

지중매설의 안정성을 고려한 컨테이너용 압전발전 모듈의 환경모니터링 시스템 개발

노재환, 김정호, 김철한, 김지원
(주)이지에버텍
e-mail: envjjang@daum.net

Development of environmental monitoring system for piezoelectric power module for container considering the stability of underground burial

Jae-Hwan Ro, Jeong-Ho Kim, Cheol-Han Kim, Ji-Won Kim
Ezevertch. co. Ltd.

요 약

차량통행으로 전기를 생산하는 압전발전 모듈은 지중에 매설하므로 낙뢰에 의한 서지유입이나 지중 매설에 의한 전자파의 영향을 고려하지 않고 설치하면 고장으로 복구가 어렵다. 지중에 장기간 고장없이 안정적인 동작을 보장하기 위해서 낙뢰 관련 서지, 통신 노이즈에 대비해야 한다. 압전 발전모듈 내에 온습도 환경 및 발전을 좌우하는 진동을 측정하기 위해 지중 매설용 IoT 모듈을 제작하였다. 최소 8개 이상의 Iot 모듈에 연결하는 전선을 통신선과 전원선 각각 2선으로 최소화하고 통합 data 수집을 위한 MODBUS통신, 온습도 센서 data 수집을 위한 I2C통신, 진동 data를 측정하기 위한 SPI 통신등을 각각 적용하여 IoT 모듈을 구성하였다.

2. 연구방법

1. 서론

P 지역 항만공사 컨테이너 출입구의 노면에 압전발전모듈을 설치하여 신재생에너지를 생산하고자 한다. 압전발전은 압전소자의 기계적 에너지를 전기적 에너지로 변환시키는 압전(piezoelectric)직접효과를 이용하는 것으로 자동차의 진동처럼 큰 압력이나 진동에너지로 발전할 수 있다.

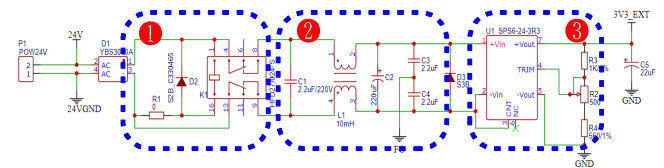
기후변화에 의한 신재생에너지의 요구는 공공기관에 요구되어지는 중요한 이슈이며 일반 차량보다 무거운 컨테이너 트레일러를 이용하여 출입량이 많은 항만게이트에 압전발전 시설을 설치하면 유용한 신재생에너지를 생산할 수 있다.

그동안 고속도로나 일반도로에 설치시도는 했으나 항만 게이트 도로에 적용은 처음이며 지중에 매설하는 압전모듈이 해수 부식 및 고하중과 고진동의 더 열악한 항만환경에서 안정적으로 발전할 수 있는지 지중환경을 모니터링하는 IoT 모듈을 제작하고자 한다.

매설환경 영향인자로서는 압전발전량을 좌우하는 진동과 온습도를 센서를 설치하였고 낙뢰에 의한 지중 안정성을 고려하여 서지방지를 위한 전원과 통신부 설계 및 절연 부품을 사용하였다.

2.1 전원

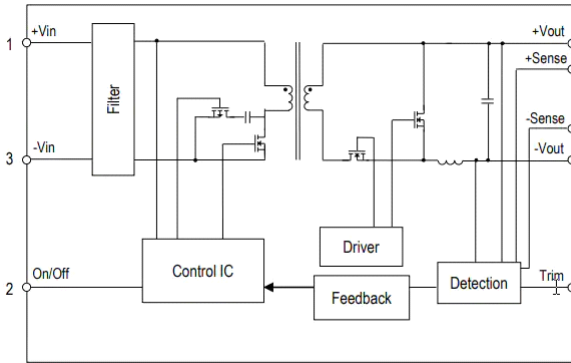
전원은 전자회로에서 가장 중요한 요소이다. 전원을 통해서 유입되는 전자파 등 노이즈를 제거하지 않으면 전자회로는 안정적인 동작을 보장하지 못한다. 따라서 전원의 설계는 제품의 품질과 직결되고 과제의 완성과 중요한 관련이 있다.



[그림 1] 전원부 회로도

- ①은 전원 미인가 시 입력단으로 전자파 유입을 방지해서 회로를 보호하는 용도이다. 전원이 끊어지면 릴레이도 B 점접으로 연결되어 있어 전자파 유입이 원천적으로 봉쇄된다.
- ②는 EMI 방지 LC 회로도이다. C1은 컨버터 내의 급격한 전류 변화로 생성되는 노이즈, 신호, 스파크를 감쇄시킨다. L1은 두 개의 권선 위상을 가진 공통모드(common mode) 또는 전류 보상 초크로 2차 전자파 유입을 차단한다.
- ③은 24V 입력을 3.3V IoT 전용 전원으로 변환하는 전열 출력을 미세 조정하여 3차 전자파 유입을 차단한다.

