

DC제거용 FIR필터가 거리계전기에 미치는 영향 분석

오예준, 장 준, 박진규, 김수환, 강상희
 명지대학교

The Influence of a FIR Filter on Distance Relaying Algorithm

Ye-Jun Oh, Jun Jang, Jin-Kyu Park, Su-Hwan Kim, Sang-Hee Kang
 Myongji University

Abstract - DC-offset is a very important subject in power systems protection, since DC-offset causes mal-operation of the distance relay.
 This paper deals with the influence of a FIR filter used for removing the DC-offset upon the convergence characteristics of distance relaying algorithm based on Fourier Transform..

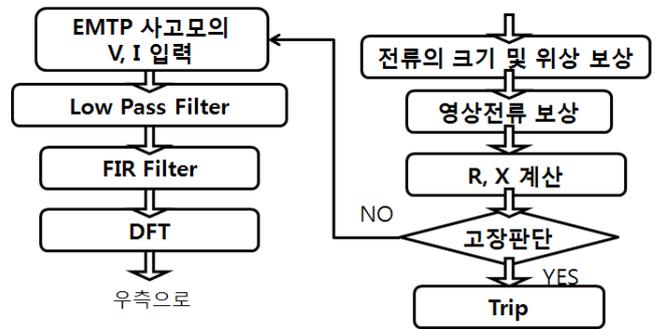
정지에 들어왔을 때의 계전기 동작 속도는 보호협조에 있어서 중요한 요인이 된다.

2.3 거리 계전 알고리즘

거리 계전 알고리즘의 흐름도는 <그림 2>와 같다.

1. 서 론

거리계전 방식은 송전 계통에서 가장 널리 사용되는 보호 방식으로 주보호 및 후비보호의 목적으로 이용되고 있다. 거리 계전기는 설치지점에서 전압과 전류만을 입력신호로 사용하여 임피던스를 계산하며, 계산된 임피던스 값을 미리 정정된 임피던스 값과 비교 후 측정된 임피던스가 정정한 범위 안에 존재하게 되면 동작한다. 본 논문에서는 고장 시 발생하는 전류의 DC-offset이 거리계전기의 오동작에 어떤 영향을 미치는지 분석하였고 그 후, DC제거용 FIR필터를 사용했을 때와 그렇지 않았을 때의 거리계전기 동작 결과를 비교 하였다.

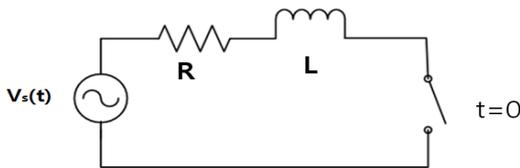


<그림 2> Zone1 에서의 거리계전 알고리즘 흐름도

2. 본 론

2.1 지수적으로 감쇄하는 DC성분의 발생

계통의 정상 운전시 전압과 전류는 깨끗한 정현파에 가깝지만 고장이 발생했을 때에는 DC-offset, 고조파 등이 발생한다. <그림 1>의 회로는 과도적으로 DC-offset이 발생하는 것을 보여준다.



<그림 1> R-L 회로

$V_s(t) = V_m \sin(\omega t + \alpha)$ 에서 스위치가 $t = 0$ 에서 닫히면 전류는

$$i(t) = \frac{V_m}{\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}} [\sin(\omega t + \beta) - \sin(\beta) \times \exp(-\frac{1}{\tau} t)] \quad (1)$$

여기서 $\tau = \frac{L}{R}$, $\beta = \alpha - \arctan(\frac{\omega L}{R})$

식 (1)을 통해 고장시 정현파 외에 추가적으로 지수 감쇄하는 DC-offset 발생하는 것을 확인할 수 있다. 일반적으로 DC-offset은 전류신호에는 상당한 영향을 주지만 전압신호에는 큰 영향을 미치지 않는다. 사고루트의 선로임피던스, 고장저항, 전원임피던스는 DC성분의 시정수에 영향을 준다.

2.2 거리 계전기의 단계 한시 동작

거리계전기를 이용한 단계 한시 보호방식에서는 보호 구간에 따라서 동작시간을 달리하므로 선택적인 보호가 가능하며 Zone1, Zone2, Zone3가 있다. 고장 구간에 따라 동작 속도를 다르게 하기 때문에 고장 시 임피던스 궤적이 각 Zone의 고장 정

EMTP로 얻은 계전기 입력 신호는 주기당 384회 샘플링 한 것이며, <그림 2>의 알고리즘 흐름도 순서에 따라 LPF를 거친다. 그 이후 DC성분을 제거 하지 않고 DFT알고리즘을 수행하는 경우와 FIR필터를 거쳐 DC성분을 제거한 후 DFT알고리즘을 수행하는 두 가지 상황에 대한 결과를 분석하였다. LPF를 거친 신호는 다시 16샘플로 다운 샘플링 한다. 먼저 FIR 필터 미사용하는 경우, 이 다운 샘플링 된 신호로 바로 DFT 알고리즘을 수행한다. DFT 과정을 통해 고장신호에 포함된 고조파 성분들은 제거하고 기본파를 얻게 된다. 이산신호의 DFT식은 아래와 같다.

