

철심 코어형 전자식 변류기 개발

강용철*, 김연희*, 장성일*, 박종민*, 최정환**, 김용균**, 이병성***, 송일근***
전북대학교*, 한국 IED**, 한국 전력 연구원***

Development of the iron-cored electronic current transformer

Yong-cheol Kang*, Yeon-hee Kim*, Sung-il Jang*, Jong-min Park*, Jung-hwan Choi**, Yong-kyun Kim**,
Byung-sung Lee***, Il-Keun Song***
Chonbuk National University*, Hankook IED ENG. Inc.**, KEPRI***

Abstract - A current transformer(CT) should provide the faithful reproduction of the primary current to the measurement or the protection equipments. The exciting current resulting from the hysteresis characteristics of the core causes an error between the primary current and the secondary current of the CT. A compensating algorithm for the secondary current of the current transformer that removes the effects of the hysteresis characteristics of the iron-core has proposed. The core flux linkage is calculated by integrating the measured secondary current, and then inserted into the flux-magnetizing current curve to obtain the magnetizing current. The exciting current at every sampling interval is obtained by summing the core-loss and magnetizing currents and added to the measured current to obtain the correct current. This paper describes the innovative new product of the iron-cored electronic current transformer. This product composes an iron-cored CT and an intelligent electronic device(IED) ported the compensating algorithm. The test results of the iron-cored electronic current transformers in Korea Electro-technology Research Institute(KERI) are presented.

1. 서 론

최근 전력 계통은 전력 수요의 꾸준한 증가와 대형 전원의 추가 건설 및 분산전원의 계통 병입으로 대규모, 복잡화되고 있다. 계통의 복잡화로 인한 계통의 보호 및 운전 상태 측정을 위하여 신뢰성 있는 데이터를 측정해야 한다. 또한 IT 산업을 전력시장에 접목하는 전력 IT의 등장으로 인하여, 각종 측정 장치에서 데이터를 수집하여 변전소나 다른 기기로 보내는 배전자동화 및 디지털 변전소 등의 연구가 활발히 진행되고 있다. 이러한 연구의 기본이 되는 전압, 전류의 측정이 필요하다. 전류는 변류기(current transformer, CT)를 통해서, 전압은 전압변성기(potential transformer, PT)를 통해서 입력된다[2].

변류기는 1차 전류의 크기를 왜곡없이 크기만 작게 하여 계량기, 보호 계전기 등의 기기에 공급해야 한다. 현재 사용되는 변류기는 1차 전류와 2차 전류 사이의 쇄고 자속을 최대화하기 위하여, 강자성체인 철심 코어(iron core)를 많이 사용한다. 그러나 철심 코어의 히스테리시스 특성 때문에 여자 전류가 발생되고, 이 여자 전류는 측정용 변류기의 오차가 된다. 이러한 오차를 줄이기 위하여 투자율이 좋은 코어를 사용하거나 코어의 단면적을 증가시키는 방법을 사용한다. 이 방법은 변류기의 제작 단가를 증가시킬 뿐만 아니라 변류기의 크기 또한 커지는 단점이 있다.

현재 철심 코어 타입 변성기의 자기 포화 문제 야기로 인해 변성기의 국제 규격을 강화하는 추세이다. 이를 극복하기 위해 로고스키 코일(Rogowski coil)과 광 변류기(Optical CT) 등이 개발됐다. 로고스키 코일은 공심으로 포화 특성이 없으며, 2차 출력을 내보내기 위해 사용하는 적분기는 큰 단락 전류를 제한하는 역할을 한다. 하지만 보통 1~3%의 낮은 정밀도를 가지며, 유지되는 자속의 크기가 작기 때문에 저전류 영역에서 정밀한 측정이 어렵다. 또한 외부 환경에 영향을 받기 때문에 외부 차폐하는 것이 중요하며, 보다 많은 자속을 유지하고 정밀도를 높이기 위해서는 단면적이 커야하는 단점이 있다. 한편 광 변류기는 크기가 작고, 절연 특성이 좋으며, 노이즈의 영향이 작으며 안정적인 특징이 있다. 이러한 장점에 비해 진동에 약하기 때문에 이를 보정해주는 추가적인 장치를 해야 하므로 매우 고가이다.

