

CCVT 2차 전압 보상 방법

강용철, 이병은, 김은숙, 정태영, 이지훈, 소순홍, 차선희, 김연희
 전북대학교 전자정보공학부

Compensation Algorithm of CCVT's Secondary Voltages

Yongcheol Kang, Byungeun Lee, Enshu Jin, Taiying Zheng, Jihoon Lee, Soonhong So, Sunhee Cha, Yeonhee Kim
 Chonbuk National University

Abstract - Coupling capacitor voltage transformers (CCVT) are widely used in high voltage power systems to obtain standard low voltage signal for protective relaying and measuring instruments. To obtain high accuracy, capacitances and inductances are tuned to the power system frequency, making a parallel resonant circuit. When no fault occurs, no distortion of the secondary voltage is generated. However, when a fault occurs, harmonics generated break the resonance between capacitances and inductance, which generates the distortion of the secondary voltage. This paper proposes an algorithm for compensating the secondary voltage of the CCVT. With the values of the secondary voltage of the CCVT, the secondary currents, the primary currents and the voltages across the capacitors and inductor are calculated. Test results indicate that the proposed algorithm can compensate the distorted secondary voltage of the CCVT, and is irrespective of the fault distance, the fault inception angle and the burden.

1. 서 론

전력시스템에서 보호 계전기의 입력과 측정을 목적으로 계통의 높은 전압을 낮은 전압으로 변환하는 전압 변성기(voltage transformer, VT)가 쓰이며, 초고압(EHV) 또는 극 초고압(UHV) 계통에서는 커패시터로 계통전압을 분압하여, 전압 변성기의 입력으로 사용하는 CCVT(coupling capacitor voltage transformer)가 사용된다.

CCVT는 커패시터 때문에 2차 전압의 위상이 1차 전압의 위상과 다르다. 따라서 인덕터를 사용하여 위상차를 보상하고, 보상 인덕터의 값은 정상상태 시 기본파 성분을 기초로 하여 결정된다. 그런데, 사고 발생 시 나타나는 고조파 성분으로 인하여 커패시터와 인덕터의 공진이 깨지게 되며, 커패시터와 인덕터 사이에 전압 강하가 일어나게 되어 CCVT의 2차 전압에 오차가 발생하게 된다. [1]

본 논문에서는 CCVT 2차 전압의 오차를 보상하는 알고리즘을 제안한다. 보상 알고리즘은 테브난 등가회로를 이용하여 CCVT의 2차 전압으로부터 2차 전류 및 1차 전류를 계산하고, 인덕터와 커패시터에 걸리는 전압을 추정하여 이를 보상한다. EMTP로 얻은 데이터를 사용해서 제시한 방식의 성능을 검증한다.

2. CCVT 2차 전압 보상 방법

2.1 CCVT 및 테브난 등가회로

CCVT 등가회로는 그림 1과 같다. [2]

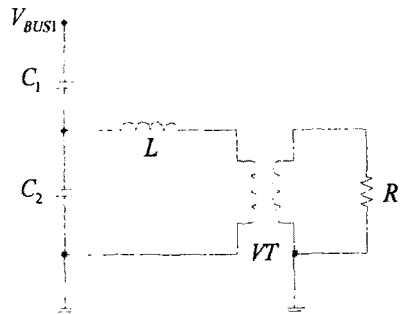


그림 1. CCVT 등가회로

- C_1, C_2 분압 커패시터
- L 공진 인덕터
- VT 전압 변성기
- R 부담

등가회로를 간략화 하기 위해 변압기 권선 저항과 변압기 1, 2차 권선 누설 인덕턴스는 무시하였다.

그림 1의 테브난 등가회로는 그림 2와 같다.

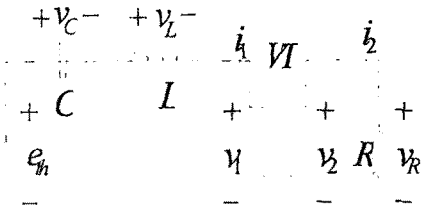


그림 2. CCVT의 테브난 등가회로

- $C = C_1 + C_2$
- e_n : CCVT의 테브난 등가 전원

2.2 제안한 전압 보상 방법

송전선 사고 시, 발생된 고조파 성분 때문에 인덕터와 커패시터 사이의 공진 상태가 깨지게 되어 CCVT의 2차 전압에 오차가 발생한다. 본 논문에서는 커패시터와 인덕터에 걸리는 전압을 보상하는 방법을 제안한다.

