

이산웨이블릿을 이용한 전력외란 측정 시스템

이진목, 김홍균, 최재호, *이상훈
충북대학교, *POSCON

Power disturbance measurement system using discrete wavelet transform

J.M. Lee, H.G. Kim, J.H. Choi, and *S.H. Lee
Chungbuk National University, *POSCON

ABSTRACT

Need of power stability, reliability is increased, as using of sensitive, nonlinear load are increasing. Therefore, Power Quality Problems become the center of public interest. Many kinds of algorithms have been studied for monitoring of Power Quality Problems. Monitoring algorithms of using RMS, FT and the others are easy to applicate to system. But, it is not enough to monitor all of Power Quality problems. Wavelet Transform is more proper to applicate. so, This paper presents measurement system using discrete wavelet transform.

1. 서 론

전력품질 문제가 중요시되는 이유는 첫째로, 전력산업 구조 개편안의 통과로 전력산업 전반에 큰 변화가 일어나게 되었다. 이러한 변화 중 주목할 만한 것은 전력시장 형성에 의한 전력 판매이다. 이것은 소비자가 전력의 가격을 결정하는 것을 의미한다. 가격을 결정하기 위해, 전력의 품질에 대한 관심이 증대되고, 전력회사는 안정적이면서도 신뢰성을 갖춘 전력생산을 목표로 하고, 그 품질에 저하되는 원인을 규명하고, 개선해야 하려는 노력을 기울여야 한다는 것이다. 둘째로, 전력품질에 민감한 부하의 증가이다. 컴퓨터의 보급, 공장의 자동화 설비, 군사무기의 정밀한 제어와 같은 부하들은 순시전압강하(Voltage Sag), 순시전압상승(Voltage Swell), 전압불평형(Voltage Unbalance)등의 전력 이상이 생길 경우 엄청난 손해를 입게 된다. 실제로 미국에서는 이러한 문제로 약 500[\$]의 손실을 입는다고 EPRI는 보고하고 있다.

이러한 원인으로 인해 전력품질문제를 해결하려는

노력이 계속되고 있다. 그러나 이는 정확한 진단이 선행되어야 가능하다. 전력진단을 하는 알고리즘으로는 시간영역을 분석하는 알고리즘과 주파수영역을 분석하는 알고리즘이 있다.

시간영역에서 분석하는 알고리즘으로는 실효치를 이용하는 방법, 신경망을 이용하는 방법 등이 있고, 주파수영역에서 분석하는 방법으로는 푸리에 변환(FT)과 이를 개선한 단시간 푸리에 변환(Short Time Fourier Transform) 있다. 그러나 이 방법들은 한 가지 영역에서 수행하기 때문에 두 가지 방법을 병행해야 하고, 실효치를 이용하는 방법인 경우에는 오차가 크고^[9], 신경망을 이용하는 방법은 많은 학습이 필요하다. 그래서 최근에는 신호처리에 응용되어온 웨이블릿 변환을 이용하는 방법이 많이 연구 되고 있다.^{[6][7]} 본 논문에서는 이산웨이블릿 변환을 이용하여 전력외란을 측정하는 시스템을 만들어 실효치를 이용한 분석과 비교하였다.

2. 푸리에 변환

2.1 푸리에변환(Fourier Transform)을 이용한 해석

이 방법은 주파수 영역에서 해석하는 가장 대표적인 방법으로, 모든 주기신호는 DC성분과 주파수가 다른 sin과 cos 함수의 합으로 나타낼 수 있다는 이론이다. 이를 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$X(w) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t)e^{-2j\pi wt} dt \quad (1)$$

FT은 변환구간이 $-\infty$ 에서 $+\infty$ 이기 때문에 주파수 영역에서 국부적인 신호도 시간영역에서는 모든 영역에 걸쳐 존재하게 된다. 그러므로 정체적(stationary)신호의 분석에는 적합하지만 시간영역에서 급격한 변화를 나타내는 비정체적(non stationary)신호의 분석에는 적합하지 않다. 전력품질

질문제가 비정제적인 특성을 가지므로 FT는 이를 진단하는데 적합하지 못하다.

