

# 보상 알고리즘을 적용한 변압기 보호용 전류차동 계전방식

論 文

56-11-1

## Current Differential Relaying Algorithm for Power Transformer Protection Operating in Conjunction with a CT Compensating Algorithm

姜龍澈\*·蘇淳鴻†·朴種玟\*\*·李美善\*\*·張成一\*\*\*·金容均§

(Yong-Cheol Kang · Soon-Hong So · Jong-Min Park · Mi-Sun Lee · Sung-Il Jang · Yong-Gyun Kim)

**Abstract** - Current differential relays may maloperate during magnetic inrush and over-excitation because a significant differential current is produced. To prevent maloperation, the relays adopt some harmonic components included in the differential current. The harmonic restraints may increase the security of a relay but cause the operating time delay of a relay when an internal fault occurs. Moreover, the operating time delay is more increased if a current transformer (CT) is saturated. This paper describes a current differential relaying algorithm for power transformer protection with a compensating algorithm for the secondary current of a CT. The comparative study was conducted with and without the compensating algorithm. The performance of the proposed algorithm was investigated when the measurement CT (C40) and the protection CT (C400) are used. The proposed algorithm can compensate the distorted current of a CT and thus reduce the operating time delay of the relay significantly for an internal fault with CT saturation.

**Key Words** : Transformer protection, Harmonic blocking, Operating time delay, Compensation, CT

### 1. 서 론

전류차동 보호 방식은 변압기 보호에 있어서 널리 사용되고 있다. 그런데 변압기 투입 시나 과여자, 또는 외부사고의 경우 차전류가 발생하여 전류차동 계전기가 오동작할 수 있다. 이러한 문제점을 방지하기 위해 각각 2조파와 5조파를 억제 또는 블로킹 신호로 사용한다[1]. 하지만, 고조파 블로킹 방식은 내부사고 시에도 고조파가 발생하여 변압기 보호 계전기의 시지연을 유발한다. 또한 내부사고 시에 변류기(Current transformer, CT)가 포화되면, 2차 전류가 왜곡되므로, 고조파 성분이 오래 지속되어 동작 시간이 더욱 지연되는 문제점이 있다.

변류기의 포화 및 과도상태에 대하여 현재까지 많은 연구가 진행되었다[2]-[5]. 1차 전류가 큰 경우, 사고 시 dc성분이 포함된 경우와 잔류자속이 존재하는 경우에 발생하는 변류기 포화에 대한 기존 대책은 변류기의 포화점을 높게 설계하는 방식이다[6]. 하지만 이러한 방법은 코어의 사이클을 증가시켜, 제작비용이 크게 증가되는 단점이 있다.

이에 따라, 보호용 변류기 2차 전류를 보상하는 알고리즘이 제안되었다[7]. 이 방식은 변류기 2차 전류로부터 계산한

자속과 자화 곡선을 이용하여 왜곡된 전류를 보상한다. 이 방식은 잔류 자속이 없는 경우에는 보상 오차가 적지만, 잔류 자속이 존재하는 경우에는 보상 오차가 커지는 단점이 있다.

최근 변류기 포화와 잔류 자속에 영향을 받지 않는 변류기 보상 알고리즘이 제시되었다[8]. 잔류 자속에 관계없이 변류기의 포화 시작 순간을 검출하고, 포화 시작 순간의 자속을 추정한다. 이를 자속을 구하기 위한 초기값으로 사용하여 포화기간동안의 자속을 계산한다. 계산한 자속을 자화곡선에 대입하여 자화 전류를 얻고, 이를 측정된 2차 전류에 더해줌으로써 보상 전류를 얻는다. 이 방식은 변류기의 잔류 자속이나 포화에 무관하게 변류기의 왜곡된 2차 전류를 보상할 수 있다.

