

A Transformer Protective Relaying Algorithm Using the Ratio of Induced Voltages

姜 龍 澈* · 李 炳 銀**
(Y. C. Kang · B. E. Lee)

Abstract - This paper presents a transformer protective relaying algorithm using the ratio of induced voltages. The proposed algorithm calculates primary and secondary induced voltages from currents and voltages of primary and secondary windings. The ratio of primary and secondary induced voltages is equal to the turn ratio in case of the steady state and magnetic inrush. On the other hand, the ratio is different from the turn ratio in case of internal winding faults. The algorithm does not require B-H curve and can reduce the relay's operating time.

Key Words : Transformer Protection, ratio of induced voltages, turn ratio

1. 서 론

전력용 변압기 보호용으로 전류차동 방식이 주로 사용되고 있다. 이 방식은 변압기 양쪽 단자에 흐르는 전류 차를 구해서, 그 차이가 어느 값 이상이 되면 사고로 판단하는 방법이다. 그런데, 변압기를 투입하면 큰 여자 전류가 흘러 차동전류가 발생할 수 있고, 이로 인하여 오동작할 수 있다. 이를 방지하기 위하여, 차동전류의 2차 성분(2차 성분)을 억제요소로 하는 전류차동방식이 사용된다. 하지만, 이 방식은 송전선 길이의 증가와 지중 선로의 사용 등의 원인에 의해서 변압기 내부 사고의 경우에는 큰 고조파 성분이 포함될 수 있기 때문에 문제점으로 지적되고 있다.

이러한 문제점을 보완하기 위하여 전류와 전압을 함께 이용하는 방식이 제안되었다.[1-3]

[1]의 방식은 변압기 Π 형 등가회로에서 Transfer inverse inductance 성분이, 정상 상태, 여자돌입, 내부 사고의 경우에는 일정한 값을 가진다는 것에 착안했다. 즉, 사고난 권선의 Shunt inverse inductance 성분이, 사고 권수비의 증가에 따라 증가하고, 다른 Shunt inverse inductance 성분은 0보다 작거나 같다는 것을 이용했다. 하지만 이 방식은 권선이 많거나, 3상인 경우에는 식이 복잡해지는 단점이 있다.

[2]의 방식은 전압, 전류로부터 철심 자속의 증분을 계산하여, 증분이 작으면 여자돌입이라고 판정하였다. 하지만, 이 방식은 권선 저항이 없다고 가정하여 식을 유도하였고, 권선 저항이 포함되면 많은 오차를 발생한다.

[3]의 방식은 1차, 2차 전압, 전류 사이의 두 개의 미분방정식으로부터 하나의 미분방정식으로 유도하였고, 여자돌입

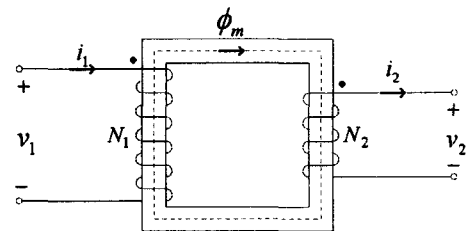
시에는 유도한 미분방정식이 성립하지만, 내부 사고 시에는 성립하지 않는다는 점을 이용하였다. 하지만, 3상 변압기에서 델타 결선이 있는 경우에는 식이 다소 복잡하다.

본 논문에서는 유기전압비를 이용한 변압기 보호용 계전 알고리즘을 제시한다. 1차, 2차 유기전압비가 여자돌입의 경우에는 권선비와 같은데 비해, 내부 사고의 경우에는 권선비와는 다른 값을 갖게 된다. 제시한 방식은 1, 2차 전압과 전류로부터 1차, 2차 유기전압(induced voltage)을 계산하여, 이의 비로써 여자돌입과 내부 사고를 구분한다. EMTP를 이용하여 여자돌입과 내부 사고를 모델링하여 데이터를 생성하였고, 제시한 방식을 시험하였다.

