

A Busbar Current Differential Relay with a Compensating Algorithm

姜 龍 澈* · 尹 在 晟**
(Yong-Cheol Kang · Jae-Sung Yun)

Abstract - This paper describes a busbar current differential relay in conjunction with a current transformer(CT) compensating algorithm irrespective of the level of the remanent flux. The compensating algorithm detects the start of first saturation if the third-difference function of the current exceeds the threshold; it estimates the core flux at the first saturation start by inserting the negative value of the third-difference function of the current into the magnetization curve; thereafter, it calculates the core flux during the fault and compensates the distorted current using the magnetization curve. The algorithm estimates the correct secondary current irrespective of the level of the remanent flux and needs no saturation point of the magnetization curve. The proposed relay can improve not only security of the relay on an external fault with CT saturation but sensitivity of the relay on an internal fault; the relay can improve the operating speed on an internal fault with CT saturation. This paper concludes by implementing the relay into a digital signal processor based prototype relay.

Key Words : Current differential relay, Saturation, Compensation, Remanent flux, Third-difference function

1. 서 론

모선보호용 전류차동 계전방식은 변류기 포화를 수반한 외부사고시에 오동작하는 문제점이 있으므로, 대전류 영역에서 감도가 희생된 가변비를 전류차동 계전방식이 사용된다. 하지만, 감도를 매우 심하게 희생하게 되면, 내부사고시에 계전기 오부동작의 가능성이 증가한다. 따라서, 적당한 감도를 사용하면서, 변류기 포화에 대한 별도의 대책을 구비한 가변비율 전류차동 계전방식을 사용하고 있다[1-5].

참고문헌 [1]에서는 차전류에 포함되어 있는 고조파 성분이 크면 계전기의 출력을 블로킹하는 방식을 제안하였다. 이 방식은 변류기 포화를 수반한 외부사고시에 오동작하지 않는 장점이 있다. 하지만, 내부사고시에 직류 성분이 없어질 때까지 고조파 성분이 존재하므로, 계전기의 동작이 지연된다. 또한, 내부사고시에 변류기가 포화되는 경우에는 계전기의 시지연이 더욱 증가하는 문제점이 있다.

참고문헌 [2]의 모선 보호용 정지형 계전기는 전류가 어느 값 이하로 급감하면 포화의 시작이라고 판단하고, 포화된 변류기 바로 옆에 있는 스위치를 닫음으로써 차전류의 발생을 억제함으로써 계전기의 오동작을 방지한다. 하지만, 변류기

포화를 수반하는 내부사고의 경우에도 차전류의 발생을 억제되므로, 계전기의 동작이 늦어지는 문제점이 있다.

참고문헌 [3]의 모선 보호용 디지털 계전기에서 변류기 포화대책으로 사용되고 있는 파형 판별 요소는, 변류기 포화를 수반한 외부사고시 발생한 차전류가 인접하는 포화구간 사이에 그 값이 0인 구간을 갖는다는 점에 착안하였다. 순시 차전류의 변화량이 순시 억제전류의 변화량의 일정 비율보다 작으면 포화 시작 순간이라고 판단하고 일정기간동안 계전기의 동작을 블로킹한다. 이러한 포화판별 요소는 내부사고시에 변류기가 포화되는 경우에 계전기의 시지연을 유발할 수 있다. 또한, 1차 시정수가 큰 계통에서는 블로킹 신호를 유지해야 하는 구간이 길어지게 되므로, 내부사고시 시지연이 더 길어질 수 있다.

참고문헌 [4]의 방식은 사고 직후에 변류기가 포화되지 않고, 두 인접한 포화구간 사이에 차전류가 0인 구간이 일정한 간격으로 존재하는 성질에 착안하였다. 먼저, 억제전류의 증가율이 일정값 이상이 되면, 사고라고 판단한다. 사고 판단 이후 일정기간(3ms) 이내에 트립 조건을 만족하면 내부사고라 판단하여 차단신호를 발생한다. 한편, 일정기간(3ms) 이후에 트립 조건을 만족하면 11-14ms(50Hz 기준) 이후에 다시 트립 조건을 만족한 경우에만 차단신호를 발생하는 방식이다. 이 방식은 1차 시정수가 달라지거나 큰 경우에는 이 간격을 결정하는데 주의가 필요하다. 또한, 외부사고시 사고후 일정기간 이내에 변류기가 포화가 되지 않아야 하는 제약조건이 있다.

변류기 보상 알고리즘을 이용하는 전류차동 계전기가 제안되었다[5,6]. 이 방식은 포화로 인한 왜곡된 전류를 보상하

* 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 子 情 報 工 學 部 博 士 課 程

接 受 日 字 : 2003 年 10 月 1 日

最 終 完 了 : 2004 年 2 月 6 日

로 진전사고(sequential fault)시에도 정동작을 기대할 수 있다. 하지만, 잔류자속이 있는 경우에는 오동작의 가능성이 높으며[5], 변류기의 포화점이 필요하다[6].

