

정상상태에서 공극 변류기의 보상

강용철*, 박지연*, 소순홍*, 장성일*, 김용균**

*전북대학교, ** (주)한국 아이이디 이엔지

Compensation of an Air-Gapped Current Transformer in the steady state

Yong-Cheol Kang*, Ji-Youn Park*, Soon-Hong So*, Sung-Il Jang*, Yong-Gyun Kim**

*Chonbuk National University, **Hankook IED ENG

Abstract - This paper proposes a compensation method for an air gapped current transformer (CT) in the steady state. An air gapped CT is used in order to reduce a remanent flux in the case of auto-reclosure. It causes larger ratio and angle errors than the closed core CT because the magnetizing inductance of an air-gapped CT is even smaller than the closed-core CT. The core flux is calculated and used to estimate the exciting current in accordance with the hysteresis curve of the air-gapped CT. The correct current is obtained by adding the estimated exciting current to the measured secondary current. The performance of the method was investigated for the air gapped CTs with a gap of 0.083mm and 0.249mm for the 120%, 100% and 20% of the rated current. Various test results indicate that the proposed compensation algorithm can improve the accuracy significantly.

1. 서 론

변류기는 계통에 흐르는 1차 전류를 크기가 작은 2차 전류로 정확하게 변류하여 보호계전기 또는 계량기 등의 입력에 사용하는 변성기이다. 전력계통에서 1차권선과 2차권선의 쇄교 자속을 높이기 위해 코어가 철인 철심 변류기를 주로 사용하고 있다. 하지만 철심 변류기는 재폐로 시 잔류자속이나 DC offset 또는 1차 전류의 크기 증가 등의 이유로 포화 가능성이 높고 이로 인해 정확한 변류를 하지 못하는 단점이 있다[1].

잔류자속의 단점을 보완하기 위해 코어에 공극을 삽입한 공극 변류기를 사용한다. 공극의 길이는 자로 길이의 0.001% ~ 0.003% 정도가 주로 사용된다[2]. 공극 변류기는 잔류자속을 감소시키는 장점이 있지만 자로에 공극이 삽입되어 철심의 자화 인덕턴스가 감소되므로 정상상태 시 비오차와 위상오차가 증가하는 단점이 있다. 이를 줄이기 위한 기존의 방법은 코어의 단면적을 늘리는 것 또는 투자율이 좋은 코어를 사용하는 것이나[3] 이는 공극 변류기의 제작 단가를 높인다.

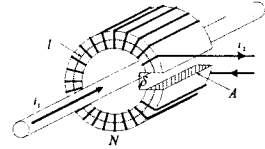
본 논문에서는 정상 상태에서 공극 변류기의 오차를 개선하는 방법을 제안한다. 공극 변류기의 측정된 2차 전류로부터 자속을 계산하고, 히스테리시스 곡선에 대하여 그에 해당하는 여자전류를 구한다. 여자전류는 철손 전류와 공극 변류기의 자화 전류로 나뉜다. 이 여자전류를 측정된 2차 전류에 더함으로써 2차 전류를 추정한다. 성능을 검증하기 위해 EMTP를 이용하여 공극의 길이가 0.083mm, 0.249mm인 공극 변류기를 모델링하였으며, 정격전류의 120%, 100%, 20%의 경우를 모의하였다.

2. 본 론

2.1 공극 변류기의 모델링

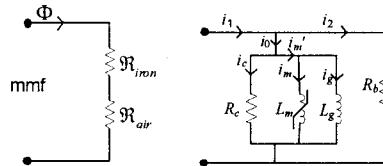
그림 1은 코어에 공극을 삽입한 공극 변류기를 나타낸다.

그림 2는 공극 변류기의 등가회로를 나타낸다.



- l: 철심의 자로 길이
- A: 단면적
- i₁: 1차 전류
- δ: 공극의 길이
- N: 턴수비
- i₂: 2차 전류

그림 1 공극 변류기



- mmf: 기자력
- Φ: 자속
- R_{air}: 공극의 자기저항
- R_{iron}: 철심의 자기저항
- i₁: 2차측으로 환산한 1차 전류
- i₂: 2차 전류
- i_{m'}: 공극변류기 자화전류
- i_g: 여자 전류
- i_m: 자화 전류
- i_g: 공극에 흐르는 전류
- i_c: 철손 전류
- i_m: 자화 전류
- i_g: 공극에 흐르는 전류
- L_m: 자화 인덕턴스
- R_c: 철손 저항
- L_g: 공극에 의한 인덕턴스
- R_b: 부담

