

## 차분을 이용한 변류기 포화 검출 알고리즘의 지역통과 필터의 영향 분석

강용철, 옥승훈, 윤재성, 김대성  
전북대학교 전자정보공학부

### Performance Analysis on a Low Pass Filter of a CT Saturation Detecting Algorithm Using Difference of the Secondary Current

Young-Cheol Kang, Seung-Hun Ok, Jae-Sung Yun, Dae-Sung Kim  
Chonbuk National University

#### 2. 본 론

**Abstract** - This paper presents performance analysis on a low pass filter of a CT saturation detecting algorithm using difference. At the instants of beginning/end of saturation, the shapes of the secondary current are changed significantly though secondary currents are continuous. At the instants, the second-order or third-order difference of the secondary current has big values because of discontinuity of the first order difference. Thus, the third difference of the current is used to detect the beginning/end of CT saturation. An antialiasing low pass filter removes high frequency components and causes phase lag. A CT saturation detecting algorithm using difference of CT secondary currents is affected by the low pass filter. The algorithm is tested with cutoff frequencies of 64[S/C] and 32 [S/C]. The results of various test cases indicate satisfactory performance of the algorithm.

#### 1. 서 론

철심 변류기는 철심 코어를 사용하기 때문에 비선형 특성을 가지고 있으며, 포화되는 경우에는 계전기에 왜곡된 전류가 입력되기 때문에 성능에 영향을 주게 된다. 따라서, 전류를 이용하는 계전기에는 변류기 포화에 대한 대책을 구비해야 한다.

변류기 2차전류와 2차 파라미터로부터 철심 자속을 계산하여 포화를 판단하고 변류기가 포화되면, 왜곡된 전류를 보상하는 방식이 개발되었다.[1] 이 방식은 심하게 포화된 경우에도 포화를 정확하게 판단하지만, 잔류 자속이 없는 경우에만 정확하게 판단하는 단점이 있다.

초기에 잔류자속이 존재하여 변류기가 포화되는 경우에도, 포화를 검출하기 위하여 전류의 차분을 이용하는 방식이 제안되었다.[2] 제안된 방법은 변류기의 포화 개시되고 종료되는 순간을 전후로 해서, 2차전류가 다른 형태를 갖게 되어, 2차전류의 차분에 그 정보가 나타나게 된다. 그 정보는 고주파 성분에 기인한다.

한편, 디지털 계전기에는 중첩을 방지하기 위하여 샘플링 주파수의 1/2 이하의 차단 주파수를 갖는 지역통과 필터를 설치하여야 한다. 지역통과 필터를 통과한 전류는, 변류기의 포화를 검출할 수 있는 고주파 성분의 크기가 작아지게 되며, 위상이 지연되게 된다. 그러므로, 차분을 이용한 변류기 포화 검출 알고리즘은 지역통과 필터의 영향을 받게 된다.

본 논문에서는 지역통과 필터가 차분을 이용한 변류기 포화 검출 알고리즘에 미치는 영향을 분석한다. 주기당 샘플수가 64샘플과 32샘플인 경우에 차단 주파수를 달리하여 이의 영향을 분석하였다.

#### 2.1 차분을 이용한 포화 검출 알고리즘

변류기가 포화개시 또는 포화종료되면, 변류기의 자화 인덕턴스가 매우 급격하게 변한다. 즉, 내부 파라미터의 값이 심하게 변하여, 2차 전류가 포화순간을 전후로 하여, 매우 다른 형태의 파형이 된다. 따라서, 포화 개시/종료 순간에는 2차전류는 연속이긴 하지만, 2차전류의 1차 차분이 불연속이 되고, 2차차분(3차차분)이 큰 값을 갖는다. 따라서, 변류기가 포화 개시/종료 순간에 2차전류의 3차 차분의 크기가 임계값보다 크면, 포화개시/종료 순간으로 판단하는 알고리즘이 참고문헌 [2]에 제안되었고, 포화검출 알고리즘의 흐름도를 그림 1에 나타내었다.