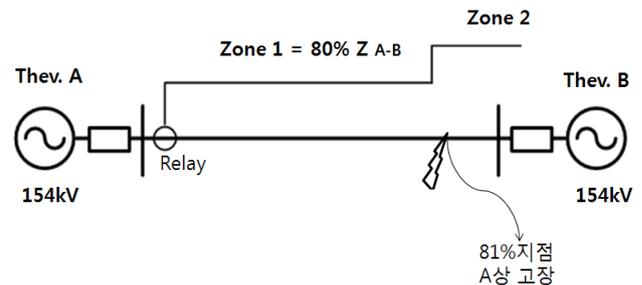
$$V_x \approx \frac{2}{N} \sum_{j=0}^{N-1} v_j \cos(\frac{2\pi j}{N}) : \text{실수부} \quad (2)$$

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

N : 기본파 성분 1주기당 샘플수

2.4 사례 연구

<그림 3>과 같이 154[kV], 전체선로길이가 33.9km인 계통 모델을 EMTP를 이용하여 모의하였으며, <표 1>에 우리가 사용한 시험 계통 데이터 값을 표시하였다.



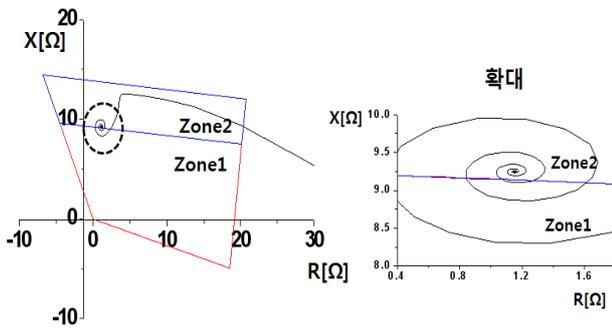
<그림 3> 계통 모델

〈표 1〉시험 계통 데이터

Sequence	Parameter Value	Unit
송전단 Z0	1.0580+j7.9304	[Ω/km]
송전단 Z1	0.5259+j3.9652	[Ω/km]
수전단 Z0	5.5847+j31.1636	[Ω/km]
수전단 Z1	2.6662+j15.9656	[Ω/km]
선로정상분	0.0419427+j0.33692	[Ω/km]
선로영상분	0.206992+j1.0620637	[Ω/km]

여기서 Zone1의 보호구간은 전체선로길이의 80[%]에 해당하는 27.11km로 선정된 후, 계전기의 오·부 동작이 가장 크게 예상되는 Zone1과 Zone2의 경계 지점인 81% 지점에 전압위상 45도에 서 A상 완전 지락 고장을 모의하였다.

계전기 동작 영역의 설정은 고장 시 여러 가지 영향을 고려하 기 위하여 사변형 모델을 사용하였다. 고장 발생 후에는 고장회 로에 따른 시정수를 가진 DC-offset이 발생한다. 이 DC성분이 포함된 전류의 영향으로 임피던스 궤적은 <그림 4>와 같이 원 을 그리며 수렴해 간다.



〈그림 4〉 A상 고장 발생시 임피던스 궤적

<그림 4>을 통해서 고장 발생 시 계전기의 오동작 문제가 발생하는 것을 확인할 수 있다. 그 이유는 거리계전기는 단계적인 동작 속도를 가 지는데 <그림 4>와 같이 임피던스 궤적이 회전하며 수렴해 가는 경우 고장위치는 Zone2 구간임에도 불구하고 회전하는 궤적이 Zone1의 동작 범위로 진입하는 구간이 생기게 되고 이 때 한시로 동작하는 Zone2에 비해 순시로 동작하는 Zone1이 먼저 동작하기 때문에 계전기가 오동작 한다.

이처럼 DC-offset은 계전기 오동작의 원인이 되기 때문에 DC성분을 제거하고자 디지털 필터인 FIR 필터 알고리즘을 사용하였다. FIR 필터 는 시정수를 이용하여 DC성분을 제거하며 다음과 같은 특성을 가진다.

