

김 성 수
서울대학교

박 중 근
서울대학교

은 만 철
한전 기술연구원

Digital Differential Relay for Transmission Line Protection Using Travelling Wave

Sung-soo Kim
Seoul National University

Jong-keun Park Man-Chul, Yeun
Seoul National University Research Center, KEPCO

ABSTRACT

A method of digital transmission line protection using travelling wave is presented. It is shown that the fault current appears as a difference of two quantities associated with the travelling wave at each terminal. The phasor of these quantities are extracted and transmitted to the other end via communication channel to detect the line fault.

1. 서 론

최근 전력계통이 규모가 커지고 복잡해짐에 따라 계통을 보호하는데 많은 어려움이 야기되고 있다. 예를들어 현재 널리 쓰이고 있는 반송 계전방식(Carrier Relaying System)은 고압이나 초고압 계통에서 장거리 중부하 송진선이나 지하 케이블 선로 등에 적용하는데 많은 어려움이 있다.

방향 비교 방식은 부하전류의 영향으로 거리계전기가 사고점까지의 거리를 정확히 측정할 수 없기 때문에 사용범위가 제한된다. 또 전류 위상 비교 방식도 부하전류의 영향이 크기때문에 중부하 상태의 송진선에 적용이 어렵다.

이러한 단점을 해결하기 위하여 본 논문에서는 진행파를 이용하여 내부사고만 검출되고 부하전류나 사고로 인한 고주파 파도신호의 영향을 줄이는 방법을 연구하였다.

2. 본 론

2.1 차동계전기의 원리

단위 길이당 inductance가 L, capacitance가 C인 무손실 단상 송진선을 가정하면 점 x, 시간 t에서의 전류 전압 값은 다음과 같은 파동 방정식의 해로 주어진다. (그림 1 참조)

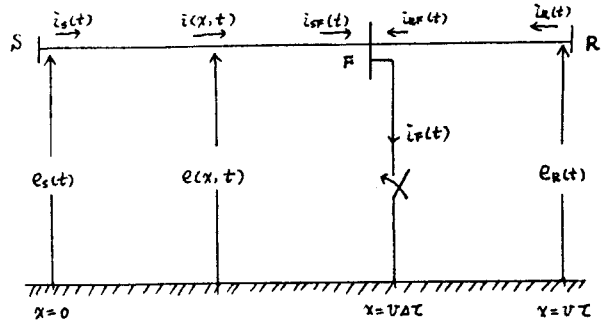


그림 1. 차동계전기(Differential Relay)의 동작원리

$$\frac{\partial e(x,t)}{\partial x} = L \frac{\partial i(x,t)}{\partial t} \tag{1-1}$$

$$\frac{\partial i(x,t)}{\partial x} = C \frac{\partial e(x,t)}{\partial t} \tag{1-2}$$

(1-1), (1-2)식으로 부터

$$\frac{\partial^2 e(x,t)}{\partial t^2} = \frac{1}{LC} \frac{\partial^2 e(x,t)}{\partial x^2} \tag{2-1}$$

$$\frac{\partial^2 i(x,t)}{\partial t^2} = \frac{1}{LC} \frac{\partial^2 i(x,t)}{\partial x^2} \tag{2-2}$$

진행파를 이용한 디지털 송전선 보호계전기

진행파가 S축으로 부터 사고지점까지 도달하는데 걸리는 시간을 $\Delta\tau$, R축에 도달하는데 걸리는 시간을 τ 라 하면 (2-1), (2-2) 식에 대한 d'Alembert 해는 다음과 같다.