이 전원 변환기는 AC500V에서 1분간 성능을 유지하는 내력을 지니고 있다.



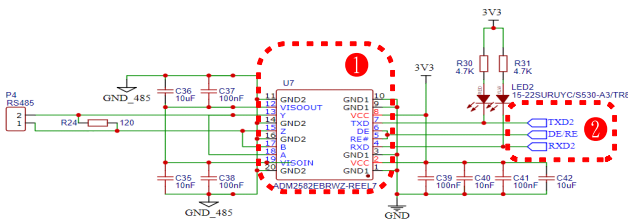
[그림 2] DC-DC 절연 레귤레이터 다이어그램

2.2 통신

2.2.1 원거리 통신

데이터 모니터링은 중앙에서 다수의 하위의 시스템이나 모듈에서 데이터를 수집하거나 제어를 하는 것을 말한다. 원거리 모니터링을 위해서는 통신은 필수 불가결한 요소이다.

일반적으로 산업계에서 많이 사용하는 통신 방법은 CAN (제어영역 네트워크), Modbus, PROFIBUS, CC-Link등이 있지만, 여기서는 Open Source로서 직접 구현이 가능하고, 설치와 보수가 쉽고 최소한의 연결선으로 127개까지의 자 장치를 연결할 수 있는 Modbus 통신을 사용하였다.



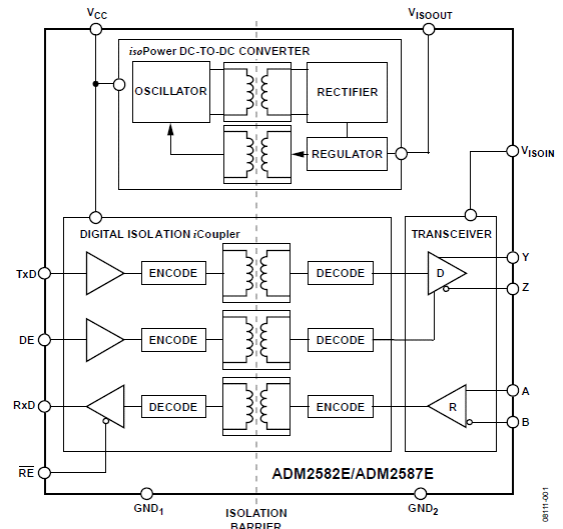
[그림 3] 통신부 회로도

그림 3의 회로는 0V에서 3.3V의 시리얼 신호를 RS-485의 -9V ~ +14V 범위로 전압 신호를 변환하는 회로이다.

①은 Analog Device사의 Signal and Power Isolated RS-485 Transceiver with ± 15 kV ESD Protection 칩이다. 특징으로는 단일 입력 전원으로 작동하는 정전기 보호기능이 있는 Serial to RS-485 signal 변환 칩이다.

그림 4의 블록다이어그램에서 보듯이 내부에 ISOLATION BARRIER로 양측이 절연되어 있다.

②는 MPU에서 발신하는 시리얼 신호를 받아 오는 부분이다.

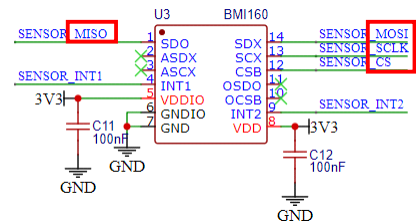


[그림 4] ADM2582 블록 다이어그램

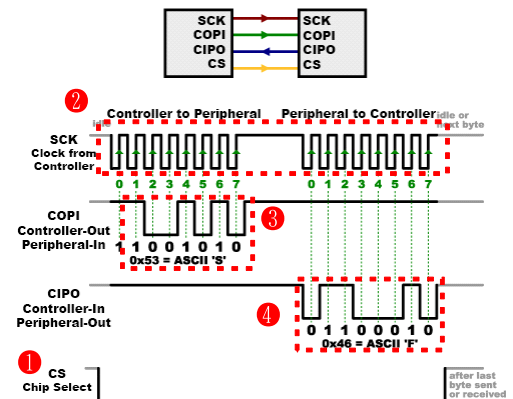
2.2.2 근거리 통신

센서 소자 별 최적의 통신방법을 선정하여 제어하고자 한다. 진동센서는 data 속도가 빠르게 전송되어야 하므로 SPI(Serial Peripheral Interface)통신을 사용하였고 온습도 센서는 저속의 주변기기를 연결하는 I2C(Inter-Integrated Circuit) 통신을 적용하였다.

