

A Digital Distance Relaying Algorithm using a Wavelet Transformation

姜相熙* · 李柱勳** · 南淳烈*** · 朴鍾根[§]
 (Sang-Hee Kang · Joo-Hun Lee · Soon-Ryul Nam · Jong-Keun Park)

Abstract - A high speed digital distance relaying algorithm based on a Wavelet Transformation is proposed. To obtain stable phasor values very quickly, first, a lowpass filter which has low cutoff frequency is used. Secondly, db2(Daubenchies 2) Wavelet which has the data window of 4 samples is used. A FIR filter which removes the DC-offset component in current relaying signals is applied. In accordance with a series of tests, the operation time of the relaying algorithm is less than 3/4 cycles after faults in a 80 [km], 154[kV], 60[Hz] over-head transmission line system.

Key Words - Digital Relay, Distance Relay, High Speed Relay, Wavelet Transformation

1. 서 론

전력 계통의 사고에 따른 전압·전류 파형은 고조파 성분과 지수 함수적으로 감소하는 직류 성분에 의하여 심하게 왜곡된다. 이에 따른 계전 신호의 왜곡은 결과적으로 보호 계전기의 동작 속도를 느리게 한다.

현재 디지털 거리 계전기에 사용되고 있는 직교 변환이나 미분 방정식을 이용한 계전 알고리즘은 그 본질적 문제점 때문에 전력 주파수의 한 주기에 근접한 충분히 큰 데이터 윈도우를 필요로 하게 된다.[1,2,3] 또한, 전력 계통의 과도 상태에서 입력되는 왜곡 계전 신호로부터의 전력 주파수 성분의 추출이라는 관점에서 볼 때, 직교 변환이나 기타의 정상 상태에 기초한 필터를 계전 알고리즘으로 이용하는 것은 본질적으로 한계가 있다.

본 연구는 통신 및 음향과 영상 분야에서 널리 사용되면서 [4,5] 최근에는 전력 계통의 과도 현상 해석에 응용되고 있는 웨이브렛 변환(Wavelet Transformation)[6,7,8]을 이용하여 계전 알고리즘에 사용되고 있는 기존의 신호 처리 기법의 문제를 해결하고자 한다.

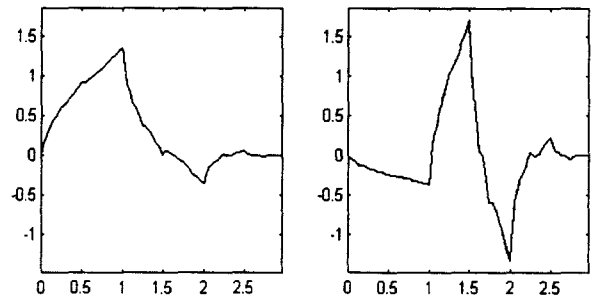
계통 보호 분야에서의 웨이브렛 변환의 응용은 다양한 과도 특성을 나타내는 배전선 보호 분야[9,10,11]와 정밀한 연산이 요구되는 그러나 비실시간 처리인 고장점 표정 분야[12]에서 이루어져 왔고, 송전선 보호 분야에 그 적용 가능성이 제시되었다.[13,14]

웨이브렛 변환은 다중의 분해능을 가지는 특징을 가지고 있어, 데이터 윈도우가 분해능에 따라서 달라지게 된다. 본

논문에서는 고속 거리 계전을 위하여 기본파 성분을 제외한 고조파 및 직류요소를 저역통과 필터와 FIR 필터를 사용하여 제거하여 낮은 분해능을 가지는 데이터 윈도우를 사용할 수 있도록 하여 계전 알고리즘의 데이터 윈도우의 크기와 계산량을 줄였다. 웨이브렛(Wavelet)으로는 Haar 웨이브렛을 제외하고 가장 윈도우의 길이가 짧은 db2(Daubenchies 2) 웨이브렛을 사용하였다.

2. 본 론

2.1 웨이브렛 변환(Wavelet Transformation)



(a) 스케일 함수(phi) (b) 웨이브렛 함수(psi)

그림 1 웨이브렛 모함수 (db2)

Fig 1 Mother Wavelet (db2)

웨이브렛(Wavelet)의 종류로는 Morlet, Mexican Hat, Meyer, Haar, Daubenchies, Symlets, Coiflets 및 Splines Biorthogonal Wavelet 등이 있으며 각기 다른 모양과 특성을 가지고 있다. 그림 1은 본 논문에서 사용한 Daubenchies의 모함수(Mother Wavelet)을 나타낸 것이다.

