

DC-Offset 제거 기능을 향상시킨 거리계전 알고리즘

*노재근, *강상희
*명지대학교 전기공학과

**남순열, **박종근
**서울대학교 전기공학부

A Distance Relaying Algorithm Using an Improved Technique for Removing DC-offset

*Jae-Keun No, *Sang-Hee Kang
Myongji University

**Soon-Ryul Nam, **Jong-Keun Park
Seoul National University

Abstract - This paper presents a distance relaying algorithm based on the Discrete Fourier Transform(DFT) for elimination of DC-Offset. When the DFT is applied to current signal, the real and imaginary parts of fundamental component consist of fundamental component itself and DC-Offset. The DC-Offset is calculated by four consecutive values of the imaginary components, so that the fundamental component can be accurately estimated. Performance evaluation is presented for A-phase ground faults on 154kV 80km overhead transmission line. The proposed algorithm is inspected by software simulation and hardware simulation..

분과 DC-Offset 성분만이 남게된다[2].

$$I(k) = Ae^{-\frac{k\Delta t}{\tau}} + \sum_n B_n \sin(nw \cdot k\Delta t + \theta_n) \quad (1)$$

$$V_x \approx \frac{2}{N} \sum_{j=0}^{N-1} v_j \cos\left(\frac{2\pi j}{N}\right) \quad \text{: 실수부}$$

$$V_y \approx \frac{2}{N} \sum_{j=0}^{N-1} v_j \sin\left(\frac{2\pi j}{N}\right) \quad \text{: 허수부} \quad (2)$$

식(2)를 이용하여 실수부와 허수부를 구하게 되며, 본 알고리즘에서는 DC-Offset의 영향이 더 큰 허수부를 이용하여 연산한다. 이는 또한 Sin필터형태가 됨으로써 고조파를 제거하는 기능도 가지게 된다.

$$I^{Im}(N+k) = -\frac{A(w\tau)^2}{\pi} \cdot \frac{(1-e^{-\frac{2k}{\tau}})}{1+(w\tau)^2} e^{-\frac{k\Delta t}{\tau}} - B_1 \cos(w \cdot k\Delta t + \theta_1)$$

$$= y_1 \cdot e^{-\frac{k\Delta t}{\tau}} + y_2 \cdot \cos(w \cdot \Delta t) + y_3 \cdot \sin(w \cdot k\Delta t) \quad (3)$$

$$y_1 = -\frac{A(w\tau)^2}{\pi} \cdot \frac{(1-e^{-\frac{2k}{\tau}})}{1+(w\tau)^2}, \quad y_2 = -B_1 \cos(\theta_1), \quad y_3 = B_1 \sin(\theta_1)$$

허수부 성분은 고조파가 제거된 DC-Offset 성분과 기본파성분으로 합쳐지고, 기본파성분은 삼각함수 분해를 통해 다시 sin부와 cos부로 나뉘게 되며 식(3)의 y1은 DC-Offset의 크기이고 y2, y3는 각각 기본파 성분의 실수부 및 허수부의 크기이다.

1. 서 론

2.2 DC-Offset의 연산

거리 계전 방식은 송전선로 계통에서 가장 널리 사용되는 보호 방식으로, 계전기 설치점의 전압, 전류만을 입력신호로 사용하기 때문에 양단간의 통신선로를 이용할 필요가 없으며 또한 보호협조에 있어서도 사용이 용이한 특징을 지니고 있다. 본 논문에서는 대표적인 거리 계전 알고리즘으로 널리 사용되는 DFT (Discrete Fourier Transformation)[1]를 이용한다. DFT를 거친 후의 실수부와 허수부도 하나의 신호이며 이 신호를 DC-Offset 성분과 기본파 성분만으로 가정하여 기본파 성분을 소거하고 DC-Offset성분을 구하여 보상한다.

