

IEC61850 기반 콤팩트형 철심 코어형 전자식 변류기 개발

강용철, 김연희, 최정환, 박종민, 장성일, 김용균, 안용호, 송인준

Development of a Compact Iron-Cored Electronic Current Transformer Based on IEC 61850

Y. C. Kang, Y. H. Kim, J. H. Choi, J. M. Park, S. I. Jang, Y. K. Kim, Y. H. An, I. J. Song

Abstract - This paper describes a compact Iron-cored Electronic Current Transformer(ECT) based on IEC 61850. The ECT developed in this study has the feature of designing the current transformer with a compact iron-core, compensating error due to the nonlinear characteristic of Iron-core, and applying IEC 61850 9-2 for sampled value(SMV). We verify the performance of the innovative product developed in the study in KERI and test the performance of digital communication in the lab.

1. 서 론

최근 전력 계통은 전력 수요의 꾸준한 증가로 대규모, 복잡화되고 있다. 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. 이에 계통의 안정적인 운영을 위해서는 신뢰성 있는 데이터 측정이 요구된다. 일반적으로 가격이 저렴한 철을 이용하여 변성기를 제작한다. 계통 전류는 전류 변류기(current transformer, CT)를 통해서, 전압은 전압변성기(potential transformer, PT)를 통해서 측정한다.

변류기는 1차 전류의 크기를 작게 하여 계량기, 보호계전기 등의 기기에 공급 하며 일반적으로 철심코어 변류기를 사용한다. 철심코어는 강자성체이나 히스테리시스 특성을 갖으며 이는 변류기의 오차로 작용한다. 이러한 오차를 줄이기 위하여 투자율이 좋은 코어를 사용하거나 코어의 단면적을 증가시키는 방법을 사용하나 이는 변류기의 제작 단가를 증가시킬 뿐만 아니라 변류기의 크기 또한 커지는 단점이 있다.

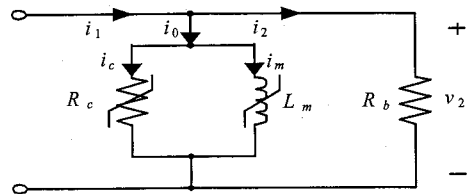
최근 철심 코어 타입 변성기의 히스테리시스 특성으로 인한 단점을 극복하기 위해 로고스키 코일(Rogowski coil)과 광 변류기(Optical CT) 등이 개발되고 있다. 로고스키 코일은 공심으로 포화 특성이 없는 장점이 있다. 하지만 보통 1~3%의 낮은 정밀도를 가지며, 유기되는 자속이 작기 때문에 저전류 영역에서 정밀한 측정이 어렵다. 한편 광 변류기는 크기가 작고, 절연 특성이 좋으며, 노이즈의 영향이 작고 안정적인 특성을 갖는다. 이러한 장점에 비해 진동과 온도에 취약하기 때문에 이를 보정하는 추가적인 장치가 필요하여 매우 고가이다.

본 논문에서는 IEC 61850 기반의 콤팩트형 철심 코어형 전자식 변류기 개발에 대해 기술하였다. 개발한 전자식 변류기는 변류기 오차 보상 기술을 탑재한 IED를 콤팩트형 철심 코어에 장착한 형태를 갖는다. 개발된 제품은 콤팩트형 철심 코어를 사용하기 때문에 저가 제작 및 소형화가 가능하며 측정 및 보호가 동시에 적용 가능하다. 개발된 제품의 오차 성능은 자체 시험을 통해 검증하였으며 EMC 등 전기특성시험은 한국 전기 연구원(KERI)에서 진행하였다.

2. 본 론

2.1 철심 변류기 보상 알고리즘

그림 1은 히스테리시스 특성을 고려하여, 변류기 2차로 환산한 철심 변류기의 등가 회로를 나타냈다. 등가회로로부터 다음과 같이 식 (1), (2)를 구할 수 있다. 여자 전류는 철손 전류와 자화 전류로 나눌 수 있고 1차 전류는 여자 전류와 2차 전류로부터 구할 수 있다. 자화 전류로부터 보상 전류를 구하는 방법은 참고문헌 [1]과 같다.



