2006년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집 2006. 7. 12 - 14

히스테리시스 특성을 고려한 전압 변성기 오차 개선 방법

강용철*, 이병은*, 박종민*, 차선희*, 장성일**, 김용균**
*전북대학교, **(주)한국 아이이디 이엔지

Method for improving the accuracy of a voltage transformer considering hysteresis characteristics

Yong-Cheol Kang*, Byung-Eun Lee*, Jong-Min Park*, Sun-Hee Cha*, Sung-Il Jang**, Yong-Guen Kim**
*Chonbuk National University, **HANKOOK IED ENG

Abstract - Voltage Transformer is used to transform high voltage into low voltage to input signal of protection relay. Most of the Voltage Transformers use the iron core which maximizes the flux linkage. The ratio of the Voltage Transformer depends on the transformer turns ratio. The current which flows in the Voltage Transformer has non-linear characteristic caused by hysteresis of the iron core, it causes a voltage loss in the winding impedances which makes measurement errors. This paper describes an error compensation method considering hysteresis characteristic. The proposed compensation method improves error by calculating the primary current from the exciting current of the hysteresis loop in the Voltage Transformer, compensating the voltage loss.

1. 서 론

전력 계통에서 계전기의 입력과 측정을 목적으로 계통의 높은 전압을 낮은 전압신호로 변환하기 위해 전압 변성기를 사용한다. 전압변성기의 출력 전압은 계전기와 측정용 장비의 입력신호가 되므로, 고정밀도 전압변성기는 전력시스템의 보호 측면에서 중요한 역할을 담당한다.

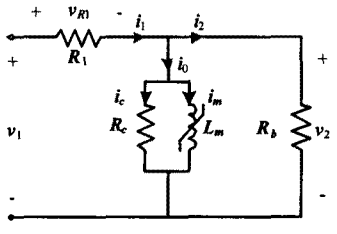
대부분의 전압 변성기는 상호 쇄교 자속을 높이기 위해 코어로 철심을 사용하며, 철심 코어는 히스테리시스 특성이 있다. 전압 변성기에 흐르는 전류는 철심 코어의 히스테리시스 특성으로 인하여 비선형 특성을 가지며, 1차, 2차측 권선저항에서 전압강하를 일으키므로 전압 변성기 2차측 전압은 1차측 전압의 권선비와 다른 값이 측정되며, 이것이 전압 변성기의 오차이다.[1] 이러한 전압 변성기의 오차를 감소시키기 위해 철심의 자화 인덕턴스가 큰 값을 갖도록 철심의 단면적을 크게 하거나, 투자율이 큰 재질을 사용한다. 하지만 이 방식은 전압 변성기의 크기와 제작 비용을 증가 시킨다.

본 논문에서는 히스테리시스 특성을 고려한 전압 변성기의 오차 개선 방법을 제안한다. 제안한 방식은 히스테리시스 곡선을 이용하여 여자 전류를 구하고, 이 여자전류로 전압 변성기 1차 측에 흐르는 전류를 계산한다. 계산한 1차 전류로 권선저항의 전압 강하를 구한 후 이를 보상하여, 오차를 개선한다. 제안한 알고리즘은 EMTP에서 생성한 데이터를 사용하여 검증하였다.

2. 본 론

2.1 전압 변성기의 등가회로

그림 1은 1차측으로 환산한 전압 변성기의 등가 회로이며, 2차측 권선저항과 1차, 2차측 누설인덕턴스는 무시하였다.



- v_1: 1차 전압
- v_2: 1차 측으로 환산한 2차 전압
- v_{R1}: R_1에 걸리는 전압
- R_1: 1차 권선저항
- R_c: 철손 저항
- R_b: 부담
- i_1: 1차 전류
- i_2: 1차 측으로 환산한 2차 전류
- i_0: 여자 전류
- i_c: 철손 전류
- i_m: 자화 전류
- L_m: 자화 인덕턴스

〈그림 1〉 전압 변성기 등가회로

그림 1의 전압 변성기 등가회로를 이용하여 식 (1)~(4)을 얻을 수 있다.

