

쇄교자속비를 이용한 변압기 보호

Flux Linkages Ratio-Based Transformer Protection

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 transformer protective relaying algorithm based on the ratio of increments of flux linkages (RIFL) of the primary and secondary windings. The algorithm uses integration approximation. The RIFL is equal to the turns ratio for all operating conditions except for an internal fault. For a single-phase transformer and a Y-Y transformer, the increments of flux linkages (IFL) are calculated. For a Y- Δ transformer, the difference of IFL are calculated to use the line currents rather than the delta winding currents, which are unavailable. Their ratios are compared with the turns ratio. The comparative study between the proposed and conventional differentiation approximation methods was conducted. The test results show that the algorithm reduces the approximation errors of the conventional methods.

Key Words: Ratio of the increments of flux linkages, Magnetic inrush, Over-excitation, Numerical errors.

1. 서론

변압기 보호 계전기는 내부사고와 외부사고가 아닌 것(여자돌입, 과여자, 외부사고)을 구분해야 하며, 이에 는 전류차동 방식이 주로 사용되고 있다. 하지만, 여자돌입과 과여자시에 차전류가 발생되므로 전류차동 계전기는 오동작할 수 있으며, 이를 방지하기 위하여 고조파를 사용하고 있다[1-3]. 이 방식들은 모든 고조파 성분을 사용하거나[1], 2조파를 이용하거나[2], 2조파와 5조파를 결합하여[3] 억제 또는 블로킹하는데, 내부사고시 계전기 동작이 지연되는 단점이 있다.

이러한 단점을 극복하기 위해서 변압기 모델에 기초한 방식들이 제안되었다[4-6]. 이들은 시간영역에서 동작하기 때문에 동작속도가 매우 빠르다. Y- Δ 변압기 경우에 델타 권선전류를 이용할 수 없으므로, [4]에서는 권선전류를 비순환 성분, 순환성분으로 분해하였다. 전자는 선전류만으로 추정가능하나, 후자는 불가능하다. 따라서, 후자를 포함한 항을 추정하는 별도의 방법을 사용하였으며, 이 방법은 Δ - Δ 변압기의 경우에는 적용이 어렵다.

참고문헌 [5, 6]에서는 유기 전압비가 여자돌입, 과여자시에는 권선비와 같은 반면에, 내부사고시에는 권선비와 같지 않은 원리를 이용하였다. 델타 권선을 포함하는 변압기 경우에는 유기 전압의 차를 이용하였으므로 선전류만을 사용하여 보호가 가능하고, Δ - Δ 변압기 경우에도 적용이 용이하다.

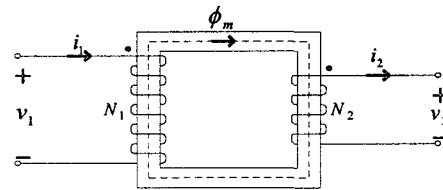
하지만, [5]에서는 미분항을 근사하는 과정에서 오일러 공식을 이용하므로 수치오차가 큰 반면, [6]에서는 댐핑저항을 사용하여 수치오차를 줄였다.

본 논문에서는 쇄교자속비를 이용한 변압기 보호 방식을 제안한다. 제안한 방식은 적분을 사용하기 때문에, 미분 근사 방식에 비해 수치 오차가 매우 적다. 여자돌입, 내부사고, 과여자, 외부사고 등의 경우에서 제안한 방식의 성능을 [5, 6]의 방식과 비교하여 시험하였으며, 실시간 시험을 수행하였다.

2. 쇄교자속비를 이용한 변압기 보호 알고리즘

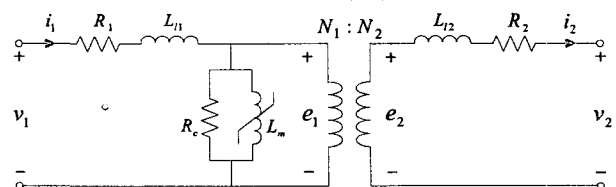
2.1 단상변압기

그림 1은 단상변압기와 등가회로를 나타낸다. 내부사고가 없다면, v_1, v_2 는 다음과 같다.



v_1, v_2 : 1차, 2차 단자전압 i_1, i_2 : 1차, 2차 전류
 N_1, N_2 : 1차, 2차 권선수 ϕ_m : 상호 자속.

