

영상 전류를 이용한 변류기 개방 판단 알고리즘

강용철, 이병은, 이현웅*, 김유다, 박준수, 이미선, 박지연, 이보은
전북대학교

Algorithm for detecting the failure of a current transformer using the zero-sequence current

Yongcheol Kang, Byungeun Lee, Hyunwoong Lee, Judah Kim, Junsu Park, Misun Lee, Jiyeoun Park, Boeun Lee
Chonbuk National University

Abstract - A current differential relay has been used for transmission line protection. The relay may maloperate in the case of a failure of the secondary circuit of a current transformer (CT) because the differential current is produced. This paper presents an algorithm to detect a failure of a CT using the zero-sequence current. If the magnitude of the zero-sequence current is the same as the magnitude of the current of the other healthy phases, a failure of a CT is detected and then the blocking signal is activated. The proposed algorithm prohibit the maloperation of a differential relay in the case of a CT failure and thus increase the security of the relay.

1. 서 론

송전선 보호에는 전류차동 방식, 거리 계전 방식, 파일럿 계전 방식 등이 있으며, 이 중에서 전류차동 방식 주로 사용된다. 이 방식은 보호하고자 하는 송전선 구간 양쪽 끝에 변류기를 설치하여 각 변류기의 2차측 전류에 의한 차전류를 계산하여 보호하는 방식이다. 타 방식에 비해 전류차동 방식은 보호 영역의 내부사고 판별 능력이 뛰어나고 감도가 예민하며, 빠른 속도로 동작한다. 또한 사고 시 고주파 AC성분과 DC성분이 발생해도 안정적인 동작을 할 수 있는 보호 방식이다.[1]

전류차동 방식은 변류기의 포화 또는 개방으로 인해 오동작 할 수 있다.[2] 변류기의 포화에 대한 대책은 많은 연구와 논의가 계속되어지고 있으나 변류기 개방에 대한 연구는 거의 진행되지 않고 있는 실정이다.

변류기의 개방이란 2차 권선의 단선 등의 이유로 2차 측이 개방되는 현상이다. 2차 측이 개방될 경우에 2차 전류는 0이 되기 때문에, 계통 사고가 발생하지 않았음에도 불구하고 차전류가 발생하게 되므로, 보호 계전기는 사고가 아님에도 불구하고 사고로 판단하여 트립 신호를 내보낼 수 있다. 오동작을 방지하기 위하여 기존의 보호 계전 시스템에서는 변류기 개방 사고 시 발생하는 전압의 저하로써 판단하는 저전압 요소를 사용하고 있으나, 전압을 별도로 측정해야하는 단점을 가지고 있다.

본 논문에서는 영상전류를 계산하여 변류기 개방을 판단하는 알고리즘을 제안한다. 제안한 방식은 각상 변류기의 2차 전류로부터 영상전류의 크기를 계산하고, 이를 각 상 전류의 크기와 비교한다.[3] 영상 전류의 크기와 건전 상 전류의 크기가 같으면, 변류기가 개방되었다고 판단하고, 블로킹 신호를 발생한다. 제안한 알고리즘을 검증하기 위해 EMTP로 얻은 데이터를 사용하였으며, 송전선 보호 전류차동 보호 계전기에 적용하여 성능을 검증한다.

2. 본 론

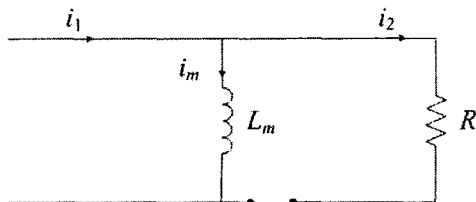
2.1 변류기 개방 판단 알고리즘

본 논문에서는 3상 시스템에서의 변류기 개방 판단 방법을 제안한다. 변류기 각 상의 2차전류와 영상 전류 실효값의 크기를 비교하여 변류기 개방을 판단하고, 블로킹 신호를 발생함으로써, 송전선이 정상상태 임에도 불구하고 변류기 개방으로 인해 계전기가 오동작 하는 것을 방지한다.