한주기 DFT의 허수부를 이용하여 얻은 페이지의 연립식에서 기본파 성분을 소거함으로써 DC-Offset 성분을 구할 수 있다.

$$I^{Im}(0) = y_1 \cdot e^{-\frac{0\Delta t}{\tau}} + y_2 \cdot \cos(w \cdot 0 \cdot \Delta t) + y_3 \cdot \sin(w \cdot 0 \cdot \Delta t)$$

$$I^{Im}(1) = y_1 \cdot e^{-\frac{1\Delta t}{\tau}} + y_2 \cdot \cos(w \cdot 1 \cdot \Delta t) + y_3 \cdot \sin(w \cdot 1 \cdot \Delta t) \quad (4)$$

$$I^{Im}(2) = y_1 \cdot e^{-\frac{2\Delta t}{\tau}} + y_2 \cdot \cos(w \cdot 2 \cdot \Delta t) + y_3 \cdot \sin(w \cdot 2 \cdot \Delta t)$$

식(4)를 이용하여 y2 및 y3를 소거한다.

$$I^{DC}(N+2) = c_1 I^{Im}(N+0) + c_2 I^{Im}(N+1) + c_3 I^{Im}(N+2)$$

$$= y_1 \cdot (c_1 e^{-\frac{0\Delta t}{\tau}} + c_2 e^{-\frac{1\Delta t}{\tau}} + c_3 e^{-\frac{2\Delta t}{\tau}}) \quad (5)$$

2. 본 론

여기서,

$$c_1 = \cos(w \cdot 1\Delta t) \cdot \sin(w \cdot 2\Delta t) - \sin(w \cdot 1\Delta t) \cdot \cos(w \cdot 2\Delta t)$$

$$c_2 = \sin(w \cdot 0\Delta t) \cdot \cos(w \cdot 2\Delta t) - \cos(w \cdot 0\Delta t) \cdot \sin(w \cdot 2\Delta t) \quad (6)$$

$$c_3 = \cos(w \cdot 0\Delta t) \cdot \sin(w \cdot 1\Delta t) - \sin(w \cdot 0\Delta t) \cdot \cos(w \cdot 1\Delta t)$$

$$(c_1 e^{-\frac{0\Delta t}{\tau}} + c_2 e^{-\frac{1\Delta t}{\tau}} + c_3 e^{-\frac{2\Delta t}{\tau}}) = d_1 \quad (7)$$

일반적으로 0도 고장시 전류성분에 크게 나타나는 DC-Offset성분은 지수함수적으로 감소하는 성분이어서 직교변환으로 제거가 어렵다. 그러므로 본 알고리즘은 DC-Offset의 영향이 더 큰 허수부를 이용하여 DC-Offset을 구하며 이는 Sin필터형태로 고조파 제거 효과도 병행하여 볼 수 있다. 종래의 DC-Offset 제거를 위한 Mimic필터나 시정수를 사용하는 FIR필터와는 달리 대수식에서 DC-Offset 성분을 구하여 이를 정확하게 보상한다. 알고리즘의 검증은 위하여 EMTP (Electro magnetic Transients Program)를 사용하여 1회선 송전선로에서 1선지락고장과 선간단락고장을 모의하였으며 이 때 고장 위상각 0°모의 및 다양한 고장점 거리를 통해 DC-offset 과 고조파의 영향을 최대한 고려했다. 또한 DSP를 이용한 하드웨어 모의로 기본파 성분에서 DC-Offset이 제거됨을 검증하였다.

2.1 고장 신호 I(k) 의 가정

고장신호 I(k)는 식 (1)과 같이 DC-Offset 성분, 기본파 성분 및 고조파 성분들의 합으로 가정된다.

