

A Current Differential Relay for Transformer Protection with a Blocking Method Using the Difference-Function of a Differential Current

姜龍澈* · 元成浩** · 金大成** · 楊城彩***
(Yong-Cheol Kang · Sung-Ho Won · Dae-Sung Kim · Sung-Chae Yang)

Abstract - This paper proposes a current differential relay for transformer protection that operates in accordance with a blocking method based on the difference-function of a differential current. For magnetic inrush and over-excitation, discontinuities in the first-difference function of the differential current arise at the points of inflection, which correspond to the start and end of each saturation period of the core. These discontinuities are converted into the pulses in the second- and third-difference functions of the differential current. The magnitudes of the pulses are large enough to detect saturation of the core. A blocking signal is issued if the magnitude of the third-difference function exceeds the threshold and is maintained for three quarters of a cycle. The performance of the relay is assessed under various conditions with magnetic inrush, internal faults and external faults. The proposed blocking method can improve significantly the operating time of a relay and achieve high sensitivity of a relay.

Key Words: Current differential relay, Difference function of a differential current, Blocking, Points of inflection

1. 서 론

변압기 보호용으로는 전류차동 계전방식이 주로 사용되어 왔다. 하지만, 기본적인 형태의 전류차동 계전방식은 여자돌입시나 과여자시에 오동작 할 수 있으므로, 이의 오동작을 방지하게 위하여 전류, 전압 또는 자속을 기반으로 하여 계전기의 출력을 억제하거나 블로킹하는 방식을 사용하고 있다[1]. 이 중에서 전류를 이용해서 억제 또는 블로킹 신호를 발생하는 방식이 주로 사용되고 있으며, 이에는 크게 두 가지 즉, 고조파 방식[2]과 파형 판별법[3]으로 나뉜다.

고조파 블로킹 방식은 여자돌입시에는 차전류 안에 2조파가, 과여자시에는 5조파가 많이 포함되어 있는 점에 착안하여, 차전류 기본파와 2조파와의 비율 또는 차전류 기본파와 5조파사이의 비율이 임계값 이하가 되면, 즉, 2조파나 5조파의 기본파에 대한 비율이 임계값 이상이 되면 계전기의 출력을 억제하거나 방지한다[2]. 따라서, 여자돌입시 또는 과여자시에 계전기의 오동작을 블로킹할 수 있도록 임계값을 결정한다. 하지만, 이로 인하여 내부사고 이후에, 2조파나 5조파가 존재하는 동안에는 계전기의 동작을 지연시킨다. 게다가 변류기가 포화되면 블로킹 조건을 만족하는 기간이 오래 지속되므로 계전기의 동작이 더욱 지연된다.

파형 판별을 이용한 블로킹 방식의 경우에는, 차전류의 크기가 거의 0인 구간의 시간의 길고 짧음을 이용한다[3]. 여자돌입의 경우에는 차전류가 거의 0인 저전류 구간이 4분

의 1주기보다 크므로 계전기를 블로킹하고, 내부사고의 경우에는 저전류 구간이 4분의 1주기를 넘지 않으므로 계전기는 동작한다. 하지만, 이러한 방식은 과여자는 구분할 수 없다.

또한, 사고 시에 발생하는 고조파 신호를 이용한 변압기 보호 방식이 제안되었다[4]. 이 방식은 변압기 저압측 전류와 고압측 전류를 각각 모드 변환을 하여, 모드 0, 모드 1, 모드 2 성분을 구하고, 각 성분을 대역 통과(band-pass) 필터에 통과시켜 해당 주파수 성분을 추출한다. 저압측의 해당 주파수 성분과 고압측의 해당 주파수 성분의 합과 차의 에너지 함수(spectral energy)를 구하고, 차의 에너지와 합의 에너지 사이의 비율이 임계값 보다 크면 내부사고라고 판정한다. 또한, 여자돌입과 내부사고를 구분하기 위하여 저압측 성분의 해당 주파수의 에너지와 모든 성분의 에너지 사이의 비율이 임계값 이상이면 여자돌입이라고 판정한다. 이 방식은 해당 계통에 적합한 대역 통과 필터 설계가 필수적이며, 모드 변환을 하므로 3상 시스템에서만 적용이 가능하다.

전류차동 계전기의 내부사고시의 시지연 등의 단점을 극복하고자, 변압기 모델에 기초한 변압기 보호 방식이 제안되었다[5-6]. 이 방식들은 변압기의 선형 파라미터를 이용하였고, 시간영역에서 동작하므로 고조파 블러킹 전류차동 방식에 비해 동작 속도가 빠르나, 변압기 양단의 전류와 양단의 전압이 필요하고, 변류기 포화에 대한 대책이 필요하다.

여자돌입과 과여자는 철심의 비선형성에 기인한 것으로, 변압기 철심의 포화 개시 및 종료 시에 차전류가 변곡점을 갖게 된다. 본 논문에서는 차전류의 차분을 이용하여 블로킹하는 변압기 보호용 전류차동 방식을 제안한다. 차전류의 변곡점이 발견되면 3/4주기 동안 계전기의 출력을 블로킹하고, 내부사고시에 변류기가 포화되는 순간에는 블로킹 신호를 발생하지 않도록 하였다.