본 논문에서는 변류기 보상 알고리즘[8]을 적용한 변압기 보호용 전류차동 계전방식을 제안한다. 변류기 포화로 인하여 왜곡된 전류를 보상하고, 이를 변압기 보호용 전류차동 계전기의 입력으로 사용한다. 제안한 방식은 여자돌입과 과여자 시 오동작을 막기 위해 고조파 블로킹 방식을 함께 사용한다. 변류기 보상 알고리즘을 적용하면 변류기의 잔류 자속 등으로 인한 포화를 고려하지 않아도 되며, 왜곡된 전류를 보상할 수 있다. 정격 변류기보다 포화점이 낮은 변류기를 사용하여 2차 전류가 심하게 왜곡되더라도 보상 알고리즘을 적용하면 왜곡된 전류를 보상할 수 있다. 제안한 변압기 보호용 전류차동 계전 방식을 검증하기 위해 EMTP를 사용하여 154kV 계통의 정격 변류기(C400)와 포화 전압이 정격변류기의 1/10인 변류기(C40)에 대하여 사례 연구를 진행하였다.

\* 正 會 員 : 全北大 大學院 電氣工學科 副教授 · 工博

† 교신저자, 學生會員 : 全北大 大學院 電氣工學科 碩士課程  
E-mail : ssh2033@chonbuk.ac.kr

\*\* 學生會員 : 全北大 大學院 電氣工學科 碩士課程

\*\*\* 正 會 員 : 全北大 大學院 電氣工學科 研究教授 · 工博

§ 正 會 員 : 韓國IED Eng. 代表理事

接受日字 : 2007年 6月 4日

最終完了 : 2007年 9月 5日

## 2. 보상 알고리즘을 적용한 변압기 보호용 전류차동 계전방식

### 2.1 고조파 블로킹 비율차동 계전방식

일반적으로 변압기 보호에는 비율차동 계전방식을 사용한다. 비율 차동 계전방식의 트립 조건은 식 (1)과 같다.

$$I_d < KI_r \quad (K=0.2) \quad (1)$$

여기서  $K$ 는 계전기의 감도,  $I_d$ 는 차전류 기본과 성분의 실효값,  $I_r$ 는 변압기 1차 측 변류기(CT1)과 변압기 2차 측 변류기(CT2)의 전류를 합한 전류의 기본과 성분의 실효값을 2로 나눈 억제 전류를 나타낸다. 그런데 여자 돌입이나 과여자 시 차전류가 발생하여 계전기가 오동작하기 때문에, 2고조파와 5고조파의 실효값을 블로킹 신호로 사용한다. 블로킹 조건은 식 (2)와 식 (3)에 나타냈다.

$$I_d < K_2 I_2 \quad (K_2 = 15) \quad (2)$$

$$I_d < K_5 I_5 \quad (K_5 = 1) \quad (3)$$

$I_2, I_5$ 는 차전류의 2고조파, 5고조파 성분의 실효값이다. 하지만, 변압기 내부사고 시에 발생하는 고조파로 인하여 계전기의 시지연을 유발한다. 또한 변류기가 포화되면, 고조파 성분이 오래 지속되어 동작 시간이 더욱 지연된다. 그림 1은 고조파 블로킹 전류차동 계전기의 로직을 나타낸다.

### 2.2 보상 알고리즘을 적용한 변압기 보호 계전방식

고조파 블로킹 비율차동 계전방식은 변류기 포화로 인하여 보호 계전기의 감도를 저하시킨다. 따라서 본 논문에서는 변류기의 왜곡된 전류를 보상하여, 고조파 블로킹 비율 차동 계전 방식에 적용하고자 한다.

변류기 포화로 인한 왜곡된 전류를 보상하기 위하여 본 논문에서는 변류기 보상 알고리즘[8]을 사용한다. 잔류 자속과 변류기 포화와 무관하게 포화 시작 순간을 검출하고, 자속을 계산한다. 여기서 언급한 바와 같이 2차 전류의 2차 차분의 크기, 즉  $|del I_2|$ 는 자화 가지로 빠져나간 자화 전류의 크기와 같다. 따라서  $|del I_2|$ 가 임계값을 넘게 되면 포화로 판단하고, 이  $|del I_2|$ 를 자화 곡선에 대입하여 포화 순간의 자속을 계산한다. 이 순간의 자속이 결정되므로, 이후에는 자속의 증분을 더하여 매 순간의 자속을 계산한다. 계산된 자속을 자화 곡선에 대입하여 자화 전류를 구하고, 이를 측정된 2차 전류에 더해줌으로써 보상 전류( $i_2^*(t)$ )를 얻는다. 이를 식 (4)에 나타내었다.