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

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

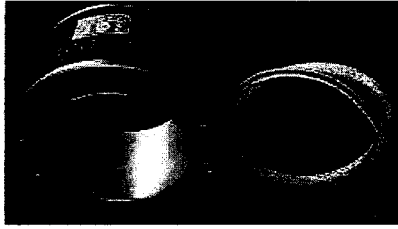
$$i_1(t) = i_2(t) + i_0(t) \quad (2)$$

2.2 IEC 61850기반의 콤팩트형 코어형 전자식 변류기

IEC 61850기반의 콤팩트형 코어형 전자식 변류기는 철심 코어를 기존 변류기에 비해 단면적이 1/10 이하로 작게 제작하였다. 철심 변류기의 콤팩트화는 변류기의 오차를 크게 하였으나 본 논문에서는 이를 보정하기 위한 IEC 61850 통신 기반의 IED(Intelligent Electronic Device)를 제작 하였다.

2.2.1 콤팩트형 철심 코어 제작

콤팩트형 전자식 변류기에 적용되는 철심 코어는 기존 동급 변류기의 단면적에 비해 1/10배 이하로 작게 제작하였다. 그림 2는 기존 철심 변류기와 제작한 변류기의 크기를 비교하는 사진이다. 기존 철심 변류기 코어 사이즈와 제작된 콤팩트형 철심 코어 단면적 비교는 표 1과 같다. 기존 변류기의 경우 사용 용도에 따라 각기 다른 사이즈를 갖으나 콤팩트형 변류기는 오차를 보상하기 때문에 사이즈를 동일하게 제작하였다. 제작한 전자식 변류기의 성능 검증은 자체 성능 검증과 한국 전기 연구원에서 IEC 600144-8 규격에 준하여 진행하였다.



<그림 2> 철심 변류기 비교

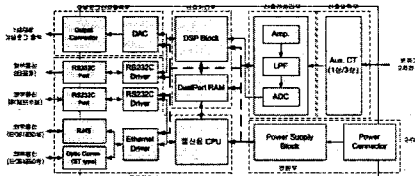


<그림 5> IEC61850기반 전자식 변류기

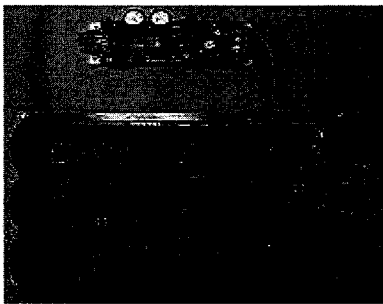
<표 1> 철심 코어 크기 비교

구분	기존 변류기 코어 사이즈				제작한 변류기 코어 사이즈				비교	
	외경 (mm)	내경 (mm)	높이 (mm)	단면적 (mm²)	외경 (mm)	내경 (mm)	높이 (mm)	단면적 (mm²)		
측정용	75A	238	190	11980	287520	200	190	10	50	1/5750.4 배
	1200A	242	188	45	1215	200	190	10	50	1/24.3 배
	2000A	240	190	30	750	200	190	10	50	1/15 배
보상용	75A	242	188	6285	169695	200	190	10	50	1/3393.9 배
	1200A	242	188	395	10665	200	190	10	50	1/213.3 배
	2000A	240	190	260	6500	200	190	10	50	1/130 배

2.2.2 오차 보상용 하드웨어의 제작
 그림 3은 오차 보상용 하드웨어 구성도를 나타내었고, 그림 4는 개발한 하드웨어 사진이다. 개발된 오차 보상용 하드웨어는 32bit DSP (Digital Signal Processor)를 사용했다. A/D 및 D/A의 resolution은 16 bit이고 Sample Rate는 주기 당 128/64/32이다. Power는 DC 24V, Input/Output 신호는 각각 AC ±5A, AC 4V이다. IEC 61850 기반의 디지털 통신은 광통신으로 port는 850nm TX/RX, 62.5/125 with IEEE 802.3 100 Base-T이며, 최대 64 sample/cycle이 가능하다.



