

프로세스 레벨의 병합 단위장치를 위한 IEC61850-9-2 샘플링 값 서비스 구현에 관한 연구

論 文
56-7-1

A Study on IEC61850-9-2 Distributed Sampled Measured Values Applications for Merging Unit at Process Level

金 官 洙[†] · 李 弘 熙^{*} · 金 炳 鎮^{**}
(Gwan-Su Kim · Hong-Hee Lee · Byung-Jin Kim)

Abstract - Recently, IEC61850 supports the standardized communication technique in both station bus and process bus, and presents the substation automation model. In this paper, we propose the required techniques to develop the Merging Unit (MU), which is one of the important data acquisition equipment in substation automation, under IEC61850 communication protocol. Especially, we also propose the precision time synchronization technique using GPS(Global Positioning System) for the MU. IEC61850-9-2 SV (Sampled Value) service is applied to the MU which is designed using microprocessor. In order to evaluate the performance of the proposed MU, the playback program, which can reconstruct the transmitted sampled value data on the basis of time information, is developed and the performance of the IEC61850 SV service for MU is verified experimentally.

Key Words : 병합 단위장치, 샘플링 값 서비스, Merging Unit, Sampled Value, IEC61850-9-2

1. 서 론

최근 송배전 시스템 분야에서 종래의 인간의 개입을 최소화하여 이루어 질 수 있도록 병합화, 자동화 및 원격 감시화가 추진되고 있으며 이는 기존의 전기 장비들을 통신 기능을 갖는 마이크로프로세서 기반의 IED(Intelligent Electronic Device)로 대체함으로써 가능해 졌다. 단일 표준화 작업이 이루어지기 전 IED 메이커들은 MODBUS, DNP(Distributed Network Protocol)3.0와 DNP의 유럽 파트너인 IEC-870-5-101과 같은 다양한 프로토콜을 제공하였다. 다양한 시스템 공급업체 간 통신 프로토콜이 표준화 되지 않자 변전소 자동화 설비를 교체할 때마다 전력회사는 큰 곤란을 겪었다. 서로 다른 통신기술의 적용에 따른 장비 간 호환성 결여로 높은 비용을 감수할 수밖에 없는 현실이었다. 이에 따라 통신 프로토콜 표준화의 필요성이 강하게 제기되었고, 1990년대 표준화 작업을 시작하여 최근 변전소 자동화용 단일 세계 표준인 IEC61850을 UCA(Utility Communication Architecture) 2.0과 유럽의 경험을 기반으로 IEC 주관 아래 개발하였다. 이러한 세계 기술 동향을 반영해 IEC61850 기반의 변전소 자동화 시스템의 구축이 필요하고, 이에 따라 SCADA와 보호계전 시스템의 기능(감시, 제어, 계측, 보호)을 IED에 구현함으로써, 전력 운전정보를 IED 내에 저장하고 상위에 전송할 수 있게 된다. 특히 가장

기본이 되는 I/O 레벨의 통신에 해당하는 프로세스 레벨에서 동작하는 병합 단위장치(MU, Merging Unit)에 대한 IEC61850 프로토콜의 적용이 필요하다. 병합 단위장치는 전자식 변류기나 전자식 전압 변성기로부터 하나의 샘플링 된 측정값을 병합시키는 장치이다. 현재 병합 단위장치에 IEC61850-9-2 프로토콜을 적용하고자 하는 연구가 진행되고 있다. 기존에 병합 단위장치에 IEC61850 프로토콜을 적용하여 설계하는 방법에 대한 논의나 IEC61850 샘플링 값 메시지 전송에 관한 연구는 많이 진행되어 왔으나, 실제적인 병합 단위장치에 IEC61850-9-2 샘플링 값 서비스를 적용한 연구는 아직 진행 중에 있다[1]-[3].

본 논문에서는 마이크로프로세서를 사용하여 보다 구체화된 병합 단위장치를 설계하고, IEC61850-9-2 샘플링 값 통신 서비스를 설계된 병합 단위장치에 적용하였다. 이러한 시스템을 구현하기 위해서 먼저 병합 단위장치에 대한 하드웨어 및 소프트웨어 사양을 결정하고 개발하였다. 또한 샘플링 값 서비스가 구현된 병합 단위장치의 성능을 검증하기 위해서 전송된 샘플링 값 데이터를 시간 정보를 기준으로 재구성할 수 있는 오실로그래피(Oscillography)를 위한 플레이백(playback) 프로그램을 제작 하여 기본적인 IED 통신 실험 장치를 구성하고, 병합 단위장치의 성능을 검증하기 위한 통신 과정을 네트워크 분석기를 통하여 분석하였으며, 샘플링 값 서비스가 구현된 병합 단위장치에 적용된 IEC61850 환경에서 잘 동작하는 것을 검증 하였다.