$$i_2^*(t) = i_2(t) + i_m(t) \quad (4)$$

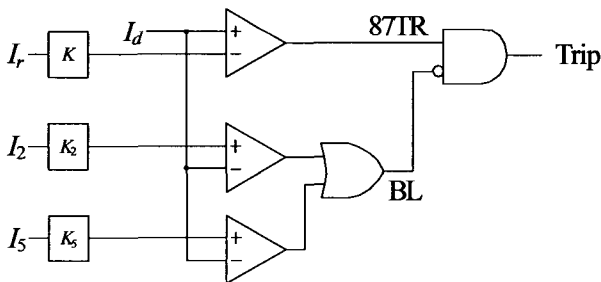


그림 1 고조파 블로킹 전류차동 계전기 로직  
Fig. 1 Logic of differential relay with harmonic blocking

보상 전류를 고조파 비율차동 계전기의 입력으로 사용하여 변압기 보호에 적용한다. 동작 전류와 억제 전류, 고조파 블로킹 신호는 기존 방식과 동일하게 사용한다. 보상 전류를 사용함으로써 내부사고 시 계전기의 시지연을 감소시키고, 외부사고나 여자돌입의 경우에도 기존 방식과 동일하게 계전기가 오동작하지 않는다. 또한 정격 변류기보다 작은 변류기에 보상 알고리즘을 적용하여 변압기 보호에 적용하고자 한다.

## 3. 사례 연구

### 3.1 모델계통

제안한 계전방식의 성능을 검증하기 위하여 그림 2와 같은 모델 계통을 선택하였고, 변압비가 154/22.9kV인 3상 Y-Y 변압기와 R, L부하로 EMTP를 사용하여 모델링 하였다. 주기 당 64샘플의 데이터를 이용하였고, 지역통과 필터로는 컷오프 1,920Hz인 중첩방지용 1차 RC필터를 사용했다. 변압기 보호를 위해 변압기 양단에 변류기를 설치하였고, 포화점이 2.047A, 1.512Vs인 보호용 변류기(C400)를 사용한 경우와 포화점이 2.047A, 0.151Vs인 측정용 변류기(C40)를 사용한 두 가지 경우로 모의하였다.

### 3.2 내부 사고

그림 3은 C400과 C40을 사용한 경우의 내부 사고의 결과를 나타내었다. 그림 3a는 CT1의 1차 전류와 2차 전류를 나타냈다. 실선은 변류비에 맞는 1차 전류, 쇠선은 C400의 2차 전류, 점선은 C40의 2차 전류이다. C40의 경우 단면적이 작기 때문에 변류기가 빠르고, 심하게 포화 되었다. 그림 3b는 CT1의 1차 전류와 보상 전류를 표시하였다. 실선은 변류비에 맞는 1차 전류, 쇠선은 C400의 보상 전류, 점선은 C40의 보상 전류이다. C400과 C40의 경우 모두 보상 전류와 1차 전류가 매우 같음을 확인할 수 있다. 그림 3c, d는 비율 전류차동 계전기(87TR)의 동작특성을 기존 방식은 원으로, 제안한 방식은 사각형으로 비교하여 도시하였다. 기존 방식과 제안한 방식 모두 차전류가 발생하여 동작영역으로 진입하였다. 그림 3e, f는 차전류의 기본파에 대한 2고조파의 함유율을 실선으로, 계전기의 설정치를 점선으로 나타냈다. 기존 방식을 사용하면 C400과 C40의 경우에서 기본파에 대한 2고조파의 함유율이 길게 지속되었으나, 제안한 방식을 사용하면 기존 방식에 비하여 크게 감소하였다. 그림 3g, h는 비율 전류차동 계전기(87TR), 블로킹 신호(BL), 계전기 트립 신호를 기존 방식은 점선, 제안한 방식은 실선으로 나타내었다. 기존 방식을 사용한 경우 큰 블로킹 신호로 인해 계전기 동작이 지연되었다. 내부 사고가 발생한 시간은 C400과 C40을 사용한 경우 모두 46.7ms이다. C400의 경우에서는 제안한 방식의 경우 블로킹 신호의 지속 시간이 감소하여 기존 방식보다 64.08ms 빨리 동작하여 61.7ms에 동작했다. C40을 사용한 기존 방식의 경우 측정구간에서 큰 블로킹 신호로 인해 계전기가 동작하지 않았지만, 제안한 방식의 경우 61.2ms에 계전기가 동작하였다. 보호 영역 내부사고 이므로 보호 계전기는 동작해야 한다. 사례 연구 결과 기존 방식의 경우 계전기 동작이 지연되었으나, 제안한 알고리즘을 적용한 경우 동작 지연이 크게 감소되었다.