(a) 단상변압기



e_1, e_2 : 1차, 2차 유기 전압
 R_1, R_2 : 1차, 2차 권선저항
 L_n, L_2 : 1차, 2차 누설 인덕턴스
 R_c : 철손저항, L_m : 자화 인덕턴스

(b) 단상변압기 등가회로

그림 1 단상변압기

Fig. 1 A single-phase transformer

* 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

*** 準會員: 全北大 電氣工學科 碩士課程

接受日字: 2003년 8월 19일

最終完了: 2003년 9월 22일

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

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

여기서 i_1 과 i_2 는 각각 1차, 2차 쇄교자속이다.

식(1), (2)를 다시 정리하면 다음과 같다.

$$\frac{d\lambda_1}{dt} = v_1 - R_1 i_1 - L_1 \frac{di_1}{dt} \quad (3)$$

$$\frac{d\lambda_2}{dt} = v_2 + R_2 i_2 + L_2 \frac{di_2}{dt} \quad (4)$$

쇄교자속의 증분 $\Delta\lambda_1, \Delta\lambda_2$ 는 각각 식 (3)과 (4)의 우변을 적분하여 계산하고, 이의 비를 식 (5)와 같이 정의한다.

$$RIFL \equiv \frac{\Delta\lambda_1}{\Delta\lambda_2} \quad (5)$$

정상상태에서는 여자돌입, 과여자의 경우 $RIFL$ 는 권선비 N_1/N_2 와 같은 반면, 내부사고시에는 $RIFL$ 가 권선비와 같지 않다. 그런데, $\Delta\lambda_1, \Delta\lambda_2$ 가 순시값이므로 0을 지나는 순간에는 $RIFL$ 와 권선비가 같지 않다. 따라서, 본 논문에서는 식 (6)의 디텍터의 값이 0이면 내부사고가 아니고, 0이 아니면 내부사고로 판단한다. 디텍터의 값의 의미는 추정된 $\Delta\lambda_1, \Delta\lambda_2$ 의 차를 백분율로 표현한 것이 된다.

$$Detector = \frac{\Delta\lambda_1 - \frac{N_1}{N_2} \Delta\lambda_2}{\sqrt{2} V_1 \cdot T} \times 100(\%) \quad (6)$$

여기서 V_1 은 정격전압의 실효값이고, T 는 시간 간격이다.

2.2 3상 Y-△ 변압기

본 논문에서는 3상 Y-△ 변압기의 경우에만 기술한다. 그림 2에 3상 Y-△ 변압기를 나타내었다. Y결선에 해당하는 1차 권선의 전압은 식 (7)~(9)로 나타내고, △결선에 해당하는 2차 권선의 전압은 식 (10)~(12)로 나타낸다.

$$v_A = R_A i_A + L_A \frac{di_A}{dt} + \frac{d\lambda_A}{dt} \quad (7)$$

$$v_B = R_B i_B + L_B \frac{di_B}{dt} + \frac{d\lambda_B}{dt} \quad (8)$$

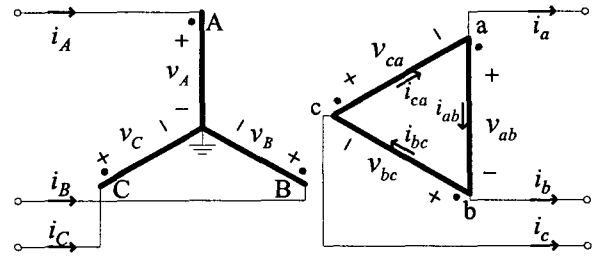
$$v_C = R_C i_C + L_C \frac{di_C}{dt} + \frac{d\lambda_C}{dt} \quad (9)$$

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

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

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

i_{ab}, i_{bc}, i_{ca} 를 측정하기 어렵기 때문에 $\Delta\lambda_{ab}, \Delta\lambda_{bc}, \Delta\lambda_{ca}$ 는 식 (10)~(12)로부터 직접 계산이 어렵다. 그런데 i_a, i_b, i_c 는 측정 가능하기 때문에 본 논문에서는 이를 이용하기 위해서 선전류와 권선전류간의 관계식 (13)을 이용한다.