* 正 會 員 : 全北大 電子情報工學部 助教授 · 工博
 ** 準 會 員 : 全北大 電氣工學科 碩士課程
 *** 非 會 員 : 全北大 電子情報工學部 專任講師 · 工博
 接受日字 : 2003年 7月 15日
 最終完了 : 2003年 10月 11日

2. 차전류의 차분 블로킹 전류차동 계전기

2.1 여자돌입 전류의 특성 해석

여자돌입시 변압기의 해석을 위해 변압기의 등가회로를 그림 1에 나타내었다. 전압 v 는 다음과 같이 표현된다.

$$v = Ri + \frac{d\lambda}{dt} \quad (1)$$

여기서 R 은 권선저항이고, λ 는 쇄교자속이다.

식 (1)에서 $t = 0$ 에 $v(t) = V_M \sin(\omega t + \theta)$ 이 인가되었고, 비포화영역의 자화인덕턴스는 선형이고 L_{m1} 이라고 가정하자. 또한, $\lambda(t) = \lambda_0$ 라고 하면, λ 는 식 (2)와 같이 구해진다.

$$\lambda(t) = \frac{V_M}{Z_\lambda} \sin(\omega t + \theta - \phi) + \left[\lambda_0 - \frac{V_M}{Z_\lambda} \sin(\theta - \phi) \right] e^{-\frac{t}{\tau_1}} \quad (2)$$

여기서 $\tau_1 = L_{m1}/R$, $Z_\lambda = \sqrt{(R/L_{m1})^2 + \omega^2}$, $\phi = \tan^{-1}(\omega \tau_1)$ 따라서, 전류는 식 (3)과 같다.

$$i(t) = C_1 \sin(\omega t + \theta - \phi) + \left[\frac{\lambda_0}{L_{m1}} - C_1 \sin(\theta - \phi) \right] e^{-\frac{t}{\tau_1}} \quad (3)$$

여기서 $Z_1 = \sqrt{R^2 + (\omega L_{m1})^2}$, $C_1 = V_M/Z_1$ 이다.

이산화된 전류 $i[n]$ 은 식 (4)와 같다.

$$i[n] = C_1 \sin\left(\frac{2\pi}{N} n + \theta - \phi\right) + \left[\frac{\lambda_0}{L_{m1}} - C_1 \sin(\theta - \phi) \right] e^{-\frac{nT}{\tau_1}} \quad (4)$$

여기서 T 는 샘플링 간격, N 은 주기 당 샘플수이다.

식 (4)에 나타난 바와 같이, $i[n]$ 은 정현성분과 지수적으로 감쇠하는 직류 성분으로 구성되어 있음을 알 수 있다.

$i[n]$ 의 1차 차분 함수를 $del1[n]$ 이라 정의한다.

$$\begin{aligned} del1[n] &= i[n] - i[n-1] \\ &= \left(2\sin\frac{\pi}{N}\right) C_1 \sin\left(\frac{2\pi}{N} n + \theta - \phi - \frac{\pi}{N} + \frac{\pi}{2}\right) \\ &\quad + (1 - e^{-\frac{T}{\tau_1}}) \left[\frac{\lambda_0}{L_{m1}} - C_1 \sin(\theta - \phi) \right] e^{-\frac{nT}{\tau_1}} \end{aligned} \quad (5)$$

$i[n]$ 과 마찬가지로 $del1[n]$ 도 정현성분과 직류성분으로 되어 있다. 먼저, $N=64$ 인 경우에, $del1[n]$ 의 정현성분은, $i[n]$ 의 정현성분 크기의 $2\sin(\pi/N)=0.098$ 즉, 약 10%가 남아 있게 된다. 또한, 전력 주파수가 60 Hz인 경우에는 $T = 0.26\text{ms}$ 가 되고, $\tau_1 > T$ 이므로, 직류 성분의 감소율이 매우 작아서, 직류성분은 무시할 수 있다. 따라서, 식 (4)의 전류가 차분함수를 통과하게 되면, 정현성분만 남게 되고, 그 크기는 원래 크기의 10%이 되는 특성이 있다.

또한, $i[n]$ 의 2차 차분, 3차 차분을 다음과 같이 정의한다.

$$del2[n] = del1[n] - del1[n-1] \quad (6)$$

$$del3[n] = del2[n] - del2[n-1] \quad (7)$$

앞에서 설명한 차분함수의 특성으로 인하여, $del2[n]$ 와 $del3[n]$ 의 정현성분의 크기는, $i[n]$ 의 정현성분의 크기의 1%와 0.1%로 감소한다.