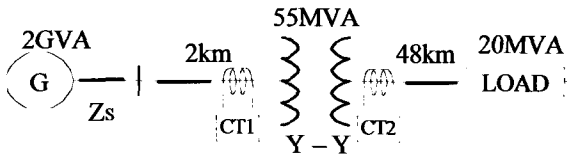


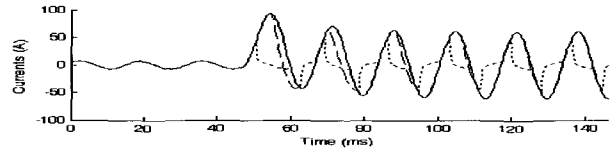
그림 2 모델계통  
Fig. 2 Model system

3.3 여자 돌입

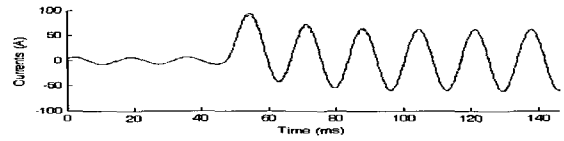
그림 4는 C400과 C40을 사용한 경우의 여자 돌입의 결과를 나타내었다. 여자 돌입을 모의하기 위하여 변압기를 투입한 시간은 C400과 C40의 경우 모두 46.7ms이다. 그림 4a에서 C40의 경우 단면적이 작기 때문에 변류기가 빠르고, 심하게 포화 되었다. 그림 4b에서 C400의 경우 약간 과보상이 되었지만, C400과 C40을 사용한 경우 모두 보상 알고리즘이 정상적으로 동작하여 1차 전류와 거의 비슷하였다. 그림 4c, d에서 기존 방식과 제안한 방식 모두 차전류가 발생하여 동작영역으로 진입하였다. 하지만, 그림 4d에서 기존 방식의 경우 2차 전류가 심하게 왜곡되어, 차전류가 작게 발생하였다. 그림 4e, f에서 기존 방식과 제안한 방식 모두 기본과에 대한 2고조파의 함유율이 길게 지속되었다. 그림 4g, h에서 C400과 C40을 사용한 경우 모두 돌입 전류로 인하여 발생하는 차전류로 인하여 비율 전류차동 계전기가 동작하지만, 긴 블로킹 신호가 지속되어 계전기의 트립 신호는 출력되지 않는다. C40을 사용하여 기존 방식을 적용한 경우, 변류기 포화로 인하여 차전류가 작게 발생하여 비율 전류차동 계전기의 신호가 흔들리지만, 큰 블로킹으로 계전기는 동작하지 않는다. 기존 방식과 제안한 방식 적용한 결과는 보호 영역 내부의 사고가 아니기 때문에 동작하지 않아야 하며, 사례 연구 결과 또한 두 경우 모두 동작하지 않는다.

