

AR 모델을 이용한 직류 오프셋 성분 제거 알고리즘

장수영, 이동규, 강상희
 명지대학교 차세대 전력기술 연구센터

A DC-Offset Elimination Algorithm Based on an AR Model

Soo-Young Chang , Dong-Gyu Lee, Sang-Hee Kang
 Next-Generation Power Technology Center Myongji University

Abstract - In this paper, A dc-offset elimination novel algorithm based on an AR model is proposed. The algorithm can eliminate dc-offset rapidly than other algorithms. The signal of fault current can be presented as a linear equation combined sinusoidal with exponential signals. Then, the linear equation can be presented an auto-regressive(AR) model and dc-offset can be calculated by the equation of AR model. So it is possible to be removed the dc-offset from the original current signal. Performance evaluation of the algorithm was tested on condition that A-phase ground fault on 154kV 25km overhead transmission line.

1. 서 론

계전신호의 페이저 값에 기반한 송전선로 보호 계전기들의 성능은 페이저 연산 알고리즘이 그 성능을 좌우한다고 할 수 있다. 현재까지 페이저를 정확하게 연산하기 위한 연구들이 지속적으로 진행되어 왔다. 대표적인 페이저 연산법으로는 최소자승법[1], Newton 방법[2], Kalman Filter 변환법[3], 이산 Fourier 변환법(DFT)[4]이 있다. 그 중에서 DFT는 현재 가장 일반적으로 쓰이는 페이저 연산법으로 이론이 간단하고 고조파 제거 능력이 아주 뛰어나다. 그러나 DFT의 단점은 신호에서 지수 감쇄하는 직류 성분에 의해 페이저 연산의 정확도가 감소한다는 것이다. 이는 보호 계전기들의 성능 저하의 원인이 된다.

따라서 고성능의 보호계전기 구현을 위해서는 이에 대한 대책이 마련되어야 한다. 직류 오프셋 성분을 제거하기 위해 일반적으로 사용하는 FIR 필터[5]는 직류 성분의 시정수를 선로 시정수로써 가정하므로 시정수가 다를 경우 오차가 발생한다. 또한 과거에 직류 성분을 제거하기 위한 필터로 mimic 회로[6]가 있지만 이 또한 신호의 시정수를 모를 경우 직류 오프셋 성분 제거가 불충분하다. 또한 기존의 알고리즘들은 일반적으로 페이저 성분을 구할 때 많은 수의 데이터 윈도우를 필요로 하므로 페이저 연산 후 직류 성분 제거하는데 연산시간의 지연을 수반한다.

본 논문에서는 이와 같은 단점을 보완하기 위해 AR(Auto-Regressive) 모델을 이용하여 전류 신호의 샘플에서 단 세 개의 샘플 데이터만으로 고장전류에 포함되어 있는 직류 오프셋 성분을 추정하여 직류 성분을 제거하는 알고리즘을 제안한다.

알고리즘의 검증용을 위한 사례 연구에서는 EMTP(Electromagnetic Transients Program)를 사용하여 154kV, 25km 1회선 송전선로에서의 1선 지락고장을 모의하였으며 이 때 고장 위상각 0° 및 다양한 고장점 모의를 통해 직류 오프셋 성분과 고조파의 영향을 최대한 고려하였다.

2. 본 론

2.1 자기회귀(Autoregressive, AR) 모델

AR 모델이란 시계열자료가 과거 값들로서 설명된다는 모형이다. 수식으로 표현하면 다음과 같다.

$$y(k) = a_1y(k-1) + a_2y(k-2) + \dots + a_p y(k-p) \quad (1)$$

현재 (k) 시점의 값 y(k)는 바로 직전 y(k-1)값으로부터 a₁만큼, y(k-2)값으로부터 a₂만큼의 영향을 받는다고 할 수 있다. 과거 y(k-p)까지의 값들이 y(k)에 영향을 주는 경우 이를 p차 AR 모델이라고 부른다. 식(1)을 일반화 하면 다음과 같다.

$$y(k) = \sum_{j=1}^p a_j y(k-j) \quad (2)$$

y(k)는 모델링 하고자 하는 신호이며, a_j은 j차 항의 AR 계수, p는 AR 모델의 차수이다.