제안한 알고리즘의 흐름도는 그림 3과 같다. 그림 2의 CCVT의 테브난 등가회로를 이용한 CCVT 2차 전압 보상의 경우, EMTP를 이용하여 여러 가지 사고 데이터를

생성하여 CCVT의 2차 전압 값을 입력받는다. 다음으로 제안한 보상 알고리즘에 필요한 초기 값 $v_c(0)$ 을 얻기 위해, v_c 를 한 주기 동안 평균하여 계산한다. 보상 방법은 입력받은 2차 전압 값을 이용하여 CCVT의 1, 2차 전류를 계산하고, 계산된 전류를 이용하여 CCVT 1차 측에 있는 $v_c(t)$, $v_L(t)$ 값을 얻는다. CCVT 1차 전압을 계산하고, 테브난 등가회로를 이용하여 $v_{BUS1}(t)$ 값을 얻는다.

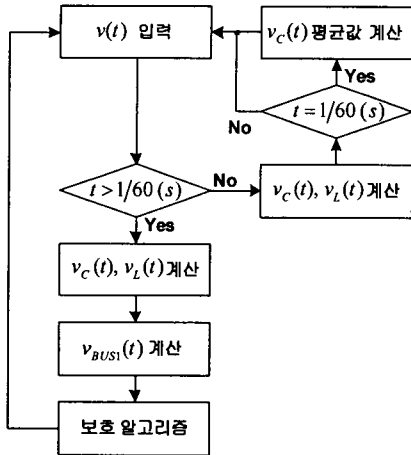


그림. 3. 제안한 알고리즘의 흐름도

전압 변성기 1, 2차 측에 대한 전압, 전류 관계식은 식 (1), (2)와 같다.

$$v_2 = R\dot{i}_2 \quad (1)$$

$$e_{th} = \frac{1}{C} \int i_1 dt + v_c(0) + L \frac{di_1}{dt} + v_1 \quad (2)$$

권선 비를 N_1/N_2 라 하여 식 (1)을 식 (2)에 대입하여 정리하면 식 (3)과 같다.

$$e_{th} = \frac{1}{C} \int i_1 dt + v_c(0) + L \frac{di_1}{dt} + \frac{N_1}{N_2} R\dot{i}_2 \quad (3)$$

송전선 전압 v_{BUS1} 은 식 (3)을 이용하여 식 (4)과 같이 나타낼 수 있다.

$$v_{BUS1} = \frac{C_1 + C_2}{C_1} \times e_{th} \quad (4)$$

3. 사례 연구

3.1 모델계통

제안한 방식의 성능을 검증하기 위하여 그림 4과 같은 모델 계통을 선택하였고, CCVT는 EMTPT를 사용하여 모델링 하였다. 전압은 345KV이고, 전체 송전선의 길이는 100km이다.

주기 당 64샘플의 데이터를 사용하였으며, 저역통과 필터로는 컷오프가 1920Hz인 중첩방지용 2차 버터워스 필터를 사용하였다. 사고 종류, 사고 거리, 사고 위상각, 부담 등 여러 가지를 모의하여 제안한 알고리즘을 검증하였다.

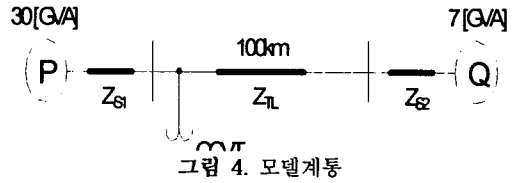


그림 4. 모델계통

3.2 사고 종류

사고 종류는 A상 지락사고, 3상 단락사고, AB선간 단락사고를 모의하였고, 이중 3상 단락사고의 결과만 나타냈다.

그림 5는 모의한 사고 중 3상 단락사고 시, 사고 거리 100m, 사고 위상각 0°, 사고 저항 0Ω 부담 100Ω인 경우의 결과를 나타낸다. 그림 5(a)는 송전선 전압, CCVT 1차측 전압, 보상한 CCVT 1차측 전압을 나타냈고, 그림 5(b)에서는 그림 5(a)를 확대한 전압 파형을 나타냈다. 그림 5(c)는 송전선 전압, CCVT 1차측 전압, 보상한 CCVT 1차측 전압의 오차를 나타냈다. 점선은 보상하지 않은 경우의 오차를 나타내며, 실선은 보상한 경우의 오차를 나타낸다.