2. 병합 단위장치(Merging Unit)

2.1 병합 단위장치의 구조

변전소 자동화를 위해 다양한 센서의 값을 측정하여 통신을 통해 데이터를 전송하는 병합 단위장치는 IEC60044-7-8

[†] 교신저자, 正會員 : 蔚山大 工大 電氣電子情報시스템工學部 博士課程

E-mail : gskim94@mail.ulsan.ac.kr

* 正會員 : 蔚山大 工大 電氣電子情報시스템工學部 教授 · 工博

** 正會員 : 현대중공업(주) 기계전기연구소 책임연구원

接受日字 : 2007年 3月 18日

最終完了 : 2007年 5月 2日

과 IEC61850-9-2에 적합한 구조로 개발할 필요가 있다. 그림 1과 같이 병합 단위장치는 센서 인터페이스부와 신호처리부 그리고 통신부로 나뉜다. 센서 인터페이스부는 병합 단위장치로부터 샘플링 명령신호를 받아 센서 신호를 디지털 값으로 변환한다. 병합 단위장치는 사용자가 정의한 샘플링 주파수에 맞춰서 샘플링 명령신호를 발생하고 디지털화된 센서 데이터 값을 받아서 지연으로 인한 오차를 보상한다. 보상된 데이터는 IEC61850-9-2를 통해서 각종 IED로 전송한다. 전송 데이터는 GPS를 통해서 정밀하게 측정된 타임스탬프를 포함시켜 IED가 여러 병합 단위장치의 데이터를 취합할 수 있게 한다. 본 논문에서는 그림 1과 같은 병합 단위장치를 설계하고 구현하였다.

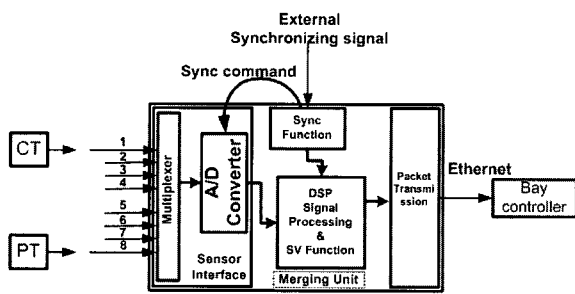


그림 1 병합 단위장치의 구조
Fig. 1 Structure of Merging Unit

2.1.1 센서 인터페이스부

센서 인터페이스부는 병합 단위장치로부터 샘플링 명령신호를 받아 측정된 아날로그 값을 디지털 값으로 변환하는 기능을 수행한다. 이 변환된 값은 외부 GPS의 1 PPS(Pulse Per Second) 신호에 동기화된다. A/D(Analog to Digital) 컨버터에서는 CT와 PT로부터 나오는 각 4채널씩 총 8채널의 데이터를 입력받아 디지털 값으로 변환한다.

그림 2는 데이터 측정을 위한 샘플링 방법을 나타낸 것이다. 한 주기 당 36 샘플링 값을 취득하며 16.67[ms] 마다 메시지를 전송하며 8채널의 데이터를 한번 샘플링 하는데 463[μs]의 시간이 필요하다.

