

통합 측정 소프트웨어에 의한 고정밀 동기 측정 (High-precision Synchronous Measurement)

이와노 켄지 (Kenji Iwano)^{*1}

요코히라 칸지 (Kanji Yokohira)^{*2}

사쿠우에 타카히로 (Takahiro Sakaue)^{*3}

모터와 인버터를 평가하려면 전력 측정기(power meters), 오실로스코프, 데이터 수집 기록계(data acquisition recorders)와 같은 여러 측정 기기에서 데이터를 수집하고, 데이터 간 관계를 검토해야 합니다. Yokogawa의 IS8000 통합 소프트웨어 플랫폼은 다양한 유형의 그런 데이터를 수집하여 동일한 시간 축에 이를 표시합니다. Yokogawa는 또한 IEEE1588에 명시된 시간 동기화 표준인 정밀 시각 프로토콜(precision time protocol, PTP)을 지원하고 샘플링 클럭 동기화(sampling clock synchronization)를 달성하는 전용 측정기 WT5000, DL950 및 DLM5000을 개발했습니다.

WT5000, DL950 및 DLM5000과 함께 IS8000을 실행하면, 측정 데이터의 수집 및 고정밀 동기화에서부터 분석 및 보고서 생성에 이르기까지 원활한 작업이 가능하며, 모터 및 인버터를 효율적으로 평가하는 데 필요한 시스템 구성 및 데이터 분석을 제공합니다

도입

탄소 사회(decarbonized society)실현을 위해, 전기차 (EVs), 풍력 및 태양광 등 재생 에너지, 차세대 전력망 등이 많은 주목을 받고 있습니다. EV가 보급됨에 따라, 인버터 제어 모터의 전력 소비를 줄이는 것이 점점 더 중요해지고 있습니다. EV 모터의 작동 상태는 시시각각 변하기 때문에, 모터 시동 시와 같이 일시적 전력 소비는 물론, 정상 상태의 전력 소비량도 이전 보다 더 정밀하게 측정되어야 합니다.

그림 1은 인버터 제어 모터 시스템을 보여줍니다. 전류 및 전압 전환 파형, 자동차 직렬 버스, 그리고 전력, 온도, 왜곡(distortion), 토크와 같은 다중 파라미터가 동시에 분석되어야 합니다. 따라서 다양

한 측정 기기를 상호 연결하여 분석을 위한 데이터를 동시에 획득하는 통합 측정(integrated measurements)이 요구됩니다.

인버터 제어 모터 시스템 개발을 위한 솔루션 기반 세분화

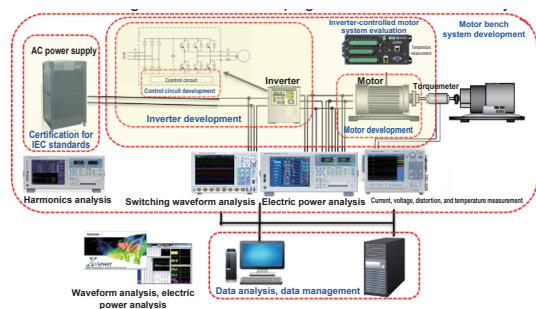


그림1 인버터 제어 모터 시스템의 통합 측정

*1 Yokogawa Test & Measurement Corporation

탄소 사업본부 엔지니어링부

소프트웨어 개발 1그룹

*2 Yokogawa Test & Measurement Corporation

탄소 사업본부 엔지니어링부

소프트웨어 개발 2그룹

*3 Yokogawa Test & Measurement Corporation

탄소 사업본부 엔지니어링부

하드웨어 개발 1그룹

그림 2는 인버터 제어 모터 시스템의 측정 예를 보여줍니다. WT5000 정밀 전력 분석기, 플러그인 모듈이 있는 DL950 Scope Corder Data Acquisition Recorder 및 DLM5000 혼합 신호 오실로스코프가 측정 시스템에 연결됩니다.

이 시스템에서, WT5000은 배터리에서 인버터로 입력되는 전력, 인버터에서 모터로 출력되는 전력 및 토크/회전 속도 센서의 출력을 측정합니다. 모터 및 인버터의 효율은 정확도가 보장된 WT5000의 전력 값과 토크/회전 속도 센서의 출력을 사용하여 정밀하게 평가됩니다.

