

EtherCAT을 활용한 병렬모듈의 PWM 동기화 및 데이터 전송 방법

박종형, 정병환, 김성주

(주) 효성 중공업연구소

PWM synchronization and data transmission method of parallel module using EtherCAT

Park Jong Hyung, Jeong Byung Hwan, Kim Sung Joo
HYOSUNG CORPORATION Power & Industrial Systems R&D Center

ABSTRACT

고압 대용량 전력변환장치의 모듈화 추세에 따라 제어 구조 역시 하나의 Master 제어기가 다수의 Slave와 연계하여 시스템을 운용하는 형태가 요구되고 있다. 이에 따라 동기화 전략 및 통신 구조에 대한 방법론이 중요한 분야로 자리 잡는 상황이며 여러 가지 동기화 방법론들이 제시되고 있다. 본 논문에서는 대표적인 산업용 통신 방식인 EtherCAT을 이용하여 동기화 및 양방향 통신에 활용한 사례를 소개하고자 한다. EtherCAT의 장단점부터 사양 및 통신 구현 방식 등을 소개한 후 실제 PWM 동기화 및 데이터 전송 방법을 RTDS를 활용하여 구현한 사례 소개를 통해 향후 나아갈 방향을 고찰하도록 한다.

1. 서 론

제품 컨셉 설계 시 많이 고민하는 부분이며, 선택해야 하는 부분을 꼽자면 Trade-off 관계에 있는 SW와 HW의 간략화 부분이라고 할 수 있다. 모든 부분에서 제품을 간략하고 견고하게 설계할 수 있으면 좋으나 매번 HW와 SW는 어느 한 부분을 간략화하게 되면 다른 부분이 복잡하게 되는 문제에 직면하게 된다.

모듈형 제어기의 설계에서도 동기화 구현 부분에서 이러한 문제로 선택이 필요하다. 즉, Master와 Slave 간의 통신 및 동기화를 위해 시스템의 구조, 역할 및 요구사항에 따라 적절한 방식으로 선택하여 설계를 진행할 수 있다.^[1] 그림 1은 모듈형 시스템의 HW 적인 구조를 간략화시키기 위한 제어 시스템 구성 방법과 SW 적인 구조를 간략화시키기 위한 방식의 제어 구조를 보인다. (a)의 경우는 지령 및 동기화 신호를 하나의 통신라인으로 전송하도록 하는 방법으로, Master와 각 Slave 간에는 단 2가닥의 통신라인만이 필요하다. 이러한 방식을 구현하기 위해서는 통신과 동기화 신호를 결합하고 분리하는 과정의 내부적 Logic이 구현되어야 한다. 이와 반대로 (b)의 경우는 지령을 전달하는 통신과 동기화 신호를 HW 적으로 분리한 경우로 별도의 Logic은 필요하지 않지만, 범용의 통신 방식을 사용할 수 있도록 통신 포트를 구성해야 한다.

본 논문에서는 위와 같은 모듈형 제어기의 구성 방식 중 (b) 방식의 구조를 채택하고 범용 통신 방식으로서 EtherCAT을 적용한 시스템에 대해 출력 성능 개선을 확인한 시험 사례를 소개하고자 한다.

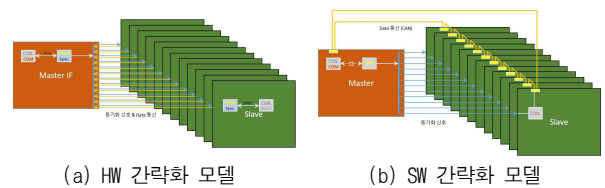


그림 1 모듈형 제어기의 구성 방식

Fig. 1 Configuration method of modular controller

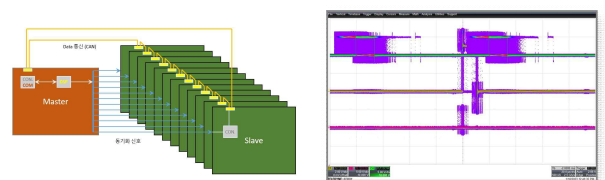
2. 통신 방식에 따른 동기화 구현 비교

2.1 CAN을 이용한 동기화

CAN은 병렬기기 간 통신으로 대표적인 방식이다. 그 신뢰성과 편리성으로 이미 차량 등에 광범위하게 사용되고 있으며, 태양광 컨버터 및 인버터의 모듈화에 따라 전력전자 분야에서도 예전부터 현재에 이르기까지 꾸준히 활용되고 있다.