잔류자속에 영향을 받지 않으며 포화점이 필요하지 않은 변류기 보상 알고리즘이 제안되었다[7]. 본 논문에서는 [7]의 보상 알고리즘을 적용한 모선보호용 전류차동 계전기를 제안한다. 보상 알고리즘은 전류의 3차 차분 값으로부터 처음 포화 시작 순간을 판단하고, 그 순간의 자속을 추정한다. 그 이후에는 포화순간의 자속과 전류로부터 자속을 계산하여 왜곡된 전류를 보상하여 변류비에 맞는 전류를 추정한다. 12개의 송전선이 연결되어 있는 154kV 이중 모선 시스템에서, EMTP를 이용하여 다양한 내부 및 외부 사고 데이터를 생성하여, 제안한 알고리즘의 성능을 확인하였다. 또한, 제시한 알고리즘을 TMS320C6701 디지털 신호처리(DSP) 칩에 실시간으로 구현하여 성능을 시험하였다.

2. 제안한 모선 보호용 전류차동 계전기

2.1 잔류자속에 무관한 변류기 전류 보상 알고리즘[10]

이 절에서는 잔류자속에 무관한 변류기 보상 알고리즘([10])을 간략하게 기술한다. 참고문헌 [10]에서는 2차 차분을 이용해서 처음 포화 시작 순간을 판단하였다. 하지만, 모선 보호와 같이 사고 전류가 큰 경우에는 2차 차분으로 포화판단이 어려운 경우가 있으며, 이러한 경우에는 3차 차분을 이용하여 포화 시작 순간 판단이 가능하다. 본 논문에서는 3차 차분을 이용하여 포화 시작 순간을 판단하는 방법에 대하여 기술한다. 이의 기본적인 개념은 [10]과 같다.

1단계: 처음 포화 순간을 판단하는 단계

$n = m+1$ 인 순간에서 포화가 시작된다고 가정하고, 포화 이전의 전류를 $i_{21}[n]$, 이후의 전류를 $i_{22}[n]$ 이라고 하자. $n \leq m$ (포화 이전)에서의 2차 전류의 3차 차분함수 $del3[n]$ 은 다음과 같이 주어진다.

$$del3[n] = i_{21}[n] - 3i_{21}[n-1] + 3i_{21}[n-2] - i_{21}[n-3] \quad (1)$$

일반적으로 사고 전류가 기본파 성분과 지수적으로 감쇠하는 직류 성분으로 이루어져 있다고 가정할 수 있다. 주기당 샘플수가 $N = 64$ 라면, 2차 전류의 1차 차분함수에 포함된 직류 성분은 무시할 만큼 작아지고, 기본파 성분은 그 크기가 $2\sin(\pi/N) \approx 0.1$ 의 비율로 작아진다. 즉, 전류가 차분함수를 통과하면, 직류성분은 거의 없어지고, 기본파 성분은 10%만 남는 특성이 있다. 따라서, 식(1)의 포화 이전 구간의 $del3[n]$ 은 정현파이며, 차분을 3번 통과하였으므로 그 크기는 전류의 정현파 크기의 $[2\sin(\pi/N)]^3$ 즉, 약 0.001이 된다.

이제 포화 시작 순간($n = m+1$)에서의 $del3[n]$ 의 값을 살펴보자. $del3[m+1]$ 은 식(2)와 같이 주어진다.

$$del3[m+1] = i_{22}[m+1] - 3i_{21}[m] + 3i_{21}[m-1] - i_{21}[m-2] \quad (2)$$

위에서 설명한 바와 같이 식(2)가 성립한다.

$$i_{21}[m+1] - 3i_{21}[m] + 3i_{21}[m-1] - i_{21}[m-2] \approx 0 \quad (3)$$

식(3)을 식(2)에 대입하면, $del3[m+1] \approx i_{22}[m+1] - i_{21}[m+1]$ 로 근사되며, 이 값은 포화 시작 순간의 자화전류의 음의 값이다(그림 1 참조). 또한, 이 값은 포화 영역에서의 자화전류의 값이므로 포화 이전의 $del3[n]$ 보다 매우 크다. 따라서, 3차 차분함수가 임계값(Th)보다 큰 값을 갖는 순간을 포화시작 순간이라고 판단가능하고, Th 는 다음과 같이 결정한다.

$$Th = k\sqrt{2}I_{fmax}[2\sin(\pi/N)]^3 \quad (4)$$

여기서 k 는 포화 시작 순간 판단의 감도를 나타내며, I_{fmax} 는 최대 사고 전류의 실효값이다. 또한, $2\sin(\pi/N)$ 은 차분을 통과할 때 기본파 성분의 감쇠율을, 지수 3은 사용한 차분의 차수를 나타낸다. 즉, k 를 제외한 임계값의 의미는 포화 이전의 최대 사고 전류의 3차 차분의 최대값을 의미한다.

2단계: 포화 시작 순간의 자속을 구하는 단계

자화곡선은 자속과 자화전류의 관계를 나타내는 곡선이다. 1단계에서 포화 시작 순간의 자화전류를 구할 수 있으므로, 그 순간의 자화전류의 값인 $-del3[m+1]$ 을 자화곡선에 대입하게 되면, 그 순간의 자속을 구할 수 있다.

3단계: 포화 이후 자속 계산 및 자화전류 추정 단계

2단계에서 포화 시작 순간의 자속을 구했으므로, 그 값을 초기 자속 $\lambda(t_0)$ 로 놓고, 식(5)를 이용해서 포화 이후의 자속 $\lambda(t)$ 을 계산한다.