웨이브렛의 모함수들은 분해능이 다른 함수들의 집합으로 이루어져 있기 때문에, 웨이브렛 변환은 다중 분해능 해석에

* 正 會 員 : 明知大 電氣情報制御工學部 副教授 · 工博

** 準 會 員 : LG産電 電力系統 研究팀 研究員

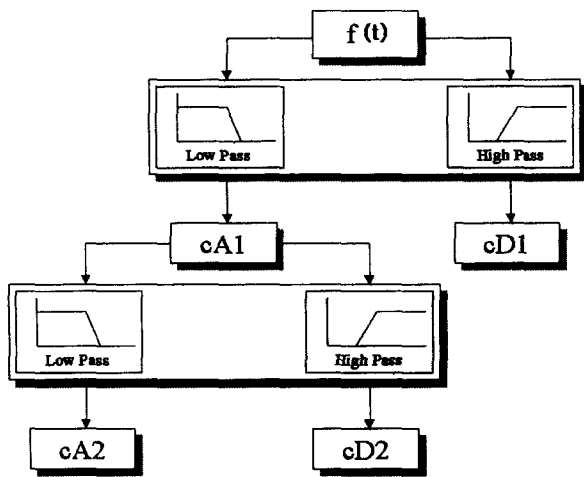
*** 正 會 員 : 서울大 電氣工學科 博士課程

§ 正 會 員 : 서울大 電氣工學部 教授 · 工博

接受日字 : 1999年 2月 1日

最終完了 : 1999年 9月 16日

적합하다. 어떤 함수의 다중 분해능 해석은 입력 함수 $f(t)$ 를 서로 다른 스케일에서의 근사함수 집합의 계층구조로 구성하는 것이다. 그림 2를 보면 입력 함수 $f(t)$ 를 고역 필터와 저역 필터에 단계적으로 통과시키면서 웨이브렛 계수(Wavelet coefficient)를 구하게 되는데, 고역 필터를 통과하여 구하여진 계수들은 입력 신호의 세밀한 부분(Detail)에 대한 정보를 가지게 되고, 저역 필터를 통과하여 구하여진 계수들은 입력 신호의 전체적인 모양(Approximation)에 대한 정보를 나타내게 된다. 따라서 계전 신호처럼 전력 주파수 성분이 가장 지배적으로 나타나는 신호의 경우에는 저역 필터를 순차적으로 통과시켜 고조파 성분을 제거하면 결국은 계전 신호의 전체적인 모양인 전력 주파수의 성분만을 추출할 수 있게 된다.



여기서, $f(t)$: 입력 신호
 c : Coefficient(계수)
 A : Approximation D : Detail
 1, 2 : 단계

그림 2 웨이브렛 변환을 이용한 분해도
 Fig. 2 The decomposition tree using wavelet transform

그러나, 전력 주파수 성분을 추출하기 위해서 여러 단계의 필터를 거친다면 웨이브렛 변환의 특성상 단계가 증가하면 할수록 저주파 분석에 적합하도록 윈도우의 크기가 증가하게 되어 결국 계전 알고리즘의 동작속도가 늦어지게 된다. 따라서 본 논문에서는 속도에 대한 성능을 향상시키기 위해, 고조파와 직류 성분에 대한 사전 필터링을 먼저 한 후, 데이터 윈도우가 4인 첫번째 고역필터인 cD1을 이용하는 방법을 사용하였다. 임피던스를 구하기 위해서는 입력 함수 $f(t)$ 에 대한 페이지의 실수부와 허수부를 구해야 하므로 웨이브렛 변환으로 구해진 현재값을 실수부로 하고 이보다 1/4 주기 이전에 구해진 웨이브렛 변환값을 허수부로 하였다. 제시된 거리계전 알고리즘은 사고에 의한 고조파를 제거하기 위한 저역 통과 필터와 옴셋을 제거하기 위한 FIR 필터를 거친 전류 신호와 저역 통과 필터만 거친 전압 신호로 웨이브렛 변환을 실시한 후, 전류신호에만 사용된 FIR 필터에 의한 크기와 위상 보정을 실시한 후, 영상 전류를 보상하여 선로의 정상 임피던스를 계산한다. 알고리즘의 흐름도는 그림 3과 같다.