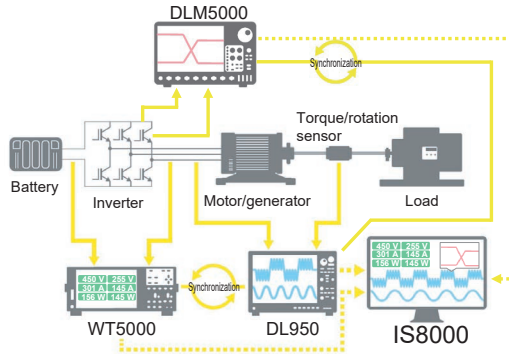


그림2 모터 및 인버터 분석

DL950은 인버터에서 모터로 출력되는 전압 및 전류, 그리고 모터의 토크와 회전 각도를 측정합니다. DL950에서 나오는 고속 샘플링 파형 데이터는 인버터의 출력 전압 및 전류와 모터의 토크 및 회전 각도 간 상세한 관계를 검토하는 데 도움이 됩니다.

DLM5000은 인버터 전환으로 인해 급속히 상승하고 하강하는 전압 파형을 측정합니다.

단일 플랫폼에 모듈을 설치하여 전력, 전압, 전류, 토크, 회전 각도를 동시에 측정할 수 있는 통합 측정 환경은 이미 시장에서 구할 수 있습니다. 그러나 위에서 언급한 바와 같이 전용 측정 기기인 WT5000과 DL950은 정확성이 보장된 전력을 획득하고 고속 샘플링 파형을 측정하는 데 더 나은 기능을 제공합니다. 따라서 단일 소프트웨어 플랫폼에서 전용 측정 기기를 통해 수집된 고정밀 데이터를 통합 분석하는 것은 인버터 제어 모터 시스템을 평가하는 가장 효과적인 방법입니다.

본 글에서는 통합 측정을 달성하기 위해 해결해야 할 문제점을 나열하고, 고정밀 동기화를 위한 하드웨어 시스템, 통합 측정 소프트웨어 플랫폼을 통한 데이터 수집, 수집된 데이터를 동시에 표시하는 방법 등을 설명합니다.

통합 측정을 위해 해결해야 할 문제들

전용 측정 기기를 이용하여 통합 측정을 하기 위해서는 다음과 같은 문제들이 해결되어야 합니다.

(1) 측정 기기 간 시간 동기화 정밀도 낮음

전기 마일리지 측정과 같은 EV 개발 상의 모터를 평가하기 위해서는 끊임없이 변화하는 전압 파형과 전력의 순간적(transient)측정을 수행해야 합니다.

그림 3은 전압 파형 및 전력 통합 측정의 예를 보여줍니다. 시간 동기화 정밀도가 낮으면 동일한 시점의 데이터 세트가 실제로는 서로 다른 측정 간격에 해당합니다. 이 경우, PC에 데이터를 통합해도 파형과 전력 사이에 연결이 정확하지 않기 때문에 정확한 분석이 보장되지 않습니다.

기존의 시간 동기화 방법, 즉 네트워크 시간 프로토콜(NTP)은 동기화 정밀도가 몇 밀리 초(milliseconds)입니다. WT5000의 데이터 업데이트 최대 주기는 10ms이기 때문에, 서로 다른 계측기의 측정 간격 간 오정렬(misalignment)이 수십 %에 달할 수 있습니다.

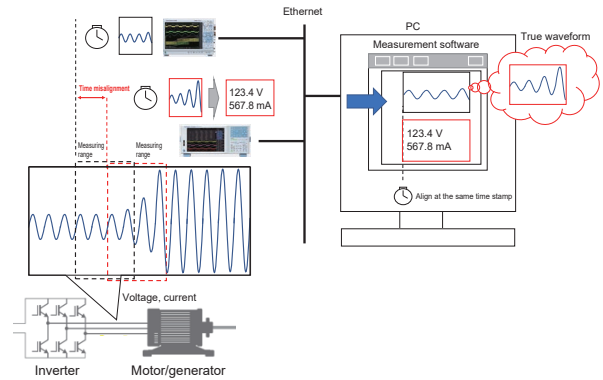


그림3 시간 동기화 정밀도가 낮은 통합 측정

(2) 관계성 비교의 어려움

그림 4는 전력 분석기와 파형 측정 기기에 전용 소프트웨어 프로그램이 있음을 보여줍니다. 각 소프트웨어는 전력 값과 파형 데이터를 수집하여 측정된 값을 화면에 표시합니다.

