

보상알고리즘을 적용한 송전선 보호용 전류차동 알고리즘

강웅철, 임의재, 최재원*, 진선웅, 조희영
 전북대학교 전자정보공학부, 차세대전력기술연구센터

A Current Differential Relaying Algorithm for Transmission Lines Using an Advanced Compensation Algorithm of CTs

Y. C. Kang, U. J. Lim, J. W. Choi*, S. Y. Jin, H. Y. Cho
 Chonbuk National University, NPT Center

Abstract - A current differential relay may maloperate for external faults with CT saturation and requires an additional method to cope with the problem. This paper proposes a current differential relaying algorithm for transmission line protection using an advanced compensation algorithm of the secondary current of CTs. The compensation algorithm is unaffected by a remanent flux. The proposed algorithm does not need an additional method for CT saturation and thus can achieve high stability for an external fault.

1. 서 론

현재 국내 154 kV 송전선의 주보호용으로 전류차동 계전기가 사용되고 있다. 이 계전기는 성능이 우수한 계전기이나, 외부 사고시 변류기가 포화되면 오동작하기 때문에, 대전류 영역에서 감도를 희생하여 동작영역을 축소하여 사용하고 있다 [1,2]. 하지만, 지나치게 감도를 희생하게 되면, 동작영역이 축소되고, 성능이 저하되므로, 감도를 적절히 조절하여 변류기 포화에 대한 별도의 대책을 사용하고 있는 실정이다.

참고문헌 [3]에서는 왜곡된 변류기 2차 전류를 변류비에 맞는 2차 전류로 보상하는 알고리즘을 제안하였다. 그런데, 이 방식은 변류기 철심에 잔류자속이 존재할 경우에는 초기 자속을 잘못 계산하게 되고, 이에 따라 추정된 2차 전류에 큰 오차를 포함하는 문제점이 있다. 이의 문제점을 개선하기 위하여, 변류기 철심의 잔류자속에 영향을 받지 않는 개선된 전류보상 알고리즘이 제안되었다[4].

본 논문에서는 참고문헌 [4]의 보상알고리즘을 적용한 송전선보호용 전류차동 알고리즘을 제안한다. 제안된 방식은 2차 전류의 차분을 이용하여 처음 포화시작 순간을 판단하고, 그 순간의 자화전류와 자속을 추정한 이후에, 그 순간의 자속값을 초기 자속으로 사용하여 사고구간의 자속을 계산하고, 자화곡선을 이용하여 자화전류를 추정하여, 왜곡된 2차 전류를 보상하는 변류기 전류보상 알고리즘을 송전선 전류차동 보호 계전기에 적용하여, 변류기 포화에 영향을 받지 않는 송전선 보호 전류차동 알고리즘에 대해 기술한다.

본 논문의 성능을 검증하기 위하여 EMTP를 이용하여 송전선 내부사고와 외부사고를 모의하였으며, 포화가 발생한 경우에 대한 계전기의 동작을 보였다.

2. 본 론

2.1 개선된 변류기 2차 전류 보상 알고리즘 (4)

참고문헌 [3]의 변류기 2차 전류 보상 알고리즘은 철심에 잔류자속이 존재하는 경우 초기자속을 잘못 계산할 수 있다는 것이다. 참고문헌 [4]에서는 이러한 문제점을 보완하기 위하여 변류기가 포화되는 순간을 찾아내어 그

순간의 자속을 포화점의 자속으로 추정하여 잔류자속이 존재하는 경우에도 제대로 자속을 추정할 수 있도록 하였다.

참고문헌 [4]는 변류기의 정확한 포화순간을 찾기 위해 2차 전류의 차분을 이용하여 처음 포화시작 순간을 판단하고, 그 순간의 2차 차분값에 음의 부호를 취한 값을 포화 순간의 자화전류로 하여 자화곡선에 대입함으로써 포화순간의 정확한 초기 자속을 구하게 된다. 일단, 포화가 검출되면 그 순간의 자속값이 결정되므로, 이후에는 결정된 초기 자속값에 새롭게 계산된 자속의 증분을 더하여 매 순간의 자속을 계산하고 자화전류를 구하여 입력받은 2차 전류값과 더해줌으로써, 포화에 의해 왜곡된 전류를 보상하게 된다. 이렇게 하여 초기에 한 주기의 전류로 자속을 계산할 때 발생하는 문제점 특히, 잔류자속이 존재하는 경우에 발생하는 문제점을 해결할 수 있다.

2차 차분의 값이 정해진 임계값보다 더 크면 포화가 발생한 것으로 판단하게 된다. 일반적으로 보호용으로 사용되는 변류기는 정격의 20배 이하에서는 포화되지 않도록 설계된다. 때문에 정격의 20배 크기의 2차전류가 흐르는 경우에 발생하는 2차 차분의 최대값보다 더 큰 값을 포화 판단의 임계값으로 선택하면 된다.

