

개선된 변류기 2차 전류 보상 알고리즘

강용철, 임의재, 윤재성
전북대학교 전자정보공학부, 차세대전력기술연구센터

An Advanced Compensating Algorithm of the Secondary Current of CTs

Yong-Cheoi Kang, Ui-Jai Lim, Jae-Sung Yun
Chonbuk National University, NPT Center

Abstract - This paper proposes an advanced compensating algorithm of the secondary current of CTs. The existing compensating algorithm for the current transformers calculates magnetic flux using the magnetization curve. In such a case, it is difficult to compensate for distorted secondary current when a remanent flux exists in a core at the beginning of the calculation. To make up for the drawback in the existing compensating algorithm, the algorithm detects the instant of saturation using difference of the secondary current and estimates flux at the instant of the beginning of the first saturation. After that, the algorithm calculates flux and compensates for distorted secondary current.

1. 서 론

대전류로 인하여 변류기의 철심이 포화되면 2차 권선에 흐르는 전류가 왜곡되어 1차에 흐르는 전류와 다른 형태를 가지게 된다. 이러한 변류기 포화를 방지하기 위하여 정격전류보다 20배 큰 전류에서도 정상상태 오차가 10%미만이 되도록 변류기를 설계한다. 그런데 변류기의 철심을 무한정 크게 할 수 없기 때문에 큰 전류가 흐르는 사고의 경우 철심의 포화가 발생하게 된다.

변류기 포화에 대한 대책으로 참고문헌[1]에서 변류기 2차 전류 보상 알고리즘을 제안하였다. 참고문헌의 알고리즘은 변류기 2차 전류로부터 철심의 자속을 계산하고, 계산된 자속을 가지고 자화곡선에서 자화전류를 추정하여 왜곡된 전류를 보상하는 알고리즘이다.

그런데, 기존의 보상 알고리즘은 초기 자속값을 계산하기 위하여 한 주기 동안의 전류값에서 자속을 계산하여 이의 평균을 가지고 초기 자속값으로 사용하였다. 하지만 이러한 방식을 사용할 경우, 초기 철심에 잔류자속이 존재하는 경우, 제대로 초기 자속값을 계산할 수 없는 문제점을 가지고 있었다.

본 논문에서는 참고문헌[1]의 문제점을 보완하여 잔류자속이 존재하는 경우에도 변류비에 맞는 2차 전류를 정확하게 추정할 수 있는 개선된 변류기 2차 전류 보상 알고리즘을 제안한다.

2. 본 론

2.1 기존의 보상 알고리즘 (1)

참고문헌[1]의 변류기 2차 전류 보상 알고리즘은 변류기 포화에 의하여 왜곡된 2차 전류를 보상하기 위해 다음 식(1)을 사용한다.

$$\frac{d\lambda(t)}{dt} = (R_s + R_b)i_s(t) + (L_s + L_b)\frac{di_s(t)}{dt} \quad (1)$$

식 (1)은 이전에 입력된 전류값과 현재 입력된 전류값 그리고, 변류기의 파라미터를 이용하여 자속의 증분

을 계산하는 수식이다. 변류기의 여러 가지 파라미터는 일정하기 때문에 전류값만 가지고 자속의 증분을 계산할 수 있다. 이렇게 계산된 자속의 증분을 이전 자속값에 더하여 현재의 자속값을 계산할 수 있다. 현재의 자속값과 변류기의 자화곡선을 이용하여 자속에 해당되는 여자전류의 값을 추정한다. 이렇게 추정된 여자전류의 값을 입력된 2차 전류에 더하여 변류비에 맞는 2차 전류를 추정하게 된다. 이때, 현재 자속값을 계산하기 위해서는 이전의 자속값이 필요하게 된다. 참고문헌에서는 초기에 입력된 전류의 한 주기를 이용하여 초기 자속을 계산하였다. 그래서, 초기자속이 계산된 한 주기 이후부터 보상할 수 있게 된다.

그런데 초기에 잔류자속이 존재하는 경우는 초기 한 주기의 전류를 가지고 계산한 초기 자속이 정확하게 계산되지 않는다. 그래서, 입력된 전류에서 식 (1)을 이용하여 자속의 증분은 정확하게 계산되더라도 이전 자속값이 정확하지 않기 때문에 현재의 자속값을 정확하게 추정할 수 없다. 때문에 정확하게 보상하기가 어렵다.

