2003년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집 2003.7.21-23

잔류자속에 무관한 보상 알고리즘을 적용한 모선보호용 전류차동 계전방식

강 용 철* °윤 재 성** 임 의 재*
*전북대학교 전자정보공학부,NPTC **유호전기공업 (주)

A Percentage Current Differential Relay for Bus Protection Using a Compensation Algorithm Unaffected by a Remanent Flux

Yong-Cheol Kang* °Jae-Sung Yun** Ui-Jai Lim*
*Chonbuk Nat'l Univ.,NPTC **Youho Electric Ind. Co., Ltd.

Abstract - This paper proposes a percentage current differential relaying algorithm for bus protection with a compensation algorithm of a CT. The compensating algorithm estimates the core flux at the start of the first saturation based on the value of the third-difference of the secondary current. It calculates the core flux and compensates distorted currents in accordance with the magnetization curve. The test results indicate that the algorithm can discriminate internal faults from external faults when the CT saturates. It can improve not only stability of the relay in the case of an external fault but sensitivity of the relay in the case of an internal fault.

1. 서 론

모선보호용으로 비율 전류차동 계전방식이 주로 사용되고 있는데, 이는 차동전류와 억제전류를 계산하여 일정한 비율을 고려하여, 사고를 판정하는 방식이다. 하지만, 이 방식은 변류기 포화를 수반한 외부사고의 경우에 내부사고로 잘못 인식하는 문제점을 가지고 있다. 이에 대한 대책으로 대전류 영역에서 계전기의 감도를 회생, 동작영역을 축소시킨 가변비율 전류차동 계전방식이 사용된다. 그런데, 계전기의 감도를 회생하는데 한계가 있기 때문에 심한 변류기 포화를 수반하는 외부사고 시 오동작을 피하기 어렵다. 따라서, 가변비율 전류차동 계전방식에서도 변류기 포화에 대한 별도의 대책이 반드시 필요하며 참고문헌 [1]~[5]에 여러 가지 방식이 제안되었다.

참고문헌 [1]~[4]에서 제시한 방식은 포화된 2차 전류를 직접 처리하지 못하므로, 성능 향상에 한계가 있다. 참고문헌 [5]에서는 왜곡된 변류기 2차 전류를 보상 알고리즘을 적용한 모선 보호 방식이 제안되었다. 그런데, 참고문헌 [5]의 방식은 잔류자속이 없는 경우에만 보상이 가능하므로, 잔류자속이 존재하는 경우에는 오차의 증가가 예상된다.

본 논문에서는 참고문헌 [5]를 보완한 모선보호용 비율 전류차동 계전방식을 제안한다. 개선된 보상 알고리즘은 2차 전류의 3차 차분 값으로부터 처음 포화되는 순간의 자속을 추정한 후에, 자속을 계산하여 변류비에 맞는 2차 전류로 복원하므로, 잔류자속이 존재하는 경우에 변류기가 포화되어도 정확하게 동작한다. 제시한 방식의 성능을 검증하기 위하여, EMTP를 이용, 12개의 송전선이 연결되어 있는 154[kV] 이중모선 계통을 모의하여 여러 가지 사고 데이터를 생성, 제안한 알고리즘의 성능을 확인하였다.

2. 본 론

2.1 개선된 변류기 2차 전류 보상 알고리즘을 적용한 모선보호용 비율 전류차동 계전방식

2.1.1 개선된 변류기 2차 전류 보상 알고리즘

개선된 변류기 2차 전류 보상 알고리즘은 자속을 계산하기 위하여 식 (1)을 사용한다.

$$\frac{d\lambda(t)}{dt} = (R_s + R_b)i_s(t) + (L_s + L_b)\frac{di_s(t)}{dt} \quad (1)$$

여기서 $\lambda(t)$는 쇄교 자속, R_s는 2차 회로의 저항을, R_b는 부담의 저항, $i_s(t)$는 2차 전류, L_s는 2차 회로의 인덕턴스, L_b는 부담의 인덕턴스를 의미한다.

