

Modified Current Differential Relay for Y-Δ Transformer Protection

姜龍澈[†] · 金恩淑^{*}
(Yong-Cheol Kang · En-Shu Jin)

Abstract - This paper proposes a modified current differential relay for Y-Δ transformer protection. The relay uses the same restraining current as a conventional relay, but the differential current is modified to compensate for the effects of the exciting current. A method to estimate the circulating component of the delta winding current is proposed. To cope with the remanent flux, before saturation, the core-loss current is calculated and used to modify the measured differential current. When the core then enters saturation, the initial value of the flux is obtained by inserting the modified differential current at the start of saturation into the magnetization curve. Thereafter, the core flux is then derived and used in conjunction with the magnetization curve to calculate the magnetizing current. A modified differential current is then derived that compensates for the core-loss and magnetizing currents. The performance of the proposed differential relay was compared against a conventional differential relay. Test results indicate that the modified relay remained stable during severe magnetic inrush and over-excitation, because the exciting current was successfully compensated. This paper concludes by implementing the relay on a hardware platform based on a digital signal processor. The relay does not require additional restraining signal and thus cause time delay of the relay.

Key Words : Modified-Current-Differential Relay, Remanent Flux, Delta-Winding Current, Circulating Component, Non-Circulating Component.

1. 서론

변압기 보호 계전기는 내부사고를 여자돌입 및 과여자 등과 정확하게 구분할 수 있어야 하며, 이에 전류차동 계전기가 널리 이용되어 왔다. 전류차동 계전기는 전력 설비에 유입되는 전류와 유출되는 전류의 차이를 고려하여 설비를 보호하는 방식이다. 하지만, 변압기 보호의 경우에는 유·출입 전류만을 고려하게 되면, 여자돌입이나 과여자 시에 크게 증가하는 자화전류를 고려할 수 없어 전류차동 계전기가 오동작하게 된다. 이러한 문제점을 극복하기 위해 동작 전류에 포함되어 있는 고조파 성분을 이용하여 계전기의 출력을 억제 또는 블로킹하는 방식을 사용하고 있다. 이 방식들은 여자돌입이나 과여자 시에 오동작을 방지할 수 있지만, 내부사고시 계전기의 동작시간이 증가하는 단점이 있다[1, 2].

이러한 고조파 억제 전류차동 계전기의 단점을 극복하고자, 변압기 모델에 기초한 보호 방식이 제안되었다[3, 4]. 이 방식들은 전압과 전류의 페이저를 계산하지 않고 시간영역에서 동작하기 때문에 속도가 매우 빠르다. 하지만, 이 방식들은 변압기 양단의 전류와 양단의 전압이 필요하다.

계전기 동작시간이 늦어지는 고조파 억제 전류차동 계전기의 단점을 극복하고자 수정 전류차동 계전기가 제안되었다[5]. 이 방식은 여자돌입 시나 과여자 시에 자화전류와 철손

전류를 보상하여 보호한다. 그러므로 별도의 억제 또는 블로킹 방식이 필요하지 않기 때문에 내부사고 시 동작속도가 빠르다. 하지만, 이 방식은 잔류자속이 있는 경우에는 정확한 자속을 계산하기 어려운 문제가 있다.

잔류자속이 존재하는 경우의 문제점을 해결하고자, 잔류자속에 영향을 받지 않는 변압기 보호용 수정 전류차동 계전방식이 제안되었다[6]. 이 방식은 [5]에서와 마찬가지로 철손전류, 자화전류를 보상하지만, 잔류자속의 문제를 해결하기 위하여, 철심의 포화 이전과 포화 이후로 나누어서 각각 다른 형태의 수정된 차전류를 계산한다. 포화 이전에는 자화전류가 무시할 만큼 작기 때문에 철손전류만을 구하여 수정된 차전류를 계산한다. 한편, 차전류가 임계값을 초과하게 되면, 철심이 포화되었다고 판단하고, 그 순간의 차전류(자화전류)를 자화곡선에 대입하여, 자속을 구한다. 이 값을 자속을 계산하기 위한 초기자속으로 간주하여, 그 이후에는 초기자속으로부터 매 순간의 자속을 구하고, 이 값을 자화곡선에 대입하여, 자화전류를 추정한다. 이로부터 수정된 차전류를 구하여 사고를 판단하는 방식이다. 하지만, 이 방식은 권선 전류를 사용하기 때문에 Y-Δ 또는 Δ-Y 변압기의 경우에는 적용할 수 없다.

본 논문에서는 Y-Δ 변압기 보호용 수정 전류차동 계전방식에 대해 기술한다. 먼저, 델타 권선 전류를 추정하는 방법에 대해 기술하고, 이를 기반으로 한 수정 전류차동 방식에 대해 기술한다. EMTP를 이용하여 변압기를 모델링한 후, 다양한 조건에서의 여자돌입, 내부사고, 과여자 시의 데이터를 생성하여, 기존의 전류차동 방식과 제안한 방식의 성능을 비교하였다. 또한, 제안한 방식을 DSP 보드를 이용하여 실시한 시험하였다.

[†] 교신저자, 正會員 : 全北大 電子情報工學部 助教授 · 工博
E-mail : yckang@chonbuk.ac.kr

^{*} 正會員 : 全北大 電氣工學科 博士課程
接受日字 : 2005年 5月 24日
最終完了 : 2006年 2月 5日

2. Y-Δ 변압기 보호용 수정 전류차동 계전방식

그림 1에 3상 Y-Δ 변압기와 이의 등가회로를 나타내었다. 기술의 편의성을 위해서 본 논문에서는 $R_A \approx R_B \approx R_C = R_1$, $L_{1A} \approx L_{1B} \approx L_{1C} = L_{11}$, $R_a \approx R_b \approx R_c = R_2$, $L_{1a} \approx L_{1b} \approx L_{1c} = L_{12}$ 이라고 가정한다. 하지만, 이 조건이 만족하지 않더라도 제안한 방식은 성립한다.