$v_A, v_B, v_C, v_{ab}, v_{bc}, v_{ca}$: 1차, 2차 각 상의 단자전압
 $i_A, i_B, i_C, i_{ab}, i_{bc}, i_{ca}$: 1차, 2차 각 상의 권선전류
 i_a, i_b, i_c : 2차 각 상의 선전류

그림 2 3상 Y-△ 변압기

Fig. 2 A three-phase Y-△ transformer

$$i_{ca} - i_{ab} = i_a, \quad i_{ab} - i_{bc} = i_b, \quad i_{bc} - i_{ca} = i_c \quad (13)$$

또한, 내부사고가 발생하지 않으면 식 (14)가 성립한다.

$$R_{ab} \approx R_{bc} \approx R_{ca} = R_2, \quad L_{lab} \approx L_{lbc} \approx L_{lca} = L_2 \quad (14)$$

식 (12)에서 식 (10)을, 식 (10)에서 식 (11)을, 식 (11)에서 식 (12)를 빼서 정리하면, 다음과 같다.

$$\frac{d\lambda_{ca}}{dt} - \frac{d\lambda_{ab}}{dt} = v_{ca} - v_{ab} - R_2 i_a - L_2 \frac{di_a}{dt} \quad (15)$$

$$\frac{d\lambda_{ab}}{dt} - \frac{d\lambda_{bc}}{dt} = v_{ab} - v_{bc} - R_2 i_b - L_2 \frac{di_b}{dt} \quad (16)$$

$$\frac{d\lambda_{bc}}{dt} - \frac{d\lambda_{ca}}{dt} = v_{bc} - v_{ca} - R_2 i_c - L_2 \frac{di_c}{dt} \quad (17)$$

$\Delta\lambda_{ab}, \Delta\lambda_{bc}, \Delta\lambda_{ca}$ 를 계산할 수 없지만, 그들의 차는 식 (15)~(17)을 통해서 계산 가능하다. 이와 대응하는 1차 권선의 식은 식 (7)~(9)로부터 다음과 같이 유도된다.

$$\frac{d\lambda_C}{dt} - \frac{d\lambda_A}{dt} = v_C - v_A - (R_C i_C - R_A i_A) - (L_C \frac{di_C}{dt} - L_A \frac{di_A}{dt}) \quad (18)$$

$$\frac{d\lambda_A}{dt} - \frac{d\lambda_B}{dt} = v_A - v_B - (R_A i_A - R_B i_B) - (L_A \frac{di_A}{dt} - L_B \frac{di_B}{dt}) \quad (19)$$

$$\frac{d\lambda_B}{dt} - \frac{d\lambda_C}{dt} = v_B - v_C - (R_B i_B - R_C i_C) - (L_B \frac{di_B}{dt} - L_C \frac{di_C}{dt}) \quad (20)$$

한편, Y-△ 변압기의 경우에 식 (21)이 성립한다.

$$\frac{\Delta\lambda_A}{\Delta\lambda_{ab}} = \frac{N_1}{N_2}, \quad \frac{\Delta\lambda_B}{\Delta\lambda_{bc}} = \frac{N_1}{N_2}, \quad \frac{\Delta\lambda_C}{\Delta\lambda_{ca}} = \frac{N_1}{N_2} \quad (21)$$

$\Delta\lambda_A, \Delta\lambda_B, \Delta\lambda_C$ 는 계산이 가능하지만, $\Delta\lambda_{ab}, \Delta\lambda_{bc}, \Delta\lambda_{ca}$ 는 계산 불가능하기 때문에, 식 (21)은 디텍터에 적용이 불가능하다. 따라서, 본 논문에서는 식 (21) 대신에 식 (22)를 사용하여 디텍터를 구하였다. 식 (21), (22)는 필요충분 조건이다.

$$\frac{\Delta\lambda_C - \Delta\lambda_A}{\Delta\lambda_{ca} - \Delta\lambda_{ab}} = \frac{N_1}{N_2}, \quad \frac{\Delta\lambda_A - \Delta\lambda_B}{\Delta\lambda_{ab} - \Delta\lambda_{bc}} = \frac{N_1}{N_2}, \quad \frac{\Delta\lambda_B - \Delta\lambda_C}{\Delta\lambda_{bc} - \Delta\lambda_{ca}} = \frac{N_1}{N_2} \quad (22)$$

따라서, 디텍터는 다음과 같이 주어진다.

$$Detector1 = \frac{\Delta(\lambda_C - \lambda_A) - \frac{N_1}{N_2} \Delta(\lambda_{ca} - \lambda_{ab})}{\sqrt{2} V_{CA} \cdot T} \times 100(\%) \quad (23)$$

$$Detector2 = \frac{\Delta(\lambda_A - \lambda_B) - \frac{N_1}{N_2} \Delta(\lambda_{ab} - \lambda_{bc})}{\sqrt{2} V_{AB} \cdot T} \times 100(\%) \quad (24)$$

$$Detector3 = \frac{\Delta(\lambda_B - \lambda_C) - \frac{N_1}{N_2} \Delta(\lambda_{bc} - \lambda_{ca})}{\sqrt{2} V_{BC} \cdot T} \times 100(\%) \quad (25)$$

3. 사례연구

그림 3은 모델 계통을 나타낸다. EMTTP를 이용하여 3상 Y-Δ변압기(154kV/12.7kV, 55MVA)를 모델링하였다. 내부사고 데이터는 [7]의 모델링 방법을 사용해서 생성하였다.

