

An Algorithm for Detecting CT Saturation

姜龍澈* · 玉昇勳** · 姜相熙***
(Y. C. Kang · S. H. Ok · S. H. Kang)

Abstract - This paper presents an algorithm for detecting current transformer (CT) saturation. At the instants of beginning (or end) of saturation, as a magnetizing inductance of the core is changed significantly, the shapes of the secondary current are also changed significantly though secondary currents are continuous the instants. At the instants, the second-order or third-order difference of the secondary current has big values. Thus, the third difference of the current is used to detect the beginning/end of CT saturation in this paper. If the magnitude of third-order difference of the secondary current is larger than a threshold value, the CT begins or ends saturation at the instants. 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.

Key Words: saturation, difference of the secondary current, remanent flux, beginning/end of saturation

1. 서 론

변류기 포화로 인한 왜곡된 2차전류는 계전방식의 성능에 영향을 주게 된다. 따라서, 전류를 이용하는 새로운 계전방식을 설계하는 경우에는 변류기 포화를 반드시 고려해야 한다.[1] 특히 전류차동 계전방식 방식의 경우에는 변류기 포화에 대한 별도의 대책을 반드시 구비하여야 한다.

모선보호용으로 사용되는 전류차동 계전 방식의 경우에는, 발생한 차동 전류가 내부사고에 기인한 것인지, 외부사고 시 변류기 포화에 기인한 것인지에 대한 구분이 반드시 필요하다. 때문에, 이에 대한 연구결과가 발표되었다.[2,3]

참고문헌 [2]에서는 전류를 Modal 변환하여 포화를 판정하는 방법을 제시하였다. 포화가 되지 않으면 변환하여 얻은 정상성분이 원의 궤적을 그리지만, 포화되면 그렇지 않다는 사실을 이용하였다. 이 방식은 모든 전류가 한 가지 주파수 성분을 갖는다는 전제를 사용하였다. 하지만, 실제로는 세 상의 전류가 같은 주파수 성분만을 갖는 경우는 드물고, 한 상의 전류에도 기본파 성분만 존재하지 않는다.

변류기 포화가 철심 자속이 포화점을 넘는 현상이므로, 변류기 2차전류와 2차 파라미터로부터 철심 자속을 계산하여 포화를 판단하고 변류기가 포화되면, 왜곡된 전류를 보상하는 방식이 개발되었다.[4] 이 방식은 심하게 포화된 경우에 자속을 계산하여 포화를 정확하게 판단하지만, 초기에 잔류자속이 없는 경우에만 정확하게 판단하는 단점이 있다.

변류기 포화는 사고전류뿐만 아니라 변류기 철심 내에 존

재하는 잔류자속에 따라 그 정도가 다르다. 비록 사고 전류의 크기는 작다하더라도 초기에 철심 내에 잔류자속이 많으면 포화될 수 있다. 또한, 음의 잔류자속이 존재하면 양의 잔류자속 또는 잔류자속이 없는 경우보다, 같은 사고의 경우에도 포화가 늦게 발생한다.

변류기가 포화개시 또는 포화종료되면, 변류기의 자화인덕턴스가 매우 급격하게 변한다. 즉, 내부 파라미터의 값이 심하게 변하여, 자화전류의 값이 급격히 증가하거나 감소하게 된다. 이러한 현상은 2차전류에도 나타난다. 포화개시 및 포화종료 순간에는 2차전류는 연속이긴 하지만, 그 파형은 그 순간을 전후로 해서 전류의 형태가 다르다. 따라서, 그 순간에는 2차전류의 차분이 큰 값을 갖는다.

본 논문에서는 변류기 2차전류의 차분으로부터 변류기의 포화여부를 판단하는 알고리즘을 제안한다. 변류기가 포화개시/포화종료 순간에 2차전류의 차분이 큰 값을 갖는 것을 이용하여 3차 차분의 크기가 임계값보다 크면, 포화개시/포화종료 순간으로 판단하였다. EMTP를 이용하여 초기의 잔류자속을 +80% ~ -80%까지 변화시켜 얻은 데이터로부터 제시한 방식의 타당성을 입증하였다.