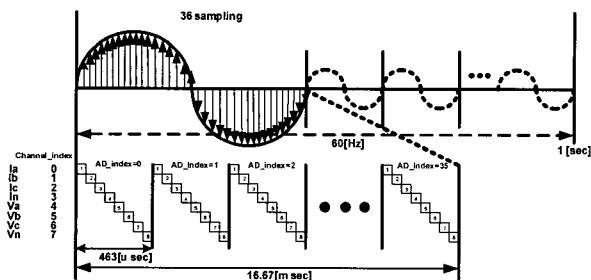


그림 2 데이터 측정을 위한 샘플링
Fig. 2 Sampling for data measurement

2.1.2 신호 처리부

센서 인터페이스부를 통해 디지털로 변환된 데이터들은 데이터 셋 그룹으로 만들어 저장된다. 이때 각 채널의 데이터는 센서나 멀티플렉스에서 발생하는 지연 때문에 오차가 발생하게 된다. 이 오차를 보상하기 위해 보간법을 사용하여 측정된 데이터를 재샘플링(resampling) 한다. IEC61850-9-2 SV 메시지는 송신/수신(publish/subscribe) 통신 모델을 메시지 전송 방식으로 사용하며, 데이터 셋으로 분류된 샘플링 데이터를 사용하여 SV 메시지를 위한 이더넷 프레임 구성한다.

2.1.3 통신부

병합 단위장치는 통신 매체로 이더넷 프로토콜을 사용한다. IEC61850 통신 서비스는 MMS, GOOSE와 SV 3가지 통신 서비스로 구성된다. 이 중에서 병합 단위장치에서는 SV 서비스를 사용한다. SV 서비스는 이더넷 통신 프로토콜을 사용하며, 응용계층에서 TCP/IP 프로토콜을 사용하지 않고, 이더넷 링크 계층으로의 실시간 통신을 지원한다. TCP/IP 프로토콜을 사용하지 않기 때문에 노드 주소로는 데이터 링크 계층의 MAC(Media Access Control) 계층에 의해 사용되는 MAC 주소를 사용한다. 상위 노드와는 MAC 주소로 이용한 이더넷 통신으로 메시지를 상호 교환한다.

본 논문에서는 디지털 프로세서를 기반으로 하여 IEC61850-9-2 샘플링 값 서비스를 구현하기 위한 병합 단위장치를 설계하였다. 기존의 변류기 (CT, Current Transformer)와 전력 변성기(PT, Power Transformer)를 이용한 방식을 사용하고 외부 노이즈나 서지에 대한 대비책으로 차분 입력방식을 멀티플렉스 입력단에 사용하였다. 또한 10/100BaseT 및 100BaseT-FX 방식의 이더넷 통신을 통해 측정 데이터를 상단의 IED와 서버로 전송한다. 그림 3은 구현된 병합 단위장치의 시제품을 나타낸다. 8채널의 데이터를 샘플링 하며, 전력 변성기 4채널과 변류기 4채널로 이루어져 있다.

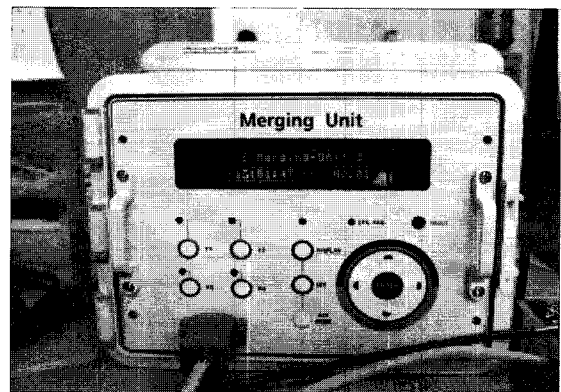


그림 3 병합 단위장치 시제품
Fig. 3 Merging Unit Working Sample

2.2 GPS를 이용한 시간동기화

측정된 값을 샘플링 하여 상위 제어기로 보내는 병합 단위장치와 같은 노드들은 상위 제어기와 시간 동기화가 반드시 필요하다. 시간 동기화에 요구되는 시간 정밀도는 IEC61850-6 사양서에 의하면 다음과 같이 5가지 클래스로 구분된다. 즉, P1 클래스(1[ms]), P2 클래스(0.1[ms]), P3 클래스(25[μs]), P4 클래스(4[μs]), P5 클래스(1[μs])로 분류할 수 있다. 프로세스 레벨의 병합 단위장치에서는 측정된 아날로그 값의 동기화 샘플링을 위해 수 μs 단위의 정밀도가 필요하다. 이러한 시간 정밀도를 맞추기 위한 방법 가운데 가장 확실한 방법으로는 GPS 수신기를 시간 동기화가 필요한 모든 노드로 외부 버스를 통해 연결하는 방법이 있다.

