

# 코어의 히스테리시스 특성을 고려한 CCVT 2차 전압 보상 알고리즘

논문

58-8-1

## Compensation Algorithm for the Secondary Voltage of a Coupling Capacitor Voltage Transformer by Considering the Hysteresis Characteristics of the Core

강용철\* · 정태영† · 강해권\*\* · 장성일\*\*\* · 김용균§

(Yong-Cheol Kang · TaiYing Zheng · Hae-Gweon Kang · Sung-Il Jang · Yong-Gyun Kim)

**Abstract** - This paper proposes a compensating algorithm for the secondary voltage of a coupling capacitor voltage transformer (CCVT) in the time domain by considering the hysteresis characteristics of the core. The proposed algorithm estimates the three error terms i.e. the voltage across the secondary winding parameters, the voltage across the primary winding parameters, and the voltage across the capacitor and the tuning reactor. These three terms are added to the measured secondary voltage to obtain the correct voltage. The algorithm reduces the errors of the CCVT significantly both in the steady state and during a fault. The performance of the algorithm is verified under the various fault conditions by varying the fault distance, the fault inception angle, and the fault impedance with the EMTP generated data. Test results clearly indicate that the algorithm can increase the accuracy of a CCVT significantly under the fault conditions as well as in the steady state. The algorithm helps improve the performance of a protection relay or a metering device.

**Key Words** : CCVT, Compensation, Hysteresis Characteristic, Transient Components, Time Domain

### 1. 서론

초고압 또는 극 초고압 계통에서는 높은 전압으로 인하여 전력 계통과 보호 계전기 또는 다른 장비들 사이의 전기적 절연/비용 문제를 일으키기 때문에, 전압 변성기(voltage transformer, VT) 대신 CCVT(Coupling Capacitor Voltage Transformer)를 사용하여 송전선의 전압을 측정한다[1-3].

그런데, 커패시터에 걸리는 전압 때문에 CCVT의 2차 전압의 위상이 1차 전압의 위상과 다르게 된다. 이 위상차를 보상하기 위하여 튜닝 리액터를 사용하는데, 인덕턴스의 값은 정상상태 시 기본파 성분을 기초로 하여 결정된다[1]. 튜닝 리액터를 사용하게 되면, 정상상태 시 CCVT의 오차가 작아진다. 하지만, 코어의 히스테리시스 특성 때문에 CCVT의 1차 전류에 비 기본파 성분이 존재하며, 이로 인하여 CCVT 1차, 2차 전압 사이에는 여전히 오차가 존재한다.

또한, 사고 발생 시에는 정격 주파수 외에 DC 성분과 고조파등 비 기본파 성분이 많이 발생하게 되어, 튜닝 리액터와 커패시터에 걸리는 전압이 커지므로 CCVT의 오차가 발생된다. 이 오차는 사고 위상각이 작은 경우 또는 근거리 사고인 경우에 더 커진다[1]. 따라서 전압을 이용한 보호 계

전기가 오동작 하거나 동작시간이 늦어질 수 있다. CCVT의 과도 특성에 대한 연구는 많이 이루어지고 왔으며[2, 3].

CCVT의 오차를 주파수 영역[4]과 시간영역[5]에서 감소시키는 방법이 제안되었다. 참고문헌 [4]에서는 CCVT 모델을 라플라스 변환하여 주파수 영역에서 오차를 보상하며, 참고문헌 [5]에서는 CCVT의 등가회로를 시간영역에서 해석하여 오차를 보상한다. 하지만, 두 방식은 코어의 히스테리시스 특성을 고려하지 못하므로 오차 개선에는 한계가 있다. 또한, 참고문헌 [5]에서는 CCVT의 오차 성분인 튜닝 리액터의 권선 저항과 변압기의 1, 2차 권선 파라미터 각각에 걸리는 전압을 고려하지 않았기 때문에, 오차 개선에 한계가 많다.

본 논문에서는 코어의 히스테리시스 특성을 고려한 CCVT의 왜곡된 2차 전압을 시간영역에서 보상하는 알고리즘을 제안한다. 측정된 CCVT의 2차 전압으로부터 VT의 2차 전압과 전류를 계산한다. VT의 권선비와 히스테리시스 특성을 고려하여, VT의 1차 전압과 전류를 계산한다. 이후 튜닝 리액터와 커패시터에 걸리는 전압을 계산하고, 이를 측정전압에 더하여 정확한 1차 전압을 추정한다. 제안한 알고리즘의 성능을 검증하기 위해, EMTP를 이용하여 CCVT를 모델링하였고, 정상상태뿐만 아니라, 사고 위상각, 사고 거리, 사고 임피던스를 변화시켜 다양한 사고 조건에서 모의하였다.