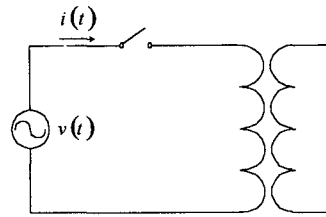


그림 1 여자돌입시의 변압기

Fig. 1 Transformer in an inrush condition

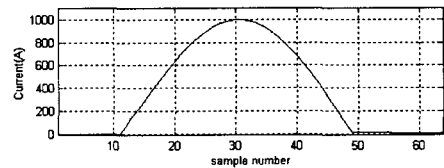
변압기 철심이 $t = T_1$ 에서 포화되었다고 가정하고, 포화 영역에서의 자화인덕턴스를 L_{m2} 라 하자. $L_{m2} \ll L_{m1}$ 이고, $\lambda(T_1) = \lambda_n$. 이 구간의 $i[n]$ 은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} i[n] &= C_2 \sin\left(\frac{2\pi}{N} n + \theta - \phi\right) \\ &\quad + \left[\frac{\lambda_n}{L_{m2}} - C_2 \sin\left(\frac{2\pi}{N} n_1 + \theta - \phi\right) \right] e^{-\frac{(n-n_1)T}{\tau_1}} \end{aligned} \quad (8)$$

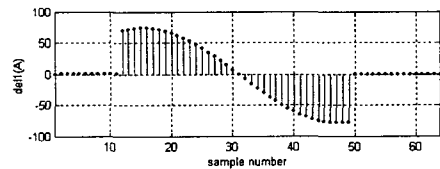
여기서 $Z_2 = \sqrt{R^2 + (\omega L_{m2})^2}$, $C_2 = V_M/Z_2$ 이다.

포화구간에서의 $i[n]$ 도 비포화구간에서의 전류(식 (4))와 마찬가지로 정현성분과 직류성분으로 되어 있다. 또한, $L_{m2} \ll L_{m1}$ 이므로, $C_2 \gg C_1$ 이다.

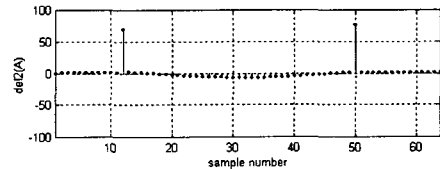
그림 2는 여자전류와 그의 1차, 2차, 3차 차분함수를 나타낸다. 여자전류는 비포화구간(그림 2에서 $n \leq 11$ 와 $n \geq 51$ 인 구간)에서는 식 (4)의 형태를, 포화구간(그림 2에서 $12 \leq n \leq$



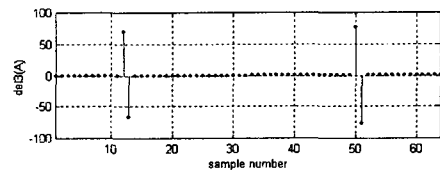
(a) 여자전류



(b) 1차 차분함수



(c) 2차 차분함수



(d) 3차 차분함수

그림 2 여자돌입 전류와 차분 함수

Fig. 2 Inrush current and its difference functions

50인 구간)에서는 식 (8)의 형태를 가진다. 여자전류는 모든 구간에서 연속이며, 포화 시작($n = 12$) 과 종료 순간($n = 50$)에 변곡점을 가진다(그림 2a).

그림 2b에서 나타난 바와 같이, $del1[n]$ 은 포화 시작과 종료인 순간에 불연속이며, 포화 구간과 비포화구간에서는 정현파이다. 포화구간에서의 정현성분의 크기가 비포화구간에서의 크기보다 훨씬 더 크울 알 수 있다.

포화 시작과 종료순간에 $del1[n]$ 이 불연속이 되기 때문에, $del2[n]$ 과 $del3[n]$ 은 그 순간에 펄스 신호가 발생되고, 비포화구간 및 포화구간에서는 정현파가 된다(그림 2c, 2d). 정현파의 크기는, $i[n]$ 의 정현파 크기의 각각 1%와 0.1%가 된다. 즉, 차분함수의 차수가 증가함에 따라, 펄스의 크기는 변하지 않지만, 정현성분의 크기는 점점 감소한다. $del3[n]$ 에서 펄스의 크기와 포화 구간 및 비포화 구간에서의 정현파의 크기와의 차이가 뚜렷해진다. 그러므로, 본 논문에서는, $del3[n]$ 의 크기가 임계값($TH1$)보다 크면, 포화 시작 또는 종료되었다고 판단하고, $TH1$ 은 식 (9)와 같이 결정한다.

$$TH1 = \alpha \sqrt{2} I_{fmax} [2 \sin(\pi/N)]^3 \quad (9)$$

여기서 α 는 포화 판단을 위한 감도를 나타내는 상수이고, 하드웨어 등 여러 오차를 고려하여 결정하며, I_{fmax} 는 최대 사고전류이다. $[2\sin(\pi/N)]$ 은 차분을 통과할 때 정현성분의 감쇠율이고, 이의 지수 3은 차분 함수의 차수를 나타낸다. 따라서, α 를 제외한 부분은 최대 사고시, 3차 차분 함수의 최대값이 된다.

2.2 차전류의 차분으로 블로킹하는 전류차동 알고리즘

본 논문에서는 차전류의 차분을 이용하여 블로킹하는 전류차동 계전기를 제안한다. 제안한 방식은 여자돌입시나 과여자시에는 차전류의 변곡점이 여러 번 나타나고, 내부사고의 경우에는 변곡점이 사고순간에만 나타난다는 데에 착안한다(그림 2 참조). 3차 차분을 이용하여 차전류의 변곡점이 검출되면 블로킹 신호를 내 보내고, 그 이후 3/4 주기동안 블로킹 신호를 유지하며, 이의 흐름도를 그림 3에 보였다.

