

FFT-IFFT 신호 복원을 이용한 효율적인 모니터링 기법

이상혁 강필순
한밭대학교 제어계측공학과

Efficient monitoring method using FFT-IFFT Signal reconstruction

Sang-Hyeok Lee, Feel-Soon Kang
Hanbat National University
Dept. Control & Instrumentation Engineering

ABSTRACT

This paper presents an efficient data acquisition scheme to obtain a minimum CPU memory, optimized communication speed, and simplified program source code in a monitoring system. It is different in the number of utilized data from the conventional method which acquires every raw data. The proposed method uses only restrictive data required to reconstruct the original signal. The basic principle is to apply the FFT-IFFT method in data transferring process. To verify the high-performance of the proposed scheme, computer-aided simulation and experiments using a PV power monitoring system are carried out. It also presents the analyzed results the relationship between FFT's order and Gibb's Phenomenon.

1. 서 론

대체 에너지 수요가 급증함에 따라 발전 시스템의 모니터링에 대한 연구도 활발히 이루어지고 있다. 시스템에 사용되는 모니터링은 현재 시스템의 상태를 관찰, 측정함으로써 시스템의 한계 범위 초과 여부를 판단하며, 시스템의 이상 유무를 디스플레이 해주는 기능을 한다.

날씨가 시간에 따라 변화량이 큰 재생 에너지를 모니터링 하는 경우 보다 효율적이고 안정적인 모니터링 방법이 요구된다.

하지만 일반적인 모니터링 시스템은 신호의 모든 데이터를 획득하여 신호를 복원시키며 이 과정에서 시스템 성능을 저하시키는 문제점이 발생한다. 또한 웹 기반으로 이루어진 모니터링 시스템의 경우 과부하 트래픽에 의해 통신이 마비되는 상태까지 발생하게 된다. 이런 문제점을 극복하기 위해 본 논문에서는 FFT-IFFT 신호 복원 기법 사용하여 보다 효율적이고 향상된 모니터링 시스템을 설계하였고 실제 태양광 발전용 모니터링 시스템에 적용하여 우수성을 검증하였다.

2. 제안된 모니터링 시스템

일반적인 모니터링 시스템에서 신호를 복원하기 위해서는 원 신호의 모든 데이터를 사용하여 복원하기 때문에 시스템

과부하, 통신 속도 저하 같은 단점을 갖게 된다. 이러한 문제점을 피하기 위해 시스템의 성능에 따라 한정된 Raw Data를 사용하게 되지만 제안된 FFT-IFFT 모니터링 시스템은 원 신호의 데이터 중에 오직 절반의 데이터만 사용한다. 즉, 기존의 모니터링 시스템의 문제점을 극복할 수 있으며, 시스템 성능도 향상시킬 수 있다.

모니터링 시스템에서 측정되는 신호들은 여러 개의 정현파가 합하여 생긴 파형들로 시간영역에서 해석이 어렵다. 즉, 시간 영역에서 주파수 영역으로 변환시켜 신호를 분석할 필요가 있으며, 본 논문에서는 푸리에 변환을 사용하여 파형 분석을 하였다.

일정하지 않은 입·출력 신호 파형을 복원하기 위해서는 주기파는 물론 비주기파도 복원 효율이 좋아야 한다. 기본파와 고조파의 합으로 이루어진 비정현파는 동일한 주기를 갖는 기본파와 정수배의 주파수를 갖는 고조파들로 이루어져 있다. 이와 같이 비정현파를 기본파와 고조파로 구분하는 방법을 푸리에 분석(Fourier analysis)이라 하며 비정현파를 전개하기 위해서는 푸리에 급수(Fourier series)를 사용한다. 푸리에 급수 공식은 다음과 같다.

$$f(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cos nw_0t + \sum_{n=1}^{\infty} b_n \sin nw_0t \quad (1)$$

식(1)에서 $w_0 = 2\pi f$ 이며, 푸리에 계수(a_0, a_n, b_n)의 공식은 다음과 같다.

$$a_0 = \frac{1}{T} \int_0^T f(t) dt \quad (2)$$

$$a_n = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \cos nw_0t dt$$

(3)

$$b_n = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \sin nw_0t dt$$

(4)

식(1)을 이용하여 기본파와 고조파로 이루어진 정현파는 푸리에 급수에 의해 완벽하게 표현할 수 있다.