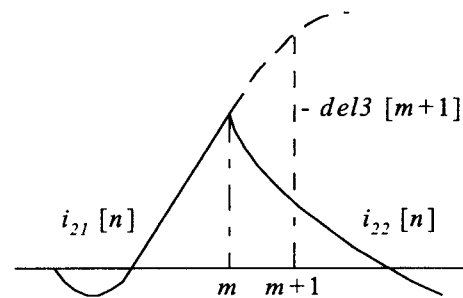


그림 1 2차 전류와 3차 차분

Fig. 1 A secondary current and its third-difference function

$$\lambda(t) = \lambda(t_0) + R \int_{t_0}^t i_s(t) + L[i_s(t) - i_s(t_0)] \quad (5)$$

여기서, R과 L은 각각 변류기 2차 회로의 전체 저항 및 인덕턴스를, $i_s(t)$ 는 2차 전류를 의미한다. 식(5)에서 구한 자속을 자화곡선에 대입하면, 그 순간의 자화전류를 구할 수 있다.

4단계: 보상 단계

측정한 2차 전류에 3단계에서 구한 자화전류를 더하여 변류비에 맞는 2차 전류를 구한다.

2.2 개선된 변류기 보상 알고리즘을 적용한 모선보호용 전류차동 계전기

개선된 보상 알고리즘을 적용한 모선보호용 비율전류차동 계전기의 흐름도를 그림 2에 보였다. 초기에 변류기가 포화되지 않았을 경우(sat_ind=0)에는 보상 알고리즘을 동작시키지 않고, 입력된 전류로부터 억제전류와 차전류를 계산하여 사고 여부를 판단한다. 변류기가 포화되면 3차 차분을 이용하여 이를 판단(sat_ind=1)하고, 그 순간의 자속을 추정한다. 포화 이후에는 식(5)를 이용하여 자속을 계산하여, 왜곡된 전류를 보상하여, 사고 여부를 판단하게 된다.

변류기 2차 전류로부터 억제전류(I_r)와 차전류(I_d)를 계산하여 식(6)을 만족하면 사고가 발생한 것으로 판단한다.

$$I_d > KI_r + I_{offset} \quad (6)$$

여기서 K는 계전기의 감도를 나타내며, Ioffset은 무시할 차전류의 값이다. 제시한 방식은 변류기 포화시 왜곡된 전류를 보상하므로 감도가 높은 계전기의 구현이 가능하며, 본 논문에서는 K값은 20%를, Ioffset은 2.0A를 사용하였다.

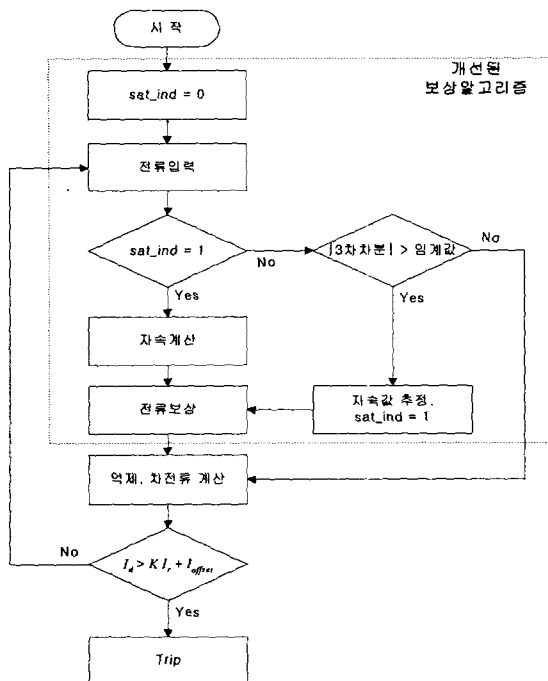


그림 2 제안된 계전기의 흐름도
Fig. 2 The flow chart of the proposed relay

3. 사례연구

제안한 계전기의 성능을 평가하기 위하여 그림 3의 이중 모선 구조의 모델 계통을 선정하였고, EMTP를 이용하여 데이터를 생성하였다. 길이가 50 [km]인 12개의 선로가 각각 모선 1과 모선 2에 연결되어 있으며, 전압은 154kV이다.

각 선로 및 커플러의 변류기는 C800 변류기이며, 변류비는 800:5, 2차 권선 저항은 0.54 Ω이며, 3.42Ω인 부담에 연결되어 있다. HYSDAT를 이용하여 히스테리시스 특성을 모의하기 위한 type-96 소자의 포화점은(2.047 A, 2.971 Vs)을 선택하였다. 샘플링 비율은 주기당 64 샘플(3840 Hz)을 사용하였고, 차단주파수가 샘플링 주파수의 반인 1920 Hz인 1차 RC 필터를 중첩방지 저역통과 필터로 설계하였다.

1, 3, 5, 7, 9, 11번 선로는 모선 1에, 2, 4, 6, 8, 10, 12번 선로는 모선 2에 연결되어 있으며, 커플러는 연결되어 있는 상태이다. 모선 1을 담당하는 전류차동 계전기(87B1)는 모선 1에 연결된 6개의 선로와 커플러에 설치된 변류기(CT1T)에서 전류를 입력받고, 모선 2를 담당하는 전류차동 계전기(87B2)는 모선 2에 연결된 6개의 선로와 커플러에 설치된 변류기(CT2T)에서 전류를 입력받는다.

