

철심 코어형 전자식 전압 변성기 개발

강용철*, 박종민*, 장성일*, 김연희*, 최정환**, 김용균**, 송인준***, 안용호***
전북대학교*, 한국IED**, 한국 전력 연구원***

Development of the iron-cored electronic voltage transformer

Yong-cheol Kang*, Jong-Min Park*, Sung-il Jang*, Yeon-hee Kim*, Jung-hwan Choi**, Yong-kyun Kim**,
In-jun Song***, Yong-ho An***
Chonbuk National University*, Hankook IED ENG. Inc.**, KEPRI***

Abstract - An iron-cored voltage transformer(VT) is usually used to obtain the standard low voltage signal for protection and measurement. Generally, the iron-cored transformers have errors due to the hysteresis characteristics of the iron-core. An error compensating algorithm for iron-cored instrument transformer can improve the accuracy of conventional voltage transformers. This paper describes the iron-cored electronic voltage transformer having the error compensating algorithm. The innovative product composes an iron-cored VT and an intelligent electronic device(IED) having the error compensating algorithm. The test results of the iron-cored electronic voltage transformers in Korea Electro-technology Research Institute(KERI) are presented.

식 (1)에서 v_1 은 측정하고자 하는 지점의 전압이며, v_2 는 전압 변성기 출력 전압이다. v_1 과 v_2 사이에는 $v_p + av_s$ 만큼의 차이가 발생하고, 이 항이 전압 변성기의 오차로 작용한다. 그러므로 $v_p + av_s$ 을 추정할 수 있다면, 이 값을 av_2 에 더하여 참값인 v_1 을 구할 수 있다[4,5]. 추정 방법은 측정된 2차 전압과 2차 권선 파라미터를 이용하여 2차 권선 임피던스에 유기되는 전압을 구한다. 또한, 히스테리시스 특성을 고려한 여자 전류를 구해 1차 전류를 구한 후 1차 권선 파라미터를 이용해 1차 권선에 유기되는 전압을 계산한다. 보상 알고리즘은 시간 영역에서 적용되며, 샘플 처리로 실시간 보상이 가능하다. 또한 측정용과 보호용 모두 적용 가능하다.

1. 서 론

최근 전력 수요의 증가로 인해 전력 계통의 규모는 거대화 및 복잡해지고 있다. 이처럼 거대하고 복잡한 전력계통을 안정적이고 경제적으로 운영하기 위해서는 전력계통에 흐르는 전압, 전류를 정확하게 측정해야 한다. 일반적으로 전력계통의 전압과 전류를 측정하는 센서는 철심 코어 제작된 전압 변성기(Voltage Transformer, VT 또는 Potential Transformer, PT)와 변류기(Current Transformer, CT)이다[2]. 여기서 전압 변성기는 계량 장치 및 보호 장치의 입력으로 사용되기 때문에, 정상 상태 및 사고 상태 시 전압을 정확히 측정해야 한다. 하지만 철심 코어의 히스테리시스 특성으로 인하여 오차가 발생한다. 이러한 오차를 줄이기 위하여 투자율이 좋은 코어를 사용하거나 코어의 단면적을 증가시키는 방법이 사용되나 이로 인하여 제작 단가와 크기가 증가된다.

철심 변압기의 한계를 극복하기 위한 방법은 크게 두 가지이다. 첫 번째 방법은 변압기에서 철심을 제거하고 전압을 측정하는 방법이다. 그 예로 최근에는 광 변성기에 대한 연구가 진행되고 있다. 광 변성기는 크기가 작고, 절연특성이 좋으며 노이즈에 강한 특성을 갖는다. 그러나 제작 단가가 고가이며 진동과 온도에 약하기 때문에 이를 보정해주는 추가적인 장치가 필요하다. 두 번째 방법은 철심 코어에서 발생하는 오차를 보정해 주는 알고리즘을 탑재한 전자식 변성기이다[1]. 오차 보정 알고리즘은 전압 변성기의 히스테리시스 특성 때문에 발생하는 오차를 보정하여 정밀한 전압 계측이 가능하도록 한다. 오차 보정 기법을 포함한 전자식 변성기는 광 변성기와 달리 저가이면서도 높은 정밀도를 만족할 수 있다.

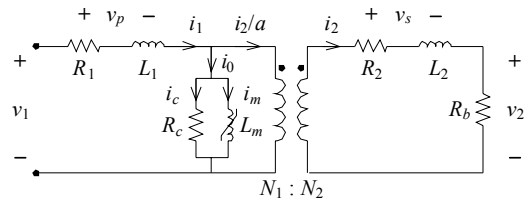
본 논문에서는 오차 보정 기법이 탑재된 철심 코어형 전자식 전압 변성기 개발에 대해 기술하였다. 자사에서 개발한 철심 코어형 전자식 전압 변성기는 철심 코어의 히스테리시스 특성을 고려한 변성기 2차 전압 보정 알고리즘을 탑재해 오차를 현격히 줄인 고정밀 전자식 전압 변성기이다. 개발된 제품은 철심 코어를 사용하기 때문에 저가로 제작 가능하며, 보상알고리즘을 적용하기 때문에 철심 코어의 크기를 줄여 소형화가 가능한 특징을 갖는다. 또한 개발된 제품의 성능을 검증하기 위해 국제 규격인 IEC 60044-7[3]에 준하여 한국 전기 연구원(KERI)에서 성능 인증 시험을 하였다. 인증 시험 결과 측정용은 규격 IEC 60044-7에서 0.2급에 만족하였으며, 보호용은 5P를 만족하여 우수함을 입증하였다.

