

### 철심 코어형 전자식 영상 변류기 개발

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

### Development of the Iron-cored Electronic Zero-Phase Current Transformer

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

**Abstract** - Generally, an iron-cored instrument transformer has differences between the primary current and the secondary current due to the hysteresis characteristics of the core. The errors of the instrument transformer can be removed by using a compensating algorithm. This paper describes the iron-cored electronic zero-phase current transformer(EZCT) having a compensating algorithm that removes the effects of the hysteresis characteristics of the iron-core. This product composes an iron-cored ZCT and an intelligent electronic device(IED) ported the compensating algorithm. The test results shows that the innovative new product can improve the performance of the conventional ZCT.

#### 1. 서 론

전력 계통의 보호에 사용되는 요소는 전압, 전류, 영상 전류 등이 있다. 전류는 변류기(current transformer, CT)를 통해서, 전압은 전압 변성기(potential transformer, PT)를 통해서, 영상 전류는 영상 변류기(zero-phase current transformer,ZCT)를 통해서 입력된다. 일반적으로 국내 배전계통과 같은 접지 계통에서의 고장 발생 시 전압은 감소하고, 전류는 크게 증가하므로 이를 이용해서 고장을 손쉽게 검출 할 수 있다. 반면 중국과 같은 비접지 계통에서는 고장 시 고장 경로가 없으므로 고장 전류가 크지 않다. 이에 비접지 계통에서는 영상전류를 모니터링하여 고장을 검출하는 방법이 사용되고 있다. 계통의 특성에 따라 고장 시 영상전류의 크기는 달라진다.

영상 변류기는 사고로 인해 계통에서 발생하는 불평형 전류를 측정하는 장치이다. 측정된 전류를 통해 사고 유무가 판단 가능하다. 영상 변류기는 일반적으로 철심 코어를 사용한 제품을 사용한다. 이는 철심의 히스테리시스의 특성에 의해 크기의 오차와 위상의 오차가 발생한다. 하지만 기존 영상 변류기는 200mA에서 1.5mA 전류 크기만 출력하는 기기이다. 즉 영상 변류기는 기본적으로 영상 전류가 200mA가 측정 되었을 때, 출력을 1.5mA 전류가 측정되면 된다. 계통 조건에 따라 고장으로 검출되는 영상전류의 크기는 200mA 이하를 나타내게 되는데, 현재의 영상변류기로는 이를 측정 할 수 없어 계통에서 발생한 고장을 신속히 검출하여 제거할 수 없다.

본 연구에서 철심 코어형 전자식 영상 변류기의 개발에 대해 기술했다. 새롭게 제작된 철심 코어 타입의 전자식 영상 변류기는 (주)한국아이이디엔지가 보유하고 있는 철심 코어의 히스테리시스 특성을 고려한 변류기 보상 특허 기술을 탑재하였다. 개발된 제품은 자체 성능 평가 시스템을 이용하여 영상전류 검출 능력을 테스트하였다. 기존 영상변류기는 200mA까지 검출이 가능하지만 신제품은 50mA까지 측정이 가능하다. 개발된 제품은 크기 오차를 항상 시켰고, 기존 영상 변류기에서는 해결하지 못한 위상 오차의 개선이 가능하였다.

#### 2. 본 론

##### 2.1 영상 변류기의 보상 알고리즘

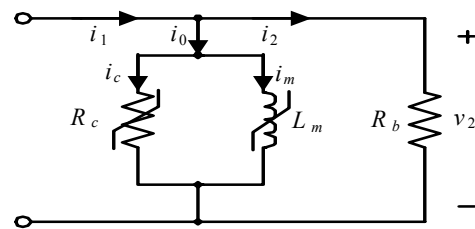
그림 1은 히스테리시스 특성을 고려하여, 변류기 2차 측으로 환산한 철심 코어형 영상 변류기의 등가 회로를 나타냈다. 여자 전류는 철손 전류와 자화 전류로 나눌 수 있고, 여자 전류가 증가하면 변류기의 오차가 증가한다. 여자전류를 줄이기 위해서는 자화인덕턴스를 크게 제작해야 하므로 사이즈가 커지며 고가의 코어를 사용해야 한다. 여자 전류는 식 (1)과 같이 표현할 수 있다.