2. 본 론

2.1 2차전류의 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. 이 순간에는 2차전류가 연속이긴 하지만, 그 순간을 전후로 해서 형태가 다르다. 따라서, 그 순간에는 1차 차분이 불연속이 되고, 2차 차분 또는 3차 차분이 큰 값을 갖게 된다. 본 논문에서는 2차전류의 차분을 이용하여 변류기 포화 여부를 판단하고자 한다.

* 正 會 員 : 全北大 電子情報工學部 助教授

** 準 會 員 : 全北大 電氣工學科 碩師課程

*** 正 會 員 : 明知大 電氣工學科 助教授

接受日字 : 2001年 2月 14日

最終完了 : 2001年 5月 28日

2.1.1 2차전류 i_2 의 차분 계산

이산화한 2차전류를 $i_2[n]$ 이라 하면, $del1[n]$ 은 2차전류의 1차 차분으로서

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

와 같으며, 2차 차분 $del2[n]$ 과 3차 차분 $del3[n]$ 은 다음과 같이 정의된다.

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

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

2.2 포화개시 및 포화종료 순간 판단

변류기가 포화개시 되거나 포화종료되면, 그 순간을 전후로 자화 인덕턴스의 값이 급격하게 변하기 때문에, 2차전류는 연속이기는 하지만, 형태가 매우 다르다. 다시 말해서, 그 순간에 2차전류의 변화율인 1차 차분은 불연속이 된다. 따라서, 2차 차분을 구해 보면, 그 순간에는 펄스의 형태처럼 큰 값을 갖고 다른 순간에는 작은 값을 갖게 되고, 이런 현상은 3차 차분의 경우에도 마찬가지이다.

따라서, 2차 차분이 큰 값을 갖게 되면, 그 순간에는 변류기가 포화개시되거나 포화종료된다. 그 값은 잔류자속, 포화개시 및 포화종료 순간, 그리고 사고 종류에 따라 다르다. 따라서, 2차 차분의 크기를 사용하게 되면, 시간이 지남에 따라 포화되지 않은 구간에서도 임계값을 넘는 경우가 발생한다. 이런 경우를 대비해서, 3차 차분의 경우에는 포화개시 및 포화종료의 순간을 제외한 구간의 값은 작아지므로, 포화판단이 용이해지는 장점이 있다. 그러므로, 본 논문에서는 포화순간을 보다 정확하게 판단하기 위하여 $del3[n]$ 을 이용하여, 2차전류의 값이 어느 값 이상일 때, $|del3[n]|$ 이 임계값(Th) 보다 크면 그 순간을 포화개시/포화종료 시점으로 판단하였다.

$$|del3[n]| > Th \quad (4)$$

임계값은 여러 가지 경우를 모의하여 결정하였고, 본 논문에서는 임계값을 1.5로 하였다.

그런데, 3차 차분의 경우에는 데이터 윈도우가 4개이므로, 포화개시 및 종료순간의 영향이 그 이후 4샘플까지 나타나게 된다. 따라서, 식 (4)의 조건을 만족하는 순간이 포화개시 및 포화종료 순간 이후 연속해서 4번까지 나타날 수 있으므로, 식 (4)의 조건을 만족한 순간 이후, 4번까지는 같은 순간으로 판단하였다. 제시한 방식의 흐름도를 그림 1에 나타내었다.

2.3 사례 연구

제시한 방법의 타당성을 검증하기 위한 모델계통을 그림 2에 나타내었다.