$$v_1 = v_2 + v_{R1} \quad (1)$$

$$v_{R1} = R_1 \cdot i_1 \quad (2)$$

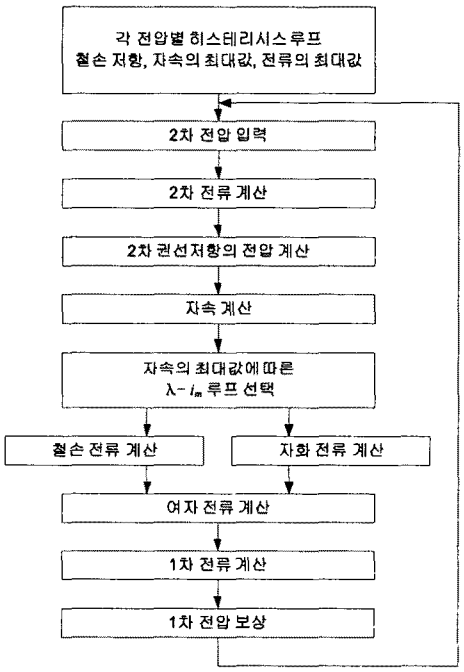
$$i_0 = i_c + i_m \quad (3)$$

$$i_1 = i_2 + i_0 \quad (4)$$

2.2 전압 변성기의 오차 보상 알고리즘

전압 변성기의 출력전압을 입력신호로 사용하는 계전기 및 측정 장비는 입력 신호에 변성기의 권선비를 곱하여 v_1을 계산한다. 그러나 실제 전압 변성기는 식 (1)과 같이 R_1에 흐르는 i_1의 영향으로 v_{R1} 만큼의 전압 강하가 발생한다. 그러므로 전압 변성기의 오차 보상 방법은 전압 변성기에 흐르는 i_1을 추정한 후 식 (2)를 이용하여 v_{R1} 값을 계산하고 그 값을 v_2에 합하여 v_1을 추정한다. i_1을 추정하는 방법은 변류기의 일차 전류를 추정한 참고문헌 [2]의 방법을 적용하였다.

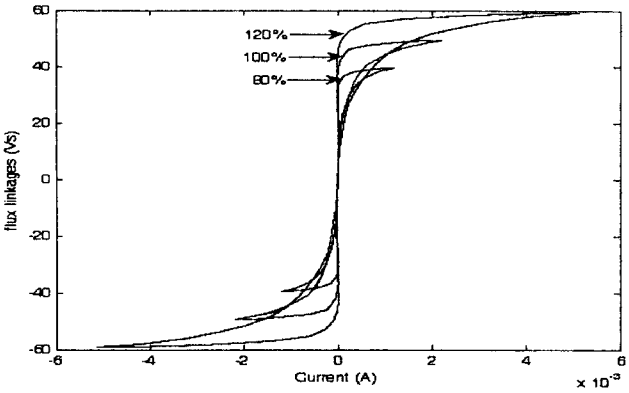
본 논문의 전압 변성기 오차 보상 알고리즘은 다음과 같다. 먼저 전압 변성기 출력 단에서 측정한 v_2로부터 자속과 i_2를 계산한다. 계산한 자속을 자속의 최대값에 따른 자화 곡선(λ-i_m)에 넣어 i_m을 구하고 이 i_m과 i_c를 합하여 식 (3)에서와 같이 i_0를 구한다. i_c는 R_c와 v_2로부터 알 수 있다. i_1은 식 (4)과 같이 i_2와 i_0의 합으로 나타낼 수 있다. 이와 같이 추정한 i_1을 이용하여 1차 권선저항에 전압 강하 값을 계산하고 이를 v_2와 합하면 히스테리시스 특성을 고려한 전압 변성기의 v_1을 추정할 수 있다. 그림 2는 제안한 알고리즘의 흐름도이다.



〈그림 2〉 히스테리시스 특성을 고려한 전압 변성기 오차 개선 방법 흐름도

3. 사례 연구

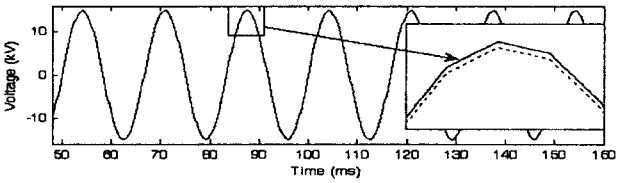
제안한 방식의 성능을 검증하기 위하여 EMTP를 사용하여 전압 변성기를 모델링 하였으며, 모델링 시 히스테리시스 특성을 고려하기 위하여 비선형 소자인 96소자를 포함하였다. 96소자의 포화점은 64.415[Vs], 0.015[A]로 정격전압의 130%로 설계하였다. 전압 변성기의 권선비는 22.9kV/110V이며, λ-i_m곡선은 1차 측에 정격 전압의 80%, 100%, 120%를 인가하여 값을 취득하였다. 이는 KS C IEC 60044-7: 2003 계기용 전압 변성기 오차 규정에 따르기 위함이다[3]. 전압 변성기의 일차 권선 저항은 1200Ω을 사용하였으며[4] 부담은 60.5Ω을 사용하였다. 주기 당 64샘플 데이터를 사용하고, 저역통과 필터로 1920Hz의 컷옵 주파수를 갖는 중첩방지용 1차 RC 필터를 사용하였다. 그림 3은 정격 전압의 80%, 100%, 120% 전압을 1차 측에 인가했을 때 취득한 λ-i_m곡선이다.