변압기 각 상의 1차, 2차 단자전압은 다음과 같다.

$$v_A = R_1 i_A + L_1 \frac{di_A}{dt} + e_A \tag{1}$$

$$v_B = R_1 i_B + L_1 \frac{di_B}{dt} + e_B \tag{2}$$

$$v_C = R_1 i_C + L_1 \frac{di_C}{dt} + e_C \tag{3}$$

$$v_{ab} = R_2 i_{ab} + L_2 \frac{di_{ab}}{dt} + e_{ab} \tag{4}$$

$$v_{bc} = R_2 i_{bc} + L_2 \frac{di_{bc}}{dt} + e_{bc} \tag{5}$$

$$v_{ca} = R_2 i_{ca} + L_2 \frac{di_{ca}}{dt} + e_{ca} \tag{6}$$

2.1 기존 전류차동 계전방식

Y-Δ 변압기 A상의 경우, 기존의 전류차동 계전방식은 차전류의 기본과 성분 I_{dA} 는 식 (7)과 같이 구한다.

$$I_{dA} = \vec{I}_A - \vec{I}_C - a\vec{I}_d \tag{7}$$

여기서 a 는 N_2/N_1 이다. 또한, 억제전류의 기본과 성분 I_{rA} 는 식 (8)과 같이 계산하며, 계전기의 트립 조건은 식 (9)와 같다.

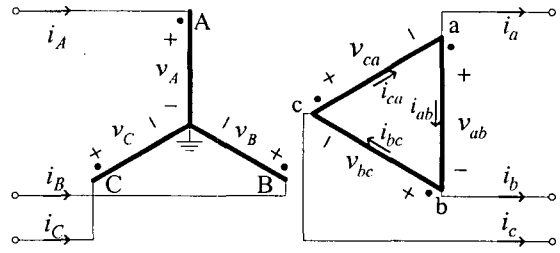
$$I_{rA} = \frac{|\vec{I}_A - \vec{I}_C + a\vec{I}_d|}{2} \tag{8}$$

$$I_{dA} \geq I_{offset} + KI_{rA} \quad I_{offset} = 15A \tag{9}$$

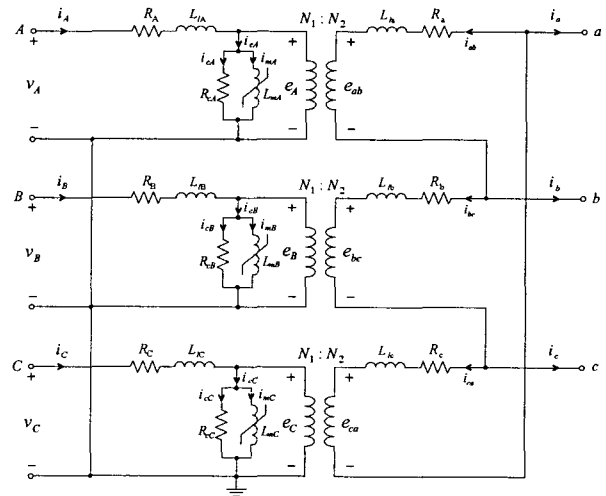
본 논문에서는 계전기의 감도 K 를 0.3으로 설정하였다.

2.2 수정된 전류차동 계전방식

참고문헌 [6]과 같이, 본 논문에서는 철심의 포화 이전과 포화 이후로 나누어서, 각각 다른 형태의 수정된 차전류를 구하여 보호한다. 3상 Y-Δ 변압기의 경우에는 델타 권선전류를 추정해야 하며, 본 논문에서는 이를 구하는 방법을 2.2.1 절에서 제안한다. 먼저, 즉, 제안한 방식은 철심의 포화 이전에는 자속을 계산하지 않고 철손전류만을 구하여 보상한다. 반면, 차전류가 임계값을 초과하게 되면 즉, 포화 이후에는 자화전류와 철손전류 모두를 구하여 수정된 차전류를 계산하도록 하였다. 제안한 방식의 흐름도를 그림 2에 나타내었다. 그림 2에서 sat_ind는 변압기 철심의 포화유무를 판단하는 플래그로서, 철심이 포화된 경우에는 sat_ind = 1, 포화되지 않은 경우에는 sat_ind = 0으로 플래그를 설정하여 알고리즘을 수행하였다.



$U_A, U_B, U_C, U_{ab}, U_{bc}, U_{ca}$: 각 상의 1차, 2차 단자전압
 i_A, i_B, i_C : 각 상의 1차 전류
 i_{ab}, i_{bc}, i_{ca} : 각 상의 2차 권선전류
 i_a, i_b, i_c : 각 상의 2차 선전류
 (a) 3상 Y-Δ 변압기



$e_A, e_B, e_C, e_{ab}, e_{bc}, e_{ca}$: 1차, 2차 각 상의 유기전압
 $R_A, R_B, R_C, R_a, R_b, R_c$: 1차, 2차 각 상의 권선저항
 $L_{1A}, L_{1B}, L_{1C}, L_{1a}, L_{1b}, L_{1c}$: 1차, 2차 각 상의 누설인덕턴스
 R_{cA}, R_{cB}, R_{cC} : 각 상의 철손저항
 L_{mA}, L_{mB}, L_{mC} : 각 상의 자화인덕턴스
 N_1, N_2 : 1차, 2차 권선수
 i_{eA}, i_{eB}, i_{eC} : 각 상의 여자전류
 $i_{cA}, i_{cB}, i_{cC}, i_{mA}, i_{mB}, i_{mC}$: 각 상의 철손전류와 자화전류
 (b) 등가회로

