frac{V_{S2}(Post-Fault)}{I_{S2}(Post-Fault) + I_{T2}} = -\frac{V_{S2}(Post-Fault)}{I_{S2}(Post-Fault) + \frac{I_{S2}(Post-Fault)}{K_{ST2}}} \quad (8)$$

위 식 (8)과 같이 자기단 배후 역상분 전원 임피던스 추정 식을 구하였으나 건전회선의 자기단 역상분 전류를 추정하기 위해 사용되는 역상분 전류분배계수 K_{ST2} 의 요소인 고장거리 m 이 미지 값이기 때문에, 전류분배계수 K_{ST2} 값을 알기 전에는 자기단 배후 역상분 전원 임피던스 추정이 불가능하다. 본 논문은 전류분배계수 K_{ST2} 값을 구하고 최종 자기단 배후 역상분 전원 임피던스 값을 정확하게 추정하기 위해 반복법을 제안하였다.

2.3.3 반복법

그림 4는 자기단 배후 영상분, 역상분 전원 임피던스를 추정하는 과정을 순서도로 나타낸 것이다. 첫 번째, 초기 셋팅된 자기단 영상분, 역상분 배후 등가 전원 임피던스를 사용하여 고장거리 m 을 먼저 구한다. 두 번째, 초기 셋팅된 자기단 영상분, 역상분 배후 등가 전원 임피던스와 계산된 고장거리 m 을 이용하여 자기단 배후 영상분, 역상분 전원 임피던스 추정식에 사용되는 영상분, 역상분 전류분배계수를 구한다. 세 번째, 영상분, 역상분 전류분배계수를 이용하여 자기단 배후 영상분, 역상분 전원 임피던스를 구한다. 여기서, 정확한 자기단 배후 영상분, 역상분 전원 임피던스 값을

얻기 위하여 이전 단계의 자기단 배후 영상분, 역상분 전원 임피던스 추정값과 현재 추정한 자기단 영상분, 역상분 배후 등가 전원 임피던스 값을 R과 X로 나누어 이전 추정값 과 현재 추정값의 차가 0.0001[Ω] 미만의 값을 만족할 때 까지 반복한다. 오차 범위이내에 도달하였을 때 /반복법을 종료하며 이 때 값이 최종 자기단 배후 영상분, 역상분 추정 임피던스 값이 된다.



f_m : 고장거리계산 함수
 f_{KST0}, f_{KST2} : 전류분배계수계산 함수
 f_{S0}, f_{S2} : 전원임피던스계산 함수

그림 4 반복법의 순서도

Fig. 4 Flowchart of iteration method

2.4 고장점 추정 알고리즘

병행 2회선 송전선로 1선 지락 고장시 고장회선의 계전점 전압 방식으로부터 얻은 식 (2)를 정리하면 다음과 같다. 여기서 사용된 자기단 배후 영상분, 역상분 전원 임피던스 값은 추정된 값이다.

$$(a_3 + jb_3)m^3 + (a_2 + jb_2)m^2 + [a_1 + jb_1 + (c_1 + jd_1)R_F]m + [a_0 + jb_0 + (c_0 + jd_0)R_F] = 0 \quad (9)$$

여기서,

$$a_3 + jb_3 = [I_{S0} + (Z_{L0} - Z_{L1})I_{S0}/Z_{L1}]Z_{L1}B_{SR2}A_{ST0} + I_{S0}Z_m B_{SR2}C_{ST0}$$

$$a_2 + jb_2 = [I_{S0} + (Z_{L0} - Z_{L1})I_{S0}/Z_{L1}]Z_{L1}B_{SR2}B_{ST0} + [I_{S0} + (Z_{L0} - Z_{L1})I_{S0}/Z_{L1}]Z_{L1}C_{SR2}A_{ST0} - V_{S0}B_{SR2}A_{ST0} + I_{S0}Z_m B_{SR2}D_{ST0} + I_{S0}Z_m C_{SR2}C_{ST0}$$