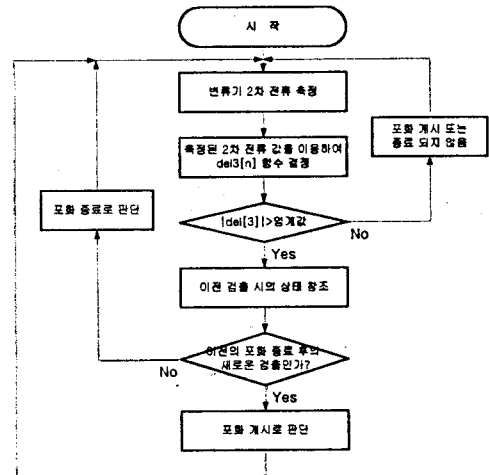


그림 1 차분을 이용한 포화검출 알고리즘의 흐름도

#### 2.2 사례연구

차분을 이용한 변류기 포화검출 알고리즘의 지역통과 필터의 영향을 분석하기 위한 모델계통을 그림 2에 나타내었다. 전압계급은 345[kV]이고, EMTP를 이용하여 데이터를 생성하였고, 200:5 변류기를 사용하였다. 또한, 히스테리시스 특성을 모델링하기 위하여 type-96 소자를 사용하였고, 포화점을 (2.047 A, 1.512 Vs)로 선택하였고, 자화전류가 2.047A 이상이면 변류기가 포화되었다고 판정하였다.

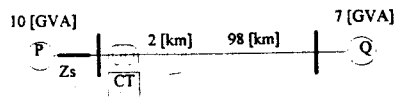


그림 2 모델 계통

샘플링 비율을 주기 당 64샘플인 경우와 32샘플을 선정하여 시험하였으며, EMTP에서 생성한 변류기 2차전류를 저역통과를 통과시켜 시험하였다. 사용된 중첩방지 저역통과 필터는 2차 Butterworth 필터이며, 차단 주파수를 각각 1920 (Hz), 960(Hz), 480(Hz)로 선택하였다. 차단주파수에서 이득이 0.1, 감쇄지수는 0.7071인 필터를 설계하였으며 설계한 필터의 크기 및 위상 특성을 그림 3, 그림 4, 그림 5에 나타내었다.