이러한 신호에 거리 계전 알고리즘으로 DFT를 사용하였을 때, 이는 직교변환이므로 기본 주파수의 배수에 해당하는 주파수 성분은 모두 제거되고, 기본 주파수 성

으로 치환하면,

$$I^{DC}(N+2+k) = c_1 I^{Im}(N+0+k) + c_2 I^{Im}(N+1+k) + c_3 I^{Im}(N+2+k)$$

$$= d_1 \cdot y_1 e^{-\lambda_0 k \Delta t} \quad (8)$$

단, $\lambda_0 = \frac{1}{\tau}$

식(8)의 연속되는 두 샘플을 이용하여 식(9)를 유추한다.

$$\frac{I^{Im}(N+2+k+1)}{I^{Im}(N+2+k)} = \frac{d_1 \cdot y_1 e^{-\lambda_0(k+1)\Delta t}}{d_1 \cdot y_1 e^{-\lambda_0 k \Delta t}} = e^{-\lambda_0 \Delta t} \quad (9)$$

식(9)를 이용하여 DC-Offset을 구한다.

$$\therefore y_1 = \frac{I^{Im}(N+2+k)}{d_1 \cdot e^{-\lambda_0 k \Delta t}} \quad (10)$$

2.3 DC-Offset 보상 및 기본파 Phasor의 연산

식(10)에서 구한 y_1 을 이용하여 DC-Offset이 제거된 기본파 페이저를 구할 수 있다.

$$I^{Im}(N+2+0) - y_1 \cdot e^{-\frac{0\Delta t}{\tau}} = y_2 \cdot \cos(\omega \cdot 0 \cdot \Delta t) + y_3 \cdot \sin(\omega \cdot 0 \cdot k \Delta t) \quad (11)$$

$$I^{Im}(N+2+1) - y_1 \cdot e^{-\frac{1\Delta t}{\tau}} = y_2 \cdot \cos(\omega \cdot 1 \cdot \Delta t) + y_3 \cdot \sin(\omega \cdot 1 \cdot k \Delta t)$$

식(11)을 연립하여 기본파의 실수부와 허수부를 구한다.

2.4 알고리즘의 검증

본 알고리즘의 검증을 위해 EMTP를 이용하여 고장을 모의했으며 모델계통은 그림1에서 보인 것과 같이 154[kV], 80[km] 1회선 가공 송전선로에서 고장 위상각 0°의 A상 1선 지락 및 AB상 선간 단락 고장을 모의하였다. 이 때 1선지락고장의 위치는 선로의 10[%]와 50[%] 및 90[%]지점의 세가지 경우를 고려했고 고장저항의 영향을 알아보기 위해 고장저항 20[ohm]을 모의하였다.

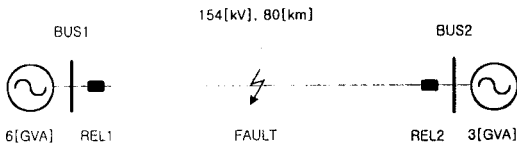


그림 1. 모의 계통

2.4.1 소프트웨어 모의 결과

이러한 송전선로 모델을 한주기 36샘플링하여 각각의 다른 고장거리에서 사고를 모의하였을 때 기존의 DFT 알고리즘과 본 새로운 알고리즘을 적용하여 비교하였다.

그림 2와 3은 각각의 거리에서 a상 0°사고시의 R, X를 기존 DFT 알고리즘과 새로운 알고리즘에서 비교한 그림이다. 전류신호에서 0°고장시에 지수함수적으로 감쇄하는 DC-Offset의 영향으로 기존 알고리즘에서는 R, X계적이 진동하나, 새로운 알고리즘에서는 R, X계적이 진동없이 수렴하는 것을 볼 수 있다.

그림 4와 5는 같은 선로 조건에서 1선지락고장시의 고장저항이 20[Ohm]일 때 R, X계적이다.

그림 6과 7은 10%지점 사고시 R, X를 R-X 평면에 나타냈으며 같은 사고시 제시된 새로운 알고리즘을 사용한 결과가 더 빨리 고장치에 수렴함을 확인할 수 있다.

