

변류기 2차 전류의 포화 여부 판단 알고리즘

강용철*, 옥승훈*, 강상희**
* 전북대학교 **영지대학교

An Algorithm for Detecting CT Saturation

Y. C. Kang*, S. H. Ok*, S. H. Kang**
* Chonbuk National University. **Myongji University

Abstract - This paper presents an algorithm for detecting current transformer (CT). At the instants of beginning and end of saturation, the increment of the secondary current is reduced significantly, depending on the residual flux and saturation time. Thus, the third difference of the current is used to detect saturation in this paper. If the third difference is less than threshold, the CT is at the beginning/end of saturation. The proposed detection method is unaffected by the amount of residual flux. The results of various tests with residual flux from -80% to +80% indicate satisfactory performance of the method.

1. 서 론

변류기 포화로 인한 왜곡된 2차 전류는 계전방식에 많은 영향을 주게 된다. 따라서, 전류를 이용하는 새로운 계전방식을 설계하는 경우에는 변류기 포화를 반드시 고려해야 한다.[1] 특히 자동전류에 기초한 계전방식에 있어서 변류기 포화에 대한 계전방식의 성능을 점검하여야 하는 요소이다.

모선보호용으로 사용되는 전류차동 계전방식의 경우에는, 발생한 차동전류가 내부사고에 기인한 것인지, 변류기 포화에 기인한 것인지에 대한 구분이 반드시 필요하다. 이에 대한 많은 논문이 발표되었다.[2,3]

철심내의 자속을 계산하여, 포화를 판단하고 변류기가 포화되면, 전류를 보상하는 알고리즘이 개발되었다.[4] 하지만, 이 방식은 초기에 잔류자속이 없는 경우에만 성립하는 단점이 있다.

변류기 포화는 사고전류뿐만 아니라 변류기 철심내에 존재하는 잔류자속에 따라 다르다. 사고 전류의 크기는 작더라도 철심 내에 잔류자속이 많으면 포화될 수 있다. 또한, 음의 잔류자속이 존재하면 포화가 늦게 발생한다. 따라서, 잔류자속이 존재하는 경우에 포화를 판단하는 방법은 제안되지 않았다.

변류기가 포화개시/포화종료되면, 변류기의 자화인덕턴스가 매우 급격하게 변한다. 즉, 내부 파라미터의 값이 심하게 변하여, 자화전류의 값이 급격히 증가하거나, 감소하므로, 잔류자속과 포화되는 시점에 따라 달라지지만, 2차 전류의 증가량이 급격하게 감소하는 현상이 있다. 이는 전류의 2차 미분이 큰 음의 값을 갖는다는 뜻이다.

본 논문에서는 변류기 2차 전류의 파형으로부터 변류기의 포화여부를 판단하는 알고리즘을 제안한다. 변류기가 포화개시/포화종료 순간의 2차 미분값이 갑자기 작아지는 것을 이용하여, 3차미분이 임계값보다 작으면 포화개시/포화종료 순간으로 판단하였다. EMTP를 이용하여 잔류자속을 +80% ~ -80%까지 변화시켜 시험한 결과, 제시한 방식의 타당성을 입증하였다.

2. 본 론

2.1 2차 전류의 차분

변류기 포화란 변류기의 자화 인덕턴스의 값이 크게 변하여 자화전류의 값이 급격하게 증가하는 현상이다. 따라서, 변류기가 포화 개시되거나 포화가 종료되면, 자화 인덕턴스의 값이 급격하게 변한다. 이때, 2차전류 역시 급격하게 변하게 된다. 본 논문에서는 2차 전류의 변화량을 이용하여 포화 여부를 판단하고자 한다.

2.1.1 2차전류 i_2 의 변화율 계산

2차 전류를 이산화한 식을 $i_2[n]$ 이라 하면, $del1[n]$ 은 2차전류의 차분으로써

$$del1[n] = i_2[n] - i_2[n-1] \quad (1)$$

와 같으며, $del1[n]$ 으로부터 2차전류의 증감을 알 수 있으며, 2차 차분 $del2[n]$ 과 3차 차분 $del3[n]$ 은 다음과 같다.

$$del2[n] = del1[n] - del1[n-1] \quad (2)$$

$$del3[n] = del2[n] - del2[n-1] \quad (3)$$

$del2[n]$ 에서는 $del1[n]$ 의 증감을 알 수 있으며, 2차 전류의 모양이 아래로 볼록인지, 위로 볼록인지를 알 수 있으며, $del3[n]$ 으로부터는 $del2[n]$ 의 증가량을 알 수 있다. 본 논문에서는 $del2[n]$ 의 증가량을 알기 위해서 $del3[n]$ 을 이용하였다.