<그림 3> 오차 보상용 하드웨어 구성도

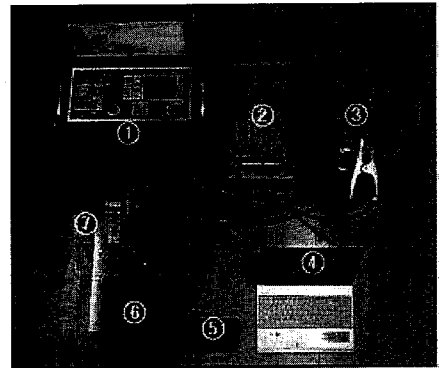


<그림 4> 오차 보상용 하드웨어

2.2.3 IEC 61850기반 전자식 변류기 개발
 그림 5는 IEC 61820기반 전자식 변류기이다. 사진의 좌측은 자사에서 제작한 콤팩트형 철심 코어이며, 우측은 자사에서 보유한 보상 알고리즘이 탑재된 오차 보상 및 디지털 통신이 가능한 하드웨어이다.

2.3 자체 오차 테스트

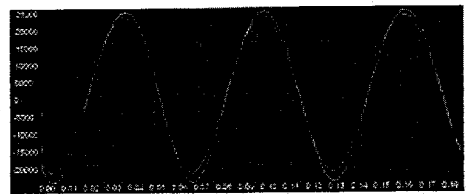
그림 6은 자체 성능 평가 시스템이다. ①은 전류원으로 CPC 100이다. ②는 자사가 보유한 표준변류기로 정밀도는 0.01C이며 ③은 표준 변류기 부담이다. ④는 Comparator이고, ⑤는 허브이다. ⑥, ⑦은 자사에서 개발한 IEC 61850기반 전자식 변류기이다.



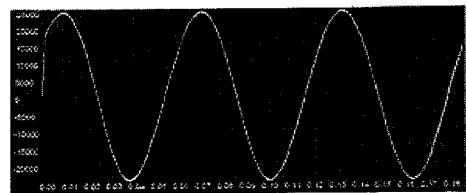
<그림 6> 자체 성능 평가 시스템

2.3.1 측정용 전자식 변류기

그림 7은 측정용 전자식 변류기의 성능 평가를 위한 것으로 표준변류기에서 측정된 기준전류는 파란색, 철심 코어 2차측 전류는 빨간색으로 나타내었다. 두 전류 사이에 차이가 있는 것을 볼 수 있고 이는 제작한 콤팩트형 철심 변류기의 오차이다. 그림 8은 표준 변류기에서 측정된 기준전류를 파란색으로 자사 제품의 출력을 노란색으로 나타내었다. 비교 결과 보상 후 표준 변류기 출력과 거의 유사함을 확인할 수 있다.



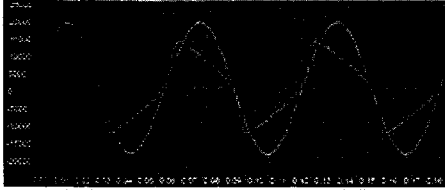
<그림 7> 기준 전류(파란색)와 보상 전 전류(빨간색)



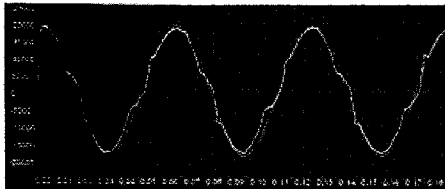
<그림 8> 기준 전류(파란색)와 자사 제품 출력(노란색)

2.3.2 보호용 전자식 변류기

그림 9는 보호용 전자식 변류기의 성능 평가를 위한 것으로 표준변류기에서 측정된 기준전류는 파란색, 철심 코어 2차측 전류는 빨간색으로 나타내었다. 콤팩트형 철심 변류기의 경우 자기 포화로 인해 파형이 왜곡됨을 볼 수 있다. 그림 10은 표준 변류기에서 측정된 기준전류를 파란색으로 자사 제품의 출력을 노란색으로 나타내었다. 보상 후 1차 전류와 차이가 있으나 보상 전에 비해 현저히 오차가 감소된 것을 확인할 수 있다.