CAN 통신을 사용한 동기화는 통신 인터럽트를 감지하여 동기신호를 발생하도록 하여 비교적 단순하게 구현할 수 있다.^[2] 그러나 이러한 방식은 Master 에서 보내는 통신의 주기성에 큰 영향을 받는다. Master 관점에서 통신은 비교적 우선순위를 낮게 설정하기 때문에 그림 2에서와같이 통신이 시작되는 시점을 Slave가 동기신호로 인지하여 제어를 수행하게 되면 한 번씩 동기신호가 크게 흔들릴 수 있는 여지가 있으며, 데이터 형태에 따라 Master 에서의 전송 주기가 변경될 수 있어서 약간의 Jitter가 있을 수밖에 없다.

그림 2는 10분 동안의 동기화 신호를 잔상으로 남겨 관찰한 파형이다. 통신과 동기화 신호가 적정 범위 내에서 신호가 연동되는 것을 알 수 있고, 동기화의 Jitter는 10us 이내이다.



(a) 통신, 동기신호 연동 구조

(b) 동기화 신호 관찰

그림 2 CAN 통신을 이용한 동기화 신호 발생

Fig. 2 Synchronization signal generation using CAN

1.2 EtherCAT을 이용한 동기화

EtherCAT을 활용한 모듈형 시스템 및 동기화 구현 사례에 대한 소개에 앞서 EtherCAT의 사양에 대한 전반적인 내용을 언급하자면 다음과 같다.

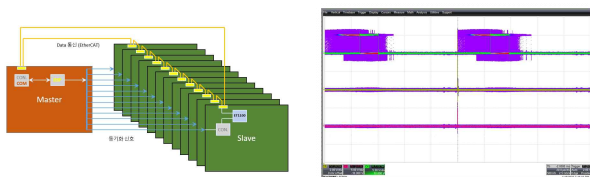
EtherCAT은 산업용 통신 프로토콜로서 속도 면에서 CAN과 비교하면 100배 이상의 속도를 가지고 있고, SPI 통신과 비교해서도 2배 이상 빠르다. FPGA 기반의 통신과 비교해서는 1/10 수준에 그치지만 간단하게 통신의 이중화가 가능하여 신뢰성 면에서는 FPGA보다 우수하다고 할 수 있다.

프로토콜은 표준 Ethernet Frame을 기반으로 하여 하나의 Frame에 RX와 TX가 함께 포함되는 부분이 추가되었다. 동기화 신호를 Slave에서 제어할 수 있으며, 동기화 이벤트는 다음의 세 가지가 있다. 동기화를 하지 않는 Free Run, EtherCAT Frame이 수신되었을 때 발생하는 SM(SyncManager) Event, 분산된 모듈의 Clock에 맞춰 발생하는 DC(Distributed Clock) Sync. Event가 있다.

앞서 언급한 SW간략화 모델 정책 채택 시 통신으로 CAN 대신 EtherCAT을 이용하게 되면 통신과 함께 동기화 설정을 추가로 세팅할 수 있어서 HW 부분에 부담을 덜 수 있고, 동기화 구현에 유리하다. 이러한 EtherCAT을 사용하기 위해서는 Beckhoff사의 ET1100 IC를 사용하게 되고 무료로 제공되는 TwinCAT 프로그램을 사용하여 설정할 수 있다.