2.2 개선된 변류기 보상 알고리즘

2.2.1 변류기 2차 전류의 차분을 이용한 포화검출 알고리즘 [2]

참고문헌 [2]에서 2차 전류의 차분을 이용하여 변류기의 포화여부를 판단하는 알고리즘이 제안되었다. 변류기가 포화개시 또는 포화종료 되면, 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 및 종료 순간에는 2차 전류는 연속이긴 하지만, 2차 전류의 1차 차분이 불연속이 되고, 2차 차분(3차 차분)이 큰 값을 갖는다. 따라서, 변류기가 포화 개시/종료 순간에 2차 전류의 3차 차분의 크기가 임계값보다 크면, 포화 개시/종료 순간으로 판단한다.

2.2.2 개선된 변류기 보상 알고리즘

개선된 변류기 보상 알고리즘은 참고문헌[2]의 차분을 이용한 포화검출 방법을 사용한다. 변류기 2차 전류의 차분을 이용하여 정확한 포화순간을 찾아내어 그 순간의 자속값을 계산한 후, 포화자속 값으로 대입하여 이 후로부터 자속을 계산하고 왜곡된 전류를 보상하는 방법이다.

개선된 알고리즘의 경우 입력된 전류의 3차 차분을 이용하여 변류기의 포화 여부를 판단한다. 만약, 입력 전류의 3차 차분의 값이 임계값 보다 큰 값을 가지게 될 경우 포화라고 판정하고 포화순간의 자속값을 대입하여 자화전류를 계산하게 된다. 포화순간의 대입하게 되는 자속은 아래 식 (2)를 이용하여 구한다.

$$\lambda[n] = \lambda_{sat} + \alpha \cdot del2[n] \quad (2)$$

식(2)에서 포화순간에 대입하게 되는 자속은 자화곡선의 포화점 자속(λ_{sat})과 포화순간 검출된 2차 차분

($del2[n]$)에 가중치 α 를 곱하여 연산한 값으로 구하게 된다.

일단, 포화가 검출되면 그 순간의 자속값이 결정되므로, 이후에는 식(1)을 사용하여 결정된 자속값에 새롭게 계산된 자속의 증분을 더하여 매 순간의 자속을 계산하고 자화전류를 구하여 포화에 의해 왜곡된 전류를 보상하게 된다. 이렇게 하여 초기에 한 주기의 전류로 자속을 계산할 때 발생하는 문제점 특히, 잔류자속이 존재하는 경우에 발생하는 문제점을 해결할 수 있다. 개선된 알고리즘의 신뢰성을 확인하기 위해 참고문헌[3]의 과도오차를 계산하는 식(3)을 사용하였다.

$$\text{transient error}[\%] = \frac{(K_n \cdot i_s - i_d)}{\sqrt{2} \cdot I_{psc}} \times 100 \quad (3)$$

본 논문에서 제시한 개선된 변류기 2차 전류 보상 알고리즘의 흐름도를 그림 1에 나타내었다.

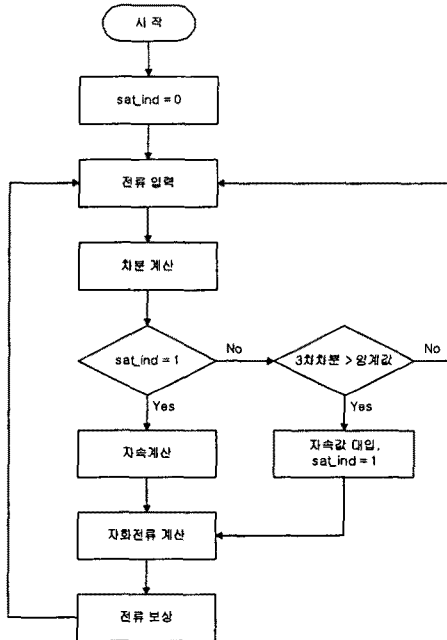


그림 1 개선된 보상 알고리즘의 흐름도

2.3 사례연구

개선된 보상 알고리즘의 성능을 확인하기 위하여 그림 2와 같은 모델 계통을 EMTP를 이용하여 모델링 하였다.

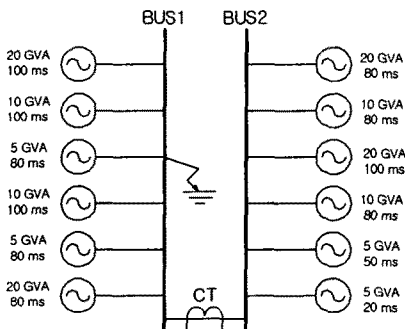


그림 2 모델 계통

그림 2는 길이 50[km]의 12개의 송전선로로 각각의 발전기와 연결된 이중모선 구조의 계통이다. 전압은 154[kV]이고, 변류비가 800:5 변류기를 선택하였다. 변류기의 포화점은 2.971[V/s], 5.118[A]이며, 히스테리시스 특성과 잔류자속까지 모델링하기 위하여 type 96소자를 사용하였다.