2. 본 론

2.1 전압 변성기의 보상 알고리즘

그림 1은 전압 변성기 등가 회로를 나타낸다. 그림 1로부터 1차 전압 v_1 과 출력 전압 v_2 사이의 관계를 식 (1)과 같이 얻을 수 있다.

$$v_1(t) = v_p(t) + a[v_s(t) + v_2(t)] \quad (1)$$



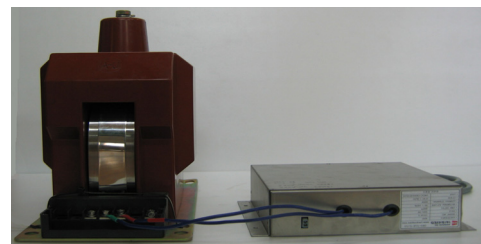
v_1, v_2 : 1차, 2차 전압
 v_p, v_s : 1차, 2차 권선 전압
 i_1, i_2 : 1차, 2차 전류
 i_0, i_c, i_m : 여자, 철손, 자화 전류
 R_1, L_1 : 1차 권선 파라미터
 R_2, L_2 : 2차 권선 파라미터
 R_c, L_m, R_b : 철손저항, 자화 인덕턴스, 부담
 $N_1, N_2, a = N_1/N_2$: 1차, 2차 권선수 및 권선비
<그림 1> 2차 측으로 환산한 철심 변류기의 등가회로

2.2 보상 알고리즘을 탑재한 전자식 변성기 개발

그림 2는 철심 코어형 전자식 전압 변성기의 구성도를 나타낸다. 기존 철심 코어 전압 변성기에 오차 보정 알고리즘을 탑재한 보드를 결합하여 전자식 전압 변성기를 개발하였다. 그림 3은 (주)한국아이이디엔지에서 개발한 철심 코어형 전자식 전압 변성기 사진이다. 철심 코어형 전자식 전압 변성기의 1차 정격 전압은 13200V이며, 2차 정격 출력은 4V의 아날로그 신호이다.



<그림 2> 철심 코어형 전자식 전압 변성기 구성도

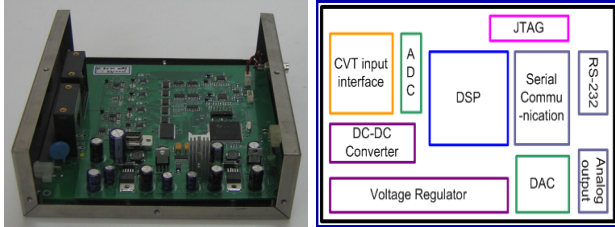


<그림 3> 철심 코어형 전자식 전압 변성기

2.3 하드웨어 사양

개발된 보상용 IED는 150MHz의 처리속도를 가진 TMS320F2812 DSP 칩을 사용하였다. 신호 처리는 입출력 모두 아날로그로 처리하였고, AD와 DA 컨버터는 16bit 정밀도를 갖고 샘플링 수는 3,840 S/sec 이다. 제어 전원은 DC 24V, 소비 전원은 약 5W, 500µs의 정격 지연 시간을 갖는다. 출력 신호는 Twin BNC 케이블을 사용하여 전송한다.

보상 알고리즘을 탑재하여 신호 처리를 담당하는 IED 보드의 크기는 그림 4에 나타내었다.



<그림 4> IED 보드의 크기

2.4 전기연구원 오차 시험

(주) 한국 아이이디 이엔지에서 개발한 철심 코어형 전자식 전압 변성기는 기존 철심 코어형 전압 변성기에 보상 알고리즘이 탑재된 IED 보드를 장착하여 제작하였다. 기존 철심 코어형 전압 변성기의 사양은 표 1과 같다. 철심 코어의 특성을 사전에 측정 보상 알고리즘을 적용하여 고성능의 전자식 변성기를 제작하였다. 제작된 전자식 전압 변성기는 측정용과 보호용 공용으로 사용 가능하다. 제작한 전자식 변성기의 성능을 검증하기 위하여 전기 연구원에서 오차 시험을 진행하였다. 오차 시험은 전자식 전압 변성기의 국제 규격인 IEC 60044-7에 준하여 진행 되었으며, 하나의 전자식 변성기를 이용하여 측정용과 보호용을 동시에 오차 시험을 진행하였다. 오차 시험 결과 표 2와 같은 결과를 얻었다. 테스트 결과 측정용은 규격 IEC 60044-7에서 0.2급을 만족하였으며, 보호용은 5P를 만족하였다. 시험 성적서는 0.2급, 5P급으로 발급 받았다. 그림 5는 13200V/4V 전자식 전압 변성기 시험 성적서이다.