하지만 전력 값이 비정상적으로 변동하는 동안 파형 간 관계를 분석하기 위해서는 전력 값과 파형이 동일한 시간 축에서 비교되어야 합니다.

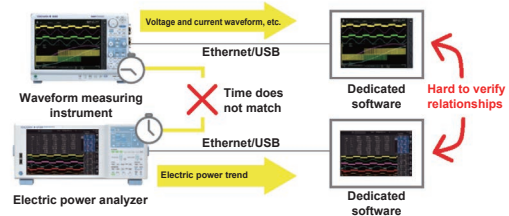


그림4 전용 소프트웨어를 이용한 분석

(3) 서로 다른 측정 기기의 파형 위치 정렬 어려움

일반적으로 사용되는 스프레드시트 소프트웨어 프로그램은 전력

분석기와 파형 측정기의 두 데이터 세트를 병렬로 표시할 수 있습니다.

그러나 측정 기기의 측정 시작 시간이 정확히 같지 않은 경우, 두 데이터 세트를 단순히 시간 순서대로 정렬한다고 해서 두 데이터 세트의 동기화를 보장하는 것은 아닙니다.

전력의 데이터 업데이트 주기는 일반적으로 10ms(100S/s)인 반면, 파형의 샘플링 속도는 일반적으로 10MS/s이기 때문에 파형의 타이밍을 비정상적 전력 값에 수동으로 정확하게 조정하는 것은 매우 어렵습니다.

시간 동기화 기능

이러한 시간 동기화 정밀도 문제를 해결하기 위해 Yokogawa는 IEEE1588⁽¹⁾을 기반으로 DL950, WT5000, DLM5000 간 시간을 동기화하는 기능을 개발하였습니다. 고정밀 시간 동기화를 위한 원리 및 하드웨어 구성, 그리고 동기화 평가 결과가 아래에 설명되어 있습니다.

IEEE1588을 기반으로 한 시간 동기화

IEEE1588은 미국에 기반을 둔 전기 전자 공학자 협회(Institute of Electrical and Electronics Engineers, IEEE)가 정의한 LAN(Local Area Network)에 연결된 시간 동기화 장치에 대한 표준입니다. IEEE1588에 명시된 정밀 시간 프로토콜(precision time protocol, PTP)은 클럭을 동기화 하는 데 사용되는 프로토콜입니다. PTP는 클럭 동기화를 위한 기존의 프로토콜인 NTP에 비해 높은 클럭 정밀도를 달성합니다. NTP의 정밀도는 몇 10ms인 반면, PTP의 정밀도는 10 μ s미만입니다. 따라서 PTP는 NTP에 비해 1,000배 이상 정확합니다. Yokogawa의 측정 기기는 2008년에 발표된 PTP 버전 2.0을 준수합니다.

PTP 동기화 원리

그림 5는 IEEE1588에 명시된 PTP를 기반으로 시간 동기화를 보정하는 개념에 대해 보여줍니다. Master는 PTP 동기화가 이루어지는 시간을 전달하고, Slave는 PTP 동기화를 통해 자신의 클럭을 Master에 맞춰 조정합니다.