2.2 AR 모델에 의한 직류 오프셋 성분의 추정

2.2.1 전류신호의 AR 모델

전력 계통의 고장시 발생하는 전류신호는 지수 감쇄하는 직류 오프셋 성분과 sine 성분의 합으로 표현 가능하다.

$$i(t) = x_0(t) + \sum_{n=1}^m x_n(t) \\ = C_0 \exp^{-\alpha t} + \sum_{n=1}^m C_n \sin(\omega t + \phi_n) \quad (3)$$

여기서 r와 C₀는 직류 성분의 시정수 및 크기, C_n과 φ_n은 n조파 sine 성분의 크기 및 위상각, m은 고조파 성분의 최고차수이며 ω는 시스템의 기본 주파수이다.

고장전류를 직류 오프셋 성분 및 기본파 성분만으로 가정하였을 경우 다음과 같은 식을 얻을 수 있다.

$$i(t-Dt) = x_0(t-Dt) + x_1(t-Dt) \quad (4)$$

$$i(t) = x_0(t) + x_1(t) \quad (5)$$

$$i(t+Dt) = x_0(t+Dt) + x_1(t+Dt) \quad (6)$$

n조파 sine 성분은 식(7)과 같은 2차 AR 모델로 표현 가능하다.

$$x_n(t+Dt) = (2 - (n\omega Dt)^2)x_n(t) - x_n(t-Dt) \quad (7)$$

2.2.2 AR 모델에 의한 직류 성분 추정

식(7)로 표현된 AR 모델로 직류 성분을 추정하기 위해서는 각 전류 신호 성분에 포함된 정현파 성분을 추출

하여야 한다.

식(6)에 식(7)을 대입하여 정리하면 식(8)과 같다.

$$\begin{aligned} i(t+\Delta t) &= x_0(t+\Delta t) + x_1(t+\Delta t) \\ &= x_0(t+\Delta t) + (2 - (na\Delta t)^2)x_1(t) - x_1(t-\Delta t) \end{aligned} \quad (8)$$

식(4), 식(5)를 이용하여 $x_1(t-\Delta t)$ 와 $x_1(t)$ 를 구하고 식(8)에 대입하여 정리하면 식(9)과 같이 정현파 성분은 제거된 지수함들만 남게 된다.

$$\begin{aligned} i(t+\Delta t) - (2 - (na\Delta t)^2)i(t) + i(t-\Delta t) \\ &= x_0(t+\Delta t) - (2 - (na\Delta t)^2)x_0(t) + x_0(t-\Delta t) \\ &= C_0 \exp^{-(t+\Delta t)/\tau} - (2 - (na\Delta t)^2)C_0 \exp^{-t/\tau} + C_0 \exp^{-(t-\Delta t)/\tau} \end{aligned} \quad (9)$$

식(9)의 관계를 이용하여 $K1$ 이라는 직류 성분으로만 구성된 다음과 같은 식을 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned} K1 &= i(t+\Delta t) - (2 - (na\Delta t)^2)i(t) + i(t-\Delta t) \\ &= C_0 \exp^{-t/\tau} [\exp^{-\Delta t/\tau} - (2 - (na\Delta t)^2) + \exp^{\Delta t/\tau}] \end{aligned} \quad (10)$$

식(10)을 테일러 시리즈로 전개해서 첫 3항까지 고려하여 정리하면 식(11)과 같다.

$$K1 = C_0 \exp^{-t/\tau} (\Delta t^2 (\omega^2 + 1/\tau^2)) \quad (11)$$

식(10)과 식(11)을 비교해 보면 본 논문에서 고려한 전류신호 AR 모델의 상수배에 해당하는 값으로 직류 성분을 구할 수 있다. 식(11)을 정리하면 식(12)와 같다.

$$C_0 \exp^{-t/\tau} = \frac{1}{\Delta t^2 (\omega^2 + 1/\tau^2)} K1 = KsK1 \quad (12)$$