(a) 자기 등가회로 (b) 전기 등가회로
그림 2 등가회로

철심의 자기 특성을 선형으로 가정하였을 때, 식 (1)과 같이 쓸 수 있다[4].

$$R = R_{iron} + R_{air} \tag{1}$$

릴턴스와 인덕턴스의 관계는 식 (2)와 같고 식 (1)과 (2)를 사용하여 식 (3)을 얻을 수 있다. 또한 식 (2)와 (3)을 통해 식 (4)를 얻을 수 있고 이로 철심의 인덕턴스와 공극의 인덕턴스가 병렬 결합임을 알 수 있다.

$$L = \frac{N^2}{R} \tag{2}$$

$$L = \frac{N^2}{R} = \frac{N^2}{R_{air} + R_{iron}} \tag{3}$$

$$L = \frac{1}{\frac{R_{air}}{N^2} + \frac{R_{iron}}{N^2}} = \frac{1}{\frac{1}{L_{air}} + \frac{1}{L_{iron}}} \tag{4}$$

철심의 기자력과 자속과의 관계는 비선형으로 복잡한 반면 공극의 기자력과 자속의 관계는 선형이다[3]. 이를 통해 철심의 인덕턴스 값은 비선형이고 공극의 인덕턴스

값은 선형임을 알 수 있다.

그림 2의 (b)를 통해 식 (5)를 얻을 수 있다.

$$i_0 = i_m' + i_c \quad (5)$$

공극의 인덕턴스 값은 식 (6)을 이용하여 얻을 수 있다.

$$L_g = \frac{\mu_0 AN^2}{l_{air}} \quad (6)$$

여기서 l_{air} 는 공극의 길이이다.

2.2 공극 변류기의 오차 보상 알고리즘

본 논문의 공극 변류기 오차 보상 알고리즘은 다음과 같다. 변류기의 2차 전류를 측정한 뒤, 2차 전압을 계산하고 적분하여 자속을 얻는다. 이를 자화 곡선에 대입하여 i_m' 을 구한다. i_c 는 R_c 와 v_2 로부터 알 수 있고 여기서 R_c 는 철손 저항, v_2 는 2차 전압을 나타낸다. 위에서 구한 i_m' 와 i_c 를 더하여 여자전류를 계산하고 이를 측정된 2차 전류에 더함으로써 공극 변류기의 2차 전류를 추정할 수 있다. 그림 3은 제안한 알고리즘의 흐름도이다.

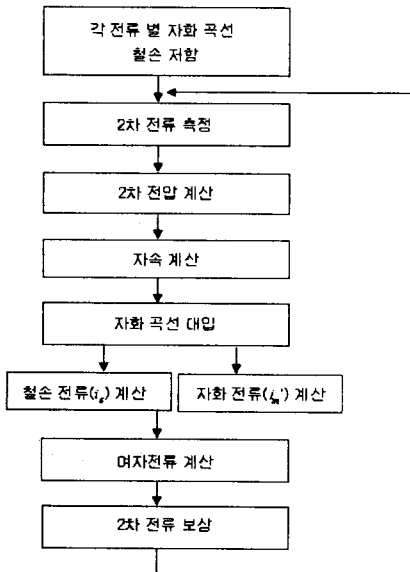


그림 3 공극 변류기 오차 개선 방법 흐름도

3. 사례 연구

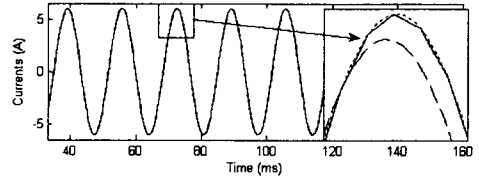
제안한 알고리즘을 검증하기 위해 EMTF를 사용하여 공극 변류기를 모델링하였고, 히스테리시스 특성을 고려하기 위해 비선형 소자인 96소자를 포함하였다. 96소자의 포화점은 2.05[A], 1.50[Vs]로 정격전류의 20배로 설계하였다. 변류기의 변류비는 40:1이고, 자화 곡선은 EMTF를 모의하여 얻었고 변류기의 부담은 4.030이다. 공극의 인덕턴스는 공극의 길이에 따라 각각의 값을 식 (6)을 통해 취득하였다. 이 때 공극을 넣기 전 철심 자로의 길이는 0.83m, 단면적은 0.016m², N=40 그리고 μ_0 는 진공에서의 공기 투자율이다. 주기 당 64샘플 데이터를 사용하고, 저역 통과 필터로 1920Hz의 컷오프 주파수를 갖는 중첩 방지용 1차 RC필터를 사용하였다.

