

철심의 히스테리시스 특성을 고려한 CCVT 2차 전압 보상방법

강용철, 이병은, 정태영, 이지훈*, 김연희, 박종민, 소순홍, 장성일**
전북대학교, ** 한국IED Eng.

Compensating algorithm of the secondary voltage for CCVT considering the hysteresis of a iron core

Y. C. Kang, B. E. Lee, T. Y. Zheng, J. H. Lee, Y. H. Kim, J. M. Park, S. H. So, S. I. Jang**
Chonbuk National University, ** Hankook IED Eng.

Abstract - In the extra and ultra high voltage system, the coupling capacitor voltage transformer (CCVT) measures the primary voltage with a small scale of voltage transformer (VT). However, the CCVT generates errors caused by the hysteresis characteristics of iron core and by the ferroresonance, inevitably. This paper proposes a compensation algorithm for the secondary voltage of a CCVT considering the hysteresis characteristics of an iron core. The proposed algorithm calculates the secondary current of a VT by summing the current flowing the ferroresonance circuit and the burden current; it estimates the secondary voltage of a VT; then the core flux is calculated by integrating of the secondary voltage of a VT, then estimates the exciting current using $\lambda-i$ characteristic of the core. The method calculates a primary voltage of a VT considering the estimated primary current. Finally, the correct voltage is estimated by compensating the voltage across the inductor and capacitor. The performance of the proposed algorithm was tested in a 345kV transmission system. The test results show that the proposed method can improve the accuracy of the secondary voltage of a CCVT.

1. 서 론

보호 계전기의 입력과 측정을 목적으로 계통의 높은 전압을 낮은 전압신호로 변환하기 위하여, 전압 변성기 (voltage transformer, VT)가 사용된다. 초고압(EIIV) 또는 극 초고압(UEIIV) 시스템에서는 커패시터로 계통전압을 분압하는 CCVT(coupling capacitor voltage transformer)를 널리 사용한다. 커패시터 사용으로 인하여 CCVT 2차 전압의 위상이 1차 전압의 위상과 달라지기 때문에, 이를 보상하기 위하여 인덕터를 사용한다.

보상하는 인덕터의 값은 정상상태 시 기본과 성분을 기초로 하여 결정된다. 그런데 사고 발생 시 나타나는 고조파 성분으로 인하여 커패시터와 인덕터 사이에 전압 강하가 일어나게 되어 CCVT의 2차 전압에 오차가 발생하게 된다. [1] 그리고 계통 사고 시 전압이 감소하면 철심의 자화 곡선이 ankle point까지 감소하여 오차가 급격히 증가하는 특성을 가지고 있다.

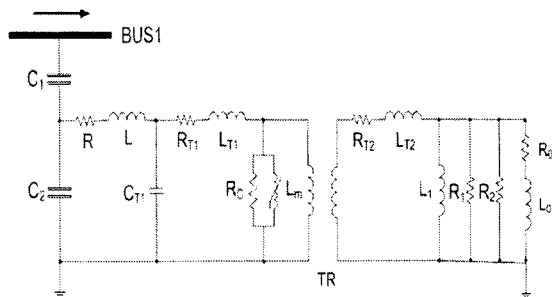
본 논문에서는 철심의 비선형 자화특성을 고려한 CCVT 2차 전압 보상 알고리즘을 제안한다. 먼저, CCVT의 2차 전압으로부터 부담에 흐르는 전류와 철공진 억제회로에 흐르는 전류를 계산하고, 이를 더하여 VT의 2차 전류를 계산한 후에 VT의 2차 전압을 계산한다. 이로부터 철심의 자속을 계산하여 여자 전류를 계산하고 VT의 1차 전압을 계산한다. 인덕터와 커패시터에 걸리는 전압을 보상하여 정확한 CCVT의 1차 전압을 계산한다. 제안한

방식을 EMTP를 이용하여 생성한 데이터를 통하여 다양한 조건에서 검증하였다.