식(12)에서 τ 는 미지수이고 Δt 와 ω , $K1$ 은 기지량으로 $K1$ 은 식(10)에서 보는바와 같이 전류 데이터 세 개의 샘플로 구할 수 있는 값이다. 즉, τ 를 정확하게 추정할 수 있다면 Ks 를 구할 수 있고 결국 전류신호의 샘플 값으로 구해진 $K1$ 에 Ks 배 한 값이 우리가 구하고자 하는 직류 성분이다. 단, 정확한 직류 성분 추정하려면 τ 를 고려해야만 하는데 τ 가 $\omega \gg 1/\tau^2$ 의 조건이면 τ 가 직류 성분 구하는데 미치는 영향은 매우 작으므로 식(12)에서 τ 를 고려하지 않고 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$C_0 \exp^{-t/\tau} = \frac{1}{\Delta t^2 \omega^2} K1 = KsK1 \quad (13)$$

2.3 사례연구

이 논문에서 제안한 알고리즘의 검증을 위해 EMTP를 이용하여 고장을 모의하였으며 모델계통은 154kV, 25km 1회선 가공 송전선로에서 고장 위상각 0°의 A상 1선 지락 고장을 모의하였다. 이때 1선 지락고장의 위치는 선로의 5%, 50%, 95% 지점의 세가지 경우를 고려하였고 고장저항의 영향을 알아보기 위해 고장저항 20[ohm]을 고려하였다.

제안된 알고리즘은 고조파 성분의 제거와 증첩방지를 위해 저역통과필터를 사용하였고 기존의 DFT 알고리즘과 비교하였다.

그림 2는 고장 위상각 0°, 고장거리 5% 지점 고장시의 전류파형으로 한 주기 이내로 직류 성분이 빠르게 제거된 것을 확인할 수 있다.

그림 3은 고장 위상각 0°, 고장거리 50% 지점 고장시의 전류파형으로 그림 2에서 나타난 것과 같은 특성을 볼 수 있고 고장거리가 멀어짐으로 인해 전류 신호의 전체적인 크기만 줄어든 것을 확인할 수 있다. 그림 4는

고장 위상각 0°, 고장거리 95% 지점 고장으로 역시 같은 특성을 파악할 수 있다. 그림 5는 고장저항이 없을 때 고장 거리별 실효값을 비교한 것으로 0° 고장시에 지수함수적으로 감쇄하는 직류 성분 제거 후 실효값은 진동없이 안정된 형태로 빠르게 수렴한다. 그림 6은 고장저항 20[ohm]을 고려했을 때 고장 거리별 실효값을 비교한 것으로 고장저항에 의해 직류 성분 제거가 거의 없지만 이 경우에도 역시 진동없이 안정된 값으로 빠르게 수렴한다.

