

DWT를 이용한 전력시스템의 고장검출 기법

박철원*, 반우현*

강릉원주대학교 전기정보통신공학부*

Fault Detection Technique of Power System using DWT

Chul-Won Park*, Yu-Hyeon Ban*
Kangnung-Wonju National University*

Abstract - DFT는 보호계전기의 알고리즘이나 디지털 미터에서 필수적으로 사용되고 있다. 그런데 DFT 필터는 시간 영역의 신호를 주파수 영역으로 변환하는 과정에서 시간 정보가 손실된다는 단점이 있기 때문에 이를 개선한 DWT가 제안되었다. 본 연구에서는 광역보호계전 지능화를 위한 네트워크 기반 주파수 모니터링 및 고장예측 시스템 개발을 위한 기초적인 연구로서 전력시스템의 초기고장검출과 고장정후 판단을 DWT의 상세계수 에너지성분의 합에 의하여 모색하였다.

1. 서 론

현재 이산푸리에변환(DFT : Discrete Fourier Transform)은 전력시스템의 사고를 검출하는 계전기의 알고리즘에서 원하는 주파수성분을 추출할 때와 원치 않는 주파수성분을 제거할 때에 디지털 필터로서 널리 사용되고 있다[1,2]. 또 전압 및 전류의 RMS 보다 크기를 정확하게 계측을 하기 위한 디지털 미터에서 필수적으로 사용되어 왔다. 그런데, DFT 필터를 사용할 경우 시간 영역의 신호를 주파수 영역으로 변환하는 과정에서 시간 정보가 손실된다는 단점이 지적되었다[3]. 이에 푸리에 변환(FT)은 단축푸리에 변환(STFT) 과정을 통해 보완되어 scale과 shift를 이용하는 웨이블릿 변환(WT : Wavelet Transform)이 제안되었다[4]. db4, sym5는 고임피던스(HIF) 사고검출[5]에, Meyer, db4, db1는 직렬보상선로를 위한 보호에, sym5, sym8, db4가 과도분석[6]에 타당한 것으로 발표되었고, MODWT(Maximal overlap Discrete Wavelet Transform)는 거리계전[7]에서, db2는 전력용변압기의 차동보호에서 우수한 성능[8]을 보였다. 최근 온라인 주파수 추정을 위해서 전력 역급수(power series type) WT의 특성에 의한 기법[9]이 제시되었으며, WT된 전력을 이용하여 발전기 보호 기법[10]을 제안한 사례 등을 고려할 때 WT는 전력시스템의 분야에서 괄목할만한 성과를 나타내고 있다.

한편 2003년 북미 대정전 이후, GPS 기반 FDR(Fault Disturbance Recorders)이나 PMU(Phasor Measurement Unit)에 의한 WAMS에 대하여 관심이 높아지고 있다[11,12]. 국내에서도 GPS 기반의 시동기 페이지 계측기(GPIU : Intelligent Power System Information Unit)를 핵심요소로 하는 K-WAMS(Korea-Wide Area Measurement & Monitoring System)을 이용하여 외관으로부터 다양한 정후를 검출하고, 광역계통 감시와 평가를 하려는 연구가 시작되고 있다[13~15].

본 논문은 광역보호계전 지능화를 위한 네트워크 기반 주파수 모니터링 및 고장예측 시스템 개발을 위한 기초적인 연구로서 전력시스템의 초기고장검출과 고장정후 판단을 모 웨이블릿을 이용한 DWT(Discrete Wavelet Transform)의 상세계수로서 수행하고자 한다.

2. DWT를 이용한 전력시스템의 고장검출

2.1 웨이블릿 변환

WT는 시간-주파수 영역을 사용하지 않고 시간-스케일(time-scale)영역을 사용함으로써 가변 윈도우의 특성을 나타낸다. WT 분석을 사용함으로써 과도신호에 대해 국부적인 분석을 수행할 수 있다는 것이 가장 큰 이점이다[5~10].