그림 1 3상 Y-Δ 변압기와 등가회로

Fig. 1 Three phase Y-Δ transformer and its equivalent circuit

2.2.1 델타 권선 전류 추정

변압기 2차 권선전류인 i_{ab}, i_{bc}, i_{ca} 는 각각 두 성분으로 나눌 수 있다. 한 성분은 비 순환전류성분 i_{pa}, i_{pb}, i_{pc} 이고, 다른 성분은 순환전류성분 i_{Δ} 이다.

$$i_{ab} = i_{pa} + i_{\Delta}, i_{bc} = i_{pb} + i_{\Delta}, i_{ca} = i_{pc} + i_{\Delta} \tag{10}$$

비 순환전류성분은 참고문헌 [3]의 식 (11)로부터 추정할 수 있다.

$$i_{pa} = \frac{i_b - i_a}{3}, i_{pb} = \frac{i_c - i_b}{3}, i_{pc} = \frac{i_a - i_c}{3} \tag{11}$$

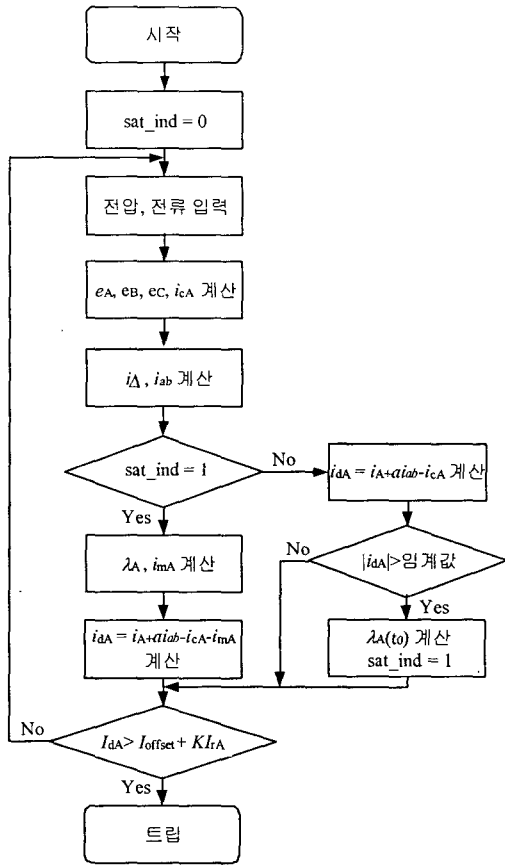


그림 2 제안한 방식의 흐름도
Fig. 2 Flow chart of the proposed relay

하지만, 순환전류성분 i_{Δ} 를 추정할 수 없다. 따라서 본 논문에서 i_{Δ} 를 추정하는 방식을 제안한다. 식 (1)~(3)을 유기전압에 대해 정리하면 다음과 같다.

$$e_A = v_A - R_1 i_A - L_n \frac{di_A}{dt} \quad (12)$$

$$e_B = v_B - R_1 i_B - L_n \frac{di_B}{dt} \quad (13)$$

$$e_C = v_C - R_1 i_C - L_n \frac{di_C}{dt} \quad (14)$$

따라서 변압기 1차 각 상의 유기전압 e_A, e_B, e_C 는 식 (12)~(14)로부터 구할 수 있다. 식 (4)~(6)을 더하면, 식 (15)과 같다.

$$e_{ab} + e_{bc} + e_{ca} = L_n \frac{d(3i_{\Delta})}{dt} + R_2(3i_{\Delta}) \quad (15)$$

변압기 2차 각 상의 유기전압 e_{ab}, e_{bc}, e_{ca} 는 e_A, e_B, e_C 와 식 (16)을 이용하여 구할 수 있다.

$$\frac{e_A}{e_{ab}} = \frac{e_B}{e_{bc}} = \frac{e_C}{e_{ca}} = \frac{N_1}{N_2} \quad (16)$$

따라서 식 (15)의 좌변은 식 (12)~(14)와 식 (16)으로부터 계산할 수 있으므로, i_{Δ} 는 식 (15)로부터 추정할 수 있다.

추정된 순환전류성분 i_{Δ} 와 비 순환전류성분 i_{pa}, i_{pb}, i_{pc} 를 식 (10)에 대입하면, 변압기 2차측 각 상의 권선전류 i_{ab}, i_{bc}, i_{ca} 를 계산할 수 있다.

2.2.2 철심의 포화 이전 (sat_ind = 0)

철심의 포화 이전(그림 2의 sat_ind = 0)에는 철손전류 i_{cA} 만을 추정하여 수정된 차전류를 구한다.

식 (12)를 통해 e_A 는 계산 가능하므로, 철손전류 i_{cA} 는 식 (17)로부터 구할 수 있다.

$$i_{cA} = \frac{e_A}{R_{cA}} \quad (17)$$

R_{cA} 는 제작자에 의해서 주어진다.

따라서, 포화 이전에는 식 (18)의 수정된 차전류를 구하고, 이의 기본과 성분을 구한다.

$$i_{dA} = i_A + ai_{ab} - i_{cA} \quad (18)$$

2.2.3 철심의 포화 이후 (sat_ind = 1)

포화 이전에는 자화전류가 크지 않으므로 식 (18)의 i_{dA} 는 아주 작지만, 철심이 포화 되면 매우 커진다. 본 논문에서는 i_{dA} 가 임계값을 초과하면, 포화시작이라고 판단한다. 이를 위한 임계값은 포화점 전류값보다 크게 선택하면 된다.