### 2. 히스테리시스 특성을 고려한 CCVT 2차 전압 보상 알고리즘

#### 2.1 보상 알고리즘

그림 1은 CCVT의 모델이며, 분압 커패시터( $C_1, C_2$ ), 튜닝 리액터( $L, R$ ), 비선형 특성을 고려한 강압 변압기( $L_T, R_T$ ),

\* 시니어회원 : 전북대 대학원 전기공학과 부교수 · 공박

† 교신저자, 정회원 : 전북대 대학원 전기공학과 박사과정

E-mail : huanxiong417@hotmail.com

\*\* 준 회원 : 전북대 대학원 전기공학과 석사과정

\*\*\* 정 회원 : 전북대 대학원 전기공학과 연구교수 · 공박

§ 비 회원 : (주)한국IED Eng. 대표이사

접수일자 : 2009년 2월 24일

최종완료 : 2009년 7월 7일

$L_{T2}$ ,  $R_{T2}$ ,  $C_{T1}$ ), 철공진 억제 회로( $L_1$ ,  $R_1$ ), 부담( $R_2$ ,  $R_0$ ,  $L_0$ )을 포함한다. 그림 1에서  $C_2$ 에서 계통 전압쪽으로 테브난 정리를 적용하여 얻은 CCVT의 등가회로를 그림 2에 나타내었다. 테브난 등가 임피던스( $C$ )는 다음과 같다.

$$C = C_1 + C_2 \quad (1)$$

테브난 등가 전압( $e_{th}$ )과 측정된 2차 전압( $v_B(t)$ )의 관계는 다음과 같다.

$$e_{th}(t) = v_{CRL}(t) + v_{RT1}(t) + \frac{N_1}{N_2} \cdot [v_{RT2}(t) + v_B(t)] \quad (2)$$

여기서  $N_1$ 과  $N_2$ 는 VT의 1, 2차 권선수이다. 변압기 2차 권선 파라미터에 걸리는 전압( $v_{RT2}(t)$ ), 변압기 1차권선 파라미터에 걸리는 전압( $v_{RT1}(t)$ ), 분압 커패시터와 튜닝 리액터에 걸리는 전압( $v_{CRL}(t)$ )은 CCVT의 오차 성분이다.  $v_B(t)$ 는 측정할 수 있으므로,  $v_{RT2}(t)$ ,  $v_{RT1}(t)$ ,  $v_{CRL}(t)$ 를 계산할 수 있으면, 위 관계식을 이용하여  $e_{th}$ 를 구할 수 있다. 이하에서는  $v_{RT2}(t)$ ,  $v_{RT1}(t)$ ,  $v_{CRL}(t)$ 을 구하는 방법을 설명한다.

### 2.2 변압기 2차권선 파라미터에 걸리는 전압, $v_{RT2}(t)$

그림 2에서, VT의 2차 전류( $i_{VT2}(t)$ )를 구할 수 있으면,  $v_{RT2}(t)$ 는 다음 식과 같이 구할 수 있다.

$$v_{RT2}(t) = R_{T2}i_{VT2}(t) + L_{T2} \frac{di_{VT2}(t)}{dt} \quad (3)$$

$i_{VT2}(t)$ 는 철공진 억제 회로에 흐르는 전류( $i_{L1}(t)$ ,  $i_{R1}(t)$ )와 부담에 흐르는 전류( $i_{R2}(t)$ ,  $i_B(t)$ )의 합이다.  $i_{L1}(t)$ ,  $i_{R1}(t)$ ,  $i_{R2}(t)$ ,  $i_B(t)$ 는 각각 다음 식을 이용하여 계산할 수 있다.

