IEC61850 프로세서 버스 기반 분산형 전력품질감시

論 文
56P-1-3

IEC61850 Process Bus Based Distributed Power Quality Monitoring

朴 鍾 讚† · 金 炳 鎭*
(Jong-Chan Park · Byung-Jin Kim)

Abstract - In this paper, authors deal with an application of power quality monitoring using the Sampled Value which is described in the IEC61850 International Standard for substation communication. Firstly, while Merging Unit is designed as a process level device transmitting sensor data, the practical problems such as time delay compensation and optical fiber communication are issued. Secondly, the Sampled Value message which is proper to a power quality monitoring system is presented. Because the power quality monitoring system requests non time critical service comparing to protection and control applications, the Sampled Value service message structure is introduced to improve efficiency. At last, the power quality monitoring server having various power quality analysis functions is suggested to verify the performance of Merging Unit. With the diverse experiments, it is proved that the process bus distributed solution is flexible and economic for the power quality monitoring.

Key Words : IEC61850, Merging Unit, Sampled Value, Power Quality

1. 서 론

최근들어 화석연료를 이용한 전기발전의 어려움에 따른 수소기반 사회의 도려의 예상과 분산 발전의 확산에 따라서 기존의 중앙 집중화된 형태의 전력망이 작게 분산화된 전력계통의 집합 형태로 형성될 것이 예상되며 송변전 과정의 생략되고 전력망 사업자간의 경쟁체제가 본격적으로 이루어 질것으로 예상된다.

전력산업분야의 화두는 기존의 중앙 집중화된 생산과 분배가 아닌 다양한 전력계통과의 연계 운영으로 변화하면서 누구나 전력망에 접근 할 수 있도록 만들어 줄 단일 표준을 확립의 필요성이다. 즉, IT기술의 접목을 통해 복잡하게 연결된 전력망으로부터 발생하는 정보와 전력을 관리하는 것은 필수적인 요소가 되었다.

기존의 전기공급 체계는 전기의 흐름에 따라서 발전, 송변전, 배전 그리고 수용가 사업 형태로 이루어져 있고 각 단계별로 주관하는 사업자가 틀리고 요구되는 사양 또는 프로토콜이 상이하므로 유기적으로 이어져야하는 전기체계가 마차 단계별로 조각난 형태로 개별적으로 다루어지면서 각 단계를 체계적으로 관리하고 운영할 수 있는 통합적인 인프라 구축이 어려운 실정이다.

† 교신저자, 正會員 : 烏山大學 電氣시스템制御科 副教授
E-mail : jcpark@osan.ac.kr
* 正 會 員 : 現代重工業(株) 機械電氣硏究所 責任硏究員
接受日字 : 2007年 1月 13日
最終完了 : 2007年 2月 13日

현재 통합적인 인프라 구축을 어렵게 만드는 원인은 상호운영성(interoperability) 부재, 복잡한 망 설계나 관리 기술 부족, 각종 표준(standard)의 불안정성 및 마찰 그리고 각 사업자들의 발전방향과 계획이 상이하다는 문제점을 들 수 있다.

이러한 시대적인 변화에 맞춰서 선진 중전기회사들은 전력계통 사업 분야의 구조조정을 수행하고 있다. 전력사업의 어려움을 해결하기 위해서 시스템 지능화를 위한 전력계통과 통신 시스템의 통합 연구가 이루어지면서 IEC61850에 대한 관심이 급속히 진행되고 있다.

최근 송배전 시스템 분야에서 종래의 인간의 개입을 최소화하여 이루어질 수 있도록 통합화, 자동화 및 원격 감시화가 추진되고 있으며 이는 기존의 전기 장비들을 통신 기능을 갖는 마이크로 프로세스 기반의 IED (Intelligent Electronic Device)로 대체함으로써 가능해 졌다.

