변류기 포화검출 알고리즘을 적용한 모선보호용 비율전류차동 계전방식

강용철, 윤재성, 옥승훈
전북대학교 전자정보공학부

A Percentage Differential Current Relaying Algorithm for Bus Protection Using Current Transformer Saturation Detecting Algorithm

Yong-Cheol Kang, Jae-Sung Yun, Seung-Hun Ok
Chonbuk National University

Abstract - A percentage current differential relaying algorithm is widely used for bus protection. However, it may maloperate external faults with CT saturation. This paper proposes a percentage current differential relaying algorithm for bus protection using CT saturation detecting algorithm. The CT saturation detecting algorithm uses difference of secondary current of CT and detects CT saturation. The proposed method distinguishes percentage differential relay operation caused by faults from percentage differential relay operation caused by CT saturations.

1. 서 론

현재 모선보호용으로 사용하고 있는 계전방식의 기본 원리는 전류차동 방식인데, 이는 계전기에 입력되는 변류기의 2차전류로부터 차동전류를 계산하여 설정된 값보다 크면 사고로 판정하는 방식이다. 그런데, 실제로는 여러 가지 오차를 감안하여 비율 전류차동 계전방식을 사용한다.

그런데, 비율 전류차동 계전방식은 변류기 포화를 수반한 외부사고의 경우 내부사고로 잘못 인식하는 문제점을 가지고 있다. 현재까지는 포화에 대한 효과적인 대책이 없기 때문에 전류가 많이 흐르는 대전류 영역에서 계전기의 감도를 희생하여 계전기의 동작영역을 축소시킨 가변비율 전류차동 계전방식을 사용하고 있다.

하지만, 가변비율 전류차동 계전방식에서 감도를 심하게 희생시키면 축소시킨 동작영역만큼 내부사고를 인식할 수 없는 가능성이 커지게 된다. 그래서, 적당한 기울기를 선택하여야 하며, 동작영역의 설정 과정에서 이러한 내용을 주의 깊게 고려하여야 한다. 계전기의 감도를 심하게 희생시킬 수 없기 때문에 변류기가 심하게 포화되는 외부사고 시 오동작을 피하기 어렵다. 그래서, 변류기 포화에 대한 별도의 대책을 반드시 마련해야 한다.

본 논문에서는 참고문헌[1]의 변류기 포화검출 알고리즘을 적용한 비율전류차동 계전방식을 제안하고자 한다. 비율전류차동 계전기가 동작하게 되면, 이를 변류기 포화 검출과 연관지어 사고여부를 판단한다. EMTP를 이용하여 사고 데이터를 생성하여 내부사고와 외부사고의 경우에 대하여 제안한 계전방식의 성능을 분석하였다.

2. 본 론

2.1 전류차분을 이용한 포화검출 알고리즘 [1]

변류기가 포화개시 또는 포화종료되면, 변류기의 자화인덕턴스가 매우 급격하게 변한다. 즉, 내부 파라미터의 값이 심하게 변하여, 2차전류가 포화순간을 전후로 하여, 매우 다른 형태의 파형이 된다. 따라서, 포화 개시/종료 순간에는 2차전류는 연속이긴 하지만, 2차전류의 1차차분이 불연속이 되고, 2차차분(3차차분)이 큰 값을 갖는다. 따라서, 변류기가 포화 개시/종료 순간에 2차전류의 3차차분의 크기가 임계값보다 크면, 포화개시/종료 순간으로 판단한다.

2.2 포화검출 알고리즘을 적용한 비율전류차동 계전기

2.2.1 비율전류차동 계전방식

비율전류차동 계전방식은 계전기에 입력되는 2차 전류로부터 억제전류(i_r)와 차동전류(i_d)의 순시값을 식 (1),(2)와 같이 계산한다.

$$i_d = \sum i_{TL} \qquad (1)$$

$$i_r = \sum |i_{TL}| \qquad (2)$$

여기서 TL은 해당 모선에 연결된 모든 선로 또는 bustie를 의미한다.