3.4 외부 사고

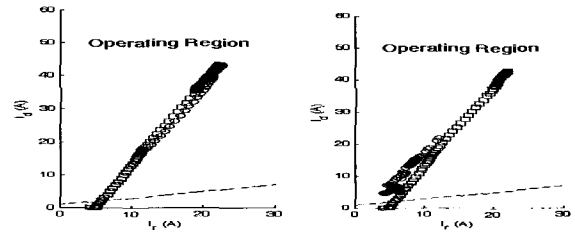
그림 5는 C400과 C40을 사용한 경우의 외부사고의 결과를 나타내었다. 외부 사고가 발생한 시간은 C400과 C40의 경우 모두 46.7ms이다. 그림 5b에 C400과 C40대하여 CT2의 1차 전류와 2차 전류를 추가하였고, 그림 5d에 C400과 C40대하여 CT2의 1차 전류와 보상 전류를 나타냈다. 각 전류들은 외부 사고이지만, 큰 사고 전류로 인하여 변류기 2차 전류가 포화되었다. C40을 사용한 경우 단면적이 작기 때문에 C400을 사용한 경우보다 빠르고, 심하게 포화 되었다. 그림 5c, d에서 C40을 사용한 경우 약간 과보상 되었으나, C400과 C40을 사용한 경우 모두 1차 전류와 거의 비슷하였다. 그림 5e, f에서 차전류가 생기지 않아, 기존방식과 제안한 방식을 적용한 경우 모두 비율 전류차동 계전기는 동작영역에 진입하지 않는다. 변압기 양단의 변류기들이 모두 포화되지만, 변류기의 포화점이 같기 때문에 차전류가 발생하지 않았다. 그림 5g, h에서 기존 방식과 제안한 방식 모두 기본과에 대한 2고조파의 함유율이 길게 지속되었다. 그림 5i, j 모두 비율 전류차동 계전기가 동작하지 않으며, 사고 이후 첫 주기 동안 고조파 연산으로 인하여 블로킹 신호가 흔들리지만, 측정구간 내에서 지속되었다. 보호 영역 외부사고이기 때문에 보호 계전기는 동작하지 않아야 하며, 제안한 방식과 기존 방식 모두 사례 연구 결과 계전기가 동작하지 않았다.



(a) C400과 C40에서 CT1의 1차 전류와 2차 전류

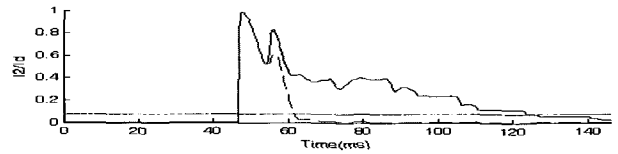


(b) C400과 C40에서 CT1의 1차 전류와 보상 전류

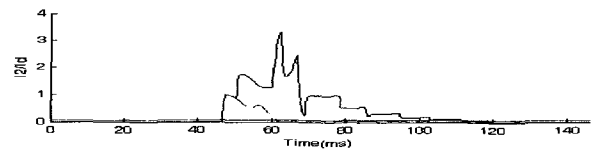


(c) C400의 87TR

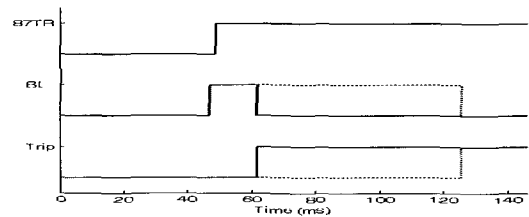
(d) C40의 87TR



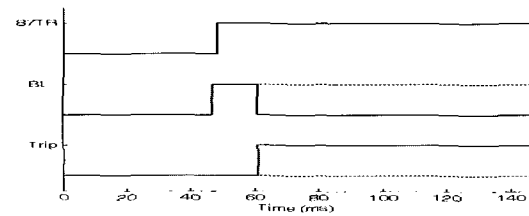
(e) C400에서 기존 방식과 제안한 방식의 I2/I1



(f) C40에서 기존 방식과 제안한 방식의 I2/I1

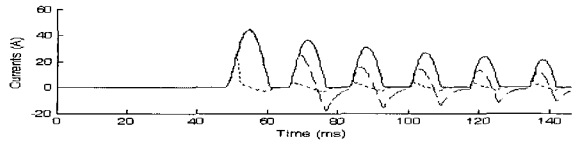


(g) C400에서 기존 방식과 제안한 방식의 동작

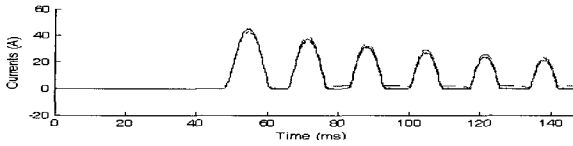


(h) C40에서 기존 방식과 제안한 방식의 동작

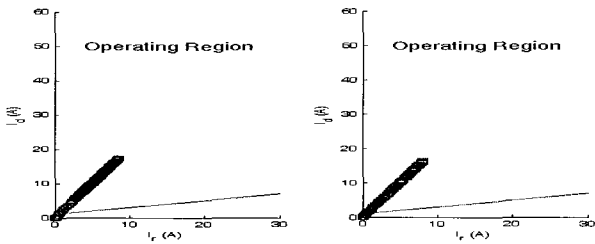
그림 3 내부 사고의 결과  
Fig. 3 Results of internal faults