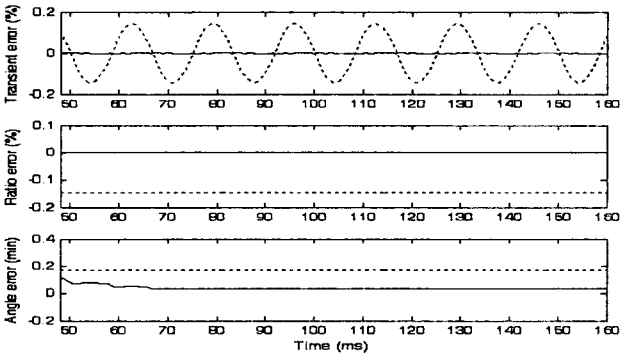
<그림 3> 정격 전압의 80% 100% 120% 전압을 1차측에 인가했을 때 λ-i_m 곡선

3.1 정격 전압의 80%일 때 보상한 경우

그림 4는 정격의 80% 일 때 λ-i_m곡선을 대입하여 보상한 결과이다. 그림 4a는 1차 전압을 실선으로 2차 전압을 점선으로 보상 전압을 쇄선으로 표기하였다. 1차 전압 14.93kV, 2차 전압 14.91kV, 보상한 전압 14.93kV임을 확인 할 수 있다. 값에서와 같이 각각의 구분이 명확하지 않아 일부 구간을 확대하였다. 그림 4b는 과도 오차 , 비오차, 그리고 위상 오차를 보여준다. 보상하지 않은 경우의 오차를 점선으로 보상한 경우의 오차를 실선으로 보여준다. 보상하기 전 과도 오차가 0.14%, 보상한 후 0.004%인 것을 확인 하였다. 보상하지 않은 경우의 비오차는 -0.15%에서 0.0004%로 줄었고, 위상 오차의 경우 0.17분에서 0.03분으로 줄었다.



(a) 1차 전압, 2차 전압, 보상한 전압

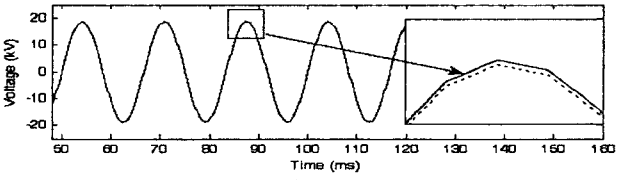


(b) 과도오차, 비오차, 위상오차

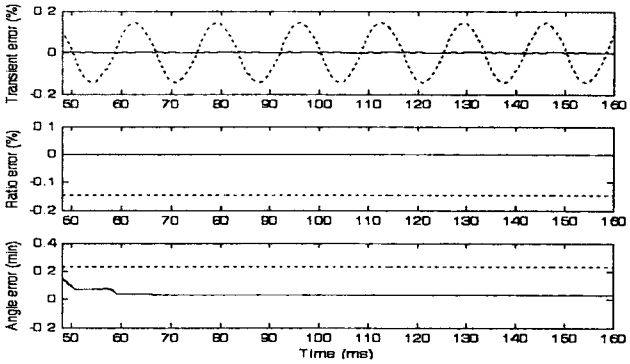
<그림4> 정격 전압의 80%에서의 보상

3.2 정격 전압의 100%일 때 보상한 경우

그림 5는 정격의 100% 일 때의 λ-i_m곡선을 이용하여 보상한 결과이다. 그림 5a에서 1차 전압 18.66kV, 2차 전압 18.64kV, 보상한 전압 18.66kV임을 확인 하였다. 그림 5b에서 보상하기 전 과도 오차가 0.14%, 보상한 후 0.004%인 것을 확인 하였다. 보상하지 않은 경우의 비오차는 -0.14%에서 0.001%로 줄었고, 위상 오차의 경우 0.23분에서 0.03분으로 줄었다.