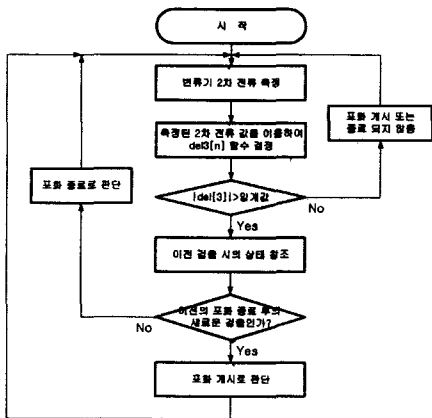


그림 1 제시한 알고리즘의 흐름도
Fig. 1 Flowchart of the proposed algorithm

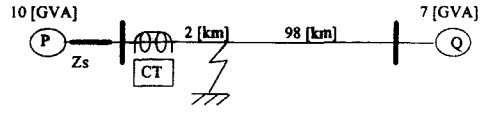


그림 2 모델 계통
Fig. 2 The model system studied.

사용한 변류기의 특성은 다음과 같다.

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

본 논문에서는 히스테리시스 특성을 모델링하기 위하여 type-96 소자를 이용하였다.[4] 또한, 포화점을 위와 같이 결정하였으므로, 자화전류가 1.512 A 이상인 순간들을 포화되었다고 판정하였다. 이 중에서 잔류자속이 -80%, 0%, +80%인 경우에 대하여 나타내었다.

2.3.1 잔류자속 0%

그림 3은 잔류자속이 0인 경우의 전류와 차분을 나타냈다. i_2 를 보면, 50, 113, 186에서 포화 개시됨을 알 수 있고, 90, 149에서 포화 종료됨을 알 수 있다. 그림 3에서 알 수 있듯이 포화 개시되는 순간, 2차전류는 연속이지만, $del1[n]$ 을 보면, 불연속이 됨을 알 수 있다. 따라서, 그 순간에는 $del2[n]$ 와 $del3[n]$ 이 펄스처럼 큰 값을 갖게 된다. $del2[n]$ 를 포화판단에 이용하게 되면, 그림 3c에서 알 수 있듯이, 세 번째 포화개시 되기 바로 전 순간에 그 값이 크기 때문에, 임계값을 정하기가 어렵다. 그런데, 3차 차분을 이용하면, 포화개시 및 포화종료 순간과 그렇지 않은 구간의 차가 더 커져, 그 순간이 명확하게 나타남을 그림 3d를 통하여 알 수 있다. 그림 3e에는 임계 값 이하의 $del3[n]$ 을 찾아서, 포화개시 순간에는 detector 값을 1로, 포화종료 순간에는 detector 값을 0으로 판단하였다.

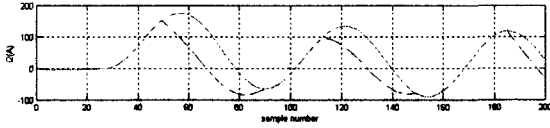
그림 3의 결과로써, $del3[n]$ 으로부터 그림 3에서 detector는 포화개시 시점뿐만 아니라 포화종료 시점까지 판단할 수 있음을 알 수 있다.

2.3.2 잔류자속 +80%

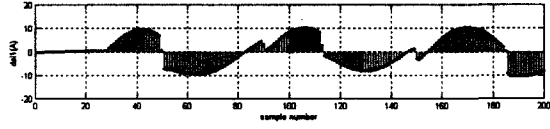
그림 4는 잔류 자속이 +80%인 경우의 전류와 차분을 나타냈다. 예상했던 바와 같이, 잔류자속이 +80%가 0%의 경우보다 일찍 포화되었다.

이 경우에 포화개시 시점은 40, 113, 186이며 포화종료 시점은 90, 149이고, detector는 잔류 자속이 매우 많이 존재함에도 불구하고, 정확히 포화개시/포화종료 시점을 찾아내고 있음을 볼 수 있다.