2.2 모 웨이블릿

모 웨이블릿(Mother Wavelet : $\Psi(t)$)은 대부분 짧고 진동적인 함수로서 평균값이 제로(0)이고, 양쪽 끝에서 급격히 감소하는 형태를 갖는다. $\Psi(t)$ 는 식(1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\Psi(t) = \frac{1}{\sqrt{a}} \Psi\left(\frac{t-b}{a}\right) \quad (1)$$

여기서, a는 scale(크기)성분을 나타내고, b는 shift(이동)성분이다.

모 웨이블릿의 종류에는 Haar, Daubechies, Biorthogonal, Coiflets, Symlets, Morlet, Mexican Hat, Meyer 등 여러 종류가 있는데, 각각의 모 웨이블릿은 길이와 특성에 따라 세분화 된다[3,4].

2.3 연속 웨이블릿 변환

연속 웨이블릿 변환(CWT)은 식(2)과 같이 전체 시간영역에서 모 웨이블릿을 scale하고 shift 함으로써 얻어지는 웨이블릿들과 분석할 신호 $f(t)$ 를 적분하여 수행한다.

$$C_{a,b} = \frac{1}{\sqrt{|a|}} \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \Psi\left(\frac{t-b}{a}\right) dt \quad (2)$$

여기서, CWT의 계수 값 $C_{a,b}$ 는 분석한 신호와 각 웨이블릿 성분들이 얼마나 유사한지를 나타낸다.

2.4 이산 웨이블릿 변환

웨이블릿 분석을 정확하게 수행하기 위해서는 모든 scale에서 웨이블릿 계수를 계산할 경우 여러 단계의 WT를 수행하면 많은 양의 데이터가 산출되기 때문에 분석을 위한 연산 시간이 길어지는 문제점이 발생한다. 그러므로 Mallet에 의해 제안된 제2의 역승 형태에 기초한 scale과 shift를 이용한다면 더욱 효과적인 분석을 수행할 수 있다. DWT $D_{a,b}$ 는 식(3)과 같이 나타낼 수 있다[3,4].

$$D_{a,b} = \frac{1}{\sqrt{a_0^m}} \sum S[n] \cdot \Psi\left[k - \frac{na_0^m}{a_0}\right] \quad (3)$$

여기서, a_0^m 는 scale을 나타내는 변수, na_0^m 는 shift를 나타내는 변수, $\frac{1}{\sqrt{a_0^m}}$ 는 모 웨이블릿과 같은 크기의 에너지를 유지시키기 위한 에너지 정규화 성분이다.

2.5 DWT를 이용한 전력시스템의 고장검출 기법

식(4)는 고장검출 기법으로 사용될 수 있는 이산신호의 상세계수 에너지성분의 합을 나타낸다.

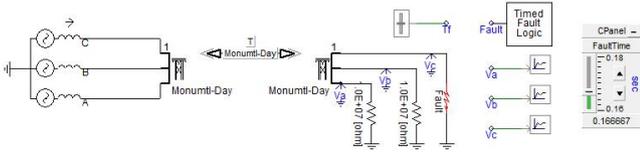
$$D_{id} = \sqrt{\sum_{n=0}^{N-1} |d(i)|^2} \quad (4)$$

여기서, D_{id} 는 이산신호의 상세계수 에너지성분의 합, $d(i)$ 는 이산신호의 상세계수, N는 샘플 수이다.

3. 사례연구

3.1 모델계통

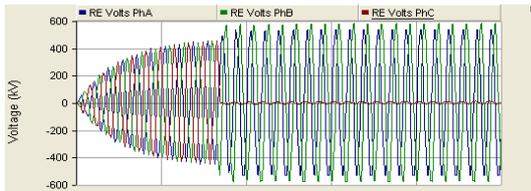
그림 1은 제안된 DWT에 의한 전력시스템의 고장검출 기법의 유효성을 입증하기 위하여 선택한 모델계통으로서 Monumental-Day 222.07 [km]로 구성된 500 [kV]의 송전선로(T/L)이다[16]. 편의상 사고모의는 PSCAD/EMTDC 4.2.1에서 0.5[sec]동안 수행하였고, 주기당 샘플링 수는 12로 한정하였다. 고장의 종류는 C상 1선지락사고, 고장저항은 0, 5, 1000[Ω]로 가변하였고, 고장발생시간은 약 10주기체인 0.1666667[sec]로 가정하였다.