본 논문에서는 처음 포화 시작 판단을 위한 임계값은, $I_{fmax} = 233 A$, $N = 64$, $k = 3$ 으로 하여, 0.93 A을 선택하였다.

모선 1 사고, 2번 송전선 사고, 6번 송전선로에서 모선 2로 진전된 사고에 대하여 제안한 방식의 성능을 검증하였다.

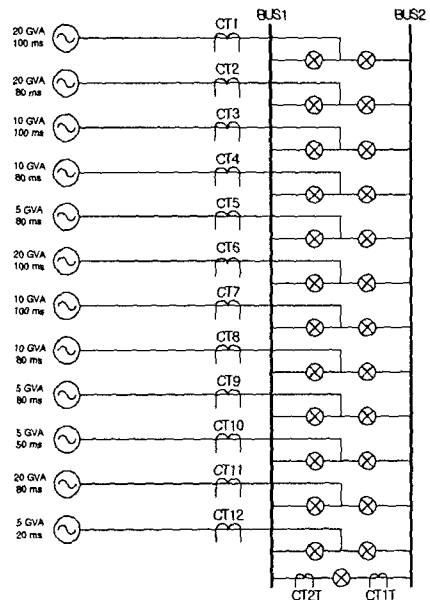


그림 3 모델 계통
Fig. 3 The model system studied

사례 1: 모선 1의 A상 지락사고(전류자속 -80%)

사례 1은 초기에 포화점 자속의 -80%(-2.377 Vs)의 잔류 자속이 CT1T과 CT2T의 철심에 존재하는 경우에, 49.8 ms에 모선 1의 A상 지락사고가 발생한 경우이다. 이 때, CT1T, CT2T가 포화되었다.

그림 4는 CT1T와 CT2T의 전류를 참고문헌 [10]의 보상 알고리즘을 적용하여 보상한 결과 및 변류비 오차를 나타낸

다. 그림 4a, 4c의 점선은 측정된 2차 전류이고, 실선은 보상한 전류이다. CT1T의 경우에는 -80%의 잔류자속이 사고 전류가 유기하는 자속과 반대 방향이 되므로 CT2T보다 늦게 포화되었고 포화의 정도도 덜 심하다. 반면, CT2T의 경우에는 잔류자속이 자속과 더해지므로, CT1T에 비해 일찍 포화되었으며 포화의 정도도 더 심함을 알 수 있다. 잔류자속으로 인하여 두 변류기의 경우에 포화 시작 순간은 다르지만, 보상 알고리즘이 포화 시작 순간 및 그 순간의 자속을 정확하게 추정하여 왜곡된 전류를 보상하였다. 보상한 전류의 과도오차도 1% 이내로 매우 작아(그림 4b, 4d), 왜곡된 전류가 정확하게 복원됨을 알 수 있다.

사례 1은 모선 1의 사고이므로, 87B1는 동작해야 하고, 87B2는 동작하지 않아야 한다. 그림 5, 6은 각각 87B1과 87B2의 보상하지 않은 경우와 보상한 경우의 결과를 나타낸다. 87B1의 경우에는 CT1T는 포화가 약하게 되어, 보상 전과 보상 후가 큰 차이를 보이지 않았다. 두 경우 모두 사고 발생이후 1.7 ms에 계전기가 동작하였다.

한편, 사례 1이 87B2에게는 외부사고이므로, 사고 발생이후 CT2T가 포화되기 이전까지는 계전기는 오른쪽으로 이동하다가, 사고 후 3.8 ms에 CT2T가 포화되고, 이로 인하여 계전기가 사고 후 9.0 ms(58.8 ms)에 동작영역 내부로 진입하였다(그림 6a). 하지만, 제시한 방식의 경우에는 포화로 인한 왜곡된 전류를 보상하므로, 차전류가 발생하지 않았다. 따라서, 제안한 계전기의 감도가 매우 민감함(20%)에도 불구하고, 동작영역으로 접근하지 않음을 알 수 있다(그림 6b).

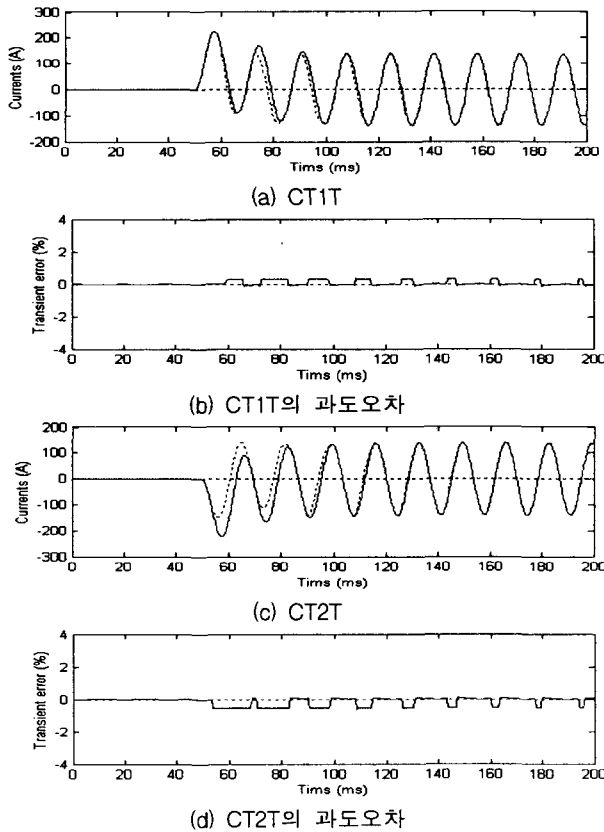


그림 4 측정된 전류와 보상한 전류(사례 1)
Fig. 4 Measured and compensated currents(Case 1)