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

철심 코어 변성기 보상 알고리즘은 측정된 2차 전압과 부담을 이용하

여 2차 전류를 구한다. 히스테리시스 특성을 고려한 여자 전류를 구해 측정된 2차 전류와 합하여 1차 전류를 구하며, 계산은 식 (2)와 같이 한다.

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

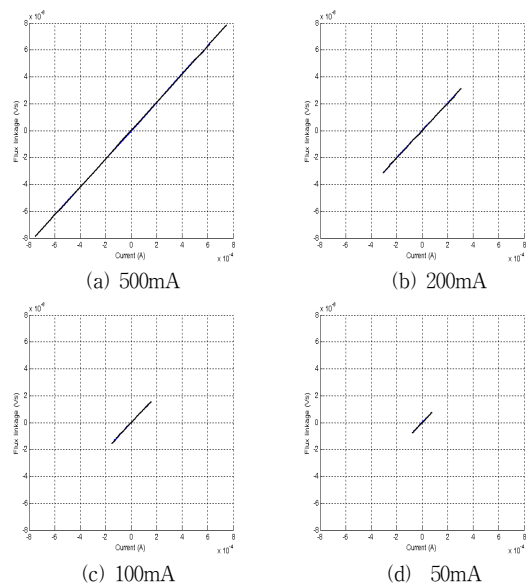


$i_1, i_2, i_0$ : 1차, 2차, 여자 전류  
 $R_b$ : 2차 부담  
 $v_2$ : 2차 전압  
 $i_c, i_m$ : 철손, 자화 전류  
 $R_c$ : 철손 저항  
 $L_m$ : 자화 인덕턴스

〈그림 1〉 철심 변류기 등가 회로

##### 2.2 보상 알고리즘을 탑재한 전자식 영상 변류기 개발

전자식 영상 변류기에 탑재된 보상 알고리즘은 철심 코어의 히스테리시스 특성을 고려하여 변성기의 오차를 줄인다. 그림 2는 철심 코어 영상 변류기의 500mA, 200mA, 100mA, 50mA 전류에 대한 히스테리시스 특성 곡선이다. 철심 코어 영상 변류기의 1차 전류와 2차 전류를 측정하여 자속과 여자 전류의 관계 그래프로 그렸다. 이를 보상 알고리즘에 적용 후 IED 보드에 탑재하여 보상을 보드를 제작한다.



〈그림 2〉 영상 변류기 히스테리시스 특성 곡선

그림 3은 (주)한국아이이디엔지에서 개발한 철심 코어형 전자식 영상 변류기 사진이다. 기존 철심 코어형 영상 변류기에 오차 보상 알고리즘을 탑재한 보드를 결합하여 전자식 영상 변류기를 개발하였다. 철심 코어형 전자식 영상 변류기의 1차 정격 전류는 200mA이며, 2차 정격 출력은 150mV의 아날로그 신호이다

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 samples/sec이다. 제어 전원은 DC 24V, 소비 전원은 약 5W, 500 $\mu$ s의 정격 지연 시간을 갖는다. 출력 신호는 Twin BNC 케이블을 사용하여 전송한다.