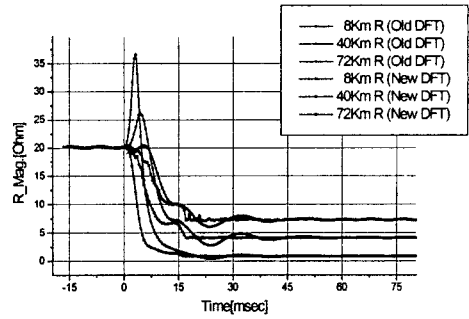


그림 2. 각 고장거리에서 기존 DFT와 DC제거 DFT의 R 비교

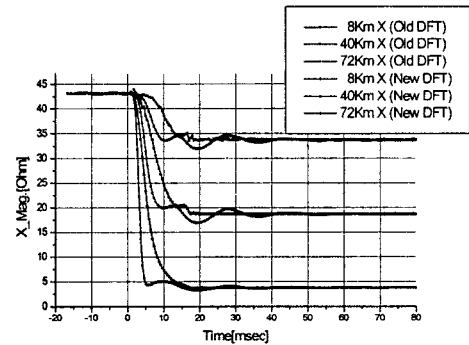


그림 3. 각 고장거리에서 기존 DFT와 DC제거 DFT의 X 비교

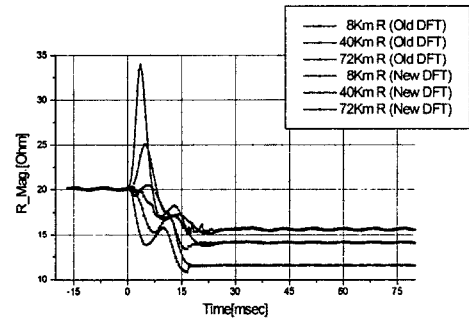


그림 4. 고장저항 20[Ohm]에서의 R 비교

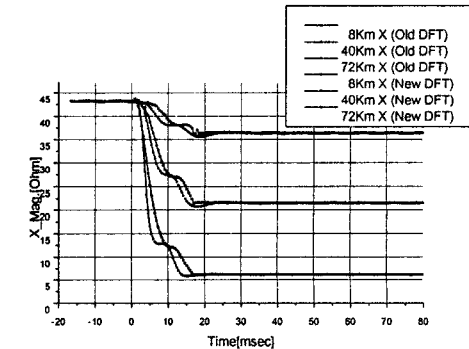


그림 5. 고장저항 20[Ohm]에서의 X 비교

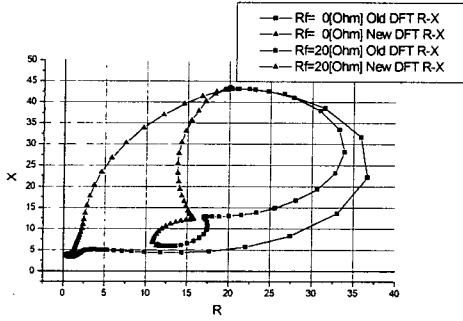


그림 6. 10% 지락고장시 각각의 고장저항을 고려한 R-X 궤적

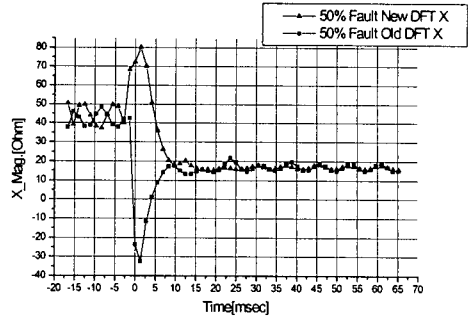


그림 9. 50% A상 지락사고시 X의 비교

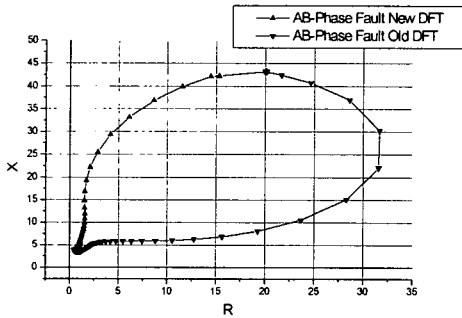


그림 7. AB상 단락사고시 R-X Plain

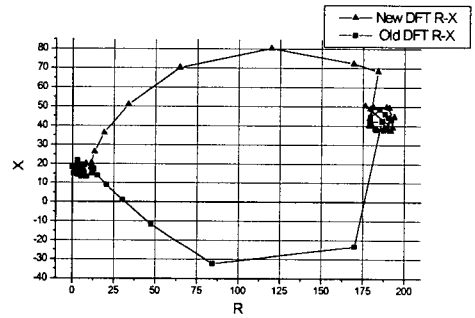


그림 10. 50% A상 사고시 R-X 궤적

2.4.2 하드웨어 모의 결과

본 논문에서는 제시된 알고리즘을 DSP Starter Kit를 이용하여 하드웨어 모의를 하였다. DSK는 TI사의 TMS320C32(3)를 주 프로세서로 하며 12비트 8채널의 ADC(Analog to Digital Converter)를 장착한 32비트 부동소수점 연산의 DSP보드이다. EMTP 데이터를 아날로그 파형으로 입력시키기 위해 PCL727 DAC(Digital to Analog Converter)보드를 사용했고 이 신호는 아날로그 저역통과필터를 통해 DSP 보드에 입력된다. Development Tool로서 Code composer 3X4X와 XDS-510을 이용하여 디버깅 및 데이터를 취득하였다. 하드웨어용 고장모의는 A상 지락고장 및 AB상 단락고장을 모의하였고 한주기 12샘플링하여 결과값을 R-X 평면에서 나타내었다.