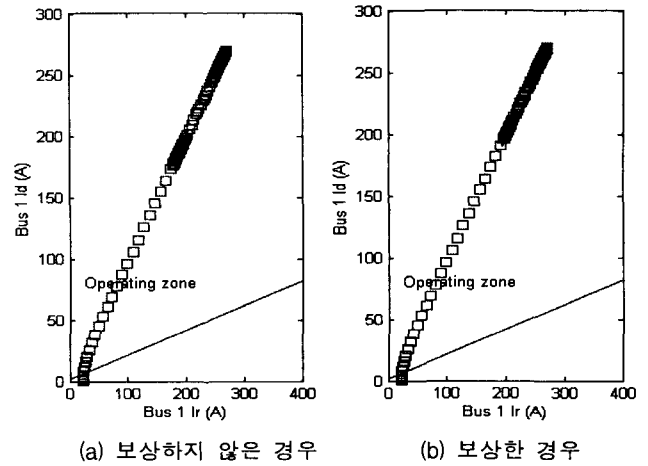


그림 5 87B1의 결과(사례 1)
Fig. 5 The results of 87B1(Case 1)

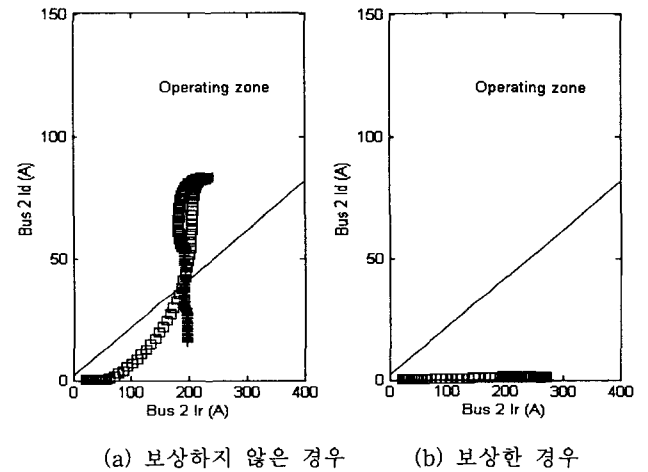


그림 6 87B2의 결과(사례 1)
Fig. 6 The results of 87B2(Case 1)

사례 2 : 선로 2 사고(잔류자속 -80%)

사례 2는 CT2에 포화점의 -80%의 잔류자속이 존재할 때, 49.8 ms에 CT2의 바깥 지점에서 A상 지락사고가 발생한 경우이다. 이 경우 CT1T, CT2T, CT2가 포화되었으며, 사례 2는 87B1, 87B2에게 외부사고이므로 모두 동작하지 않아야 한다. 그림 7은 CT1T, CT2의 측정된 전류 및 보상한 전류를 나타내고, 그림 8, 9는 각각 87B1과 87B2의, 보상하지 않은 경우와 보상한 경우의 결과를 보여준다.

보상하지 않은 경우, 87B1의 경우에는 CT1T가, 87B2의 경우에는 CT2T와 CT2가 포화되었기 때문에, 87B2가 87B1보다 더 큰 차전류가 발생하므로 87B1, 87B2가 각각 71.3 ms, 58.8 ms에 모두 동작영역 내부로 진입하게 된다. 하지만, 보상한 경우에는 두 계전기 모두 동작영역으로 접근하지 않았다.

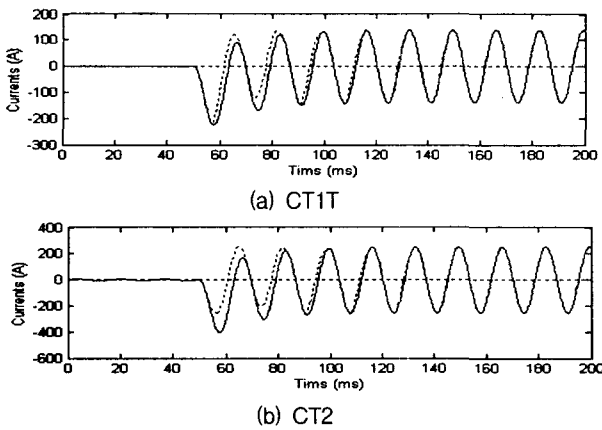


그림 7 측정된 전류와 보상한 전류(사례 2)
Fig. 7 Measured and compensated currents(Case 2)

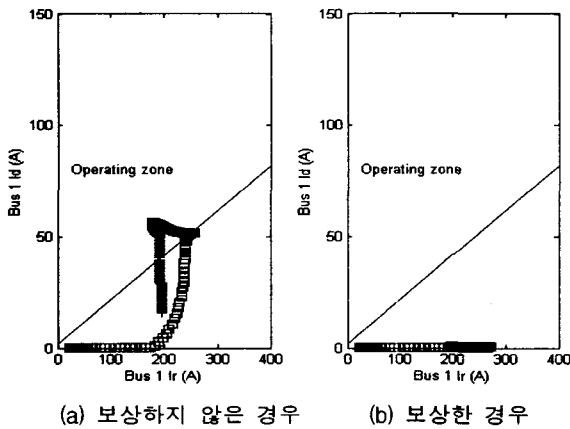


그림 8 87B1의 결과(사례 2)
Fig. 8 The results of 87B1(Case 2)