3상 단락사고 시 CCVT의 1차측 전압과 송전선 전압 사이에 오차가 발생한다. 그림 5(c)에서 나타난바와 같이 제안한 보상 알고리즘을 적용한 결과 오차가 거의 없다.

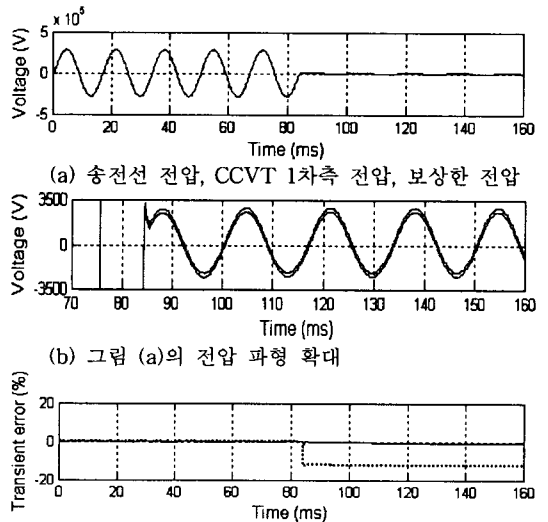


그림 5. 3상 단락사고 시 오차

3.2.1 사고 거리

그림 6는 3상 단락사고 시, 사고 위상각 0°, 사고 저항 0Ω인 경우를 나타냈고, 사고 거리를 100m, 400m, 1km, 10km로 변화시켜 사고를 모의하였다. 부담은 100Ω을 사용하여 측정하였다. 점선은 보상하지 않은 경우의 오차를 나타내며, 실선은 보상한 경우의 오차를 나타낸다.

그림 6에서 나타난바와 같이 사고 시 사고 거리에 따라 오차가 달라짐을 알 수 있다. 즉, 사고 거리 100m일 때 오차가 가장 크게 발생하며, 사고 거리가 10km일 때 오차가 가장 적게 발생했다. 제안한 보상 알고리즘으로 2차 전압을 보상하여 오차가 감소함을 알 수 있다.

3.2.2 사고 위상각

그림 7은 3상 단락사고 시, 사고 거리 100m, 사고 저항 0Ω인 경우를 나타내었고, 사고 위상각을 0°, 30°, 60°, 90°로 변화시켜 사고를 모의하였다. 부담은 100Ω을 사용하여 측정하였다. 점선은 보상하지 않은 경우의 오차를 나타내며, 실선은 보상한 경우의 오차를 나타낸다.

그림 7에서 나타난바와 같이 사고 시 사고 위상각에 따라 오차가 달라짐을 알 수 있다. 즉, 사고 위상각이 0° 일 때 오차가 가장 크게 발생하며, 사고 위상각이 90° 일 때 오차가 가장 적게 발생했다. 제안한 보상 알고리즘으로 2차 전압을 보상하여 오차가 감소함을 알 수 있다.

