

쇄교자속비를 이용한 3권선 변압기 보호

Three-Winding Transformer Protection Based on Flux Linkage Ratio

姜龍澈* · 李炳銀** · 金恩淑** · 元成浩***

(Yong-Cheol Kang · Byung-Eun Lee · En-Shu Jin · Sung-Ho Won)

Abstract - This paper describes a three-winding transformer protective relaying algorithm based on the ratio of increments of flux linkages (RIFL). To minimize the approximation errors, the algorithm uses integration approximation. The RIFL of the two windings is equal to the turns ratio for all operating conditions except for an internal fault. For a single-phase and three-phase transformer containing the wye-connected windings, the increments of flux linkages (IFL) are calculated. For a three-phase transformer containing the delta-connected windings, the difference of IFL between the two phases are calculated to use the line currents, because the winding currents are practically unavailable. Their ratios are compared with the turns ratio. The comparative study between the proposed and differential approximation methods was conducted. The test results show that the algorithm can reduce the errors resulting from the conventional methods.

Key Words: Ratio of the increments of flux linkage, Magnetic inrush, Internal winding fault, Numerical errors

1. 서 론

3권선 변압기 보호 계전기에도 내부사고와 외부사고가 아닌 것(여자돌입, 과여자, 외부사고)을 구분해야 하며, 이에 전류차동 방식이 주로 사용되고 있다. 하지만, 여자돌입과 과여자 시에 차전류가 발생되므로 전류차동 계전기는 오동작할 수 있으며, 이를 방지하기 위하여 전류, 전압, 자속 등을 억제 또는 블로킹요소로 사용하고 있다[1].

억제요소로서 전류를 사용하는 경우에는, 차전류에 포함되어 있는 고조파를 이용한다[2-5]. 참고문헌 [2]과 [3]에서는 모든 고조파 성분을 억제용으로 사용하였고, 참고문헌 [4]에서는 2조파를 이용하여 계전기 출력을 블로킹하는 방식을 처음으로 도입하였으며, 참고문헌 [5]에서는 2조파와 5조파를 결합하여 억제 또는 블로킹 신호를 만드는 방식을 제안하였다. 이 방식들은 여자돌입 시나 과여자 시에 오동작을 어느 정도 방지할 수 있지만, 차전류에 고조파 성분이 적은 경우에는 오동작 할 수 있으며, 내부사고 시 계전기 동작이 지연되는 단점이 있다. 또한, 3권선 변압기의 경우에는 억제요소를 결정하는데 권선 전류의 조합에 따라 여러 방법이 있으며, 참고문헌 [6]에서는 벡터 차를 억제요소로 사용하는 전류차동 계전기를 제안하였다. 하지만 이 방식은 동작시간이 길며, 계통 및 코어 조건에 영향을 받는다.

이러한 단점을 극복하기 위해서 변압기 모델에 기초한 방식들이 제안되었다[7-10]. 이들은 시간영역에서 동작하기 때문에 동작속도가 매우 빠르다. 하지만, [7]의 방식을 3권선 변

압기로 확장하는 경우에는, 델타 권선전류의 순환 성분을 추정하는 별도의 방법이 필요하다.

참고문헌 [8, 9]에서는 유기 전압비가 여자돌입, 과여자 시에는 권선비와 같은 반면에, 내부사고 시에는 권선비와 같지 않은 원리를 이용하였다. 델타 권선을 포함하는 변압기 경우에는 유기 전압의 차를 이용하였으므로 선전류만을 사용하여 보호가 가능하다. 하지만, [8]에서는 미분항을 근사하는 과정에서 오일러 공식을 이용하므로 수치오차가 큰 반면, [9]에서는 댐핑저항을 사용하여 수치오차를 줄였다. 참고문헌 [10]에서는 미분항을 적분하여 근사하는 방법을 사용한, 쇄교자속비를 이용한 2권선 변압기 보호방식을 제안하였다. 이 방식을 사용하면, [9]의 오차를 더욱 감소할 수 있었다.

본 논문에서는 [10]의 방식을 3권선 변압기에 적용한 연구로써, 쇄교자속비를 이용하는 3권선 변압기 보호 방식에 대해 기술한다. 제안한 방식은 적분을 사용하기 때문에, 미분 근사 방식에 비해 수치 오차가 매우 적다. 여자돌입, 내부사고, 과여자, 외부사고 등의 경우에서 제안한 방식의 성능을 유기 전압비를 이용하는 [9]의 방식과 비교하여 시험하였으며, DSP 보드를 이용하여 실시간 시험을 수행하였다.

2. 쇄교자속비를 이용한 3권선 변압기 보호 알고리즘

2.1 3권선 단상변압기

그림 1은 3권선 단상변압기를 나타낸다. 내부사고가 없다면, 전압은 다음과 같다.

$$v_1 = R_1 i_1 + L_1 \frac{di_1}{dt} + \frac{d\lambda_1}{dt} \quad (1)$$

$$v_2 = -R_2 i_2 - L_2 \frac{di_2}{dt} + \frac{d\lambda_2}{dt} \quad (2)$$

$$v_3 = -R_3 i_3 - L_3 \frac{di_3}{dt} + \frac{d\lambda_3}{dt} \quad (3)$$

여기서 λ_1 , λ_2 와 λ_3 는 각각 1차, 2차, 3차 쇄교자속이다.