단일 표준화 작업이 이루어지기 전 IED 메이커들은 MODBUS, DNP와 DNP의 유럽 파트너인 IEC-870-5-101등의 다양한 프로토콜을 제공하였다. 그러나 시스템 공급업체간 통신 프로토콜이 표준화 되지 않아 변전소 자동화 설비를 교체할 때마다 전력회사는 곤란을 겪었다. 서로 다른 통신기술의 적용에 따른 장비 간 호환성 결여로 높은 비용을 감수할 수밖에 없는 현실이었다. 이에 따라 통신 프로토콜 표준화 필요성이 강하게 제기되었고, 1990년대 표준화 작업을 시작하여 최근 변전소 자동화용 단일 세계 표준인 IEC 61850을 UCA2.0과 유럽의 경험을 기반으로 IEC주관아래 개발하였다. 이러한 세계기술 동향을 반영해 IEC 61850 기반의 종합변전소 자동화 시스템의 구축이 필요하고, 이에 따라 SCADA와 보호계전 시스템의 기능(감시, 제어, 계측, 보호)을 IED에 구

현함으로써, 전력운전정보를 IED 내에 저장하고 상위에 전송할 수 있게 되었다[4].

특히 가장 기본이 되는 I/O 레벨의 통신에 해당하는 프로세서 레벨에서 동작하는 Merging Unit은 계측정보를 시간정보와 함께 전송하고 이때 IEC61850-9-1/2 프로토콜에 맞춰서 전송되고 정보의 형태는 IEC61850-7에서 정의한 Sampled Value 형태로 이뤄진다. Merging Unit에서 유니캐스트(IEC61850-9-1방식)나 멀티캐스트(IEC61850-9-2방식)로 전송된 Sampled Value는 변전소의 다른 IED(제어, 보호, 사고저장장치, 전력품질감시장치, 계측기)가 이것을 수신해서 처리하게 된다[1].

본 논문에서는 IEC61850에서 제안한 프로세서 버스 장치인 Merging Unit을 이용한 전력품질감시장치에 대한 연구를 수행하였다. 이를 위해서 최대 16개의 전압과 전류를 처리할 수 있는 Merging Unit을 설계하고, IEC61850-9-2 Sampled Value 통신 서비스를 설계된 Merging Unit에 구현하였다. 변전소내의 주요 지점에 설치된 Merging Unit으로부터 전송된 정보를 받아 전력품질을 분석할 수 있는 프로그램을 개발하였다.

2. 본 론

프로세서 버스는 기존 프로토콜과 IEC61850을 구분하는 중요한 요소이다. Merging Unit과 같은 프로세서 버스 장치를 이용하면 변전소의 센서와 보호, 제어, 감시 그리고 저장용 IED(Intelligent Electrical Device)간의 복잡한 구리선 결선을 없앨 수 있다. 결과적으로 사용자는 구리 결선을 없애고 기능성을 높이고 설치 운전에 소요되는 비용을 줄일 수 있는 장점을 갖는다.

본 연구에서는 프로세서 버스의 중요 장치인 Merging Unit을 개발하고 Sampled Value 전송을 통한 전력품질감시를 구성하였다.

2.1 Merging Unit의 필요성

Merging Unit을 이용한 경제적인 방법으로 버스보호(bus protection)를 수행할 수 있다. 그림1과 같이 부스보호는 거리적으로 넓은 지역에 많은 센서 정보가 필요한 복잡한 보호방식이다. 그러나 Merging Unit를 사용한다면 구리선 포설의 부담이나 결선 소손이나 오결선등으로 발생하는 문제점을 줄이면서 쉽게 버스보호의 구현이 가능하다.

IED는 계측 데이터를 Merging Unit를 통해 수신하므로 센서 수나 용량의 제한을 받지 않기 때문에 유연성한 시스템 구성이 가능하다는 방점을 갖는다. 예를 들어 2권선 변압기에 설치된 보호용 IED를 3권선 변압기에 사용하기 위해서 IED를 교체하지 않고 Merging Unit만 추가시켜 구성이 가능하다.

Merging Unit는 통신을 통해 계측 데이터를 IED에 전송하기 때문에 다수의 IED에서 Merging Unit의 정보를 이용할 수 있다. 예를 들어 변압기 1차측에 설치된 Merging Unit은 버스 보호용 IED에 이용하기도 하지만 변압기보호용 IED에 역시 이용 가능하다.

Merging Unit을 전력품질감시장치로 사용할 경우는 그림2와 같이 감시지점에 Merging Unit을 설치하면 각 Merging Unit에서 계통정보를 전력품질감시서버에 전송하게 된다. 수신된 정보를 시간정보에 맞춰서 재구성하여 품질의 이상 유무를 감시한다.