식 (1)은 자속의 증분을 계산하는 수식으로 이전의 자속을 알아야 현재의 자속을 계산할 수 있다. 때문에, 잔류자속이 존재하는 경우에는 그 잔류자속이 고려되어야 한다. 하지만, 철심에 남아 있는 잔류자속을 구하기 어렵다. 그런데, 포화 순간 전류의 3차 차분은 포화 순간에 자화가지로 흐르는 전류와 같게 된다. 이러한 원리에서 포화 순간 3차 차분에서 포화 순간의 자속을 추정할 수 있다. 따라서, 잔류자속이 존재하는 경우에도 포화되는 순간의 3차 차분을 이용하여 정확한 자속을 추정하고, 보상 알고리즘을 이용, 변류비에 맞는 2차 전류를 계산할 수 있다. 처음 포화가 시작되는 순간을 찾기 위하여, 3차 차분이 식 (2)의 값보다 크면 포화된 것으로 판단한다.

$$Th = k\sqrt{2}I_{fmax}(2\times\sin(\pi/N))^3 \quad (2)$$

여기서 k는 판단 알고리즘의 감도를 나타내는 상수이며, I_{fmax}는 예상되는 최대 사고 전류이고, N은 주기당 샘플수이다.

2.1.2 제안된 계전방식

제안된 계전방식의 흐름도를 그림 2에 보였다. 비율전류차동 계전방식은 그림 2에서와 같이 입력된 전류로부터 계산된 억제전류(I_r)와 차동전류(I_d)가 식 (3)과 같은 관계가 성립하면 사고가 발생한 것으로 판단한다.

$$I_d > SLP*I_r + I_{offset} \quad (3)$$

여기서 SLP는 계전기의 감도를 나타내며, I_{offset}은 무시할 차동전류의 값으로 오차 등을 감안하여 결정한다.

변류기가 포화 이전(sat_ind=0)에는 보상 알고리즘을 동작시키지 않고, 계전기에 입력된 2차 전류로부터 억제전류와 차동전류를 계산한다. 변류기가 포화되면 3차 차분에서 임계값 이상의 큰 값이 발생하게 되고, 알고리즘은 포화를 판단(sat_ind=1)하고 그 순간의 3차 차분 값을 이용하여 자속을 추정한다. 첫 포화가 판단된 이후에는 식 (1)에 의하여 계산된 자속값을 가지고 왜곡된 전류를 변류비에 맞는 2차 전류로 복원하여 억제, 차동전류를 계산하여 사고 여부를 판단한다.

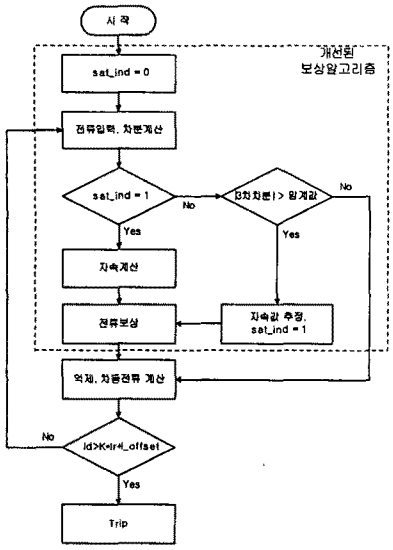


그림 2 제안된 계전방식의 흐름도

2.2 사례연구

2.2.1 모델 계통

제안한 계전방식의 성능을 평가하기 위하여 그림 3과 같이 이중 모선 구조의 모델 계통을 선정하였다. 길이가 50[㎞]인 12개의 선로를 통하여 발전기가 연결되어 있으며, 전압은 154[kV]이다. 변류기는 C800 변류기이며, 변류비는 800:5, 2차 권선 저항은 0.54[Ω]이다. 히스테리시스 특성까지 모의할 수 있는 type96 소자를 모의하기 위한 포화점은 2.047[A], 2.971[Vs]이다.

1,3,5,7,9,11번 선로는 모선 1에, 2,4,6,8,10,12번 선로는 모선 2에 각각 연결되어 있으며, bus-tie는 연결되어 있다. 모선 1을 담당하는 비율 전류차동 계전기(87B1)는 모선 1에 연결된 6개의 선로와 bus-tie에 설치된 변류기(CT1T)에서 전류를 입력받고, 모선 2를 담당하는 비율 전류차동 계전기(87B2)는 모선 2에 연결된 6개의 선로와 bus-tie에 설치된 변류기(CT2T)에서 전류를 입력받아 억제전류, 차동전류를 계산한다.

