

**전류자속에 무관한 전류보상 알고리즘을 적용한 변압기 보호용 전류차동 계전방식**

강용철, 임의재\*, 윤재성, 김은숙, 원성호  
 전북대학교 전자정보공학부, 차세대전력기술연구센터

**A Current Differential Relaying Algorithm for Power Transformers Using an Advanced Compensation Algorithm of CTs**

Y. C. Kang, U. J. Lim\*, J. S. Yun, E. S. Jin, S. H. Won  
 Chonbuk National University, NPT Center

**Abstract** - To prevent maloperation during magnetic inrush and over-excitation, a current differential relay for power transformers uses harmonic current based restraining or blocking scheme; it also uses dual slope characteristics to prevent maloperation for an external fault with CT saturation. This paper proposes 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.

**1. 서 론**

현재 사용되는 대부분의 변압기보호 방식은 1차, 2차 전류의 차를 이용하는 전류차동 방식이 주를 이루고 있다. 그런데, 변압기 투입시나, 과여자 또는, 외부사고의 경우 변류기가 포화되면 전류차동 계전기가 오동작 할 수 있다. 이에 대한 대책으로 내부사고와 여자 돌입을 구분하기 위해서 2조파를 억제 또는 방지 신호로, 내부 사고와 과여자를 구분할 목적으로 5고조파를 억제 또는 방지 신호 사용한다[1-5]. 하지만, 기존의 고조파 억제 또는 방지 방식은 내부 사고시에 변류기가 포화되는 경우에, 고조파가 많아 지므로 억제신호가 얼마의 시간동안 발생하기 때문에, 정동작하기는 하나 시지연을 유발한다.

또한, 외부사고 시 변류기 포화에 의한 오동작을 감소하기 위하여 대전류 영역에서 감도를 희생한 가변 비율 특성을 사용한다.

변압기 보호용 가변 비율 전류차동 계전기의 대전류영역에서의 기울기를 결정하는 요소로는 권선비의 불일치, 탭 변환, 변류기 포화 등 여러 가지가 존재한다. 권선비의 불일치나 탭변환 등에 의한 오차는 디지털 계전기에선 보상이 가능하지만, 변류기 포화에 의한 감도 희생은 여전히 보정이 어렵다.

참고문헌 [6]에서는 잔류 자속에 영향을 받지 않는 변류기 2차 전류 보상 알고리즘이 제안되었다. 본 논문에서는 이를 적용한 변압기 보호용 전류차동 계전방식에 대해 제안한다. 전류 보상 알고리즘은 2차 전류의 차분을 이용하여 처음 포화 시간 순간을 판단하고, 그 순간의 자화전류와 자속을 추정한 이후에, 그 순간의 자속값을 초기 자속으로 사용하여 사고 구간의 자속을 계산하고, 자화곡선을 이용하여 자화전류를 추정하여, 왜곡된 2차 전류를 보상하는 알고리즘이다. 제시한 방식은 보상한 전류로부터 동작전류 및 억제전류를 구하여 변압기를 보호한다. 제시한 방식의 성능을 변압기 내부사고와 외부사고의 경우에 대하여, 보상 알고리즘을 적용한 경우와 적용하지 않은 경우에 대해서 비교연구를 수행하였다.

**2. 본 론**

**2.1 전류자속에 무관한 변류기 전류 보상 알고리즘**  
 참고문헌 [6]은 변류기의 2차 전류의 2차 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 초기 자속값에 자속의 증분을 더하여 매 순간의 자속을 계산하고 자화전류를 구하여 입력받은 2차 전류값과 더해줌으로써, 포화에 의해 왜곡된 전류를 보상하게 된다. 본 논문에서는 포화를 검출하기 위해 2차 전류의 2차 차분을 이용하게 된다. 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.