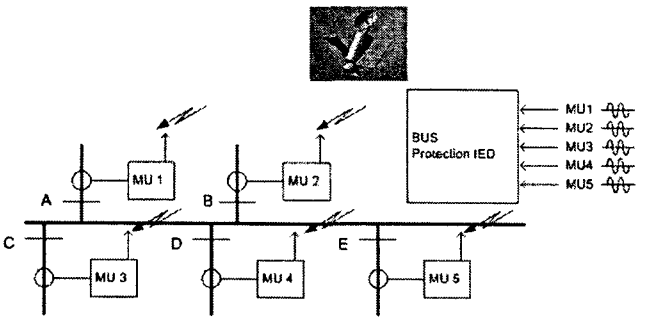

그림 1 Merging Unit의 부스보호

Fig. 1 Bus protection with Merging Unit

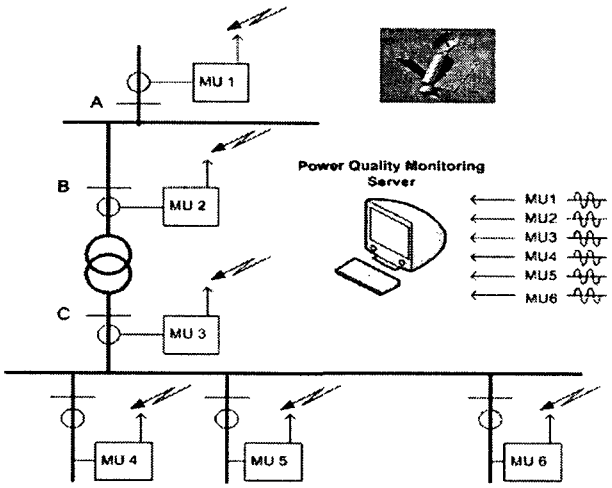

그림 2 Merging Unit의 전력품질감시

Fig. 2 Power quality monitoring with Merging Unit

2.2 Merging Unit의 설계

변전소 자동화를 위해 다양한 센서의 값을 계측해서 통신을 전송하는 Merging Unit은 IEC60044-7과 IEC61850-9-2에 적합한 구조로 개발할 필요가 있다. 그림 3와 같이 Merging Unit은 센서 인터페이스부와 신호처리부 그리고 통신부로 나누어진다. 그림 3에 나타난 것 같이 센서 인터페이스 부는 Merging Unit으로부터 샘플링 명령신호를 받아 센서 신호를 디지털 값으로 변환한다. Merging Unit은 사용자가 정의한 샘플링 주파수에 맞춰서 샘플링 명령신호를 발생하고 디지털화된 센서 데이터 값을 받아서 지연으로 인한 오차를 보상한다. 보상된 데이터는 IEC61850-9-1/2를 통해서 각종 IED에 전송한다. 전송 데이터는 GPS(Global Positioning System)를 통해서 정밀하게 측정된 시간정보를 포함하여 IED가 여러 Merging Unit의 데이터를 취합할 수 있게 한다.

IEC61850에서 제안한 Merging Unit은 계측용(measurement)과 계전용(protection)으로 나눌 수 있다. 높은 정밀도를 요구하는 계측용 Merging Unit인 경우에는 고속의

샘플링 주파수 특성(sample/cycle)이 필요한 반면 IED의 신속한 동작을 보장해야하는 계전용 Merging Unit인 경우에는 실시간적인 특성(message/cycle)을 고려해야 한다. 본 연구에서는 사용자 로직 설계가 가능한 CPLD를 이용한 자동 샘플러를 구현하였고 34[kHz](=16channels x 36sample/cycle x 60Hz) 샘플링 주파수를 갖게 하였다.