2. 유기전압비를 이용한 변압기 보호 계전 알고리즘

2.1 단상변압기

그림 1에 단상 2권선 변압기를 나타내었다.



i_1, i_2 : 1차, 2차 전류

v_1, v_2 : 1차, 2차 단자 전압

ϕ_m : 상호 자속

N_1, N_2 : 1차, 2차 권선수

그림 1 단상 2권선 변압기

Fig. 1 Single phase two-winding transformer

변압기 내부 사고가 발생하지 않았다면, 매 순간의 1차, 2

* 正 會 員 : 全 北 大 工 大 電 子 情 報 工 學 部 專 任 講 師 · 工 博

** 準 會 員 : 全 北 大 工 大 大 學 院 電 氣 工 學 科 碩 士 課 程

接 受 日 字 : 2000年 9月 15日

最 終 完 了 : 2000年 10月 16日

차 단자 전압은 다음과 같이 표현된다.

$$v_1 = R_1 i_1 + L_1 \frac{di_1}{dt} + e_1 \quad (1)$$

$$v_2 = -R_2 i_2 - L_2 \frac{di_2}{dt} + e_2 \quad (2)$$

여기서, R_1, R_2 : 1차, 2차 권선 저항

L_1, L_2 : 1차, 2차 누설 인덕턴스

e_1, e_2 : 1차, 2차 유기전압

식 (1)과 식 (2)를 e_1, e_2 에 대하여 다시 전개하면 식 (3), 식 (4)와 같다.

$$e_1 = v_1 - R_1 i_1 - L_1 \frac{di_1}{dt} \quad (3)$$

$$e_2 = v_2 + R_2 i_2 + L_2 \frac{di_2}{dt} \quad (4)$$

따라서, 유기전압 e_1, e_2 는 1차, 2차 단자 전압과 전류, 권선 저항과 누설 인덕턴스로부터 계산 가능하다. 식 (3)과 식 (4)의 비를 유기전압비(induced voltage ratio, IVR)라 정의한다.

$$IVR \equiv \frac{e_1}{e_2} \quad (5)$$

e_1, e_2 는 식 (3)과 식 (4)를 이용하여 구할 수 있으므로, 매 순간 유기전압비를 식 (5)로부터 계산할 수 있다. 내부 사고가 발생하지 않았다면, 매 순간의 유기전압비는 권선비 (N_1/N_2)가 된다. 즉, 식 (5)에서 e_1, e_2 는 순시값이므로, 내부 사고가 발생하지 않았다면 임의의 e_1, e_2 에 대해서(단, $e_1 = e_2 = 0$ 인 경우 제외) 유기전압비는 권선비가 된다.

또한, 여자돌입현상이란 변압기 투입시 철심의 포화로 철심의 자화 인덕턴스의 값이 작아졌다, 커졌다하여 전류가 커졌다 작아졌다를 주기적으로 반복하는 현상이다. 여자돌입현상은 변압기의 내부 사고가 발생한 것이 아니므로, 유기전압비는 역시 권선비가 된다. 즉, 여자 돌입시에 e_1, e_2 가 왜곡되었다 하더라도 유기전압비는 권선비가 된다.

한편, 변압기 권선의 내부 사고의 경우에는, 유기전압비는 권선비가 되지 않는다. 본 논문에서는 이러한 점에 착안하여 유기전압비를 구하여, 이 값이 권선비와 같으면 내부 사고가 아니고, 권선비와 같지 않으면 내부 사고라고 판정하는 방식을 제안한다.

그런데, e_1, e_2 는 순시값이므로, e_2 가 0에 가까운 값을 갖는 순간에는 그 비가 커질 수 있기 때문에, 본 논문에서는 식 (6)을 이용하여, 내부 사고를 사고가 아닌 현상과 구분하고자 한다. 즉, 식 (6)의 값이 0이면, 사고가 아닌 정상 상태이고, 0이 아닌 값을 가지면 내부 사고라고 판정한다.

$$Detector = \frac{e_1 - \frac{N_1}{N_2} e_2}{V_{1rms}} \times 100 (\%) \quad (6)$$

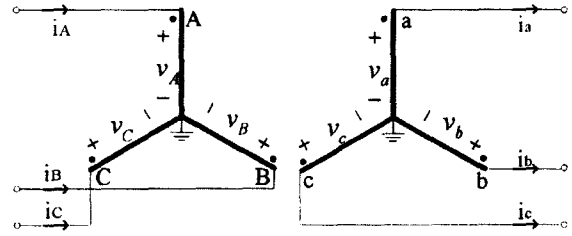
여기서, V_{1rms} : 변압기 1차측 정격 전압

2.2 3상 변압기

제시한 방식을 3상 변압기에 적용하면 다음과 같다.