3.1 공극 길이 0.083mm

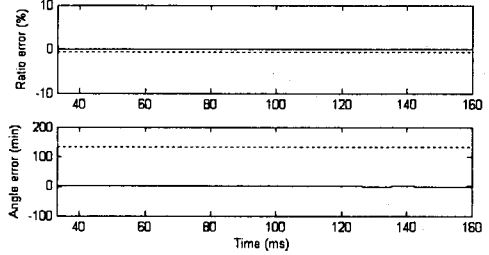
3.1.1 정격의 120% 전류 일 때 보상 결과

그림 4는 공극의 길이가 0.083mm일 때 보상한 결과이다. 그림 4(a)는 1차 전류를 점선으로 측정된 2차 전류를 쇠선으로, 보상한 2차 전류를 실선으로 표시하였다. 그림 4(b)는 비오차와 위상 오차를 보여준다. 보상하기 전 파형을 점선으로 보상한 후 파형을 실선으로 표시하였다.

보상하기 전 비오차는 -0.66%이었으나 보상 후 0.005%로 감소하였고 위상오차 또한 131.5분에서 -0.95분으로 감소하였다.



(a) 1차 전류, 2차 전류, 보상한 2차 전류

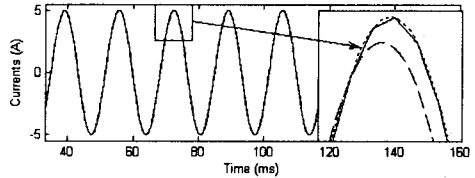


(b) 비오차, 위상오차

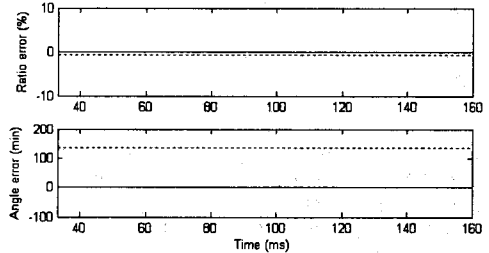
그림 4 공극: 0.083mm, 정격의 120% 일 때의 보상

3.1.2 정격 전류에서 보상 결과

비오차는 -0.65%에서 0.08%로 감소하였고 위상오차 또한 134.5분에서 -0.50분으로 감소하였다.



(a) 1차 전류, 2차 전류, 보상한 2차 전류

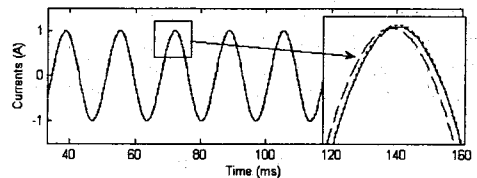


(b) 비오차, 위상오차

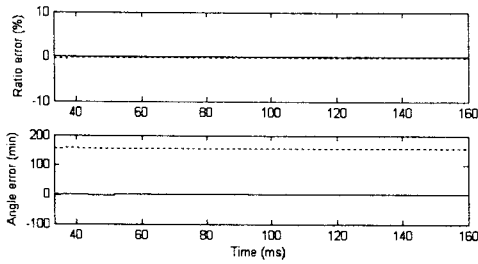
그림 5 공극: 0.083mm, 정격 전류일 때의 보상

3.1.3 정격의 20% 전류 일 때 보상 결과

비오차는 -0.30%에서 0.004%로 감소하였고 위상오차 또한 156.1분에서 -0.44분으로 감소하였다.



(a) 1차 전류, 2차 전류, 보상한 2차 전류



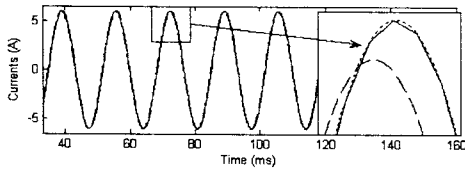
(b) 비오차, 위상오차

그림 6 공극: 0.083mm, 정격의 20% 일 때의 보상

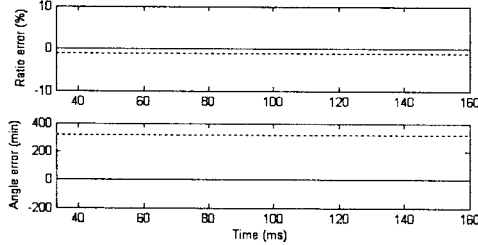
3.2 공극 길이 0.249mm

3.2.1 정격의 120% 전류 일 때 보상 결과

비오차는 -1.02%에서 0.005%로 감소하였고 위상오차 또한 319.3분에서 -0.86분으로 감소하였다.