본 논문에서는 P4 클래스 정도의 시간 정밀도를 맞추기 위해 정밀한 시간 동기화에 필요한 GPS를 사용하여 동기화를 구현했다. 그림 4와 그림 5는 본 논문에서 사용한 시간 동기화를 위한 GPS 모듈과 GPS에서 발생하는 1 PPS 신호를 나타내고 있다.

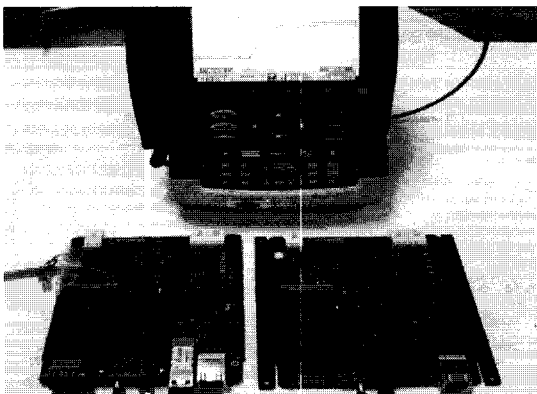


그림 4 동기 신호 검증을 위한 GPS 모듈
Fig. 4 GPS Module for synchronization

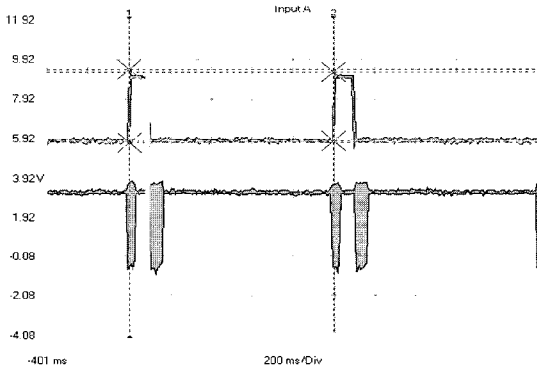


그림 5 동기 신호와 시간 정보
Fig. 5 Synchronization signal and time information

동기화 신호는 그림 1에서 알 수 있는 바와 같이 A/D 컨버터로 전송되는데 일반적으로 샘플링율과 같다. 테스트 베드 환경에서 사용된 동기 신호는 60[Hz]/36 샘플링으로 2160[Hz]의 주파수를 가진다. 병합 단위장치의 동기화는 다

음과 같은 방법으로 이루어진다. 먼저 병합 단위장치의 동기화는 정확하게 동기화 첫 번째 신호인 PPS신호의 상승 에지에서 일어난다. 이때 병합 단위장치는 동기화 변환 신호를 A/D 컨버터로 보낸다. 만약 첫 번째 신호가 소멸되거나 일시적으로 방해를 받으면 병합 단위장치는 내부 클럭에 따른 두 번째 신호를 A/D 컨버터로 보낸다. 그리고 동기 입력 신호가 재개되면 즉시 첫 번째 신호를 추종하여 병합 단위장치의 동기화를 수행한다.

2.3 멀티플렉스 스위칭 시간 지연 보상

측정된 값을 샘플링 하여 상위 제어기로 보내는 병합 단위장치에서 CT와 PT로부터 계측한 아날로그 신호는 멀티플렉스를 통해 AD 컨버터로 보내진다. 이때 멀티플렉스 단에서 생기는 스위칭 시간 지연으로 인해 계측한 아날로그 신호들 사이에 시간 지연이 발생하게 된다. 그림 6에서는 멀티플렉스 스위칭 시간 지연시간을 나타내고 있다. 본 논문의 병합 단위장치에 적용된 멀티플렉스는 16개의 스위치를 가지고 있지만 실험에서는 전류 4상과 전압 4상을 포함하여 8개의 채널로 구성되어 있다. 따라서 8개의 채널에 대한 시간 지연 보상이 필요하다.