식 (1),(2)의 순시값에서 억제전류와 차동전류의 실효값을 계산하여 다음 식(3)과 같은 관계를 만족하면 사고가 발생한 것으로 인식한다.

$$I_d > kI_r + I_{offset} \qquad (3)$$

여기서 k는 계전기의 감도를 의미하며 I_{offset}은 무시할 차동전류의 값이다. k가 크면 계전기의 감도가 둔하고, k값이 작으면 계전기의 감도가 민감해진다.

2.2.2 사고 판정

다음 그림1에 사고를 판단하는 알고리즘을 보였다.

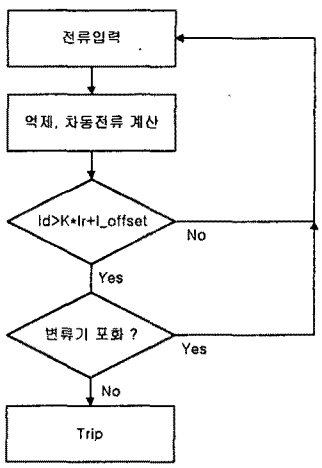

그림 1 사고판정 알고리즘

전류가 입력되면 비율 전류차동 계전기에서 억제전류와 차동전류를 구하고 구한 결과를 식 (3)에 의하여 비교하여 사고인지 판정한다. 이때, 사고라고 판정되면 포화검출 알고리즘을 확인하여 변류기가 포화되었으면 전류차동 계전기의 출력을 차단시키고, 변류기가 포화되지 않았으며 최종 사고로 판정한다.

2.3 모델 계통

제안한 계전방식의 성능을 평가하기 위하여 그림 2와 같이 12개의 선로가 연결되어 있는 2중모선 구조를 선택하여 EMTP를 이용하여 모델링하였다. 각각의 선로는 50km의 길이로 발전기와 연결되어 있으며 선로의 파라미터는 영상이 $R'=0.25[\Omega]$, $L'=2.7056[mH]$, $C'=0.0048[\mu F]$이며, 정상이 $R'=0.0345[\Omega]$, $L'=0.9815[mH]$, $C'=0.0117[\mu F]$이다. 전압은 154kV이고, 변류기는 800:5를 선택하였으며, 변류기의 포화점은 2.971 [Vs], 5.118 [A]이다. 변류기의 포화특성과 히스테리시스 특성까지 모의하기 위하여 type 96소자를 사용하였다.

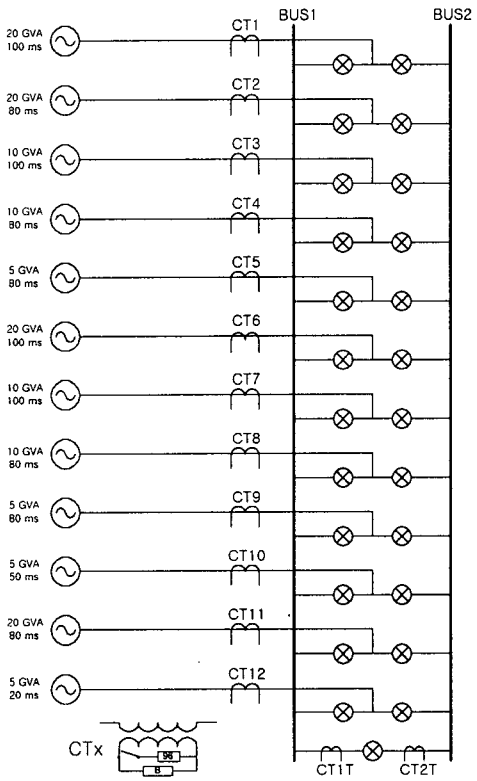

그림 2 모델계통

2.4 사례연구

EMTP에서 얻은 사고데이터를 이용하여 제안한 계전방식의 성능을 평가하였다. 먼저, 디지털 계전기의 입력단에 사용되는 저역통과필터의 영향을 고려하기 위하여 차단주파수가 1920Hz이고, 차단 주파수에서 감쇄계수가 0.707, 이득이 0.1인 저역통과 필터를 2차 Butterworth 필터로 설계하였다. 샘플수는 주기당 64샘플을 사용하여 비율전류차동 계전기와 포화검출 알고리즘을 구현하였다.