2.2 단시간 푸리에 변환 (Short-Time Fourier Transform)을 이용한 방법

FT이 시간정보를 가지고 있지 않은 것을 보완하여 창(window)함수를 이동하면서 FT을 하는 방법이다. 이는 식 (2)와 같이 표현된다.

$$X_{WFT}(w, \tau) = \int_{-\infty}^{+\infty} e^{-jw(t-\tau)} x(t) dt \quad (2)$$

이 식에서 $w(t)$ 는 창함수이다. STFT는 일정한 크기의 창함수를 이용하기 때문에 시간 및 주파수 해상도가 일정하다. 시간영역에서 창의 크기가 설정되면 모든 주파수 영역에서 창의 크기가 고정되는 단점을 가지고 있다.

3. 웨이블릿 변환(Wavelet transform)과 Downsampling

3.1 웨이블릿 변환

STFT의 단점을 보완한 방법으로, 시간영역의 창함수의 크기를 가변하여, 낮은 주파수나 높은 주파수의 모든 영역에서 해석을 가능하게 하는 방법이다. 이는 식 (3)와 같이 표현된다.

$$X_W(a, b) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) \psi_{b,a}(t) dt \quad (3)$$

식 (3)에서 $\psi_{b,a}(t) = \frac{1}{\sqrt{a}} \psi_{b,a}(\frac{t-b}{a})$ 는 모웨이블릿(Mother wavelet) 함수이다. 즉, 모웨이블릿 함수가 a 에 의해서 팽창/수축(Scaling)을, b 에 의해서 이동(Shifting)을 하여 모든 영역을 해석하게 된다. 팽창/수축, 이동은 국부적인 신호를 분석하기에 적합하다. 본 논문에서는 가장 분석력이 뛰어난 Daubechies 4를 모함수로 사용하였다.^[8]

3.2 이산웨이블릿 변환(Discrete Wavelet Transform)을 이용한 방법

연속웨이블릿은 많은 연산이 필요하므로 구현하기에 어려움이 있다. 이런 문제를 해결하기 위해 이산웨이블릿을 사용한다. 이는 식 (6)와 같이 표현된다.

$$\psi_{m,n}(t) = a_0^{-\frac{m}{2}} \psi(a_0^{-m}t - nb_0) \quad (4)$$

$$a_0 > 1, b_0 \neq 0 \quad (5)$$

$$DWTx(m, n) = \frac{1}{\sqrt{2^m}} \sum_k x_k \psi^* \left(\frac{k-n}{2^m} \right) \quad (6)$$

3.2 해상도 해석과 필터뱅크

원(Original) 신호는 저차통과필터(Low pass filter)와 고차통과필터(High pass filter)를 통해서 Approximation 과 Detail을 계속적으로 만들게 된다. 그리고 다운샘플링(Downsampling)을 통해서 데이터 양을 반으로 줄이게 된다.