샘플링 비율은 주기당 32샘플을 사용하였고, 저역 통과 필터로는 저지대역 컷오프 주파수가 960 Hz인 2차 Butterworth 필터를 설계하여, 모든 전압과 전류를 통과시켰다.

철심의 히스테리시스 특성을 모델링하기 위하여 type-96 소자를 사용하였고, HYSDAT을 사용하기 위한 포화점은 (40A, 333.754Vs)을 사용하였다.

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

3.1 여자돌입

잔류자속, 투입위상각, 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 전압이 심하게 왜곡된다(그림 4).

그림 5a는 댐핑저항을 사용하지 않은 경우(참고문헌 [5]의 경우)와 사용한 경우(참고문헌 [6]의 경우)의 결과를, 그림 5b는 제안한 방식의 결과를 나타낸다.

디텍터 값은 추정한 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 감소시킨다. 카운터가 0보다 작으면 0으로 리셋하고, 카운터가 4를 초과하게 되면 트립신호를 발생시킨다.

기존 방식과 제안한 방식 모두 트립신호를 발생하지 않았으나, [6]의 결과가 [5]의 결과에 비해 오차가 현저하게 적으며, 제안한 방식이 [6]의 결과보다 오차가 적음을 알 수 있다(그림 5).

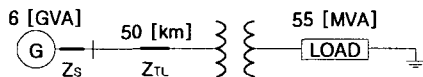
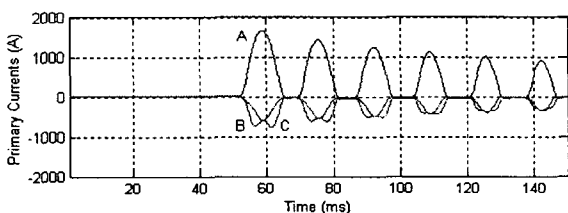
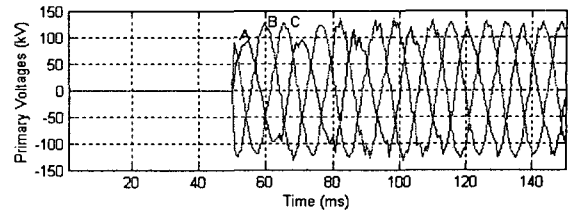


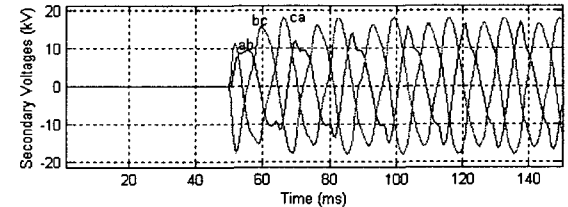
그림 3 모델 시스템
Fig. 3 The model system studied



(a) 1차 전류(i_a, i_b, i_c)



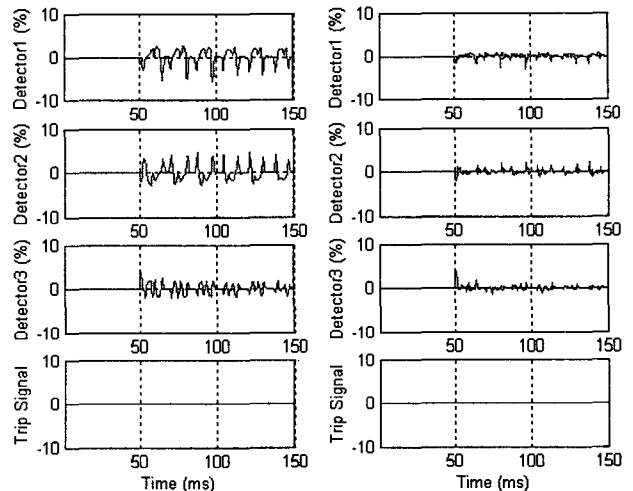
(b) 1차 전압(u_A, u_B, u_C)