본 논문에서는 철심 코어형 전자식 변류기 개발에 대해 기술하였다. (주)한국아이디엔지가 보유하고 있는 철심 코어의 히스테리시스 특성을 고려한 변류기 보상 특허 기술을 탑재한 IED 보드를 철심 코어에 장착한 전자식 변성기이다. 개발된 제품은 철심 코어를 사용하기 때문에 저가로 제작 가능하며, 보상 알고리즘을 적용하기 때문에 철심 코어의 크기를 줄여 소형화가 가능한 특징을 갖는다. 또한 개발된 제품의 성능

을 검증하기 위해 국제 규격인 IEC 60044-8에 준하여 한국 전기 연구원(KERI)에서 성능 인증시험을 하였고, HCT에서 전기특성시험을 하였다.

2. 본 론

2.1 변류기의 보상 알고리즘

그림 1은 히스테리시스 특성을 고려하여, 변류기 2차 측으로 환산한 철심 변류기의 등가 회로를 나타냈다. 여자 전류는 철손 전류와 자화 전류로 나눌 수 있고, 여자 전류가 증가하면 변류기의 오차가 증가한다. 여자 전류는 식 (1)과 같이 표현할 수 있다.

$$i_0(t) = i_c(t) + i_m(t) \quad (1)$$

그림 2는 여자 전류를 철손 전류와 자화 전류로 나누어 나타냈다. 추정 방법은 측정된 2차 전압과 부담을 이용하여 2차 전류를 구한다. 히스테리시스 특성을 고려한 여자 전류를 구해 2차 전류와 더하여 1차 전류를 구하며, 식 (2)와 같다.

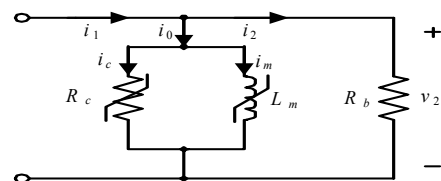
$$i_1(t) = i_2(t) + i_0(t) \quad (2)$$

2.2 보상 알고리즘을 탑재한 전자식 변성기 개발

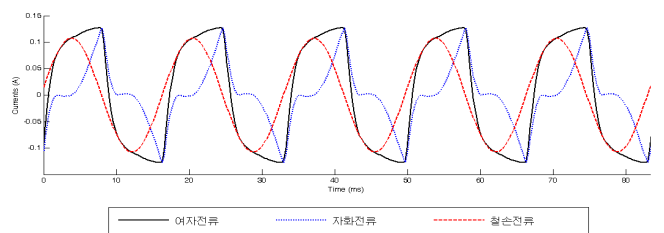
그림 3은 (주)한국아이디엔지에서 개발한 철심 코어형 전자식 변류기 사진이다. 기존 철심 코어 변류기에 오차 보상 알고리즘을 탑재한 보드를 결합하여 전자식 변류기를 개발하였다. 철심 코어형 전자식 변류기의 1차 정격 전류는 각각 75A, 630A, 2차 정격 출력은 4V의 아날로그 신호이다.

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.



i_1, i_2, i_0 : 1차, 2차, 여자 전류, R_b : 2차 부담, v_2 : 2차 전압
 i_c, i_m : 철손, 자화 전류, R_c : 철손 저항, L_m : 자화 인덕턴스
〈그림 1〉 철심 변류기 등가 회로



〈그림 2〉 여자 전류, 철손 전류, 자화 전류

2.4 전기연구원 오차 시험

(주)한국아이이디이엔지에서 개발한 철심 코어형 전자식 변류기는 기존 철심 코어형 변류기를 구입하여 보상 알고리즘이 탑재된 IED 보드를 장착하여 제작하였다. 철심 코어의 특성을 사전에 측정 보상 알고리즘에 적용하여 고정능의 전자식 변성기를 제작하였다. 이 과정에서 측정용과 보호용으로 나누어 데이터를 측정하여 보상 알고리즘에 적용하여 하나의 전자식 전압 변성기를 사용하여도 측정용과 보호용 공용으로 사용 가능하다. 제작한 전자식 변성기의 성능을 검증하기 위하여 전기 연구원에서 오차 시험을 진행하였다. 오차 시험은 전자식 전압 변성기의 국제 규격인 IEC 60044-8에 준하여 진행하였다. 오차 시험 결과 표 1과 같은 결과를 얻었다. 1차 정격 전류 75A 측정용 전자식 변류기 경우 변류기 오차 시험 레벨인 정격의 120%, 100%, 20%, 5% 모두에서 규격에 명시한 수치보다 비오차와 위상 오차 모두 적게 나왔다. 이는 0.2급 이상의 정밀도를 보였다. 1차 정격 전류 630A 전자식 변류기의 경우, 하나의 전자식 변류기를 사용하여 측정용과 보호용 오차 시험을 진행하였다. 측정용 오차 시험에서는 테스트 레벨에서 모두 0.5급 이내의 비오차와 위상오차를 나타내었다. 보호용 오차 시험에서는 합성오차를 통하여 성능 검증은 한다. 오차 등급 5P의 경우 규격 내 수치는 5% 이내 이어야 한다. (주)한국아이이디이엔지의 제품의 경우 합성오차가 1.14%로 월등한 성능을 보였다. 그림 4는 전기연구원 오차 시험 결과 성적서로 75A 정격 전자식 변류기 측정용 오차 시험 성적서와 630A 정격 전자식 변류기의 측정용, 보호용 오차 시험 성적서이다