가. 진동센서 SPI 통신회로



[그림 5] 진동센서 BMI 160 - SPI



[그림 6] SPI 통신 타임차트

*주:

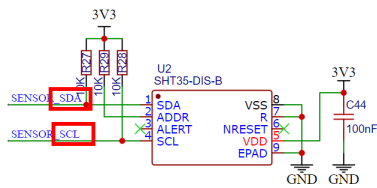
COPI(Control Out Preipheral In) = MOSI
CIPO(Control In Preipheral Out) = MISO

SPI통신은 MISO(Mater in Slave out), MOSI(Mater in Slave out) , CS(Chip Select), SCLK(Serial Clock) 등의 4선으로 통신한다.

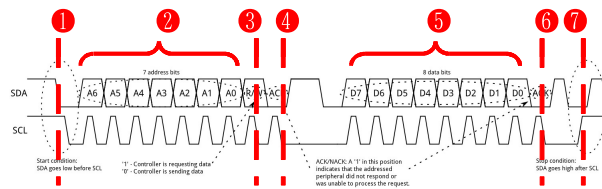
- ① CS 신호를 LOW로 내려 chip를 선택하고
- ② clock 주기에 맞추어 약속된 코드(또는 command)를
- ③ 전송하면 Slave(Peripheral)에서
- ④ 데이터를 보내주는 타임차트이다.

커맨드는 peripheral chip의 기능에 따라 정해져 있으며, 코드를 수신하면 코드에 따라 약속된 데이터를 전송해준다.

나. 온습도 센서의 I2C 통신회로



[그림 7] 온습도 센서 SHT25 - I2C통신



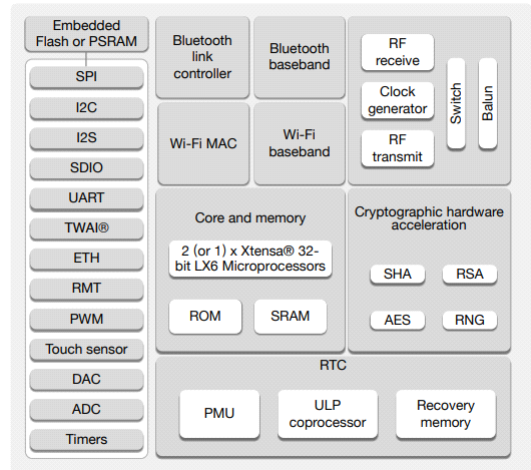
[그림 8] I2C 통신의 타임차트

- ① Start Bit :SCL이 High 상태일 때, SDA가 하강이면 Start이다
- ② 주변장치(peripheral)의 7bit 고유 주소이다. adders pin을 조정해서 번지를 제한적으로 변경할 수 있다.
- ③ '1'인 경우 Read, '0'인 경우 Write를 나타낸다. '1'인 경우 다음 ⑤의 8 data bit는 주변장치의 레지스터의 번지를 나타내고 그 내용을 다음 세션에서 읽을 예정이라는 것을 전송한다.'0'인 경우 이전 세션에서 요청한 레지스터의 데이터를 읽을 수 있다.
- ④,⑥ peripheral에서 데이터를 정상적으로 받았으면 ACK('0')로 대답하고 비정상적이면 NACK('1')로 대답해서 에러 상태인 것을 나타낸다. 또한 에러 상태가 아닌 경우에는 더 이상의 데이터가 주변장치에 없다는 것을 나타내기도 한다.
- ⑤ 쓰기 모드에서는 레지스터 주소나 설정값을 보내고, 읽기 모드에서는 주변장치에서 보내오는 레지스터의 내용을 나타낸다.
- ⑦ Stop Bit: SCL이 High 상태일 때, SDA가 High이면

Stop이다

2.3 MCU(Microprocessor Control Unit)

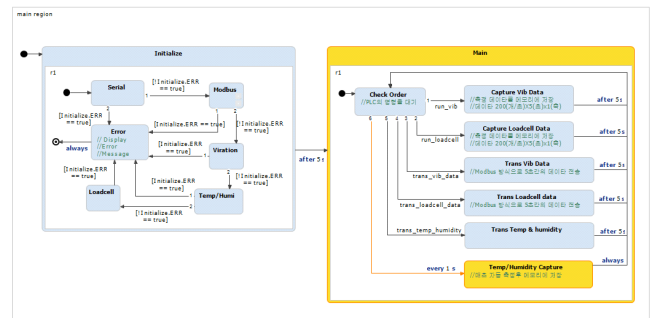
MCU는 IoT 모듈의 센서로부터 데이터를 수집하고, 수집된 데이터를 저장하고 가공하고 전송하는 모든 일을 관장하는 부분이다. 저비용, 저전력의 IoT 모듈에 특화된 SoC 마이크로컨트롤러 ESP32를 적용하였다.