2. CCVT 2차 전압 보상 방법

2.1 CCVT 및 테브난 등가회로

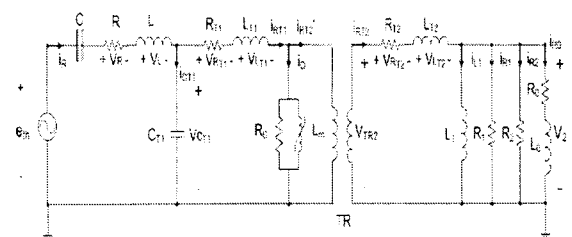
CCVT 등가회로는 그림 1과 같다. [2]



- C_1, C_2 : 분압 커패시터
- R, L : 공진 저항, 인덕터
- $C_{1'}$: equivalent stray capacitance
- R_{T1}, L_{T1} : 1차측 권선저항, 누설인덕터
- R_c : 철손저항
- L_m : 자화 인덕턴스
- TR : 이상 변압기
- R_{T2}, L_{T2} : 2차측 권선저항, 누설 인덕터
- L_b, R_b, R_c : 철공진 방지회로
- R_b, L_b : 부담

그림 1. CCVT 등가회로

CCVT의 테브난 등가회로는 그림 2와 같다.



- C : $C_1 + C_2$
 - $e_{\#}$: CCVT의 테브난 등가 전원
- 그림 2. CCVT의 테브난 등가회로

2.2 제한한 전압 보상 방법

송전선 사고 시, CCVT는 히스테리시스 특성과 철공진현상으로 인하여 오차가 발생한다. 본 논문에서는 철심의 비선형 특성과 철공진 현상을 고려하여 전압을 보상하는 방법을 제안한다.

제안한 알고리즘의 흐름도는 그림 3과 같다.

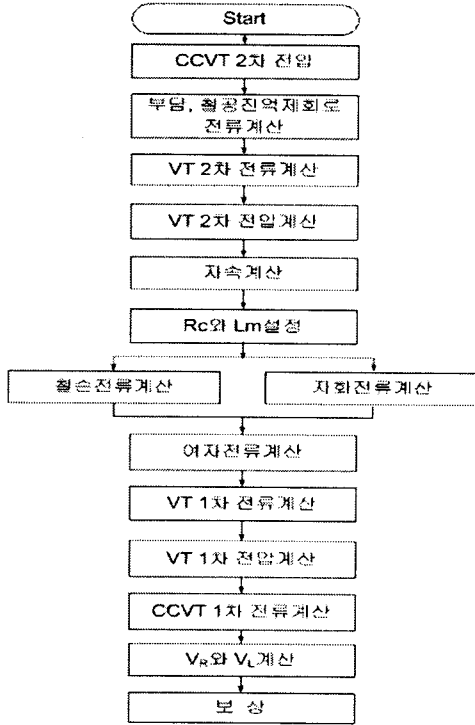


그림 3. 제안한 알고리즘의 흐름도

보상 방법은 측정된 CCVT 2차 전압으로부터 부담에 흐르는 전류와 철공진 억제회로에 흐르는 전류를 계산한다. 이 값을 더하여 VT의 2차 전류를 구한 후에 VT의 2차 전압을 계산한다. 이로부터 철심의 자속을 구하고, 자화 곡선에 대입하여 자화 전류를 계산한다. 또한, 자속이 0이 될 때의 자화 전류는 0이 된다. 자화 전류가 0인 순간의 여자 전류는 철손 전류와 같기 때문에 여자 전류와 2차 전압으로부터 철손 저항을 계산할 수 있다. 구해진 철손 저항과 2차 전압을 이용하여 철손 전류를 계산한다. 제안한 방식은 2차 전류에 자화 전류와 철손 전류를 더하여, 보상한 VT 1차 전류를 얻는다. VT의 1차 전압을 구한 후 CCVT 1차 전류를 얻어 인덕터와 커패시터에 걸리는 전압을 보상하여 정확한 CCVT의 1차 전압을 계산한다. 최종적으로 테브란 등가회로를 이용하여 $v_{BUS1}(t)$ 값을 얻을 수 있다.