포화시작 순간에서의 i_{dA} 는 자화전류로 간주할 수 있기 때문에, 그 순간의 i_{dA} 를 자화곡선에 대입하면 포화순간의 자속을 구할 수 있다(그림 3). 이 자속을 λ_{A0} 로 하면, 포화 이후의 자속 λ_A 는 식 (19)를 이용하여 구할 수 있다.

$$\lambda_A = \int_0^t e_A dt + \lambda_{A0} \quad (19)$$

λ_A 를 자화곡선에 대입하여 그 자속에 해당하는 자화전류 i_{mA} 를 추정한다.

한편, 포화 이후에도 식 (17)을 이용하여 철손전류를 구한다. 결과적으로 포화 이후에는 다음 식을 이용하여 수정된 차전류를 구한다.

$$i_{dA} = i_A + ai_{ab} - i_{cA} - i_{mA} \quad (20)$$

포화 이후에는 식 (20)를 이용해서 구한 수정된 차전류의 기본과 성분과 식 (8)의 역제전류가 식 (9)의 트립 조건을 만족하면 사고라고 판단한다.

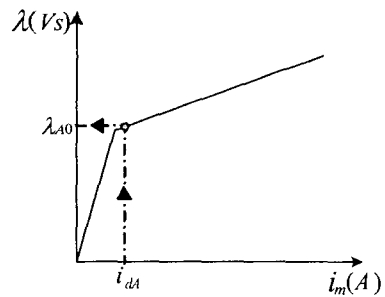


그림 3 λ_{A0} 의 추정
Fig. 3 Estimation of λ_{A0}

3. 사례 연구

제안한 알고리즘의 성능을 검증하기 위하여 그림 4와 같은 모델 계통을 선택하였다. 3상 Y-Δ 변압기(154kV/13kV, 55 MVA)를 EMTP를 이용하여 모델링하였고, 샘플링 비율은 주기당 64샘플을 사용하였다. 본 모델계통에서 사용한 파라미터는 $Z_s = 0.56+j3.9 \Omega$ 이며, Z_{TL} 은 $R' = 0.1\Omega/\text{km}$, $\omega L' = 0.5 \Omega/\text{km}$, $\omega C' = 3.5\mu\text{F}/\text{km}$ 이다. 내부사고는 참고문헌 [7]의 방식을 이용하여 모델링하였다.

변압기 철심의 히스테리시스 특성을 모델링하기 위하여 type-96소자를 사용하였고, HYSDAT를 사용하기 위한 포화점은 (40A, 333.754Vs)를 사용하였다. 저역 통과필터는 저지대역 컷오프 주파수를 1920 Hz인 Butterworth 2차 필터를 설계하여, 전압과 전류를 통과시켰다. 포화를 판단하기 위한 임계값은 포화점 전류의 두 배 즉 80A를 선택하였다.

사례연구에서의 결과는 A상의 경우만 나타내었다. 여자돌입, 내부사고, 과여자 등의 경우에 대하여 기존의 전류차동 방식과 제안한 방식의 성능을 비교하였다.

3.1 여자돌입

여자전류의 크기는 투입 위상각, 잔류자속, 부하에 따라 달라지므로, 세 파라미터를 변경하여 다양한 여자돌입의 경우를 모의하였다.

1) 사례 1: 투입 위상각 0도, 잔류자속 0%, 무부하

그림 5는 사례 1에 대한 기존의 전류차동 방식과 제안한 방식의 결과를 나타낸다. 변압기는 29.2ms에 투입하였다. 그림 5d에서 점선은 기존 방식의 트립신호를 나타내고, 실선은 제안한 방식의 트립신호를 나타낸다. 투입 위상각이 0도이기 때문에, 철심이 심하게 포화되어, 기존 방식의 경우, 펄스 모양의 차전류가 발생하며, 첫 번째 펄스의 크기는 약 1400A이다(그림 5a). 따라서, 계전기가 동작영역 안으로 진입하게 되어(그림 5c), 34.6ms(투입 후 5.4ms)에 트립신호가 발생하였다(그림 5d).

한편, 제안한 방식에서는 34.1ms에 포화시작순간을 검출하여, 계산된 초기자속은 347.7Vs이다. 식 (19)를 이용하여 계산한 λ_A 를 자화곡선에 대입하므로써 자화전류 i_{mA} 를 추정하였다(그림 5b). 1차 전류 i_A 에서 2차 전류 $-i_{Ab}$, 철손전류 i_{cA} , 자화전류 i_{mA} 를 빼서 수정된 차전류의 값이 매우 작기 때문에, 계전기가 동작영역 안으로 진입하지 않았으며(그림 5c), 트립신호가 발생하지 않았다(그림 5d).

2) 사례 2: 투입 위상각 0도, 잔류자속 80%, 무부하

그림 6은 사례 2에 대한 기존 방식과 제안한 방식의 결과를 나타낸다. 기존 방식의 경우 차전류의 피크값이 2300A가 되어, 계전기가 32.3ms(투입 후 3.1ms)에 동작영역에 진입하였다. 한편, 제안한 방식에서는 31.5ms에 포화시작순간을 검출하였다. 수정된 차전류의 값이 매우 작기 때문에, 계전기가 동작영역안으로 진입하지 않았으며, 트립신호가 발생하지 않았다.