실제 컴퓨터에서 모니터링 되는 신호들은 이산 신호로써 주파수 영역에서 분석을 하기 위해서는 이산 푸리에 변환

(Discrete Fourier Transform)이 사용된다.

이산 푸리에 변환(DFT-IDFT) 관계식은 다음과 같다.

$$X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) e^{-j2\pi kn/N} \quad (5)$$

$$x(n) = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} X(k) e^{j2\pi kn/N} \quad (6)$$

여기서 k 는 차수, N 은 전체 샘플 수, n 은 정수를 의미한다.

하지만 DFT는 샘플 수에 따라 추가적인 버퍼가 요구되어 계산 속도가 느린 단점을 갖고 있다. 이를 개선하여 만들어진 FFT(Fast Fourier Transform)는 신호의 주기성과 대칭성을 이용하여 최소의 데이터를 푸리에 변환함으로써 DFT보다 데이터 계산 속도와 메모리 효율이 높아 많이 사용되고 있다.

제안된 모니터링 시스템에서 사용하는 FFT-IFFT 방식은 입력파형을 FFT 분석하고 결과 데이터 중에서 오직 절반의 데이터만 IFFT 하여 원 신호로 복원하는 방식이다.

본 논문에서 사용하는 고속 푸리에 변환(FFT-IFFT) 관계식은 다음과 같다.

$$F(w) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) e^{-j\omega t} dt = \mathcal{L}[f(t)] \quad (7)$$

$$f(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} F(w) e^{j\omega t} dw = \mathcal{L}^{-1}[F(w)] \quad (8)$$

푸리에 급수에 의해 얻어진 기본파와 고주파들을 이용하여 다시 원신호로 복원시키기 위해서는 기본파의 크기와 동일한 고주파와 기본파 정수배의 위상각을 갖는 고주파가 필요하다.

만약 크기 또는 위상이 다른 고주파가 존재한다면 원신호로 복원이 불가능하다.

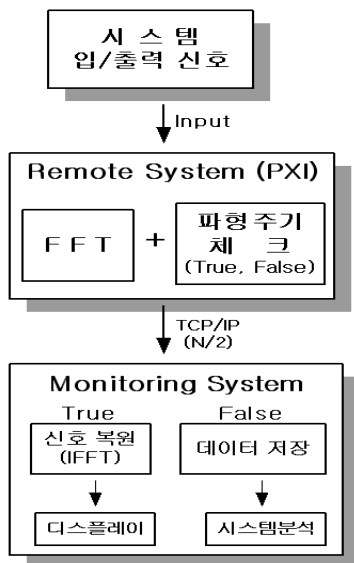


그림1. 제안된 모니터링 시스템 구조

Fig. 1 The block diagram of proposed monitoring system

본 논문에서는 그림 1과 같이 FFT-IFFT 방법을 사용하여 기존의 모니터링 시스템보다 효율적인 웹 기반 태양광 발전

모니터링 시스템을 설계하였다.

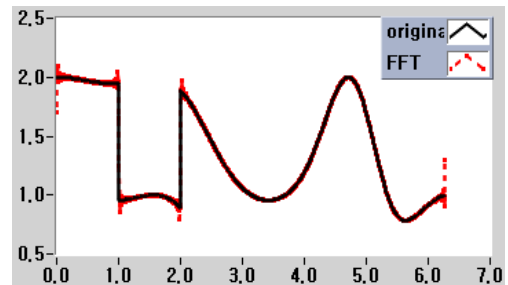
제안된 모니터링 시스템은 입출력 신호를 FFT 분석하고 파형 주기를 체크하여 파형의 상태를 파악한다. 만약 파형의 상태가 정상상태일 때는 참, 과도상태일 때는 거짓으로 구분하여 FFT 분석 결과와 함께 TCP/IP를 통해 모니터링 시스템으로 전송된다. 여기서 전송되는 FFT 분석 데이터는 전체 데이터의 절반만 전송되는데 그 이유는 FFT의 대칭성에 의해 신호를 복원하는 데는 오직 절반의 데이터만 필요하기 때문이다. 또한 전송되는 절반의 데이터를 이용하여 받지 않은 다른 절반의 데이터 값을 구할 수 있다.

