

보상 알고리즘을 적용한 변압기 보호용 전류차동 계전 방식

강용철, 이병은, 김은숙, 박종민*, 소순홍, 황태근, 김연희
전북대학교, 차세대 전력기술 연구센터

Current differential relay for transformer protection combined with a CT compensating algorithm

Yongcheol Kang, Byungeun Lee, Enshu Jin, Jongmin Park, Soonhong So, Teakeun Hwang, Yeonhee Kim
Chonbuk National University, NPTC

Abstract - This paper describes a current differential relaying algorithm for power transformers with an advanced compensation algorithm for the secondary current of CTs. The comparative study was conducted with and without the compensating algorithm. The algorithm can reduce the operating time of the relay in the case of an internal fault and improve security for external faults. The performance of the proposed algorithm was investigated when the C100 CT, a quarter of the rated CT(C400), is used.

1. 서 론

현재 사용되는 대부분의 변압기 보호 방식은 1차, 2차 전류의 차를 이용하는 전류차동 방식이 주를 이루고 있다. 그런데, 변압기 투입 시나, 과여자 또는, 외부사고의 경우 전류차동 계전기가 오동작 할 수 있다. 여자 돌입과 과여자 시에 오동작을 방지하기 위하여 각각 2조파와 5조파를 억제 또는 블로킹 신호로 사용한다[1]. 하지만, 고조파 블로킹 방식은 내부사고 시에 고조파가 발생하므로 시지연을 유발한다. 또한 내부사고 시에 변류기가 포화되면, 고조파성분이 더 오래 지속되므로, 동작시간이 더욱 지연된다.

최근 잔류 자속에 영향을 받지 않는 변류기 보상 알고리즘 제시 되었다[2]. 즉, 2차 전류의 차분값을 이용하여 포화 시작 순간을 판단하고, 그 순간의 자화전류와 자속값을 추정한 후 그 값을 초기 자속값으로 하여 사고 구간의 자속을 계산하고, 자화곡선을 이용하여 자화 전류를 추정, 왜곡된 2차 전류를 보상하는 방식이다.

본 논문에서는 변류기 보상 알고리즘을 변압기 보호용 전류차동 계전방식에 적용하고자 한다. 변류기 단면적이 정격 변류기(C400)의 1/4인 변류기(C100)를 사용하여 사례 연구를 수행 하였다.

2. 본 론

2.1 변류기 전류 보상 알고리즘

참고문헌[2]에서는 변류기의 2차 전류의 2차 차분을 이용하여 처음 포화 시작 순간을 판단하고, 그 순간의 2차 차분값을 이용하여 포화 순간의 초기 자속을 구한다. 포화 순간의 자속값이 결정되므로, 이후에는 초기 자속값에 자속의 증분을 더하여 매 순간의 자속을 계산하고 자화 전류를 구하여 입력받은 2차 전류값에 더해줌으로써, 포화에 의해 왜곡된 전류를 보상하게 된다. 본 논문에서는 포화를 검출하기 위해 2차 전류의 2차 차분을 이용하여 2차 차분값이 정해진 임계값보다 더 크면 포화가 발생한 것으로 판단한다.

2.2 고조파 블로킹 비율 차동 계전 방식

일반적으로 변압기 보호는 비율 차동 계전기를 사용한다. 그런데 변압기 보호의 경우, 변압기 투입 시에 차전류가 발생하므로 비율 차동 계전기가 동작하고 이를 방지하기 위하여 고조파 블로킹 방식을 사용한다. 비율 차동 계전방식의 트립 조건은 식 (1)과 같다.

$$I_d = K * I_r \tag{1}$$

여기서 K 는 계전기의 감도이며, I_r 는 차전류 기본과 성분의 실효값이고, I_d 는 1차와 2차측 전류를 합한 전류의 기본과 성분의 실효값을 2로 나눈 역제전류 값을 나타낸다.

고조파 블로킹 방식은 여자돌입과 과여자시에 오동작을 방지하기 위하여 각각 2고조파와 5고조파의 크기 성분을 블로킹 신호로 사용하게 된다. K_2, K_5 는 각각 0.2, 70, 13으로 설정하였다. 블로킹 조건은 식 (2)와 식 (3)에 나타냈다.

$$I_d < K_2 * I_2 \tag{2}$$

$$I_d < K_5 * I_5 \tag{3}$$

그림 1은 고조파 블로킹 전류차동 계전기의 로직을 나타냈다.