2.2 포화개시 및 종료 순간 판단

$del2[n] < 0$ 이면, $del1[n]$ 가 감소상태를 의미하고, 즉, i_2 의 증가량이 감소함을 의미한다. $del2[n] < 0$ 이면서 $del2[n]$ 의 크기가 크면, 그 순간에 $del1[n]$ 이 심한 감소상태를 의미하며, i_2 의 감소량이 급격히 증가함을 의미한다. 즉, 2차전류가 급격히 감소함을 의미하게 되어 포화개시/포화종료 순간이라고 판단할 수 있다.

포화정도가 다르기 때문에 포화순간의 자속을 단순히 포화점의 자속으로 추정하는 것은 문제가 있다. 본 논문에서는 포화순간을 보다 정확하게 판단하기 위하여 $del3[n]$ 을 이용하여, $del3[n]$ 이 임계값 이하보다 작으면 그 순간을 포화개시/포화종료 시점으로 판단하였다.

$$del3[n] < -0.0015 \quad (4)$$

$del3[n]$ 값이 첫 번째로 임계값 -0.0015 이하를 나타낼 때가 포화 개시 순간이고, 두 번째로 임계값 이하를 나타낼 때가 포화 종료 순간이라고 판단하였다.

$del3[n]$ 값이 N번째로 임계값 -0.0015 이하를 나타내고 있다면, 포화개시/포화종료의 횟수를 나타내는 P, S는

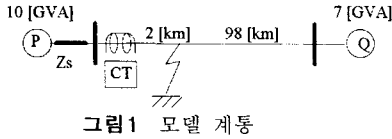
$$1) \text{ 포화 시점 } P = (N+1)/2 \text{ (P는 정수)} \quad (5)$$

2) 이탈 시점 $S = N/2$ (S는 정수) (6)

로 표시할 수 있다.

2.3 사례 연구

제시한 방법의 타당성을 검증하기 위하여 다음 그림1과 같은 모델 계통을 선정하였다.



사용한 변류기의 특성은 다음과 같다.

- 포화점 (2.047A, 1.512 Vs)
- 변류비 2000:5
- 잔류자속: -80%, -70%, ..., 0, ..., +70%, +80%

이 중에서 잔류자속이 -80%, 0, +80%인 경우에 대하여 나타내었다.

2.3.1 잔류자속 0%

그림 2는 잔류 자속이 0인 경우의 전류와 차분을 나타냈다.

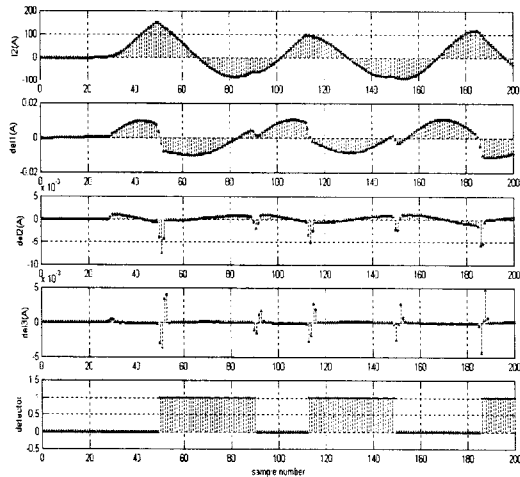


그림 2 잔류자속 0일 때, i_2 , del1, del2, del3, detector

i_2 를 보면, 50, 113, 186에서 포화 개시됨을 알 수 있고, 90, 149에서 포화 종료됨을 알 수 있다. 그림 2에서 알 수 있듯이 포화 개시되는 순간, $del2[n]$ 은 급격한 감소를 나타내고, $del3[n]$ 을 이용하여 $del2[n]$ 의 증감이 급격한 부분을 표시하였다. 마지막으로 detector를 이용하여 임계 값 이하의 $del3[n]$ 을 찾아서, 포화개시 순간에는 detector 값을 1로, 포화종료 순간에는 detector 값을 0으로 판단하였다.

위의 결과로써, $del3[n]$ 의 계산으로 포화개시 시점뿐만 아니라 포화종료 시점까지 판단할 수 있음을 알 수 있다.

그림 2에서 detector로 찾은 포화개시 시점은 50, 113, 186이며 포화종료 시점은 90, 149이고, detector는 정확히 포화개시/포화종료 시점을 찾아내고 있음을 볼 수 있다.

2.3.2 잔류자속 +80%

그림 3은 잔류 자속이 +80%인 경우의 전류와 차분을 나타냈다.