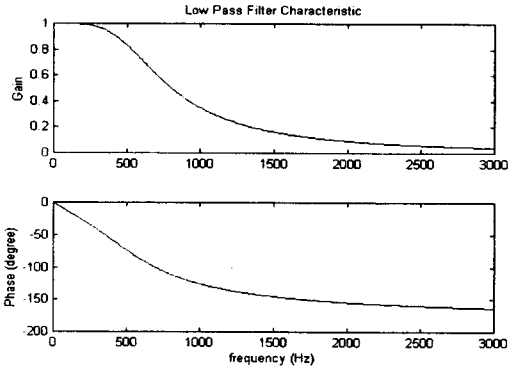


그림 3 차단주파수가 1920Hz인 필터 특성

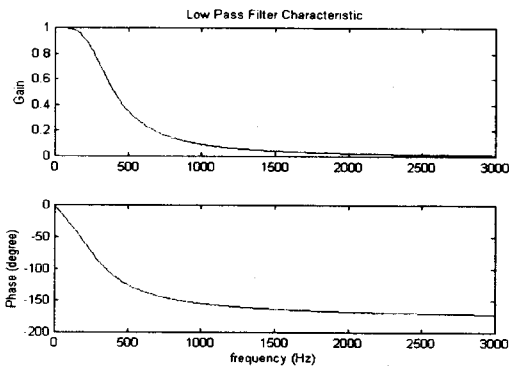


그림 4 차단주파수가 960Hz인 필터 특성

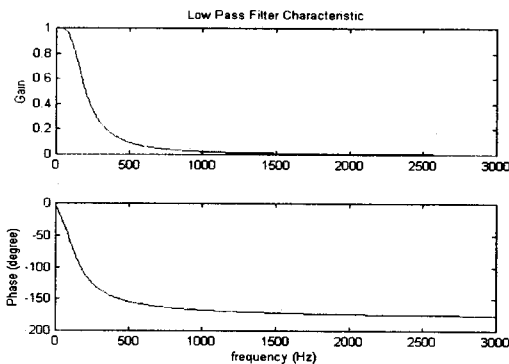


그림 5 차단주파수가 480Hz인 필터 특성

### 2.2.1 주기 당 샘플수가 64인 경우

주기 당 샘플수가 64인 경우 중첩방지 필터의 최대 차단 주파수는 1920Hz이다. 따라서, 필터를 사용하지 않은 경우, 차단 주파수가 1920Hz, 960Hz인 경우에 대하여 나타냈다. 이 경우에 포화판단을 위한 del3의 임계값은 0.4로 하였다.

사례 연구의 각 그림에서  $I_2$ 는 변류기의 차파 가지에 흐르는 전류이며, 이 값이 크고 작음으로부터 포화 개시

/종료 시점을 확인할 수 있다.  $I_2$ 는 계전기에 입력되는 변류기 2차 전류, del1은 변류기 2차 전류의 1차 차분, del2는 2차 차분, del3은 3차 차분 그리고 detector는 포화판단 결과를 나타낸다.

그림 6은 필터를 통과시키지 않은 경우의 결과를 나타내었다. 포화 개시/종료되는 순간에 2차전류는 연속이지만, del1은 불연속임을 알 수 있다. 필터를 사용하지 않았으므로, 2차전류는 기본 주파수 성분뿐만 아니라, 고주파 성분의 정보도 그대로 포함하고 있으므로, 포화 개시/종료되는 순간을 정확하게 구별할 수 있음을 그림 6의 결과로부터 알 수 있다.

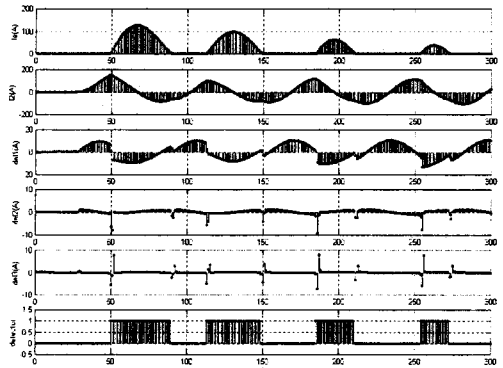


그림 6 저역통과 필터를 통과시키지 않은 경우

그림 7은 차단 주파수가 1920Hz인 저역통과 필터를 사용한 경우의 결과를 나타냈다. 저역통과 필터의 영향으로 2차전류는 차단 주파수 이상의 고주파 성분의 크기가 감소하며, 위상이 지연된다. 그림 6과 마찬가지로 포화 개시/종료 순간에 2차전류는 연속이지만, del1에서는 포화 개시/종료 순간과 그 다음 순간에까지 영향이 나타난다. 따라서, del3의 경우 그림 6에서는 포화 개시/종료 시에만 큰 값이 나타났으나, 그림 7에서는 저역통과 필터의 영향으로, del3의 값의 크기가 줄어들고 그 값도 몇 샘플동안 남아있다. 그림 7의 결과로써, 차단주파수가 샘플링 주파수의 1/2인 경우에, 포화 검출 알고리즘은 저역통과 필터의 영향에도 불구하고 포화 개시/종료 순간을 정확하게 판단하고 있음을 볼 수 있다.