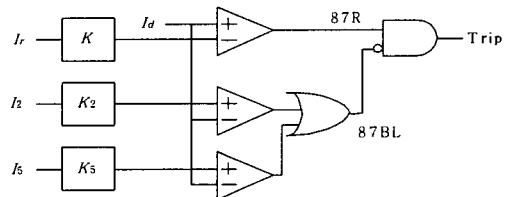


그림 1. 고조파 블로킹 전류차동 계전기 로직

3. 사례 연구

3.1 모델계통

제안된 계전방식의 성능을 검증하기 위하여 그림 2와 같은 모델 계통을 선택하였고 3상 Y-Y 변압기를 EMTP를 사용하여 모델링 하였다. 변압비는 154kV/23kV이고 전체 송전선 길이는 50[km], 변압기 양단에 설치된 변류기는 포화점이 2.047[A], 0.378[Vs]인 C100변류기를 사용하였다.

일반적으로 보호용 변류기는 정격의 20배 이하에서 포화되지 않도록 설계한다. 따라서 변류기의 크기가 커지게 되고 이로 인해 CT의 제조 단가가 올라가게 된다. 하지만, 본 논문에서 제안한 방식을 사용하게 되면 포화

시 왜곡된 2차전류를 보상하게 됨으로써, 변류기를 정격의 20배보다 작게 설계할 수 있다. C100은 정격 CT인 C400보다 단면적이 1/4배이다.

주기 당 64샘플의 데이터를 사용하였으며, 저역통과 필터로는 컷오프가 1920Hz인 중점방지용 1차 RC 필터를 사용했다. 여자돌입 시 1차측 변류기(CT1)가 포화 되었다. 내부 사고는 변압기 1차측 권선에 지락사고를 모의하였고, 이 경우 CT1이 포화 되었다. 외부사고는 2차측 변류기(CT2)와 부하 사이에서 사고를 모의하였고, 이 경우 CT1과 CT2 모두 포화 되었다.

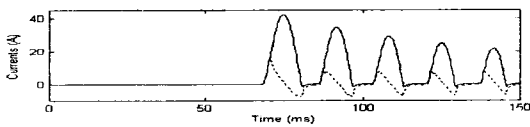


그림 2. 모델계통

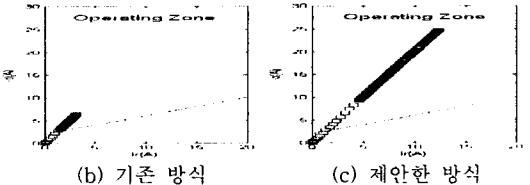
3.1.1 여자 돌입

그림 3은 여자돌입 시 CT1에 80%의 잔류 자속이 존재하는 경우 계전기의 동작을 나타낸다. 80%의 잔류 자속 때문에 CT1이 포화 되었고, 보호 영역 안의 내부사고가 아니기 때문에 보호를 담당하는 계전기는 동작하지 않아야 한다.

그림 3a에서 점선은 포화되어 왜곡된 전류이고, 실선은 보상한 전류를 나타냈다. 그림 3b, 그림 3c는 보상하지 않은 경우와 보상한 경우에 전류차동 계전기의 동작 특성을 보상하지 않았을 경우와 보상하였을 경우를 비교하여 도시하였다. 여자돌입의 경우 보상한 차전류 성분은 보상하지 않았을 경우보다 커짐을 알 수 있다. 하지만, 2조파가 많기 때문에 블로킹 신호가 동작하여 트립 신호를 출력하지 않는다. 그림 3d는 보상하지 않았을 경우 전류 차동 계전기의 차전류, 블로킹 신호, 트립 신호를 나타냈다. 보상하지 않았을 경우에는 2조파 성분의 큰 블로킹 신호로 인해 계전기가 동작하지 않지만, 87TR이 순간적으로 오동작 함을 알 수 있다. 그림 3e에서는 보상 알고리즘을 적용한 결과를 도시하였다. 그림 3d의 계전기 동작과 비교했을 때, 보상 알고리즘을 적용한 블로킹 신호가 2조파를 검출하여 계전기가 오동작하지 않음을 알 수 있다.