**2.2 고조파 방지 비율 전류차동 계전 방식(3.4)**

변압기는 송배전선에 접속되어 있기 때문에 선로에 발생한 낙뢰나 이상 전압 등에 의해서 절연 파괴될 우려가 있다. 그 결과 권선의 층간 단락이나 1선 지락 사고를 일으킬 수 있고 때로는 상 단락을 일으키는 경우도 있기 때문에 일반적으로 동작 특성이 우수한 비율차동 계전기에 의해서 보호되고 있다. 변압기 보호의 특유한 문제로서 변압기를 투입할 때에 발생하는 고조파가 있다. 비율차동 계전기라는 것은 비교하고 있는 양자의 값이 항상 동등하다는 원칙에 입각하여 약간의 편차가 있을지라도 비율 특성으로 억제하려고 하는 것을 말한다.

비율 전류차동 계전방식의 기본 특성을 식 (1)과 같다.

$$I_{op} > slop * I_{RT} \tag{1}$$

여기서 slop는 계전기의 감도이며,  $I_{op}$ 는 차전류 기본파 성분의 실효값이 되고,  $I_{RT}$ 는 1차와 2차측 전류를 합한 전류의 기본파 성분의 실효값을 2로 나눈 억제전류 값을 나타낸다.

고조파 방지 방식은 여자돌입과 과여자시에 오동작을 방지하기 위하여 각각 2고조파와 5고조파의 크기성분을 방지신호로 사용하게 된다. 방지식은 식 (2)와 식 (3)에 나타내었다.

$$I_{op} < K_2 * I_2 \tag{2}$$

$$I_{op} < K_5 * I_5 \tag{3}$$

여기서,  $I_{op}$ 는 차전류 기본파 성분의 실효값이다. 또

한, 여자돌입을 방지하기 위해서,  $I_{op}$ 가  $I_2$ 에  $K_2$ 를 곱한 값보다 작게 되면, 동작전류가 억제전류보다 크다 할지라도, 계전기는 트립신호를 내보내지 않게 된다. 또한, 과여자사에 의한 계전기의 오동작을 막기 위해  $I_{op}$ 가  $I_5$ 에  $K_5$ 를 곱한 값보다 작으면, 트립신호를 방지한다.

그림 1은 제시한 방식의 흐름도를 나타내었다.

### 2.3 사례연구

제안된 계전방식의 성능을 확인하기 위하여 그림 2와 같은 모델 계통을 선택하였고 3상 Y-Y 변압기를 EMTP를 사용하여 모델링 하였다. 전압비는 154kV/22kV이고, 전체 송전선의 길이는 50(km), 변압기 양단에 설치된 변류기는 모두 포화점이 2.047[A], 1.512[Vs]인 C400 변류기를 사용하였다.

주기당 64샘플의 데이터를 사용하였으며, 지역통과 필터로는 컷오프가 1920 [Hz]인 1차 RC 필터를 사용하였다. 내부사고와 외부사고에 대하여 모델링을 실시하였다. 내부사고의 경우는 변압기 1차측 권선에서 발생한 지락사고를 모의하였다. 이 경우 1차측 변류기에서 포화가 발생하였다. 외부사고는 2차측 변류기와 부하사이에서 사고를 모의하였고, 이 경우 역시, 1차측의 변류기가 포화되었다.