2.2.1 Y-Y결선

그림 2에 3상 Y-Y 변압기를 나타내었다.



v_A, v_B, v_C : 각 상의 1차 단자 전압

v_a, v_b, v_c : 각 상의 2차 단자 전압

i_A, i_B, i_C : 각 상의 1차 전류

i_a, i_b, i_c : 각 상의 2차 전류

그림 2 삼상 Y-Y 변압기

Fig. 2 A Two winding three phase wye-wye transformer

그림 2에서, 각 상의 1차 단자 전압은 다음과 같다.

$$v_A = R_A i_A + L_{1A} \frac{di_A}{dt} + e_A \quad (7)$$

$$v_B = R_B i_B + L_{1B} \frac{di_B}{dt} + e_B \quad (8)$$

$$v_C = R_C i_C + L_{1C} \frac{di_C}{dt} + e_C \quad (9)$$

여기서, R_A, R_B, R_C : 각 상의 1차 권선 저항

L_{1A}, L_{1B}, L_{1C} : 각 상의 1차 누설 인덕턴스

e_A, e_B, e_C : 각 상의 1차 유기전압

또한 2차 단자 전압을 나타내면 다음과 같다.

$$v_a = -R_a i_a - L_{2a} \frac{di_a}{dt} + e_a \quad (10)$$

$$v_b = -R_b i_b - L_{2b} \frac{di_b}{dt} + e_b \quad (11)$$

$$v_c = -R_c i_c - L_{2c} \frac{di_c}{dt} + e_c \quad (12)$$

여기서, R_a, R_b, R_c : 각 상의 2차 권선 저항

L_{2a}, L_{2b}, L_{2c} : 각 상의 2차 누설 인덕턴스

e_a, e_b, e_c : 각 상의 2차 유기전압

단상 변압기의 경우와 같이, 각 상의 Detector를 구하면, 다음과 같다.

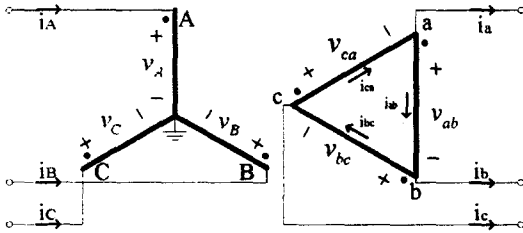
$$Detector A = \frac{e_A - \frac{N_1}{N_2} e_a}{V_{Arms}} \times 100 (\%) \quad (13)$$

$$Detector\ B = \frac{e_B - \frac{N_1}{N_2} e_b}{V_{Brms}} \times 100\ (\%) \quad (14)$$

$$Detector\ C = \frac{e_C - \frac{N_1}{N_2} e_c}{V_{Crms}} \times 100\ (\%) \quad (15)$$

식 (13) ~ 식 (15)의 값이 0이 아니면, 각각 A상, B상, C 상에서 내부 사고가 발생한 것으로 판정한다.

2.2.2 Y-Δ 결선



v_{ab}, v_{bc}, v_{ca} : 각 권선의 2차 선간전압

i_{ab}, i_{bc}, i_{ca} : 각 권선의 2차 상전류

그림 3 삼상 2권선 Y-Δ 변압기

Fig. 3 A Two winding three phase wye-delta transformer

그림 3에서 1차 단자 전압은 식 (7) ~ 식 (9)과 같으며, 2차의 델타 결선측의 전압을 나타내면 다음과 같다.

$$v_{ab} = R_{ab}i_{ab} + L_{lab} \frac{di_{ab}}{dt} + e_{ab} \quad (16)$$

$$v_{bc} = R_{bc}i_{bc} + L_{lbc} \frac{di_{bc}}{dt} + e_{bc} \quad (17)$$

$$v_{ca} = R_{ca}i_{ca} + L_{lca} \frac{di_{ca}}{dt} + e_{ca} \quad (18)$$

여기서, R_{ab}, R_{bc}, R_{ca} : 2차 각 권선의 권선 저항

$L_{lab}, L_{lbc}, L_{lca}$: 2차 각 권선의 누설 인덕턴스

e_{ab}, e_{bc}, e_{ca} : 2차 각 권선의 유기전압

i_{ab}, i_{bc}, i_{ca} 는 측정할 수 없으므로 식 (16) ~ 식 (18)로부터 e_{ab}, e_{bc}, e_{ca} 를 계산할 수 없다. 그런데, i_a, i_b, i_c 만이 측정할 수 있는 값이므로, i_a, i_b, i_c 를 이용하기 위해서, 본 논문에서는 $i_{ca} - i_{ab} = i_a, i_{ab} - i_{bc} = i_b, i_{bc} - i_{ca} = i_c$ 인 관계식을 이용하였다. 또한, 사고가 발생하지 않으면, 델타 결선측 상의 권선 저항과 누설인덕턴스가 서로 같다. 즉, $R_{ab} = R_{bc} = R_{ca} = R, L_{lab} = L_{lbc} = L_{lca} = L_l$ 이 된다. 따라서, 식 (16) ~ 식 (18)을 정리하면 다음과 같다.