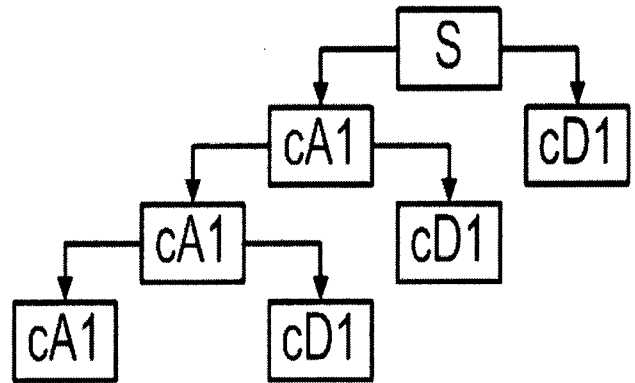


그림 1 다해상도 해석
Fig. 1 Multiple-Level Decomposition

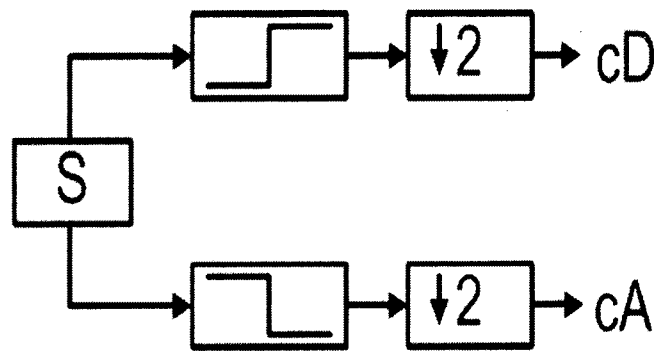


그림 2 다운샘플링
Fig. 2 Downsampling

4. 실험 및 결과

4.1 시스템 구성

전력분석시스템의 일반사양은 다음과 같다. Main DSP로는 TI사의 TMS320VC33을 사용하였다. 1개의 Serial Port와 1개의 Ethernet Port, 12Bit 454KHz Sampling Rate를 갖춘 7 Channel의 A/D를 내장했으며, 동시에 파형 테스트를 위한 12Bit 1us Settling Time을 갖는 D/A 1 channel을 내장하고 있다. 실시간으로 RMS 전압, 전류, 전력, AF(Apparent Power), THD(Total Harmonic Distortion), Reactive Power Factor 을 나타낼 수 있으며, DWT 알고리즘도 내장되어 실시간으로 문제점을 알 수 있다.

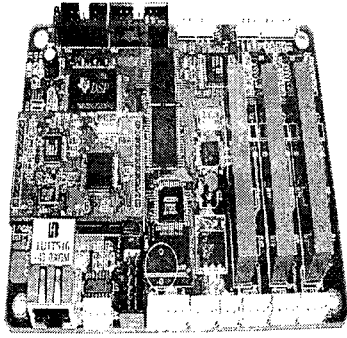


그림 3 전력품질 진단 시스템사진
Fig. 3 Power Quality Monitoring System

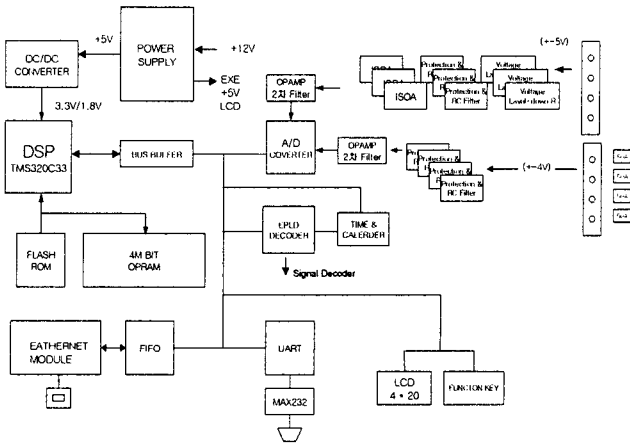


그림 4 전력품질 진단 시스템의 내부회로
Fig. 4 Internal block diagram of Power Quality Monitoring System

4.2 실험 및 결과

본 실험은 그림 5와 같이, 여러 가지 사고 상황을 Elgar SW5250을 이용하여 기본 전압220V에서 만들어 시스템에 입력으로 사용하였다. 이 입력을 전력품질 진단 시스템이 주기당 256개의 샘플링 한 뒤, 이를 A/D 변환하여 내장 되어 있는 DWT 알고리즘으로 연산하였다. 각각의 4주기 1024개의 데이터마다 연산하였다.

실험에 사용한 입력은 기존의 RMS를 이용하여 알아내기 힘든 noise, spike, drop 등을 실험하였다.

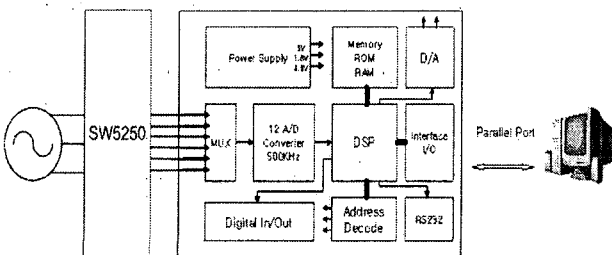


그림 5 실험 구성도
Fig. 5 Composition of system

Elgar SW5250으로 30°에서 0.09s 동안 변화를 일으켰을때 RMS 값과 DWT를 계산으로 얻어서 비교해보면 다음과 같다.