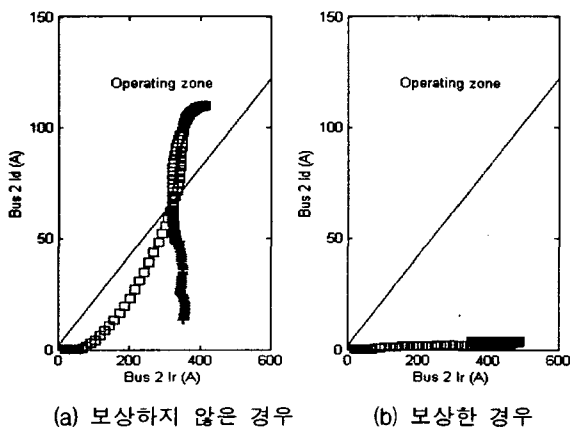


그림 9 87B2의 결과(사례 2)
Fig. 9 The results of 87B2(Case 2)

사례 3: 선로 6에서 모선 2로의 진전사고(전류자속 0%)
사례 3은 49.8ms에 선로 6의 A상 지락 사고가 발생한 후, 2주기 후(83.4ms)에 모선 2의 A상 지락 사고가 발생한 경우이다. 선로 사고시, 87B1, 87B2 동작하지 않아야 하며, 모선

사고시, 87B1은 동작하지 않고, 87B2는 동작해야 한다.
그림 10은 포화된 변류기 즉, CT1T(CT2T), CT6의 전류와 보상한 전류를 나타낸다. CT1T, CT2T는 선로 사고시 포화되었으며, 모선 사고 이후에도 포화된다. CT6은 선로 사고 이후에 포화되었고, 모선 사고 이후에는 변류기 양단의 전압이 거의 0이기 때문에 전류에 직류성분만 존재하여, 99 ms경에, 다시 포화되었다. 포화된 변류기의 왜곡된 전류가 성공적으로 보상이 이루어짐을 알 수 있다.

사례 3의 87B1, 87B2의 동작을 그림 11-12에 나타내었고, 'o' 표시는 선로 사고 순간부터 2주기까지, '+' 표시는 모선 사고 이후 2 주기 동안을 나타낸다. 그림 13에는 87B1과 87B2의 시간에 따른 동작을 나타내었다.

보상하지 않은 경우에는 변류기 포화로 인하여 87B1은 동작영역에 75.7ms에 진입했다가 90.3ms에 동작영역을 벗어나고, 다시 93.2ms에 진입했다가 109.8ms에 벗어난다. 87B2는 73.4ms에 동작 영역에 진입하였다가 77.6ms에 벗어나고, 모선 사고 후 86.7ms에 동작영역으로 진입한다.

한편, 보상한 경우에는 선로 및 모선 사고 경우에 87B1은 동작하지 않고, 87B2의 경우에는 87.4ms에 동작함을 알 수 있다.

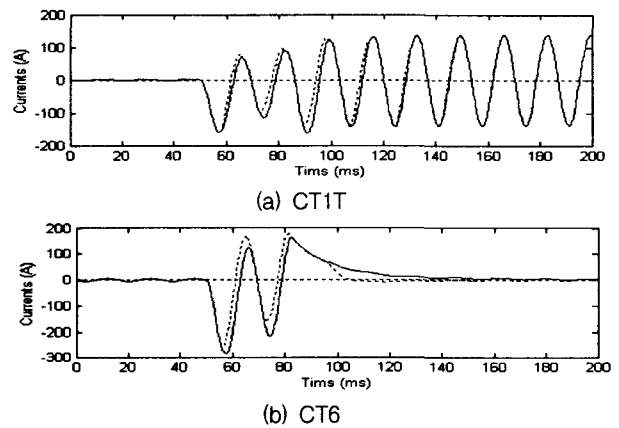


그림 10 측정된 전류와 보상한 전류(사례 3)
Fig. 10 Measured and compensated currents(Case 3)

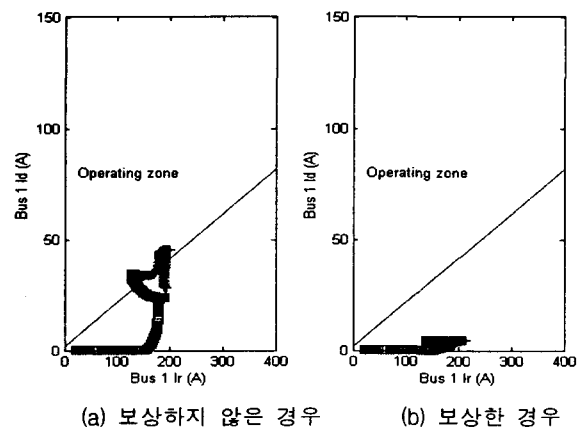


그림 11 87B1의 결과(사례 3)
Fig. 11 The results of 87B1(Case 3)