$$e_{ca} - e_{ab} = v_{ca} - v_{ab} - Ri_a - L_l \frac{di_a}{dt} \quad (19)$$

$$e_{ab} - e_{bc} = v_{ab} - v_{bc} - Ri_b - L_l \frac{di_b}{dt} \quad (20)$$

$$e_{bc} - e_{ca} = v_{bc} - v_{ca} - Ri_c - L_l \frac{di_c}{dt} \quad (21)$$

식 (19) ~ 식 (21)의 좌변들은 계산 가능하다. 또한, 식 (19) ~ 식 (21)과 대응되는 1차 측의 식을 구하기 위해서, 식 (7) ~ 식 (9)의 식을 다시 정리하면 다음과 같다.

$$e_C - e_A = v_C - v_A - (R_C i_C - R_A i_A) - \left(L_{lC} \frac{di_C}{dt} - L_{lA} \frac{di_A}{dt} \right) \quad (22)$$

$$e_A - e_B = v_A - v_B - (R_A i_A - R_B i_B) - \left(L_{lA} \frac{di_A}{dt} - L_{lB} \frac{di_B}{dt} \right) \quad (23)$$

$$e_B - e_C = v_B - v_C - (R_B i_B - R_C i_C) - \left(L_{lB} \frac{di_B}{dt} - L_{lC} \frac{di_C}{dt} \right) \quad (24)$$

Y-Δ 변압기의 경우에 내부 사고가 발생하지 않았다면 다음과 같은 유기전압비가 성립한다.

$$\frac{e_A}{e_{ab}} = \frac{N_1}{N_2}, \quad \frac{e_B}{e_{bc}} = \frac{N_1}{N_2}, \quad \frac{e_C}{e_{ca}} = \frac{N_1}{N_2} \quad (25)$$

하지만, Y 결선 측의 e_A, e_B, e_C 는 계산할 수 있어도, Δ 결선 측의 e_{ab}, e_{bc}, e_{ca} 는 계산할 수 없으므로, 식 (25)를 사고 판정에 직접 이용할 수 없다. 따라서, Y-Δ 변압기의 경우에 사용될 수 있는 유기전압비를 식 (26)에 나타내었다. 식 (25)와 식 (26)은 필요충분조건이다. 이의 유도과정은 부록에 나타내었다. 따라서, 식 (26)의 좌변들의 분모와 분자는 식 (19) ~ 식 (24)를 이용하여 계산 가능하므로, 본 논문에서는 식 (26)을 사고 판정에 이용한다.

$$\frac{e_C - e_A}{e_{ca} - e_{ab}} = \frac{N_1}{N_2}, \quad \frac{e_A - e_B}{e_{ab} - e_{bc}} = \frac{N_1}{N_2}, \quad \frac{e_B - e_C}{e_{bc} - e_{ca}} = \frac{N_1}{N_2} \quad (26)$$

Y-Δ 변압기의 경우에 본 논문에서 사고 판정에 사용된 Detector는 다음과 같다.

$$Detector\ 1 = \frac{e_C - e_A - \frac{N_1}{N_2} (e_{ca} - e_{ab})}{V_{CArms}} \times 100\ (\%) \quad (27)$$

$$Detector\ 2 = \frac{e_A - e_B - \frac{N_1}{N_2} (e_{ab} - e_{bc})}{V_{ABrms}} \times 100\ (\%) \quad (28)$$

$$Detector\ 3 = \frac{e_B - e_C - \frac{N_1}{N_2} (e_{bc} - e_{ca})}{V_{BCrms}} \times 100\ (\%) \quad (29)$$

위의 Y-Δ 변압기의 경우에 세 개의 Detector를 이용하여 사고를 판정하는 규칙을 표 1에 나타내었다. 세 개의

detector가 모두 0이면 내부 사고가 아니며, 셋 중의 하나의 Detector가 0이면 내부 사고라 판단하며, 사고난 상을 구분한다. 하지만, 두 상 이상이 동시에 사고가 발생한 경우에는 사고를 판정할 수는 있지만, 사고 상을 구분할 수 없다.

