

GPS와 위성통신을 이용한 동기위상 데이터 취득 및 전송장치 개발

권대윤 김호웅 김동성 윤상현
(주)프로컴시스템

Development of Synchrophasor Data Acquisition and Transmission Systems Using the GPS and the Satellite Network

DaeYun Kwon HoWoong Kim DongSung Kim SangHyun Yoon
Procom Systems

Abstract - The electricity supply industry for which high stability and quality of power are the primary aim of power company and the first order of business target. As the facilities of generations, transmissions and substations are increased every year, power system becomes more complex and hard to control. The complexity of the power system causes harmful influence on its security and power facilities. Moreover, difficulty of predicting weather condition in these days with its complexity increases the level of uncertainty of energy demand. Wide area online monitoring of power system offers lots of informations and solutions which clear the causes of insecurity in power system. In this paper, we presents the development of synchrophasor data measurement and transmission system using satellite network for power system online monitoring.

1. 서 론

전력산업의 전반적인 구조의 변화와 해마다 늘어나는 전력 소비는 발전 및 송배전 설비의 증가와 함께 전력계통의 복잡성을 가중시켜 계통의 안정성(Security) 및 안정성(Stability) 확보를 위한 계통데이터의 실시간 수집 및 감시, 제어의 중요성에 대한 인식은 점점 더 증대 되고 있다.

지난 몇 년간 전력산업 선진국인 미국과 유럽에서의 대 정전 사례가 보여주듯이 국내에서도 부상조류와 같은 계통의 위험요소가 존재하므로 이를 사전에 예방하는 것은 당연하다. 그러기 위해서는 계통 감시의 중앙 집중화가 이루어져야 하며, 감시를 위한 시스템의 신뢰성을 확보하여야 한다. 다행히 최근에 국가적인 차원에서 이러한 시스템 구축에 많은 투자를 하고 있으며 그 결과도 가지적으로 나타나고 있어 국내 전력계통의 안정적인 운영에 많은 도움이 되고 있다.

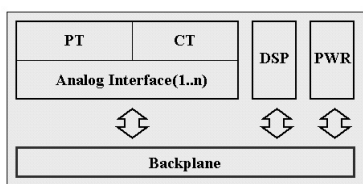
본 논문에서는 위와 같은 목적으로 신뢰성 있는 전력계통 데이터 취득 및 전송 장치인 sPMU(Satellite Phasor Measurement Unit)의 개발과 이 장치를 이용한 동기 위상 데이터의 측정 그리고 인공위성을 이용한 데이터 전송이라는 새로운 패러다임을 제시한다.

2. 본 론

2.1 sPMU 하드웨어의 기본 구조

전력계통 감시제어 시스템에 관한 기존의 연구내용에도 동기위상측정과 같은 내용이 많이 소개가 되어 있고 시작품 개발 단계에 들어선 예도 있지만 정확한 성능이 나오는 하드웨어의 개발은 그렇게 이론처럼 쉽지가 않은 것이 현실이다. 단지 DSP(Digital Signal Processor)의 연산 속도나 AD/C(Analog/Digital Converter)의 샘플링 주기와 정밀도만으로는 해결 할 수 없는 노하우들이 필요하다.

본 논문에 소개하는 sPMU는 수년간의 개발 노하우와 필드에서의 경험을 필요로 한다. 실시간 운영체제와 고속 DSP 연산 장치는 인터럽트 방식을 통해 안정적으로 데이터 변환과 연산, 그리고 데이터 전송을 최적화 된 루틴으로 실행한 후 위성 망을 통해 원거리에 있는 감시센터에서 모니터링 및 데이터 가공을 가능하게 설계하였다. 아래의 <그림 1>은 기본적인 장치 구성을 보여준다.



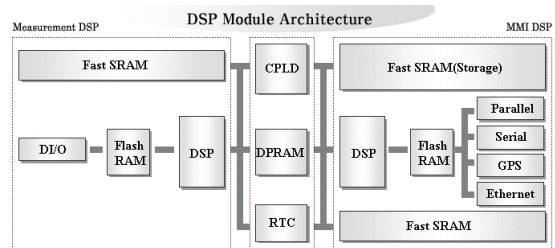
<그림 1> sPMU 구성 요소

위와 같이 장치는 크게 전압, 전류 입력 요소가 있는 데이터 취득부와 DSP 연산부, 전원, 그리고 데이터 버스로 구성되어 있다.