본 논문에서는 포화개시 순간을 판단하기 위해 2차 차분 임계값에 필터의 영향을 고려하여 임계값으로 1.9를 선택하였다.

개선된 알고리즘의 신뢰성을 확인하기 위해 참고문헌 [5]의 과도오차를 계산하는 식 (1)을 사용하였다.

$$transient\ error[\%] = \frac{(K_n \cdot i_s - i_p)}{\sqrt{2} \cdot I_{psc}} \times 100 \quad (1)$$

2.2 개선된 전류 보상 알고리즘을 적용한 송전선보호용 전류차동 계전방식

개선된 보상 알고리즘을 송전선보호용 전류차동 계전기에 적용한 흐름도를 그림 1에 보였다. 그림 1에서, 점선으로 표시된 부분이 개선된 전류 보상 알고리즘을 나타낸다.

제시한 방식에서는 변류기가 포화되더라도 정확한 전류가 입력되므로, 전류차동 계전방식은 동작 영역이 확대된 비율 전류차동 방식을 사용하였다.

계전기에 입력된 변류기 2차 전류로부터 억제전류와 차동전류를 계산하여 식 (2)과 같은 관계가 성립하면 사고가 발생한 것으로 판단한다.

$$I_d > kI_r + I_{offset} \quad (2)$$

여기서 k 는 계전기의 감도를 나타내며, I_{offset} 을 사용하여 전류차동 계전기의 초기값이나 무시할 차동전류의 영역을 주어 계전기 동작 초기의 오동작을 방지한다. 본 논문에서는 k 는 0.3으로, I_{offset} 은 4.0으로 하였다.

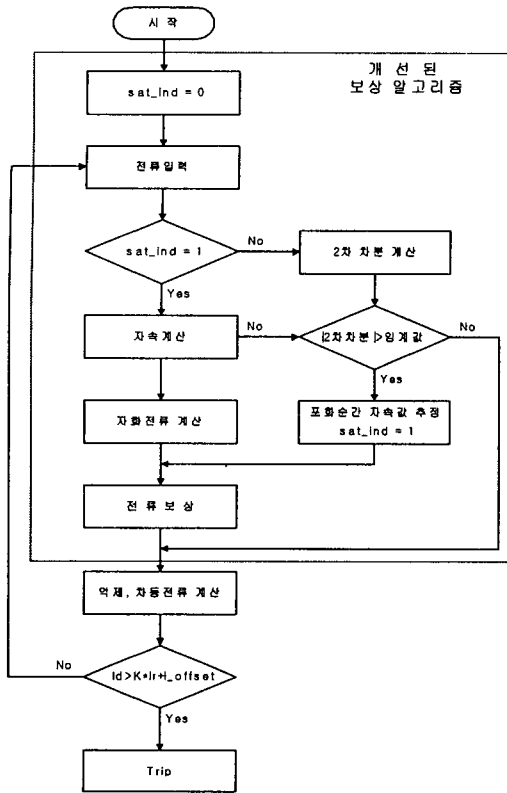


그림 1 제시한 방식의 알고리즘의 흐름도

2.3 사례연구

제안된 계전방식의 성능을 확인하기 위하여 그림 2와 같은 전압이 345(kV)이고, 송전선의 길이가 100(km)인 송전시스템을 선택하여, EMTP를 사용하여 모델링하였다. 변류기는 히스테리시스 특성까지 모델링하기 위하여 type 96소자를 사용하였으며, 1.512(Vs), 2.087(A)인 점을 포화점으로 선택하여, 히스테리시스 데이터를 생성하였다. C400의 변류기를 저항부담에 연결하였다.

그림 2에서 P Bus와 Q Bus 사이의 100(km)의 송전선을 보호하기 위해 2개의 변류기에서 전류를 받아 역제전류와 차동전류를 계산하게 된다.

주기 당 64샘플의 샘플링 비율을 사용하여, 내부사고와 외부사고에 대하여 모델링하였다. 또한, 디지털 계전기의 입력단에 사용되는 저역통과 필터의 영향을 고려하기 위하여 차단주파수가 1920Hz인 1차 RC 필터를 사용하였으며, 모든 전류를 설계한 필터를 통과시켰다.

내부사고의 경우 P bus로부터 2(km)지점에서 지락사고를 모의하였다. 이 경우에 있어서 P 모선에 가까운 변류기에서 포화가 발생하였으며, 또 다른 사례로 송전선 보호용 전류차동 계전기의 보호영역 밖에서 일어난 외부사고에 대해 모의하였다. 이 경우 역시, P 모선에 가까운 변류기에서 포화되었다.