하드웨어 모의 결과가 소프트웨어 결과와 차이를 보이는 것은 EMTP 데이터의 DAC 시의 오차에 따른 것이다.

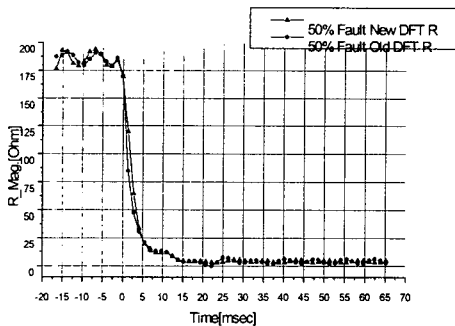


그림 8. 50% A상 지락사고시 R의 비교

3. 결 론

본 논문에서는 DFT(Discrete Fourier Transform)을 이용하여 기본파와 페이저성분을 구할 경우, 0도 고장시 전류성분에서 주로 발생하는 DC-Offset 성분을 대수적인 방법을 이용하여 정확히 제거할 수 있는 방법을 제시하였다.

제시된 알고리즘은 한주기 12 샘플링으로 DSP를 이용한 실시간 모의를 통해 고장 후 R, X 수치를 비교적 정확히 나타낸다. 선로의 0도 고장시 입력신호에서 DC 성분의 정확한 값을 구하므로 종전의 시정수를 사용하는 DC 필터보다 우수하게 DC-Offset 성분을 추출하여 제거 가능하며 S/W 및 H/W Simulation을 통하여 이를 검증하였다.

[참 고 문 헌]

- (1) P.G. McLaren, M.A. Redfern "Fourier-Series Techniques Applied to Distance Protection", PROC. IEE, Vol. 122, No.11, November 1975
- (2) A.T. Johns, S.K. Salman, "Digital Protection for Power Systems", IEE Power Series 15, pp. 72-114
- (3) TI "TMS320C32 USER'S GUIDE" 1 JANUARY 1995
- (4) Jyh-CHerng Gu, Sun-Li Yu "Removal of DC Offset in Current and Voltage Signals Using a Novel Fourier Filter Algorithm" IEEE TRANSACTIONS ON POWER DELIVERY, VOL. 15, NO. 1, JANUARY 2000