i) $0 < x < v\Delta\tau$ 인 경우

$$i(x,t) = f_1(t - \frac{x}{v}) + f_2(t + \frac{x}{v}) \quad (3-1)$$

$$e(x,t) = Z[f_1(t - \frac{x}{v}) - f_2(t + \frac{x}{v})] \quad (3-2)$$

ii) $v\Delta\tau < x < v\tau$ 인 경우

$$i(x,t) = f'_1(t - \frac{x}{v}) + f'_2(t + \frac{x}{v}) \quad (3-1)$$

$$e(x,t) = Z[f'_1(t - \frac{x}{v}) - f'_2(t + \frac{x}{v})] \quad (3-2)$$

여기서,

$$Z = \sqrt{\frac{L}{C}} : \text{써어지 임피던스(Surge impedance)}$$

$$v = \frac{1}{\sqrt{LC}} : \text{진행파의 속도(phase velocity)}$$

f_1, f'_1 : 정방향 진행파(forward travelling wave)

f_2, f'_2 : 후방향 진행파(backward travelling wave)

F점에서 $e_{SF}(t) = e_{RF}(t)$, $i_{SF}(t) + i_{RF}(t) = i_F(t)$ 로 주어지는 경계조건을 대입하면 (4)식을 얻게 된다.

$$f_1(t) - f'_1(t) = \frac{1}{2}i_F(t + \Delta\tau) \quad (4)$$

한편 $m_s(t)$ 를 $i_s(t) + \frac{1}{Z}e_s(t)$, $m_R(t)$ 를 $-i_R(t) + \frac{1}{Z}e_R(t)$ 라 하면 (3)식과 그림1.로부터 정방향 진행파 $f_1(t)$, $f'_1(t)$ 를 다음과 같이 얻을 수 있다.

$$m_s(t) = i_s(t) + \frac{1}{Z}e_s(t) = 2f_1(t) \quad (5-1)$$

$$m_R(t) = -i_R(t) + \frac{1}{Z}e_R(t) = 2f'_1(t - \tau) \quad (5-2)$$

따라서 (4)식으로 부터 측정값 $m_s(t)$, $m_R(t)$ 와 사고전류 $i_F(t)$ 에 대한 다음과 같은 관계식을 얻게 된다.

$$m_s(t) - m_R(t + \tau) = i_F(t + \Delta\tau) \quad (6)$$

2.2 사고전류의 검출방법

그림 2에 전형적인 사고에 대하여 기본주파수 ω 와 관련된 측정값 $m_s(t)$, $m_R(t)$ 와 사고전류 $i_F(t)$ 의 페이서(phasor)의 관계를 나타내었다.

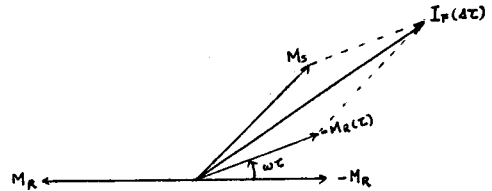
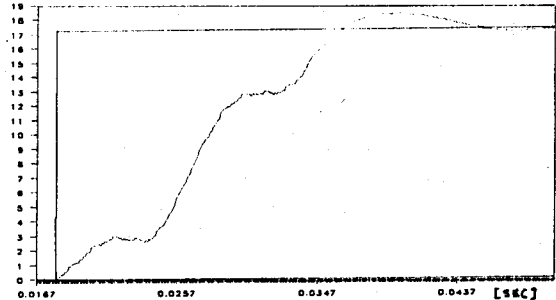


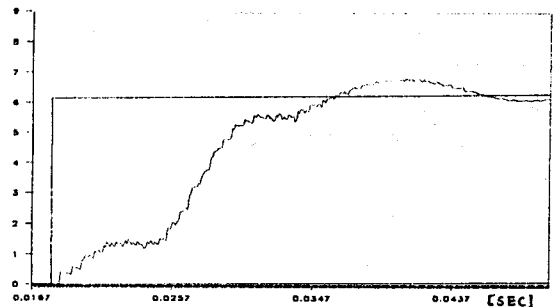
그림 2. Phasor의 표현

주파수 영역에서 time shift는 phasor의 회전으로 나타난다. 사고전류와 측정값에 관한 기본적인 식 (6)으로부터 S축에서의 측정값 M_s 와 τ 만큼 앞선 R축의 측정값 $M_R(\tau)$ 의 차가 $\Delta\tau$ 만큼 앞선 사고전류 $I_F(\Delta\tau)$ 로 나타남을 알 수 있다.