3. 사례 연구

3.1 모델계통

제안된 방식의 성능을 검증하기 위하여 그림 4와 같은 모델 계통을 선택하였고, CCVT는 EMTPL를 사용하여 모델링 하였다. 전압은 345KV이고, 전체 송전선의 길이는 100km이다. 설치된 CCVT는 포화점이 0.001 A 45 V인 type 96소자를 사용하였다.

주기 당 64샘플의 데이터를 사용하였으며, 지역통과 필터로는 컷오프가 1920Hz인 중점방지용 2차 바터워스 필터를 사용하였다.

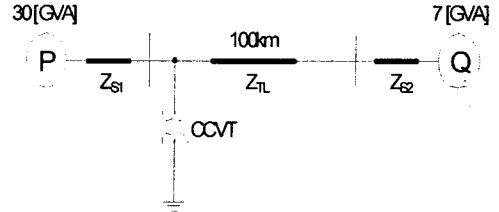
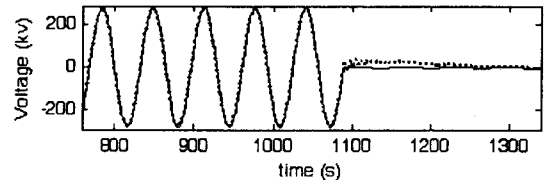


그림 4. 모델계통

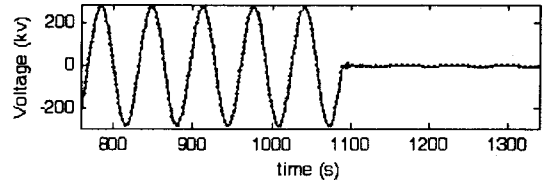
3.2. 사고모의

3.2.1 사고거리 100m, 부담 $R_o = 14.6 \Omega$, $L_o = 80.2 \text{ mH}$

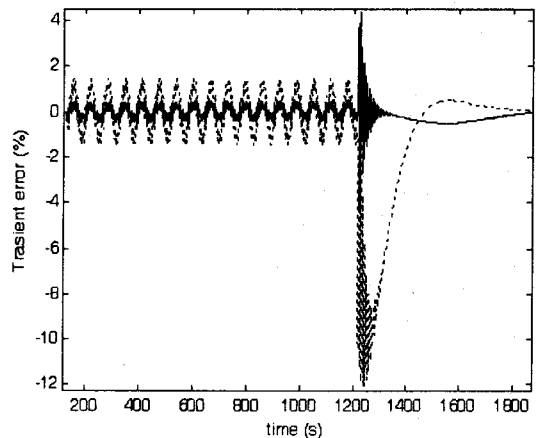
그림 5는 0° 3상 지락사고 시, 사고거리를 100m로 하고, 부담을 $R_o = 14.6 \Omega$, $L_o = 80.2 \text{ mH}$ 로 하여 사고를 모의하였다. 그림 5a에서 점선은 CCVT 입력전압을 보상 안한 경우이며, 실선은 CCVT 실제 입력전압을 나타내었다. 그림 5b에서 점선은 보상한 CCVT 입력전압을 나타내었고, 실선은 CCVT 실제 입력전압을 나타내었다. 그림 5c는 사고 발생 시 과도오차를 나타내었다. 점선은 보상 안한 경우의 CCVT의 과도오차를 나타낸 것이고, 실선은 보상한 경우에 과도오차를 나타낸 것이다. 사고 전에 과도오차는 보상 안한 경우 1.5%이며, 제안한 알고리즘을 적용하여 보상한 오차는 0.5%이다.