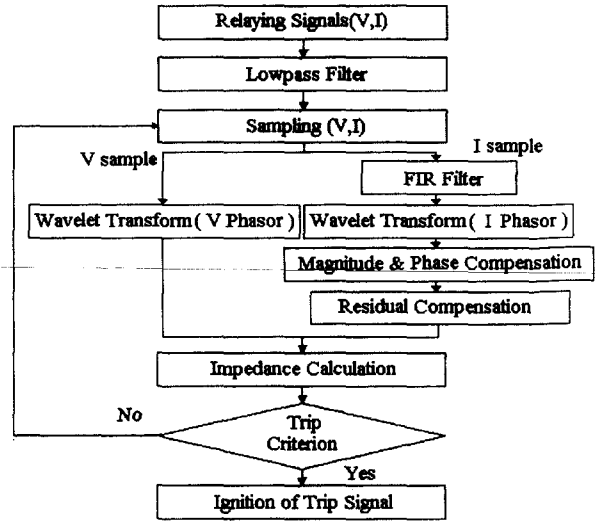


그림 3 계전 알고리즘의 흐름도
 Fig. 3 The flow chart of the proposed relaying algorithm

2.2 저역 통과 필터

본 논문에 사용된 증첩방지 및 고조파 제거용 저역 통과 필터의 전달함수는 식 (1)과 같다.

$$G(s) = \frac{57135.2}{s^2 + 338.036s + 57135.2} \quad (1)$$

이 저역 통과 필터는 정지대역 차단 주파수가 120[Hz]이고 이 때의 이득이 0.1인 Butterworth 2차 필터로 전압·전류 신호에서 고조파 성분을 제거하여 웨이브렛 변환시 윈도우 폭을 좁게할 수 있는 환경을 제공하는 역할을 한다.

2.3 직류성분의 제거

전류 신호에 포함된 직류성분을 제거하기 위해 식 (2)와 같이 감쇠특성을 고려한 2샘플 FIR 필터를 사용하였다.[3]

$$y_k = x_k - \frac{x_{k-1}}{\exp(\Delta t/\tau)} \quad (2)$$

여기서, Δt : 샘플링 간격 τ : 옴셋의 시정수
 x_k : 현재 샘플값 x_{k-1} : 한 샘플전 샘플값

이 필터의 크기 및 위상특성은 식 (3)과 같이 나타난다.

$$MAG = \sqrt{E_n^2 + F_n^2}$$

$$ph = \tan^{-1} \frac{F_n}{E_n} \quad (3)$$

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

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

여기서, n : 고조파 차수 N : 주기당 샘플링 수

따라서 식 (2)와 같은 FIR필터를 통과한 전류 신호는 식 (3)에 따라 크기와 위상 보정이 이루어진 후 전압신호와 함께 임피던스를 구하는 단계로 넘어간다.

3. 사례 연구

본 논문에서 제시한 알고리즘의 타당성을 검증하기 위하여 그림 4에 나타난 2모선의 154[kV]급 송전계통에서 EMTP를 이용하여 사고 데이터를 생성하였다. 길이가 80[km]인 송전선에서 사고점을 변화시키면서 (20[%], 40[%], 60[%], 80[%]; 10[%] = 8[km]) 전압 위상각 0도인 경우와 90도인 경우에 대하여 a상 지락사고와 ab상 단락 사고를 모의하였다. 본 논문에서는 선로 길이의 90[%]를 포함하며 임피던스 평면의 원점을 통과하는 모특성을 차단 영역으로 사용하였다.

제안된 웨이블릿 변환을 이용한 경우, 서로 다른 샘플링 주파수에서의 60[%] 거리에서 0도 a상 지락 사고시 리액턴스 수렴 특성이 그림 5에 나타나 있다. 64회 이상 샘플링을 할 경우 수렴 속도의 개선 효과가 극히 적으므로 본 논문에서는 샘플링 주파수를 주기당 64회로 선정하였다.

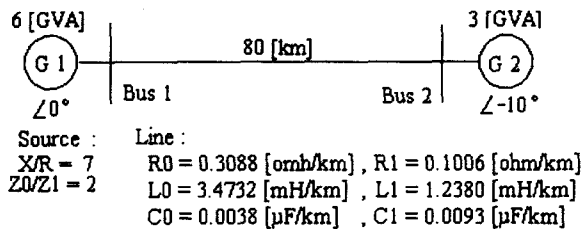


그림 4 모델 계통
Fig. 4 Model system

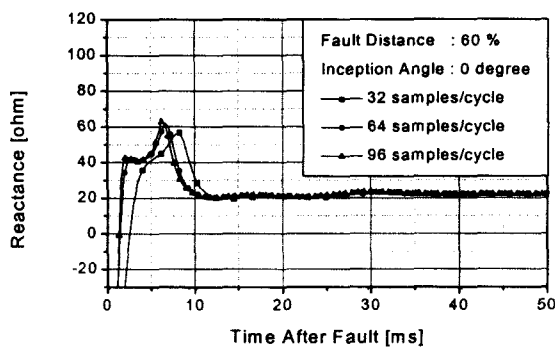


그림 5 서로 다른 샘플링 주파수에서의 리액턴스 궤적
Fig. 5 Reactance loci with different sampling frequencies