비율전류차동 계전기의 I_{offset}은 2.0, 기울기(k)는 0.3으로 하였고, 포화검출 알고리즘에서 3차 차분의 임계값은 0.6으로 하였다.

사례에서 선로의 구성은 1, 3, 5, 7, 9, 11번 선로는 모선 1에, 2, 4, 6, 8, 10, 12번 선로는 모선 2에 연결되어 있고, bustie는 연결되어 있다. 그리고, 사고는 모선에서 4km 떨어진 2번 선로에서 발생한 외부사고의 경우와, 모선 1의 내부에서 발생한 사고의 경우에 대하여 보였다.

사례의 그림은 모선 1, 2에서 억제전류와 차동전류가 각 샘플에 따라 변하는 것을 보여주고, 비율전류차동 계전기의 동작 결과, 포화검출 결과와 최종 사고 판정 결과를 보여준다.

사례 1: 모선 2 외부사고 (2번 선로 사고, bustie 연결)

모선 외부에서 발생한 사고이므로 비율전류차동 계전기가 동작하지 않아야 한다. 그림 3~6은 사례 1의 결과이다.

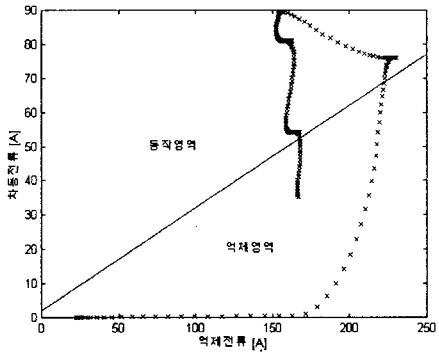

그림 3 모선 1의 억제전류, 차동전류(사례 1)

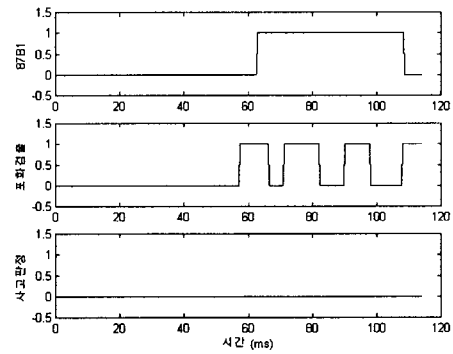

그림 4 모선 1의 동작 결과(사례 1)

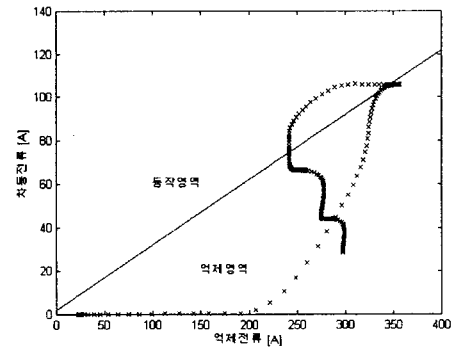

그림 5 모선 2의 억제전류, 차동전류(사례 1)

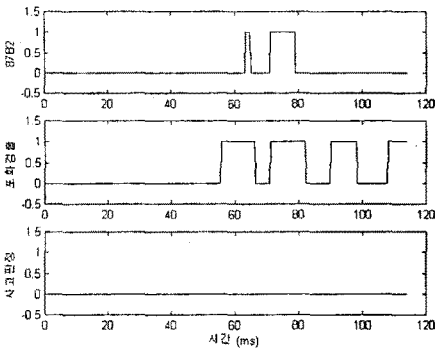

그림 6 모선 2의 동작 결과(사례 1)

모선1의 경우 그림 3과 같이 차동전류가 발생하여 비율전류차동 계전기가 동작영역 내부로 진입하게 된다. 그런데, 그림 4에서 볼 수 있듯이 비율전류차동 계전기가 동작했을 때, 변류기 포화가 검출된다. 이와 같은 경우 비율전류차동 계전기가 사고가 아닌 포화로 인하여 동작하였다고 판정하게 되며 비율전류차동 계전기의 동작신호는 차단된다.

모선2의 경우 역시 그림 5와 같이 비율전류차동 계전기가 동작영역 내부로 진입하게 되지만, 그림 6과 같이 포화가 검출되고 비율전류차동 계전기의 출력 신호는 차단된다.