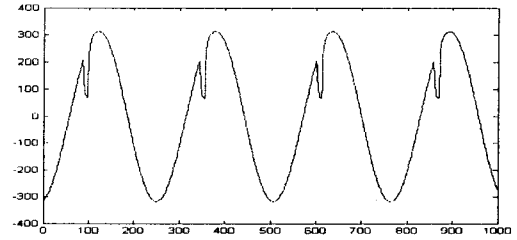


그림 5 Drop 입력파형
Fig. 5 Drop waveform

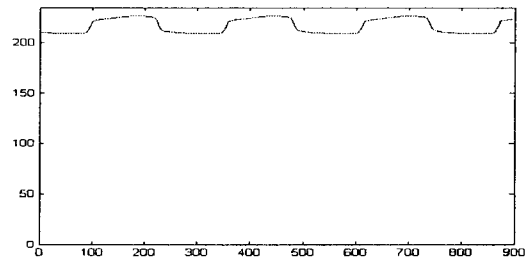


그림 6 Drop의 RMS 파형
Fig. 6 RMS waveform of Drop

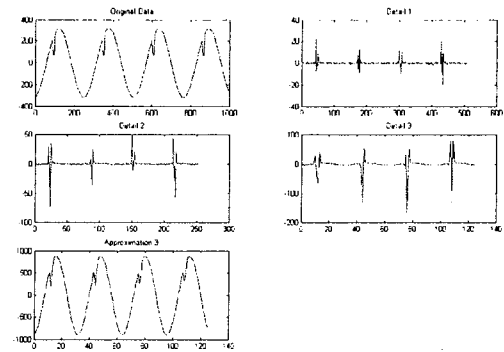


그림 7 Drop의 DWT 파형
Fig. 7 DWT waveform of Drop

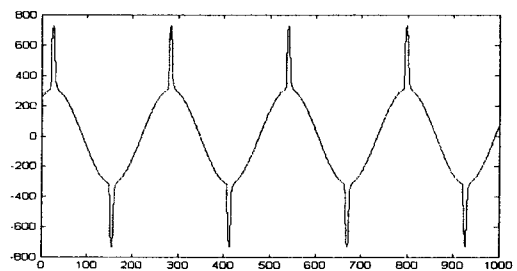


그림 8 스파이크 파형
Fig. 8 Spike waveform

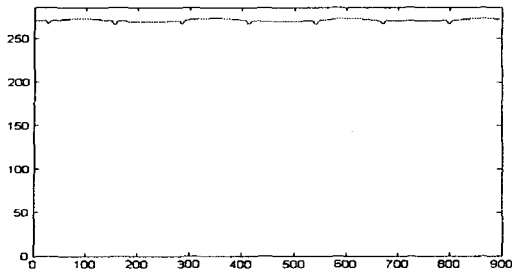


그림 9 스파이크의 RMS 파형
Fig. 9 RMS waveform of Spike

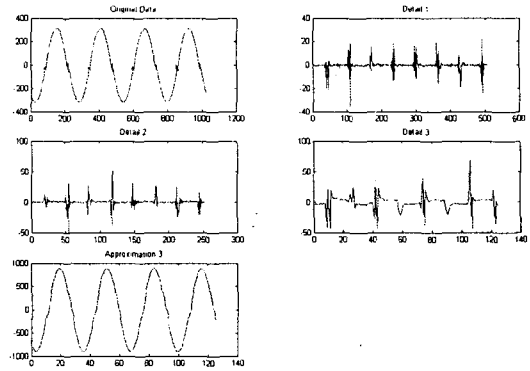


그림 13 잡음의 DWT 파형
Fig. 13 DWT waveform of noise

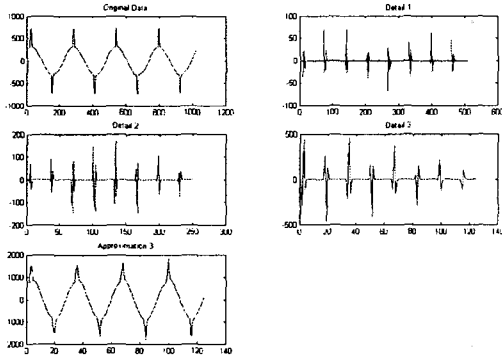


그림 10 스파이크의 DWT 파형
Fig. 10 DWT waveform of Spike

실험을 통해서 얻은 결과에서 알 수 있듯이 Drop, 스파이크, 잡음은 RMS 값의 변화로는 쉽게 구분하기 어렵다. 이는 $\pm 10\%$ 이상이어야 아니기 때문에 sag, swell로 분류하지 않으며, Transients로 분류하기에 어렵다.

그러나 DWT을 이용하여 얻은 결과는 기본 성분 이외에 순시적인 변화를 효과적으로 알 수 있다. 그 크기도 확연하게 구분되는 결과를 얻을 수 있었다.

5. 결 론

전력품질 문제는 대부분 짧은 시간에 일어나는 순시적인 변화이다. 그러한 빠른 변화를 효과적으로 변화를 감지하여야 한다. 그러나 대부분의 시스템에서는 RMS를 이용하여 진단을 하여 왔다. 그러나, 본 논문에서는 웨이블릿 변환이 순시적으로 변화하는 전력품질 진단 시스템에서 RMS방법보다 더 유용함을 실제 DSP33으로 구현한 시스템을 통해서 입증하였다. 