그림 6은 기존의 다른 계전 알고리즘과의 비교를 통해 제안된 방법에 의한 임피던스의 추정 능력을 보여주고 있다. 비교 대상은 1) 제안한 방법과 동일한 2차 Butterworth 필터를 사용하고 동일한 직류제거 FIR 필터를 사용한 반주기 푸

리에 변환 알고리즘과 2) 중첩 방지만을 위한 2차 Butterworth 필터와 동일한 직류 제거 FIR 필터를 사용한 한주기 푸리에 변환 알고리즘이다. 2)의 방법에서 사용한 2차 Butterworth 필터의 정지대역 차단 주파수는 현재 알고리즘의 샘플링 주파수가 3840[Hz]이므로 1920[Hz]으로 하였고, 이때 이득은 0.1로 하였다. 반주기 푸리에 변환의 경우 직류 성분 및 우수조파가 심각한 에러 요인이 되므로 제안된 알고리즘에서 사용하는 것과 동일한 저역통과 필터 및 직류제거 필터를 사용하여야 한다. 또한, 한주기 푸리에 변환을 사용하는 경우에도 지수 감소하는 직류성분으로 인하여 임피던스가 진동하므로 이의 방지를 위해 직류제거 필터를 사용하여야 한다.[15] 사고 종류는 사고 거리 60[%] 0도 지락 사고로 하였으며 리액턴스의 수렴 특성이 그림 6에 나타나 있다. 제안된 알고리즘의 임피던스 수렴 특성이 가장 빠르고 안정적으로 나타나고 있다. 리액턴스 성분의 10[%] 에러 범위내로의 수렴시간은 제안된 알고리즘이 9.1[ms], 반주기 푸리에 변환이 19.3[ms], 한주기 푸리에 변환이 14.2[ms] 이다.

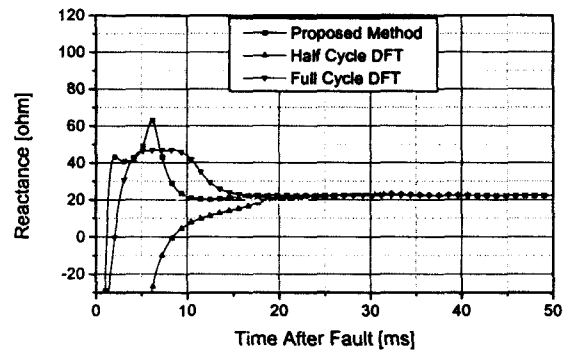
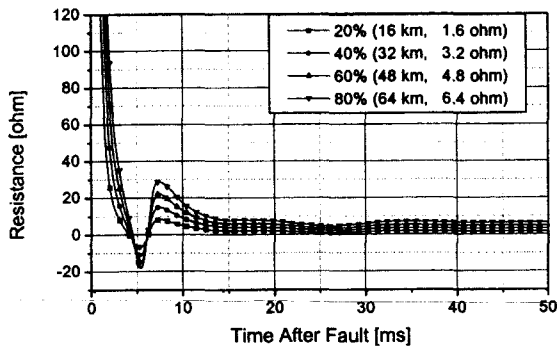
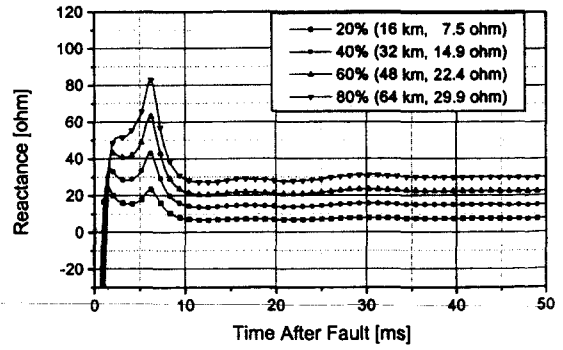


그림 6 알고리즘별 임피던스 수렴특성 비교
Fig. 6 Comparison of proposed algorithm to conventional algorithms