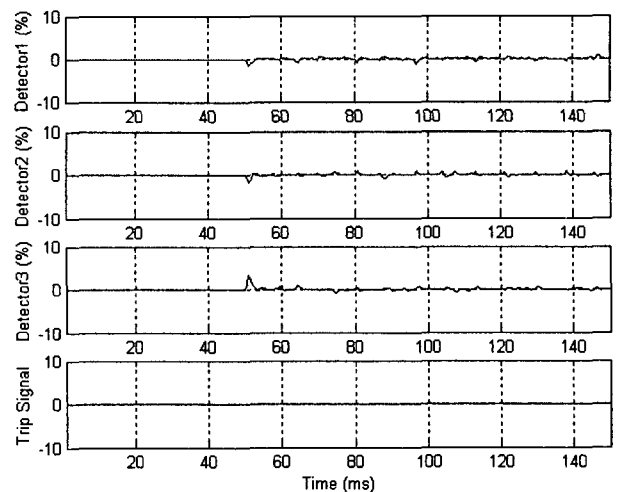
(c) 2차 전압(u_{ab}, u_{bc}, u_{ca})

그림 4 3상 전류와 전압(사례 1)

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



(a) 유기 전압비 (댐핑저항 사용 안 함(좌), 사용함(우))



(b) 제안한 방식

그림 5 디텍터와 트립신호(사례 1)

Fig. 5 Detectors and the trip signal for Case 1

3.2 내부사고

1차 권선의 B상에 다양한 내부사고를 모의하여 제안한 방식을 시험하였으며, 이 중에서 사례 2, 사례 3의 결과를 나타내었다.

- 1) 사례 2: 중성점으로부터 60% 지점의 0도 지락사고
- 2) 사례 3: 20%와 30% 지점의 0도 단락사고

그림 6과 7은 각각 사례 2와 사례 3의 경우에 대한 제안한 방식의 디텍터와 트립신호를 나타낸다. 참고문헌 [5]와 [6]의 방식의 결과는 제안한 방식의 결과와 유사해서 별도의 그림으로 나타내지 않았다.

두 경우 모두 1차 권선의 B상 사고이므로, Detector 2와 3만 임계값을 넘는다. 디텍터의 값이 임계값인 5%를 넘어서 사례 2의 경우에는 사고 발생 이후 2.7 ms에, 사례 3의 경우에는 사고 후 5.8 ms에 트립신호가 발생되었다. 제안한 방식은 내부사고시에 계전기 동작 속도가 반주기 이내로 매우 빠름을 알 수 있다.