$$y_k = x_k - \frac{x_{k-1}}{\exp(\Delta t/\tau)} \quad (3)$$

Δt : 샘플링 간격, τ : 시정수, x_k =현재의 샘플값

식 (3)에서 사용된 $\tau = \frac{L}{R}$ 값은 실제로 고장 저항, 선로정수, 전원측 임피던스를 고려해야 하는데, 전체선로 길이 80%안에서의 고장의 경우 임피던스 궤적의 회전은 계전기의 오동작으로 이어지지 않는다. 반면에 오·부동작이 예상되는 선로의 80% 이상의 고장인 경우는 주의해야 한 다. 전체 선로 길이의 80% 이상인 지점 고장시 전원 임피던스는 선로 임피던스에 비해 매우 작기에 무시 가능하고, 또한 본 논문서 완전 접지 고장을 모의 했기 때문에 시정수의 값은 선로 임피던스의 R, L 값으로 만 고려하면 된다. 선로 임피던스는

$$Z_L = R + jX = rd + juld \quad (4)$$

$$\therefore \tau = \frac{ld}{rd} = \frac{l}{r}$$

(l : 단위길이당 인덕턴스, r : 단위길이당 저항, d : 선로 길이)

결국 식 (3)에 사용된 시정수 값으로는 식 (4)를 통해 확인 할 수 있듯 이 송전선의 단위거리당 r과 l 값을 사용하면 된다.

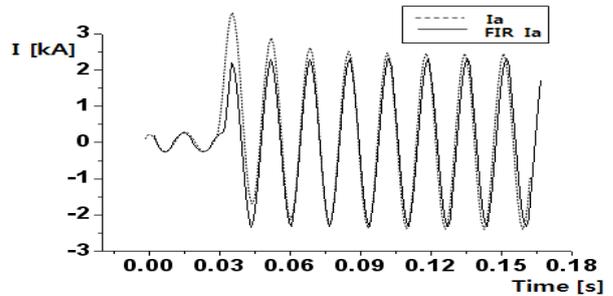
FIR 필터의 크기와 위상 특성은 식 (5)와 같다

$$\text{크기} = \sqrt{E_n^2 + F_n^2}, \quad \text{위상} = \tan^{-1} \frac{F_n}{E_n} \quad (5)$$

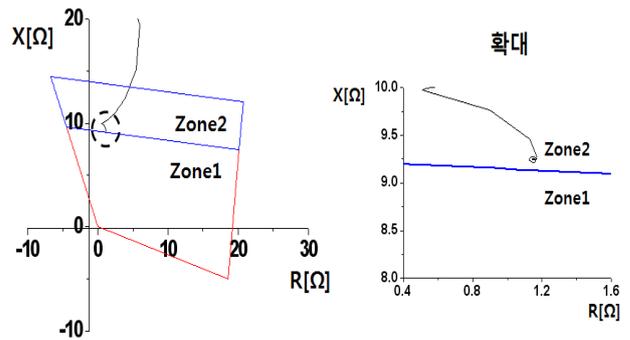
$$E_n = 1 - \frac{1}{\exp(\Delta t/\tau)} \cos\left(\frac{2n\pi}{N}\right), \quad F_n = \frac{1}{\exp(\Delta t/\tau)} \sin\left(\frac{2n\pi}{N}\right)$$

n : 고조파 차수 N : 주기당 샘플수

FIR 필터 이용 시 고장 전류는 <그림 5>와 같이 DC성분이 제거된 것 을 확인 할 수 있고 DC성분 제거 후의 임피던스 궤적을 확인하면 <그림 6>과 같이 궤적의 반경이 줄어들어서 앞서 Zone 2에서의 고장을 Zone 1으로 판단하는 오동작의 문제가 사라진 것을 확인할 수 있다.



〈그림 5〉 DC성분이 제거된 고장 전류



〈그림 6〉 DC제거 후 임피던스 궤적

3. 결 론

본 논문에서는 계통 고장 시 발생하는 DC성분이 거리계전기 오동작의 원인이 되는 것을 시뮬레이션을 통해 확인할 수 있었으며, 이를 제거 할 수 있는 방법을 모색하였다.

DC성분을 제거하기 위한 해결책으로 시정수를 이용하는 FIR필터로 알 고리즘을 구현 하였으며, 필터 사용 후 고장 전류의 DC성분이 사라진 것 을 확인할 수 있었다. 이 결과는 회전 하는 임피던스 궤적의 반경을 줄여줘서 거리계전기에 오동작을 방지해 주었다.

감사의 글

본 연구는 과학기술부/한국과학재단 우수연구센터 육성사업(차세대 전력기술연구센터) 지원으로 수행되었음

[참 고 문 헌]

- [1] Yong Guo, "Simplified algorithms for removal of the effect of exponentially decaying DC-offset on the fourier algorithm", IEEE Trans. Power Delivery, vol.18, pp.712, July 2003.
- [2] 안용진, 강상희, "리액턴스 효과를 최소화한 병행 2회선 송전선로 보호 거리계전 알고리즘", Trans. KIEE, vol. 50A, No. 1, JAN. 2001
- [3] V. Cook, "Analysis of distance protection", John wiley & sons inc.
- [4] Gerhard Ziegler, "Numerical distance protection", SIEMENS