2.1.1 DSP 연산 모듈의 구조와 기능

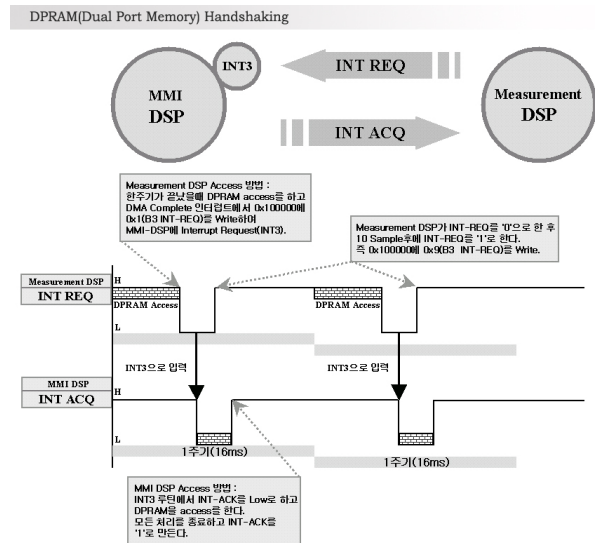
다음의 <그림 2>는 이 장치에서 가장 중요한 DSP모듈의 아키텍처를 나타낸 것이다. 그림에서와 같이 DSP 모듈은 연산 DSP와 MMI DSP 두 개를 사용하여 연산의 안정성과 기능의 신뢰성을 보장한다.

이 두개의 DSP를 이어주는 DPRAM(Dual Port Memory)은 취득된 데이터를 두 연산 장치가 공유할 수 있는 공유 메모리이며 CPLD와 내부 타이밍 클럭(Clock)으로 동작이 된다.



<그림 2> DSP 모듈 아키텍처

DPRAM은 연산(Measurement) DSP와 MMI DSP 간의 인터럽트를 통한 Handshaking 기법으로 데이터를 주고받는다. 두개의 서로 다른 역할을 하는 DSP를 사용하기 때문에 인터럽트를 주고받으면서 통신을 하는 것은 매우 중요하다. 두 DSP 사이의 데이터를 교환하는 타이밍이 틀리면 전혀 다른 시점의 데이터를 가져와 동기위상 데이터 값의 신뢰성이 저하되기 때문이다. 그러므로 인터럽트를 통한 안전한 통신방법으로 안정적인 데이터 교환을 할 수 있다. 아래의 <그림 3>에서 각각의 DSP가 공유메모리의 데이터를 Handshaking해서 가져가는 스킴을 설명하였다.



<그림 3> DPRAM과 Dual DSP간 데이터 연계 Scheme

위 그림에서와 같이 연산 DSP는 MMI DSP의 INT3 주소를 인

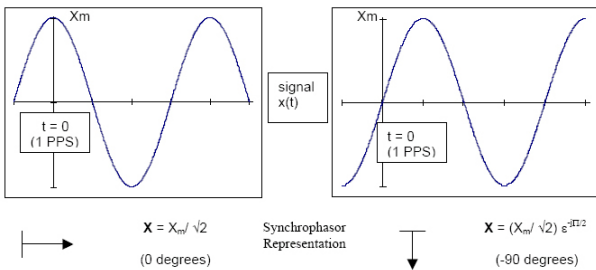
터립트를 보내 연산 DSP가 DPRAM에 옮겨 놓은 데이터를 MMI DSP가 가져갈 수 있게 상호 신호를 주고받는 것이다. 인 터립트는 10Sample(1.25ms)을 유지한 다음 Low에서 High로 복 귀하며 1주기에 한번씩 신호를 보내 데이터를 주고받는다.