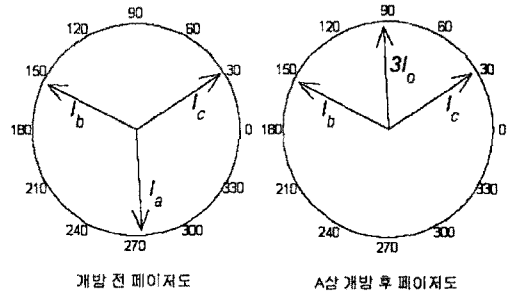
변류기 개방 전, 정상운의 3상 전류는 식 (1)로 표현할 수 있고 a는 위상 변환에 사용되는 복소수로서 $1 \angle 120^\circ$ 의 값을 가진다. 이 때 영상전류는 식 (2)와 같다. 사고 전 정상상태에서는 영상전류는 0이 된다. 하지만 그림 1과 같이 변류기 2차 측이 개방될 경우, 상전류 크기는 0이 되고, 이 때 발생하는 영상 전류는 다른 두 상 전류 합과 같게 된다. i_1 과 i_2 는 각각 1차 측과 2차측 전류이고 i_m 은 자화전류, L_m 은 자화 인덕턴스이다.

$$I_a, I_b = \alpha^2 I_a, I_c = \alpha I_a \quad (1)$$

$$3I_0 = I_a + I_b + I_c \quad (2)$$



〈그림 1〉 변류기 개방 시 간략한 등가회로



〈그림 2〉 변류기 개방 전과 개방 후의 페이저도

A상 변류기 개방 시($I_a = 0$), 영상 전류는 식 (3)과 같은 형태가 된다. 그림 2는 개방 전, 개방 후의 영상전류를 나타낸다. 개방 전에 영상전류는 나타나지 않지만, A상 개방 후에는 영상전류가 존재함을 알 수 있다. 본 논문에서는 식 (4)와 같이 영상전류의 크기와 0이 아닌 상전류의 크기를 비교하여 변류기의 개방을 판단한다. σ 는 전류의 오차를 고려하기 위해 넣은 값이다. 식 (4)의 조건을 만족하면 변류기가 개방 되었다고 판단하고, 블로킹 신호를 내보낸다.

$$3I_0 = I_b + I_c = -I_a \quad (3)$$

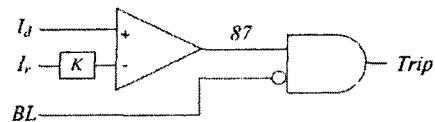
$$|3I_0| = \sigma |I_b| = \sigma |I_c|, \quad 0.8 \leq \sigma \leq 1.2 \quad (4)$$

2.2 변류기 개방 판단 블로킹을 포함한 비율 차동 계전 방식
비율 차동 계전기의 트립 조건은 식 (5)와 같다.

$$I_d \geq KI_r \quad (5)$$

여기에서 K 는 계전기의 감도이고, I_d 는 차전류 기본과 성분의 실효값이며, I_r 는 보호영역 양단 전류의 기본과 성분의 실효값을 더해서 2로 나눈 억제전류 값을 나타낸다.

변류기 개방으로 인한 오동작을 방지하기 위해, 개방 판단 신호를 블로킹 신호로 사용한다. 그림 3은 변류기 개방 블로킹 비율 차동 계전기의 논리 회로를 나타낸다.



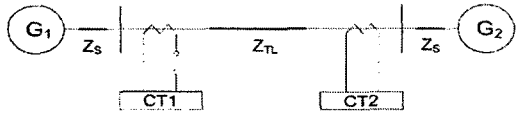
〈그림 3〉 변류기 개방 판단 논리 회로

3. 사례 연구

3.1 모델 시스템

제안한 알고리즘의 성능을 검증하기 위하여 3상 모델 계통을 EMTP를 이용하여 그림4와 같이 모델링 하였다. 전압은 154kV이고, 전체 송전선 길이는 100km이다. Z_s 는 전원 측 임피던스이고 Z_{TL} 은 송전선의 임피던스를 나타낸다. 변류비가 800:5인 변류기와 K 가 0.8인 비율차동 계전기를 사용하였다.