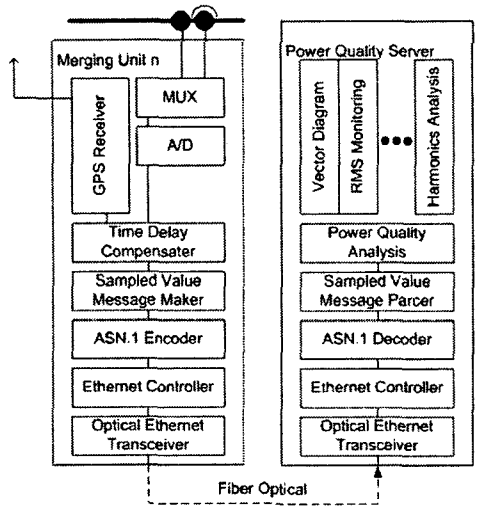

그림 3 Merging Unit의 구조

Fig. 3 Structure of Merging Unit

각 채널의 데이터에 센서나 멀티플렉서에서 발생하는 지연이 오차를 보상하기 위한 시간지연 보상기가 필요하다. 입력신호에는 기본파이외에 고조파가 많이 포함되어 있기 때문에 스플라인 보간법(spline interpolation)을 이용한 취득한 데이터의 리샘플링(re-sampling)로 수행하였다.

IED 내부의 과전류계전기가 순시(instant) 동작을 수행하는데 있어서 약 20[msec]내 사고를 판단해야한다. 따라서 Merging Unit은 센서 정보를 가능한 빠르게 IED에 전송해야하기 때문에 정보를 자주 전송해야한다. 그러나 빈번한 데이터 전송은 CPU의 부담을 증가시킬 우려가 있기 때문에 계측기나 전력품질감시장치와 같이 시간제약이 없는(non time critical) 응용분야에서는 데이터를 모아서 한번에 전송할 수 있다. 본 연구에서는 한 주기의 데이터를 모아서 전송하게 구성하였다.

분산된 데이터를 처리하기 위해서는 기준시간을 제공하는 정밀한 시계가 필요하다. 표 1은 시스템 주파수에 따른 시간오차가 발생되었을 때 그에 따른 각도 계측 오차를 보여준 것이다. 프로세서 레벨의 시간 동기화에 요구되는 시간 정밀도는 다음과 같이 5가지 클래스로 분류할 수 있다. P1 클래스(1[ms]), P2 클래스(0.1[ms]), P3 클래스(±25[us]), P4 클래스(±4[us]), P5 클래스(±1[us])로 분류할 수 있다[5]. 표1에서 알 수 있듯이 정밀한 제어를 위해서 P4 클래스 정도의 정밀도가 필요하기 때문에 본 연구에서는 500[nsec] 정밀도를 보장하는 GPS 모듈을 이용하여 P4 클래스의 정밀도를 만족시켰다.

Sampled Value 정보는 100[Mbit] 속도의 광(optical fiber) 매체를 이용하여 IED나 전력품질감시서버에 전송한다. 일반적으로 전자기적인 노이즈에 민감한 일반 구리 결선인 경우에 주변 환경의 노이즈에 따라서 전송 성공률이 변화하고 따라서 전송속도의 변화가 크게 바뀌는 것으로 알려지고 있다. 따라서 전자기적 노이즈에 강인한 광을 이용한 안정적인 전송이 필요하므로 본 연구에서는 멀티모드 100[Mbit] 광 트랜시버로 Merging Unit의 통신부를 구성하였다.

표 1 시간오차와 위상편차 관계

Table 1 Phase deviation with time Error

	1[usec]	10[usec]	100[usec]	1000[usec]
60[Hz]	0.022°	0.22°	2.2°	22°
50[Hz]	0.018°	0.18°	1.8°	18°

2.3 Sampled Value의 설계

그림 4에서는 IEC61850에 의한 변전소 자동화 시스템에서의 주요 통신 서비스 및 경로를 나타내고 있다. 이러한 통신서비스는 스테이션 레벨과 베이 레벨 및 프로세서 레벨에서 기기들(차단기, 전류전압 변류기와 센서)간의 정보교환을 위해 필요로 한다. 이 서비스에서는 또한 동작에 관한 정보(상태 표시, 제어 및 측정값) 뿐만 아니라 구성 정보(파일 전송과 파라미터)도 포함하고 있다[5].