$$a_1 + jb_1 = [I_{S0} + (Z_{L0} - Z_{L1})I_{S0}/Z_{L1}]Z_{L1}C_{SR2}B_{ST0} - V_{S0}B_{SR2}B_{ST0} - V_{S0}C_{SR2}A_{ST0} + I_{S0}Z_m C_{SR2}D_{ST0}$$

$$a_0 + jb_0 = -V_{S0}C_{SR2}B_{ST0}$$

$$c_1 + jd_1 = 3I_{S2}A_{SR2}A_{ST0}$$

$$c_0 + jd_0 = 3I_{S2}A_{SR2}B_{ST0}$$

식 (9)에서 미지수는 고장거리m과 고장저항 R_F 이다. 고장저항 R_F 를 소거하기 위해 식 (9)를 실수부와 허수부로 나누어 식 (10)과 같이 표현할 수 있다.

$$a_3m^3 + a_2m^2 + (a_1 + c_1R_F)m + (a_0 + c_0R_F) = 0 \quad (10)$$

$$b_3m^3 + b_2m^2 + (b_1 + d_1R_F)m + (b_0 + d_0R_F) = 0$$

두 식을 연립하여 고장저항 R_F 를 소거하면 고장거리 m에 대한 방정식 식 (11)과 같이 표현할 수 있다.

$$m^4 + \beta_1m^3 + \beta_2m^2 + \beta_3m + \beta_4 = 0 \quad (11)$$

여기서,

$$\beta_1 = (a_2d_1 - b_2c_1 + a_3d_0 - b_3c_0)/(a_3d_1 - b_3c_1)$$

$$\beta_2 = (a_1d_1 - b_1c_1 + a_2d_0 - b_2c_0)/(a_3d_1 - b_3c_1)$$

$$\beta_3 = (a_0d_1 - b_0c_1 + a_1d_0 - b_1c_0)/(a_3d_1 - b_3c_1)$$

$$\beta_4 = (a_0d_0 - b_0c_0)/(a_3d_1 - b_3c_1)$$

식 (11)을 만족하는 해 중 0~1.0사이의 실수 조건을 만족 하는 해가 최종 고장거리 값이 된다.

3. 사례 연구

3.1 모델 계통

제안 알고리즘의 성능을 테스트 하기위해 그림 5와 같은 154[kV] 25[kM] 병행 2회선 송전선로를 전력시스템 시뮬레이션 프로그램인 EMTP를 이용하여 모델링 하였다.

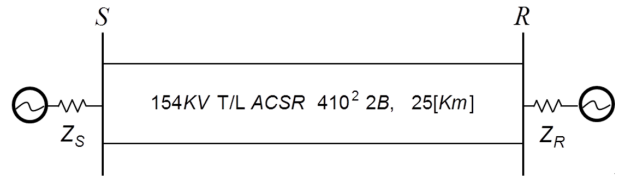


그림 5 모델 시스템

Fig. 5 System model

표 2 모델 시스템 데이터

Table 2 System model data

종류	정상분 (역상분) 임피던스	영상분 임피던스		
		Self	Mutual	
전원 임피던스 [Ω/ Km]	Z_S	0.331+j2.106	1.0699+j7.0692	-
	Z_R	2.2631+j13.2265	17.658+j45.7740	-
선로 임피던스[Ω/ Km]		0.0436+j0.3445	0.2380+j1.0443	0.1943+j0.5630

제안 알고리즘의 샘플링 주파수는 한주기 32샘플이며, 사용되는 전압, 전류 신호의 중첩 현상을 배제하기 위하여 차단 주파수 960[Hz]에서 이득 0.1인 디지털 버터워스 2차 저역통과 필터를 사용하였다. 기본과 성분의 페이지를 취득하기 위하여 DFT를 수행하였다. 최종 고장점 표정 결과 오차율은 식 (12)와 같이 표현하였다.

$$Error[\%] = \frac{\text{고장점 표정거리}[Km] - \text{실제고장거리}[Km]}{\text{총선로길이}[Km]} \times 100 \quad (12)$$

배후 등가 전원 임피던스 변화에 따른 기존의 알고리즘과

제안 알고리즘의 성능을 비교하기 위하여 고장거리 및 고장 저항 값을 각각 0.9[PU]와 80[Ω](기존 알고리즘 성능 테스트 시 오차율이 가장 큰 값)으로 고정하고 반면, 배후 등가 전원 임피던스는 -9[%]~+9[%]로 각 단계별 ±3[%]로 변화시켜 1선 지락, 선간단락 고장모의를 실시하였다.