모니터링 시스템은 FFT 분석 결과와 함께 전송된 파형 상태에 따라 디스플레이 또는 저장을 한다. 만약 정상상태일 경우 데이터를 IFFT하여 원 신호로 복원하여 디스플레이하고 과도상태일 경우에는 차후에 시스템 분석을 하기 위해 저장한다.

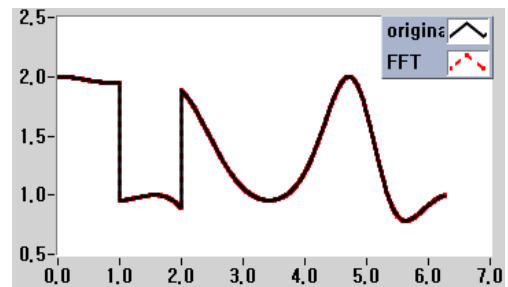
3. 시뮬레이션 및 실험결과

불연속을 포함하는 파형을 FFT하면 불연속값 부근에서 불일치되는 깃스 현상(Gibb's Phenomenon)이 나타난다. 이 깃스 현상은 FFT에서 고주파수 성분이 많을수록 오차가 줄어들지만 유한한 주파수 대역에서는 완전히 없어지지 않는다.

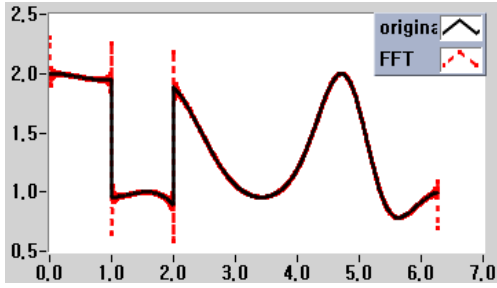
그림 2는 NI사의 LabVIEW를 이용하여 과도 상태의 불안정한 신호를 생성하여 복원하고 깃스 현상에 대한 시뮬레이션 결과이다.



(a) Sample N:1000, Order k:200



(b) Sample N:1000, Order k:500



(c) Sample N:1000, Order k:800

그림 2. Gibb's Phenomenon 시뮬레이션 결과

Fig. 2 Gibb's phenomenon simulation result

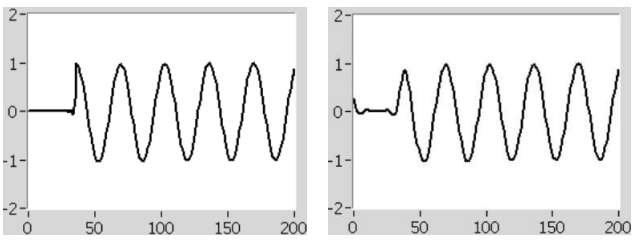
깁스 현상은 푸리에 변환시 파형의 불연속 구간에서 생기는 현상으로 고주파 합성이 많을수록 줄어들며 FFT 대칭성에 의해 전체 샘플 수 절반을 넘어도 발생한다.

제안된 모니터링 시스템을 구성하기 위해 실제 태양광 발전 모니터링 시스템에서 출력되는 전압 파형을 NI사의 PXI에 입력하였다.

PXI로 입력받은 파형은 FFT 분석하여 얻어진 전체 샘플 개수의 절반과 파형 상태를 TCP/IP를 통하여 모니터링 시스템으로 전송한다. 모니터링 시스템은 파형 상태를 나타내는 데이터에 따라 받은 데이터를 IFFT하여 원신호로 복원하거나 차후 시스템을 분석하기 위해 저장한다.

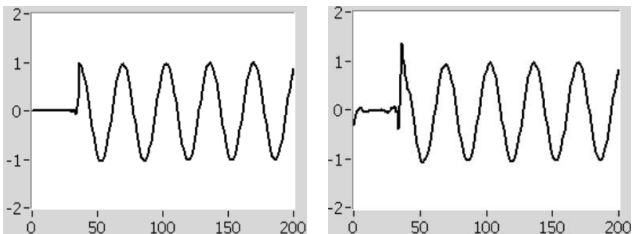
본 실험에서는 고조파를 갖지 않아도 표현이 가능한 사인 파형이기 때문에 FFT 결과 데이터 절반도 필요하지 않다. 하지만 그림 3,4와 같이 시스템의 과도 상태에 따른 비정상과일 경우 완벽한 복원을 하기 위해서는 전체 샘플 수의 절반이 필요하다. 모니터링 시스템에서 출력되는 파형의 과도상태일 경우 파형의 신호 복원 결과는 그림 3,4와 같다.