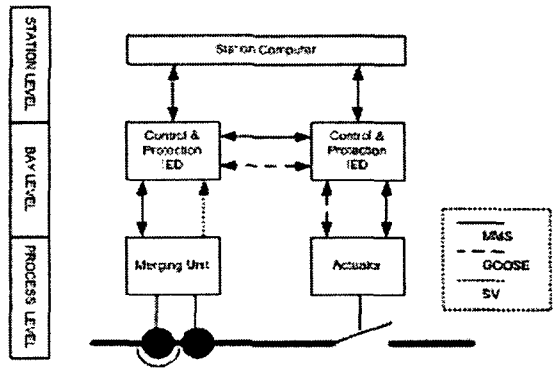

그림 4 IEC61850 통신 서비스 종류

Fig. 4 The communication services of IEC61850

이 결과로 다음과 같은 3가지 통신 카테고리로 나눌 수 있다.

- SV(Sampled Value): 표준화, 정밀화, 주기적인 데이터가 요구되는 변류기(transducer)의 전압 전류 샘플 값을 전송하는 메시지.
- GOOSE(Generic Object Oriented Substation): 표준화, 정밀화 및 신뢰성 및 안정성이 요구되는 트립 명령이나 연동되는 정보의 전송에 사용되는 메시지.
- MMS(Manufacturing Message Specification): 대부분의 운영정보가 표준화 및 적당한 우선순위, 그리고 연결지향(connection oriented)방식을 통한 안정된 과정을 거쳐 전송되는 서비스.

이 3가지 서비스는 서로 다른 실시간성 조건을 가진다. IEC61850은 TCP/IP에 기반을 둔 MMS 메시지의 경우 낮은

실시간 조건을 가지며 SV나 GOOSE 메시지의 경우에 높은 실시간 조건으로 인해 이더넷 계층으로 직접 매핑 되는 과정을 가진다[2]. Merging Unit의 SV는 실시간성을 갖기 위해서 Ethernet 프레임을 이용하는데 표 2와 같은 구조를 가지고 있다.

표 2 Sampled Valued 서비스를 위한 Ethernet 프레임
Table 2 Ethernet Frame for Sampled Value service

Preamble	SFD	Dest. MAC	Src. MAC	Priority tag	Ether type
7	1	6	6	4	2

APPID	Length	Reserved	APDU	FCS
2	2	2+2	729~921	4

Preamble(7[byte]): 1과0이 반복되는 7바이트의 비트열, 송신측과 수신측간의 송수신 속도를 일치시 키기 위한 비트 동기용 비트열

SFD(Starting Frame Delimiter)(1[byte]): 비트열에서 바이트 단위를 식별하는 바이트 동기와 이 영역 다음부터의 바이트열이 유효한 프레임의 시작임을 알리는 프레임 동기용 비트열이다.

Destination address(6[byte]): Merging Unit의 MAC 주소

Source address(6[byte]): 전력감시서버의 MAC 주소

Priority tag/VLAN(4[byte]):

TPID(Tag Control Identifier): 802.1Q를 위한 필드로 반드시 0x8100이야 한다

TCI(Tag Control Information): 0x8001(SV), 0x8000(GOOSE) : 이더넷 스위치를 통과하면 없어진다.

Ethertype(2[byte]): 표 3과 같이 정의된다.

표 3 IEC61850-9의 Ethertype 값과 APPID 종류
Table 3 Ethertype value and APPID type for IEC61850-9

USE	Ethertype value	APPID type
IEC 61850-8-1 GOOSE	88-B8	0 0
IEC 61850-8-1 GSE	88-B9	0 0
IEC 61850-9-1 SV	88-BA	0 1
IEC 61850-9-2 SV	88-BA	0 1

APPID(2byte): Sampled Value 서비스는 0x4000에서 0x7FFF까지의 값을 갖는다.

Length(2byte): APPID에서 시작한 Ethertype PDU를 포함한 바이트 수가 이 필드에 표시된다. 본 연구에서 설계된 바이트 수는 576[byte]의 사용자 정보와 375[byte]의 오버헤드를 고려한 951[byte/message]이다. 만약 샘플링 주파수를 36[sample/cycle]에서 64[sample/cycle]로 증가시키면 1,399[byte/message]로 증가하게 된다. 만약 샘플링 주파수나 센서(채널)수의 증가로 최대 전송 이더넷 패킷 수를 넘어선 경우에는 패킷 분할(fragmentation)이 이뤄지는데 이것은 서비스 속도 지연의 원인이 되므로 메시지 설계시 신중히 고려할 필요가 있다.