3.2 자기단 배후 대칭분 전원 임피던스 추정 결과

제안 알고리즘의 자기단 배후 대칭분 전원 임피던스 추정 성능을 검증하기 위해 자기단 배후 대칭분 전원 임피던스를 변화시켜 1선지락 고장모의를 실시하였고, 반복법을 이용한 자기단 배후 대칭분 전원 임피던스 추정을 실시하였다. 최종 수렴된 자기단 배후 등가 전원 임피던스 오차율은 식 (13)과 같이 표현하였다.

$$\frac{|\text{변화된 자기단 전원임피던스} - \text{추정된 자기단 전원임피던스}|}{|\text{변화된 자기단 전원임피던스}|} \times 100 \quad (13)$$

그림 6과 그림 7은 자기단 배후 대칭분 전원 임피던스가 +9[%] 변했을 때 반복법에 의해 자기단 배후 등가 전원 임피던스가 추정되는 임피던스 궤적을 보여주고 있으며, 두 그림의 X축은 등가 전원 임피던스의 저항값, Y축은 등가 전원 임피던스의 리액턴스값을 나타내고 있다. 두 그림에서 볼 수 있듯이 초기 알고리즘에 입력된 자기단 배후 등가 전원 임피던스 값에서 변화된 자기단 배후 등가 전원 임피던스 값으로 잘 추정함을 알 수 있다. 특히, 반복법을 수행하여 추정 하고자 하는 값에 근접해 가는 것을 확인 할 수 있다.

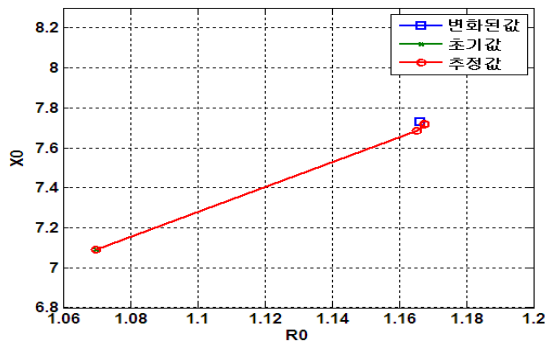


그림 6 자기단 배후 등가 전원 임피던스 변화시 자기단 배후 영상분 전원 임피던스 추정

Fig. 6 Estimated zero sequence local equivalent source impedance with varying local source impedance

표 2는 자기단 배후 대칭분 전원 임피던스를 ±3[%] 변화시킨 경우 자기단 배후 등가 전원 임피던스 추정 오차율 값을 보여주고 있다. 자기단 영상분 배후 등가 전원 임피던스 추정 최고 오차율은 0.10%, 자기단 역상분 배후 등가 전원 임피던스 추정 최고 오차율은 0.13% 이다. 자기단 배후 등가 전원 임피던스가 변화하였을 시 제안한 추정 기법이 성공적으로 자기단 배후 등가 전원 임피던스를 추정하고 있음을 알 수 있다.

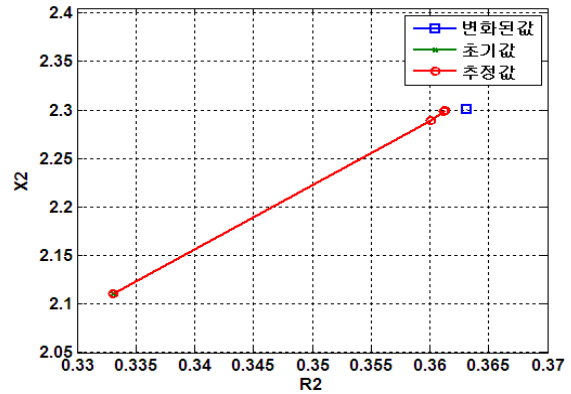


그림 7 자기단 배후 등가 전원 임피던스 변화시 자기단 배후 역상분 전원 임피던스 추정

Fig. 7 Estimated negative sequence local equivalent source impedance with varying local source impedance