(a) 1차 전류, 2차 전류, 보상한 2차 전류

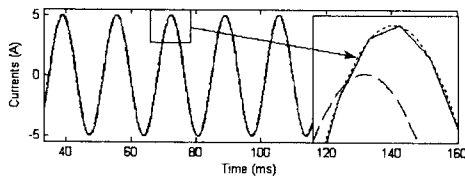


(b) 비오차, 위상오차

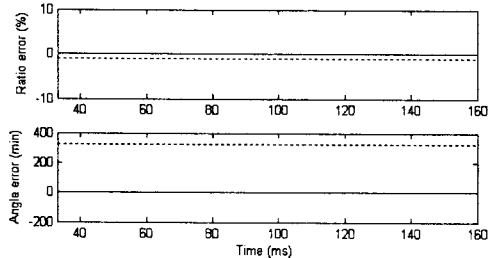
그림 7 공극: 0.249mm, 정격의 120% 일 때의 보상

3.2.2 정격 전류에서의 보상 결과

비오차는 -1.01%에서 0.09%로 감소하였고 위상오차 또한 322분에서 -0.30분으로 감소하였다.



(a) 1차 전류, 2차 전류, 보상한 2차 전류

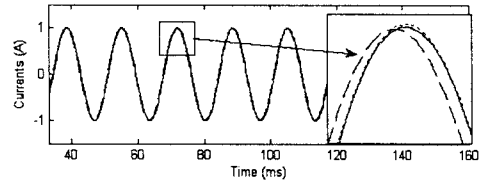


(b) 비오차, 위상오차

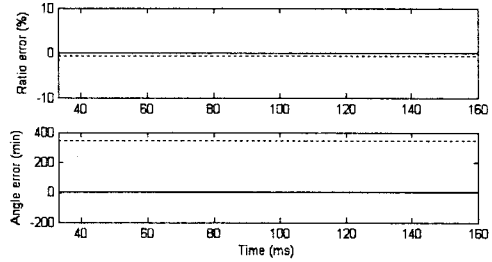
그림 8 공극: 0.249mm, 정격 전류일 때의 보상

3.2.3 정격의 20% 전류 일 때 보상 결과

비오차는 -0.72%에서 0.004%로 감소하였고 위상오차 또한 345.6분에서 0.80분으로 감소하였다.



(a) 1차 전류, 2차 전류, 보상한 2차 전류



(b) 비오차, 위상오차

그림 9 공극: 0.249mm, 정격의 20% 일 때의 보상

4. 결 론

본 논문에서는 정상상태에서 공극 변류기의 오차 보상 방법을 제안하였다. 제안한 알고리즘은 여자전류를 구한 후 측정된 2차 전류에 더함으로써 2차 전류를 추정하는 방법이다. 이때 여자전류는 철손 전류와 공극 변류기의 자화 전류로 나뉜다.

정격전류, 정격전류의 120%, 20%에서 공극 길이가 다른 두 가지의 공극 변류기를 모의하였다. 위 사례를 통해 공극의 길이가 길어질수록 보상하지 않은 경우에는 비오차와 위상오차가 모두 증가하지만, 보상 알고리즘을 적용하면 코어의 단면적 증가 없이 정밀도를 향상시킬 수 있음을 확인 할 수 있다.

[참 고 문 헌]

- [1] Dharshana Muthumuni, P.G. McLaren, Waruna Chandrasena, A. Parker "Simulation model of an air gapped current transformer", IEEE, Vol2, pp.705~709, 2001
- [2] An IEEE Power System Relay Committee Report, "GAPPED CORE CURRENT TRANSFORMER CHARACTERISTICS AND PERFORMANCE ", IEEE Transaction Power Delivery, Vol. 5, No4, pp.1732~1737, 1990
- [3] 강용철, 윤재성, 이병은, 강상희, 박종근, "Analysis of Transient Characteristics of Air-Gapped CTs in EHV Transmission Systems", 대한전기학회 추계학술 대회 논문집, 1999
- [4] P.C.Sen, Principles of Electric Machines and Power Electronics, second edition. Wiley, 1997,p7