(a) C400과 C40에서 CT1의 1차 전류와 2차 전류

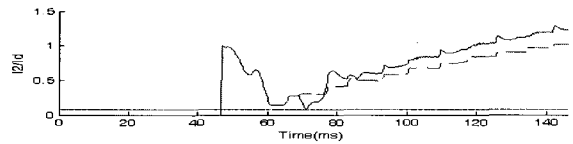


(b) C400과 C40에서 CT1의 1차 전류와 보상 전류

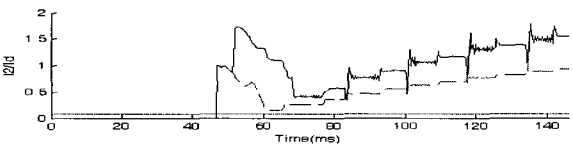


(c) C400의 87TR

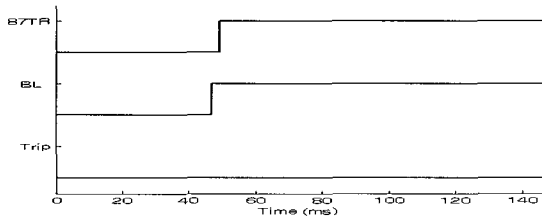
(d) C40의 87TR



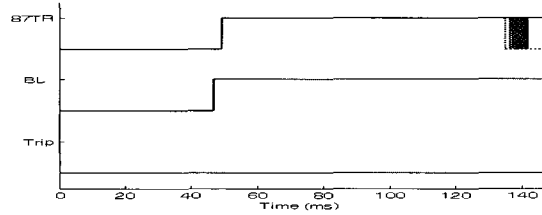
(e) C400에서 기존 방식과 제안한 방식의 I2/I1



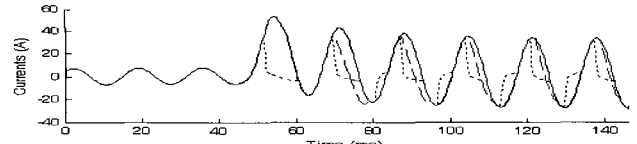
(f) C40에서 기존 방식과 제안한 방식의 I2/I1



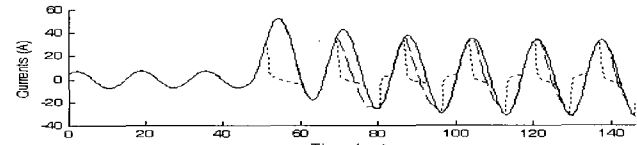
(g) C400에서 기존 방식과 제안한 방식의 동작



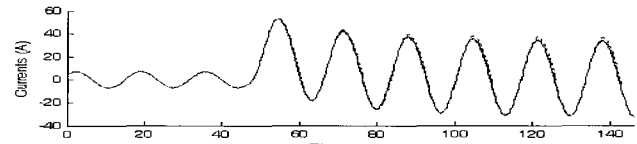
(h) C40에서 기존 방식과 제안한 방식의 동작



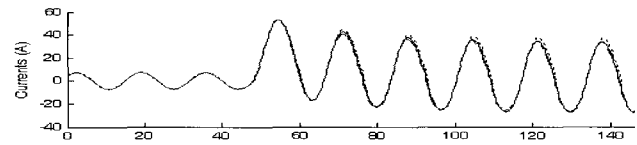
(a) C400과 C40에서 CT1의 1차 전류와 2차 전류



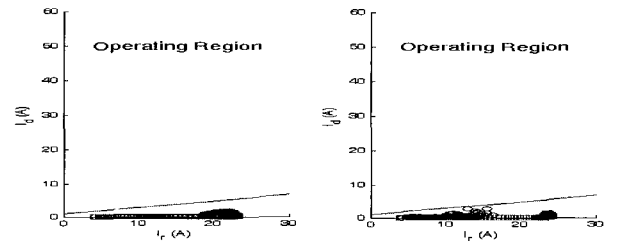
(b) C400과 C40에서 CT2의 1차 전류와 2차 전류



(c) C400과 C40에서 CT1의 1차 전류와 보상 전류

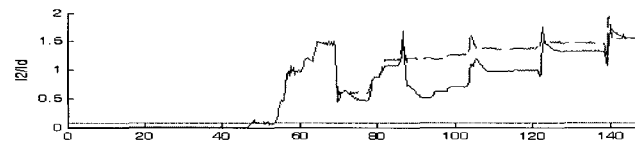


(d) C400과 C40에서 CT2의 1차 전류와 보상 전류

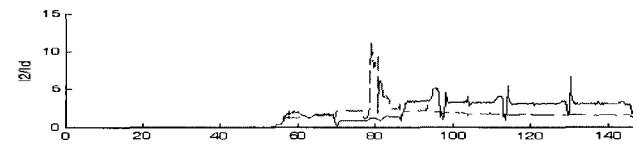