내부사고시에 변류기가 포화되면, 변류기 포화 시작 및 종료 순간에 차전류에 변곡점이 검출되지만, 이 경우에는 블로킹 신호를 발생해서는 안 된다. 그런데, 변류기 포화시 발생하는 변곡점은 차전류의 순시값이 큰 순간에만 발생하는 반면, 여자돌입이나 변류기 포화를 수반한 외부사고시의 변곡점은 차전류의 순시값이 작은 경우에만 발생한다. 따라서, $del3[n]$ 의 값이 크지만, 차전류의 순시값이 임계값($TH2$) 보다 큰 경우에는 블로킹 신호를 발생하지 않도록 했다(그림 3 참조). $TH2$ 는 변류기 2차 정격전류 5A로 정하였다.

3. 사례연구

그림 3의 제안한 방식의 성능을 검증하기 위하여 그림 4와 같은 모델계통을 선택하였다. 사용한 변압기는 3상 Y-Y 154/22kV, 55 MVA이고, 전원 용량은 6 GVA 부하용량은 55 MVA이다. EMTP를 사용하여 각종 데이터를 생성하였으며, 내부사고는 참고문헌 [7]의 방식을 이용하여 모델링하였다. 변압기 1차측(CT1)과 2차측(CT2)에 변류기를 설치하였으며, 두 변류기는 모두 C200변류기이며, 변류비는 각각 400:5와 2800:5이다. 제안한 방식의 샘플링 비율로는 주기당

64 샘플(3840 Hz)을 사용하였고, 저역통과 필터로는 저지대역 차단주파수가 1920 Hz인 2차 Butterworth 필터를 설계하였다.

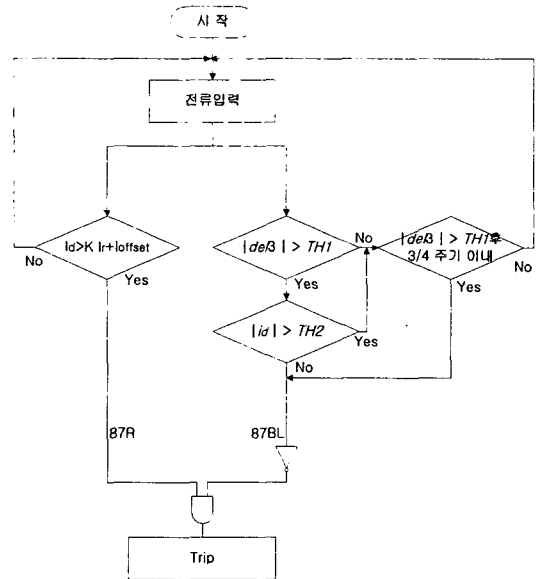


그림 3 제안한 계전 알고리즘의 흐름도

Fig. 3 The flowchart of the proposed relaying algorithm

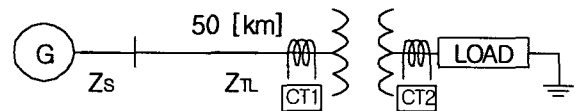


그림 4 모델 계통

Fig. 4 A model system

여자돌입, 내부사고, 외부사고시에, 각각 변류기가 포화되는지 않은 경우와 포화된 경우에 대해서 제안한 방식의 성능을 기존의 고조파 블로킹 전류차동 계전기와 비교하였다. 전류차동 계전기의 특성은 식 (10)과 같다. 사례연구에서는 편의상 A상 계전기의 결과만 보였다.

$$I_d > K * I_r + I_{offset} \quad (10)$$

본 논문에서는 $K = 20\%$, $I_{offset} = 1$ A로 하였다.

또한, 기존 고조파 블로킹 계전기는 식 (11)과 식 (12) 중의 하나 이상의 조건을 만족하면 블로킹 신호를 발생한다.

$$I_d < K_2 I_2 \quad (11)$$

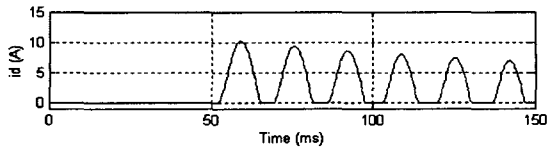
$$I_d < K_5 I_5 \quad (12)$$

여기서 I_2 와 I_5 는 차전류의 2조파와 5조파의 크기를 나타낸다. 여자돌입시나 과여자시에 계전기가 동작하지 않도록 $K_2 = 18$, $K_5 = 12$ 로 정하였다.

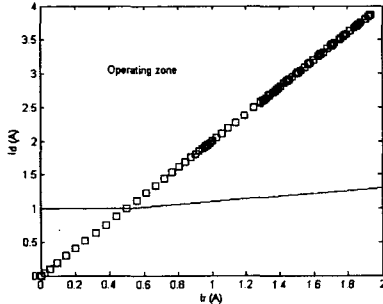
3.1 변류기가 포화되지 않은 경우

3.1.1 여자돌입

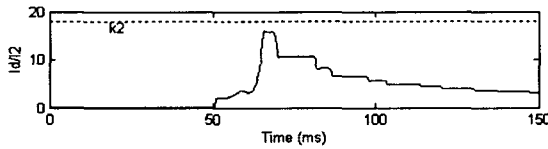
그림 5는 무부하시, 변압기 잔류자속이 80%이고 투입위상각이 0도(투입 시간 50.1 ms)인 경우의 결과를 나타낸다. 또한, 그림 5e에서 실선은 제안한 방식의 결과를 점선은 기존 방식의 결과를 나타낸다.