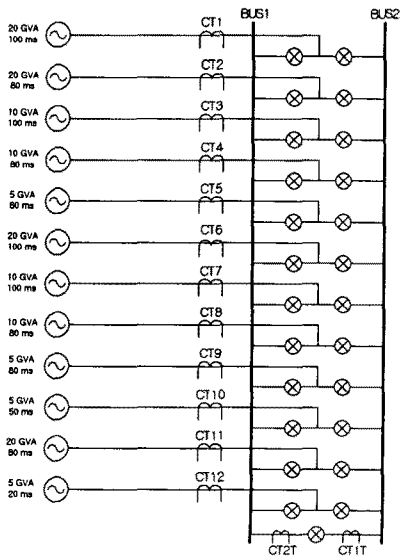


그림 3 모델 계통

샘플링 주파수는 3840Hz(주기당 64 샘플)이며, 중첩방지 저역통과 필터는 샘플링 주파수의 반인 1920[Hz]를 차단주파수로 갖는 1차 RC 필터를 사용하였고, 비율 전류차동 계전기의 *SLP* 값은 0.2를, I_{offset}은 2.0[A]를 사용하였다.

본 논문에서는 I_{fmax}=233[A], N=64, k=3으로 하여, 0.93[A]을 3차 차분의 임계값으로 선택하였으며, 모선 1에서 발생한 사고, 2번 송전선에서 발생한 사고의 경우에 대하여 제시한 알고리즘의 성능을 검증하였다.

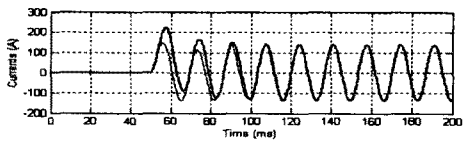
2.2.2 모선 1 A상 지락사고 (잔류자속 80%)

CT1T와 CT2T의 철심에 포화점 자속의 80%(2.377 [Vs])의 잔류자속이 존재하는 경우에 모선 1에서 A상 지락사고가 발생한 경우이다.

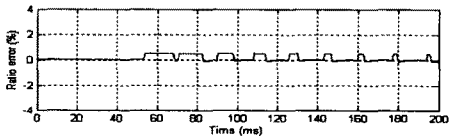
그림 4는 CT1T와 CT2T의 측정한 2차 전류와 보상 후 전류 및 변류비 오차를 보여준다. 가는 실선은 변류기가 포화된 2차 전류이고, 굵은 실선은 보상한 전류이다. 각각의 그림에서 왜곡된 전류가 정확하게 복원됨을 알 수 있다.

그림 5는 보상 알고리즘을 적용하기 전, 후의 87B1의 결과를 보여준다. 두 가지 경우 모두 계전기가 동작영역 내부로 진입하지만, 보상 알고리즘을 적용한 그림 5b의 경우에는 변류기 포화로 줄어든 전류를 보상하였기 때문에 억제전류와 차동전류의 크기가 더 커진 것을 알 수 있다.

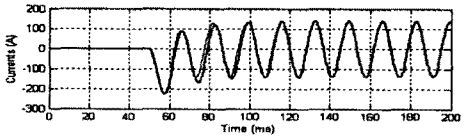
그림 6는 87B2의 결과를 보여 준다. 그림 6a는 포화된 변류기 2차 전류를 그대로 사용하여 계산했을 경우이다. 그림 6a에서 발생된 차동전류는 그림 4c에서 가는 실선으로 나타낸 왜곡된 CT2T 전류에 의하여 발생된 것으로 비율 전류차동 계전기가 동작영역 내부로 진입하는 것을 알 수 있다. 그런데, 보상 알고리즘을 적용한 그림 6b에서는 차동전류가 거의 발생하지 않아 동작영역으로 접근하지 않는다.



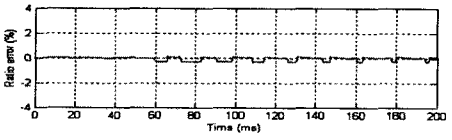
(a) CT1T



(b) CT1T의 변류비 오차

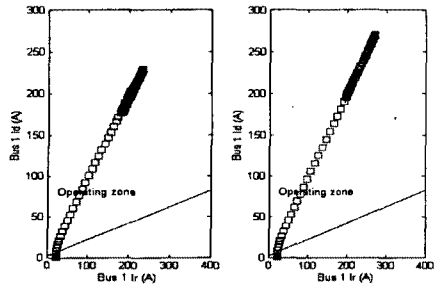


(c) CT2T



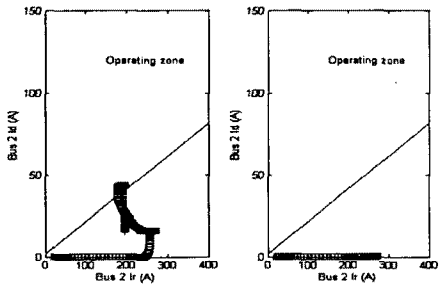
(d) CT2T의 변류비 오차

그림 4 측정한 2차 전류와 보상 후 전류



(a) 보상 전 (b) 보상 후

그림 5 87B1의 결과 (모선 1사고, 잔류자속 80%)