DPRAM에서의 데이터들은 메모리 큐(Queue)를 수 초간 돌려 과거의 데이터와 현재의 데이터를 가지고 있기 때문에 이벤트 발생 시 사고의 추이를 재현해 낼 수 있으며 분석 시 자세한 정 보를 제공해 계통 사고 분석에 반드시 필요한 기능이다.

2.2 동기위상 측정 방법과 계통 연산 알고리즘

본 장치에서 가장 핵심적인 개발 내용인 동기 위상 측정은 GPS위성 에서 송신 된 1PPS신호를 DSP모듈을 통해 TTL Level로 수신해 각각 의 AI(Analog Interface)의 데이터 취득 타이밍으로 사용한다. 그러므로 원거리에 떨어져 있는 sPMU 장치간의 데이터 샘플링 타이밍은 같으므로 동기 위상이 측정되어 중앙 감시센터로 보내져 계통의 위상변화를 모니터링을 할 수 있게 된다. 그리고 AI에서 취득 된 데이터는 매 사이 클마다 일반적으로 많이 사용하는 Zero Crossing 방법으로 RMS연산이 수행되어 전압, 전류, 및 유/무효 전력, 주파수 값을 실시간으로 비교 스 캐하여 각종 전력 계통 사고요소로 사용할 수 있으며, 이 데이터를 이더 넷 통신으로 중앙 감시센터에서 계통 안정도 연산에 사용할 수도 있다.

다음은 동기위상이 1PPS신호의 타이밍에 취득이 되는 순간을 표현한 것이다.



<그림 4> 동기위상(Synchronphasor) 측정

정확한 타이밍에 취득된 한주기의 데이터는 아래와 같은 알고리즘을 통하여 phasor 데이터 연산이 이루어진다. 위 <그림 4>에서의 정상적인 Sine Wave 수식은 $x(t) = X_m \cos(\omega t + \phi)$ 이며 다시 위상 식으로 나타내면 다음과 같다. (단, ϕ 는 t에 의존)

$$\mathbf{X} = X_r + jX_i = (X_m / \sqrt{2})(e^{j\phi}) \quad (\text{수식 2.2-1})$$

그리고 수식 2.2-1을 복소수로 변형하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \mathbf{X} &= X_r + jX_i \quad (\text{수식 2.2-2}) \\ &= (X_m / \sqrt{2}) e^{j\phi} \\ &= X_m / \sqrt{2} (\cos \phi + j \sin \phi) \end{aligned}$$

동기 위상 데이터의 구조는 개발 완료 후 IEEE 표준인 PC37.118를 수 용 할 예정이며, 그 후 IEC61850 통신 프로토콜과도 호환이 가능하게 확 장 할 계획이다.

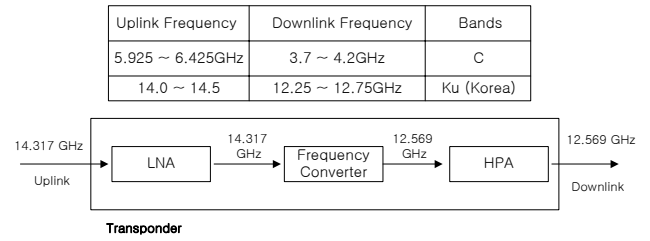
2.3 위성 네트워크와의 통신 연계

sPMU는 위성 통신망을 통해 중앙 감시 센터와 양방향 통신을 한다. 국내에서는 아직까지 일반적인 어플리케이션에서 위성통신은 생소한 수 단이며 그 운영 방법 또한 쉽지 않지만 외국의 경우를 보면 이미 수년 전부터 SCADA 시스템에 위성통신을 이용하고 있다.

그리고 다음과 같은 위성통신만의 장점을 보면 안정적인 전력계통의 감시를 위해 수용할 수 있는 이유가 충분히 수립 된다.

우선 신뢰성 뛰어나고 설치가 용이하며 장거리 신호 전송 시 비용이 절감 된다. 그리고 광역 통신 서비스가 가능하며 지상망의 설치가 어려운 지역에 신속한 통신망 구축이 가능하다. 마지막으로 국내 통신망을 거치지 않고 정보 전송 이루어지므로 보안성에도 뛰어나다. 그러므로 보안과 신뢰성이 요구되는 실시간 전력계통 감시용으로 사용되는 통신망으로써는 가장 적합하다는 결론이 나온다.