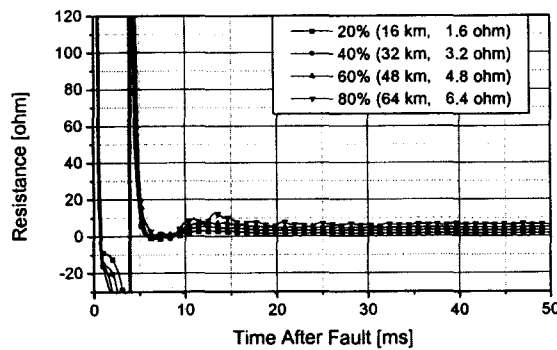
6 [GVA]인 모선에 위치한 계전기에서 추정된 20[%], 40[%], 60[%], 80[%] 거리의 a상 지락사고의 임피던스 궤적이 그림 7에 나타나 있다. 그림의 (a)와 (b)는 사고시 전압 위상각이 0도인 경우의 저항과 리액턴스의 궤적을 나타내며, (c)와 (d)는 사고시 전압 위상각이 90도인 경우의 저항과 리액턴스의 궤적을 나타낸다. 0도 사고의 경우 임피던스 수렴 특성은 저항성분의 경우 사고 후 최대 21.1[ms] 이후에서, 리액턴스 성분은 사고후 최대 9.4[ms] 이후에서 오차 범위 10[%]내로 안정적으로 수렴하고 있으며, 90도사고의 경우 임피던스 수렴 특성은 저항성분의 경우 사고 후 최대 21.4[ms] 이후에서, 리액턴스 성분은 사고후 최대 11.5[ms] 이후에서 오차 범위 10[%]내로 안정적으로 수렴하고 있다. 그림 8에는 60[%] 거리에서의 전압 위상각 0도와 90도 지락 사고에 대한 임피던스 궤적이 임피던스 평면상에 나타나 있다. 부하점으로부터 시작하여 사고후 최종 수렴점이 모특성 안으로 들어가는 것이 나타나 있다. 0도 사고시 보다 90도 사고인 경우가 임피던스 궤적의 과도진동이 더 크게 나타나고 있다.



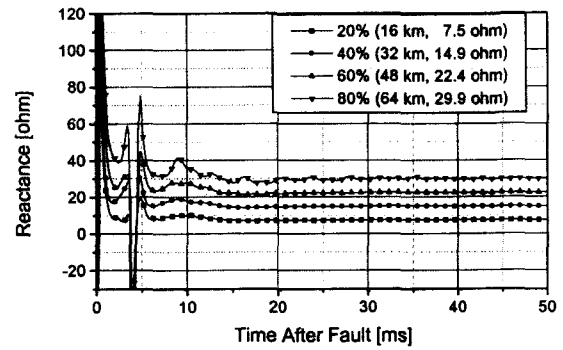
(a) 전압 위상각 0 도 사고인 경우의 저항
(a) Resistance with fault inception angle of 0



(b) 전압 위상각 0 도 사고인 경우의 리액턴스
(b) Reactance with fault inception angle of 0



(c) 전압 위상각 90 도 사고인 경우의 저항
(c) Resistance with fault inception angle of 90



(d) 전압 위상각 90 도 사고인 경우의 리액턴스
(d) Reactance with fault inception angle of 90

그림 7 a상 지락 사고에 따른 시간-임피던스 궤적

Fig. 7 Time-impedance loci for a-phase ground faults

동일 모선에 위치한 계전기에서 추정된 20[%], 40[%], 60[%], 80[%] 거리의 ab상 단락 사고의 임피던스 궤적이 그림 9에 나타나 있다. 그림의 (a)와 (b)는 사고시 전압 위상각이 0도인 경우의 저항과 리액턴스의 궤적을 나타내며, (c)와 (d)는 사고시 전압 위상각이 90도인 경우의 저항과 리액턴스의 궤적을 나타낸다. 0도 사고의 경우 임피던스 수렴 특성은 저항성분의 경우 사고 후 최대 21.1[ms] 이후에서, 리액턴스 성분은 사고 후 최대 9.4[ms] 이후에서 오차 범위 10[%]내로 안정적으로 수렴하고 있으며, 90도사고의 경우 임피던스 수렴 특성은 저항성분의 경우 사고 후 최대 29.4[ms] 이후에서, 리액턴스 성분은 사고 후 최대 13.0[ms] 이후에서 오차 범위 10[%]내로 안정적으로 수렴하고 있다. 단락사고의 경우 원거리 사고시 임피던스가 작게 진동하는 현상이 나타나는 것을 제외하면 임피던스 수렴 특성이 지락사고에서와 아주 유사한 특성을 보이고 있다. 모(mho)특성의 특성상 계전기 동작속도는 리액턴스의 수렴속도에 더 의존하므로 지락, 단락 공히 저항성분 보다는 리액턴스 성분의 수렴속도가 빠르게 나타나는 것은 계전기 동작시간의 측면에서 유리한 조건이 된다. 그림 10에는 60[%] 거리에서의 전압 위상각 0도와 90도 ab상 단락 사고에 대한 임피던스 궤적이 임피던스 평면상에 나타나 있다.