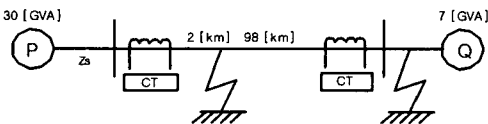
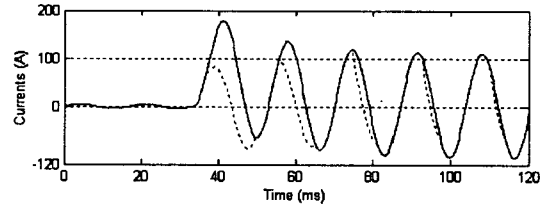


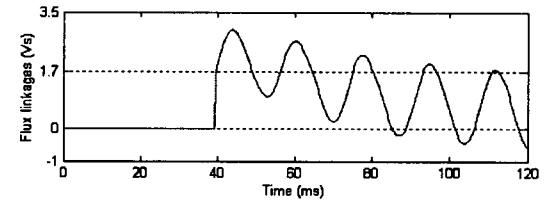
그림 2 모델계통

2.3.1 내부사고의 경우 (전류자속 +80%)

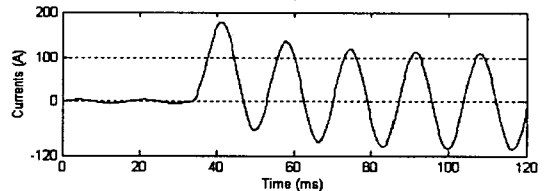
그림 3은 P모선측 변류기가 포화점의 +80%의 전류자속(1.2(Vs))을 가지는 경우의 결과이다. 내부사고가 발생하여 80%의 전류자속을 가지는 쪽의 변류기가 포화가 되었고, 보호 영역안의 내부사고이기 때문에 계전기는 동작하여야 한다. 그림 3(a)는 변류비에 맞는 1차 전류와, 심하게 왜곡된 2차 전류의 파형을 나타내었다. 그림 3(c)는 개선된 변류기 보상알고리즘을 사용하여 보정한 2차 전류이고 식 (1)에서 언급한 과도오차를 그림 3(d)에 도식하였다. 이때, 과도오차는 0.3% 마만의 값을 가지는 것을 알 수 있다. 그림 3 (e), (f)는 80%의 전류자속이 존재할 경우 계전기의 동작을 보상 전후로 비교하여 도식하였다. 이 경우에는 모두 계전기가 동작을 하기 때문에 동작은 차이가 없다.



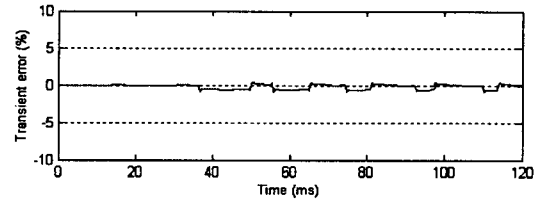
(a) 변류비에 맞는 1차 전류와 2차 전류



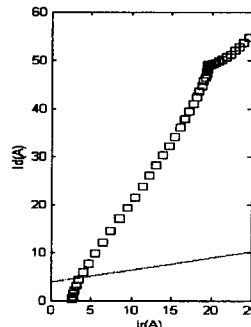
(b) 자속



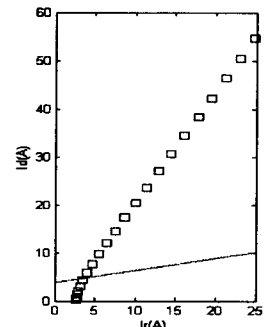
(c) 보정한 2차 전류와 정확한 2차 전류



(d) 과도오차



(e) 보상 전



(f) 보상 후

그림 3 내부사고의 경우(전류자속 80%)

2.3.2 외부사고 경우 (잔류자속 0%)

그림 4는 외부사고시 잔류 자속이 없는 경우의 결과를 나타낸다. 변류기가 포화되지 않아 보상알고리즘의 포화검출 알고리즘이 동작하지 않았고 두 경우가 같은 결과를 나타내었다.

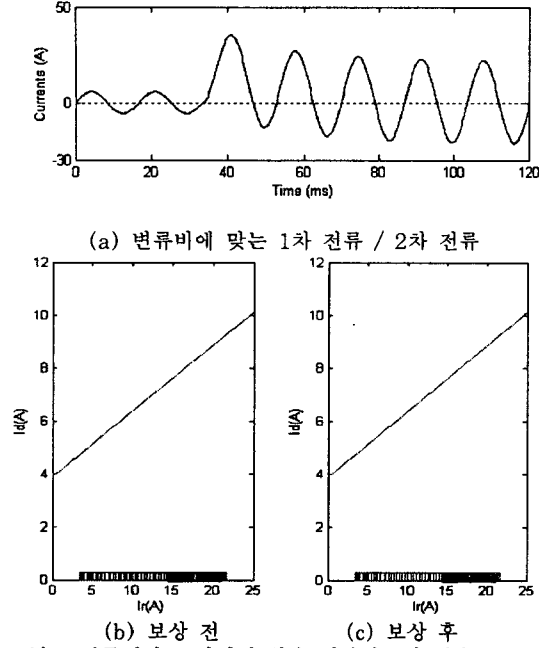


그림 4 변류기가 포화되지 않은 외부사고의 경우

2.3.2 외부사고 경우 (잔류자속 80%)