〈그림 1〉 모델계통

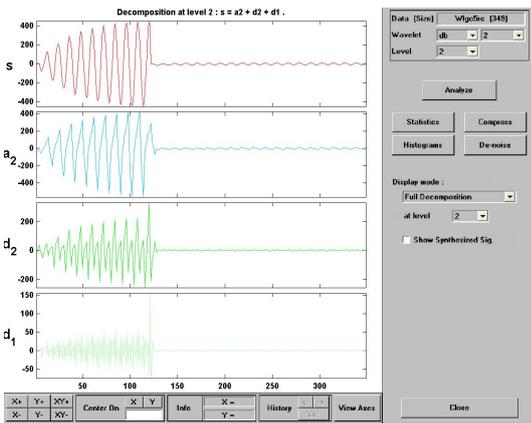
3.2 시뮬레이션 및 결과 고찰

그림 2는 고장저항 5[Ω] C상 지락사고의 경우, 수전단 3상 순시차 전압 신호이다. 지락사고가 발생한 직후, C상의 전압이 급속하게 작아지면서 불평형 상태가 되는 것을 알 수 있다.



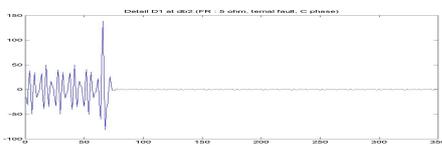
〈그림 2〉 3상 순시차 전압(고장저항 5[Ω])

그림 3은 고장난 C상 전압을 MATLAB의 Wavemenu 에서 db2의 레 2인 경우로 분석한 결과이다. 이때 소스는 $S = a_2 + d_2 + d_1$ 가 되며 여기서 근사(approximation)계수 a2, 상세(detail)계수 d1은 아래와 같다.



〈그림 3〉 Wavemenu에 의한 C상 전압의 분석결과

그림 4는 MATLAB의 Script m 파일 프로그램을 작성하여 고장난 C상 전압을 db2의 레벨 2인 경우에 대해 분석한 상세계수 d1이다. 고장이 발생한 시점에서 상세계수가 가장 많이 변화하는 것을 알 수 있다.

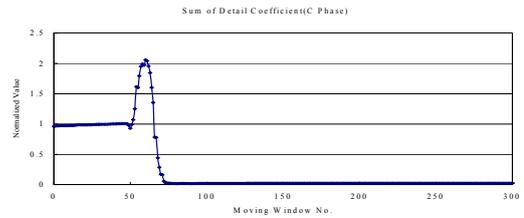


〈그림 4〉 M 파일에 의한 C상 전압의 분석결과

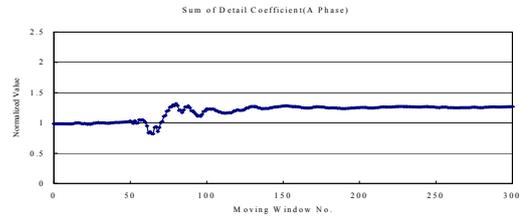
그림 5는 식(4)에 따라 고장이 발생한 C상에 대한 상세계수 에너지성분의 합을 나타낸다. 정상상태에서는 1이 되다가 고장이 발생하면 그 값이 0으로 급속하게 감소하기 때문에 초기고장을 감지할 수 있다. 그림 6은 정상상태 A상에 대한 상세계수 에너지성분의 합을 나타낸다. 10주기 시점에서 C상 지락사고가 발생하더라도 그 값은 1 근처에서 다소 변동될 뿐 0으로 수렴되지 않는 것을 알 수 있다.