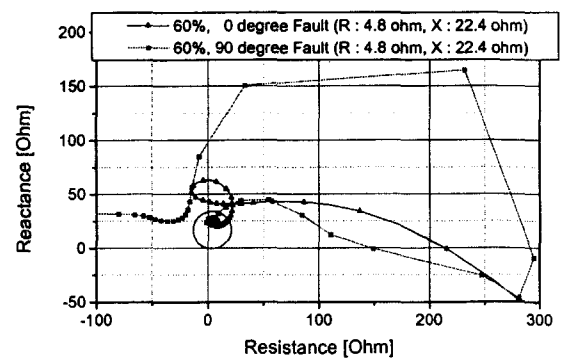
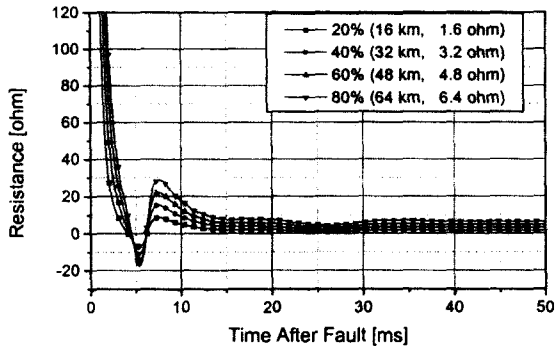


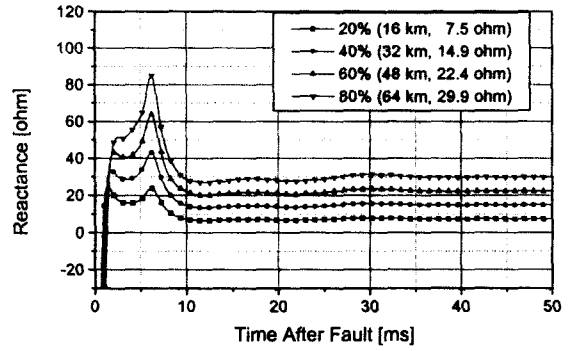
그림 8 a상 지락 사고시의 저항-리액턴스 궤적

Fig. 8 Impedance loci for a-phase ground faults in R-X plane

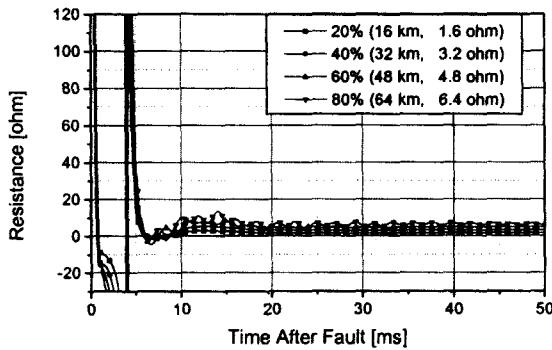
다. 지락사고에서와 마찬가지로 부하점으로부터 시작하여 사고 후 최종 수렴점이 모특성 안으로 들어가는 것이 나타나 있다.



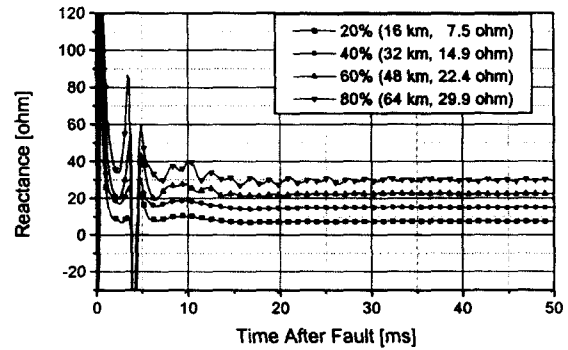
(a) 전압 위상각 0 도 사고인 경우의 저항
(a) Resistance with fault inception angle of 0



(b) 전압 위상각 0 도 사고인 경우의 리액턴스
(b) Reactance with fault inception angle of 0



(c) 전압 위상각 90 도 사고인 경우의 저항
(c) Resistance with fault inception angle of 90



(d) 전압 위상각 90 도 사고인 경우의 리액턴스
(d) Reactance with fault inception angle of 90

그림 9 ab상 단락 사고에 따른 시간-임피던스 궤적
Fig. 9 Time-impedance loci for ab-phase short faults

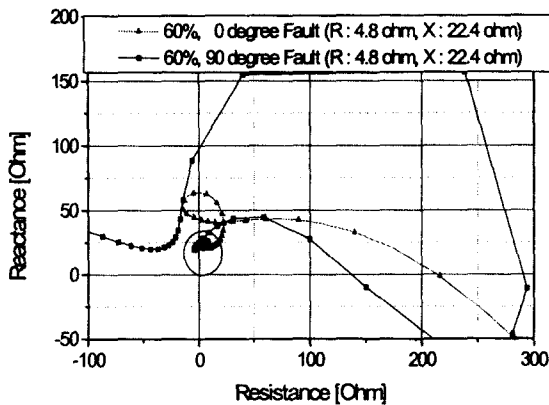
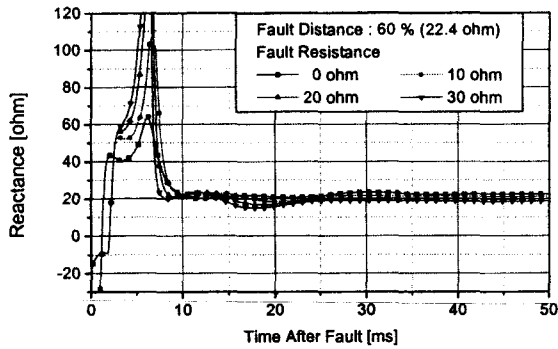