[그림 9] MCU 아키텍처

2.4 모니터링을 위한 Firmware 설계

압전 모듈의 지중환경을 모니터링하기 위해서 data 수집 및 송신 알고리즘을 작성하였다. 근거리 통신 data 수집 알고리즘, 내부 메모리에 저장 알고리즘, 원거리 통신으로 수집된 data를 중앙으로 송신하는 알고리즘을 C언어로 작성했다.



[그림 10] FSM(Finite-State Machine) 차트

그림 10은 유한상태머신(Finite-state machine) 방식의 소프트웨어 차트이다. 먼저 Initialize에서 프로그램의 초기화를 진행하고 Main에서 진동을 측정하기 위한 루프를 진행한다. Check Order에서 시작 명령을 스캔하면 계속 대기하다가 명령이 오면 서브루틴으로 프로그램을 진행하게 한다. Capture Vib Data 루틴에서는 초당 200개의 가속도 데이터를 읽어 메모리에 저장한다. Trans Vib Data 루틴은 메모리에 저장된

데이터를 전송하는 부분이다. Trans Temp & humidity는 메모리에 저장된 온습도 데이터를 전송하는 부분이다. Temp/Humidity Capture은 자동으로 매초 온습도를 측정해서 메모리에 저장한다.

3. 결론

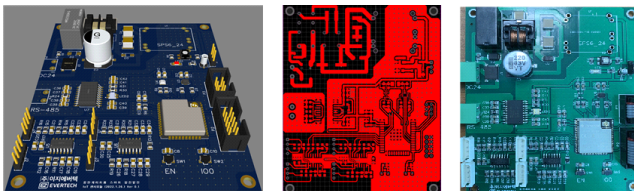
항만공사 출입 게이트에 매설할 압전 발전모듈의 내부 환경 모니터링용 IoT 시스템을 개발하기 위해 낙뢰에 의한 서지 방지를 고려하여 회로설계 및 보드를 제작하였다.

압전발전 모듈 내부의 온습도와 진동 센서를 설치하였고 중앙시스템에 송신할 때 통신 노이즈를 최소화하기 위해 신호와 전원이 절연된 통신칩 ADM2582(Signal and Power Isolated RS-485 Transceiver with $\pm 15\text{kV}$ ESD Protection)을 채용하여 원거리 통신방식으로 데이터를 전송하였다.

압전발전과 같은 신재생에너지가 경제성을 가지기 위해서는 환경에 상관없이 성능이 일정 수준 이상으로 장기간 유지되어야 하므로 낙뢰에 의한 서지 유입이나 지중 매설선에 의한 전자파에 대한 영향을 고려해서 설계하는 것은 매우 중요하다. 전원부 설계는 릴레이 접점회로로 전원 인가 때에만 통전되어 미사용 시에는 전원 입력단을 본체와 분리하였고, 공통필터 회로를 채용해서 유입되는 전자파를 제거했으며, 절연 DC-DC 레귤레이터를 채용해 최종적으로 노이즈의 유입을 막아 전기적인 안정성을 더했다.

참고문헌

- [1] 양우석, 이형근, 전영득, “IoT 기반 실내 공기질 모니터링용 소형 저전력 복합환경센서 구현”, 대한전자공학회 추계학술대회 논문집, pp. 1050-1051, 2016
- [2] 오창세, 서민석, 이정혁, 김상현, 김영돈, 박현주, “IoT기반 실내 공기질 모니터링 시스템” 한국통신학회, 한국IoT
- [3] <https://en.wikipedia.org/wiki/I%C2%B2C>
- [4] <https://docs.espressif.com/projects/esp-idf/en/latest/esp32/api-reference/protocols/modbus.html>



[그림 11] IOT 보드 3D, Artwork, 기판 실물

그림 11은 완성된 환경센싱 Iot모듈의 3D 모델링, artwork 및 실물기판(PCB)을 나타낸다. 추후 실제 현장에서 바닥 토목공사로 매설하여 컨테이너 차량에 의한 압전발전 시험을 하여 내구성을 확인하고자 한다.