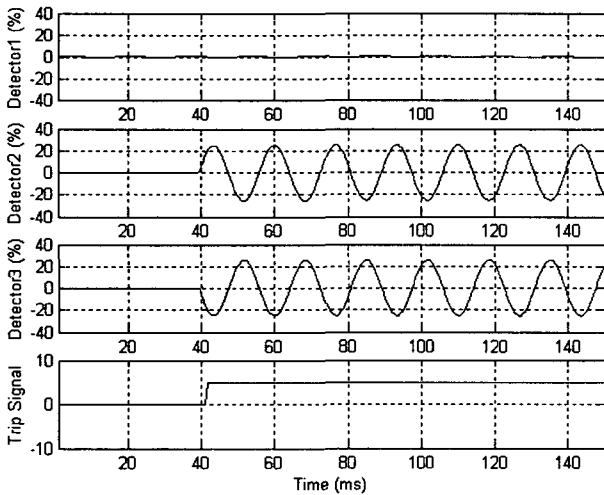


그림 6 제안한 방식(사례 2)
Fig. 6 The proposed algorithm for Case 2

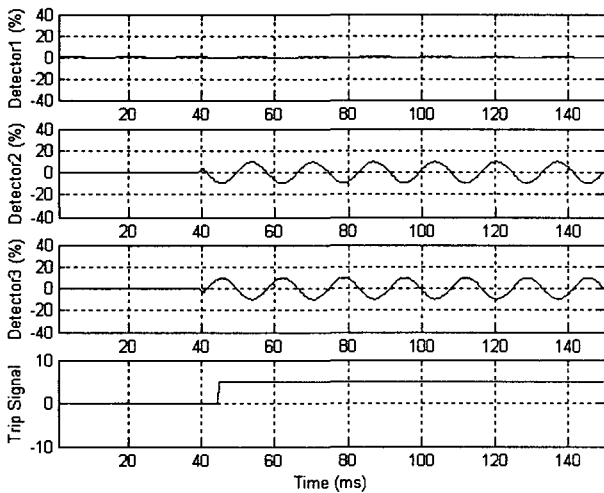


그림 7 제안한 방식(사례 3)
Fig. 7 The proposed algorithm for Case 3

3.3 과여자

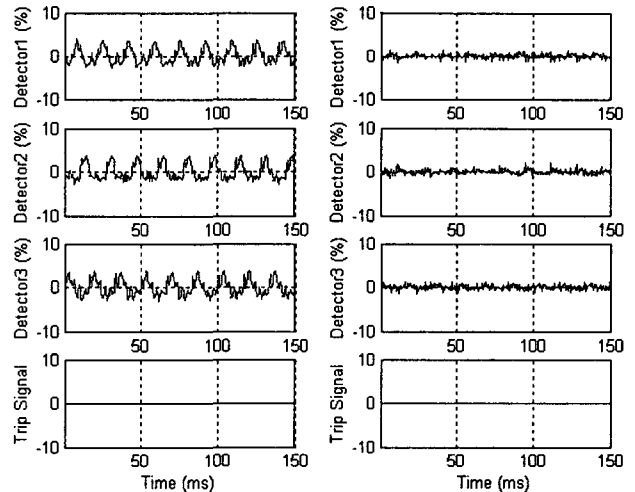
- 1) 사례 4: 1차 정격전압의 1.5배의 전압 인가

그림 8은 사례 4의 경우에 대한 기존 방식과 제안한 방식의 디텍터와 트립신호를 나타낸다. [5]의 방식의 경우에는 오차가 다소 컸으나 트립조건을 만족하지 않았기 때문에 트립신호는 발생하지 않았고, [6]의 경우에는 댐핑저항을 사용했기 때문에 오차가 현저하게 감소하여 트립신호는 발생하지 않았다. 적분을 사용한 제안한 방식의 경우에는 [6]의 방식보다도 오차가 더 적음을 알 수 있다.

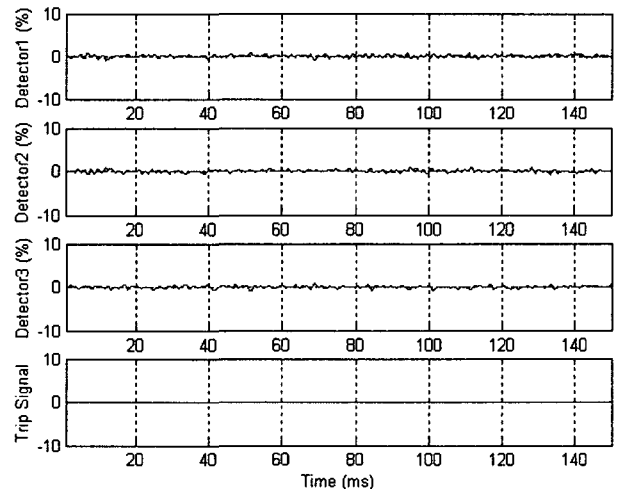
3.4 외부사고

- 1) 사례 5: 2차측 부하 선간 단락사고

그림 9는 사례 5에 대한 기존 방식과 제안한 방식의 디텍터와 트립신호를 나타낸다. 제안한 방식과 [6]의 방식은 트립신호가 발생되지 않았으나, 댐핑 저항을 사용하지 않은 경우의 미분 방식인 [5]의 방식의 경우에는 외부사고 이후에 디텍터가 임계값을 초과하여 트립신호를 발생하였다. 제안한 방식의 결과가 [6]의 결과보다도 오차가 적음을 알 수 있다.

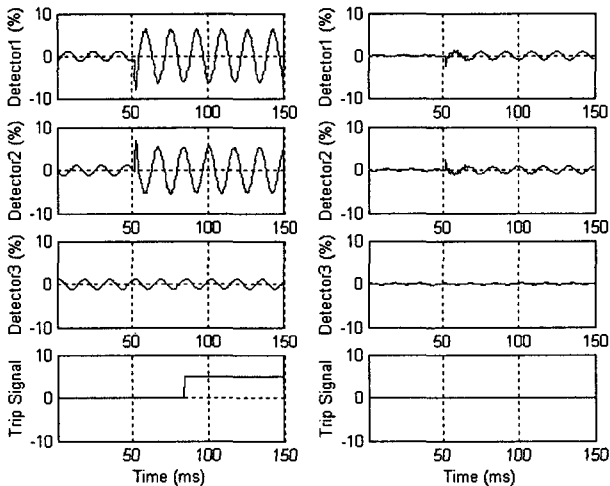


(a) 유기 전압비(댐핑저항 사용 안 함(좌), 사용함(우))