표 3 자기단 배후 대칭분 전원 임피던스 추정 오차율

Table 3 Estimated sequence local equivalent source impedance error

자기단 영상분 배후 등가 전원 임피던스 추정 오차							
임피던스 변화 [±3%]	-9[%]	-6[%]	-3[%]	0[%]	3[%]	6[%]	9[%]
오차율 [%]	0.03	0.04	0.06	0.07	0.07	0.07	0.10
자기단 역상분 배후 등가 전원 임피던스 추정 오차							
임피던스 변화	-9[%]	-6[%]	-3[%]	0[%]	3[%]	6[%]	9[%]
오차율 [%]	0.11	0.01	0.09	0.10	0.13	0.13	0.09

3.3 고장점 표정 결과

2회선 송전선로 1선지락, 선간단락 고장이 발생하였을 때 고장점 표정 결과 오차율을 아래 그림과 같이 나타내었다. 그림 8과 그림 9는 자기단 배후 등가 전원 임피던스만 변화하였을 경우이고 그림 10과 그림 11은 양단 배후 등가 전원 임피던스가 모두 변화하였을 경우이다. 제안 알고리즘 성능을 비교 검증하기 위해 최초 정정값을 그대로 사용하는 기존의 알고리즘 결과 오차율도 함께 나타내었다.

3.3.1 자기단 배후 등가 전원 임피던스만 변화 하였을 경우

1선지락 고장시 자기단 배후 등가 전원 임피던스만 변화하였을 경우 제안 알고리즘 최대 오차율 값이 0.07[%]보다 낮음을 알 수 있고, 기존 알고리즘 오차율과 비교 하였을 때 오차율을 0.24% 감소 시켰다.

선간단락 고장시 자기단 배후 등가 전원 임피던스만 변화하였을 경우 제안 알고리즘 최대 오차율 값이 0.35[%]보다 낮음을 알 수 있고, 기존 알고리즘 오차율과 비교 하였을 때 오차율을 0.13% 감소 시켰다.

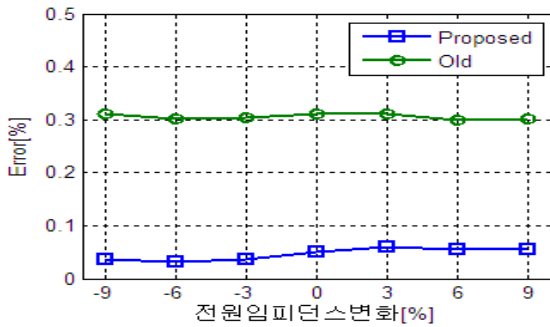


그림 8 1선지락 고장시 제안 알고리즘 오차율
Fig. 8 Proposed algorithm error in line to ground fault

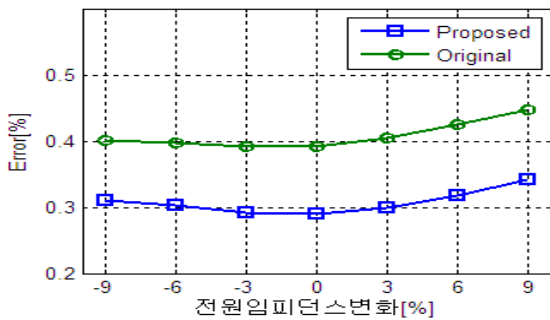


그림 9 선간단락 고장시 제안 알고리즘 오차율
Fig. 9 Proposed algorithm error in phase to phase fault

3.3.2 양단 배후 등가 전원 임피던스 모두 변화 하였을 경우

그림 10과 그림 11에 사용된 자기단 배후 등가 전원 임피던스 변화량은 그림 8과 그림 9에서 가장 오차율이 큰 +[9]프로 고정하였다. 상대단 배후 등가 전원 임피던스를 변화시키며 제안 알고리즘 성능 테스트를 수행하였다.