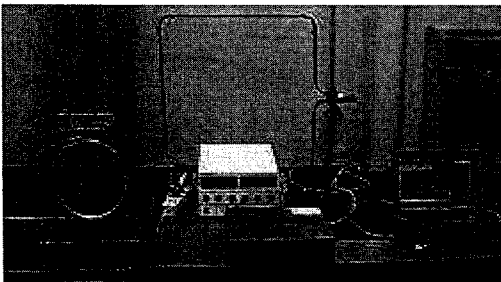
<그림 9> 기준 전류(파란색)와 보상 전 전류(빨간색)



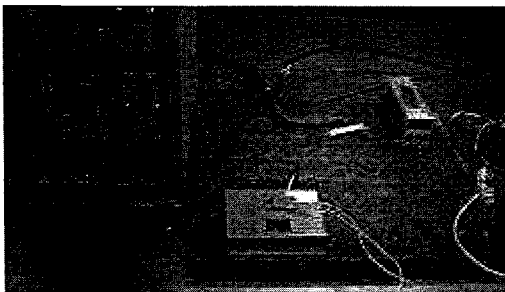
<그림 10> 기준 전류(파란색)와 자사 제품 출력(노란색)

2.4 전기연구원 전기특성 시험

자사에 개발한 IEC61850기반 전자식 변류기는 관련 규격 IEC 60044-8에 준하여 전기연구원에서 전기 특성 시험을 진행하였다. 그림 11은 EMC 시험 테스트 환경을 나타내는 사진이며, 그림 12는 서지 입력 테스트를 진행한 사진이다. 규정 내에 있는 시험 항목 중 서지 입력 테스트와 버스트 테스트를 진행하였고, 시험 결과 IEC60044-8의 규정을 만족하였다.



<그림 11> EMC 시험 테스트 환경



<그림 12> 서지 입력 테스트

3. 결 론

본 논문에서는 IEC 61850 기반의 콤팩트형 철심 코어형 전자식 변류기 개발에 대해 기술하였다. 개발된 전자식 변류기는 철심 코어의 히스테리시스 특성을 고려한 변류기 오차 보상 기술을 탑재한 IED를 콤팩트형 철심 코어에 장착한 형태를 갖는다. 개발된 제품은 콤팩트형 철심 코어를 사용하기 때문에 기존 변류기 제작방법에 비해 제작 단가를 현저히 줄일 수 있으며, 콤팩트한 변류기로 인해 기기의 사이즈 감소 효과를 기대할 수 있다. 또한 제작한 전자식 변류기는 측정용과 보호용으로 동시에 적용 가능하여 변류기의 사용수를 줄일 수 있다. 개발된 전자식 변류기의 오차 성능 시험은 한국 전기 연구원에서 디지털 출력에 관한 시험이 불가하여 자체 시험을 통해 검증하였다. 그리고 전기특성시험(EMC)은 한국 전기 연구원(KERI)에서 진행하였다. 시험 결과 개발된 전자식 변류기는 정상 상태 뿐만 아니라 자기 포화시에도 IEC 60044-8 규격을 준수하였다.

[참 고 문 헌]

- [1] 강용철, 소순홍, 정태영, 장성일, 김용균, “히스테리시스 특성을 고려한 측정용 변류기 2차 전류 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] KSC IEC 60044-8: 2003
- [4] IEC 61850 7-2,3,4,9-2: 2003