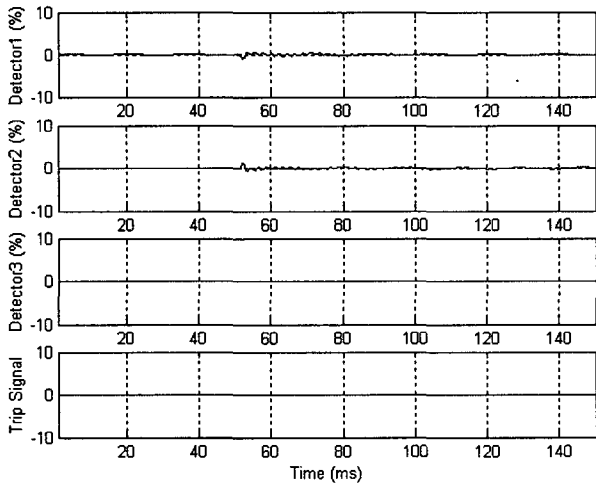


(b) 제안한 방식

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



(a) 유기 전압비(댐핑저항 사용 안 함(좌), 사용함(우))



(b) 제한한 방식

그림 9 디텍터와 트립신호(사례 5)

Fig. 9 Detectors and the trip signal for Case 5

4. 실시간 시험

제한한 방식의 성능을 실시간으로 테스트하기 위하여 그림 10의 시험 시스템을 사용하였다. PCL-727 D/A 변환기를 이용하여 EMTP에서 얻은 12개의 1차, 2차 전압, 전류 데이터를 아날로그 데이터로 변환한 후, 차단주파수가 960 Hz인 2차 Butterworth 저역통과 필터를 통과시킨 뒤 AI카드에 입력하였다. AI 카드에서 이를 디지털 값으로 변환하여, TMS320C6701 DSP로 전달하고 DSP에서 주기당 32샘플의 속도로 제한한 알고리즘을 수행한다.

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(그림11). 하지만, 추정한 모든 디텍터가 임계값 이내이므로 트립신호가 발생되지 않았다. 실시간 시험의 결과도 시뮬레이션 시험의 결과와 같이 [6]의 결과가 [5]의 결과보다 개선되었고, 제안한 방식의 결과가 [6]의 결과보다 개선됨을 알 수 있다.

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

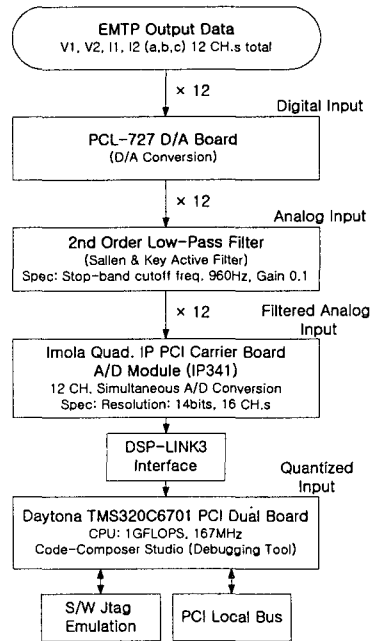
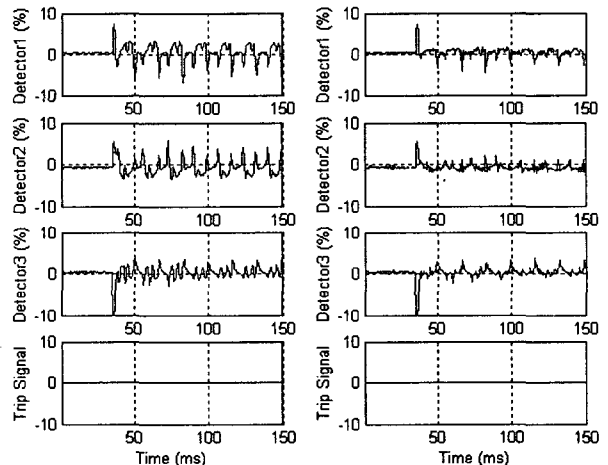
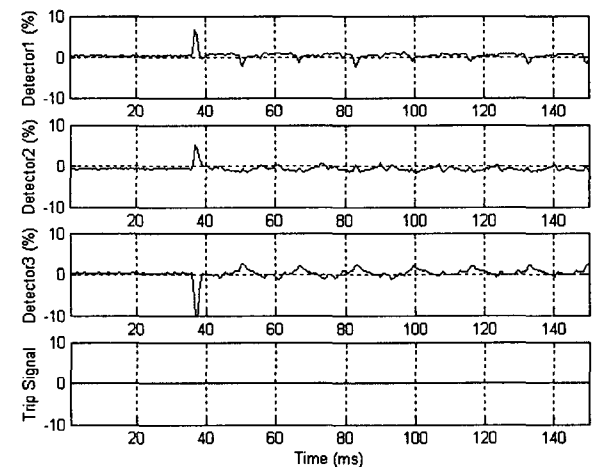