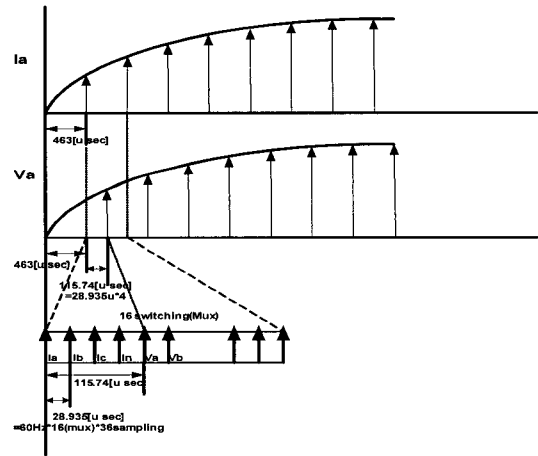


그림 6-1 멀티플렉스 스위칭 시간 지연
Fig. 6-1 Multiplexer switching time delay

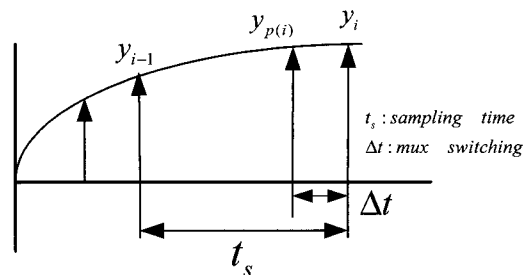


그림 6-2 샘플링 시간 및 스위칭 시간
Fig. 6-2 Sampling time and switching time

본 논문에서는 인접한 샘플링 값 사이에는 동일한 샘플링 시간을 가지고, 멀티플렉스 스위칭 지연 시간이 일정하다는 가정에서 다음과 같은 식을 유도하여 멀티플렉스에서 발생하는 스위칭 지연 시간을 보상하였다.

$$y_{\mu(i)} = y_{i-1} + (y_i - y_{i-1}) \cdot \left(1 - \frac{\Delta t}{t_s} \cdot i\right) \quad (1)$$

3. IEC61850-9-2 샘플링 값 서비스

3.1 IEC61850 통신 서비스

그림 6에서는 IEC61850에 의한 변전소 자동화 시스템에서의 주요 통신 서비스 및 경로를 나타내고 있다[4]. 이러한 통신 서비스는 스테이션 레벨과 베이 레벨 및 프로세스 레벨에서 기기들(차단기, 전류/전압 변성기, 센서) 간의 정보교환을 위해 필요로 한다. 이 서비스에서는 동작에 관한 정보(상태, 표시, 제어, 측정값) 뿐만 아니라 구성 정보(파일 전송, 파라미터) 등도 포함하고 있다.

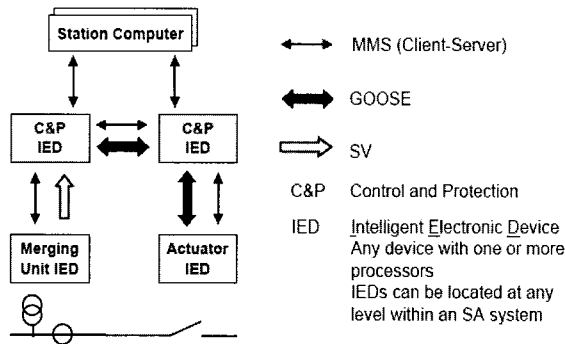


그림 7 IEC61850 통신 서비스 종류
Fig. 7 IEC61850 communication service

그림 7에서 알 수 있는 바와 같이 IEC61850 통신서비스는 다음과 같이 3가지 통신 카테고리 나눌 수 있다.

- SV(Sampled Value): 표준화, 정밀화, 주기적인 데이터가 요구되는 변성기의 전압 전류 샘플링 값을 전송하는 서비스
- GOOSE(Generic Object Oriented Substation Event): 표준화, 정밀화 및 신뢰성 및 안정성이 요구되는 트립 명령이나 연동되는 정보의 전송에 사용되는 서비스
- MMS(Manufacturing Message Specification): 대부분의 운영정보가 표준화 및 적당한 우선순위, 그리고 안정된 과정을 거쳐 전송된다. 기기에 대한 특정 정보는 낮은 우선순위를 가진 서비스

이 3가지 서비스는 서로 다른 실시간 조건을 가진다. IEC61850은 TCP/IP에 기반을 둔 MMS 메시지의 경우 낮은 실시간 조건을 가지며 SV나 GOOSE 메시지의 경우 높은 실시간 조건으로 인해 이더넷 계층으로 직접 매핑 되는 과정을 가진다.