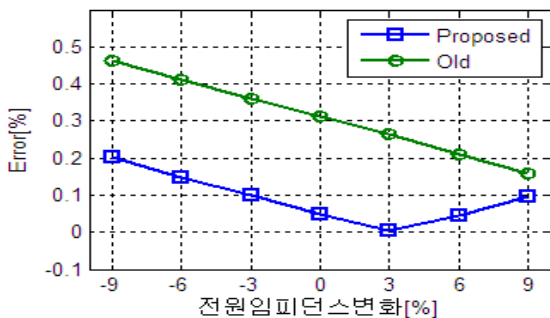


그림 10 1선지락 고장시 제안 알고리즘 오차율
Fig. 10 Proposed algorithm error in line to ground fault

1선지락 고장시 양단 배후 등가 전원 임피던스 모두 변화 하였을 경우 제안 알고리즘 최대 오차율 값이 0.19[%]보다 낮음을 알 수 있고, 기존 알고리즘 오차율과 비교 하였을 때 오차율을 0.27% 감소 시켰다.

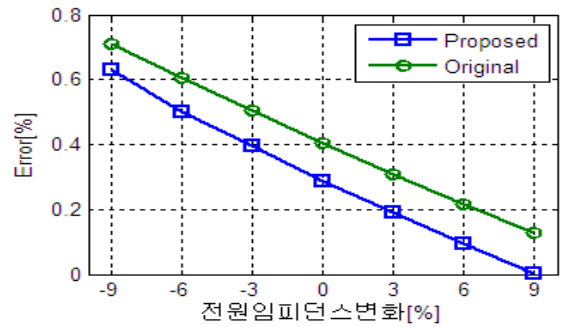


그림 11 선간단락 고장시 제안 알고리즘 오차율
Fig. 11 Proposed algorithm error in phase to phase fault

1선지락 고장시 양단 배후 등가 전원 임피던스 모두 변화 하였을 경우 제안 알고리즘 최대 오차율 값이 0.63[%]보다 낮음을 알 수 있고, 기존 알고리즘 오차율과 비교 하였을 때 오차율을 0.09% 감소 시켰다.

4. 결 론

본 논문에서는 병행 2회선 송전계통의 배후 등가 전원 임피던스가 변화는 경우에도 정확히 고장점을 찾아내는 알고리즘을 제안 하였다. 제안 알고리즘은 고장회선의 자기단 계전점 전압, 전류 신호와 전류분배계수를 사용하였다. 특히, 제안 알고리즘은 송전선로고장 발생 후 반복법을 이용한 자기단 배후 영상분, 역상분 전원 임피던스를 추정하기 때문에 자기단 배후 등가 전원 임피던스 변화에 영향을 받지 않는다. 제안 알고리즘은 양단 배후 등가 전원 임피던스 변화에도 정확한 고장점 표정 성능 결과를 보였다. 본 논문에서 제안한 고장점 표정 알고리즘은 병행 2회선 송전계통의 자기단 배후 등가 전원 임피던스가 변화하였을 시 만족할 만한 결과를 나타내었다.

감사의 글

이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원(2011-0000151) 및 2단계 BK21 사업과 YPP(주)의 지원으로 수행된 연구임.

참 고 문 헌

[1] IEEE Tutorial Course, "Advancements in Microprocessor based Protection and Communication", The Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., pp 63-72, 1997
 [2] M. H. J. Bollen, "Traveling-wave-based protection of double-circuit," Proc. Inst. Elect. Eng., C, vol. 140, no. 1, pt. C, pp. 37 - 47, Jan.1993.
 [3] G. B. Ancell and N. C. Pahalawaththa, "Maximum likelihood estimation of fault location on transmission lines using travelingwaves," IEEE Trans. Power Del., vol. 9, no. 2, pp. 680 - 689, Apr. 1994.

[4] T. Takagi, Y. Yamakoshi, Y. Baba, K. Uemura, and T. Sakaguchi, "A new algorithm of an accurate fault location for EHV/UHV transmission lines," IEEE Trans. Power App. Syst., vol. PAS-100, no. 3, pp.1316 - 1323, Mar. 1981.