(a) 1차 전압과 보상하지 않은 2차 전압



(b) 1차 전압과 보상한 2차 전압

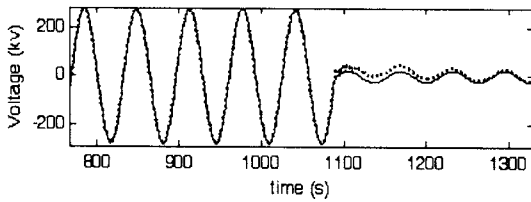


(c) 보상 안한 경우와 보상한 경우의 과도오차

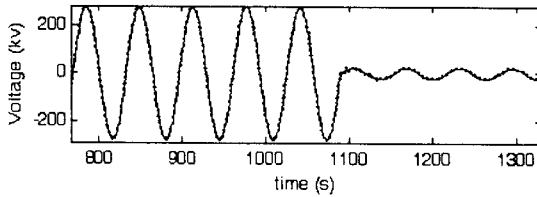
그림 5. 사고거리 100m, 부담 $R_o = 14.6 \Omega$, $L_o = 80.2 \text{ mH}$ 경우

3.2.2 사고거리 1km, 부담 $R_0 = 14.6 \Omega$, $L_0 = 80.2 \text{ mH}$ 인 경우

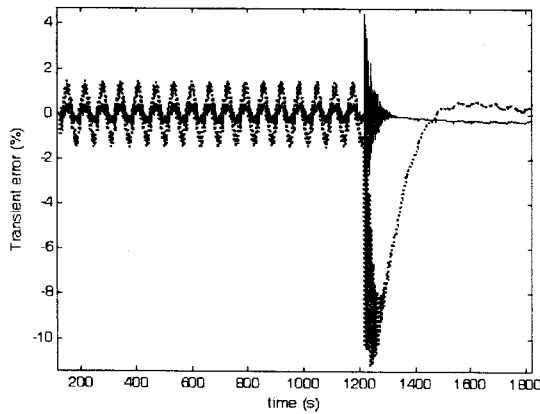
그림 6은 0° 3상 지락사고 시, 사고거리를 1km로 하고, 부담을 $R_0 = 14.6 \Omega$, $L_0 = 80.2 \text{ mH}$ 로 하여 사고를 모의하였다. 그림 6a에서 점선은 CCVT 입력전압을 보상 안한 경우이며, 실선은 CCVT 실제 입력전압을 나타내었다. 그림 6b에서 점선은 보상한 CCVT 입력전압을 나타내었고, 실선은 CCVT 실제 입력전압을 나타내었다. 그림 6c는 사고 발생 시 과도오차를 나타내었다. 점선은 보상 안한 경우의 CCVT의 과도오차를 나타낸 것이고, 실선은 보상한 경우에 과도오차를 나타낸 것이다. 사고 전에 과도오차는 보상 안한 경우 1.4%이며, 제안한 알고리즘을 적용하여 보상한 오차는 0.4%이다.



(a) 1차 전압과 보상하지 않은 2차 전압



(b) 1차 전압과 보상한 2차 전압



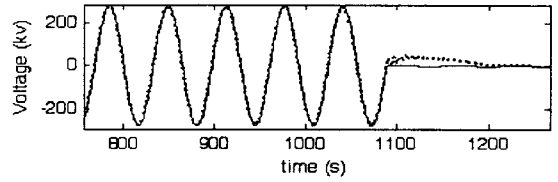
(c) 보상 안한 경우와 보상한 경우의 과도오차

그림 6. 사고거리 1km, 부담 $R_0 = 14.6 \Omega$, $L_0 = 80.2 \text{ mH}$ 경우

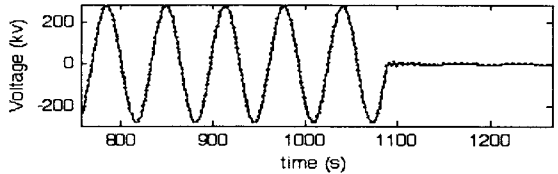
3.2.3 사고거리 100m, 부담 $R_0 = 7.3 \Omega$, $L_0 = 40.1 \text{ mH}$ 인 경우