(e) C400의 87TR

(f) C40의 87TR



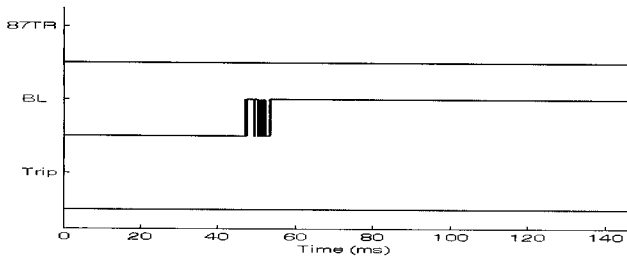
(g) C400에서 기존 방식과 제안한 방식의 I2/I1



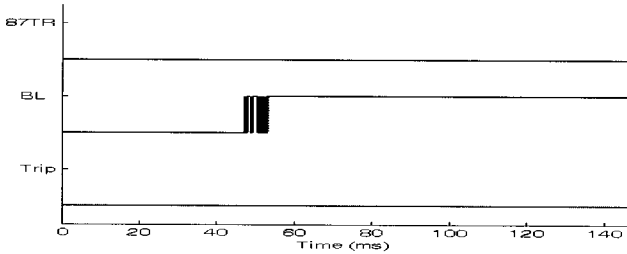
(h) C40에서 기존 방식과 제안한 방식의 I2/I1

그림 4 여자 돌입의 결과

Fig. 4 Results of magnetic inrush



(i) C400에서 기존 방식과 제안한 방식의 동작



(ii) C400에서 기존 방식과 제안한 방식의 동작

그림 5 외부 사고의 결과

Fig. 5 Results of external faults

4. 결 론

본 논문에서는 변류기 보상 알고리즘을 적용한 변압기 보호용 전류차동 알고리즘을 제안한다. 변류기 포화로 인하여 왜곡된 전류를 보상하고, 이를 변압기 보호용 전류차동 계전기의 입력으로 사용한다. 제안한 방식은 여자돌입과 과여자시 오동작을 막기 위해 고조파 블로킹 방식을 함께 사용한다. 변류기 보상 알고리즘을 적용하면 변류기의 잔류 자속 등으로 인한 포화를 고려하지 않아도 되며, 왜곡된 전류를 보상할 수 있다.

제시한 방식을 154kV 계통의 정격 변류기와, 정격 변류기의 포화점의 1/10인 작은 변류기에 적용하여 검증하였다. 제안한 방식을 성능을 검증하기 위한 사례연구를 통하여 변류기 포화를 수반하는 외부사고와 여자돌입의 경우에도 계전기가 오동작하지 않았고, 변류기 포화를 수반하는 내부사고의 경우에는 계전기의 시지연이 크게 감소하는 것을 확인하였다. 또한 제안한 방식이 정격 변류기보다 작은 변류기에도 적용되는 것을 검증하였다.