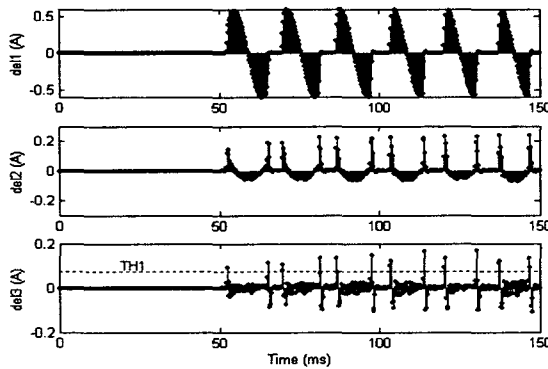
(a) 차전류의 순시값



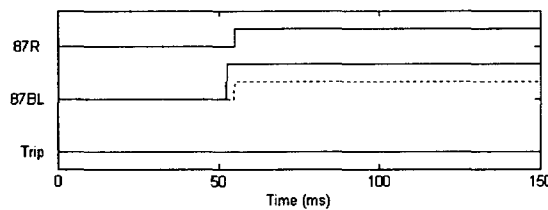
(b) 87R의 동작



(c) Id/I2



(d) 차전류의 1, 2, 3차 차분 함수



(e) 기존 방식과 제안한 방식의 87R, 87BL, 트립신호

그림 5 여자돌입의 경우(변류기 불포화)

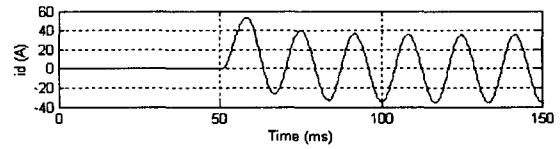
Fig. 5 The results for inrush (without saturation)

그림 5a의 차전류로 인하여 전류차동 계전기(87R)가 55.0 ms에 동작하였다(그림 5b). 하지만, I_d/I_2 가 $K_2 = 18$ 보다 작으므로(그림 5c), 기존의 방식은 블로킹 신호를 54.7 ms에 발생하기 때문에 트립신호가 발생되지 않았다(그림 5e). 이는 여자돌입이나 과여자시에 계전기가 오동작하지 않도록 K_2 , K_5 를 설계하였으므로, 당연한 결과이지만, 이로 인하여 내부사고시 계전기의 동작이 늦어진다. 한편, 제안한 방식의 경우에는 3차 차분함수가 철심 포화의 시작과 종료를 잘 판단하여, 블로킹신호가 52.3 ms에 발생되어 트립신호가 발생

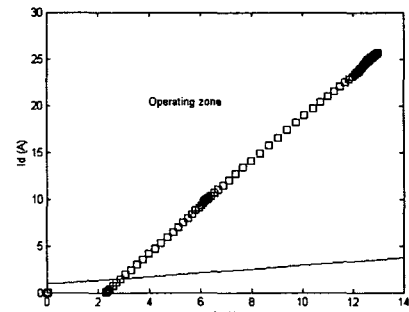
되지 않았다(그림 5d). 여자돌입의 경우에는 기존 방식과 제안한 방식 모두 계전기 오동작을 방지함을 알 수 있다.

3.1.2 내부사고

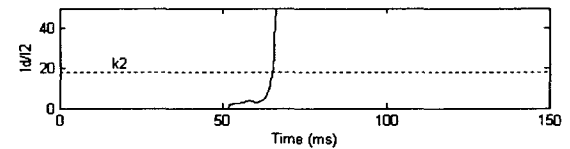
그림 6은 변압기 1차 권선의 A상의 중성점으로부터 80% 지점의 지락사고의 결과를 나타낸다(사고 순간 50.1 ms). 이 경우, 87R가 동작영역 안으로 52.6 ms에 진입한다. 기존 방식에서는, 52.1 ms—64.8 ms 기간 동안에 I_d/I_2 가 K_2 보다 작



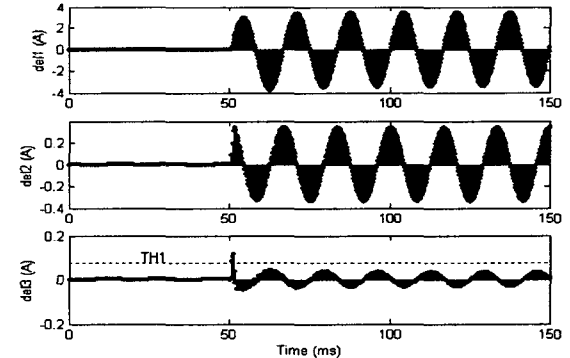
(a) 차전류의 순시값



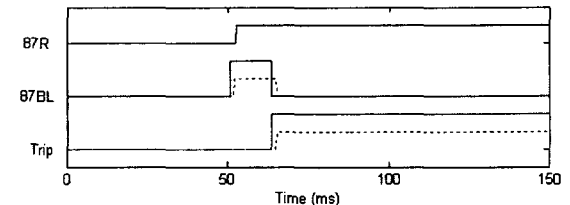
(b) 87R의 동작



(c) Id/I2



(d) 차전류의 1, 2, 3차 차분 함수



(e) 기존 방식과 제안한 방식의 87R, 87BL1, 트립신호

그림 6 내부사고의 경우(변류기 불포화)