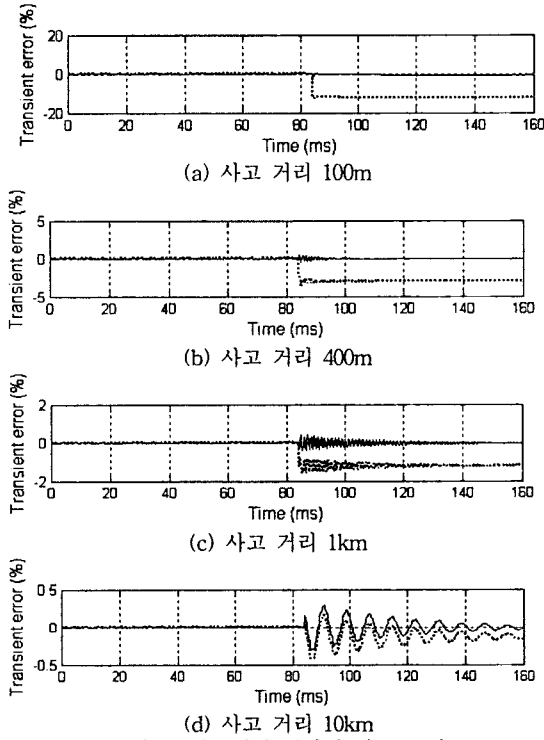


그림 6. 사고거리 변화에 따른 오차

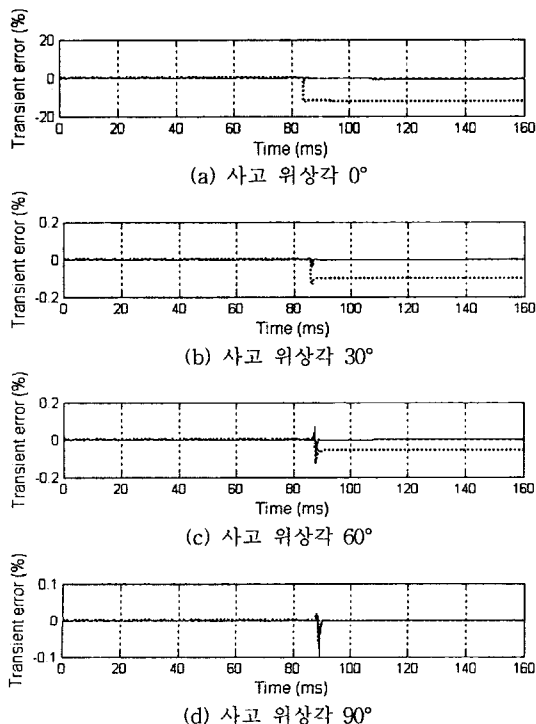


그림 7. 사고 위상각 변화에 따른 오차

3.2.3 부담

그림 8은 3상 단락사고 시, 사고 거리 100m, 사고 위상각 0° , 사고 저항 0Ω 인 경우를 나타냈고, 부담을 10Ω , 50Ω , 100Ω 로 변화시켜 사고를 모의했다. 점선은 보상하지 않은 경우의 오차를 나타내며, 실선은 보상한 경우의 오차를 나타낸다.

그림 8에서 나타난바와 같이 사고 시 부담에 따라 오차가 달라짐을 알 수 있다. 즉, 부담이 10Ω 일 때 오차가 가장 크게 발생하며, 부담이 100Ω 일 때 오차가 가장 적게 발생했다. 제안한 보상 알고리즘으로 2차 전압을 보상하여 오차가 감소함을 알 수 있다.

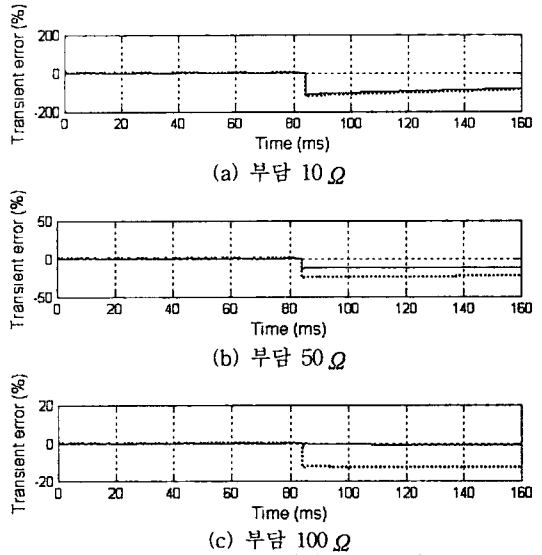


그림 8. 부담 변화에 따른 오차

4. 결 론

본 논문에서는 CCVT 2차 전압 보상 방법을 제안하였다. 제안한 방식은 테브난 등가회로를 이용하여 커패시터와 인덕터에 걸리는 전압을 추정하여 CCVT의 2차 전압을 보상하였다.

사례연구에서 나타난 바와 같이 3상 단락사고에서 제안한 보상 알고리즘을 적용하였을 경우, 전압 오차가 크게 줄어들음을 보였다. 사고 거리, 사고 위상각, 부담을 달리하여 모의하였고, 제안한 보상 알고리즘을 적용하였을 경우 전압 오차가 크게 줄어들음을 알 수 있었다.

제안한 방식에서는 기존의 방식보다 오차가 작은 전압 변성기의 출력전압을 얻을 수 있으므로 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] Stanley H. Horowitz, Arun G. Phadke, "Power system Relaying"