3.2 IEC61850-9-2 Sampled Value 서비스 구현

IEC61850에서 정의한 Sampled Value 서비스는 유니캐스팅 통신을 기반으로 한 IEC61850-9-1과 멀티캐스팅을 지원하는 IEC61850-9-2으로 분리할 수 있다. 하나의 병합 단위 장치에서 다수의 IED에 SV를 동시에 서비스할 수 있는 IEC61850-9-2가 많이 사용되고 있다. SV 서비스는 전자식 변류기(ECT: Electronic Current Transformer), 전자식 전압 변성기(EVT: Electronic Voltage Transformer) 뿐만 아니라 기존의 철심형 변압기와 변류기의 정보를 입력받은 병합 단위 장치와 IED와 같은 베이 장치간의 통신에 적용한다. 그림 8은 이 인터페이스의 개략도를 나타낸다[5][6].

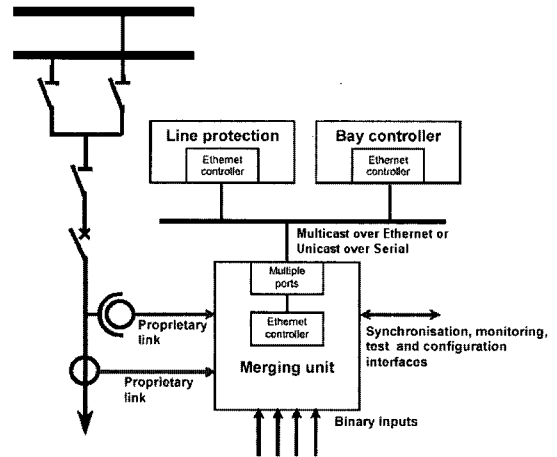


그림 8 직렬 단방향 멀티드롭 점대점 링크
Fig. 8 Serial single direction multidrop point-to-point link

IEC61850-9-2 샘플링 값 서비스는 ASN.1 인코딩으로 변환하여 멀티캐스팅을 통해 여러 노드에 전달하는 방식이다. 샘플링 값 서비스는 일반적인 이더넷 프레임에 확장한 형태의 프레임 구조를 가진다. 그림 9는 샘플링 값 메시지를 전송하기 위한 확장된 이더넷 프레임 구조를 나타낸다.

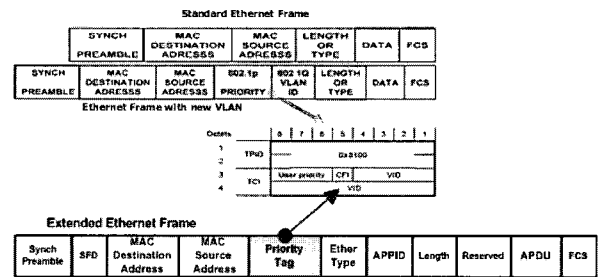


그림 9 샘플링 값 서비스를 위한 이더넷 프레임
Fig. 9 Ethernet frame for sampled value service

이더넷 필드 중에서 Priority Tag 필드는 TPID 필드와 TCI 필드로 구성된다. 또한 EtherType 필드에는 샘플링 값 메시지를 나타내는 2 바이트 크기의 값으로 채워지고, APDU 필드에는 ASN.1 BER로 인코딩된 샘플링 값이 채워진다.

4. 실험 및 검토

제안된 병합 단위장치의 성능을 검증하기 위해 기본적인 IED 통신 실험 장치를 구성하고 샘플링 값 메시지 전송 실험을 수행 하였다. 그림 10은 병합 단위장치를 사용하여 구축된 실험 환경을 나타내고 있다.

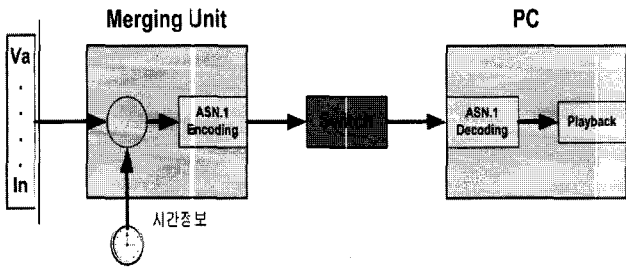


그림 10 병합 단위장치 통신 실험 환경
Fig. 10 Communication test of Merging Unit

실제 환경에서는 병합 단위장치의 입력으로는 PT와 CT 입력을 받아 샘플링 하여 상위 계전기로 측정된 데이터를 전송 한다. 그러나 병합 단위장치를 검증하기 위한 실험 환경에서는 상용 전원인 220[V]와 60[Hz] 신호를 PT 입력 단으로 하여 실험을 수행 하였다. 이때 60[Hz] 신호를 한 주기당 36 샘플링 하이 이더넷으로 SV 메시지를 전송한다. 샘플링 된 데이터는 그림 11과 같이 이더넷 프레임 상의 APDU 데이터 필드에 매핑 된다.