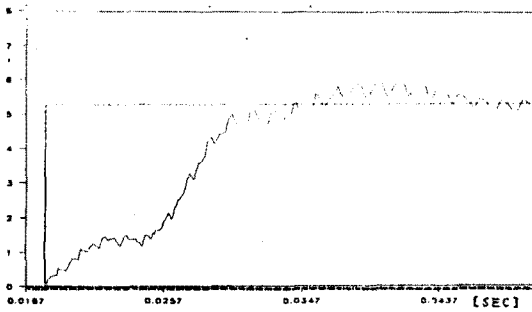
그림 3은 각 사고지점에 따라 이렇게 얻은 사고전류의 크기에 대한 측정값을 나타낸 것이다.



(a) 보호구간의 10% 지점에서의 사고



(b) 보호구간의 50% 지점에서의 사고



(c) 보호구간의 90% 지점에서 사고

그림 3. 사고전류의 크기

2.3 계전기의 특성

CT(Current Transformer)의 오차를 고려하기 위하여, percentage restraining 특성을 도입하였다. percentage restraining 특성을 그림 4에 나타내었다.

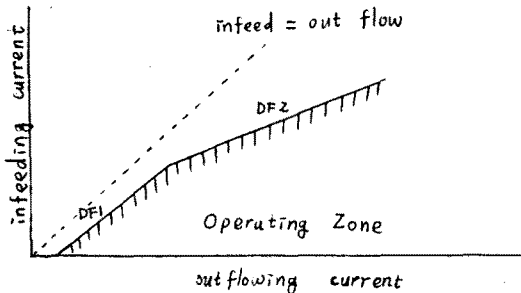


그림 4. 차동전류 계전기의 percentage restraining 특성

소전류 영역(DF1)에서는 중부하 전류하에서도 내부 사고를 민감하게 검출할 수 있고, 대전류 영역(DF2)에서는 CT의 포화(saturation)로 인하여 외부사고에 오동작하지 않도록 percentage restraining 특성을 채택하였다.

동작특성은 아래와 같다.

$$|I_F| - k_1(|I_s| + |I_R|) - k_{01} > 0 \quad (7-1)$$

$$|I_F| - k_2(|I_s| + |I_R|) - k_{02} > 0 \quad (7-2)$$

여기서 $|I_F|$ 는 $i_F(t)$ 의 크기이고 $|I_s|$, $|I_R|$ 은 각각 $i_s(t)$, $i_R(t)$ 의 크기이다. 그리고 k_1 , k_2 , k_{01} , k_{02} 는 상수이다.

3. 결 론

진행파 이론을 이용하여 부하전류와 사고시 발생하는 고주파 성분외의 과도신호에도 크게 영향을 받지 않는 송전선 보호 계전기를 개발하였다. 앞으로 사고 발생으로부터 사고검출까지 걸리는 시간을 단축하기 위하여 보다 짧은 Data Window를 가지고 정확한 사고검출할 수 있는 알고리즘이 개발되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] T. Takagi, Y. Yamakosi and M. Yamaura, "Digital Differential Relaying System for Transmission Line Primary Protection Using Travelling Wave Theory - its Theory and Field Experience", IEEE, PES Summer Meeting 1979
- [2] M. Vitins, "A Correlation Method for Transmission Line Protection", IEEE, PAS. Sept./Oct. 1978
- [3] A.G. Phadke, T. Hlibka and M. Ibrahim, "A Digital Computer System for EHV Substations: Analysis and Field Tests", IEEE, PAS. Jan./Feb. 1976