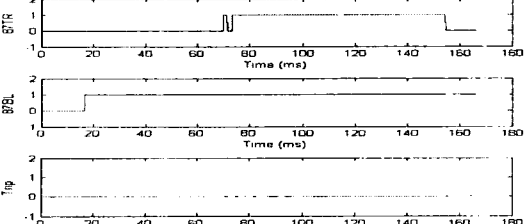


(a) CT1의 포화된 2차 전류와 보상한 전류

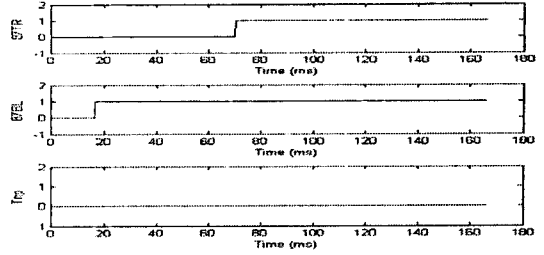


(b) 기존 방식

(c) 제안한 방식



(d) 기존 방식

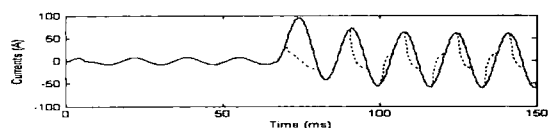


(e) 제안한 방식
그림 3. 여자돌입의 경우

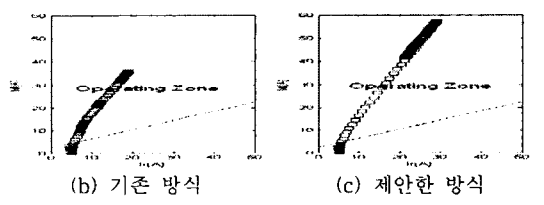
3.1.2 내부사고

그림 4는 내부사고 시 CT1에 80%의 잔류 자속이 존재하는 경우 계전기의 동작을 나타낸다. 80%의 잔류 자속 때문에 CT1이 포화 되었고, 보호 영역 안의 내부사고이기 때문에 보호를 담당하는 계전기는 동작 하여야 한다.

그림 4a에서 점선은 포화되어 왜곡된 전류이고, 실선은 보상한 전류를 나타냈다. 그림 4b, 그림 4c는 전류차동 계전기의 동작특성을 보상하지 않은 경우와 보상한 경우를 비교하여 도시하였다. 내부사고의 경우 보상한 차전류 성분은 보상하지 않았을 경우보다 커짐을 알 수 있다. 그림 4d는 보상하지 않았을 경우 전류 차동 계전기의 차전류, 블로킹 신호, 트립 신호를 나타냈다. 보상하지 않았을 경우에는 2조파 성분의 큰 블로킹 신호로 인해 내부사고 시 계전기 동작이 지연됨을 확인할 수 있다. 그림 4e에서는 보상 알고리즘을 적용한 결과를 도시하였다. 그림 4d의 계전기 동작과 비교했을 때, 보상 알고리즘을 적용한 블로킹 계전기의 동작 시간이 감소하여 보상 전보다 계전기가 63ms 빨리 동작했다.