표 1 제안한 방식의 사고판정 규칙

Table 1. Fault detecting rule of the proposed algorithm

| Detector1 | Detector2 | Detector3 | 사고판단 |
|-----------|-----------|-----------|--------------------|
| = 0 | = 0 | = 0 | 정상 상태, 여자돌입, 외부 사고 |
| ≠ 0 | ≠ 0 | = 0 | A상사고 |
| = 0 | ≠ 0 | ≠ 0 | B상사고 |
| ≠ 0 | = 0 | ≠ 0 | C상사고 |
| ≠ 0 | ≠ 0 | ≠ 0 | 내부 사고 |

3. 사례연구

제시한 알고리즘의 성능을 검증하기 위해 그림 4와 같은 모델계통을 선택하였다. 사용한 변압기는 3상 Y-Δ결선, 154kV/14.7kV, 100[MVA]이다. 1차 권선의 층간 단락 사고와 지락 사고를 EMTP로 모델링하였고[4], 또한, 여자돌입 현상을 모델링하여, 1차, 2차 전압, 전류의 데이터를 생성하였다. 샘플링 비율은 주기 당 16 샘플로 하였다.

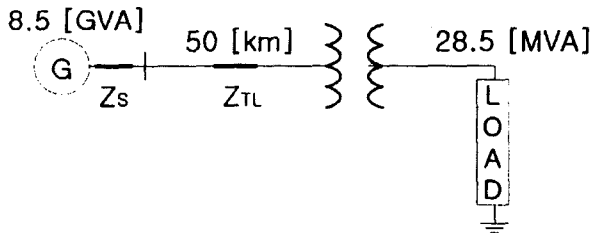


그림 4 모델 계통
Fig. 4 A model system

3.1 여자돌입

여자돌입은 무부하 시, 전원 투입 위상각이 0도인 경우에, 철심에 잔류자속이 없는 경우와 포화점의 80%가 있는 경우에 대하여 모의했다.

그림 5에 잔류자속이 없는 경우 각 상의 차동전류를 나타내었고, 그림 6에 식 (19)와 식 (22)를 이용하여 계산한, Detector1의 $e_C - e_A$ 와 $N_1/N_2(e_{ca} - e_{ab})$ 을 나타내었다. 여자돌입이 발생하여 큰 전류가 흘렀지만, 계산한 두 개의 전압이 거의 같음을 알 수 있다.

그림 7에 세 개의 Detector와 트립 신호를 나타내었다. 카운터를 두어 Detector가 5%이상이면 카운터를 1을 증가시키고, 5% 미만이면 1을 감소하였으며, 카운터가 4가 되면 최종 트립을 결정하였다. 변압기 투입이후 차동전류(여자전류)는 A상의 경우 최대값이 900[A]에 이르렀지만, Detector는 5% 이내가 되어, 트립 신호가 발생되지 않았다.

그림 7의 Detector는 유기전압을 계산하는 과정에서 미분

항을 근사할 때 발생하는 오차이다. 본 논문에서는 주기 당 16 샘플인 경우에 대해 사례 연구를 행하였지만, 샘플링 비율을 높이면 오차는 현저하게 줄어든다.

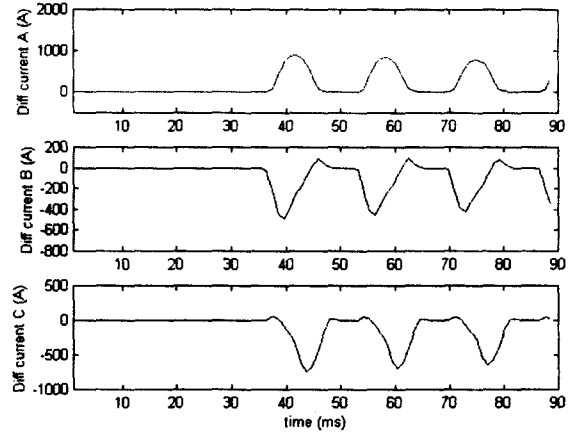


그림 5 각 상의 차동전류(무 잔류자속)
Fig. 5 Differential currents (No remanent flux)

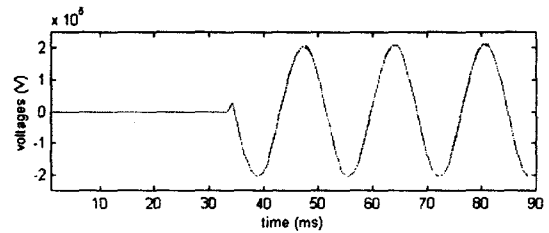


그림 6 Detector1의 $e_C - e_A$ 와 $N_1/N_2(e_{ca} - e_{ab})$
Fig. 6 $e_C - e_A$ and $N_1/N_2(e_{ca} - e_{ab})$ of Detector1