(a) 1차 전압, 2차 전압, 보상한 전압

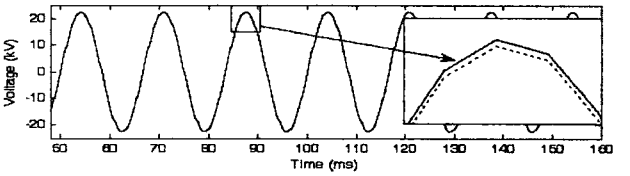


(b) 과도오차, 비오차, 위상오차

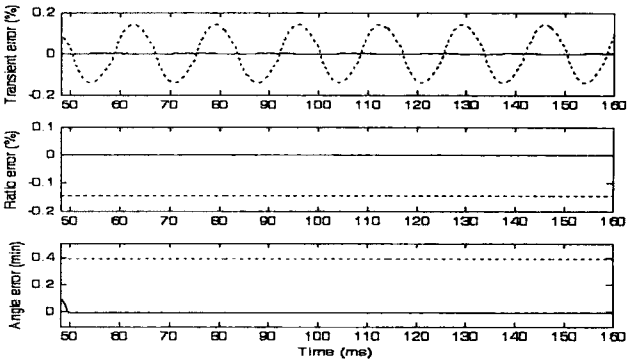
<그림5> 정격 전압의 100%에서의 보상

3.3 정격 전압의 120%일 때 보상한 경우

그림 6은 정격의 120% 일 때의 λ-i_m곡선을 이용하여 보상한 결과이다. 그림 6a에서 1차 전압 22.4kV, 2차 전압 22.37kV, 보상한 전압 22.4kV임을 확인 하였다. 그림 6b에서 보상하기 전 과도 오차가 0.14%, 보상한 후 0.001%인 것을 확인 하였다. 보상하지 않은 경우의 비오차는 -0.14%에서 0.001%로 줄었고, 위상 오차의 경우 0.39분에서 0.025분으로 줄었다.



(a) 1차 전압, 2차 전압, 보상한 전압



(b) 과도오차, 비오차, 위상오차

<그림6> 정격 전압의 120%에서의 보상

4. 결 론

본 논문에서는 히스테리시스 특성을 고려한 전압 변성기의 오차 보상방법을 제안하였다. 제안된 오차 보상방법은 히스테리시스 특성을 고려하여 전압 변성기의 여자전류를 구한 다음 여자 전류와 2차 전류를 합하여 1차 전류를 계산하고, 이 값을 이용하여 1차 권선저항의 전압을 계산하여 이 값을 2차 전압에 합하여 보상하는 방법이다. 측정용 전압 변성기는 정격 전압의 80~120% 범위 내에서 오차 범위를 만족해야하는 계기용 변성기규정에 따라 정격 전압의 80%, 100%, 120%를 모의한 결과 3가지 사례모두 오차가 개선됨을 확인 할 수 있다.

제안한 방식을 이용하면 전압 변성기의 철심 크기의 증가 없이 오차를 개선할 수 있으며, 기존 철심 코어를 이용하여 정밀급 전압 변성기를 제작할 수 있는 장점이 있다. 또한 보호 계전기에 정확한 입력신호를 제공하여 보호계전기의 성능을 향상시킬 수 있다.

감사의 글

본 연구는 과학기술부/한국과학재단 우수연구센터육성사업의 지원으로 수행되었음(차세대전력기술연구센터)

[참 고 문 헌]

[1] D. Slomovitz, "Electronic compensation of voltage transformer" IEEE Trans. Instrum. Meas., vol. 37, Issue 4, Dec. 1988 pp. 652 - 654

[2] Y. C. Kang, U. J. Lim, and S. H. Kang, "Compensating algorithm suitable for use with measurement type current transformers for protection," IEE proceedings Generation, Transmission and Distribution, Vol. 152, Issue 6, 4 Nov. 2005, pp. 880 - 890

[3] KS C IEC 60044-7: 2003

[4] A.F. Brandao Jr, A.C. de Silos, D. Ivanoff, I.P. da Silva, "A method for field verification of the precision class of inductive voltage transformers" High Voltage Engineering, 1999. Eleventh International Symposium on (Conf. Publ. No. 467) vol. 1, 23-27 Aug. 1999, pp. 209 - 212