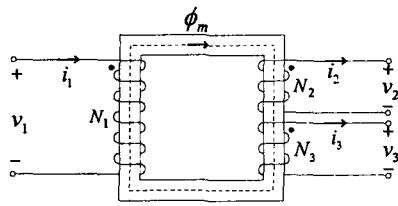
* 正會員 : 全北大 電子情報工學部 助教授 · 工博

** 正會員 : 全北大 電氣工學科 博士課程

*** 學生會員 : 全北大 電氣工學科 碩士課程

接受日字 : 2004年 2月 9日

最終完了 : 2004年 5月 6日



v_1, v_2, v_3 : 1차, 2차, 3차 단자전압
 i_1, i_2, i_3 : 1차, 2차, 3차 전류
 N_1, N_2, N_3 : 1차, 2차, 3차 권선수 Φ_m : 상호 자속

그림 1 3권선 단상변압기

Fig. 1 A three-winding single-phase transformer

식 (1), (2), (3)을 다시 정리하면 다음과 같다.

$$\frac{d\lambda_1}{dt} = v_1 - R_1 i_1 - L_{11} \frac{di_1}{dt} \quad (4)$$

$$\frac{d\lambda_2}{dt} = v_2 + R_2 i_2 + L_{22} \frac{di_2}{dt} \quad (5)$$

$$\frac{d\lambda_3}{dt} = v_3 + R_3 i_3 + L_{33} \frac{di_3}{dt} \quad (6)$$

쇄교자속의 증분 $\Delta\lambda_1, \Delta\lambda_2, \Delta\lambda_3$ 는 식 (4)~(6)의 우변을 적분하여 계산하고, 두 권선 간의 쇄교자속의 증분비를 식 (7)과 같이 정의한다.

$$RIFL12 \equiv \frac{\Delta\lambda_1}{\Delta\lambda_2}, RIFL13 \equiv \frac{\Delta\lambda_1}{\Delta\lambda_3} \quad (7)$$

정상상태에서는 여자돌입, 과여자의 경우 RIFL12와 RIFL13은 각각 권선비 $N_1/N_2, N_1/N_3$ 과 같은 반면, 내부사고 시에는 권선비와 같지 않다. 그런데, $\Delta\lambda_1, \Delta\lambda_2, \Delta\lambda_3$ 가 순시값이므로 0을 지나는 순간에는 쇄교자속의 증분비가 권선비와 같지 않다. 따라서, 본 논문에서는 식 (7)의 쇄교자속 증분비 대신, 식 (8)과 (9)의 디렉터를 사용하여 변압기를 보호하고자 한다. 즉, 식 (8)과 (9)로부터 계산한 디렉터의 값이 0이면 내부사고가 아니고, 0이 아니면 내부사고로 판단한다. 디렉터의 값의 의미는 추정한 $\Delta\lambda_1, \Delta\lambda_2, \Delta\lambda_3$ 의 차를 백분율로 표현한 것이 된다.

$$Detector\ 12 = \frac{\Delta\lambda_1 - \frac{N_1}{N_2} \Delta\lambda_2}{\sqrt{2} V_1 \cdot T} \times 100(\%) \quad (8)$$

$$Detector\ 13 = \frac{\Delta\lambda_1 - \frac{N_1}{N_3} \Delta\lambda_3}{\sqrt{2} V_1 \cdot T} \times 100(\%) \quad (9)$$

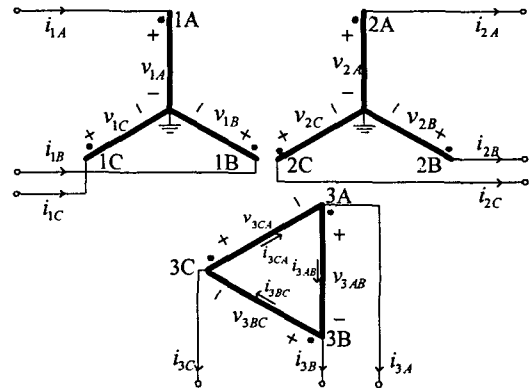
여기서 V_1 는 정격전압의 실효값이고, T 는 시간 간격이다.

2.2 3권선 3상 Y-Y-Δ변압기

본 논문에서는 Y-Y-Δ변압기의 경우에만 기술한다. 그림 2에 3권선 3상 Y-Y-Δ변압기를 나타내었다. 각 권선의 전압은 식 (10)~(18)로 나타낸다.

$$v_{1A} = R_{1A} i_{1A} + L_{1A} \frac{di_{1A}}{dt} + \frac{d\lambda_{1A}}{dt} \quad (10)$$

$$v_{1B} = R_{1B} i_{1B} + L_{1B} \frac{di_{1B}}{dt} + \frac{d\lambda_{1B}}{dt} \quad (11)$$



$v_{1A}, v_{1B}, v_{1C}, i_{1A}, i_{1B}, i_{1C}$: 1차 각 상의 전압, 전류
 $v_{2A}, v_{2B}, v_{2C}, i_{2A}, i_{2B}, i_{2C}$: 2차 각 상의 전압, 전류
 $v_{3AB}, v_{3BC}, v_{3CA}, i_{3AB}, i_{3BC}, i_{3CA}$: 3차 각 상의 전압, 전류
 i_{3A}, i_{3B}, i_{3C} : 3차 각 상의 선전류

그림 2 3권선 3상 Y-Y-Δ변압기

Fig. 2 A three-winding three-phase Y-Y-Δ transformer

$$v_{1C} = R_{1C} i_{1C} + L_{1C} \frac{di_{1C}}{dt} + \frac{d\lambda_{1C}}{dt} \quad (12)$$

$$v_{2A} = -R_{2A} i_{2A} - L_{2A} \frac{di_{2A}}{dt} + \frac{d\lambda_{2A}}{dt} \quad (13)$$

$$v_{2B} = -R_{2B} i_{2B} - L_{2B} \frac{di_{2B}}{dt} + \frac{d\lambda_{2B}}{dt} \quad (14)$$

$$v_{2C} = -R_{2C} i_{2C} - L_{2C} \frac{di_{2C}}{dt} + \frac{d\lambda_{2C}}{dt} \quad (15)$$

$$v_{3AB} = R_{3AB} i_{3AB} + L_{3AB} \frac{di_{3AB}}{dt} + \frac{d\lambda_{3AB}}{dt} \quad (16)$$

$$v_{3BC} = R_{3BC} i_{3BC} + L_{3BC} \frac{di_{3BC}}{dt} + \frac{d\lambda_{3BC}}{dt} \quad (17)$$

$$v_{3CA} = R_{3CA} i_{3CA} + L_{3CA} \frac{di_{3CA}}{dt} + \frac{d\lambda_{3CA}}{dt} \quad (18)$$