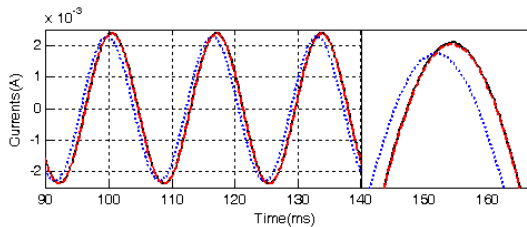


〈그림 3〉 철심 코어형 전자식 전압 변성기

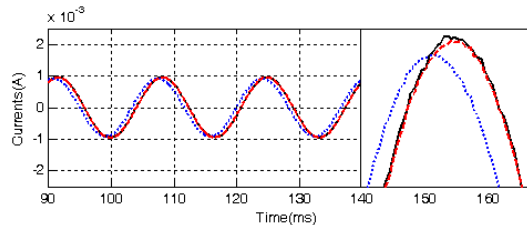
### 2.3 성능 테스트

(주)한국아이이디엔지에서 개발한 철심 코어형 전자식 영상 변류기는 기존 철심 코어형 영상 변류기를 구입하여 보상 알고리즘이 탑재된 IED 보드를 장착하여 제작하였다. 철심 코어의 특성을 사전에 측정 보상 알고리즘을 적용해 고성능의 전자식 변성기를 제작하였다. 개발된 전자식 영상 변류기에 대한 성능 테스트는 자체 평가를 실시하였다. 그림 4는 기준 전압과 측정 전압, 보상 전압을 레벨별로 나타내었다. 실선은 기준 전압, 점선은 측정 전압, 쇄선은 보상 전압이다.

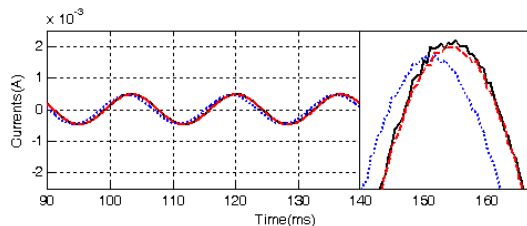
측정 전압과 보상 전압을 기준 전압에 비교하여 계산한 비오차와 위상오차는 표 1과 같다. 기준 전압과 측정 전압 사이에는 그림 4에 나타난 바와 같이 크기 차이뿐만 아니라 위상 차이가 심하게 발생 한다. 기존 영상 변류기는 측정 레벨인 200mA에서 비오차는 4.132%가 차이가 발생했고, 위상오차는 947.3분이 발생했다. 이를 보상 알고리즘이 탑재된 IED 보드를 철심 코어 영상 변류기에 장착하여 제작한 전자식 영상 변류기는 200mA에서 비오차는 0.266%로, 위상 오차는 -8.255 분으로 현격히 감소 시켰다.



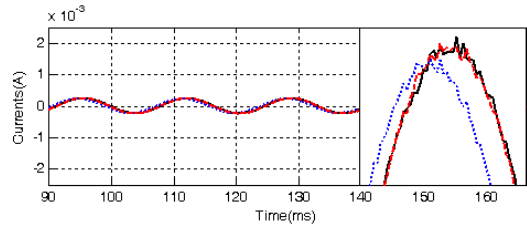
(a) 500mA



(b) 200mA



(c) 100mA



(d) 50mA

〈그림 4〉 철심 코어형 전자식 전압 변성기

〈표 1〉 비오차, 위상오차

구분	500mA		200mA		100mA		50mA	
	비오차 (%)	위상오차 (min)	비오차 (%)	위상오차 (min)	비오차 (%)	위상오차 (min)	비오차 (%)	위상오차 (min)
측정 전압	-3.884	912	-4.132	947.3	-3.647	961.6	-4.047	968.9
보상 전압	0.0588	-5.396	-0.266	-8.255	-0.388	-6.351	2.721	30.12

### 3. 결 론

본 논문에서는 철심 코어형 전자식 영상 변류기의 개발에 대해 기술했다. 새롭게 제작된 철심 코어 타입의 전자식 영상 변류기는 (주)한국아이이디엔지가 보유하고 있는 철심 코어의 히스테리시스 특성을 고려한 변류기 보상 특허 기술을 탑재하였다. 전자식 영상 변류기는 제작이 용이하고 제작 및 설치비용이 저렴한 철심 코어에 철심 코어의 히스테리시스 특성을 보상하는 알고리즘이 탑재된 고정밀도 철심 코어형 전자식 변성기이다. 개발된 제품은 자체 성능 평가 시스템을 이용하여 영상전류 검출 능력을 테스트하였다. 테스트 결과 기존 영상 변류기에 비해 크기 출력의 정확도가 현격히 향상 되었으며, 위상 오차까지도 보상하여 보다 정확히 계통의 영상전류를 측정할 수 있다.

### [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] ESB 146-240~280