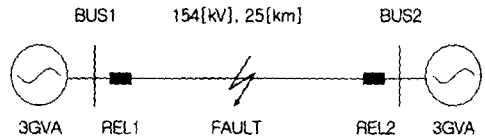


그림 1. 모의 계통

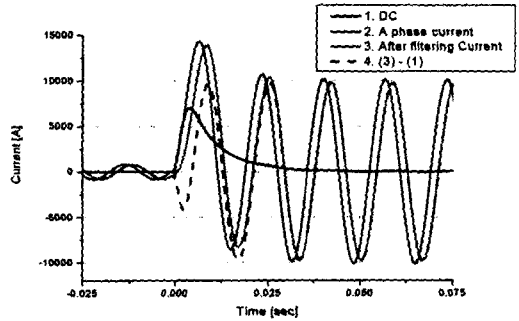


그림 2. 고장저항 0[ohm], 고장거리 5%

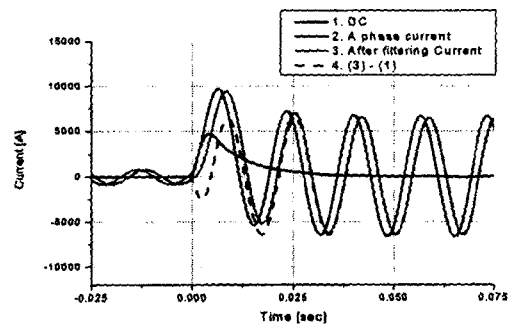


그림 3. 고장저항 0[ohm], 고장거리 50%

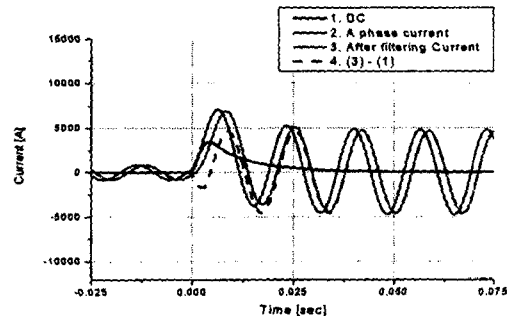


그림 4. 고장저항 0[ohm], 고장거리 95%

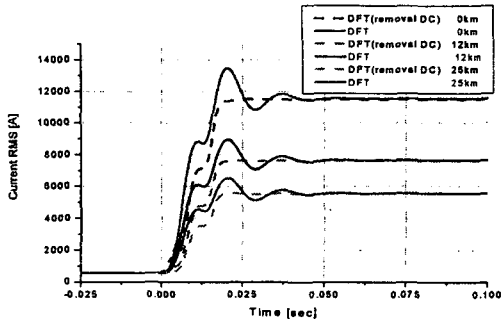


그림 5. 고장저항 0[ohm]에서의 RMS 비교

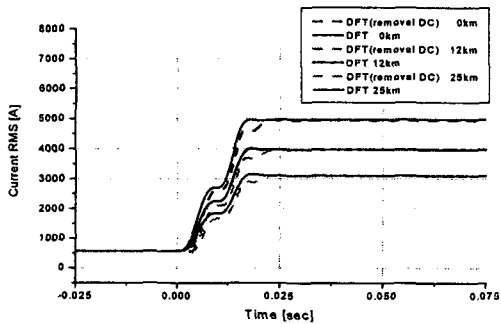


그림 6. 고장저항 20[ohm]에서의 RMS 비교

3. 결 론

본 논문에서는 AR 모델을 이용하여 전류성분의 샘플 신호에서 직류 성분 제거할 수 있는 알고리즘을 제안하였다.

제안된 알고리즘은 계통 데이터를 필요로 하지 않으므로 계통 특성의 영향을 최소화 하였고 전류성분의 샘플 신호에서 단 3개의 샘플 데이터 윈도우를 적용함으로써 데이터 윈도우를 축소하였다. 따라서 제안된 알고리즘은 기존 시정수를 사용하는 DC 필터보다 빠르고 정확하게 직류 성분 추출하여 제거할 수 있다. 사례연구를 통하여 제안된 알고리즘은 계통상태 및 고장조건에 영향을 받지 않고 고장전류의 직류 성분 제거할 수 있음을 보였다.

감사의 글

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

[참 고 문 헌]

[1] L. KAMWA, R. GRONDIN, "Fast Adaptive Schemes for Tracking Voltage Phasor and Local Frequency in Power Transmission and Distribution System", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 7, No. 2, pp789-795, April 1992

[2] Vladimir V. Terzija, Milenko B. Djuric, Branko D. Kovacevic, "Voltage Phasor and Local System Frequency Estimation Using Newton Type Algorithm", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 9, No. 3, pp1368-1374, July 1994

[3] M.S. Sachdev, H.C. Wood, N.G. Johnson, "Kalman

Filtering Applied To Power System Measurements For Relaying", IEEE Transaction. on Power Apparatus and System, Vol. PAS-104, No. 12, pp3565-3573, December 1985

[4] A. G. Phadke, J. S. Thorp and M. G. Admiak, "A New Measurement Technique for Tracking Voltage Phasors, Local System Frequency, And Rate of change of Frequency", IEEE Transaction. on PAS, Vol. PAS 102, No. 5, pp1022-1038, May 1983

[5] Sang-Hee Kang, Jong-Keun Park, Nam Ho Kim, 'A New Digital Distance Relaying Based on the Fast Haar Transformation Using a Half Cycle Offset Free Signals', Trans. of the IEE of Japan, Vol. 114, Pt. B, No. 6, Jun. 1994, pp. 601-608

[6] J.-Z. Yang and C.-W. Liu, "Complete Elimination of DC Offset in Current Signals for Relaying Applications", IEEE PES Winter Meeting, pp1933-1938, Jan. 2000

[7] Dong-Gyu Lee, Sang-Hee Kang, "A Compensation Algorithm for the Distorted Secondary Current of a Current Transformer", IEE Developments In Power System Protection, Vol. 1, 5-8 April 2004