Y결선에 해당하는 쇄교자속의 증분 $\Delta\lambda_{1A}, \Delta\lambda_{1B}, \Delta\lambda_{1C}$ 과 $\Delta\lambda_{2A}, \Delta\lambda_{2B}, \Delta\lambda_{2C}$ 는 식 (10)~(15)로부터 직접 계산 가능하다. 반면에, Δ결선에 해당하는 $\Delta\lambda_{3AB}, \Delta\lambda_{3BC}, \Delta\lambda_{3CA}$ 는 권선전류인 $i_{3AB}, i_{3BC}, i_{3CA}$ 를 측정하기 어렵기 때문에, 식 (16)~(18)로부터 직접 계산이 어렵다. 그런데 i_{3A}, i_{3B}, i_{3C} 는 측정가능하기 때문에, 본 논문에서는 이를 이용하기 위해서 선전류와 권선전류간의 관계식 (19)를 이용한다.

$$i_{3CA} - i_{3AB} = i_{3A}, i_{3AB} - i_{3BC} = i_{3B}, i_{3BC} - i_{3CA} = i_{3C} \quad (19)$$

또한, 내부사고가 발생하지 않으면 식 (20)이 성립한다.

$$R_{3AB} \approx R_{3BC} \approx R_{3CA} = R, L_{3AB} \approx L_{3BC} \approx L_{3CA} = L_l \quad (20)$$

식 (18)에서 식 (16)을, 식 (16)에서 식 (17)을, 식 (17)에서 식 (18)를 빼서 정리하면, 다음과 같다.

$$\frac{d\lambda_{3CA}}{dt} - \frac{d\lambda_{3AB}}{dt} = v_{3CA} - v_{3AB} - R i_{3A} - L_l \frac{di_{3A}}{dt} \quad (21)$$

$$\frac{d\lambda_{3AB}}{dt} - \frac{d\lambda_{3BC}}{dt} = v_{3AB} - v_{3BC} - R i_{3B} - L_l \frac{di_{3B}}{dt} \quad (22)$$

$$\frac{d\lambda_{3BC}}{dt} - \frac{d\lambda_{3CA}}{dt} = v_{3BC} - v_{3CA} - Ri_{3C} - L_i \frac{di_{3C}}{dt} \quad (23)$$

$\Delta\lambda_{3AB}, \Delta\lambda_{3BC}, \Delta\lambda_{3CA}$ 를 계산할 수 없지만, 그들의 차는 식 (21)~(23)을 통해서 계산 가능하다. 이와 대응하는 1차 권선의 식은 식 (10)~(12)로부터 다음과 같이 유도된다.

$$\begin{aligned} \frac{d\lambda_{1C}}{dt} - \frac{d\lambda_{1A}}{dt} &= v_{1C} - v_{1A} - (R_{1C}i_{1C} - R_{1A}i_{1A}) - (L_{nC} \frac{di_{1C}}{dt} - L_{nA} \frac{di_{1A}}{dt}) \end{aligned} \quad (24)$$

$$\begin{aligned} \frac{d\lambda_{1A}}{dt} - \frac{d\lambda_{1B}}{dt} &= v_{1A} - v_{1B} - (R_{1A}i_{1A} - R_{1B}i_{1B}) - (L_{nA} \frac{di_{1A}}{dt} - L_{nB} \frac{di_{1B}}{dt}) \end{aligned} \quad (25)$$

$$\begin{aligned} \frac{d\lambda_{1B}}{dt} - \frac{d\lambda_{1C}}{dt} &= v_{1B} - v_{1C} - (R_{1B}i_{1B} - R_{1C}i_{1C}) - (L_{nB} \frac{di_{1B}}{dt} - L_{nC} \frac{di_{1C}}{dt}) \end{aligned} \quad (26)$$

한편, Y-Y- Δ 변압기의 경우에, 1차 권선과 2차 권선 사이에는 식 (27)이, 1차 권선과 3차 권선의 사이에는 식 (28)이 성립한다.

$$\frac{\Delta\lambda_{1A}}{\Delta\lambda_{2A}} = \frac{N_1}{N_2}, \frac{\Delta\lambda_{1B}}{\Delta\lambda_{2B}} = \frac{N_1}{N_2}, \frac{\Delta\lambda_{1C}}{\Delta\lambda_{2C}} = \frac{N_1}{N_2} \quad (27)$$

$$\frac{\Delta\lambda_{1A}}{\Delta\lambda_{3AB}} = \frac{N_1}{N_3}, \frac{\Delta\lambda_{1B}}{\Delta\lambda_{3BC}} = \frac{N_1}{N_3}, \frac{\Delta\lambda_{1C}}{\Delta\lambda_{3CA}} = \frac{N_1}{N_3} \quad (28)$$

$\Delta\lambda_{1A}, \Delta\lambda_{1B}, \Delta\lambda_{1C}, \Delta\lambda_{2A}, \Delta\lambda_{2B}, \Delta\lambda_{2C}$ 는 계산이 가능하므로 식 (27)은 1차-2차 권선간의 디텍터에 직접 적용할 수 있다. 하지만, $\Delta\lambda_{3AB}, \Delta\lambda_{3BC}, \Delta\lambda_{3CA}$ 는 계산 불가능하기 때문에, 식 (28)은 디텍터에 직접 적용이 불가능하다. 따라서, 본 논문에서는 식 (28) 대신에 식 (29)를 사용하여 디텍터를 구하였다. 식 (28), (29)는 필요충분 조건이다.

$$\frac{\Delta\lambda_{1C} - \Delta\lambda_{1A}}{\Delta\lambda_{3CA} - \Delta\lambda_{3AB}} = \frac{N_1}{N_3}, \frac{\Delta\lambda_{1A} - \Delta\lambda_{1B}}{\Delta\lambda_{3AB} - \Delta\lambda_{3BC}} = \frac{N_1}{N_3}, \frac{\Delta\lambda_{1B} - \Delta\lambda_{1C}}{\Delta\lambda_{3BC} - \Delta\lambda_{3CA}} = \frac{N_1}{N_3} \quad (29)$$