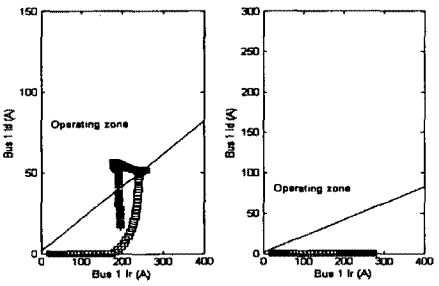
(a) 보상 전 (b) 보상 후

그림 6 87B2의 경우 (모선 1사고, 잔류자속 80%)

2.2.3 선로 2 사고 (잔류자속 -80%)

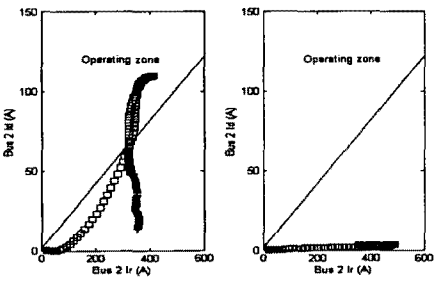
2번 선로에 설치된 변류기(CT2)의 철심에 포화점의 -80% (-2.377 [Vs])에 해당되는 잔류자속이 존재할 때, 모선과 인접한 2번 선로에서 A상 지락사고가 발생한 경우이다.

그림 7, 8은 87B1와 87B2의 결과를 보여준다.



(a) 보상 전 (b) 보상 후

그림 7 87B1의 결과 (선로 2사고, 잔류자속 -80%)



(a) 보상 전 (b) 보상 후

그림 8 87B2의 결과 (선로 2사고, 잔류자속 -80%)

그림 7a, 8a에서 87B2의 경우에는 bus-tie와 2번 송전선로에 설치된 변류기까지 포화되었기 때문에 87B1보다 더 큰 차동전류가 발생함을 알 수 있다. 차동전류의 크기 차이는 있지만 87B1, 87B2 모두 동작영역 내부로 진입하게 된다. 그런데, 보상 알고리즘을 적용시킨 7b, 8b에서는 동작영역으로 접근하지 않는다.

3. 결 론

본 논문에서는 잔류자속에 영향을 받지 않는 보상 알고리즘을 적용한 모선보호용 비율전류차동 계전방식을 제안하였다. 제안한 방식은 변류기가 처음 포화되는 순간을 판단하고, 3차 차분을 이용하여 포화 순간의 자속을 추정하고, 자속을 계산, 자화전류를 추정하여 변류비에 맞는 2차 전류를 추정하는 보상 알고리즘을 사용하였다. 따라서, 잔류자속에 관계없이 포화된 2차 전류를 변류비에 맞는 2차 전류로 복원하므로 변류기 포화에 대한 별도의 대책이 필요 없으며, 가변비율전류차동 계전방식에 비하여 동작영역이 확대되어 감도가 향상된 계전방식이다.

본 연구는 과학기술부 및 한국과학재단의 ERC 프로그램을 통한 지원으로 이루어졌으며 이에 감사를 드립니다.

[참 고 문 헌]

[1] A. Kumar and P. Hansen, "Digital bus-zone protection", IEEE Computer Applications in Power, Vol. 6, No. 4, Oct. 1993, pp.29~34

[2] M.S. Sachdev, T.S. Sidhu, H.S. Gill, "A busbar protection technique and its performance during CT saturation and CT ratio-mismatch", IEEE Trans. on PWRD, Vol. 15, No. 3, July 2000, pp.895~901

[3] C. Fernandez, "An Impedance-Based CT Saturation Detection Algorithm for Bus-Bar Differential Protection", IEEE Trans. on PWRD, Vol. 16, No. 4, October 2001, pp.468~472

[4] 강용철, 윤재성, "변류기 포화 판단 알고리즘으로 억제된 모선보호용 비율 전류차동 계전방식", 전기학회 논문지 A, 제52권 제1호, 2003년 1월, pp.44~49

[5] 강용철, 윤재성, 김동륭, "변류기 전류보상 알고리즘을 이용한 모선보호용 전류 차동계전 알고리즘", 전기학회 논문지 A, 제49권 제9호, 2000년 9월, pp.446~450