시뮬레이션과 동일하게 태양광 발전 시스템에서도 FFT 대칭성에 따라 전체 샘플 수 절반에 해당하는 샘플 차수에서 신호 복원 상태가 가장 높았다.



(a) Original Waveform

(b) Order k : 100

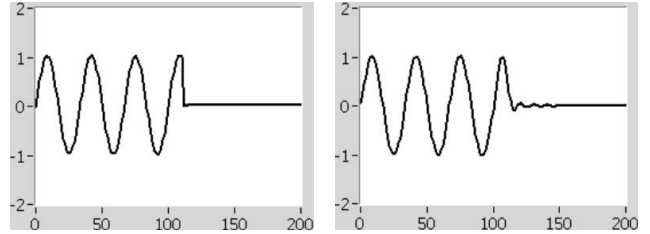


(c) Order k : 500

(d) Order k : 900

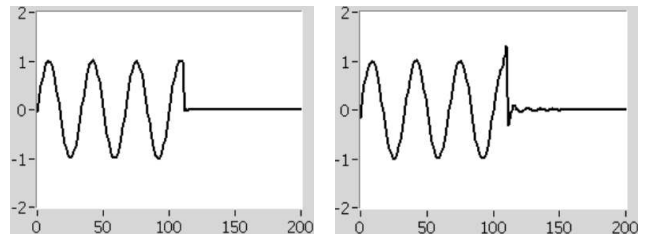
그림 3. 시스템 기동 파형 복원 결과

Fig. 3 System Start-up Waveform reconstruction result



(a) Original Waveform

(b) Order k : 100



(c) Order k : 500

(d) Order k : 900

그림 4. 시스템 차단 파형 복원 결과

Fig. 4 System shut down Waveform reconstruction result (PXI : 2000 Sample rate, 1000 Read per Sample)

4. 결 론

시스템 설계에서 중요한 구성요소인 모니터링은 시스템의 대한 상태 정보 및 이상유무를 판단할 수 있다. 또한 원신호의 파형을 모니터링 함으로써 시스템의 이상 현상도 예측 가능하다. 웹 기반으로 된 모니터링 시스템은 TCP/IP 통신으로 데이터를 받아 디스플레이, 저장, 분석을 하며 데이터 개수에 따라 시스템 성능 및 통신 속도에 문제를 발생시킬 수 있다.

본 논문에서는 FFT-IFFT 신호 복원을 사용하는 모니터링 기법을 제시하였고, 시뮬레이션과 실제 시스템에 적용하여 제시된 방식의 타당성을 검증하였다. 신호를 분석하기 위해 푸리에 변환이 사용되었으며 FFT 대칭성에 의해 샘플 수 절반 데이터를 IFFT하여 원신호로 복원하였다.

제안된 FFT-IFFT 신호 복원 방식은 신호를 복원하기 위한 필요한 데이터의 개수를 반으로 줄임으로서 기존의 모니터링 시스템보다 성능 및 데이터 전송 속도를 향상시켰다.

이 논문은 한밭대학교의 연구비 지원에 의하여 연구되었음

참 고 문 헌

- [1] 심관식, 남해근, "이산푸리에 변환과 시계열 데이터의 고속 파라미터 추정", 대한전지학회지, 제55권, 제7호, 2006
- [2] 김종수, 정원용, 배진호, "지수함수를 이용한 푸리에 위상 정보로부터 고속 신호 복원", 신호처리합동학술대회 논문지, 제3권, 제1호, 1990
- [3] 김종수, 정원용, 배진호, "지수함수를 사용한 고속 적응 신호 복원", 신호처리합동학술대회 논문지, 제4권, 제1호, 1991
- [4] 김우식, "더해지는 기준신호를 이용한 위상복원", 대한전지학회지 논문지, 제31권, 제5호, 1994
- [5] 박송배, "회로이론", 문운당, 1996