$$v_B(t) = L_1 \frac{di_{L1}(t)}{dt} \quad (4)$$

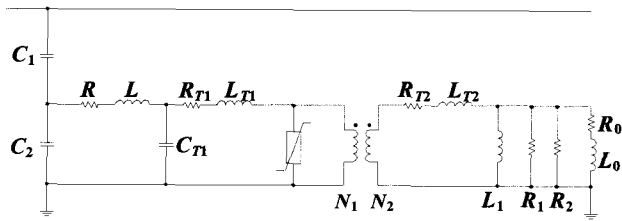


그림 1 CCVT 모델  
Fig. 1 CCVT model

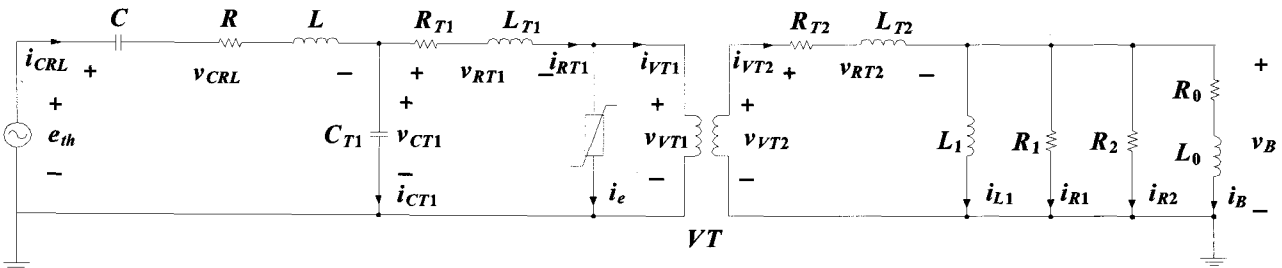


그림 2 CCVT의 등가회로  
Fig. 2 Equivalent circuit of the CCVT

$$v_B(t) = R_1 i_{R1}(t) \quad (5)$$

$$v_B(t) = R_2 i_{R2}(t) \quad (6)$$

$$v_B(t) = R_0 i_B(t) + L_0 \frac{di_B(t)}{dt} \quad (7)$$

### 2.3 변압기 1차권선 파라미터에 걸리는 전압, $v_{RT1}(t)$

변압기 1차권선에 흐르는 전류( $i_{RT1}(t)$ )를 구할 수 있으면,  $v_{RT1}(t)$ 는 식 (8)을 풀어서 구할 수 있다.

$$v_{RT1}(t) = R_{T1}i_{VT1}(t) + L_{T1} \frac{di_{VT1}(t)}{dt} \quad (8)$$

여기서,  $i_{RT1}(t)$ 는  $i_{VT1}(t)$ 과 여자 전류인  $i_e(t)$ 의 합이다.  $i_{VT1}(t)$ 는 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$i_{VT1}(t) = \frac{N_2}{N_1} \cdot i_{VT2}(t) \quad (9)$$

한편  $i_e(t)$ 는 여자 전류 이고, 다음 식과 같이 계산한 자속을 히스테리시스 루프에 대입하여 구할 수 있다.

$$\lambda(t) = \int_{t-\Delta t}^t v_{VT1}(t)dt + \lambda(t-\Delta t) \quad (10)$$

자속의 초기값은 자속의 한주기 값을 이용하여 구할 수 있다. 식 (10)에서,  $v_{VT1}(t)$ 은 다음과 같이 계산한다.

$$v_{VT1}(t) = \frac{N_1}{N_2} \cdot v_{VT2}(t) \quad (11)$$

여기서,  $v_{VT2}(t)$ 는 식 (12)과 같이 얻을 수 있다.

$$v_{VT2}(t) = v_{RT2}(t) + v_B(t) \quad (12)$$

변압기 코어의 자속-자화 전류 곡선 모델[6, 7]은 철손저항의 영향을 고려하지 않으며, 히스테리시스 특성을 모의할 수 없다. 또한, 주 히스테리시스 루프를 이용한 모델[8, 9]은 히스테리시스 특성을 고려하지만, 계산 부담이 큰 단점이 있다.

히스테리시스 루프는 운전 상태에 따라 많이 달라진다. 본 논문에서는 운전 상태에 대응하는 히스테리시스 루프를 구하기 위해서 식 (13)과 같은 수식을 만족하는 시간( $t - \Delta t$ )을 마이너루프의 반전 순간으로 정의하였다. 자세한 히스테리시스루프를 구하는 절차는 그림 3에 나타내었다.

$$[\lambda(t) - \lambda(t - \Delta t)] [\lambda(t - \Delta t) - \lambda(t - 2\Delta t)] < 0 \quad (13)$$

### 2.4 분압 커패시터와 튜닝 리액터에 걸리는 전압, $v_{CRL}(t)$

분압 커패시터와 튜닝 리액터에 흐르는 전류( $i_{CRL}(t)$ )를 구할 수 있으면, 식 (14)를 이용하여  $v_{CRL}(t)$ 를 구할 수 있다.

$$v_{CRL}(t) = \frac{1}{C} \int_{t-\Delta t}^t i_{CRL}(t) dt + v_C(t-\Delta t) + Ri_{CRL}(t) + L \frac{di_{CRL}(t)}{dt} \quad (14)$$

여기서  $v_C(t - \Delta t)$ 는 전 샘플의 분압 커패시터에 걸리는 전압이고, 초기값은  $i_{CRL}(t)$ 의 한주기 값들로부터 구할 수 있다.  $i_{CRL}(t)$ 는  $i_{CT1}(t)$ 과  $i_{RT1}(t)$ 의 합이고,  $i_{CT1}(t)$ 는 다음 식과 같이 구할 수 있다.

$$i_{CT1}(t) = C_N \frac{dv_{CN}(t)}{dt} \quad (15)$$

여기서  $v_{CN}(t)$ 은  $v_{RT1}(t)$ 과  $v_{VT1}(t)$ 의 합이다. 송전선 전압인  $v_{BUS}(t)$ 와  $e_{th}(t)$ 의 관계는 식 (16)과 같다.

$$v_{BUS}(t) = \frac{C}{C_1} \cdot e_{th}(t) \quad (16)$$

따라서 식 (2), (3), (8), (14), (16)을 이용해서 정확한 송전선 전압을 식 (17)과 같이 구할 수 있다.