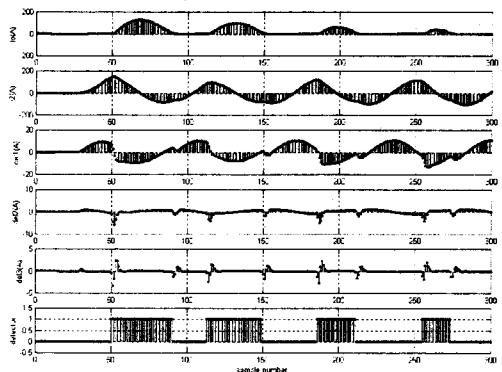


그림 7 차단주파수 1920Hz인 경우

그림 8은 차단 주파수가 960Hz인 경우의 결과를 나타냈다. 이 경우에도, 포화 개시/종료 순간에 2차전류가 연속이지만, 고주파 성분이 많이 제거되었으므로, del1을 보면 불연속인 특성이 앞의 두 경우에 비해 둔하다. 이에 대한 영향은 del2와 del3에 나타난다. 차단 주파수가 960Hz인 저역통과 필터를 사용한 경우, 그림 6, 7

에 비하여 포화 개시/종료 순간을 판단하기 어렵다.

그림 8의 결과로써, 포화 검출 알고리즘은 저역통과 필터의 차단 주파수가 960 [Hz]인 경우에도 포화 개시/종료 순간을 정확하게 판단하고 있음을 볼 수 있다.

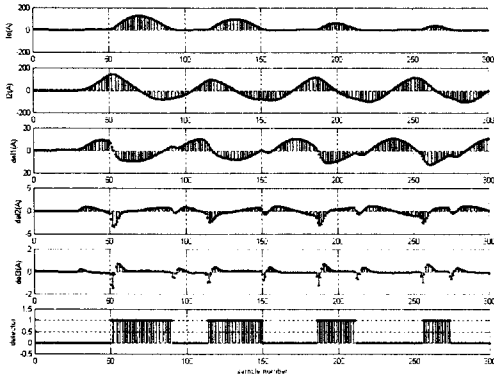


그림 8 차단주파수 960Hz인 경우

### 2.2.2 주기 당 샘플수가 32인 경우

주기 당 샘플수가 32인 경우 증폭방지 필터의 최대 차단 주파수는 960Hz이다. 따라서, 필터를 사용하지 않은 경우, 차단 주파수가 960Hz, 480Hz인 경우에 대하여 나타났다. 이 경우에 포화판단을 위한 del3의 임계값은 1.0으로 하였다.

그림 9는 저역통과 필터를 통과시키지 않은 경우의 결과를 나타냈다.

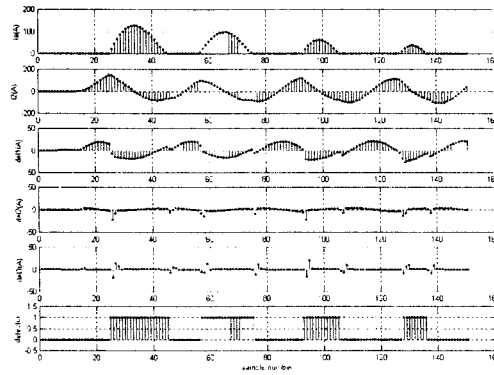


그림 9 저역통과 필터를 통과시키지 않은 경우

주기 당 32샘플인 경우에는 64샘플에 비해 샘플간의 간격이 커져, 2차 전류의 변화량의 차이는 커지고, 따라서 차분 값의 크기도 증가하게 된다. 그림 9에서도 그림 6과 같이 포화 개시/종료 순간에 del1이 불연속적인 값을 알 수 있다. 그림 9의 결과로 32샘플인 경우에도 필터를 사용하지 않은 경우 포화 개시/종료 순간을 정확하게 판단하고 있음을 알 수 있다.