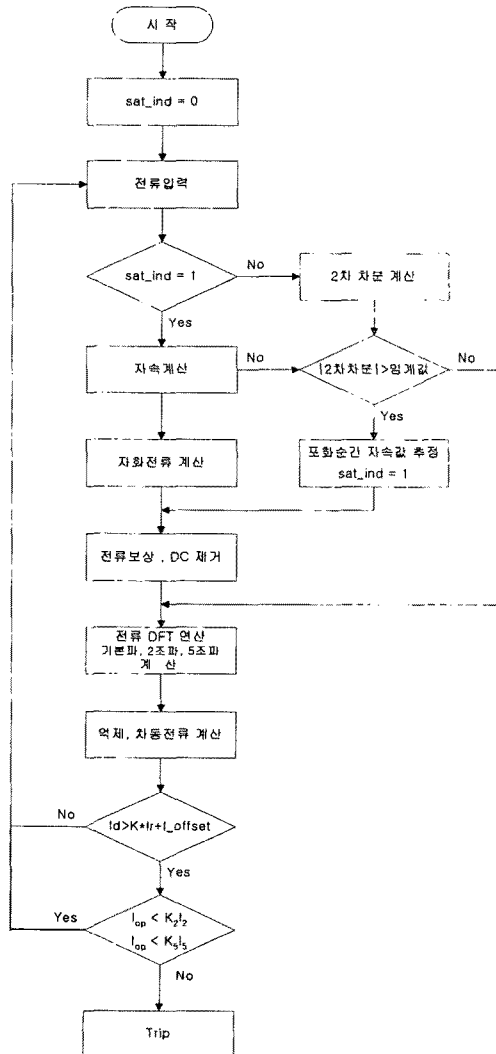


그림 1 알고리즘의 흐름도

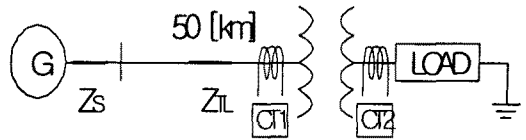


그림 2 모델계통

그림 1의 변류기 보상알고리즘을 적용한 변압기 보호용 고조파 방지 전류차동 계전방식의 경우 변압기 양단의 변류기로부터 전류를 입력받아, 왜곡된 전류를 보상하기 위해 2차 전류의 차분을 이용한 포화판단 알고리즘을 적용하여 변류기의 포화순간을 판단하고 포화가 발생 시 개선된 변류기 2차 보상알고리즘을 적용하여 왜곡된 2차 전류를 보상하게 된다. 이후, 보상되어진 2차 전류로부터 Recursive DFT연산을 수행하여 전류의 기본파, 2조파 및 5조파 성분을 계산 한 뒤, 기본파로부터 억제전류와 차동전류를 계산하여 식 (1)과 같은 관계가 성립하면 사고라고 인식하고, 이후 여자돌입과 과여자에 의한 오동작을 막기 위해 식 (2)와 (3)를 만족하면 방지신호를 발생한다.

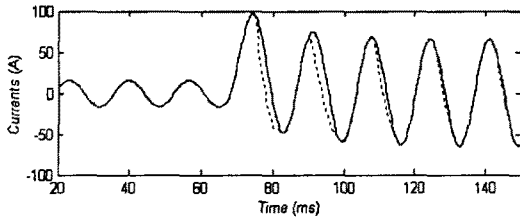
#### 2.3.1 내부사고

그림 3은 내부사고 시, 1차측 변류기에 포화점의 80%에 해당되는 잔류자속(1.2[Vs])이 존재하는 경우의 결과를 나타낸다. 80%의 잔류 자속 때문에 1차측 변류기가 포화되었고, 보호영역 안의 내부사고이기 때문에 보호를 담당하는 계전기는 동작하여야 한다. 그림 3a에서, 점선은 포화되어 왜곡된 전류이고, 실선은 개선된 변류기 보상 알고리즘을 적용하여 보정한 전류를 나타내었다. 보정한 전류의 과도오차의 크기는 최대값이 0.4%임을 확인하였다. 그림 3b, 그림 3c는 전류차동 계전기의 동작을 보상 전후로 비교하여 도식하였다. 내부사고의 경우이기 때문에 보상을 하였을 때의 차전류의 성분은 보상 전보다 더 커짐을 알 수 있다. 그림 3d는 변류기 보상알고리즘을 시행하지 않았을 때,  $I_{op}$ 와  $I_2$ 와 최종 트립신호를 도식하였다. 보상을 하지 않은 경우에는, 커진 방지신호인 2조파 성분으로 인해 내부사고시 계전기의 동작이 지연됨을 확인할 수 있다. 그림 3e는 보상알고리즘을 적용한 결과를 도식하였다. 그림 3d의 계전기 동작과 비교했을 때, 변류기가 포화되어 왜곡된 2차 전류를 보상했을 때, 방지신호로 사용되는 2조파 성분의 크기가 작아지게 되어, 내부사고 발생 시 방지신호에 의한 지연 없이 계전기가 빠르게 동작하게 함을 알 수 있다.