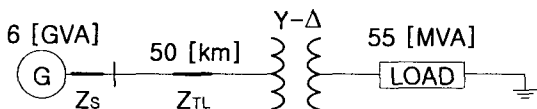
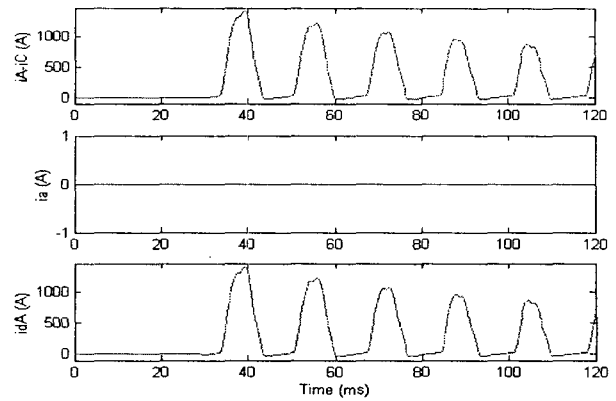
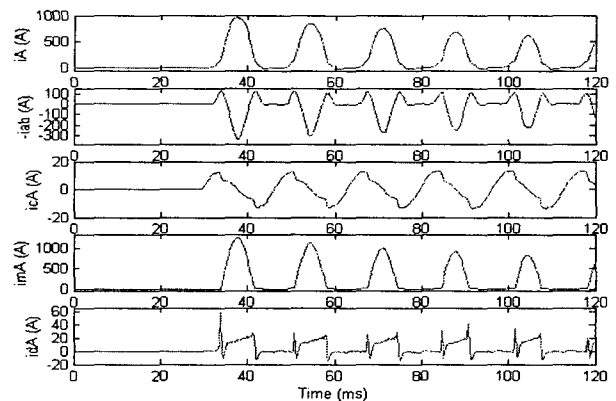


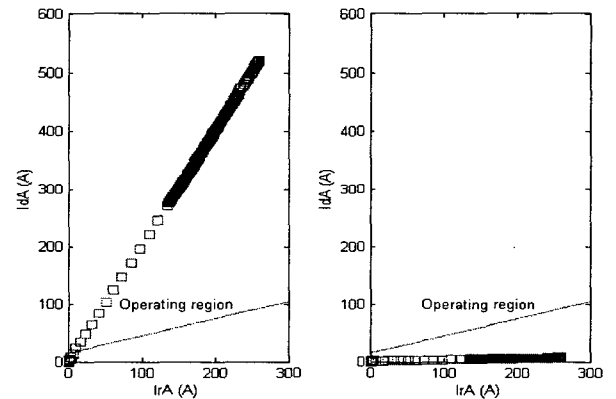
그림 4 모델 시스템
Fig. 4 Model system studied



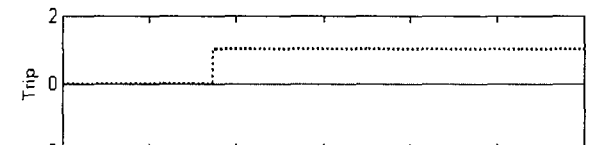
(a) i_A-i_C , i_a 와 차전류의 순시값(기존 방식)



(b) 1차, 2차, 자화, 철손, 차전류의 순시값(제안한 방식)



(c) 기존 방식(좌)과 제안한 방식(우)의 계전기 동작



(d) 트립신호

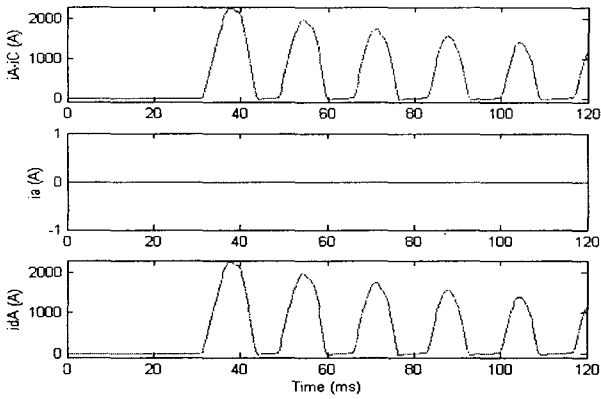
그림 5 사례 1의 결과
Fig. 5 Results for Case 1

3.2 내부사고

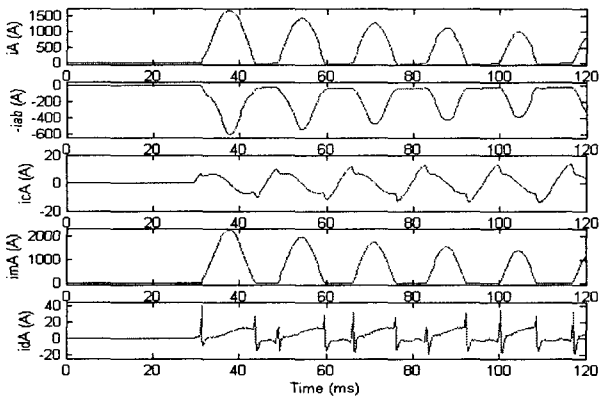
1차 권선의 A상에 다양한 내부사고를 모의하여 제안한 방식을 시험하였다.

1) 사례 3: 중성점으로부터 80% 지점의 0도 지락사고

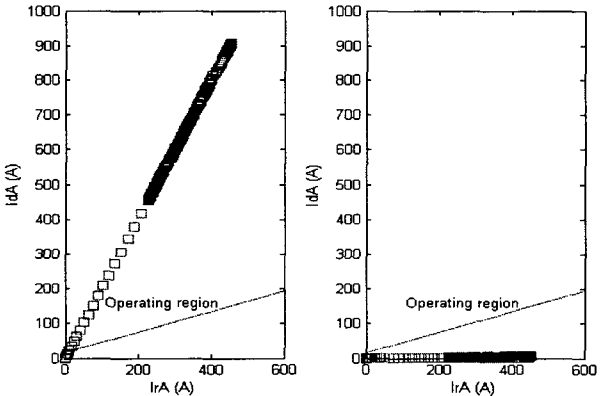
그림 7은 사례 3에 대한 기존의 방식과 제안한 방식의 결과를 나타낸다. A상에서 지락사고가 29.2ms에 발생하였다.