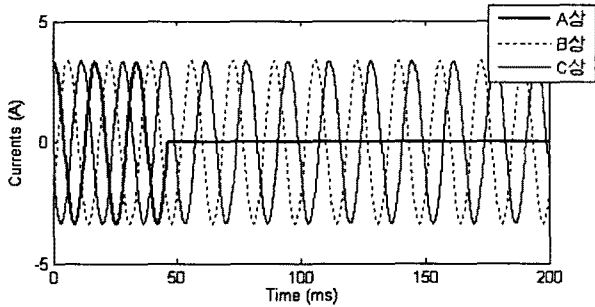
주기 당 64샘플의 데이터를 사용하고, 중점방지 지역 통과 필터로써 컷오프 주파수가 1,920Hz인 2차 바터워스 저역통과 필터를 사용 하였으며 DC를 제거한 후 DFT연산을 수행하였다. 사고가 아닌 경우의 변류기 개방만을 고려하였다.



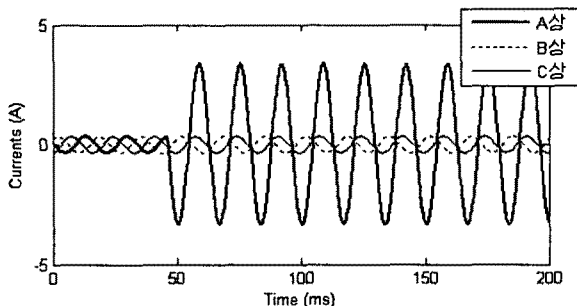
〈그림 4〉 모델 시스템

3.2.1 개방 판단 블로킹을 적용하지 않았을 때

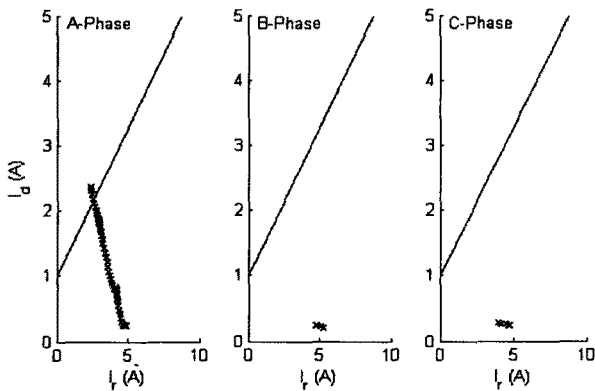
그림 5a는 A상 변류기 개방 시 각 상의 순시 전류를 보여준다. A상 변류기가 개방된 46ms 이후 2차 측에는 전류가 흐르지 않음을 알 수 있다. 그림 5b는 변류기 개방에 의한 각 상의 차전류를 나타낸다. 사고 이전에, A, B, C상에도 차전류가 발생하는 것을 알 수 있는데 이는 송전선의 길이가 길어 커패시터 성분이 영향을 미쳤기 때문이다. 이 경우의 차전류가 발생한 경우에는 계전기가 동작하지 않도록 설정해 주어야 한다. 그림 5c는 식 (5)에서 설명한 비율 차동 계전기의 트립 조건식을 이용하여 전류 차동 계전기가 동작하는 과정을 나타낸 것이다. 변류기 개방으로 인해 차전류가 커져 63ms에 동작 영역으로 진입하여, 계전기의 트립 신호가 나가게 됨을 알 수 있다.