APDU(Application Protocol Data Unit): 36[sample/cycle]로 샘플링한 8채널 정보를 1[message/cycle]로 정송할 때의 프레임구조를 다음과 같이 설정하였다.

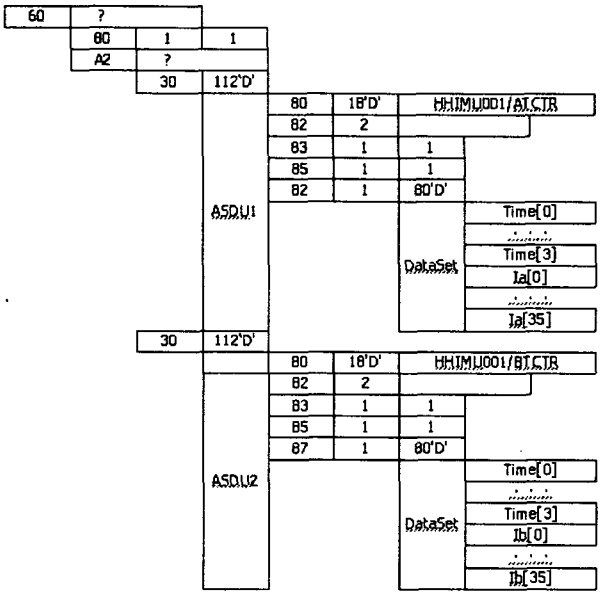

그림 5 Merging Unit을 위한 APDU 구성
Fig. 5 APDU Structure for Merging Unit

FCS: 프리앰블과 SFD 부분을 제외한 유효한 MAC 프레임의 비트열에서 오류발생을 검사하기 위해 사용된다[3].

2.4 전력품질감시서버의 설계

전력품질감시서버에서 수신된 Merging Unit의 Sampled Value 정보는 그림 6과 같이 2.3절에서 설계한 구조를 갖는다. 네트워크 분석기 프로그램을 이용하면 Merging Unit이 정확한 시간에 올바른 정보를 보내는지 확인 가능하다.

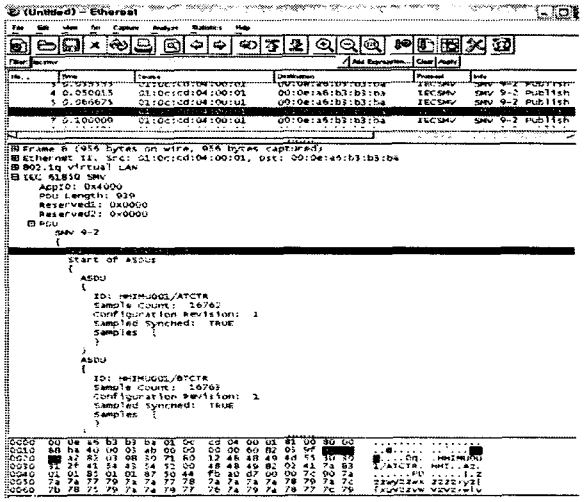

그림 6 네트워크 분석 프로그램을 이용한 패킷분석
Fig. 6 Packet analysis with network analyzer software