그림 10 실시간 시험 시스템

Fig. 10 A real time testing system



(a) 유기 전압비(댐핑저항 사용 안 함(좌), 사용함(우))



(b) 제한한 방식

그림 11 디텍터와 트립신호(사례 1)

Fig. 11 Detectors and the trip signals for Case 1

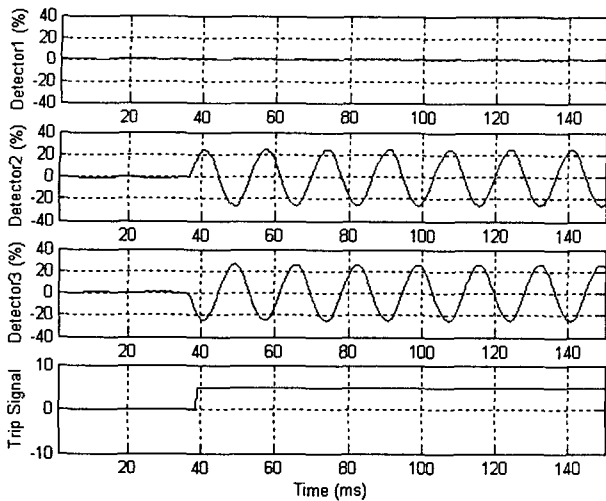


그림 12 제안한 방식(사례 2)
Fig. 12 The proposed algorithm for Case 2

5. 결 론

본 논문에서는 쇄교자속비를 이용한 변압기 보호 방식을 제안하였다. 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 기존 방식과 비교한 결과, 댐핑저항을 사용한 [6]의 방식이 오일러 방식을 사용한 [5]의 방식에 비해 오차를 현저하게 적음을 알 수 있었고, 제안한 방식은 [6]의 방식의 오차보다도 더욱 적음을 알 수 있었다.

다양한 사례 연구 결과, 제안한 방식은 여자돌입시나 과여자시에 매우 왜곡된 전압, 전류로부터 쇄교자속의 증분을 정확하게 계산하여, 내부사고를 여자돌입, 과여자와 구분하였으며, 외부사고시에도 오동작하지 않았다. 계산 오차가 적으므로, 작은 디택터의 임계값의 사용이 가능하므로 내부사고시 계전기 동작시간을 감소할 수 있다. 또한, 제안한 방식을 실시간 시험한 결과, 시뮬레이션과 거의 같은 결과를 얻었다.

감사의 글

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

참 고 문 헌

[1] C. D. Hayward, "Harmonic-Current-Restrained Relays for Transformer Differential Protection," *AIEE Trans* -60, pp. 377-382, 1941.
[2] R. L. Sharp, and W. E. Glassburn, "A Transformer Differential Relay with Second-Harmonic Restraint," *AIEE Trans. Part III*-77, pp. 913-918, 1958.
[3] C. H. Einvall, and J. R. Linders, "A Three-phase Differential Relay for Transformer Protection," *IEEE Trans. on PAS*-94, no. 6, pp. 1971-1980, Nov./Dec. 1975.

[4] M. S. Sachdev, T. S. Sidhu and H. C. Wood, "A Digital Relaying Algorithm for Detection Transformer Winding Faults," *IEEE Trans. PWRD*-4, no. 3, pp. 1638-1648, Jul. 1989.
[5] 강용철, 이병은, "유기 전압비를 이용한 변압기 보호 계전 알고리즘," *전기학회 논문지 A*, 제49권 제10호, pp. 524-530, 2000년 10월.
[6] Y. C. Kang and B. E. Lee, "A Transformer Protection Relay Based on Induced Voltages," *KIEE Trans. on PE*, vol. 3-A, no. 2, pp. 70-78, Jun. 2003.
[7] P. Bastard, P. Bertrand, and M. Meunier, "A Transformer Model for Winding Fault Studies," *IEEE Trans. on PWRD*-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(공학박사). 현재, 전북대 공대 전자정보공학부 조교수. 차세대전력 기술연구센터
Tel: 063-270-2391, Fax: 063-270-2394
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 속(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