그림 10은 차단 주파수가 960Hz인 저역통과 필터를 사용한 경우의 결과를 나타냈다. 그림 10은 필터의 영향으로 그림 9에 비하여 del1의 불연속적인 특성이 둔해졌다. 그리고 del3은 크기가 감소되고 몇 샘플동안 유지되게 되어 포화 개시/종료 순간의 구별이 어려워졌음을 보여준다. 그림 10의 결과, 32샘플인 경우에도 차단 주파수가 샘플링 주파수의 1/2인 저역통과 필터를 사용한 경우에 알고리즘은 포화 개시/종료 순간을 정확하게 판단하고 있음을 볼 수 있다.

그림 11은 차단 주파수가 480Hz인 저역통과 필터를 통과시킨 경우의 결과를 나타냈다. 그림 11의 결과, 필

터의 차단주파수가 480Hz인 경우에 del1의 불연속적인 특성이 그림 9, 10에 비하여 더 둔해졌음에도 불구하고 포화 검출 알고리즘은 포화 개시/종료 순간을 정확하게 판단하고 있음을 볼 수 있다.

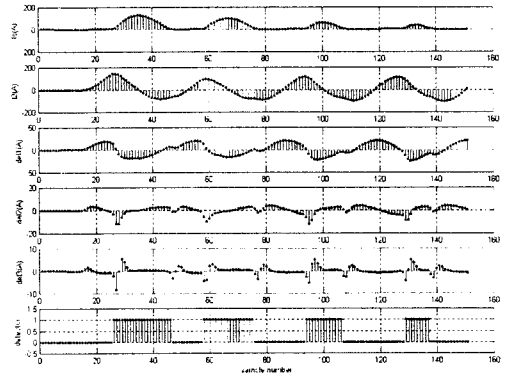


그림 10 차단주파수 960Hz인 경우

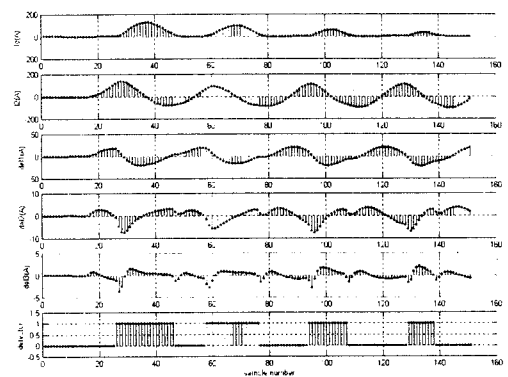


그림 11 차단주파수 480Hz인 경우

## 3. 결 론

본 논문에서는 저역통과 필터가 변류기 포화 검출 알고리즘의 포화 판단에 미치는 영향을 분석하였다. 사례 연구를 통해 주기 당 샘플수가 64, 32인 경우, 여러 차단 주파수의 저역통과 필터에 대한 결과를 보였다.

첫째, 샘플수가 줄어들어 따라, 2차 전류 변화의 정보가 줄어들어 포화 개시/종료 시점 판단이 어려워지지만, 본 알고리즘의 경우, 64샘플과 32샘플의 경우에서도 샘플수의 영향을 받지 않고 포화 개시/종료 시점을 잘 판단함을 확인하였다.

둘째, 차단 주파수가 낮은 저역통과 필터를 사용함에 따라, 2차 전류의 고주파 성분을 많이 잃게 되어, 변류기 포화 개시/종료 판단이 점차 어려워지지만, 본 알고리즘은 주기 당 64샘플인 경우에는 960Hz, 주기 당 32샘플인 경우에는 480Hz에서도 포화 개시/종료 순간을 잘 판단함을 확인하였다.

### (참 고 문 헌)

- [1] Y. C. Kang, J. K. Park, S. H. Kang, A.T. Johns, R.K. Aggarwal, "An Algorithm for Compensating Secondary Currents of Current Transformers", IEEE Trans. on PWRD, Vol. 12, No. 1, January 1997, pp.116-124
- [2] 강용철, 옥승훈, 강상희, "변류기 2차 전류의 포화 여부 판단 알고리즘", 2000년도 대한전기학회 추계부분학술대회 논문집 A권, pp.64~66, 2000년 11월