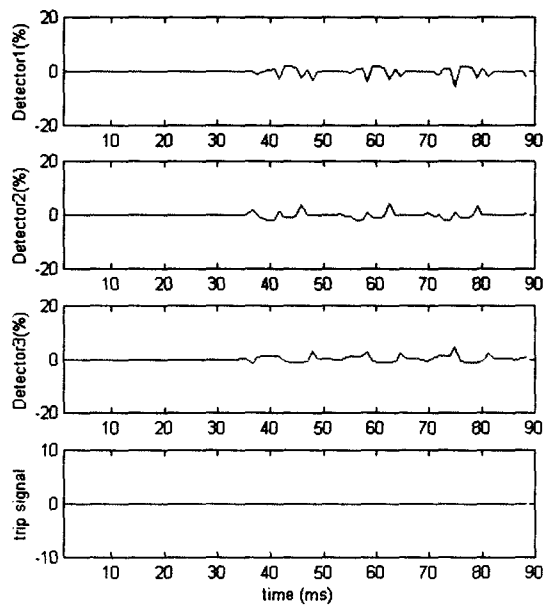


그림 7 Detector와 트립 신호(무 잔류자속)
Fig. 7 Detectors and trip signal (No remanent flux)

그림 8과 그림 9에는 포화점의 80%의 잔류자속이 있는 경우의 차동전류와 Detector를 각각 나타내었다. 이 경우에는 잔류자속이 없는 경우보다 차동전류가 더 크게 나타나 최대값이 1600[A]에 이르렀지만, Detector 값은 5% 이내가 되어 트립이 발생되지 않았다.

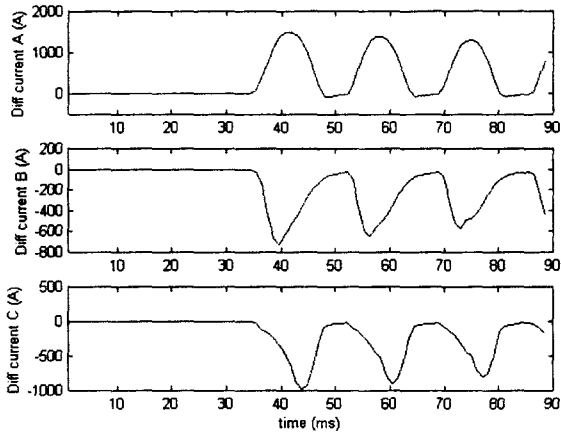


그림 8 차동전류 (80% 잔류자속)
Fig. 8 Differential currents (80% remanent flux)

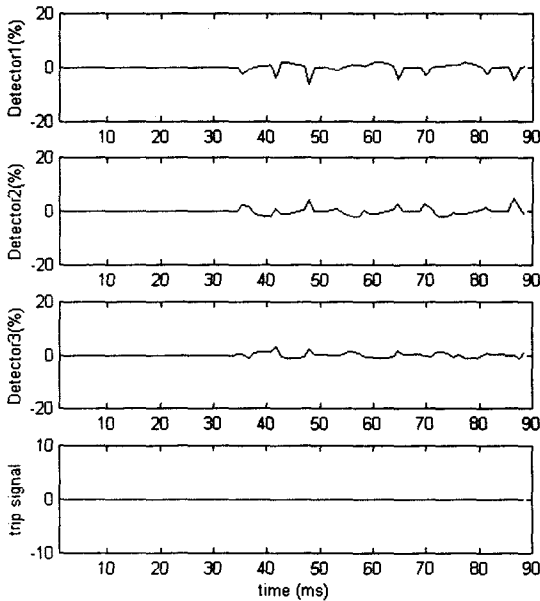


그림 9 Detector와 트립 신호(80% 잔류자속)
Fig. 9 Detectors and trip signal (80% remanent flux)

3.2 내부 사고

내부 사고는 B상 권선의 중성점에서 40% 지점의 지락 사고, 중성점에서 20% 지점과 40% 지점의 층간 단락 사고, 중성점에서 60% 지점과 80% 지점의 층간 단락 사고를 모의하였고, 사고 위상각은 각각 0도와 90도로 하였다.