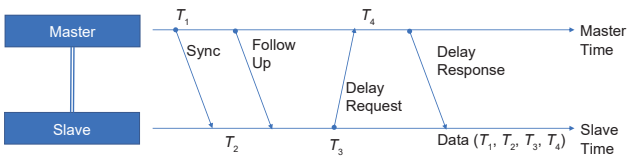


그림5 PTP에 의한 시간 보정

LAN에서 PTP에 대한 Master와 Slave가 결정되면, 클럭을 동기화하기 위해 이들 사이에 메시지 교환이 시작됩니다. Slave는 Sync, Follow Up, Delay Request, Delay Response 메시지 교환을 통해 메시지 송수신 시간 T1, T2, T3, T4를 수집합니다. 방정식(1)에 따라 T1에서 T4까지의 시간차 ΔT 를 계산하여, Slave의 클럭을 수정하고 이를 Master의 클럭과 동기화합니다.

$$\Delta T = \frac{(T_2 - T_1) - (T_4 - T_3)}{2} \dots (1)$$

기존의 NTP 동기화에서는 클럭 동기화를 위한 메시지 수신에 대한 처리가 소프트웨어에 의해 수행되기 때문에 처리 지연이 불가피합니다. 반면에 PTP 보정은 메시지를 송수신하는 T1 ~ T4시간과 하드웨어에 의한 후속 산술 처리를 감지하여 처리 지연을 줄이고 클럭의 고정밀 동기화를 달성합니다.

PTP 동기화 구조

PTP 시간 동기화를 따르기 위해 Yokogawa의 측정 기기 하드웨어를 사용하여 새로운 동기화 기능이 개발되었습니다. 그림 6은 하드웨어 동기화의 블록 다이어그램을 보여줍니다.

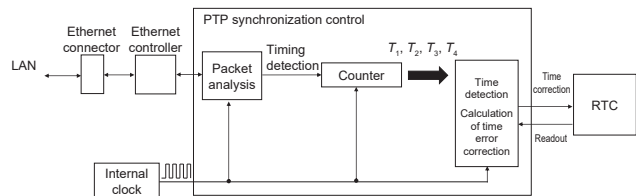


그림6 PTP 동기화 블록

Slave가 작동 중일 때, 카운터 데이터가 저장되고, PTP 메시지를 주고받는 시점에 송수신 시간 T1 ~ T4가 획득됩니다. 시간 보정 값은 방정식 (1)을 사용하여 T1 ~ T4값을 계산하고, 실시간 클럭(RTC)을 보정하여 측정 기기의 클럭을 Master의 클럭과 동기화합니다. 보정 시 시간 편차에 대한 공차 임계 값은 기기마다 다릅니다. 그러므로 각 측정 기기에 적합한 임계 값이 설정됩니다. Master에서 동기화 메시지를 보내는 주기는 일반적으로 약 1초입니다. 획득된 메시지 송수신 시간을 기준으로 RTC를 주기적으로 보정하여 동기화를 유지함으로써, 보정 값이 임계 값을 초과하지 않도록 합니다.

샘플링 클럭 동기화 방법

만일 측정 기기의 내부 클럭 주파수가 Master와 동기화되지 않은 경우, 시간은 동기 작동에서 다음 주기 보정까지의 시간 동안 Master와 Slave 내부 클럭 간 편차의 양만큼 차이가 납니다. 내부 클럭이 분산되어 측정용 샘플링 클럭으로 사용되기 때문에, 이 편차가 측정 값의 편차가 됩니다. 더 높은 정밀도의 동기화를 달성하기 위해 파형 측정 기기의 샘플링 클럭을 내부 클럭과 Master 클럭 간 자동으로 전환하는 새로운 하드웨어 구성이 개발되었습니다. 그림 7은 클럭 동기화의 블록 다이어그램을 보여줍니다.

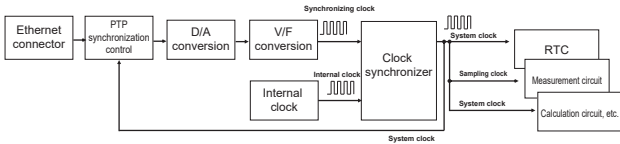


그림7 클럭 동기화 블록

PTP 동기화 제어 블록에 의해 계산된 보정 값은 DA 컨버터에 의해 변환되고, 최종적으로 가변 발진기(variable oscillator)를 통해 동기화 클럭으로 변환됩니다. 이 동기화 클럭은 클럭 동기화 장치에 입력되며, 이 장치는 동기화를 달성하기 위해 샘플링 클럭을 내부 클럭에서 동기화 클럭으로 전환합니다. 이렇게 동기화된 클럭은 RTC 및 제어 회로의 시스템 클럭과 측정을 위한 샘플링 클럭에 대해 분배되어 마스터 클럭과 샘플링 클럭 간 동기화를 달성합니다. 내부 클럭과 동기화 클럭 간의 전환은 즉시 전환되는 대신에 클럭 동기화 장치에 설정된 시간 상수를 기준으로 수행됩니다.