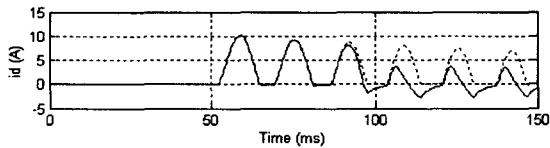
Fig. 6 The results for an internal fault (without saturation)

으므로, 87BL이 발생되어 트립신호가 65.1 ms에 발생되므로 12.5 ms의 시지연이 발생한다. 한편, 제안한 방식의 경우에는 87BL이 50.8 ms—63.3 ms동안 발생되므로, 트립신호는 63.5 ms에 발생되어 10.9 ms의 시지연이 발생된다. 변류기 포화가 없는 경우에는 제안한 방식이 기존 방식에 비해 동작속도가 약간(1.6 ms, 6 샘플) 빠르다.

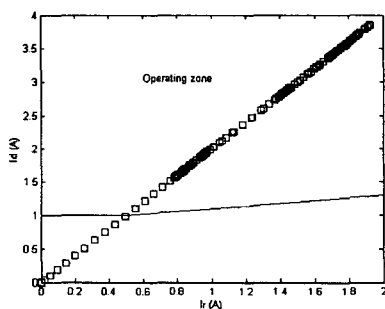
3.2 변류기가 포화된 경우

3.2.1 여자돌입

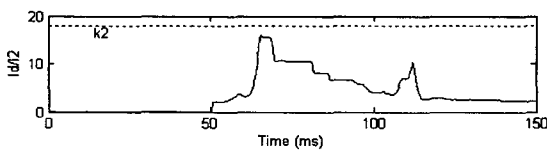
그림 7은 무부하, 변압기 잔류자속이 80%이고 투입위상 각이 0도(투입 시간 50.1 ms)이고, 변류기의 잔류자속이 0%인 경우의 결과를 나타낸다. 여자전류가 약 92 ms에 포화되었다(그림 7a). 변류기가 포화되어도 I_d/I_2 의 값은 K_2 보다 적다(그림 7c). 기존 방식과 제안한 방식의 블로킹 신호는 각각 54.9 ms, 52.3 ms에 발생되어(그림 7e), 트립신호는 발생하지 않았다. 따라서, 변류기가 포화되는 여자돌입의 경우에 기존 방식과 제안한 방식은 계전기의 오동작을 방지한다.



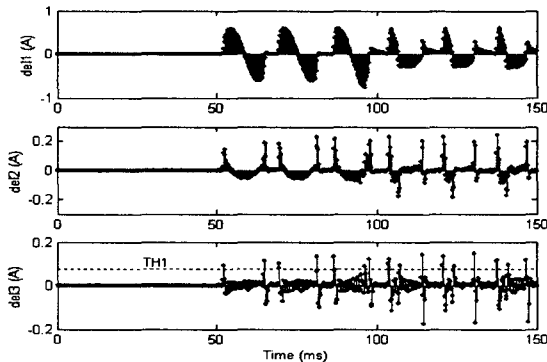
(a) 차전류의 순시값



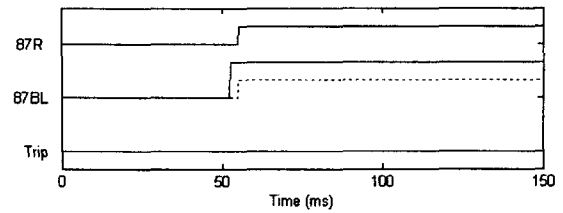
(b) 87R의 동작



(c) I_d/I_2



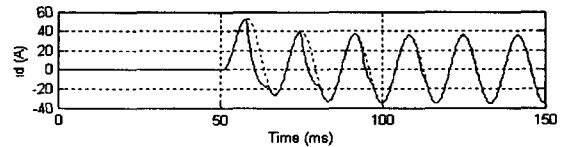
(d) 차전류의 1, 2, 3차 차분 함수



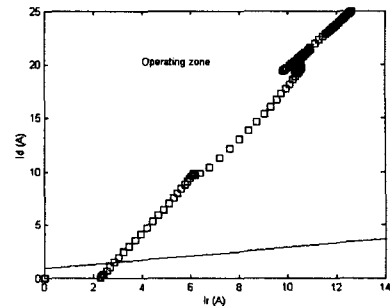
(e) 기존 방식과 제안한 방식의 87R, 87BL1, 트립신호
그림 7 여자돌입의 경우(변류기 포화)
Fig. 7 The results for inrush (with saturation)

3.2.2 내부사고

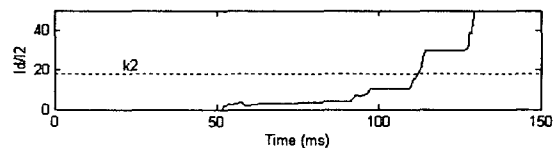
그림 8은 그림 6과 같은 사고인데 CT1이 57 ms에 포화된 경우의 결과이다. 87R가 52.6 ms에 동작한다. 사고 발생 이후 약 4주기까지 포화로 인해 전류가 왜곡됨을 알 수 있다. 기존 방식의 경우에는 I_d/I_2 가 K_2 보다 작은 구간 즉, 52.1 ms—112.0 ms기간 동안에 블로킹 신호가 발생하여, 112.2 ms에 트립신호가 발생되었다.