이 중에서 그림 10은 B상의 중성점에서 40% 부분에서 0도 지락 사고 시 Detector값과 트립 신호를 나타냈고, 그림 11은 B상의 중성점에서 20% 지점과 40% 지점의 90도 층간

단락 사고 시 Detector값과 트립 신호를 나타냈다. 제시한 방식은 두 경우 모두, 사고 후 4.167[ms]에 사고로 판정하였다.

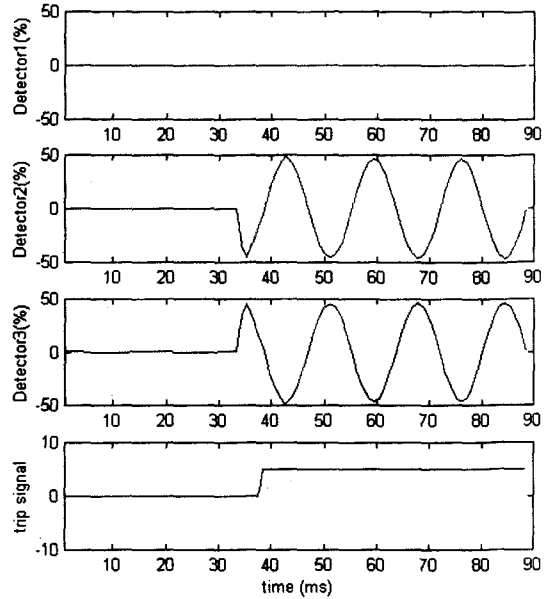


그림 10 지락 사고 시 Detector와 트립 신호
Fig. 10 Detectors and trip signal in case of a turn-to-ground fault

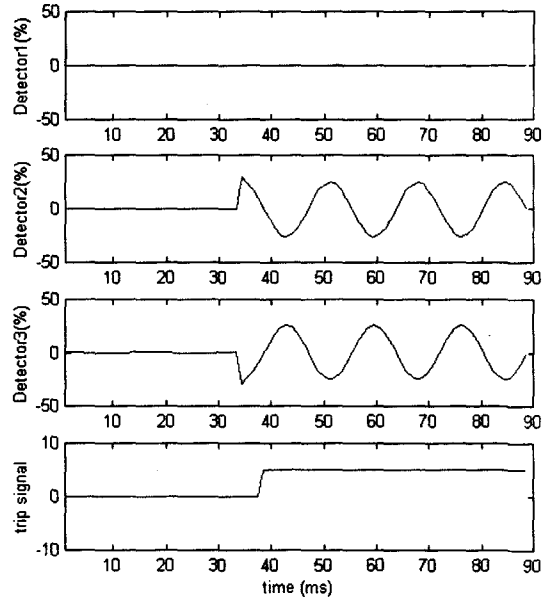


그림 11 층간 단락 사고 시 Detector와 트립 신호
Fig. 11 Detectors and trip signal in case of a turn-to-turn fault

3.3 외부 사고

외부 사고는 변압기에서 20[km] 떨어진 송전선에서 지락 사고와 삼상 단락 사고가 났을 때, 0도 사고와 90도 사고에 대해서 모의하였다. 이 중에서 그림 12에 삼상 단락 사고 시 0도 사고 결과를 나타내었다. 이 경우엔 Detector는 모두 한

샘플정도 큰 값을 갖지만, 내부 사고로는 판정하지 않았다.

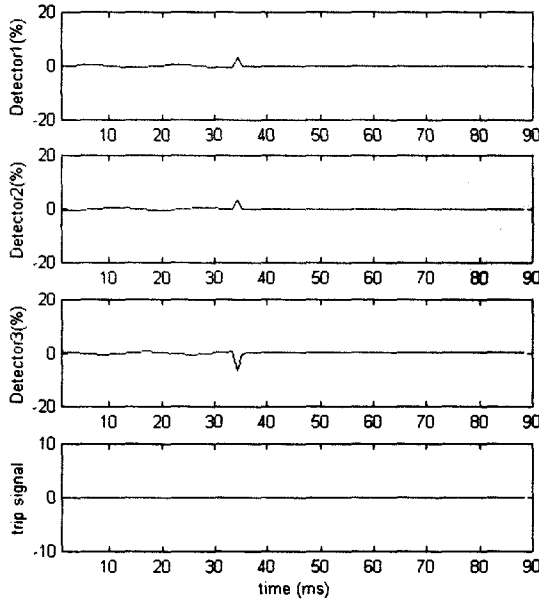


그림 12 외부 사고 시의 Detector와 트립 신호
 Fig. 12 Detectors and trip signal in case of an external fault