PTP Master 기능

PTP 시간 동기화를 사용하여 고정밀 측정 환경을 구축하기 위해서는 측정 기기 이외에 고가의 PTP Master 기기가 필요합니다. 이러한 환경을 더욱 가능하게 만들기 위해 Yokogawa는 DL950을 PTP Master로 사용할 수 있도록 하는 선택적 PTP Master 기능을 제공합니다. 이더넷 케이블을 통해 DL950, WT5000, DLM5000을 연결하거나, PTP 호환 허브를 통해 LAN 연결함으로써 고가의 PTP Master 계측기를 도입하지 않고 DL950을 Master로 사용하여 DLM5000 및 WT5000을 동기화할 수 있습니다.

PTP 동기화 성능

DL950을 표준으로 WT5000과 DLM5000의 시간 동기화 성능 측정 결과는 아래에 나타난 바와 같습니다. 이 측정에서 DL950은 PTP 시간 동기화를 위한 Master로 사용되며, WT5000과 DLM5000은 시간 동기화될 Slave입니다. 외부 신호 발생기에서 나오는 펄스 신호는 각 측정 장치에 분배 및 입력되고, 측정 데이터의 타임 스탬프가 비교됩니다. 그림 8은 측정에 대한 블록 다이어그램을 보여주며, 그림 9 및 10에는 평가 결과가 나와 있습니다.

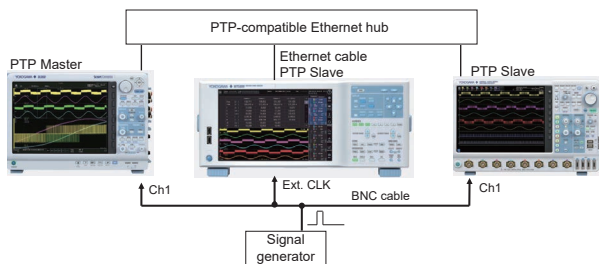


그림8 동기화 평가의 블록 다이어그램

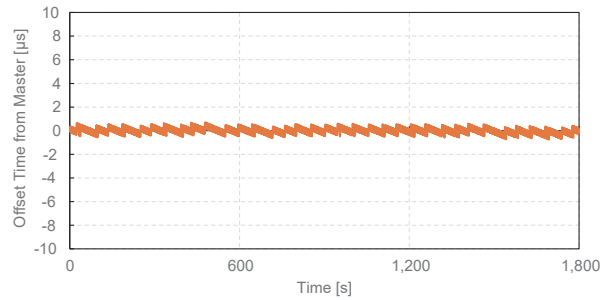


그림9 DL950을 기준으로 한 WT5000의 동기화 평가 결과
(수직축의 상한 및 하한이 제품 사양을 나타냄)

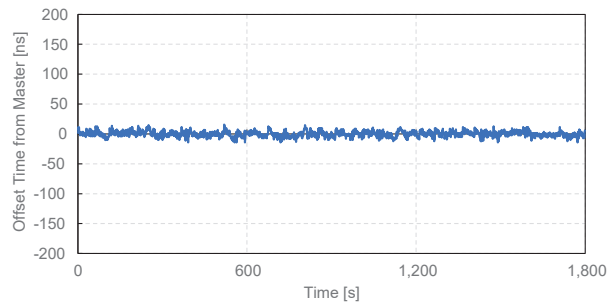


그림10 DL950을 기준으로 한 DLM5000의 동기화 평가 결과
(수직축의 상한 및 하한이 제품 사양을 나타냄)

그림 9 및 10은 동기화 정밀도에 대한 사양, 즉 DL950과 WT5000에 대해 $\pm 10 \mu s$, DL950과 DLM5000에 대해 $\pm 200 ns$ 가 충분한 여유를 가지고 충족됨을 보여줍니다. 이러한 정밀도의 시간 동기화는 기존 NTP의 10ms에 비해 1,000배 이상 우수합니다.