3. 결 론

본 연구에서는 DFT의 단점을 개선한 DWT에 의한 상세계수 에너지성분의 합을 이용하여 전력시스템의 초기고장의 검출알고리즘을 제안하였다. Wavemenu와 Script m 파일로 프로그래밍하여 시뮬레이션을 수행함으로써 제안된 고장검출 기법의 성능을 확인하였다.



〈그림 5〉 상세계수 에너지성분의 합(C상 전압)



〈그림 6〉 상세계수 에너지성분의 합(A상 전압)

[참 고 문 헌]

- [1]M.S. Sachdev, George D. Rockefeller, "IEEE Tutorial Course Computer Relaying", IEEE Service Center, 79 EH0148-7-PWR, pp. 1~79, 1979.
- [2]박철원, 신명철, "특정 주파수 추출을 위한 여러 가지 디지털 필터의 특성 비교", 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp. 360~362, July, 2004.
- [3]Michel Misiti et al., "MATLAB Wavelet Toolbox", User's Guide Version 1, pp. 1-1-2-42, 1997.
- [4]이승훈, 윤동환, "알기쉬운 웨이블릿 변환", 진한도서, pp. 1~294, 2003.
- [5] L L Lai, "Wavelet Transform For High Impedance Fault Identification", Energy Systems Group, pp. 188~191, 1998.
- [6]A. I. Megahed, A. M. Moussa, and A. E. Bayoumy, "Usage of wavelet transform in the protection of series compensated transmission lines," IEEE Trans. Power Del., Vol. 21, no. 3, pp. 1213~1221, July 2006.
- [7]K. Silva, W. Neves, B. Souza, "Distance Protection Using a Novel Phasor Estimation Algorithm Based on Wavelet Transform", IEEE PES 2008 General Meeting, 20-24, July 2008 PESGM2008-001413, pp. 1~8, 2008.
- [8]A. Megahed, A. Ramadan, W. Elmady, "Power Transform Differential Relay Using Wavelet Transform Energies", IEEE PES 2008 General Meeting, 20-24, July 2008 PESGM2008-000118, pp. 1~6, 2008.
- [9]M. Tsuji, S. Hamasaki, M. Korogi, "Characteristic of Power Series Type Wavelet Transform for Online Frequency Estimation", IEEE PES Summer meeting, pp. 177~182 2007.
- [10]O. Ozgonenel E. Arisoy, M.A.S.K Khan M.A.Rahman, "A Wavelet Power Based Algorithm For Synchronous Generator Protection", IEEE PES Summer Meeting pp. 128~134. 2006.6.
- [11]Dawei Fan, Virgilio Centeno, Hengxu Zhang, "Aspects on Relative Phase Angle Measurement", 1-4244-1298-6/07 pp. 1~4, 2007 IEEE.
- [12]Z. Zhong, A.G. Phadke, Y. Liu et al., "Power System Frequency Monitoring Network (FNET) Implementation", IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 20, No. 4, pp. 1914~1921, Nov. 2005.
- [13]권태운, 정일권, 이현모, "위성통신과 GPS를 기본으로 한 동기 위상 데이터 측정장치 개발" 2008년 전력계통 보호제어연구회 학술 및 기술 발표회 논문집, pp. 101~106, 2008년 3월.
- [14]K.S. Kookl et al., "Global behaviour of power system frequency in Korean power system for the application of frequency monitoring network", IET Generation Transmission Distribution, Vol. 2, No. 5, pp. 764~774, 2008.
- [15]김상태, 김지영, 이동철, 송완석, 장수형, 김영돈, "광역보호를 위한 Synchro-Phasor 기반 광역 감시시스템", 2009년 전력계통 보호제어연구회 학술 및 기술 발표회 논문집, pp. 11~20, 2009년 3월.
- [16]Manitoba HVDC Research Centre Inc., "Introduction to PSCAD/EMTDC", pp. 1~131, 2003.

감사의 글

본 연구는 지식경제부의 지원에 의하여 기초전력연구원(08527) 주관으로 수행된 과제임.