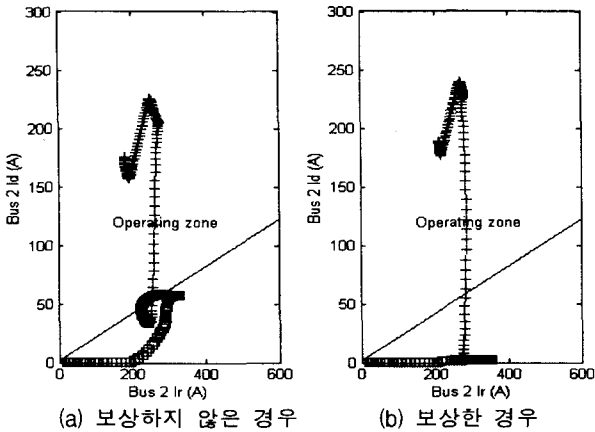


그림 12 87B2의 결과(사례 3)
Fig. 12 The results of 87B2(Case 3)

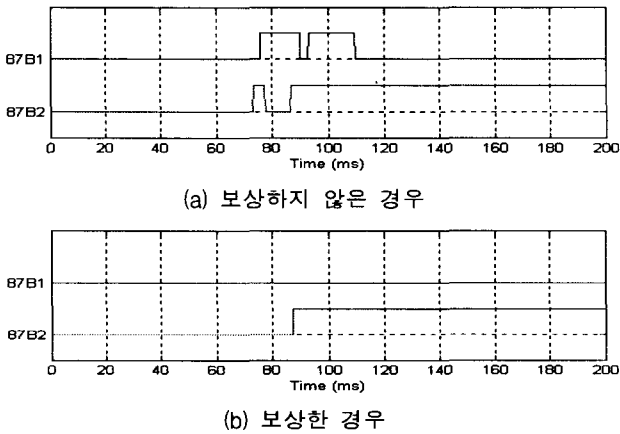


그림 13 계전기의 동작(사례 3)
Fig. 13 The performance of relays(Case 3)

제시한 방식은 진전 사고의 경우에, 변류기가 포화되더라도 내부사고인 경우에는 정동작, 외부사고의 경우에는 정부동작한다.

4. 실시간 시험

제안한 계전기의 성능을 실시간으로 시험하기 위하여 그림 14와 같이 TMS320C6701을 이용한 시험 시스템을 구성하였다. PCL727 D/A 변환기를 이용하여 EMTP의 데이터를 아날로그 신호로 변환한 뒤, 차단 주파수가 1920Hz인 1차 RC 저역통과 필터를 통과시킨 후 AI(analog input) 카드에 입력하였다. AI 카드에서 주기 당 64샘플로 A/D 변환하여 DSP로 전달하고, DSP에서 제안한 알고리즘을 수행하게 된다. 실시간 시험의 경우 포화 판단을 위한 임계값을 결정하는데, 노이즈 등을 감안하여 $k=6$ 으로 하여 임계값을 1.86으로 사용하였다.

그림 15, 16은 사례 1의 경우의 실시간 시험 결과를 나타

낸다. 그림 15는 사례 1의 경우에 측정된 전류와 보상한 전류를 나타낸다. 점선은 입력 전류를 실선은 보상 후 전류이며, 시뮬레이션 결과인 그림 4와 비교해 보면, 거의 같다.

그림 16은 87B1, 87B2의 동작 결과이다. 그림 5b와 그림 6b와 비교하여 보면, 실시간 실험의 경우가 시뮬레이션의 결과보다 오차가 다소 크지만, 계전기가 동작영역으로 근접하지 않음을 알 수 있다.