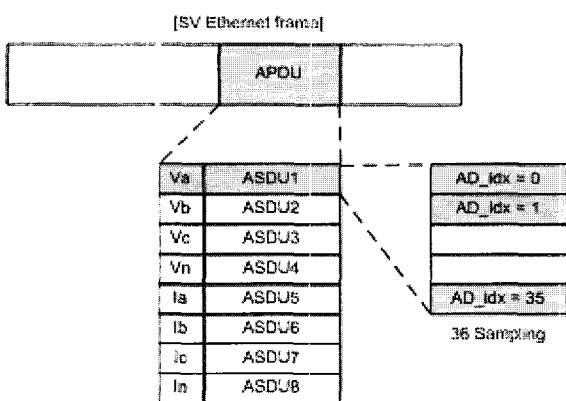


그림 11 이더넷 프레임 상의 샘플링 데이터 매핑
Fig. 11 Mapping of sampling data in ethernet frame

PC 측에서 수신한 샘플링 메시지는 ASN.1으로 디코딩한 후 플레이백 프로그램을 통해서 그림 12와 같이 전송된 데이터를 모니터링 할 수 있다. 본 실험에서 사용한 플레이백 프로그램은 NI사의 랩뷰 프로그램을 사용하여 PT와 CT 값을 시간 정보를 기준으로 재구성하여 나타내도록 하였다.

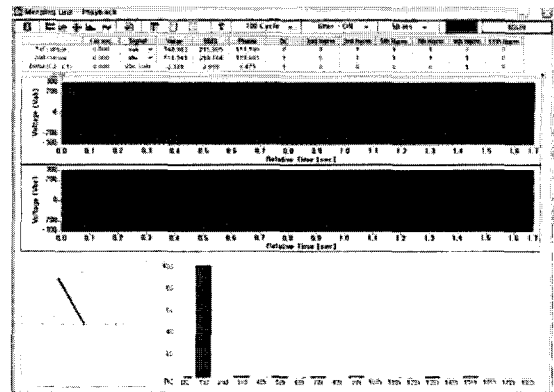


그림 12 플레이백 프로그램상의 수신된 파형
Fig. 12 Received waveform on playback program

샘플링 값 메시지 전송은 MMS-Ethernet 네트워크 분석기를 사용하여 분석하였다. 그림 13은 PC와 병합 단위장치 사이의 데이터 교환을 네트워크 분석기를 통해 확인한 것을 나타낸다.