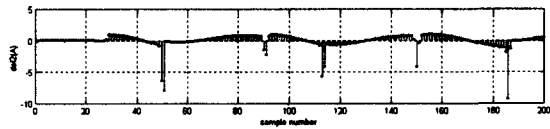
그림 4에서 알 수 있듯이, 잔류 자속이 +80%인 경우에도, 잔류 자속이 0%인 경우와 마찬가지로 포화개시 또는 포화종료 시점에서 임계값 이하의 $del3[n]$ 이 존재함을 찾을 수 있었다. 다른 조건의 추가 없이도 $del3[n]$ 만으로 잔류자속이 많은 경우에도, 포화개시/포화종료 시점을 정확히 찾아 낼 수 있음을 보여준다.



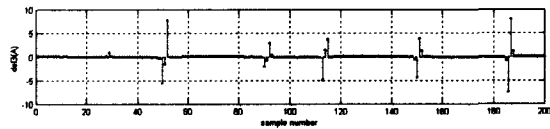
(a) 왜곡된 2차전류(-)와 왜곡되지 않은 2차전류(-)
(a) Distorted and undistorted secondary currents



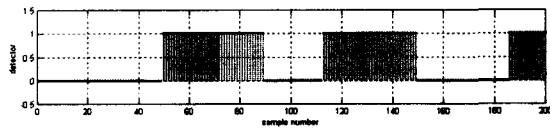
(b) $del1[n]$
(b) $del1[n]$



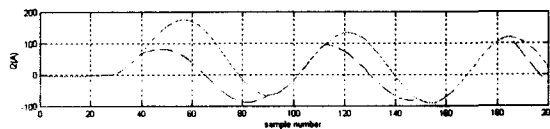
(c) $del2[n]$
(c) $del2[n]$



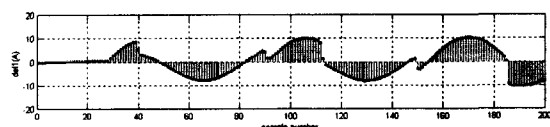
(d) $del3[n]$
(d) $del3[n]$



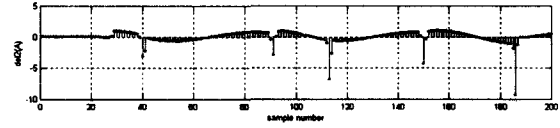
(e) detector 신호
(e) A detector signal
그림 3 잔류자속 0%인 경우
Fig. 3 In case of a 0(%) remanent flux



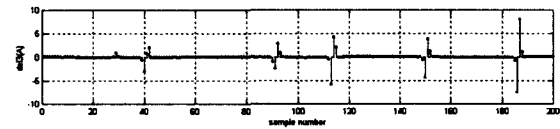
(a) 왜곡된 2차전류(-)와 왜곡되지 않은 2차전류(-)
(a) Distorted and undistorted secondary currents



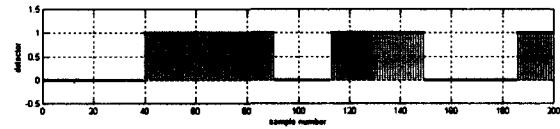
(b) $del1[n]$
(b) $del1[n]$



(c) $del2[n]$
(c) $del2[n]$



(d) $del3[n]$
(d) $del3[n]$



(e) detector 신호
(e) A detector signal
그림 4 잔류자속 +80%인 경우
Fig. 4 In case of a +80(%) remanent flux

2.3.3 잔류자속 -80%

그림 5는 잔류 자속이 -80%인 경우의 전류와 차분을 나타냈다.

그림 5에서 알 수 있듯이, 잔류자속이 -80%인 경우에도, 포화개시 또는 포화종료 시점에서 $del3[n]$ 이 임계값 이하가 됨을 알 수 있었다.

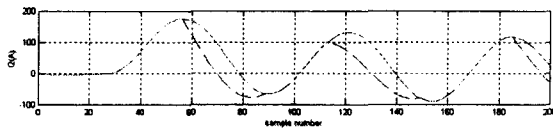
이 경우에는 포화개시 시점은 57, 114, 186이며 포화종료 시점은 89, 149이고, detector는 큰 음의 잔류자속이 존재하는 경우에도 정확히 포화개시/포화종료 시점을 찾아내고 있음을 볼 수 있다

위의 사례연구의 결과로부터 2차전류의 3차차분을 이용하여 잔류자속의 양의 크고 작음과 관계없이 포화 개시/종료 시점을 찾아 나타낼 수 있음을 알 수 있다.