따라서, 식 (27)과 식 (29)로부터 다음과 같은 디텍터를 얻을 수 있다.

$$Detector\ 1 = \frac{\Delta\lambda_{1A} - \frac{N_1}{N_2} \Delta\lambda_{2A}}{\sqrt{2} V_{1A} \cdot T} \times 100(\%) \quad (30)$$

$$Detector\ 2 = \frac{\Delta\lambda_{1B} - \frac{N_1}{N_2} \Delta\lambda_{2B}}{\sqrt{2} V_{1B} \cdot T} \times 100(\%) \quad (31)$$

$$Detector\ 3 = \frac{\Delta\lambda_{1C} - \frac{N_1}{N_2} \Delta\lambda_{2C}}{\sqrt{2} V_{1C} \cdot T} \times 100(\%) \quad (32)$$

$$Detector\ 4 = \frac{\Delta(\lambda_{1C} - \lambda_{1A}) - \frac{N_1}{N_3} \Delta(\lambda_{3CA} - \lambda_{3AB})}{\sqrt{2} V_{1CA} \cdot T} \times 100(\%) \quad (33)$$

$$Detector\ 5 = \frac{\Delta(\lambda_{1A} - \lambda_{1B}) - \frac{N_1}{N_3} \Delta(\lambda_{3AB} - \lambda_{3BC})}{\sqrt{2} V_{1AB} \cdot T} \times 100(\%) \quad (34)$$

$$Detector\ 6 = \frac{\Delta(\lambda_{1B} - \lambda_{1C}) - \frac{N_1}{N_3} \Delta(\lambda_{3BC} - \lambda_{3CA})}{\sqrt{2} V_{1BC} \cdot T} \times 100(\%) \quad (35)$$

3. 사례 연구

그림 3은 본 논문의 방식의 성능을 검증하기 위한 모델 계통을 나타낸다. EMTP를 이용하여 3상 3권선 Y-Y- Δ 변압기 (345kV/154kV/23kV, 500MVA)를 모델링하여, 1차, 2차, 3차 전압, 전류를 얻었다. 내부사고 데이터는 참고문헌 [11]의 모델링 방법을 사용해서 생성하였다.

샘플링 비율은 주기당 32샘플(1920Hz)을 사용하였고, 저역 통과 필터로는 저지대역 컷오프 주파수가 960 Hz(샘플링 주파수의 절반)인 2차 Butterworth 필터를 설계하여, 모든 전압과 전류를 통과시켰다.

철심의 히스테리시스 특성을 모델링하기 위하여 type-96 소자를 사용하였고, HYSDAT을 사용하기 위한 포화점은 (100A, 822Vs)을 사용하였다.

여자돌입, 내부사고, 과여자, 외부사고의 경우에 대하여 유기 전압비를 이용한 방식과 제안한 방식을 비교하였다.

3.1 여자돌입

잔류자속, 투입 위상각, 부하를 변경하여 다양한 여자돌입의 경우를 모의하였다.

1) 사례 1: 투입 위상각 0도, 잔류자속 80%, 무부하

그림 4와 5는 사례 1의 결과를 나타낸다. 투입 위상각이 0도, 잔류자속이 80%이므로 큰 여자돌입 전류가 흐르게 되고, 이로 인해 1차, 2차, 3차 전압이 심하게 왜곡됨을 알 수 있다 (그림 4).

그림 5a는 유기 전압비를 이용한 방식(참고문헌 [9]의 방식)의 디텍터와 트립신호를, 그림 5b는 제안한 방식의 디텍터와 트립신호를 나타낸다. 디텍터 값은 추정된 두 값의 차이를 나타내며, 이 값이 클수록 오차가 크다. 트립신호 발생을 위한 디텍터의 임계값은 5%를 사용하였다. 또한, 과도 오차에 의한 오동작을 방지하기 위하여 디텍터가 5%보다 크면, 카운터를 1 증가시키고, 작으면 1을 감소시켰다. 카운터가 0보다 작으면 0으로 리셋하고, 카운터가 4(1/8 주기)를 초과하게 되면 트립신호를 발생시킨다.

기존 방식과 제안한 방식 모두 트립신호를 발생하지 않았으나, 제안한 방식이 [9]의 결과보다 오차가 약간 적음을 알 수 있다.