$$v_{BUS}(t) = \frac{C}{C_1} \cdot [v_{CRL}(t) + v_{RT1}(t) + \frac{N_1}{N_2} \cdot v_{RT2}(t) + \frac{N_1}{N_2} \cdot v_B(t)] \quad (17)$$

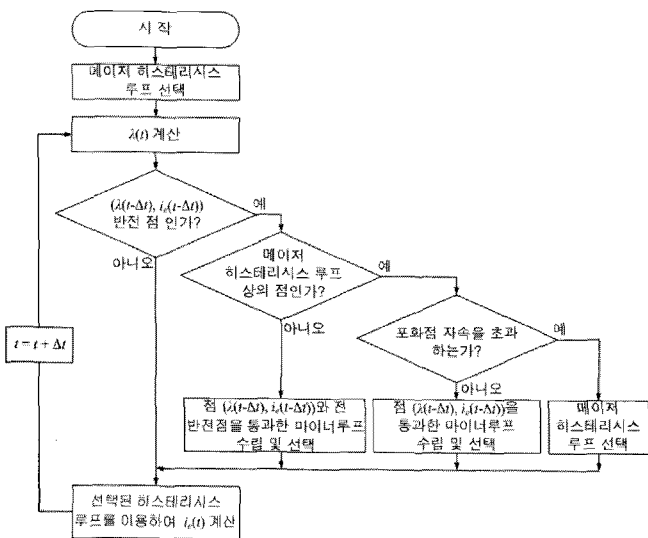


그림 3 여자전류 계산의 흐름도  
Fig. 3 Flow chart of the estimation of the exciting current

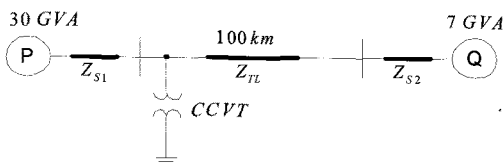


그림 4 모델계통  
Fig. 4 Model system

### 3. 사례 연구

제안한 방식의 성능을 검증하기 위하여 그림 4와 같은 모델 계통을 선택하였고, EMTTP를 사용하여 모델링 하였다. 전압은 345kV이고, 전체 송전선의 길이는 100km이다. 또한, 두 전원의 시정수는 모두 20ms이다. P 모선 쪽에 CCVT를 모델링하였고, 히스테리시스 특성은 EMTTP의 보조 프로그램인 HYSDAT을 이용하여 모의하였다. CCVT의 포화점은 45.206Vs, 0.01A로 하였으며, 변압비는 200:1로 가정하였다. 표 1에 CCVT의 각 파라미터를 나타내었다. 주기 당 64샘플의 데이터를 사용하였으며, 저역통과 필터로는 컷오프 주파수가 1920Hz인 중첩방지용 2차 버터워스 필터를 사용하였다.

2절에서 설명한 바와 같이, CCVT의 주 오차는 분압 커패시터와 튜닝 리액터에 걸리는 전압이고, 이는 CCVT에서 흐르는 전류의 크기에 영향을 미친다. 따라서 사고 위상각, 사고 거리, 사고 임피던스를 변화시켜 다양한 조건에서 모의하여 제안한 알고리즘의 성능을 검증하였다.

#### 3.1 사고 위상각

사고 발생 시에 발생한 비 기본파 성분은 사고 위상각의 영향을 주므로, 사고 위상각을 달리하여 사고를 모의하였다.

사례 1: 3상 단락사고, 사고 거리 1km, 사고 위상각 0°, 사고 저항 0Ω, 사고 시간 33ms.

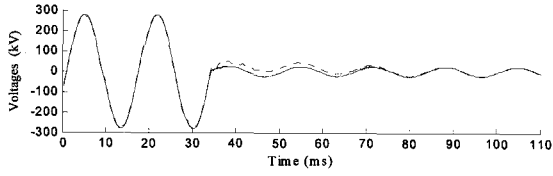
그림 5a에는 1차 전압의 참값, 측정된 값, 보상한 값을 나타내었으며, 실선은 참값, 점선은 측정된 값, 쇄선은 보상한 값이다. 정상상태 시에 보상 알고리즘의 적용 결과를 명확히 확인하기 위하여 그림 5b에서 확대한 전압 파형을 나타내었다. 왼쪽에 나타낸 것은 1차 전압의 참값(실선)과 측정된 전압(점선)이고, 오른쪽에 나타낸 것은 1차 전압의 참값(실선)과 보상한 전압(쇄선)이다. 정상상태에서 오차가 발생함을 그림 5b를 통해서 알 수 있다. 이 때, 측정 전압의 비오차와 위상오차는 -0.873%와 29.99분이 되며, 보상 전압의 비오차와 위상오차는 0.031%와 -0.92분이 된다. 따라서 제안한 보상 알고리즘은 정상 상태에서도 CCVT의 정확도를 크게 향상시킬 수 있음을 알 수 있다.