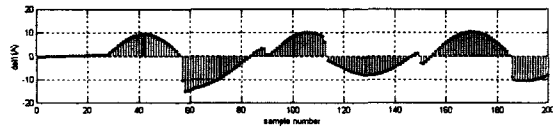
3. 결 론

본 논문에서는 2차 전류만을 이용하여 변류기의 포화여부를 판단하는 방법을 제시하였다. 전류의 3차 차분이 설정값보다 작으면, 포화개시/포화종료 된다고 판단하는 방법을 제시하였다. 여러 가지 사례연구를 통하여, 잔류자속이 없는 경우뿐만 아니라 잔류자속이 가장 많은 +80%인 경우에 대해서도 포화개시/포화 종료 순간을 잘 판단함을 알 수 있었다. 또한, 잔류자속이 가장 적게 남아 있어(-80%) 포화가 늦게 발생한 경우에도, 포화 여부를 잘 판단하였다.

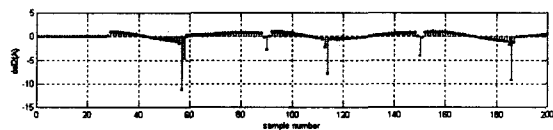
제시한 방법은 철심 내에 잔류자속의 양에 관계없이 포화개시/포화종료 시점을 잘 판단하였다. 제시한 방법은 단지 2차 전류만을 이용하기 때문에 쉽게 적용할 수 있는 장점이 있다.



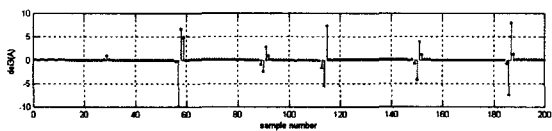
(a) 왜곡된 2차전류(-)와 왜곡되지 않은 2차전류(-)
(a) Distorted and undistorted secondary currents



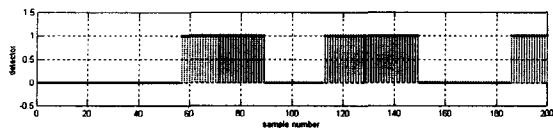
(b) $del1[n]$
(b) $del1[n]$



(c) $del2[n]$
(c) $del2[n]$



(d) $del3[n]$
(d) $del3[n]$



(e) detector 신호
(e) A detector signal

그림 5 잔류자속 -80%인 경우

Fig. 5 In case of a -80% remanent flux

제시한 방법은 차동 전류 계전방식 방식에서는 반드시 필요한 변류기 포화 대책으로 사용될 수 있으며, 전류를 사용하는 계전방식에서 입력인 2차 전류의 포화여부를 판단하여 계전기의 성능을 향상시키는데 사용될 수 있다.

감사의 글

이 논문은 1999년도 전북대학교의 지원 연구비에 의하여 연구되었음

참고 문헌

[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. Kang, 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

저 자 소 개



강용철 (姜龍撤)

1964년 8월 2일 생. 1991년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1993년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1997년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 현재, 전북대 공대 전자정보공학부 조교수

Tel : 063-270-2391, Fax : 063-270-2394

E-mail : yckang@moak.chonbuk.ac.kr



옥승훈 (玉昇勳)

1975년 1월 22일생. 2000년 전북대 공대 전기공학과 졸업, 2000년 3월~현재 동 대학원 전기공학과 석사과정

Tel : 063-270-2391, Fax : 063-270-2394

E-mail : opalman@dreamx.net



강상희 (姜相熙)

1962년 8월 15일 생. 1985년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1987년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1993년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 현재 명지대 공대 전기정보제어공학부 부교수.

Tel : 031-330-6364, Fax : 031-321-0271

E-mail : shkang@mju.ac.kr