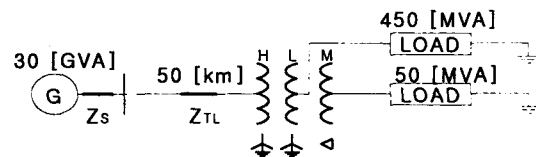


그림 3 모델 시스템

Fig. 3 Model system studied

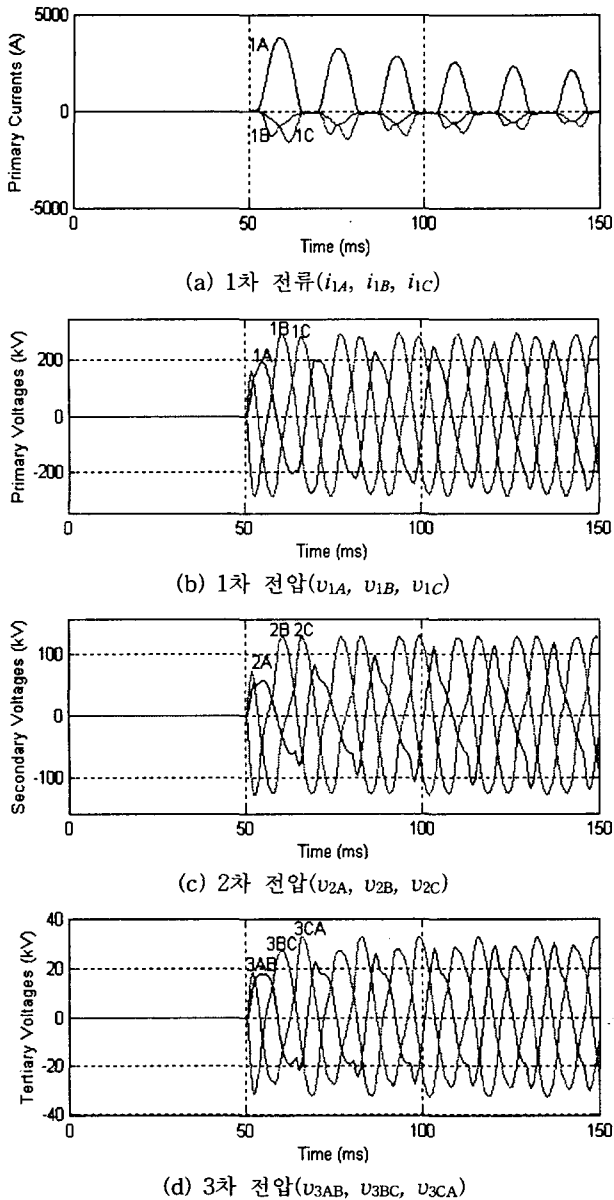


그림 4 3상 전류와 전압(사례 1)

Fig. 4 Three-phase currents and voltages for Case 1

3.2 내부사고

1차 권선의 A상에 사고 위치를 달리하여 다양한 내부사고를 모의하여 제안한 방식을 시험하였으며, 이 중에서 두 사례의 결과를 나타내었다.

- 1) 사례 2: 중성점으로부터 60% 지점의 0도 지락사고
- 2) 사례 3: 10%와 20% 지점의 0도 단락사고

그림 6과 7은 각각 사례 2와 사례 3의 경우에 대한 제안한 방식의 디텍터와 트립신호를 나타낸다. 참고문헌 [9]의 결과는 제안한 방식의 결과와 유사해서 나타내지 않았다.

두 경우 모두 1차 권선의 A상 사고이므로, Detector 1, 4, 5만 임계값을 넘는다. 사례 2의 경우, 사고 발생 이후 2.9 ms에 Trip1신호와 Trip2신호가 발생되었고, 사례 3의 경우에는 사고 발생 이후 4.45 ms와 4.97 ms에 Trip1신호와 Trip2신호가 발생되었다. 제안한 방식은 내부사고 시에 계전기 동작 속도가 1/3주기 이내로 매우 빠르다.

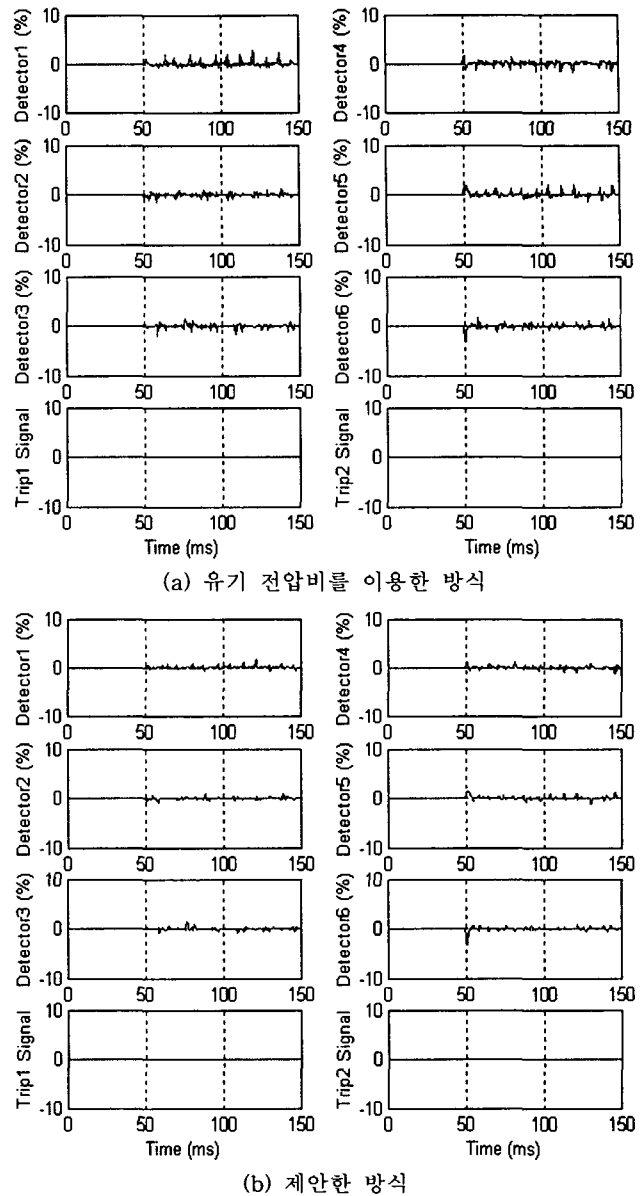


그림 5 디텍터와 트립신호(사례 1)

Fig. 5 Detectors and the trip signals for Case 1

3.3 과여자

- 1) 사례 4: 1차 정격전압의 1.5배의 전압 인가, 전부하

그림 8은 사례 4에 대한 기존 방식과 제안한 방식의 디텍터와 트립신호를 나타낸다. 이 경우에는 기존 방식과 제안한 방식 모두 트립신호를 발생하지 않았으며, 제안한 방식이 [9]의 결과보다 오차가 적음을 알 수 있다.

3.4 외부사고

- 1) 사례 5: 2차측 부하 선간 단락사고

그림 9는 사례 5에 대한 기존 방식과 제안한 방식의 디텍터와 트립신호를 나타낸다. 이 경우에도 기존 방식과 제안한 방식 모두 트립신호를 발생하지 않았으며, 제안한 방식의 결과가 [9]의 결과보다 오차가 매우 적음을 알 수 있다.