정격 변류기보다 포화점이 낮은 변류기를 사용하여 2차 전류가 심하게 왜곡되더라도 보상 알고리즘을 적용하면 왜곡된 전류를 보상할 수 있다. 그러므로 정격보다 작은 변류기를 사용하게 되면, 코어의 단면적이 축소되어 변류기의 사이즈가 작아지므로, 변압기 보호에 필요한 변류기 제작단가를 줄일 수 있다. 제안한 방식을 사용하여 변류기 포화시 왜곡된 전류를 보상하게 되면 기존의 변압기 보호 방식의 성능을 향상시킬 수 있고, 변류기 포화로 인해 전류차동 계전기의 축소된 동작영역을 확대할 수 있어 계전기의 감도를 향상시킬 수 있다.

감사의 글

본 연구는 과학기술부/한국과학재단 우수연구센터 육성사업의 지원으로 수행되었음(차세대전력기술연구센터)

참 고 문 헌

- [1] A. G. Phadke and J. S. Thorp, "Computer Relaying for Power Systems", Research Studies Press Ltd, 1988.
- [2] E. E. Conner, E. C. Wentz, and D. W. Allen, "Methods for estimating transient performance of practical current transformer for relaying," IEEE Trans. Trans. Power App. Syst., vol. PAS-94, pp. 116-122, Jan./Feb. 1975.
- [3] L. J. Powell, "Current transformer burden and saturation," IEEE Trans. Ind. Applicat., vol. IA-15, pp. 294-302, May/June 1979.
- [4] IEEE Power System Relaying Committee, "Transient response of current transformers," IEEE Trans. Power App. Syst., vol. PAS-96, pp.1809-1811, Nov./Dec. 1977.
- [5] S. H. Horowitz and A. G. Phadke, Power System Relaying. Hertfordshire, U.K.: Research Studies Press, pp. 56-57, 1992.
- [6] 'IEEE Guide for the application off current transformers used for protective relaying purposes'. IEEE standard C37.110-1996, 1996.
- [7] Y. C. Kang, J. K. Park, S. H. Kang, A. T. Johns and R. K. Aggarwal, "An algorithm for compensating secondary currents of current transformers," IEEE Trans. Power Delivery, Vol. 12, No. 1, pp. 116-124, January 1997.
- [8] Y. C. Kang, U. J. Lim, S. H. Kang and P. A. Crossley, "Compensation of the distortion in the secondary current caused by saturation and remanence in a CT." IEEE Trans. Power Delivery, Vol. 19, No. 4, pp. 1642-1649, October 2004.

저 자 소 개



**강 용 철 (姜 龍 澈)**

1964년 8월 2일생. 1991년 서울대학교 전기공학과 졸업. 1993년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1997년 동 대학원 전기공학과 졸업(공박). 현재, 전북대학교 전자정보공학부 부교수.

Tel : 063-270-2391

Fax : 063-270-2394

E-mail : yckang@chonbuk.ac.kr



**이 미 선 (李 美 善)**

1983년 9월 10일생. 2007년 전북대학교 전자정보공학부 졸업. 2007년~현재 전북대학교 대학원 전기공학과 석사과정.

Tel : 063-270-2391

Fax : 063-270-2394

E-mail : sagonmaker@chonbuk.ac.kr



**소 순 흥 (蘇 淳 鴻)**

1979년 7월 6일생. 2005년 전북대학교 전자정보공학부 졸업. 2007년 전북대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사).

Tel : 063-270-2391

Fax : 063-270-2394

E-mail : ssh2033@chonbuk.ac.kr



**장 성 일 (張 成 一)**

1971년 8월 30일생. 1996년 강원대학교 전기공학과 졸업. 1998년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2003년 동 대학원 전기공학과 졸업(공박). 현재 전북대학교 대학원 전기공학과 BK21 연구교수.

Tel : 063-270-2389

Fax : 063-270-2394

E-mail : sijang@chonbuk.ac.kr



**박 중 민 (朴 種 玫)**

1979년 3월 9일생. 2006년 전북대학교 전자정보공학부 졸업. 2006년~현재 전북대학교 대학원 전기공학과 석사과정.

Tel : 063-270-2391

Fax : 063-270-2394

E-mail : qbsim9717@chonbuk.ac.kr



**김 용 균 (金 容 均)**

1973년 7월 4일생. 1993년 홍익대학교 전기공학과 졸업. 2005년~현재 한국IED Eng. 대표이사.

Tel : 02-529-2113

Fax : 02-571-9207

E-mail : codacoda@hankookied.com