전기연구원 오차 테스트는 측정용 전압 변성기 경우 정격 전압의 120%, 100%, 80%에서 오차 테스트를 진행한다. IEC 60044-7 규격 상에서 0.2급 전압 변성기의 비오차와 위상 오차 크기가 각 레벨에서 ±0.2%, ±10min이다. 자사 제품의 시험 결과 정격 전압의 120%에서는 비오차는 -0.12%, 위상오차는 4.0min으로 기준보다 뛰어난 결과를 얻었다. 정격 전압의 100%와 80%의 비오차와 위상오차는 각각 -0.04%, 4.8min과 -0.03%, 4.8min으로 모든 레벨에서 우수한 성능을 보였다. 보호용 전압 변성기인 경우는 정격 전압의 5%와 2%에서 오차 테스트를 진행하였다.

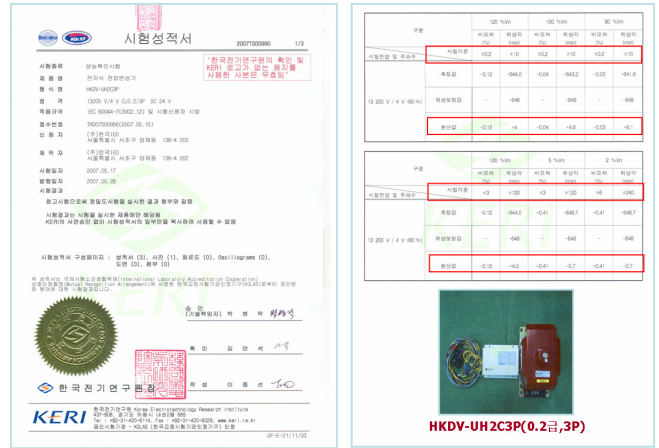
<표 1> 철심 코어형 전자식 변성기 사양

철심 코어형 전압 변성기	변압비	오차 등급
	13200V/110V	1.0C

<표 2> 13200V/4V 전자식 전압 변성기 오차 시험 결과값

구분 (측정용)	시험 전압 및 주파수	시험 기준	120%In		100%In		80%In	
			비오차 (%)	위상오차 (min)	비오차 (%)	위상오차 (min)	비오차 (%)	위상오차 (min)
13200/4V (60Hz)	시험 결과		±0.2	±10	-0.04	4.8	-0.03	6.1

구분 (보호용)	시험 전압 및 주파수	시험 기준	5%In		2%In	
			비오차 (%)	위상오차 (min)	비오차 (%)	위상오차 (min)
13200/4V (60Hz)	시험 결과		0.41	-0.7	0.41	-0.7



<그림 5> 13200V/4V 전자식 전압 변성기 시험 성적서

3. 결 론

논문에서는 철심 코어형 전자식 전압 변성기의 개발에 대해 기술하였다. 자사에서 개발한 전자식 전압변성기는 제작이 용이하고 제작 및 설치비용이 저렴한 철심 코어에 철심 코어의 히스테리시스 특성을 보상하는 알고리즘이 탑재된 고정밀도 철심 코어형 전자식 변성기를 제작하였다. 개발한 전자식 변성기는 한국 전기 연구원에서 관련 규격 IEC 60044-7에 준하여 한국 전기연구원(KERI)에서 오차 시험을 진행하였고 오차 시험 결과 0.2급 5P급의 성능을 보여 제품 성능이 뛰어난 모습을 보였다. 자사에서 개발한 철심 코어형 전자식 전압 변성기는 철심 코어형 변성기의 히스테리시스 특성을 고려하여 정상 상태 뿐만 아니라 고장시 낮은 전압에서도 오차를 크게 개선하였다.

[참 고 문 헌]

- [1] 강용철, 이병은, 박종민, “히스테리시스 특성을 고려한 고정밀 전압 변성기 오차 보상 알고리즘”, 전기학회 논문지. vol. 55, No. 10, 10. pp. 1709 - 1714, 2007
- [2] S. H. Horowitz, and A. G. Phadke, “Power system relaying,” Research Studies Press Ltd, 1992.
- [3] KS C IEC 60044-7: 2003
- [4] D. Slomovitz, “Electronic compensation of voltage transformer” IEEE Trans. Instrum. Meas., vol. 37, Dec. pp. 652 - 654, 1988
- [5] D. Slomovitz, “Electronic Based High-Voltage Measuring Transformer” IEEE Trans. Power delivery. vol. 17, No. 2, April. pp. 359 - 361, 2002