과도상태 시에 확대한 1차 전압의 참값(실선)과 측정된 값(점선)을 그림 5c에 나타내었다. 과도상태 시 전압의 오차가 크게 발생함을 확인 할 수 있다. 식 (3), (8), (14)를 이용하여  $v_{RT2}$ ,  $v_{RT1}$ ,  $v_{CRL}$ 를 추정하고, 식 (17)을 이용하여  $v_{BUS}$ 를 계산 할 수 있다. 그림 5d에  $v_B$ ,  $v_{RT2}$ ,  $v_{RT1}$ ,  $v_{CRL}$ ,  $v_{BUS}$ 를 나타내었다. 과도상태 시에 확대한 1차 전압의 참값(실선)과 보상한 값(쇄선)을 그림 5e에 나타내었다. 그림 5c와 5e를 비교하면, 전압의 참값과 측정된 값의 차이가 크지만, 전압의 참값과 보상한 값의 차이는 매우 작다.

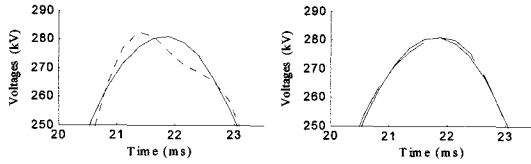
표 1 CCVT 회로 파라미터

Table 1 CCVT circuit parameters

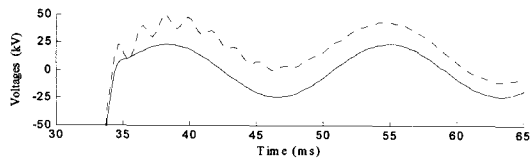
Parameter	크기	Parameter	크기	Parameter	크기
$C_1$	2.2 nF	$R_{T1}$	1.4 kΩ	$R_1$	350 Ω
$C_2$	37.8 nF	$L_{T1}$	1.2 H	$R_2$	445 Ω
$R$	7.95 kΩ	$R_{T2}$	0.125 Ω	$R_0$	14.6 Ω
$L$	176.0 H	$L_{T2}$	0.125 nH	$L_0$	80.2 mH
$C_{T1}$	0.5 nF	$L_1$	0.94 H		



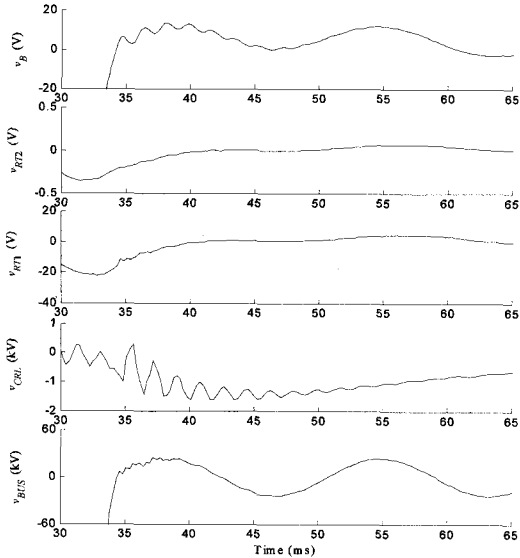
(a) 1차 전압의 참값, 측정값, 보상한 값



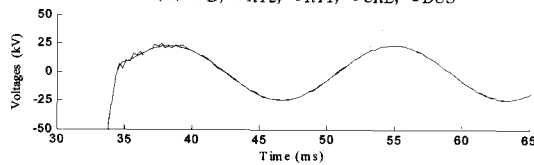
(b) 정상상태 시: 확대한 1차 전압의 참값, 측정값(왼쪽); 확대한 1차 전압의 참값, 보상한 값(오른쪽)



(c) 과도상태 시에 확대한 1차 전압의 참값, 측정값

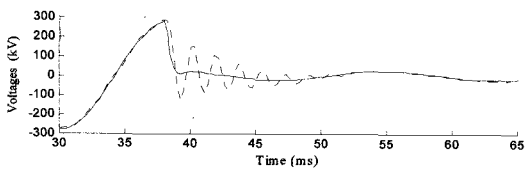


(d)  $V_B, V_{RT2}, V_{RT1}, V_{CRL}, V_{BUS}$

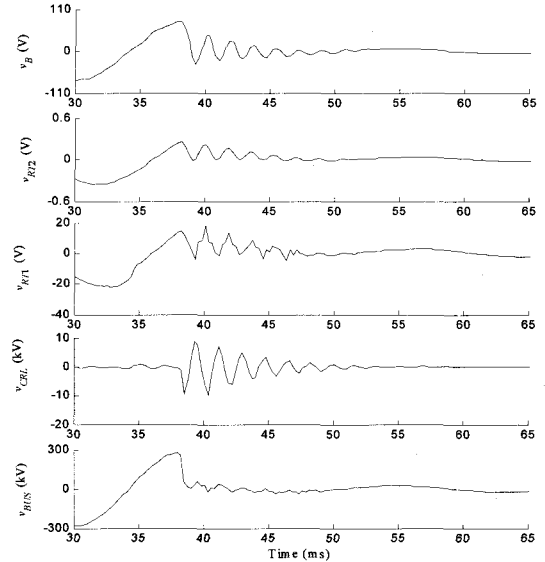


(e) 과도상태 시에 확대한 1차 전압의 참값, 보상한 값

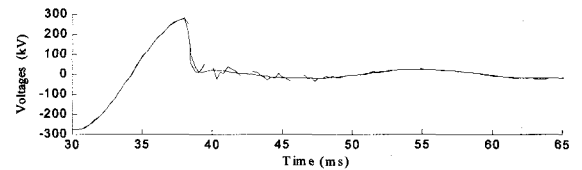
그림 5 사례 1의 결과  
Fig. 5 Results for case 1