4. 결 론

본 논문에서는 변압기의 1차, 2차 유기전압비를 이용해서 내부 사고와 내부 사고가 아닌 여자돌입, 외부 사고를 구분하는 알고리즘을 제시하였다. 제시한 알고리즘은 변압기의 1차, 2차 전압, 전류의 관계식으로부터 1차, 2차의 유기전압을 계산하고 이들의 비로써 내부 사고와 여자돌입을 구분하였다. 여자돌입은 투입 위상각과 잔류자속을 달리하여 모의하였고, 지락 사고, 충전 단락 사고는 사고 위상각과 사고 위치를 달리하여 모의하여 제시한 방식을 시험한 결과, 제시한 방식은 내부 사고와 여자돌입을 잘 구분함을 확인하였다. 또한, 외부 사고 시에도 오동작하지 않음을 알 수 있었으며, 변압기 내부 사고 시, 사고 후 1/4주기 이내에 트립 신호를 발생시켜 매우 빠르게 내부 사고를 인식함을 알 수 있다.

제시한 방식은 복잡한 철심의 히스테리시스 데이터가 필요 없으며, 코어의 재질이 달라지거나, 또한 계통 조건이 달라지더라도 별도의 많은 수정이 없이 적용 가능한 방식이며, 시간 영역에서 보호를 수행하기 때문에 계전기의 동작시간을 감소할 수 있으며, 샘플링 비율을 높이면 계전기 동작시간을 더욱 감소할 수 있다.

부 록

충분조건은 식 (25)을 식(26)에 대입하면 쉽게 증명이 되므로 필요조건만 증명하면 된다. 따라서, 필요조건을 증명하기 위해 각 상에 대응하는 유기전압비를 α, β, γ 라 하자.

$$\frac{e_A}{e_{ab}} = \alpha, \quad \frac{e_B}{e_{bc}} = \beta, \quad \frac{e_C}{e_{ca}} = \gamma \quad (A1)$$

위 식을 식 (26)에 대입한 후 다시 정리하면, 다음과 같다.

$$\gamma e_{ca} - \alpha e_{ab} = \frac{N_1}{N_2} (e_{ca} - e_{ab}) \quad (A2)$$

$$\alpha e_{ab} - \beta e_{bc} = \frac{N_1}{N_2} (e_{ab} - e_{bc}) \quad (A3)$$

$$\beta e_{bc} - \gamma e_{ca} = \frac{N_1}{N_2} (e_{bc} - e_{ca}) \quad (A4)$$

그런데, 위의 세 식이 모든 e_{ab}, e_{bc}, e_{ca} 에 대해 성립하려면 $\alpha = \beta = \gamma = N_1/N_2$ 이다. 따라서, $\frac{e_A}{e_{ab}} = \frac{e_B}{e_{bc}} = \frac{e_C}{e_{ca}} = \frac{N_1}{N_2}$ 이 된다. 그러므로, 식 (25)와 식 (26)는 필요충분조건이다.

감사의 글

본 연구(관리번호:99-035)는 한국전력공사의 지원에 의해 기초전력공학공동연구소 주관으로 수행되었음

참 고 문 헌

[1] K. Inagaki, M. Higaki, Y. Matsui, K. Kurita, "Digital Protection Method for Power Transformer Based on an Equivalent Circuit Composed of Inverse Inductance", IEEE Trans. on PWRD, vol.3, no.4, pp. 1501-1510, October 1988

[2] A.G. Phadke, J.S. Thorp, "A New Computer-Based Restrained Current-Differential Relay for Power Transformer Protection", IEEE Trans. on PAS, vol. 102, No.11, pp. 3624-3629, November 1983

[3] M.S. Sachdev, T.S. Sidhu, H.C. Wood, "A Digital Relaying Algorithm for Detecting Transformer Winding Faults", IEEE Trans. on PWRD, vol.4, no.3, pp. 1638-1648, July 1989

[4] P. Bastard, P. Bertrand, 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 서울대학교 전기공학과 졸업. 1993년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1997년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학). 1999년 3월~현재 전북대학교 전자정보공학부 전임강사

Tel : 063-270-2391

E-mail : yckang@moak.chonbuk.ac.kr



이 병 은 (李 炳 銀)

1975년 11월 7일생. 1999년 전북대학교 전기공학과 졸업, 1999년 3월~현재 동 대학원 전기공학과 석사과정

E-mail : mpec@electric.chonbuk.ac.kr