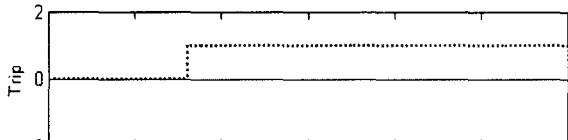
(a) i_A-ic , i_a , 차전류의 순시값(기존 방식)



(b) 1차, 2차, 자화, 철손, 차전류의 순시값(제한한 방식)



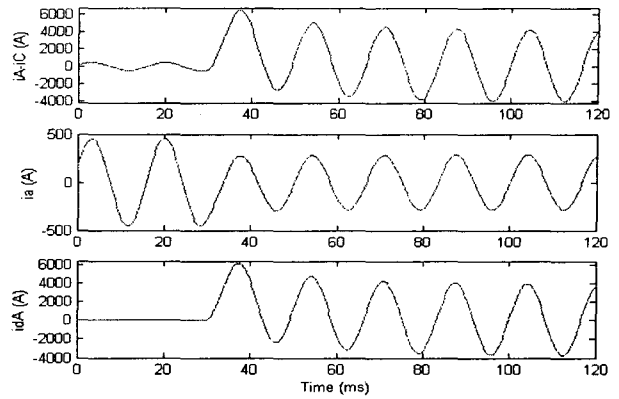
(c) 기존 방식(좌)과 제한한 방식(우)의 계전기 동작



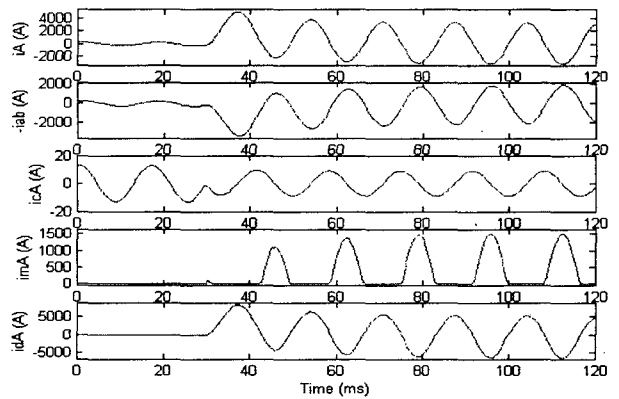
(d) 트립신호

그림 6 사례 2의 결과
Fig. 6 Results for Case 2

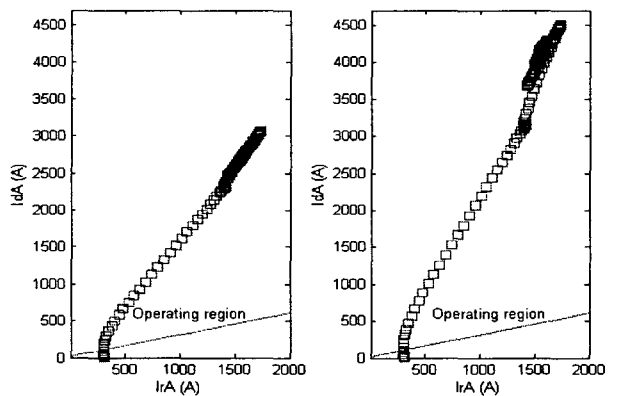
기존 방식의 경우, 32.0ms(사고 발생 후 2.8ms)에 계전기가 동작영역 안으로 진입하게 되어, 트립신호가 발생하였다. 한편, 제한한 방식에서는 30.2ms에 포화시작 순간을 검출하여 자화전류를 추정하였으나, 차전류의 크기에 영향을 주지 않았으므로(참고문헌 [6] 참조), 32.0ms(사고 발생 후 2.8ms)에 트립신호가 발생하였다(그림 7d).



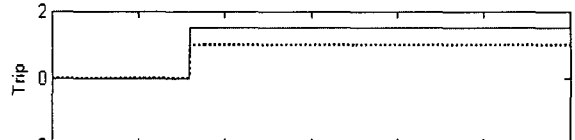
(a) i_A-ic , i_a , 차전류의 순시값(기존 방식)



(b) 1차, 2차, 자화, 철손, 차전류의 순시값(제한한 방식)