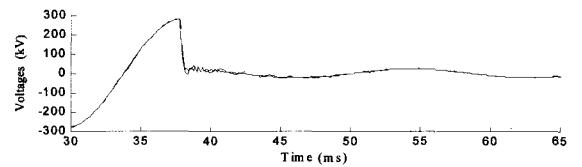
(a) 과도상태 시에 확대한 1차 전압의 참값, 측정값



(b)  $V_B, V_{RT2}, V_{RT1}, V_{CRL}, V_{BUS}$



(c) 과도상태 시에 확대한 1차 전압의 참값, 보상한 값(64 샘플의 보상 결과)



(d) 과도상태 시에 확대한 1차 전압의 참값, 보상한 값(128 샘플의 보상 결과)

그림 6 사례 2의 결과

Fig. 6 Results for case 2

사례 2: 3상 단락사고, 사고 거리 1km, 사고 위상각 90°, 사고 저항 0Ω.

사례 2는 사례 1과 사고 위상각만 다르고, 기타 조건은 모두 같다. 사례 2의 결과를 그림 6에 나타내었다. 과도상태 시에 확대한 1차 전압의 참값(실선)과 측정값(점선)을 그림 6a에 나타내었고,  $V_B, V_{RT2}, V_{RT1}, V_{CRL}, V_{BUS}$ 를 그림 6b에 나타내었으며, 확대한 1차 전압의 참값(실선)과 보상한 값(쇄선)을 그림 6c에 나타내었다. 보상을 통해, CCVT의 오차를 크게 줄일 수 있지만, 이 오차에는 분압 커패시터와 튜닝 리액터에 걸리는 전압을 계산 할 때 사용한 trapezoidal 방식의 계산 오차가 포함되기 때문에 무시 할 수 없다.

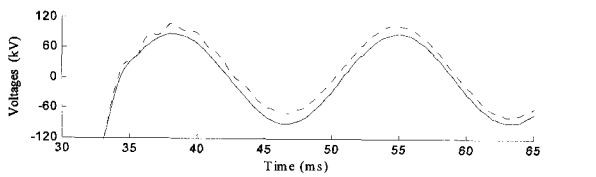
이 오차를 감소시키기 위하여, 보상 알고리즘의 주기 당 샘플 수를 크게 하였다. 주기 당 128샘플로 보상 알고리즘을 적용 한 결과를 그림 6d에 나타내었다. 주기 당 샘플 수가 크면, 보상 알고리즘의 성능이 더 좋아지는 것을 확인 할 수 있다. 그림 5e, 6d에서 나타낸 바와 같이, 제안한 알고리즘은 사고 위상각에 무관하게 오차를 감소시킬 수 있다.

### 3.2 사고 거리

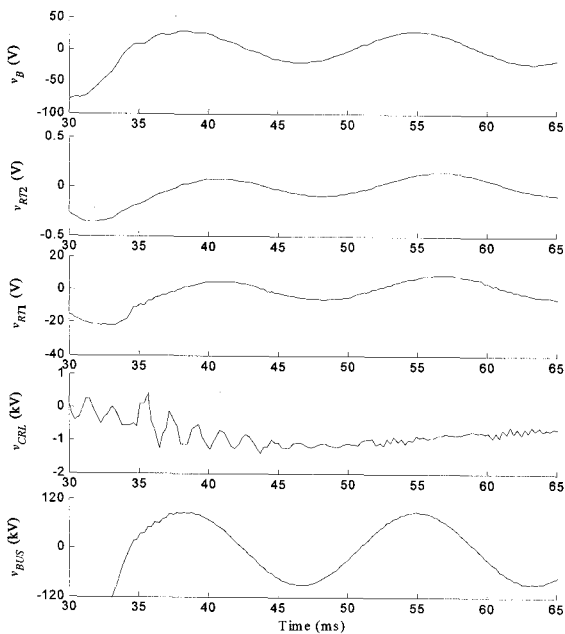
사고 발생 시, 계전 지점의 전압 크기는 사고 거리에 영향을 받는다. 따라서 제안한 보상 알고리즘의 성능을 검증하기 위하여, 사고 거리를 1km부터 50km까지 변화시켜 사고를 모의하였다.

사례 3: 3상 단락사고, 사고 거리 5km, 사고 위상각 0°, 사고 저항 0Ω.