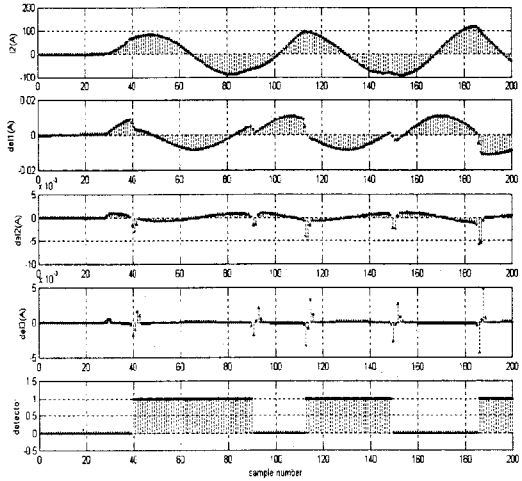


그림 3 잔류자속 +80일 때, i_2 , del1, del2, del3, detector

그림 3에서 알 수 있듯이, 잔류 자속이 +80%인 경우에도, 잔류 자속이 0인 경우와 마찬가지로 포화개시 또는 포화종료 시점에서 임계값 이하의 $del3[n]$ 이 존재함을 찾을 수 있었다.

이는 잔류 최대 자속인 +80%인 경우에도 포화개시/포화종료 시점을 잘 찾음을 보여주며, 다른 조건의 추가 없이도 $del3[n]$ 의 계산으로 포화개시/포화종료 시점을 정확히 찾아 낼 수 있음을 보여준다.

i_2 를 보면, 포화개시 시점은 50, 113, 186이며 포화종료 시점은 90, 149이고, detector는 잔류 자속이 매우 많이 존재함에도 불구하고, 정확히 포화개시/포화종료 시점을 찾아내고 있음을 볼 수 있다.

2.3.3 잔류자속 -80%

그림 4는 잔류 자속이 -80인 경우의 전류와 차분을 나타냈다.

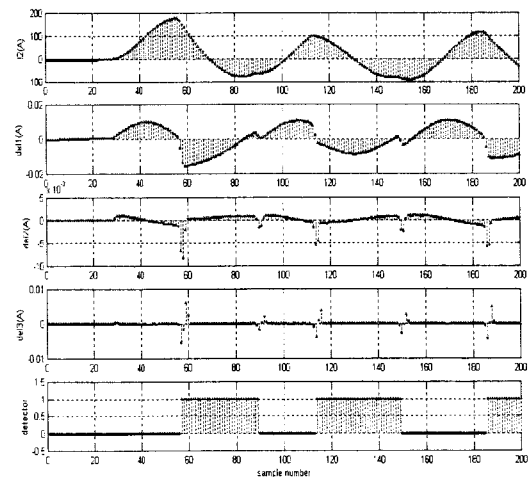


그림 4 잔류자속 -80일 때, i_2 , del1, del2, del3, detector

그림 4에서 알 수 있듯이, 잔류 자속이 -80%인 경우에도, 포화개시 또는 포화종료 시점에서 임계값 이하의 $del3[n]$ 이 존재함을 찾을 수 있었다.

i_2 를 보면, 포화개시 시점은 57, 114, 186이며 포화종료 시점은 89, 149이고, detector는 큰 음의 잔류 자속이 존재하는 경우에도 정확히 포화개시/포화종료 시점을 찾아내고 있음을 볼 수 있다

위의 3가지 예로써, $del3[n]$ 의 계산으로 잔류 자속의 유/무 그리고 잔류 자속량의 크고 작음과 관계없이 포화개시/종료 시점을 찾아 나타낼 수 있음을 알 수 있다.

3. 결 론

본 논문에서는 2차전류만을 이용하여 변류기의 포화여부를 판단하는 방법을 제시하였다. 전류의 3차 차분이 설정값보다 작으면, 포화개시/포화종료 된다고 판단하는 방법을 제시하였다. 전류의 변화만을 이용하였기 때문에, 잔류자속이 없는 경우 뿐만 아니라 잔류자속이 가장 많은 +80%인 경우에 대해서도 포화순간을 잘 판단함을 알 수 있었다. 또한, 잔류자속이 가장 적게 남아 있어 (-80%) 포화가 늦게 발생한 경우에도, 포화 여부를 잘 판단하였다.

제시한 방법은 철심 내에 잔류자속의 양에 관계없이 포화개시/포화종료 시점을 잘 판단하였다. 제시한 방법은 단지 2차전류만을 이용하기 때문에 쉽게 적용할 수 있는 장점이 있다.

(참 고 문 헌)

- [1] M. S. Sachdev, T. S. Sidhu, H. S. Gill, "A Busbar Protection Technique and Its Performance During Saturation and CT Ratio-Mismatch", IEEE Trans. on PWRD, Vol. 15, No. 3, July 2000, pp.895~901
- [2] G. Hosemann, H.M. Steigerwald, "Modal Saturation Detector for Digital Differential Protection", IEEE Trans. on PWRD, Vol. 8, No. 3, July 1993, pp.933~940
- [3] 보호 릴레이 시스템 기본 기술체계, 일본전기학회 기술보고, 제641호, 1997년 7월
- [4] Y.C. Kang, J.K. Park, S.H. Kanf, A.T> Johns, R.K. Aggarwal, "An Algorithm for Compensating the Secondary Current of Current Transformers", IEEE Trans. on PWRD, Vol. 12, No. 3, January 1997, pp.116~124