사례 2: 모선 1 내부사고 (bustie 연결)

모선1에서 내부사고가 발생한 경우에 모선 1에 비율전류차동 계전기만 동작하여야 한다. 그림 7~10은 사례 2의 결과이다.

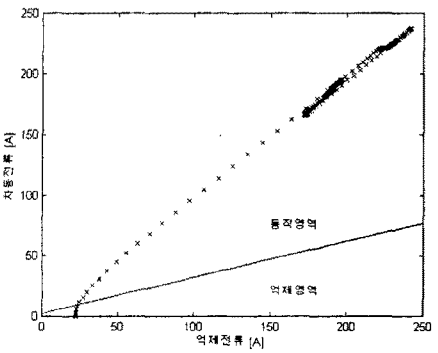

그림 7 모선 1의 억제전류, 차동전류(사례 2)

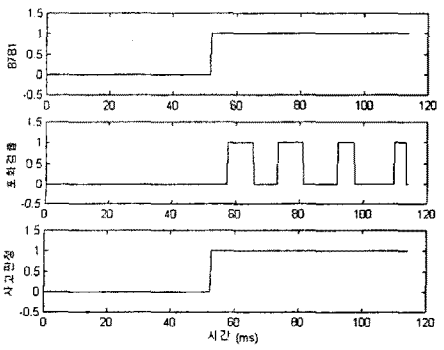

그림 8 모선 1의 동작 결과(사례 2)

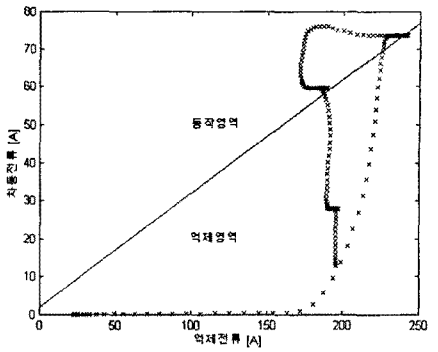

그림 9 모선 2의 억제전류, 차동전류(사례 2)

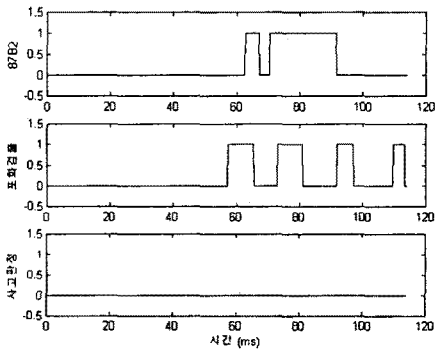

그림 10 모선 2의 동작 결과(사례 2)

모선1의 경우 그림 7과 같이 비율전류차동 계전기가 동작영역 내부로 진입하게 된다. 그리고, 그림 8에서 알 수 있듯이 비율전류차동 계전기가 동작하였을 때, 포화가 검출이 되지 않았기 때문에 사고로 인하여 비율전류차동 계전기가 동작한 것으로 판정하게 된다.

그런데, 모선2의 경우에는 그림 9와 같이 비율전류차동 계전기가 동작영역 내부로 진입하게 되지만, 그림 10과 같이 포화가 검출되기 때문에 비율전류차동 계전기의 동작을 차단하게 된다.

3. 결 론

본 논문에서는 변류기 포화검출 알고리즘을 적용한 모선 보호용 비율 전류차동 계전방식을 제안하였으며, 사례 연구를 통하여 제시한 방식의 성능을 분석하였다.

제안한 모선보호 계전방식은 비율 전류차동 계전방식으로 가변비율 전류차동 계전방식에 비하여 동작영역을 확대하였으며, 변류기 포화로 인한 잘못된 동작을 방지하여 변류기 포화에 대한 별도의 대책이 필요하지 않다.

[참 고 문 헌]

[1] 강용철, 옥승훈, 강상희, "변류기 2차전류의 포화 여부 판단 알고리즘", 대한전기학회 논문지 A, 50권 6호, pp275-278, 2001년 6월

[2] Y.C.Kang, S.H.Ok, S.H.Kang, "A Novel CT saturation detecting algorithm unaffected by a remanent flux", IEEE PES Summer Meeting, 2001.7