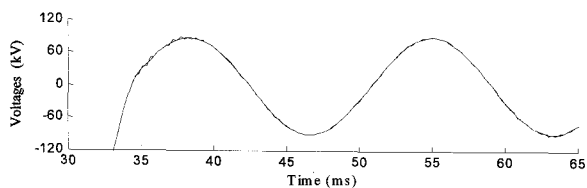
사례 3은 사례 1과 사고 거리만 다르고, 기타 조건은 모두 같다. 사례 3의 결과를 그림 7에 나타내었다. 그림 5e, 7c를 비교했을 때, 사고 거리에 따라 오차가 달라짐을 알 수 있다. 즉, 사고 거리가 짧은 경우에 오차가 크게 발생한다. 그 이유는 2절에서 설명한 바와 같이, 사고 거리가 짧은 경우에, 송전선의 전압강하가 크게 발생하며, 측정된 전압과 보상한 전압의 오차가 모두 크게 발생한다. 그림 5e, 7c에 나타난 바와 같이, 제안한 알고리즘은 사고 거리에 무관하게 CCVT의 오차를 잘 보상함을 알 수 있다.



(a) 과도상태 시에 확대한 1차 전압의 참값, 측정된 값



(b)  $V_B$ ,  $V_{RT2}$ ,  $V_{RT1}$ ,  $V_{CRL}$ ,  $V_{BUS}$



(c) 과도상태 시에 확대한 1차 전압의 참값, 보상한 값

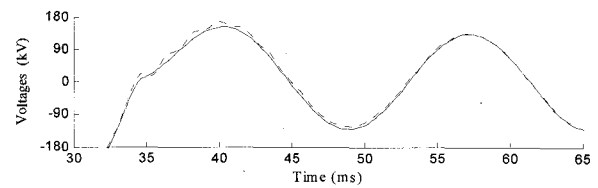
그림 7 사례 3의 결과  
Fig. 7 Results for case 3

### 3.3 사고 임피던스

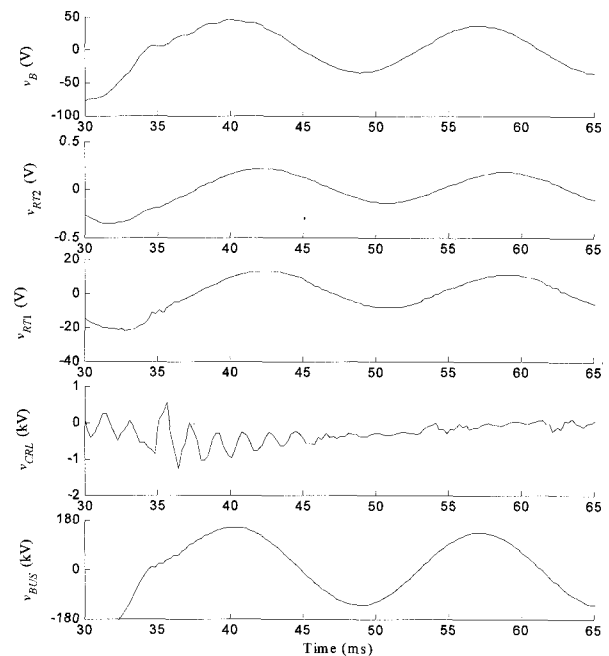
사고 발생 시, 계전 지점의 전압 크기는 사고 임피던스에 도 영향을 받는다. 따라서 제안한 보상 알고리즘의 성능을 검증하기 위하여, 사고 임피던스를 0Ω부터 100Ω까지 변화시켜 사고를 모의하였다.

사례 4: 단상 지락사고, 사고 거리 1km, 사고 위상각 0°, 사고 저항 3Ω.

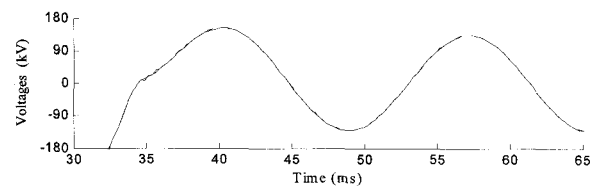
사례 4의 결과를 그림 8에 나타내었다. 사례 1과 사례 4의 결과를 비교 했을 때, 사고 임피던스가 큰 경우(사례 4)에 송전선 전압의 전압강하가 작게 발생하며, 사고 임피던스가 작은 경우(사례 1)보다, 측정된 전압과 보상한 전압의 오차가 모두 작다. 그림 5e, 8c에 보인 바와 같이 제안한 알고리즘은 사고 임피던스에 무관하게 CCVT의 오차를 크게 감소시킬 수 있다.