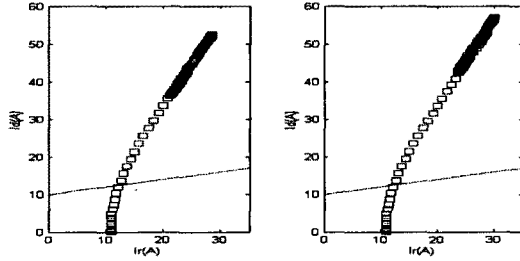
#### 2.3.2 외부사고

변류기 포화가 수반된 외부사고의 경우, 전류차동 계전방식은 변류기 포화로 인하여 발생된 차전류 때문에 오동작 할 수 있다. 그림 4는 변압기 외부사고 시 1차측 변류기가 포화점의 +80%에 해당되는 잔류자속(1.2[Vs])이 존재하는 경우 계전기의 동작을 나타낸다.

그림 4a는 변류기 포화에 의해 왜곡된 2차 전류와 보상 알고리즘을 사용하여 보정한 전류를 나타내었다. 이 때, 보정한 2차 전류의 과도오차는 최대 0.8%이었다. 그림 4b는 보상을 하지 않았을 전류차동 계전기의 오동작 함을 보여주고 있다. 이와 반면에, 보상알고리즘을 적용하여 왜곡된 전류를 보정한 경우의 그림 4c는 차전류가 크게 감소하여 계전기가 동작영역으로 접근하지 않음을 알 수 있다. 그림 4d는 보상을 실시하지 않았을 때 동작전류와 2조파 및 계전기의 동작 상태를 나타내었다. 그림 4b에는 확인한 것과 같이 변류기 포화로 인하여 큰 동작전류가 발생함을 알 수 있고 이러한 현상으로 인해 계전기가 오동작 하게됨을 확인할 수가 있다. 그림 4e에서 볼 수 있듯이, 포화 발생시 왜곡된 2차 전류를 보상함으로써, 외부사고시 계전기의 오동작을 막을 수 있었다.

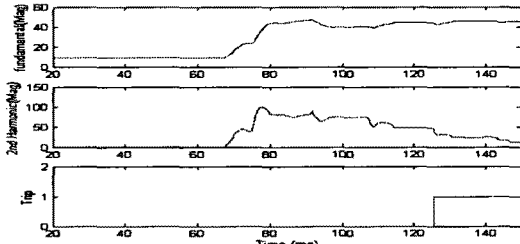


(a) 포화로 인해 왜곡된 2차 전류, 보상한 전류

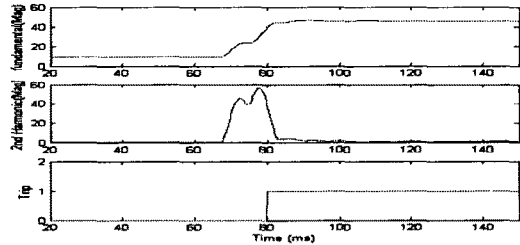


(b) 보상 전

(c) 보상 후

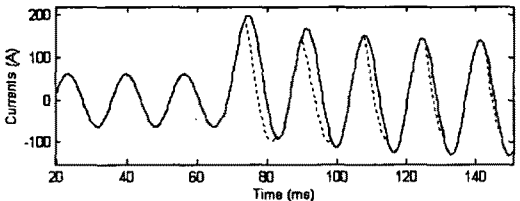


(d) 기본파, 2조파, 계전기 동작 신호(보상 미실시)