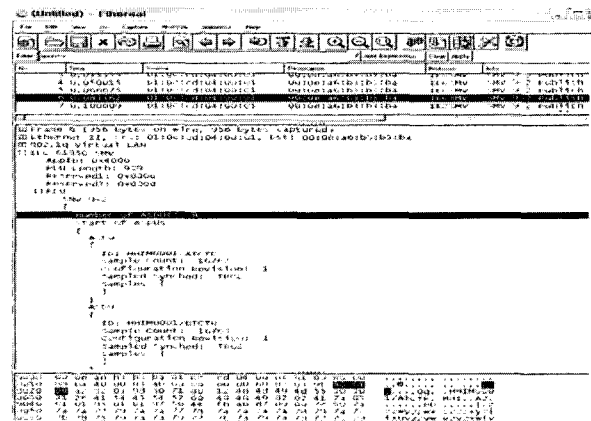


그림 13 MMS-Ethernet을 사용한 SV 메시지 분석
Fig. 13 SV message analysis using MMS-Ethernet

병합 단위장치와 PC를 사용한 IEC61850 환경에서 IEC61850-9-2 SV 메시지 전송은 실험결과에 알 수 있는 바와 같이 성공적으로 동작함을 확인할 수 있었다. 병합 단위장치는 입력되는 60Hz 아날로그 신호를 한 주기당 36 샘플링 하여 즉, 16.67[ms] 마다 1번씩 전송한다. 이때 병합 단위장치는 60[Hz] 아날로그 신호를 463μs 마다 샘플링 하게 된다. 그리고 8채널/36샘플링/60[Hz]를 바탕으로 하는 데이터 셋을 구성하여 SV 메시지 프레임을 통해서 1초에 60번 100[Mbps]의 속도로 상위 제어기에 전송한다. PC에서 전송된 SV 메시지를 디코딩하여 플레이백 프로그램을 통해 재구성한 결과 샘플링 메시지가 성공적으로 전송됨을 확인할 수 있었고, 또한 네트워크 분석기를 통해 SV 메시지를 분석한 결과로는 IEC61850-9-2 SV 통신 서비스가 IEC61850환경에서 동작하고 있는 상태를 알 수 있었다.

5. 결 론

IEC61850 통신 서비스는 크게 MMS, GOOSE, SV 3가지 서비스를 규정한다. 특히 가장 기본이 되는 I/O 레벨의 통신에 해당하는 프로세스 레벨에서 동작하는 병합 단위장치에 대한 IEC61850-9-2 SV 서비스의 적용이 필요하다. 본 논문에서는 마이크로프로세서를 사용하여 병합 단위장치를 설계하고, IEC61850-9-2 샘플링 값(SV, Sampled Value) 통신 서비스를 설계된 병합 단위장치에 구현 하였다. 그리고 샘플링 값 서비스가 구현된 병합 단위장치의 성능을 검증하기 위해서 전송된 SV 데이터를 시간 정보를 기준으로 재구성할 수 있는 플레이백(Playback) 프로그램과 네트워크 분석기를 통하여 병합 단위장치에 대한 다양한 실험 결과를 분석하였으며, 샘플링 값 서비스를 구현한 병합 단위장치가 IEC61850 환경에서 잘 동작하는 것을 확인했다.

감사의 글

본 연구는 울산대학교와 산업자원부·울산광역시 지원 네트워크 기반 자동화연구센터의 지원에 의한 것입니다.

참 고 문 헌

- [1] Z.L. Yin, W.S. Liu, "A Novel FPGA-based Method to Design the Merging Unit Following IEC61850," POWERCON Conf., pp. 260-263, 2004.
- [2] A. Apostolov, F. Auperrian, R. Passet, "IEC61850 Process Bus based Distributed Waveform Recording," IEEE PES 2006 Conf., CD-ROM, June. 2006.
- [3] B. Vandiver, A. Apostolov, "Testing of IEC61850 Sampled Analog Values based Functions," Cigre 2006 Conf., B5-111, 2006.
- [4] F. Engler, B. Kruimer, K. Schwarz, "IEC61850 based Digital Communication as Interface to the Primary Equipment," Cigre 2004 Conf., B3-205, 2004.
- [5] International Standard IEC61850-9-1, Communication networks and systems in substation - Part 9-1: Specific Communication System Mapping(SCSM) - Sampled values over serial unidirectional multidrop point-to-point link, First edition 2003-05.
- [6] International Standard IEC61850-9-2, Communication networks and systems in substation - Part 9-2: Specific Communication System Mapping(SCSM) - Sampled values over ISO/IEC 8802-3, First edition 2003-05.

저 자 소 개



김 관 수 (金官洙)

1975년 3월 4일생. 2001년 울산대 제어계측공학과 졸업(학사). 2003년 동 대학원 제어계측공학과 졸업(석사). 2003~현재 동 대학원 전기전자정보시스템공학과 박사과정

Tel : 052-259-1280

Fax : 052-259-1197

E-mail : gskim94@mail.ulsan.ac.kr



이 흥 희 (李弘熙)

1957년 10월 15일생. 1980년 서울대 공대 전기공학과 졸업(학사). 1982년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1990년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1994년~1995년 Texas A&M 방문교수. 현재 울산대 전기전자정보시스템공학부 교수. 울산대 네트워크 기반 자동화연구센터 (RIC) 소장.

Tel : 052-259-1195

Fax : 052-259-1197

E-mail : hhlee@mail.ulsan.ac.kr



김 병 진 (金炳鎭)

1970년 6월 26日生. 1994년 숭실대학교 전기공학과 졸업. 1996년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2001년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 현대중공업(주) 기계전기연구소 책임연구원

Tel : 031-289-5223

Fax : 031-289-5115

E-mail : itisme@hhi.co.kr