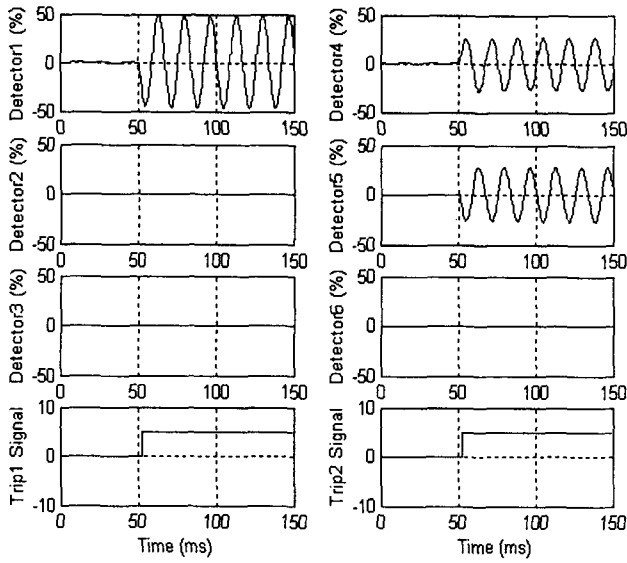


그림 6 디텍터와 트립신호(사례 2)
 Fig. 6 Detectors and the trip signals for Case 2

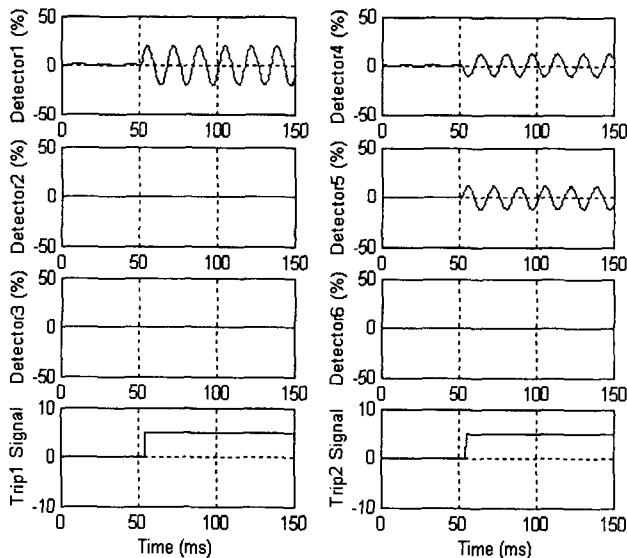
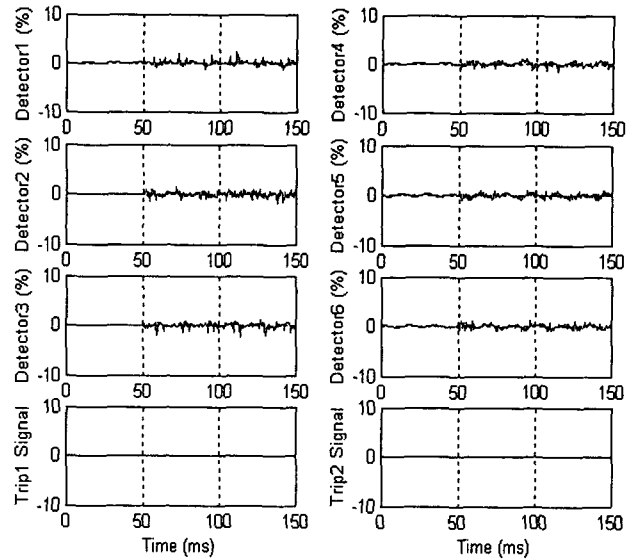


그림 7 디텍터와 트립신호(사례 3)
 Fig. 7 Detectors and the trip signals for Case 3

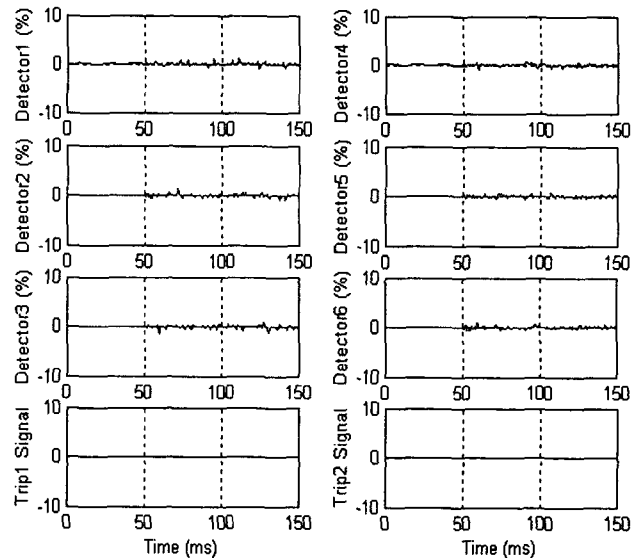
4. 실시간 시험

제안한 방식의 성능을 실시간으로 테스트하기 위하여 그림 10의 시험 시스템을 사용하였다. EMTP에서 얻은 18개의 1차, 2차, 3차 전압, 전류 데이터를 PCL-727 D/A 변환기를 이용하여 아날로그 데이터로 변환한 후, 저지대역 차단주파수가 960 Hz인 2차 Butterworth 저역통과 필터를 통과시킨 후에, AI 카드에 입력하였다. AI 카드에서 이를 디지털 값으로 변환하여, TMS320C6701 DSP로 전달하고 DSP에서 주기당 32 샘플의 속도로 제안한 알고리즘을 수행하였다.