Master로부터 전달받은 신호는 ET1100을 통해 Sync. 신호를 전달하게 되는데 SM Event로 설정되어있는 경우 CAN 통신과 동일한 동작을 하게 되어 데이터용 인터럽트 신호만 전달하게 되며, 이 때는 동기화 신호에 Jitter가 발생하게 된다. DC Sync. Event로 설정되어야 Jitter를 최소화 할 수 있는데, 이는 연결된 Slave 개수와 통신 속도 등에 맞추어 제어가 동시에 수행될 수 있도록 각 모듈의 ET1100 IC 마다 Clock을 적용하여 동기화 신호를 출력하도록 초기 부팅 시에 자동으로 설정하기 때문이다. 이에 모든 Slave 모듈은 이 동기화 신호에 맞추어 동일한 시점에서 스위칭을 수행할 수 있다.

그림 3은 EtherCAT을 사용하고 DC Sync. Event로 동작하도록 설정하여 동기화 신호를 측정한 파형이다. 앞서의 CAN을 사용한 신호 파형과 비교해서 Jitter가 현저히 줄어든 것을 확인할 수 있다.



(a) 통신, 동기신호 연동 구조 (b) 동기화 신호 관찰

그림 3 EtherCAT을 사용한 동기화 신호 발생

Fig. 3 Synchronization signal generation using EtherCAT

1.3 EtherCAT 동기화를 적용한 시험 및 비교

당사에서는 도시철도용 SST 제품 개발에 위와 같은 모델의 제어 시스템을 적용하였고, EtherCAT을 활용하여 동기화 구현을 지속적으로 업그레이드 하고 있다. 그림 4는 이러한 개발과 관련하여 진행한 시험으로 CAN 동기화와 EtherCAT 동기화를 각각 적용하여 시험을 진행한 파형을 비교한 파형이다.

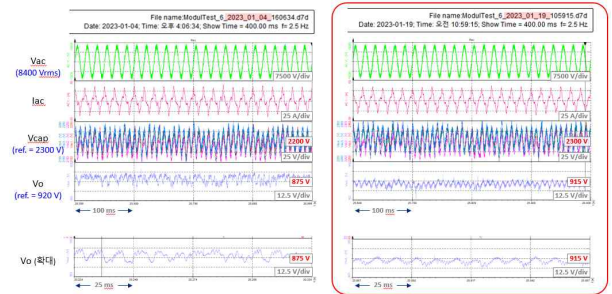


그림 4 CAN과 EtherCAT 동기화 정책을 각각 적용한 도시철도용 SST 6직렬 시험 파형

Fig. 4 SST 6-series test waveform for urban railways applying CAN and EtherCAT synchronization policies respectively

CAN 방식을 사용한 외곽 파형의 경우 앞서 분석한 바와 같이 모듈별로 정확한 동기가 이루어지지 않고 Jitter의 발생으로 병렬모듈의 출력 전압에 노이즈와 같은 비주기성의 전압 왜곡이 관찰되는 반면 오른 쪽의 EtherCAT 동기화 방법중 DC Sync. Event를 사용한 제어에서는 안정적인 출력 형태를 보인다.

3. 결 론

모듈형 시스템에서 제어를 위해서는 동기화가 필요하며, 자체적인 동기화 시스템을 구현하는 수고를 덜고 범용 툴을 사용하여 동기화를 구현하고자 한다면, EtherCAT 시스템을 사용하는 것이 효율적이며, 결과도 만족스럽게 도출할 수 있다.

모듈이 많지 않은 경우 또는 빠른 통신주기가 필요하지 않다면 동기화 분배를 위한 추가적인 DSP 구현보다는 전적으로 EtherCAT을 통한 동기화 구현으로 제어 시스템을 단순화 하는 것을 추천한다.

본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행되었습니다.(과제번호 21RTRP-B146051-04)

참 고 문 헌

- [1] 박종형, 진보건, "PEBB 병렬구동을 위한 온라인 동기화 방법 연구", 전력전자학회 2021년도 추계학술대회 논문집, pp. 185-186, 2021, November.
- [2] 이종학, 김운현, 김태형, 권병기, "CAN 통신을 이용한 MMC 시스템의 Power Module 동기화 방법", 전력전자학회 2013년도 추계학술대회 논문집, pp. 79-80, 2013, November.