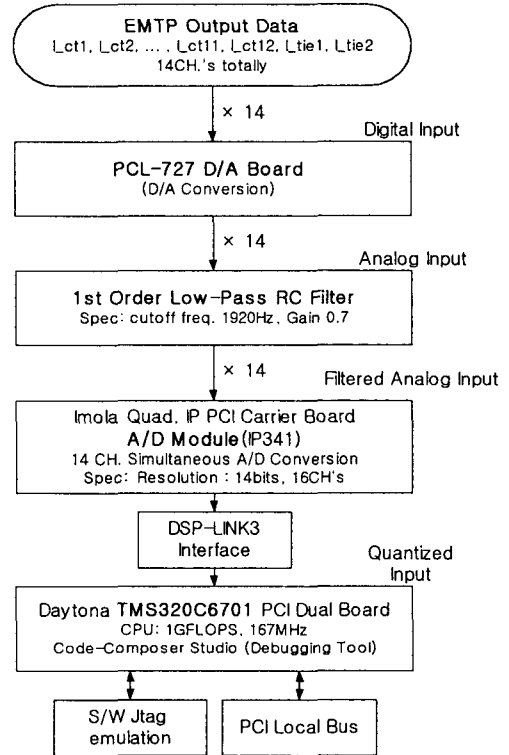


그림 14 실시간 시험 시스템
Fig. 14 A real time test system

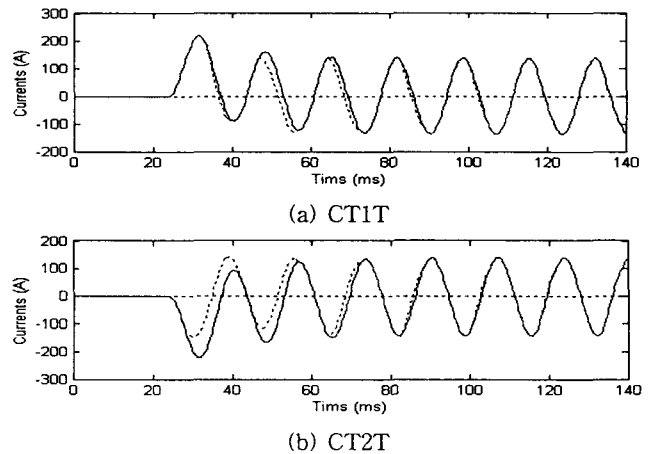


그림 15 측정된 전류와 보상한 전류(사례 1)
Fig. 15 Measured and compensated currents(Case 1)

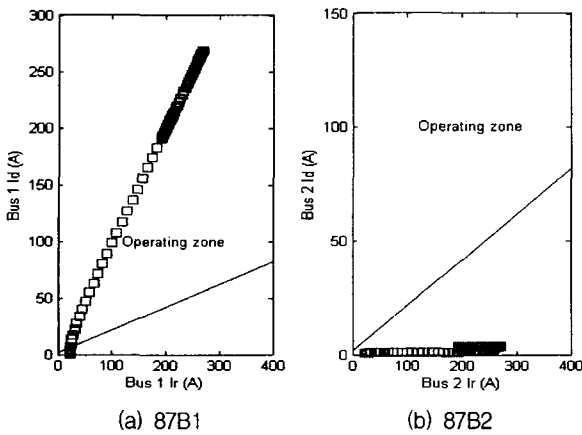


그림 16 사례 1의 결과
Fig. 16 The results of Case 1

5. 결 론

본 논문에서는 잔류자속에 무관한 변류기 보상 알고리즘을 적용한 모선보호용 전류차동 계전방식을 제안하였다. 제안한 방식은 3차 차분을 이용하여 변류기가 포화 시작 순간을 판단하고, 그 순간의 자속을 추정하고, 포화 이후에는 자속을 계산, 자화전류를 추정하여 변류비에 맞는 2차 전류를 추정하는 개선된 보상 알고리즘을 사용한다. 잔류자속의 양에 관계없이 왜곡된 2차 전류를 변류비에 맞는 2차 전류로 복원하므로 변류기 포화에 대한 별도의 대책이 필요하지 않으며, 감도가 개선되어 동작영역이 넓은 계전기의 사용이 가능하다.

다양한 조건에서 제시한 방식의 성능을 검증한 결과, 잔류자속이 존재하여 변류기가 포화되는 경우에도 내부사고의 경우에는 정동작하고, 외부사고의 경우에는 정부동작함을 알 수 있었다. 또한, 진전 사고의 경우에 변류기가 포화된 경우에도 제대로 동작하였다. 한편, TMS320C6701 DSP에 실시간으로 구현하여 시험한 경우에도, 왜곡된 전류를 보상하여 변류비에 맞는 2차 전류를 추정함으로써, 계전기의 성능을 향상시킬 수 있음을 확인하였다.

제시한 방식은 기존 모선 보호용 전류차동 계전기의 의존성(dependability) 및 안전성(security)을 동시에 향상하였으며, 변류기 포화를 수반한 내부사고시에도 동작 속도가 매우 빠르다.

감사의 글

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

참 고 문 헌

[1] L. F. Kennedy and C. D. Hayward, "Harmonic-Current-Restrained Relays for Differential Protection,"

AIEE Trans. vol. 57, 1938, pp. 262-266.

[2] J. B. Royle and A. Hill, "Low Impedance Based Differential Busbar Protection for Application to Busbars of Widely Differing Configuration," *IEE Fourth International Conference on Developments in Power System Protection*, Apr. 1989. pp. 40-43.
 [3] F. Andow, N. Suga, Y. Murakamy, and K. Inamura, "Microprocessor-based busbar protection relay," *IEE Fifth International Conference on Developments in Power System Protection*, Mar. 1993. pp. 103-106.
 [4] A. Kumar and P. Hansen, "Digital bus-zone protection," *IEEE Computer Applications in Power*, vol. 6, no. 4, Oct. 1993, pp. 29-34.
 [5] 강용철, 윤재성, 김동룡, "변류기 전류보상 알고리즘을 이용한 모선보호용 전류 차동계전 알고리즘," *전기학회 논문지 A*, 제49권 제 9 호, 2000년 9월, pp. 446-450.
 [6] 강용철, 윤재성, 강상희, "개선된 변류기 전류보상 알고리즘을 적용한 모선보호용 비율전류차동 계전방식," *전기학회 논문지 A*, 제52권 제 3 호, 2003년 3월, pp. 158-164.
 [7] 강용철, 임의재, "개선된 변류기 2차 전류보상 알고리즘," *전기학회 논문지 A*, 제52권 제 7 호, 2003년 7월, pp. 387-392.

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(공박). 현재, 전북대 공대 전자정보공학부 조교수. 차세대전력기술 연구센터

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



윤 재 성(尹 在 晟)

1971년 4월 25일생. 1997년 전북대 공대 전기공학과 졸업. 1999년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2000년 3월~현재 동 대학원 전기공학과 박사과정.

E-mail : hana42@netian.com