(a) 과도상태 시에 확대한 1차 전압의 참값, 측정된 값



(b)  $V_B$ ,  $V_{RT2}$ ,  $V_{RT1}$ ,  $V_{CRL}$ ,  $V_{BUS}$



(c) 과도상태 시에 확대한 1차 전압의 참값, 보상한 값

그림 8 사례 4의 결과  
Fig. 8 Results for case 4

4. 결 론

본 논문에서는 시간 영역에서의 CCVT 2차 전압 보상 알고리즘을 제안하였다. 제안한 알고리즘은 철심의 히스테리시스 특성을 고려하여, 측정된 2차 전압으로부터 2차권선 파라미터에 걸리는 전압, 1차권선 파라미터에 걸리는 전압, 분압 커패시터와 튜닝 리액터에 걸리는 전압을 계산하여, 정확한 송전선 전압을 추정한다.

제안한 알고리즘의 성능을 검증하기 위하여, 정상상태뿐만 아니라, 사고 위상각, 사고 거리, 사고 임피던스를 달리 하여 모의하였고, 제안한 보상 알고리즘을 적용하였을 경우, 정상상태 시 또는 사고 발생 시에 모두 전압 오차가 크게 감소함을 알 수 있었다.

제안한 보상 알고리즘은 정상상태 시 뿐만 아니라, 사고 발생 시에도 정확한 CCVT 출력 전압을 얻을 수 있으므로 이를 사용하는 계량기 또는 보호 계전기의 성능을 향상시킬 수 있는 장점이 있다.

감사의 글

본 과제(결과물)는 지식경제부의 지원으로 수행한 에너지자원인력양성사업의 연구결과입니다.  
(과제번호 : 2006-P-PI-IM-E-01-0000)

참 고 문 헌

- [1] S. H. Horowitz, and A. G. Phadke, Power system relaying, John Wiley and Sons INC., 1992, pp. 48-71.
- [2] J. R. Lucas, P. G. McLaren, W. W. L. Keerthipala, and R. P. Jayasinghe, "Improved simulation models for current and voltage transformers in relay studies," IEEE Trans. Power Delivery, Vol. 7, No. 1, pp. 152-159, Jan. 1992.
- [3] L. Kojovic, M. Kezunovic, and C. W. Fromen, "A new method for the CCVT performance analysis using field measurements, signal processing and EMTP modeling," IEEE Trans. Power Delivery, Vol. 9, No. 4, pp. 1907-1915, Oct. 1994.
- [4] J. Izykowski, B. Kasztenny, E. Rosolowski, M. M. Saha, and B. Hillstrom, "Dynamic Compensation of Capacitive Voltage Transformers," IEEE Trans. Power Delivery, Vol. 13, No. 1, pp. 116-122, Jan. 1998.
- [5] 강용철, 정태영, 이지훈, 장성일, 김용균, "CCVT의 2차 전압 보상 방법," 전기학회 논문지 A, 제57권 제6호, pp. 909-914, 2008년 6월.
- [6] D. O'Kelly, "Hysteresis and eddy-current losses in steel plates with non-linear magnetization characteristics," Proc. IEE, Vol. 119, No. 11, 1972, pp. 1675-1676.
- [7] G. F. T. Widger, "Representation of magnetization curves over extensive range by rational fraction approximations," Proc. IEE, Vol. 116, No. 1, Jan. 1969, pp. 156-160.
- [8] S. Ray, "Digital simulation of B/H excursions for power system studies," Proc. IEE, Vol. 135, Pt C, No. 3, May. 1988, pp. 202-209.
- [9] M. M. Hassani, G. Lachiver, and G. Jasmin, "Numerical simulation of the magnetic core of a transformer in transient operations," Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering, Sep. 1989, pp. 289-291.

저 자 소 개



강 용 철 (姜 龍 澈)

1964년 8월 2일생. 1991년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1993년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1997년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박사). 현재, 전북대 공대 전기공학과 부교수.

Tel: 063-270-2391 Fax: 063-270-2394  
E-mail : yckang@chonbuk.ac.kr



정 태 영 (鄭 太 英)

1982년 4월 17일생. 2004년 중국 절강대 전기공학과 졸업. 2006년 전북대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2006년~현재 전북대 대학원 전기공학과 박사과정

Tel : 063-270-2391 Fax : 063-270-2394  
E-mail: huanxiong417@hotmail.com



강 해 권 (姜 海 權)

1982년 5월 16일생. 2008년 전북대 공대 전자정보공학부 졸업. 2008년~현재 동 대학원 전기공학과 석사과정

Tel : 063-270-2391 Fax : 063-270-2394  
E-mail : khgforever@chonbuk.ac.kr



장 성 일 (張 成 一)

1971년 8월 30일생. 1996년 강원대 전기공학과 졸업. 1998년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2003년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 한국IED 연구소장

Tel : 063-270-2391 Fax : 063-270-2394  
E-mail : sijang@chonbuk.ac.kr



김 용 균 (金 容 均)

1973년 7월 4일생. 2000년 홍익대학교 전기공학과 졸업. 2005년~현재 한국IED 대표이사

Tel : 02-529-2113 Fax : 02-571-9207  
E-mail : codacoda@naver.com