그러나 이를 정확하게 분석하기 위한 분석 알고리즘의 연구가 차후 진행되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] Martin Vetterli, Cormac Herley "Wavelets and Filter Banks: Theory and Design" IEEE Transactions on signal processing, Vol. 40, No. 9, Sept. 1992.
- [2] Chung-Ping Young, Wei-Lun Juang, and Michael J.Devaney "Real-Time Intranet-Controlled Virtual Instrument Multiple-Circuit Power Monitoring" IEEE Transactions of instrumentation and measurement Vol. 49, No. 3, June 2000.
- [3] 최병선 "Wavelet 해석"
- [4] Jaideva C. Goswami, Andrew K. Chan "Fundamentals of

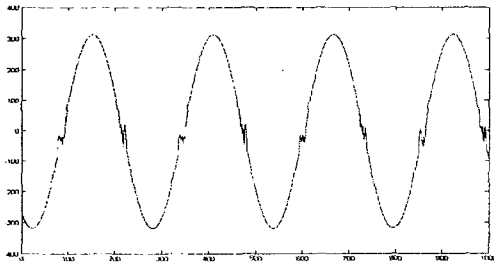


그림 11 잡음 파형
Fig. 11 noise waveform

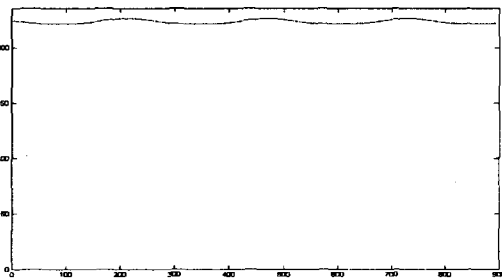


그림 12 잡음의 RMS 파형
Fig. 12 RMS waveform of noise

Wavelets"

- [5] Gilbert Strang, Truong Nguyen "Wavelets and Filter Banks"
- [6] Hong-Tzer Yang, Chiung-Chou Liao "A Correlation-based Noise suppression Algorithm for Power Quality Monitoring through Wavelet Transform".
- [7] W.A. Wilkinson, M.K. Cox "Discrete Wavelet Analysis of Power System Transients" IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 11, No. 4, Nov. 1996.
- [8] 김철환, 고영훈 "웨이블릿 변환을 이용한 Voltage Sag 검출" 전기학회지 49A권 9호 2000년 9월.