GSP 시간 분배

원격 제조 시설 및 풍력 발전 시설과 같이 LAN 지역에서 멀리 떨어진 곳에 위치한 측정 기기를 동기화하고 측정 결과를 비교할 경우, 연, 월, 일, 시, 분, 초의 측정 기기 시간 정보를 Temps Atomique International(TAI) 또는 Temps Universel Coordonne (UTC)와 같은 국제 표준 시간(International Standard Time)과 동기화하면 더욱 편리할 것입니다. GPS 시간은 UTC와 상관 관계가 있으며, 충분히 정확합니다. 또한 위치 정보는 GPS 시간과 동시에 획득됩니다. 따라서 GPS 시간은 원격 위치에서 동기화된 측정을 위한 통합 환경을 구축하는 데 편리합니다.

DL950은 이전 모델의 기능인 GPS 위치 정보 및 GPS 시간 동기화를 획득하는 것 이외에 PTP Master 기능을 기반으로 한 GPS 시간을 제공할 수 있습니다.

PTP Master 기능이 있는 DL950에 GPS 옵션과 GPS 액세스리 유닛을 추가하면 PTP를 사용하여 GPS 시간을 전달하고, 고도로 정밀하고 정확한 GPS 시간에 동기화된 측정 환경을 구축할 수 있습니다.

또한 GPS 신호가 손실된다 하더라도 DL950은 Holdover 기능이 있어서 일단 GPS 시간에 동기화된 시간 보정을 유지하면서 측정을 계속할 수 있게 해줍니다.

통합 측정 소프트웨어를 사용한 분석

각 측정 기기에는 자체적인 전용 소프트웨어가 있습니다. 따라서 여러 계측기에서 데이터 수집 및 분석을 일괄적으로 수행하는 것은 어렵습니다. 이 문제를 해결하기 위해 Yokogawa는 IS8000 통합 소프트웨어 플랫폼을 개발했습니다.

IS8000에는 여러 측정 기기의 데이터를 표시하는 두 가지 방법이 있습니다. 하나는 PC에 있는 각 측정 기기의 여러 파일을 저장하고, 여러 파형 데이터를 읽어서 오프라인으로 이를 표시하는 것입니다. 다른 하나는 각 측정 기기에 연결하여 온라인으로 데이터를 수집하고, 이를 실시간으로 표시하는 것입니다. 두 가지 방법 모두 아래에 설명되어 있습니다.

다중 파형의 오프라인 표시

IS8000은 WT5000, DL950 및 DLM5000의 파일 형식을 지원하기 때문에, 오프라인으로 판독이 가능합니다. 따라서 시간 동기화된 여러 측정 기기가 기록한 파형들을 동일한 시간 축에 쉽게 표시할 수 있습니다.

다중 측정 기기로부터 동시에 데이터 수집

계측기의 온라인 연결을 통해 여러 측정 기기로부터 동시에 데이터를 수집할 수 있습니다. 측정 기기의 데이터를 통합하여 여러 측정 기기를 단일 측정 기기의 다중 채널인 것처럼 처리할 수 있어서, 채널 간 파형 파라미터를 계산할 수 있습니다. 파형 표시 및 분석 결과 보고서의 출력도 가능하게 되었습니다.

온라인 데이터 수집 실현

온라인 데이터 수집에는 데이터 전송 속도 및 수신된 데이터 저장 성능 등의 문제가 있습니다. 일부 파형 측정 기기의 샘플링 속도는 약 10MS/s입니다. 따라서 엄청난 양의 데이터가 다중 채널로부터 수신되므로 적절한 전송 속도가 필요합니다. 그러한 고속 데이터 전송을 실현하기 위해 DL950 및 IS8000은 10GB 이더넷 통신을 위한 고속 LAN 계측기 프로토콜(HiSLIP)⁽²⁾을 지원합니다. HiSLIP는 이전의 VXI-11 프로토콜을 대체하기 위해 IVI Foundation에서 지정한 TCP/IP 기반 측정 기기 제어용 프로토콜입니다. IS8000의 데이터 저장 프로세스에서는 대용량 데이터 처리와 관련된 쓰레기 수집(garbage collection)으로 인한 프로세스 중단을 방지하기 위해 데이터 수신 및 변환 섹션이 별도로 수행됩니다. 따라서 10 GB이더넷 연결을 통해 10MS/s 파형의 16개 채널(320 MB/s)의 동시 데이터 수집이 실현되었습니다. 다중 파형 측정 기기가 연결되어 있는 경우에도 프로세스를 별도로 생성하여 동시에 데이터 수집이 가능합니다.