그림 11은 사례 1에 대한 기존 방식과 제안한 방식의 결과를 나타낸다. 실시간 시험의 경우 노이즈에 의한 영향 때문에 추정된 결과의 오차가 시뮬레이션 결과보다 다소 크다(그림 11). 하지만, 추정된 모든 디텍터가 임계값 이내이므로



(a) 유기 전압비를 이용한 방식



(b) 제안한 방식

그림 8 디텍터와 트립신호(사례 4)
 Fig. 8 Detectors and the trip signal for Case 4

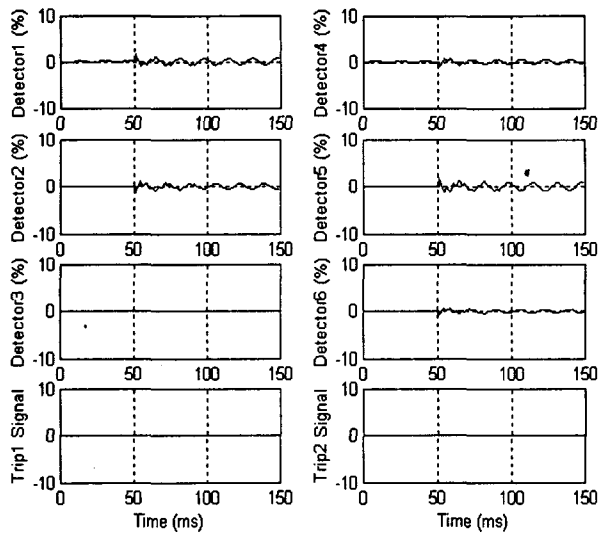
트립신호가 발생되지 않았다. 시뮬레이션 결과에서는 [9]의 방식과 제안한 방식의 오차가 비슷하였지만, 실시간 시험의 경우에는, 제안한 방식의 결과가 [9]의 결과보다 훨씬 더 좋음을 알 수 있다.

그림 12는 사례 2에 대한 실시간 시험 결과를 나타내며, 그림 6의 결과와 거의 유사한 결과를 얻었다.

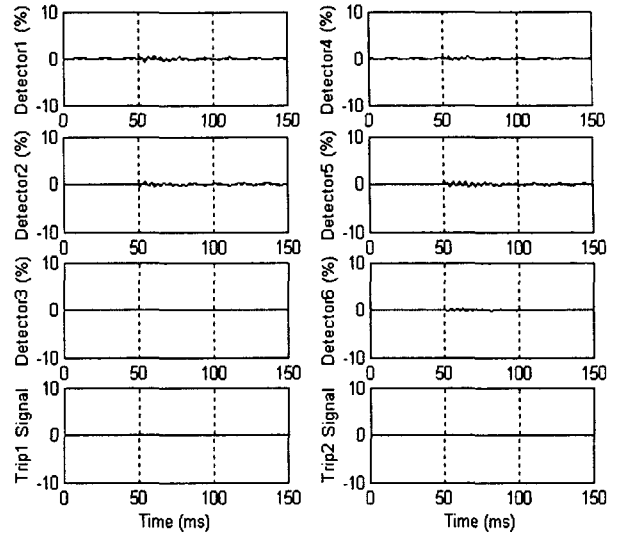
5. 결론

본 논문에서는 쇄교자속비를 이용한 3권선 변압기 보호 방식을 기술하였다. 제안한 방식은 적분 근사 방법을 사용하기 때문에 미분 근사 방법을 사용한 유기 전압비를 이용한 변압기 보호 방식에 비해서 수치오차가 적다.

제안한 방식의 성능을 내부사고 및 여러 가지 조건에서 기



(a) 유기 전압비를 이용한 방식



(b) 제안한 방식

그림 9 디텍터와 트립신호(사례 5)

Fig. 9 Detectors and the trip signal for Case 5

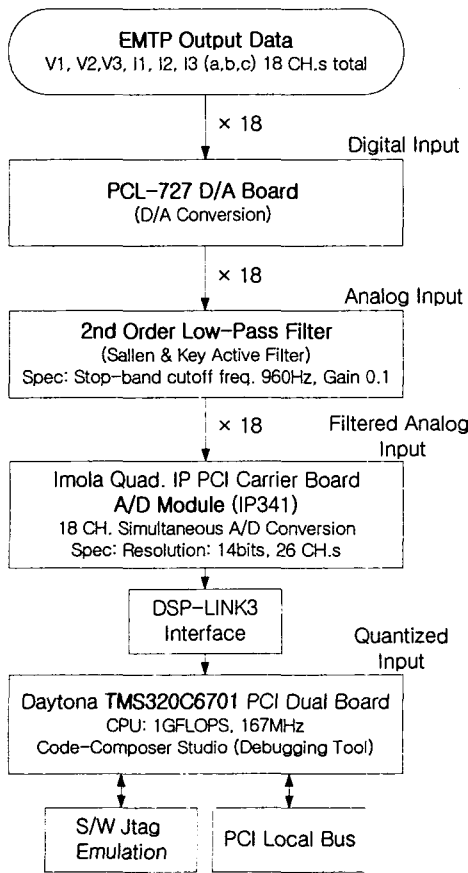
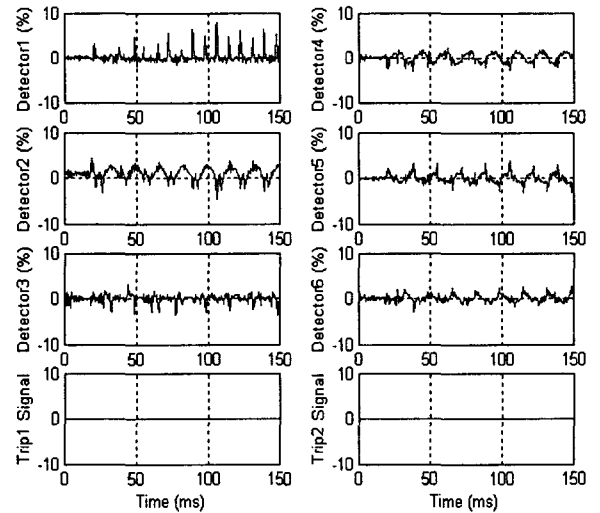