변류기 포화가 수반된 외부사고의 경우 전류차동 방식을 사용하는 보호알고리즘은 오동작할 수 있다. 그림 5는 P 모선측의 변류기 철심에 +80%의 잔류자속이 존재하는 경우 계전기의 동작을 나타낸다.

그림 5에서도 그림 3과 같이 보상 알고리즘을 적용한 후에는 과도오차는 최대 0.8%미만으로 낮은 값을 가진다. 그림 5(d)는 왜곡된 전류를 보상하지 않았을 때, 전류차동 계전기의 오동작을 보여주고 있다. 반면, 그림 5(e)와 같이 보상알고리즘으로 왜곡된 전류를 보상할 경우 차동전류가 크게 감소하여 계전기가 동작영역으로 진입하지 않음을 알 수 있다.

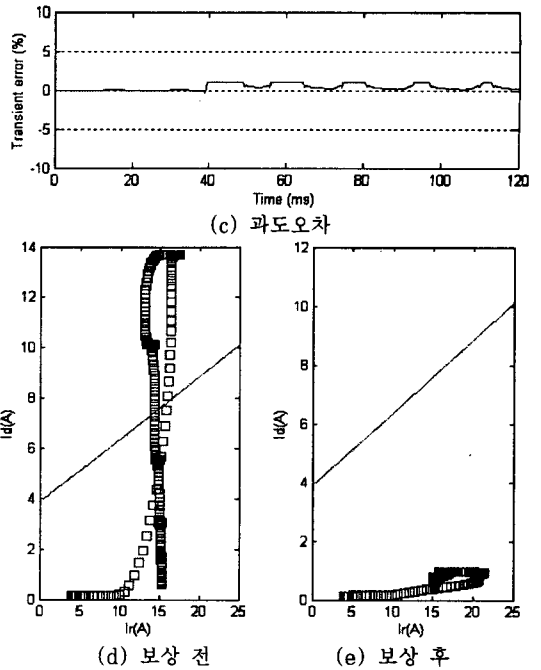
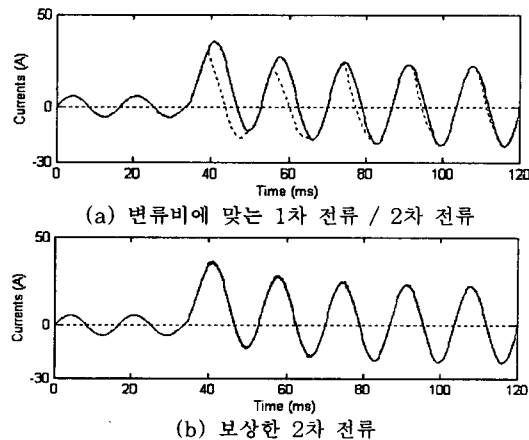


그림 5 잔류자속 +80%를 가지는 외부사고의 경우

3. 결 론

본 논문에서는 개선된 전류보상 알고리즘을 적용한 송전선보호용 전류차동 계전 알고리즘을 제안하였다. 제안한 방식은 변류기 철심에 잔류자속의 존재하더라도 왜곡된 2차 전류를 복원하여 억제전류와 차동전류를 계산하는 방식으로 변류기 포화에 대한 별도의 대책이 필요없으며, 가변비율전류차동 계전방식에 비하여 동작영역을 확대하여 성능이 우수한 계전방식이다.

사례연구를 통하여 내부사고 및 전류차동 방식을 사용하는 보호 알고리즘에서 오동작을 유발시키는 잔류자속이 존재하는 변류기 외부사고 시에도 신뢰성 있는 계전기의 동작을 확인하였다.

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

(참 고 문 헌)

- [1] ARTHUR R, Bergen, Power Systems Analysis, Prentice hall, 2000, pp.514-519
- [2] J. Lewix Blackburn, Protective Relaying, Marcel Dekker Inc, 1998, pp.172-180
- [3] 강용철, 김성수, 박종근, 강상희, 김광호, "철심 변류기 2차 전류보상 알고리즘의 실시간 구현 및 오차분석", 대한전기학회 논문지, 제45권 4호, 490-500, 1996년 4월
- [4] 강용철, 임의재, "개선된 변류기 2차전류 보상 알고리즘", 대한전기학회 논문지 A, 2003년 7월 게재 예정
- [5] IEC 185, "Current Transformer", 1987년