사례는 모선 1에서 지락사고를 발생시킨 경우에, CT의 잔류자속을 +80%에서 -80%까지 10% 간격으로 변화시켰다. 다음 사례에는 0%(잔류자속이 없는 경우), 30%, 50%, -30%, -80%의 예를 보였다.

2.3.1 잔류자속이 없는 경우

그림 3은 잔류자속이 없는 경우의 결과이다. 그림 3(a)에서는 변류기 1차 전류를 변류비로 나눈 결과를 보였으며 철심의 잔류자속과 1차 전류는 관계가 없기 때문에 모든 사례에서 일정하다. 그림 (b)에서는 입력된 변류기 2차 전류와 보상 후 전류를 보였고, 그림 (c)는 식(3)을 이용하여 계산된 과도오차이다.

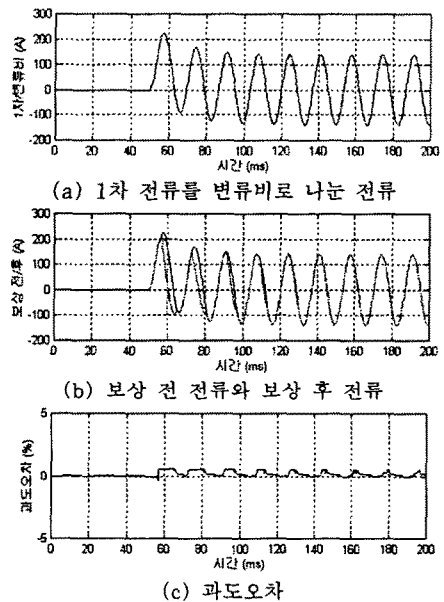


그림 3 잔류자속이 0%인 경우

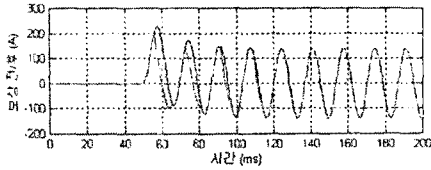
그림 3 (a)의 변류비에 맞는 1차 전류와 그림 (b)의 보상 전/후 전류에서 변류기가 포화되어 전류가 왜곡된 것과 보상을 통하여 1차 전류와 비슷한 형태로 복원되었음을 알 수 있다. 그림 (c)에서 보상 후 전류와 1차 전류를 이용하여 과도오차를 구한 결과 그 값이 0.5% 미만으로 보상값의 신뢰성을 확인할 수 있다.

2.3.2 30%의 잔류자속이 존재하는 경우

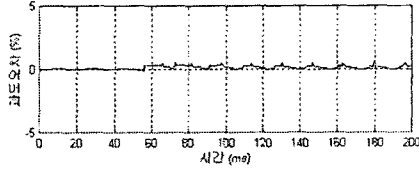
동일한 크기의 1차 전류가 흐르더라도 변류기 철심에 존재하는 잔류자속에 따라서 포화의 정도가 달라지고 2차 전류의 모양이 달라지게 된다.

그림 4는 철심에 포화점의 30%에 해당하는 잔류자속이 존재하는 경우에 대한 결과이다. 1차 전류는 잔류자속이 존재하지 않는 경우와 같기 때문에 1차 전류를 변류비로 나눈 그림은 그림 3 (a)와 같다.

그림 4 (a)와 그림 3 (b)에서 잔류자속이 존재하여 변류기가 더 빨리 포화되는 것을 알 수 있다. 그렇지만, 그림 4 (b)에서 30%의 잔류자속이 존재하더라도 잔류자속이 존재하지 않는 경우와 비교하여 과도오차가 크게 증가하지 않음을 알 수 있다.



(a) 보상 전 전류와 보상 후 전류

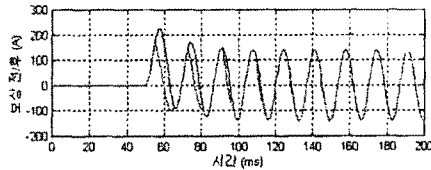


(b) 과도오차

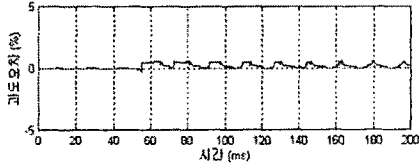
그림 4 잔류자속이 30%인 경우

2.3.3 50%의 잔류자속이 존재하는 경우

그림 5는 잔류자속이 포화점의 50%인 경우의 결과이다.