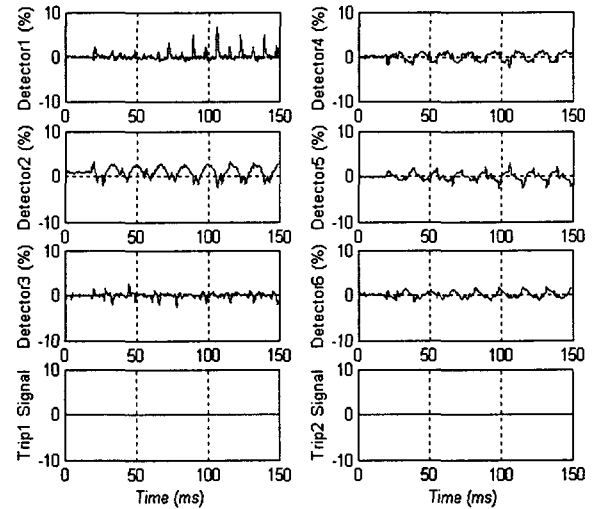
그림 10 실시간 시험 시스템

Fig. 10 Real time test system

존 방식과 비교한 결과, 제안한 방식은 [9]의 방식의 오차보다 적응을 알 수 있었다. 제안한 방식은 여자돌입 시나 과여자 시에 매우 왜곡된 전압, 전류로부터 쇄교자속 증분비를 정확하게 계산하여, 내부사고를 여자돌입, 과여자와 정확하게



(a) 유기 전압비를 이용한 방식



(b) 제안한 방식

그림 11 디텍터와 트립신호(사례 1)

Fig. 11 Detectors and the trip signals for Case 1

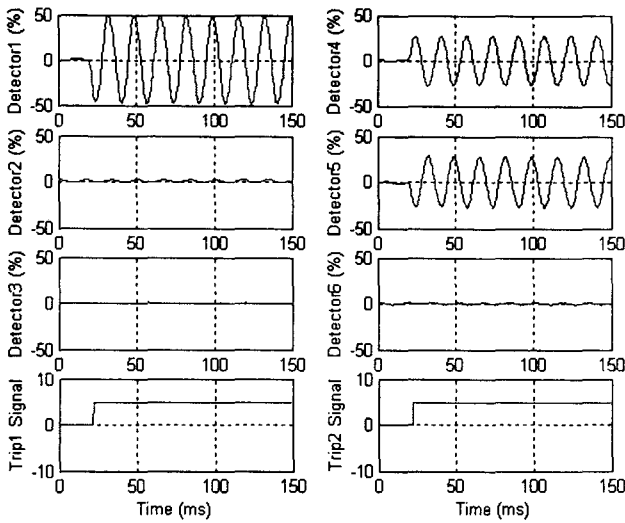


그림 12 디텍터와 트립 신호(사례 2)

Fig. 12 Detectors and the trip signals for Case 2

하게 구분하였으며, 외부사고 시에도 오동작하지 않았다. 또한, 제안한 방식을 실시간 시험한 결과, 시뮬레이션과 거의 같은 결과를 얻었다. 또한, 제안한 방식은 내부사고 시의 동작속도가 1/3 이내로 매우 빠르다.

감사의 글

본 연구는 과학기술부 및 한국과학재단의 ERC 프로그램을 통한 지원으로 이루어졌으며 이에 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

[1] A.G. Phadke, and J.S. Thorp, Computer Relaying for Power Systems, Research Studies Press LTD., 1988.
 [2] C. D. Hayward, "Harmonic-Current-Restrained Relays for Transformer Differential Protection," AIEE Trans. vol. 60, pp. 377-382, 1941.
 [3] C. W. Mathews, "An improved transformer differential relay," AIEE Trans. Part III, vol. 73, pp. 645-650, Jun. 1954.
 [4] R. L. Sharp, and W. E. Glassburn, "A Transformer Differential Relay with Second-Harmonic Restraint," AIEE Trans. Part III, vol. 77, pp. 913-918, 1958.
 [5] C. H. Einvall, and J. R. Linders, "A Three-phase Differential Relay for Transformer Protection," IEEE Trans. on PAS, vol. 94, no. 6, pp. 1971-1980, Nov./Dec. 1975.
 [6] B. Al-Fakhri, I. A. Elagtal, "A Unique Current Differential based Algorithm for Protection of Three-Winding Transformers and Busbars," IEEE PES, 2001 WM, vol. 2
 [7] M. S. Sachdev, T. S. Sidhu and H. C. Wood, "A Digital Relaying Algorithm for Detection Transformer

Winding Faults," IEEE Trans. on PWRD, vol. 4 no. 3, pp. 1638-1648, Jul. 1989.

[8] 강용철, 이병은, "유기 전압비를 이용한 변압기 보호 계전 알고리즘," 전기학회 논문지 A, 제49권 제10호, pp. 524-530, 2000년 10월.
 [9] 강용철, 이병은, "유기 전압비를 이용한 3권선 변압기 보호 계전 알고리즘," 전기학회 논문지 A, 제52권 제3호, pp. 173-178, 2003년 3월.
 [10] 강용철, 이병은, 김은숙, 원성호, "쇄교자속비를 이용한 변압기 보호," 전기학회 논문지 A, 제52권 제11호, pp. 655-660, 2003년 11월.
 [11] P. Bastard, P. Bertrand, and M. Meunier, "A Transformer Model for Winding Fault Studies," IEEE Trans. on PWRD. vol. 9, no. 2, pp. 690-699, April 1994

저 자 소 개



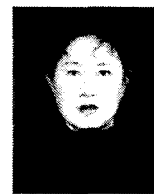
강 용 철 (姜 龍 撤)

1964년 8월 2일생. 1991년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1993년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1997년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학). 현재, 전북대 공대 전자정보공학부 조교수. 차세대전력기술연구소
 E-mail : yckang@moak.chonbuk.ac.kr



이 병 은 (李 炳 銀)

1975년 11월 7일생. 1999년 전북대학교 전기공학과 졸업, 2001년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 동 대학원 전기공학과 박사과정
 E-mail : mpec@netian.com



김 은 숙 (金 恩 淑)

1972년 2월 22일생. 1994년 중국 동북전력학원 전기공학과 졸업, 1999년 중국 동북전력학원 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 전북대 공대 전기공학과 박사과정
 E-mail : jes222kr@yahoo.co.kr



원 성 호 (元 成 浩)

1976년 10월 19일생. 2002년 전주대 공대 전기공학과 졸업. 현재 전북대 공대 전기공학과 석사과정
 E-mail : wsungho@dreamwiz.com