데이터 저장 형식

자동화 및 측정 시스템 표준화 협회(Association for Standardization of Automation and Measuring Systems, ASAM) 표준인 측정 데이터 형식(MDF)은 IS8000에서 획득한 데이터를 다른 소프트웨어로 읽을 수 있도록 파형 데이터를 저장하는 형식으로 채택되었습니다.

동기화된 시간 축을 갖춘 디스플레이 방법

별도의 측정 기기에서 획득한 데이터를 동일한 시간 축에 표시하는 데 대한 어려움을 해결하기 위해, 절대 시간 축에 파형을 정렬하고 표시하는 IS8000 기능이 개발되었습니다. WT5000 전력 분석기에서 획득한 전력과 DL950 데이터 수집 기록계에서 획득한 전압 및 전류 파형을 동기적으로 표시하는 방법이 아래에 설명되어 있습니다. IS8000을 DL950에 연결하여 데이터를 직접 수집하기 위한 전송 데이터의 형식도 설명합니다.

절대 시간 축에 디스플레이 정렬

인버터 제어 모터 시스템을 평가하는 데에는 몇 10 μ s의 동기와 정밀도가 필요하며, 이에 따라 수동으로 파형을 정렬하기는 어렵습니다. 따라서 WT5000 및 DL950에서 수집한 데이터에 첨부된 절대 시간에 대한 정보를 사용하여 파형을 정렬합니다.

그림 11은 전력 및 파형 데이터의 디스플레이를 절대 시간 축에 정렬하는 예를 보여줍니다.

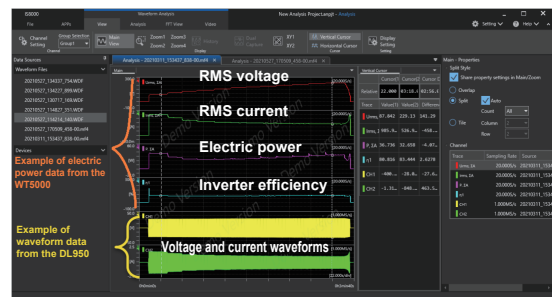


그림11 절대 시간 축에 정렬된 파형의 예

온라인 연결을 위한 데이터 형식

IS8000은 DL950에서 온라인으로 데이터를 수집할 때, DL950에 래치(latch) 명령을 내리고 DL950으로부터 데이터를 수집하는 작업을 간격을 두고 반복합니다. 그림 12는 데이터 수집 시퀀스를 보여줍니다.

이 순서로 래치 명령과 이전 래치 명령 사이의 데이터가 전달됩니다. 따라서 두 래치 명령 사이의 간격이 길면 측정 기기의 메모리가 넘칠 수 있습니다. IS8000의 작동 시 래치 명령과 데이터 수집은 이러한 오버플로(overflowing)를 초래하지 않는 시간 간격으로 반복되어야 합니다.

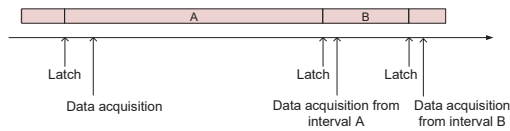


그림12 데이터 수집 시퀀스

전달된 데이터는 여러 채널을 포함하며, 헤더 정보는 각 채널의 전방에 위치해 있습니다. 그림 13은 전달된 데이터의 내용을 보여줍니다. 헤더 정보에는 각 채널의 전방 데이터(front data) 시간이 포함됩니다.