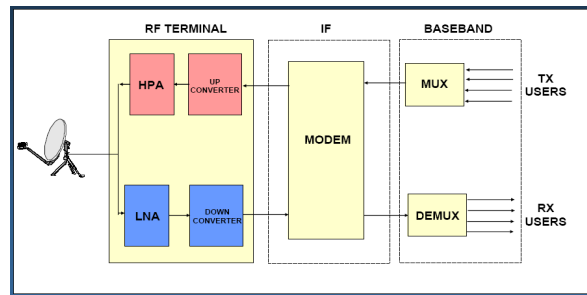
이러한 위성통신은 현재 무궁화 3호 위성을 사용하며 통신센터와의 수 차례의 통신 시험결과 속도 면에서나 안정성 면에서도 뛰어나다는 것을 확인했다. 다음의 <그림 5>는 현재 sPMU에서 이용 할 수 있는 위성통신 Bandwidth 및 데이터 링크 스킴이다..



<그림 5> Satellite Frequency and Transponder

현재 우리나라는 Ku-Band를 가장 많이 사용하고 있다. 그 이유는 국 내의 지리적, 기후적 조건과 통신 신뢰성, 그리고 경제적인 운영이 가능 하기 때문이다. 같은 이유로 sPMU장치 또한 Ku-Band를 이용하여 위 성통신을 하며 최적화를 위해 다각적으로 시험을 하고 있다.

마지막으로 sPMU와 위성통신 단말기인 VSAT(Very Small Aperture Terminal: 초소형 단말 지구국)과의 통신 연결 구조를 아래의 <그림 6>에 나타내었다.



<그림 6> Very Small Aperture Terminals

VSAT은 전파가 광 대역으로 분포하며 0.75~2.4M의 초소형 안 테나를 의미한다. 그 구성요소는 Antenna, ODU(Out Door Unit), IDU(In Door Unit)이다. 그리고 위성링크는 C-Band와 Ku-Band 이며 Frequency는 500MHz 대역이다. 주로 데이터 및 음성, 비 디오, FAX 통신을 포함한 멀티미디어 통신에 많이 이용 되고 있 다.

3. 결 론

본 논문에서는 동기위상 데이터 측정 및 전송 장치 개발에 대한 내용 과 위성통신을 이용해 데이터를 전송하는 방법을 설명하였다. sPMU 장 치 개발 후 다양한 시험을 통해 전압, 전류, 위상, 주파수 등 기본적인 측정요소의 정밀도는 매우 우수한 것으로 나타났으며, 특히 1PPS 신호 를 통한 동기위상측정은 IEEE PC37.118 표준에 적합한 오차 허용범위 내에서 결과가 나왔다. 그리고 위성통신센터와의 통신 시험 결과 또한 양호하게 나와 동기 위상장치로써 손색이 없음이 입증되었다.

이 기술을 바탕으로 더욱 높은 기술이 요구되는 장치를 개발하는데 밑 거름이 될 수 있으리라 생각된다. 그리고 국산기술의 세계화를 하루빨리 실현하여 국내 기술로 전력계통이 운영될 때 까지 연구를 계속 할 것이 다.

[참 고 문 헌]

- [1] E. Demeter와2인, "Signal Phase Shifting During Synchronphasor Measurements", IEEE CCECE/CCGEI, p557-360, 2005
- [2] Power System Relaying Committee of IEEE, "PC37.118 Draft Standard for Synchronphasors for Power Systems", 2004
- [3] 김학만 외3인, "전력계통 실시간 감시를 위한 동기위상측정장치의 시작품 개발", 한국에너지공학회지, 제11권3호.p.230-236, 2002
- [4] 이해선, "위성통신이론 및 시스템", 북두출판사, 2007
- [5] Tracey Tessier, "Development of an Inexpensive 1PPS GPS Based TTL Pulser", Pierre Auger Project Note, 1999
- [6] Bruce R. Elbert, "The Satellite Communications Applications Handbook 2nd", Artech House, 2004