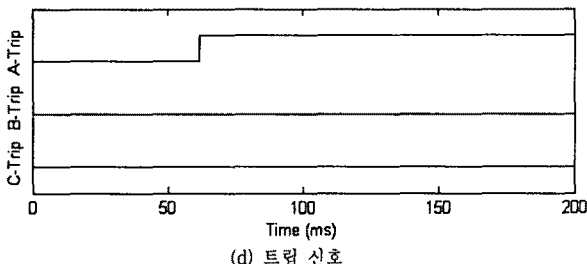
(a) 변류기의 A상 개방 시 각 상 전류



(b) 차전류



(c) 계전기 동작 상태



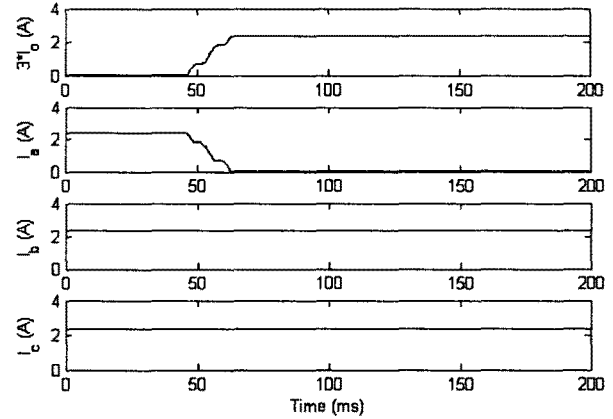
(d) 트립 신호

〈그림 5〉 개방 판단 블로킹을 적용하지 않은 경우의 결과

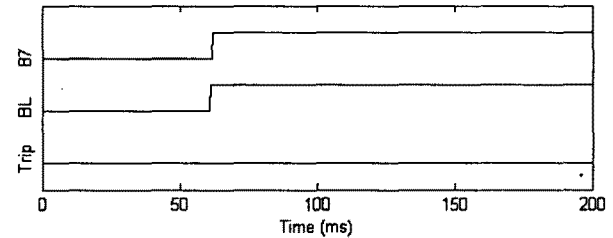
3.2.2 개방 판단 블로킹을 적용 했을 때

그림 6a는 A상 변류기 개방 시에 발생하는 영상전류와 각 상 전류의 실효값을 나타낸다. 46ms시점에서 A상 변류기가 개방되고 그 이후 영상전류가 발생하는 것을 알 수 있다.

그림 6b에 87계전기가 63ms에서 동작을 하였지만 BL은 61ms에서 동작하여 트립 신호가 나가지 않음을 알 수 있다. 이것은 앞에서 언급했듯이 영상 전류로 변류기의 개방 유무를 판단하여 미리 블로킹 신호를 보냄으로써 트립 신호가 나가는 것을 막았기 때문이다. 이로써 변류기 개방으로 인한 오동작을 방지할 수 있으며, 어느 상의 변류기 2차 측이 개방되었는지 경보 신호를 통해 알 수 있다.



(a) 영상전류와 각 상 전류의 실효값



(b) A상의 블로킹 신호와 트립 신호

〈그림 6〉 알고리즘 적용한 경우의 결과

4. 결 론

본 논문에서는 영상전류를 계산하여 변류기 개방을 판단하는 알고리즘을 제안한다. 제안한 방식은 3상의 전류로부터 영상전류의 크기를 계산하고, 이를 각 상 전류의 크기와 비교하여, 개방된 상의 변류기를 판단하여, 보호 계전기의 트립 신호를 블로킹하는 방식이다. 기존의 보호 계전 시스템에서는 전압을 별도로 측정하여야 하나, 본 논문에서 설명한 알고리즘을 적용하면 별도의 측정 설비 없이 변류된 2차 전류만을 이용하여 어느 상의 변류기가 개방 되었는지를 알 수 있다.

사태 연구를 수행한 결과, 한 상의 변류기 2차 측이 개방되었을 경우 양 단간 차전류가 발생함을 알 수 있다. 알고리즘을 적용하지 않았을 때 비율 전류차동 계전기는 선로의 사고가 아님에도 불구하고 이를 사고로 판단하여 트립 신호를 내보내 계전기의 오동작을 유발한다. 하지만, 제안한 알고리즘을 적용하였을 경우, 영상전류의 크기와 각 상 전류의 크기를 비교하여 블로킹 신호를 내보낸다. 이로써 트립 신호의 출력과 계전기의 오동작을 방지한다. 그러므로 송전선 보호 전류차동 계전기의 신뢰도를 향상 시킬 수 있다.

감사의 글

본 연구는 과학기술부/한국과학재단 우수연구센터육성사업의 지원으로 수행되었음(차세대전력기술연구센터)

【참고 문헌】

- [1] L.J. Ernst, W.L. Hinman, D.H. Quam and J.S. Thorp, "Charge comparison protection of transmission lines-relaying concepts", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 7, No. 4, pp. 1834-1852, Oct. 1992
- [2] 강용철, "변류기 전류보상 알고리즘을 이용한 모선보호용 전류차동계전 알고리즘", 대한전기학회논문지 전력기술부문A, vol. 49, No. 9, pp. 446-450, 2000년 9월
- [3] R. ueda, T. Sonoda, K. Kajiwara and Y. Miki, "Feasibility of zero phase current detection by sensing current at each of the three phases in power distribution networks", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 10, No. 2, pp. 613-620, April 1995