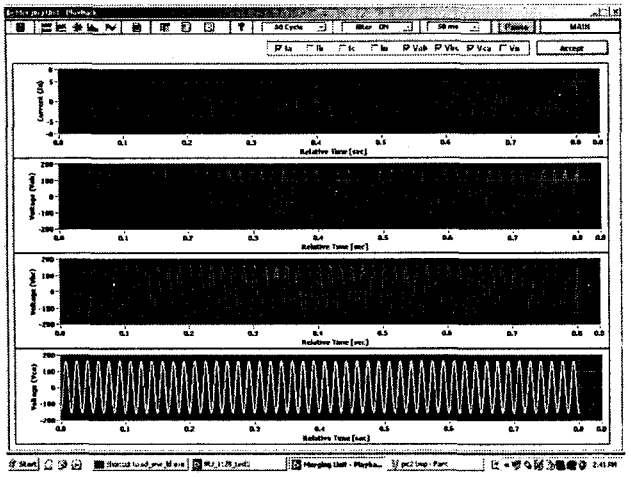

그림 7 Merging Unit 순시값 감시

Fig. 7 Instant value sending from Merging Unit

그림 3과 같이 다수의 Merging Unit에서 Sampled Value를 불규칙적으로 보내기 때문에 Ethernet제어기로부터 수신된 패킷을 분석하여 Merging Unit 별로 따로 저장한다. 이 정보를 Sampled Value 내의 시간정보를 참조로 다시 조합하면 그림 7과 같은 순시치 파형을 얻어 낼 수 있다. 만약 송, 수신부에 문제가 발생하거나 시간지연이 발생하면 불연속적인 부분이 발생하여 오류를 쉽게 감시할 수 있다. 사용자는 메뉴에 준비된 채널 선택버튼을 이용하여 감시하고자하는 채널을 최대 4개까지 선택하여 동시에 확인 할 수 있다.

상세정보를 분석하기 위해서는 그림 8과 같이 표로 표시된 값을 비교하면서 Merging Unit이 계측한 정보를 정밀도하게 분석할 수 있다. 본 연구에서 설계한 소프트웨어에는 2개의 커서가 있어 사용자가 원하는 지점에 커서를 지정하면 그 지점의 값을 알 수 있고 두 커서의 차이값 또한 확인 할 수 있다. 정밀한 수치 값의 확인이 필요한 경우에 수치 데이블 메뉴를 선택하여 커서가 위치한 지점의 위상, 크기, 실효치 등을 확인 할 수 있다.

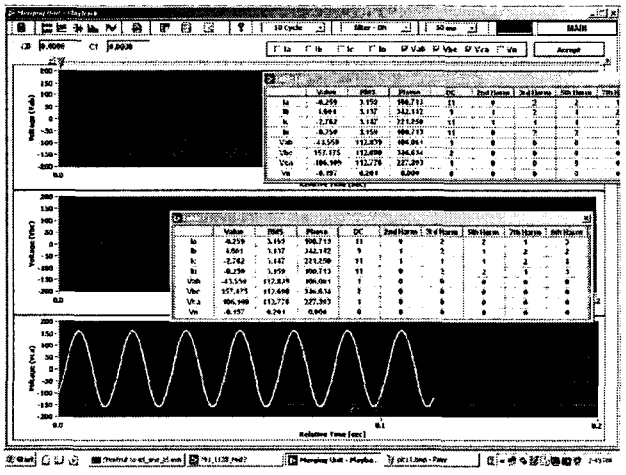

그림 8 상세창을 이용한 감시

Fig. 8 Monitoring with detail watching windows

그림 9와 같이 전력품질분석의 가장 기본 서비스인 벡터와 고조파분석이 가능하며 두 센서의 값을 한눈에 표시하여 센서간의 차이값을 쉽게 확인할 수 있게 배려하였다. 최대 18차 고조파 분석이 가능하여 두 신호의 주파수 구성비를 확인할 수 있다.