(c) 기존 방식(좌)과 제한한 방식(우)의 계전기 동작



(d) 트립신호

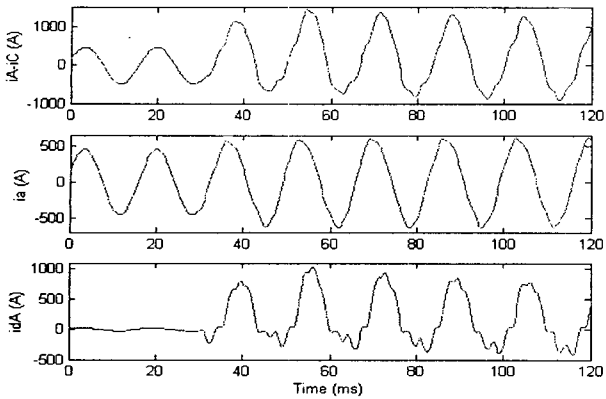
그림 7 사례 3의 결과
Fig. 7 Results for Case 3

3.3 과여자

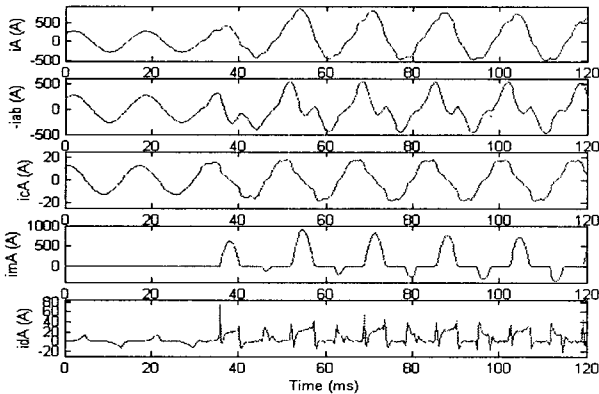
1) 사례 4: 1차 정격전압의 1.5배의 전압을 인가

그림 8은 사례 4에 대한 기존의 방식과 제한한 방식의 결과를 나타낸다. 1.5배의 과전압이 29.2 ms에 인가되었다. 따라서 기존 방식의 계전기는 38.8ms에 동작영역 안으로 진입

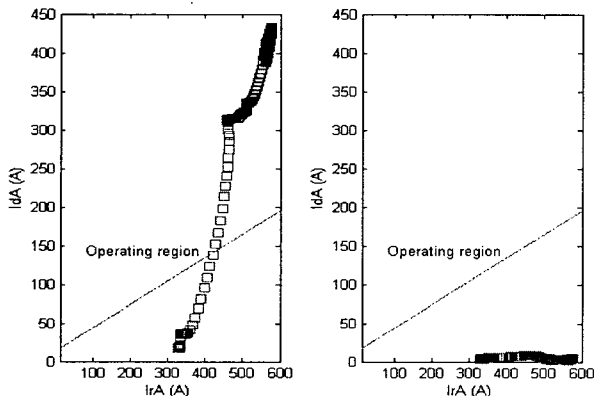
하여 트립신호가 발생하였다. 한편, 제안한 방식에서는 수정된 차전류가 아주 작기 때문에(그림 8b), 계전기가 동작영역안으로 진입하지 않았으며, 트립신호가 발생하지 않았다.



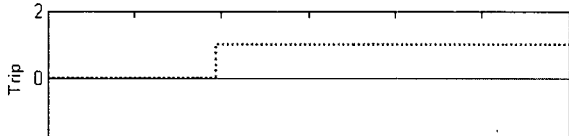
(a) i_A-i_C , i_a , 차전류의 순시값(기존 방식)



(b) 1차, 2차, 자화, 철손, 차전류의 순시값(제안한 방식)



(c) 기존 방식(좌)과 제안한 방식(우)의 계전기 동작



(d) 트립신호

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

4. 실시간 시험

제안한 방식을 실시간으로 시험하기 위하여 그림 9의 시험 시스템을 사용하였다. PCL-727 D/A 변환기를 이용하여 EMTP에서 얻은 9개의 데이터를 아날로그 데이터로 변환한 후, 차단주파수가 1920 Hz인 2차 Butterworth 저역통과 필터를 통과시킨 뒤 AI카드에 입력하였다. AI 카드에서 이를 디지털 값으로 변환하여, TMS320C6701 DSP로 전달하고, DSP에서 주기당 64샘플의 속도로 제안한 알고리즘을 수행하였다. 그림 10과 11은 각각 사례 2와 사례 3에 대한 실시간 시험 결과를 나타내며, 시뮬레이션 시험의 결과(그림 6, 7)와 거의 유사한 결과를 얻었다.

5. 결론

본 논문에서는 Y- Δ 변압기 보호용 수정전류차동 계전방식을 제안하였다. 또한, 델타 권선전류를 추정하는 방식도 제안하였다. 제안한 방식은 포화 이전에는 철손전류만을 고려하여 수정된 차전류를 구하고, 포화 이후에는 철손전류와 자화전류를 고려하여 수정된 차전류를 구하였다. 여자돌입, 내부사고, 과여자 등의 경우에 대하여 제안한 방식의 성능을 검증한 결과, 내부사고를 여자돌입, 과여자와 정확하게 구분하였다. 또한, 제안한 방식을 실시간 시험한 결과, 시뮬레이션 결과와 유사한 결과를 얻었다.

감사의 글

본 논문의 연구는 산업자원부 지정 '전력신뢰도/품질 연구센터'에서의 재정적인 지원을 받아 진행되었습니다.

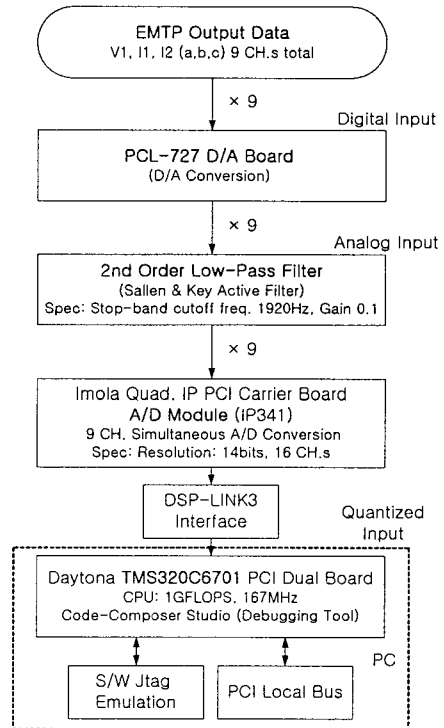
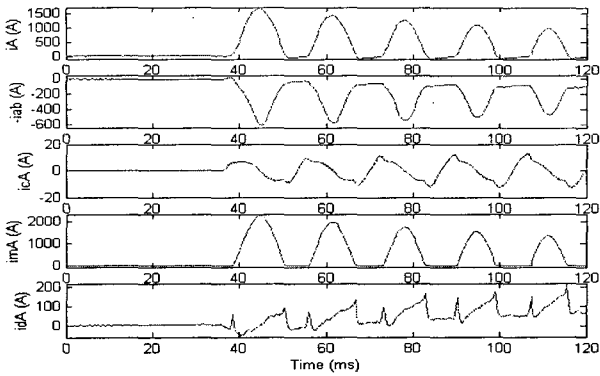