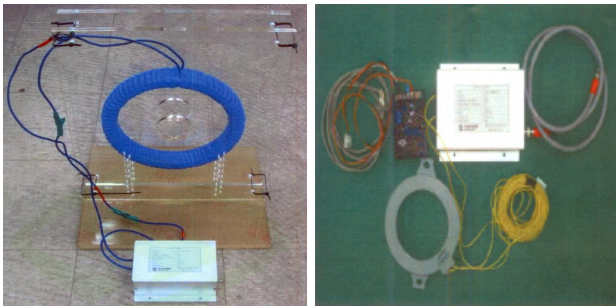
〈그림 4〉 철심 코어형 전자식 변류기 오차 시험 성적서



〈그림 5〉 철심 코어형 전자식 변류기 EMC 시험 성적서

2.5 전기특성시험

그림 5는 EMC 테스트 관련 성적서이다. (주)한국아이이디이엔지에서 개발한 철심 코어형 전자식 변류기의 EMC 성능 테스트를 HCT에서 진행하였다. 정전기 방전 내성 시험, 전기적 빠른 과도응답 내성시험, 전원 주파수 자체 내성 시험 등 관련 규격 IEC 60044-8에 준하여 시험을 진행하였고, 적합 판정을 받았다.



(a) HKT-C-M75H2C

(b) HKDC-M630H5C

〈그림 3〉 철심 코어형 전자식 변류기

〈표 1〉 철심 코어형 전자식 전압 변성기 오차 시험 결과값

ECT			HKTC-M75H2C		HKDC-M630H5C	
			시험기준 (0.2C)	측정값	시험기준 (0.5C)	측정값
측정용	120% In	비오차(%)	±0.2	+0.13	±0.5	-0.06
		위상각(min)	±10	+0.7	±30	-2
	100% In	비오차(%)	±0.2	+0.14	±0.5	+0.07
		위상각(min)	±10	+1.0	±30	-1.1
	20% In	비오차(%)	±0.35	+0.16	±0.75	-0.04
		위상각(min)	±15	+3.4	±45	-8
	5% In	비오차(%)	±0.75	+0.8	±1.5	+0.14
		위상각(min)	±30	+14.5	±90	-8.7
보호용	합성오차(%)	-	-	5.0	1.14	

3. 결 론

논문에서는 철심 코어형 전자식 변류기의 개발에 대해 기술하였다. (주)한국아이이디이엔지에서 개발한 전자식 변류기는 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 60044-8에 기준하여 한국 전기연구원(KERI)에서 오차 시험을 진행하였고 오차 시험 결과 측정/보호 영역에서 고정밀도의 성능을 보였다. (주)한국아이이디이엔지에서 개발한 철심 코어형 전자식 변류기는 철심 코어형 변성기의 히스테리시스 특성을 고려하여 정상 상태 뿐만 아니라 포화에서도 오차를 개선하였다. 또한 기존 철심 코어형 변성기는 자기 포화 문제를 해결하기 위해 철심의 사이즈를 크게 하거나 투자율이 높은 코어의 사용하였지만 본 제품은 철심 코어 크기가 크거나 투자율이 높지 않아도 고정밀도의 전자식 변류기가 제작 가능하다. 또한 하나의 전자식 변류기를 사용하여 측정영역과 보호영역 모두 전류 측정이 가능하다. 이는 다른 전자식 변성기들에 비해 제작 및 설치가 용이하며, 제작비용 및 설치비용이 저렴하다

[참 고 문 헌]

- [1] 강용철, 소순홍, 정태영, 장성일, 김용근, “히스테리시스 특성을 고려한 측정용 변류기 2차 전류 보상 알고리즘”, 전기학회 논문지. vol. 55, No. 10, pp. 1709 - 1714, 2007
- [2] S. H. Horowitz, and A. G. Phadke, “Power system relaying,” Research Studies Press Ltd, 1992.
- [3] KSC IEC 60044-8: 2003