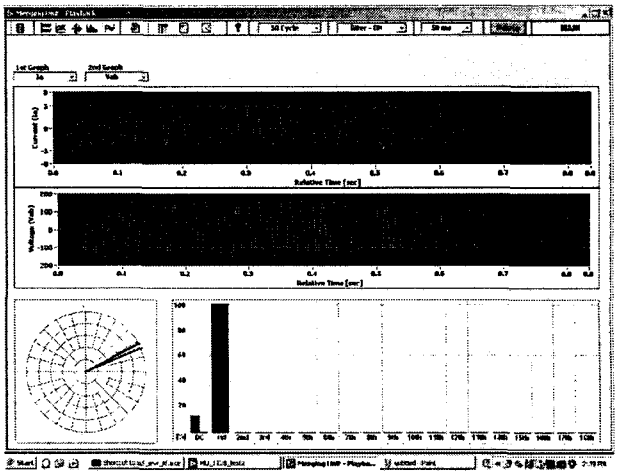

그림 9 두 센서간의 차이점 분석

Fig. 9 Difference Analysis between specific two sensors

3. 결 론

본 연구에서는 변전소 자동화의 국제적 표준 프로토콜로 자리하고 있는 IEC61850에서 제시한 Sampled Value 서비스를 이용한 전력품질감시의 예를 보여주었다. 먼저 센서의 정보를 전송하는 프로세서 레벨의 장치인 Merging Unit을 설계하였다. Merging Unit을 실제로 구성할 때 필요한 시간비연보상이나 광통신기능에 대해 언급하였다. 이와 더불어 전력품질감시에 적합한 Sampled Value 메시지를 설계하였다. 전력품질감시기능은 보호 및 제어기능에 비해 실시간성이 크게 요구되지 않기 때문에 본 연구에서는 한 Sampled Value 메시지에 총 8개 채널의 한주기 센서정보 전송하는 메시지를 설계하여 효율성을 높였다. 마지막으로 전력품질감시 프로그램을 제작하여 수신된 정보를 분석하고 전력품질을 분석할 수 있는 기능을 제시하였다.

전력품질분석기의 주요 목적은 전력품질 저하로 기인한 발생된 사고나 잠재적인 사고의 원인을 찾아내고 해결방안을 결정할 수 있는 정보를 제공한다. 전력품질저하로 기인한 사고나 효율성 저하는 언제, 어디서 문제가 발생하였고 각 정보간의 상관관계를 맺어줄 연관성을 분석하기 힘든 경우가 많다. 그러나 제안된 방식을 통하면 저장 공간의 구애 받지 않고 많은 량의 정보를 시간 정보에 연관하여 분석할 수 있기 때문에 품질 저하의 원인을 찾아내는데 도움이 된다.

Merging Unit과 전력품질감시서버로 구성된 분산형 전력품질감시장치는 사용자가 원하는 감시 지점에 프로세서 버스 장치인 Merging Unit만 설치하면 전력품질분석이 가능하기 때문에 경제적이며 유연한 구조를 갖는다. 향후 전압 sag이나 swell 또는 주파수변동 감시와 같은 기능을 보강하면 전력품질분석장치로 상품화가 가능할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

[1] Alexander Apostolov,'IEC 61850 Distributed Analog Values Applications in Substation Automation Systems', PES IEEE, 2005.

[2] Benton Vandiver and Alexander Apostolov,'Testing of IEC 61850 Sampled Analog Values Based Functions' ,CIGRE,B5-103, 2006.

[3] IEC61850-9-2 LE: Implementation Guideline for Digital Interface to Instrument Transformers Using IEC 61850-9-2', UCA International User Group.

[4] 김관수, 이홍희, 김병진, 박종찬,'IEC61850 Process Level에 적합한 Merging Unit 설계',대한전기학회 하계학술대회, 2006.

[5] INTERNATIONAL STANDARD IEC 61850-7-2, Communication networks and systems in substations - Part 7-2: Basic communication structure for substation and feeder equipment - Abstract communication service interface (ACSI), First edition 2003-05

[6] INTERNATIONAL STANDARD IEC 61850-7-3, Communication networks and systems in substations - Part 7-3: Basic communication structure for substation and feeder equipment - Common data classes, First edition 2003-05

[7] INTERNATIONAL STANDARD IEC 61850-7-4, Communication networks and systems in substations - Part 7-4: Basic communication structure for substation and feeder equipment - Compatible logical node classes and data classes, First edition 2003-05

[8] INTERNATIONAL STANDARD IEC 61850-9-1, Communication networks and systems in substations - Part 9-1: Specific Communication System Mapping (SCSM) - Sampled values over serial unidirectional multidrop point-to-point link, First edition 2003-05

[9] INTERNATIONAL STANDARD IEC 61850 9-2, Communication Networks and systems - 9-2: Specific Communication System Mapping(SCSM) - Sampled values over ISO/IEC8802-3, First edition 2003-05.

저 자 소 개

박 종 찬 (朴 鍾 讚)

1955年 12月 19日生. 숭실대학교 전기공학과 졸업. 1988年 同 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2002年 同 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1992年 ~ 현재 오산대학 전기시스템제어과 부교수.

Tel : 031-370-2674
Fax : 031-375-9601
E-mail : jcpark@osan.ac.kr

김 병 진 (金 炳 鎭)

1970年 6月 26日生. 1994年 숭실대학교 전기공학과 졸업. 1996年 同 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2001年 同 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 현대중공업(주) 기계전기연구소 책임연구원

Tel : 031-289-5223
Fax : 031-289-5115
E-mail : itisme@hhi.co.kr