(a) 보상 전 전류와 보상 후 전류



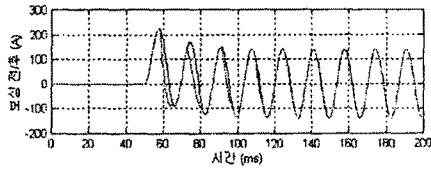
(b) 과도오차

그림 5 잔류자속이 50%인 경우

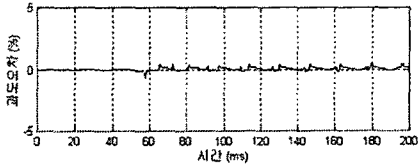
그림 5 (a)에서는 잔류자속이 30%인 경우보다 더 빨리 포화되었음을 알 수 있다. 그렇지만, 앞의 사례와 같이 그림 5 (b)의 과도오차는 증가하지 않음을 알 수 있다.

2.3.4 -30%의 잔류자속이 존재하는 경우

그림 6은 잔류자속이 포화점의 -30%인 경우의 결과이다.



(a) 보상 전 전류와 보상 후 전류



(b) 과도오차

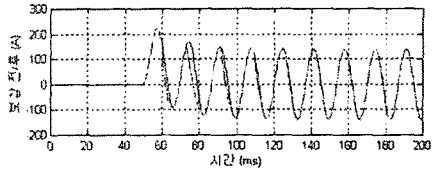
그림 6 잔류자속이 -30%인 경우

그림 6 (a)에서 잔류자속이 음의 값으로 존재하기 때문에 양의 잔류자속이 존재하는 사례에 비하여 더 늦게 포화되는 것을 알 수 있다.

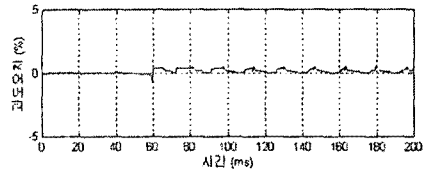
그림 6 (b)에서 -30%의 잔류자속이 존재하는 경우에 는 변류비에 맞는 2차 전류로 보상함을 알 수 있다.

2.3.5 -80%의 잔류자속이 존재하는 경우

그림 7은 잔류자속이 포화점의 -80%인 경우의 결과이다.



(a) 보상 전 전류와 보상 후 전류



(b) 과도오차

그림 7 잔류자속이 -80%인 경우

음의 잔류자속이 존재하기 때문에 그림 7 (a)에서 앞의 사례들에 비해 변류기가 더 늦게 포화되는 것을 알 수 있다.

그림 7 (b)에서 -80%의 잔류자속이 존재하여도 개선된 보상 알고리즘으로 보상한 결과 0.5% 미만의 과도오차가 발생함을 알 수 있다.

3. 결 론

본 논문에서는 변류기 2차 전류 보상 알고리즘에 차분을 이용한 변류기 2차 전류의 포화 여부 판단 알고리즘을 적용하여 기존 보상 방식보다 신뢰성 있는 알고리즘을 제시하였다. 제시한 알고리즘은 변류기 포화 시 발생하는 차분 전류의 불연속현상으로 포화시점을 판단하고 포화 발생 시 초기 자속값과 변류기 2차 차분에 의해 얻어진 값을 적절히 조화시켜 구한 포화순간 자속값을 대입하여 변류기 포화 시 왜곡된 전류를 보상함으로써, 포화가 발생하여도 왜곡되지 않는 전류를 계전기에 제공할 수 있게 한다. 또 이러한 차분 알고리즘과의 결합은 잔류자속이 있을 때 문제가 되었던 기존의 알고리즘에 신뢰성을 더하였다. 사례연구에 있어서는 잔류자속이 없을 때, 30%, 50%, -30% -80% 각각의 경우에 대해 알고리즘을 테스트해본 결과 0.5% 미만의 과도오차 및 그 신뢰도를 확인할 수 있었다.

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

[참 고 문 헌]

- [1] 강용철, 김성수, 박종근, 강상희, 김광호, "철심변류기 2차 전류 보상 알고리즘의 실시간 구현 및 오차 분석", 대한전기학회 논문지, 제45권 제 4호, 1996년 4월
- [2] Y. C. Kang, S. H. Ok, S. H. Kang, "A Novel CT Saturation Detecting Algorithm Unaffected by a Remanent Flux," IEEE PES 2001 SM, July 15 ~ 19, 2001, Vancouver, BC, Canada
- [3] IEC 185, "Current Transformer", 1987년
- [4] 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