그림 10 ab상 단락 사고시의 저항-리액턴스 궤적
Fig. 10 Impedance loci for ab-phase short faults in R-X plane

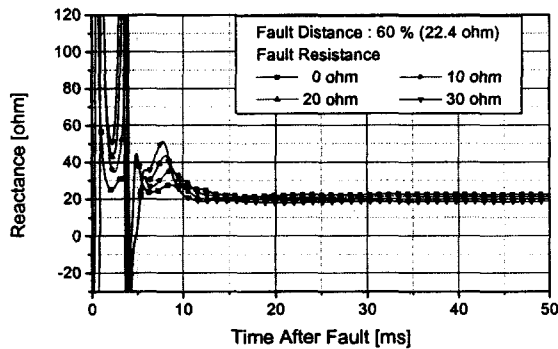
그림 11은 고장저항의 효과를 보여주는 것으로 고장저항이 0[ohm]에서 30[ohm]까지 변할 때 사고 거리 60[%]에서의 고

장에 대한 리액턴스의 수렴 특성을 보여준다. 0도 사고시 고장저항이 없는 경우 최종 수렴치는 실제값에서 0.2[%] 정도의 오차를 보이는 반면, 고장저항이 개입한 경우는 고장저항이 10[ohm]인 경우 6.2[%], 고장저항이 20[ohm]인 경우 12.0[%], 고장저항이 30[ohm]인 경우 17.8[%]의 에러를 보이고 있고, 90도 사고시는 고장저항이 없는 경우 최종 수렴치는 실제값에서 0.1[%] 정도의 오차를 보이는 반면, 고장저항이 개입한 경우는 고장저항이 10[ohm]인 경우 5.7%, 고장저항이 20[ohm]인 경우 12.6%, 고장저항이 30[ohm]인 경우 18.4[%]의 에러를 보이고 있다. 고장저항이 클수록 부하전류의 영향이 커져 임피던스 추정 에러가 커지고 있다.

그림 12는 사고 위상각 0도 및 90도인 a상 지락사고와 ab상 단락 사고에서의 계전 알고리즘의 동작 시간을 나타낸다. 동작 영역은 모(moh)특성으로, 전체 송전 선로의 90[%]구간을 보호하도록 하였다. 제안된 알고리즘은 80 [km], 154[kV], 60[Hz] 1회선 가공 송전계통에서 사고 발생 이후 3/4주기 이내에 차단 신호를 보낼 수 있음을 알 수 있다.



(a) 전압 위상각 0도 저항지락 사고시의 리액턴스
(a) Reactance with fault inception angle of 0 and different fault resistances



(b) 전압 위상각 90도 저항지락 사고시의 리액턴스
(b) Reactance with fault inception angle of 90 and different fault resistances

그림 11 저항지락 사고에서의 리액턴스 수렴 특성

Fig. 11 Convergence characteristics of reactance loci with different fault resistances

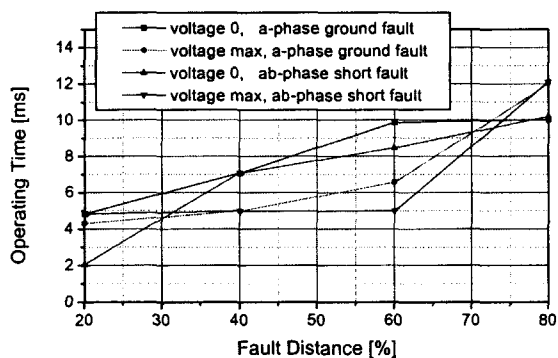


그림 12 내부 사고에 대한 계전 알고리즘 동작 시간

Fig. 12 Operating time of the relaying algorithm for internal faults

4. 결 론

본 논문에서는 웨이브렛 변환(Wavelet Transformation)에 기초한 고속 거리계전 알고리즘을 제시하였다. 페이서 추출의 정확도 및 속도를 개선하기 위해 정지대역 차단주파수가 낮은 저역 통과 필터를 사용하였으며 전류에만 존재하는 직류 오프셋을 제거하기 위해 FIR필터를 적용하였다. 이 두 필터에 의해 웨이브렛 변환에 사용되는 데이터 윈도우의 크기를 최소화시킬 수 있어 계전 알고리즘의 동작 시간을 단축시킬 수 있었고, 웨이브렛 변환에 요구되는 연산량도 줄일 수 있었다. 사례연구의 결과로부터 제안된 알고리즘은 80[km], 154[kV], 60[Hz] 1회선 가공 송전계통에서 사고 발생 이후 3/4주기 이내에 차단 신호를 보낼 수 있음을 확인하였다.