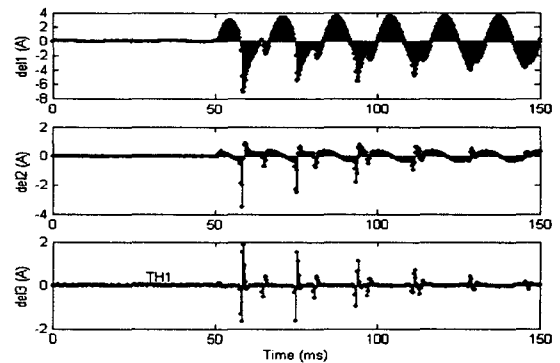
(a) 차전류의 순시값



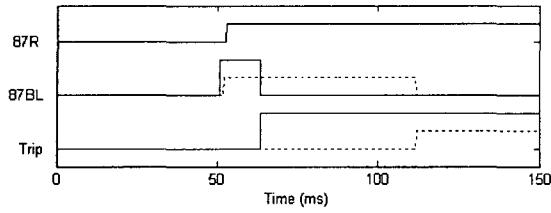
(b) 87R의 동작



(c) I_d/I_2



(d) 차전류의 1, 2, 3차 차분 함수



(e) 기존 방식과 제안한 방식의 87R, 87BL1, 트립신호
 그림 8 내부사고의 경우(변류기 포화)
 Fig. 8 The results for an internal fault (with saturation)

한편, 제안한 방식의 경우에는 87BL이 50.8 ms—63.3 ms 동안 발생되므로, 트립신호는 63.5 ms에 발생한다. 따라서, 제안한 방식은 기존 방식에 비해 동작 시간을 48.7 ms(약 3 주기)를 향상시켰다.

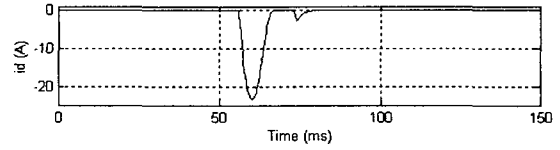
제안한 방식은 변류기 포화를 수반한 내부사고시에 기존 방식의 동작속도를 개선한다. 표 1은 변류기가 포화된 다양한 내부사고에 대해 기존 방식과 제안한 방식의 동작 시간을 비교한 것이다. 변류기의 포화가 심할수록 동작속도의 개선효과가 많음을 알 수 있다.

표 1 다양한 내부사고의 경우(변류기 포화)

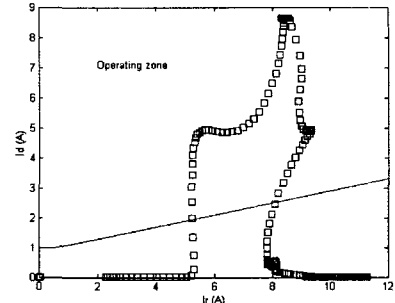
경우	투입 위상각	87R (ms)	기존 블로킹 (ms)	제안 블로킹 (ms)	기존 방식 Trip (ms)	제안한 방식 Trip (ms)	개선된 동작 시간 (ms)
80% 지락	0도	52.6	52.1—112	50.8—63.3	112.2	63.5	48.7
70% 지락	0도	52.6	52.3—113	50.8—63.3	113.3	63.5	49.8
60% 지락	0도	52.6	52.3—113	50.8—63.3	113.3	63.5	49.8
50% 지락	0도	52.6	52.1—112.2	50.8—63.3	112.5	63.5	49
50~80% 충전단락	0도	52.9	52.3—112.8	51—63.5	113	63.8	49.2
50~70% 충전단락	0도	52.9	52.3—110.7	51—63.5	110.9	63.8	47.1
50~60% 충전단락	0도	52.9	52.3—96.1	51—73.2	96.4	73.4	23.0
60~70% 충전단락	0도	52.9	52.3—96.6	51—73.7	96.9	74	22.6

3.2.3 외부사고

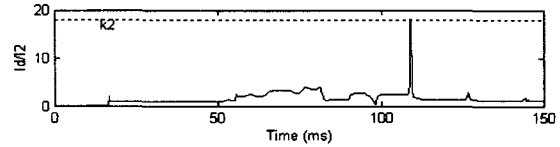
그림 9의 경우는 외부사고시에 CT1에 80%의 잔류자속이 존재하여 변류기가 포화되어 차전류가 발생한 경우이다. 사고가 50.1 ms에 발생하였고, 포화는 55.5 ms에 발생하였으며, 87R은 57 ms에 동작하였다. 기존 방식은 56.5 ms에, 제안한 방식은 55.7 ms에 블로킹 신호가 발생하여 두 경우 모두 계전기는 동작하지 않았다. 따라서 기존 방식과 제안한 방식 모두 외부사고시, 변류기가 포화되어 차전류가 발생되더라도 계전기의 오동작을 방지함을 알 수 있다.