[5] A.Wiszniewski, "Accurate fault impedance locating algorithm," Proc. Inst. Elect. Eng., Gen. Transm. Distrib., vol. 130, no. 6, pp. 311 - 314, Nov. 1983.

[6] A. T. Johns and S. Jamali, "Accurate fault location technique for power transmission lines," Proc. Inst. Elect. Eng., Gen. Transm. Distrib., vol. 137, no. 6, pp. 395 - 402, Nov. 1990.

[7] A. A. Girgis, D. G. Hart, and W. Peterson, "A new fault location technique for two- and three-terminal lines," IEEE Trans. Power Del., vol. 7, no. 1, pp. 98 - 107, Jan. 1992.

[8] T. Nagasawa, M. Abe, N. Otsuzuki, T. Emura, Y. Jikihara, and M. Takeuchi, "Development of a new fault location algorithm for multiterminal two parallel transmission lines," IEEE Trans. Power Del., vol. 7, no. 3, pp. 1516 - 1532, Jul. 1992.

[9] Q. Zhang, Y. Zhang, W. Song, and Y.Yu, "Transmission line fault location for phase-to-earth fault using one-terminal data," Proc. Inst. Elect. Eng., Gen. Transm. Distrib., vol. 146, no. 2, pp. 121 - 124, Mar. 1999.

[10] Z. Qingchao, Z. Yao, S. Wennan, Y. Yixin, and W. Zhigang, "Fault location of two-parallel transmission line for non-earth fault using oneterminal data," IEEE Trans. Power Del., vol. 14, no. 3, pp. 863 - 867, Jul. 1999.

[11] Y.-J. Ahn, S.-H. Kang, M.-S. Choi, and S.-J. Lee, "An accurate fault location algorithm for double-circuit transmission systems," presented at the IEEE Power Eng. Soc. Summer Meeting, Seattle, WA, Jul. 2000.

[12] J. Izykowski, E. Rosolowski, and M. M. Saha, "Locating faults in parallel transmission lines under availability of complete measurements at one end," Proc. Inst. Elect. Eng., Gen. Transm. Distrib., vol. 151, no. 2, pp. 268 - 273, Mar. 2004.

[13] G. Song, J. Suonan, Q. Xu, P. Chen, and Y. Ge, "Parallel transmission lines fault location algorithm based on differential component," IEEE Trans. Power Del., vol. 20, no. 4, pp. 2396 - 2406, Oct. 2005.

[14] Young-Jin Kwon, Dong-Gyu Lee, Su-Hwan Kim, Sang-Hee Kang, "A Fault Location Algorithm Using Estimated Local Source Impedance", 2009 IEEE PES Power Systems Conference & Exposition (PSC 2009), 15-18 March 2009, Seattle, USA.

저 자 소 개



박 건 호 (朴 建 浩)

1983년 12월 6일생. 2010년 명지대 공대 전기공학과 졸업. 2010년~현재 등 대학원 전기공학과 석사과정
 Tel : (031) 330-3280
 Fax : (031) 330-6816
 E-mail : gundis@naver.com



강 상 희 (姜 相 熙)

1962년생. 1985년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1987년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1993년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 현재 명지대학교 공대 전기공학과 교수
 Tel : (031) 330-6364
 Fax : (031) 330-6816
 E-mail : shkang@mju.ac.kr



김 석 일 (金 碩 鎔)

1959년생, 1987년 건국대 공대 전기공학과 졸업. 한국전력(1978~2001), 한국전력거래소 (2001~2003), 현재 YPP(주) 기술본부장
 Tel : (02) 2104 - 8791
 Fax : (02) 2104 - 8711
 E-mail : kimsokil@gmail.com



신 중 한 (申 宗 翰)

1969년생, 1995년 명지대 공대 전기공학과 졸업. 1997년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). LS산전 전력연구소(1997~2008), 현재 YPP(주) 중앙연구소 이사
 Tel : (02) 2104-8782
 Fax : (02) 2104-4640
 E-mail : shinjh@yppdt.com