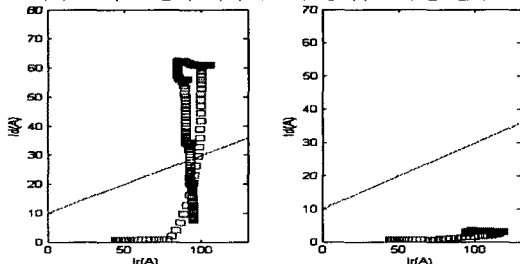


(e) 기본파, 2조파, 계전기 동작 신호(보상 실시)

그림 3 내부사고의 경우

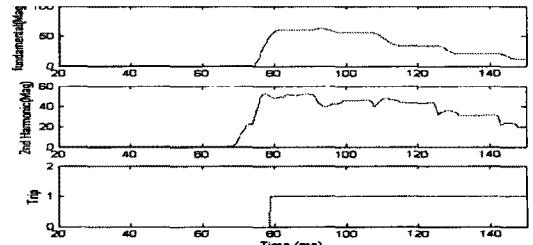


(a) 포화로 인해 왜곡된 2차 전류, 보상한 전류

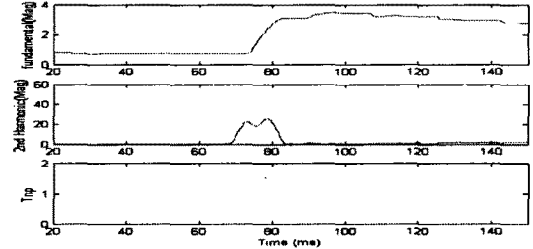


(b) 보상 전

(c) 보상 후



(d) 기본파, 2조파, 계전기 동작 신호(보상 미실시)



(e) 기본파, 2조파, 계전기 동작 신호(보상 실시)

그림 4 외부사고의 경우

### 3. 결 론

본 논문에서는 개선된 전류보상 알고리즘을 적용한 변압기 보호용 고조파 방지 전류차동 알고리즘을 제안하였다. 제안한 방식대로, 전류 보상 알고리즘을 사용해서 변류기 포화시 왜곡된 2차 전류를 보상하게 되면, 기존의 고조파 방지 전류차동 방식의 성능을 매우 향상시킬 수 있다. 사례연구를 통하여 변류기 포화를 수반하는 내부 사고의 경우에는 계전기의 시지연을 감소함을 확인하였고, 변류기 포화를 수반하는 외부사고의 경우에는 계전기의 오동작을 방지함을 확인할 수 있었다.

또한, 제시한 방식을 사용하여 변류기 포화로 인하여 축소된 동작영역을 사용하는 전류차동 계전기의 동작영역을 확대할 수 있어, 계전기의 감도를 향상할 수 있다.

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

### (참고 문헌)

- [1] ARTHUR R, Bergen, Power Systems Analysis, Prentice hall, 2000, pp.514-519
- [2] A. Guzman, S. Zocholl, G. Benmouyal, H.J. Altuve, "A Current-Based Solution for Transformer Differential Protection-Part I: Problem Statement", IEEE Trans. on PWRD, vol.16, no.4, pp. 485-491, October 2001
- [3] Saied, M.M, "A Study on the Inrush Current Phenomena in Transformer Substations", Industry Applications Conference, vol.2, 2001
- [4] J.A. Sykes, I.F. Morrison, "A Proposed Method of Harmonic Restraint Differential Protection of Transformers by Digital Computer", IEEE Trans. Power Apparatus and System, 1971
- [5] A.G. Phadke, J.S Thorp, Computer Relaying for Power Systems, Research Studies Press Ltd, 1988
- [6] 강용철, 임의재, "개선된 변류기 2차전류 보상 알고리즘", 대한전기학회 논문지 A, 2003년 7월 게재 예정