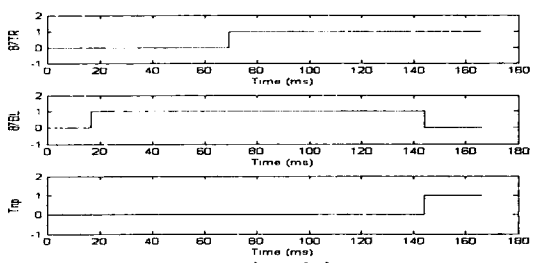


(a) CT1의 포화된 2차 전류와 보상한 전류

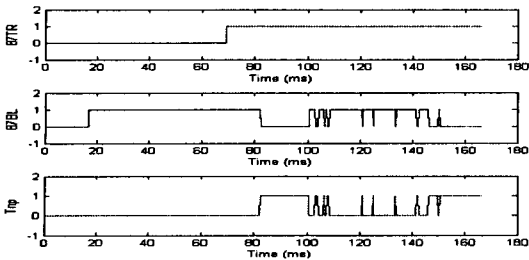


(b) 기존 방식

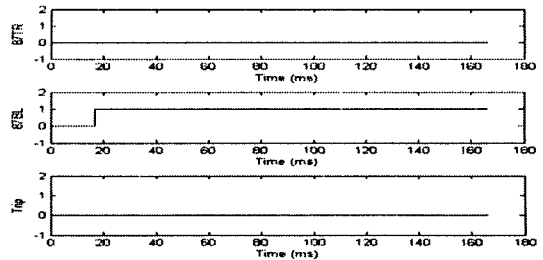
(c) 제안한 방식



(d) 기존 방식



(e) 제안한 방식
그림 4. 내부사고의 경우

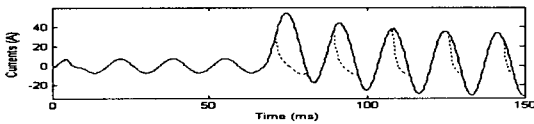


(f) 제안한 방식
그림 5. 외부사고의 경우

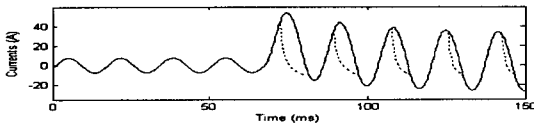
3.1.3 외부사고

외부사고의 경우 전류 차동 계전 방식은 변류기 포화로 인하여 발생된 차전류 때문에 오동작 할 수 있다. 그림 5는 변압기 외부사고 시 CT1에 80%의 잔류 자속이 존재하는 경우와 CT2가 포화되는 경우의 계전기 동작을 나타낸다.

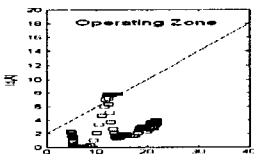
그림 5a, 5b는 변류기 포화에 의해 왜곡된 각 변류기 2차전류와 보상하였을 경우의 전류를 나타냈다. 그림 5c는 보상하지 않았을 경우, 87TR이 동작 영역에 접근함을 보여준다. 이에 반해 보상하였을 경우, 그림 5d는 계전기가 동작 영역으로 접근하지 않음을 알 수 있다. 그림 5e는 보상하지 않았을 경우 전류 차동 계전기의 차전류, 블로킹 신호, 트립 신호를 나타냈다. 동작 전류가 발생함으로써, 87TR이 오동작 함을 확인할 수 있다. 그림 5f에서 볼 수 있듯이 포화 발생 시 왜곡된 각각의 2차 전류를 보상함으로써, 외부사고 시 87TR의 오동작을 방지할 수 있다.



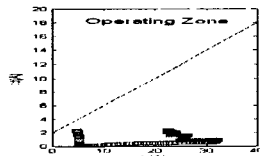
(a) CT1의 포화된 2차 전류와 보상한 전류



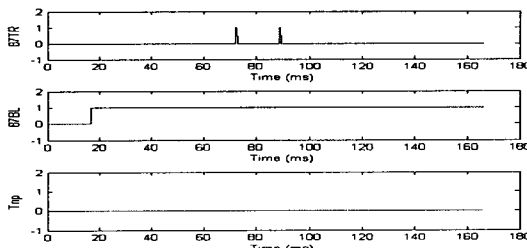
(b) CT2의 포화된 2차 전류와 보상한 전류



(c) 기존 방식



(d) 제안한 방식



(e) 기존 방식

4. 결 론

본 논문에서는 개선된 전류보상 알고리즘을 적용한 변압기 보호용 고조파 블로킹 전류 차동 알고리즘을 변류기 정격의 1/4인 작은 변류기에 사용하였다. 제안한 방식대로 전류 보상 알고리즘을 사용해서 변류기 포화 시 왜곡된 2차 전류를 보상하게 되면 기존의 고조파 블로킹 전류차동 방식의 성능을 매우 향상시킬 수 있다. 그리고 제안한 방식이 정격 변류기 보다 작은 변류기에도 적용되는 것을 사례연구를 통해 검증 할 수 있었다. 정격 보다 작은 변류기를 사용하게 되면, 단면적이 축소되어 CT의 부피가 작아지므로, 변압기 보호에 필요한 CT의 제조단가를 감소시킬 수 있다.

사례연구를 통하여 변류기 포화로 수반하는 여자돌입의 경우는 계전기가 오동작하지 않음을 확인하였고, 변류기 포화를 수반하는 내부사고의 경우에는 계전기의 시지연이 감소함을 확인 하였다. 또한 변류기 포화를 수반하는 외부사고의 경우에도 계전기의 오동작이 방지됨을 알 수 있었다.

제시한 방식은 변류기 포화로 인해 전류차동 계전기의 축소된 동작 영역을 확대할 수 있어 계전기의 감도를 향상시킬 수 있다.

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

[참 고 문 헌]

- [1] A.G. Phadke, J.S Thorp, "Computer Relaying for Power Systems", Research Studies Press Ltd, 1988
- [2] 강용철, 임의재, "개선된 변류기 2차 전류 보상 알고리즘", 대한전기학회 논문지 A, 2003년 7월 387-392