본 연구는 1996년도 한국학술진흥재단의 학술연구 조성비(신진교수과제)의 지원으로 연구되었음.

참 고 문 헌

- [1] D. B. Fakruddin, K. Parthasarathy, "Simplified Algorithms Based on Haar Transforms for Signal Recognition in Protective Relays", Proceedings of the IEEE, Vol. 73, No. 5, May 1985, pp. 940-942
- [2] D. D'Amore, A. Ferrero, "A Simplified Algorithm for Digital Distance Protection Based on Fourier Techniques", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 4, No. 1, Jan. 1989, pp. 157-164
- [3] 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, Pt. B, Vol. 114, No. 6, 1994, pp. 601-608
- [4] 박재현 외 4명. "Wavelet 변환을 이용한 EMI 신호해석 및 잡음제거", 신호처리공통학술대회 논문집. 1997, pp. 619-622
- [5] G.W.Wornell, "Emerging Applications of Multirate Signal Processing and Wavelets in Digital Communications", Proceedings of the IEEE, Vol. 84, No. 4, April 1996, pp. 586-603
- [6] P. Pillay, A. Bhattacharjee, "Application of Wavelets to Model Short-term Power System Disturbances", IEEE Trans. on PWRs, Vol. 11, No. 4, November 1996, pp.2031-2037
- [7] W.A. Wilkins, M.D.Cox, "Discrete Wavelet Analysis of Power System Transients", IEEE Trans. on PWRs, Vol. 11, No. 4, November 1996, pp.2038-2044
- [8] D.C. Robertson, "Wavelets and Electromagnetic Power System Transients", IEEE Trans. on PWRD, Vol. 11, No. 2, April 1996, pp.1050-1058
- [9] O. Chaari, M. Meunier, F. Brouaye, "Wavelets: A

New Tool for the Resonant Grounded Power Distribution Systems Relaying”, IEEE Trans. on PWRD, Vol. 11, No. 3, July 1996, pp. 1301-1308

- [10] 남순열 외 7인, “웨이브렛 변환을 이용한 배전시스템의 고저항사고 검출 알고리즘”, 대한전기학회 하계학술대회 논문집, 1997, pp.975-978
- [11] D.C.T. Wai, X. Yibin, “A Novel Technigue for High Impedance Fault Identification”, IEEE Trans. on PWRD, Vol. 13, No. 3, July 1998, pp. 738-744
- [12] F.H. Magnago, A. Abur, “Fault Locating Using Wavelets”, IEEE Trans. on PWRD, Vol. 13, No. 4,

Oct. 1998, pp. 1475-1480

- [13] 신정훈, 김태원, 백성택, “웨이브렛 변환을 이용한 전력시스템의 고장검출”, 대한전기학회 전력시스템연구회 춘계 학술발표회 논문집, 1997, pp. 56-60
- [14] 변성현 외 5인, “송전선로의 고장검출을 위한 Mother Wavelet 선정에 관한 연구”, 대한전기학회 논문지 제47권, 제9호, 1998, pp. 1277-1282
- [15] 강상희, “신경 회로망을 이용한 고속 거리계전 알고리즘”, 대한전기학회 논문지 제47권, 제2호, 1998, pp. 150-154

저 자 소 개



강상희 (姜相熙)

1962년생. 1985년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1987년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1993년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박사). 현재 명지대학교 공대 전기정보 제어공학부 부교수.

Tel : (0335) 330-6364

E-mail : shkang@wh.myongji.ac.kr



이주훈 (李柱勳)

1970년 10월 12일생. 1997년 명지대 전기공학과 졸업. 1999년 2월 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 LG산전 전력시스템 연구팀 연구원.

Tel : (0431) 261-6509

E-mail : jhleef@lgis.lg.co.kr

남순열 (南淳烈)

전기학회 논문지 제48권 제5호 참조

Tel : (02) 880-7257

E-mail : ptsouth@plaza1.sun.ac.kr

박종근 (朴鍾根)

전기학회 논문지 제48권 제5호 참조

Tel : (02) 880-7241

E-mail : jkpark@plaza1.sun.ac.kr