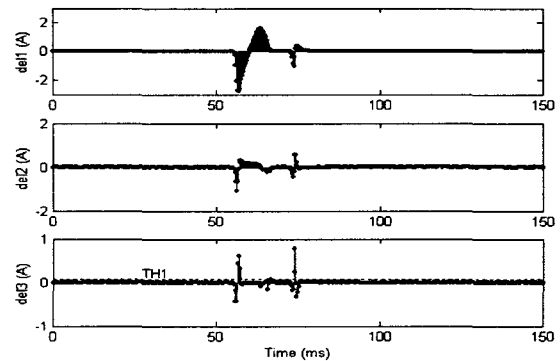
(a) 차전류의 순시값



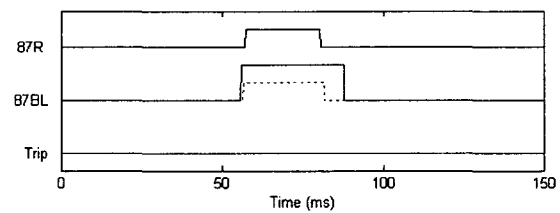
(b) 87R의 동작



(c) Id/I2



(d) 차전류의 1, 2, 3차 차분 함수



(e) 기존 방식과 제안한 방식의 87R, 87BL1, 트립신호
 그림 9 외부사고의 경우(변류기 포화)
 Fig. 9 The results for an external fault (with saturation)

4. 결 론

본 논문에서는 차전류의 차분을 이용하여 블로킹하는 변압기 보호용 전류차동 계전기를 제안하였다. 여자돌입이나 과여자시에 차전류가 철심의 포화 시작 또는 종료인 순간에 반복해서 변곡점을 갖는다는 사실을 이용하여, 3차 차분을 이용하여 변곡점을 판단하여 블로킹하는 방식이다.

다양한 사례 연구 결과, 변류기가 포화되지 않은 여자돌입과 내부사고의 경우에, 제안한 방식은 기존의 고조파 블로킹 방식과 거의 같거나 약간 우수한 성능을 보였다. 한편, 변류기가 포화된 경우에는, 여자돌입과 외부사고의 경우에는 같은 성능을 보였지만, 내부사고시에는 기존 방식에 비해 계전기 속도를 개선하였고, 포화의 정도가 심할수록 더 많이 개선됨을 알 수 있었다.

제안한 방식은 전류차동 계전기의 감도를 향상시킬 수 있을 뿐만 아니라, 변류기 포화를 수반한 내부사고시 계전기의 동작 속도를 현저하게 개선할 수 있다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부의 지원에 의하여 기초전력공학공동연구소 주관으로 수행되었으며 이에 감사를 드립니다.

참고 문헌

- [1] A.G. Phadke, and J.S. Thorp, *Computer Relaying for Power Systems*, Research Studies Press LTD., 1988.
- [2] C. H. Einvall, and J. R. Linders, "A Three-phase Differential Relay for Transformer Protection," *IEEE Trans. on PAS*, vol. 94, no. 6, November/December 1975. pp. 1971—1980.
- [3] A. Giuliani, and G. Clough, "Advances in the Design of Differential Protection for Power Transformers," *1991 Georgia Tech Protective Relaying Conference*, Atlanta, GA, May 13, 1991, pp. 1—12.
- [4] Z. Bo, G. Weller and T. Lomas, "A New Technique for Transformer Protection Based on Transient Detection," *IEEE Trans. on PWRD*, vol. 15, no. 3, July 2000, pp. 870—875.
- [5] 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.
- [6] Y. C. Kang, B. E. Lee, S. H. Kang, S. S. Kim, and J. K. Lee, "A Transformer Protective Relaying Algorithm Using the Ratio of Induced Voltages," *IEEE PES 2001 SM*, July 15—19 2001, Vancouver, BC, Canada.
- [7] P. Bastard, P. Bertand, and M. Meunier, "A Transformer Model for Winding Fault Studies," *IEEE Trans. on PWRD*, vol. 9, no. 2, April 1994, pp. 690—699.

저 자 소 개



강 용 철 (姜 龍 徹)

1964년 8월 2일생. 1991년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1993년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1997년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 현재, 전북대 공대 전자정보공학부 조교수.

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



김 대 성 (金 大 成)

1975년 12월 6일생. 2001년 전북대학교 전기공학과 졸업, 2003년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사).

E-mail : juccool@hotmail.com



양 성 채 (楊 城 彩)

1966년 2월 10일생. 1989년 부경대 공대 전기공학과 졸업. 1994년 나가사키 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1997년 나가사키 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 현재, 전북대 공대 전자정보공학부 전임강사.

Tel: 063-270-3991, Fax: 063-270-2394
E-mail : yangsc@moak.chonbuk.ac.kr