그림 7은 0° 3상 지락사고 시, 사고거리를 100m로 하고, 부담을 $R_0 = 7.3 \Omega$, $L_0 = 40.1 \text{ mH}$ 로 하여 사고를 모의하였다. 그림 7a에서 점선은 CCVT 입력전압을 보상 안한 경우이며, 실선은 CCVT 실제 입력전압을 나타내었다. 그림 7b에서 점선은 보상한 CCVT 입력전압을 나타내었고, 실선은 CCVT 실제 입력전압을 나타내었다. 그림 7c는 사고 발생 시 과도오차를 나타내었다. 점선은 보상 안한 경우의 CCVT의 과도오차를 나타낸 것이고, 실선은 보상한 경우에 과도오차를 나타낸 것이다. 사고 전에 과도오차는 보상 안한 경우 2.5%이며, 제안한 알고리즘을 적용하여 보상한 오차는 0.6%이다.

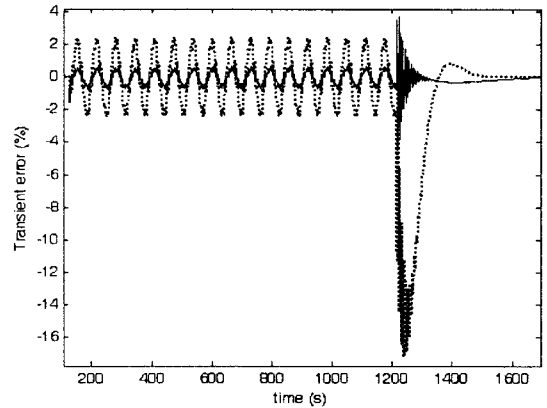
리즘을 적용하여 보상한 오차는 0.6%이다.



(a) 1차 전압과 보상하지 않은 2차 전압



(b) 1차 전압과 보상한 2차 전압



(c) 보상 안한 경우와 보상한 경우의 과도오차

그림 7. 사고거리 100m, 부담 $R_0 = 7.3 \Omega$, $L_0 = 40.1 \text{ mH}$ 경우

4. 결 론

본 논문에서는 CCVT 2차 전압 보상 방법을 제안하였다. 먼저, CCVT의 2차 전압으로부터 부담에 흐르는 전류와 철공진 억제회로에 흐르는 전류를 계산하고, 이를 더하여 VT의 2차 전류를 계산한 후에 VT의 2차 전압을 계산한다. 이로부터 철심의 자속을 계산하여 여자 전류를 계산하고 VT의 1차 전압을 계산한다. 인덕터와 커패시터에 걸리는 전압을 보상하여 정확한 CCVT의 1차 전압을 계산한다.

3상 지락사고에서 제안한 보상 알고리즘을 적용하였을 경우, 전압 오차가 크게 줄어들음을 보였다. 사고 거리, 부담을 달리하여 모의하였고, 제안한 보상 알고리즘은 CCVT의 전압의 오차를 크게 감소시킬 수 있었다.

제안한 방식에서는 오차가 적은 CCVT의 전압을 출력 전압으로 얻을 수 있고, 이 전압을 이용하는 보호 계전기의 성능을 향상시킬 수 있는 장점이 있다.

[참 고 문 헌]

[1] Juris Rungis, "Investigation of Capacitor Voltage Transformers", IEEE International Symposium on Electrical Insulation, pp. 388-391, 1990
 [2] J.Jzykowski, B. Kasztenny, E.Rosolowski, M.M.Saha, B. Jilistrom, Dynamic Compensation of Capacitive Voltage Transformers IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 13, No. 1, January 1998