Ch1		Ch2		Ch3	
Header	ACQ data	Header	ACQ data	Header	ACQ data

그림13 전달된 데이터의 내용

이러한 데이터를 통해 각 포인트의 절대 시간을 계산하고 절대 시간 축에 파형을 표시할 수 있습니다. 그림 14는 데이터 전방에 있는 헤더 정보의 내용을 보여줍니다.

Header	Main channel number (4 bytes)
	Subchannel number (4 bytes)
	Data type (4 bytes)
	Reservation (4 bytes)
	Time of the first data (8 bytes) Unix time (4 bytes) + Fraction less than 1 s (4 bytes)
	Data size (8 bytes)
ACQ data	

그림14 헤더 정보

IS8000 또한 유사한 방법으로 WT5000으로부터 온라인 데이터를 수집합니다.

고정밀 통합 측정 환경의 적용

위에서 설명한 새롭게 개발된 기능은 인버터 제어 모터 시스템을 평가할 때 단일 소프트웨어 플랫폼에서 고정밀 전용 측정 기기의 데이터를 분석할 수 있는 통합 측정 환경을 실현할 수 있게 해줍니다. 그림 15는 고정밀 통합 측정으로 수집한 파형 디스플레이의 예를 보여줍니다.

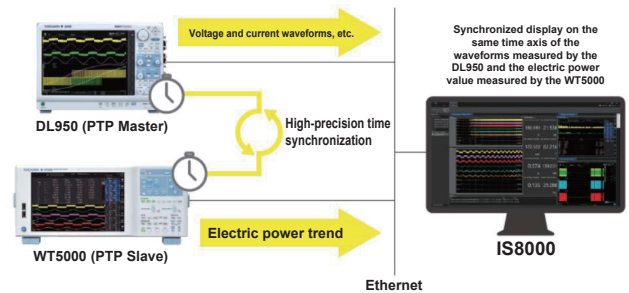


그림15 고정밀 시간 동기화로 획득한 파형을 동일한 시간 축에 표시함

결론

IEEE1588에 명시된 PTP 시간 동기화 프로토콜을 지원하여 고정밀 시간 동기화를 실현하기 위해 여러 측정 기기의 클럭이 동기화되었습니다. 또한 IS8000은 여러 측정 기기에서 동시에 데이터 수집이 가능하도록 개발되었습니다. 파형을 동일한 시간 축에 표시하는 새로운 기능이 IS8000에 설치되어, 여러 측정 기기로부터 데이터를 수집하여 데이터 세트 간 관계를 분석하고 보고서를 생성하는 작업을 원활하게 할 수 있게 되었습니다. 이에 따라 모터 및 인버터를 효율적으로 평가하는 데 필요한 시스템 구성 및 데이터 분석이 가능한 통합 측정 환경이 달성되었습니다.

또한 IS8000은 고속 카메라를 통해 영상 및 파형을 동시에 획득할 수 있도록 지원하기 때문에, 모터 동작을 시각적으로 확인할 수 있습니다. 향후에는 열화상 촬영에 의한 온도 분포(thermographic temperature distribution)와 같은 훨씬 더 많은 데이터를 마찬가지로 방법으로 동기화하여, 다양한 종류의 데이터 간 관계를 쉽게 검토할 수 있게 될 것입니다.

이번에 개발된 통합 측정 환경은 탈 탄소 사회 구현을 위한 모터 전력 소비 감소 문제를 해결하는 데 도움이 될 것으로 기대됩니다.

참고문헌

- (1) IEEE SA, "IEEE Standard for a Precision Clock Synchronization Protocol for Networked Measurement and Control Systems," in IEEE std 1588-2008 (Revision of IEEE std 1588-2002), 24 July 2008, <https://standards.ieee.org/ieee/1588/4355/>, (accessed 2022-06-01)
- (2) IVI-6.1: High-Speed LAN Instrument Protocol (HiSLIP) v2.0 April 23, 2020, <https://www.ivifoundation.org/specifications/default.aspx>, (accessed 2022-06-01)

* All company names, organization names, product names, and logos that appear in this paper are either trademarks or registered trademarks of Yokogawa Electric Corporation or their respective holders.