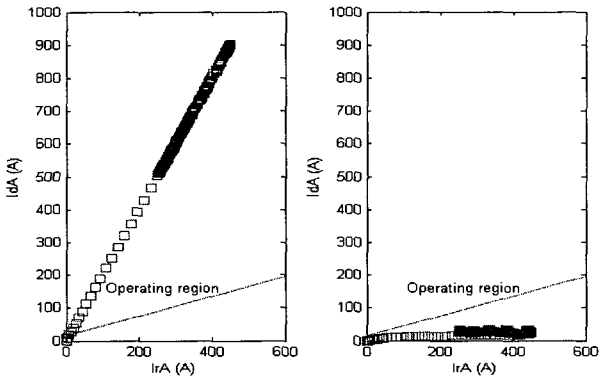
그림 9 실시간 시험 시스템
Fig. 9 Real time test system

참 고 문 헌

- [1] C.H. Einvall, and J.R. Linders, "A Three-phase Differential Relay for Transformer Protection," *IEEE Trans. on PAS*, vol. 94, no. 6, Nov./Dec. 1975, pp. 1971-1980.
- [2] A.G. Phadke, and J.S. Thorp, "A New Computer-based Flux-Restrained Current-Differential Relay for Power Transformer Protection," *IEEE Trans. on PAS*, vol. 102, no. 11, Nov. 1983, pp. 3624-3629.
- [3] M.S. Sachdev, T.S. Sidhu, and H.C. Wood, "A Digital Relaying Algorithm for Detecting Transformer Winding Faults," *IEEE Trans. on PWRD*, vol. 4, no. 3, July 1989, pp. 1638-1648.
- [4] Y. C. Kang, B. E. Lee, S. H. Kang, and P. A. Crossley, "Transformer protection based on the increment of the flux linkages," *IEE proceedings Generation, Transmission and Distribution*, vol. 151, no. 4, July 2004, pp. 548-554.
- [5] 강용철, 김은숙, 원성호, "변압기 보호용 수정 전류차동 계전 방식," *전기학회 논문지 A*, 제53권 제2호, 2004년2월, pp. 80-86.
- [6] Y.C. Kang, E.S. Jin, S.H. Kang and P.A Crossley, "A Compensated-Current Differential Relay for the Protection of Transformers," *IEE Proceedings Generation, Transmission and Distribution*, vol. 151, no. 3, May 2004, pp. 281-289.
- [7] P. Bastard, P. Bertrand, and M. Meunier, "A Transformer Model for Winding Fault Studies," *IEEE Trans. on PWRD*, vol. 9, no. 2, Apr. 1994, pp. 690-699.



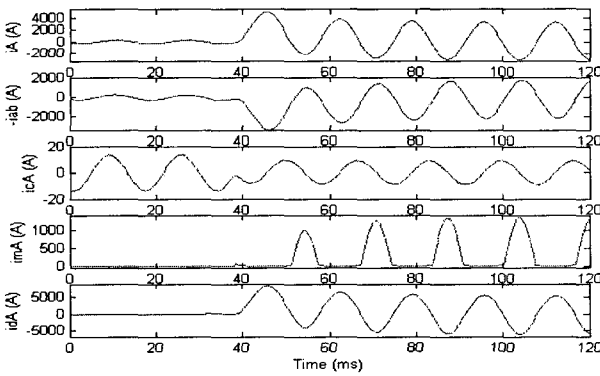
(a) 1차, 2차, 자화, 철손, 차전류의 순시값(제안한 방식)



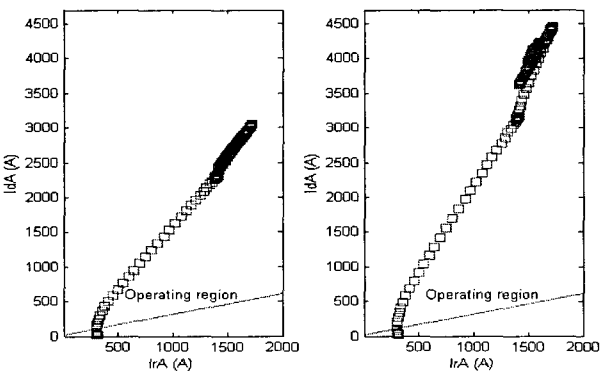
(b) 기존 방식(좌)과 제안한 방식(우)의 계전기 동작

그림 10 사례 2의 실시간 시험 결과

Fig. 10 Hardware implementation results for Case 2



(a) 1차, 2차, 자화, 철손, 차전류의 순시값(제안한 방식)



(b) 기존 방식(좌)과 제안한 방식(우)의 계전기 동작

그림 11 사례 3의 실시간 시험 결과

Fig. 11 Hardware implementation results for Case 3

저 자 소 개



강용철 (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 부교수. 2002~2003년: Queen's University of Belfast, UK에서 박사후 연수
Tel : 063-270-2391, Fax : 063-270-2394
E-mail : yckang@chonbuk.ac.kr



김은숙 (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