

비상용 디젤발전기 제어시스템 설계

김진애 · 주재훈 · 백판근 · 김병준 · 최중경

국립창원대학교

Design of a Control System for the Emergency Diesel Generator

Jin-ae Kim · Jae-hun Joo · Jung-Keyng Choi

Changwon National University

E-mail : sodaluve@naver.com

요약

발전기는 차량용에서부터 항공, 선박용등 이동 장치에서 사용될 뿐만 아니라, 화력, 수력, 원자력 발전소 등 기간 산업에서도 사용되고 있다. 이러한 교류 발전기는 차량이나 선박, 항공기 등에서 전기를 생산하는 아주 중요한 역할을 한다. 특히, 선박에서는 항해 중 발생할 수 있는 발전기 고장에 대비하여 비상용 발전 시스템을 장착하고 있다. 따라서 발전기 시스템을 항상 모니터링하여 발전기 이상 발생 시 비상 발전기를 가동할 수 있어야 한다. 본 연구는 비상용 디젤 엔진 발전기를 위한 제어기 및 각종 소프트웨어 설계에 관한 연구이다.

ABSTRACT

A generator is in use for a moving vehicle like car, aircraft, ship as well as key industry including a thermal power plant, a water power plant, a nuclear power plant, and so on. Such the AC generator plays an important role in vehicle, ship, aircraft, and so forth, at the point of generating electric power. Especially in the matter of the ship, the emergency generator system is mounted to provide against malfunction of main generator on a voyage. So, it is ordered that the system can monitor the main generator and operate the emergency generator when the emergency happens. This study is about controller for the emergency diesel engine generator and design of a various software

키워드

디젤 엔진, TMS320F2812, 디지털제어

1. 서론

발전설비의 경우 가장 높은 효율로 지속적으로 구동할 수 있는 디젤-전기추진 엔진이 많이 사용된다. 디젤엔진은 1897년 첫 운전이후 1세기동안 많은 발전을 이루어왔다.

현대사회에서 전기에너지의 부재는 세상의 모든 체계가 멈추는 것과 같다. 지금까지는 대부분의 전력은 아날로그 발전 시스템에 의지해 공급되어 왔다. 사회의 발전에 따라 전기의 수요는 증대되어 전기에너지의 중요성이 더욱 커지고 있는 추세이다. 이렇게 중요한 발전기 제어기 또한 신뢰성과 편의성이 요구되고 있다. 그러나 기존의 아날로그 방식의 발전기 제어시스템의 경우는 디지털 방식에 비해 신뢰성이 낮고 복잡한 배전 시스템

인 경우에는 적합하지 않다.

본 연구에서는 디젤 엔진 발전기 제어를 위한 모니터링 프로그램을 설계하였다. 엔진의 상황을 모니터링하고 발전기 제어를 위해 디젤 엔진 내부의 정보와 발전기의 정보를 입력 받아 구동상태를 모니터링 한다. 또한 디지털 제어방식의 장점 중 하나는 컴퓨터와 연결되어 정보를 읽어 들일 수 있으므로 데이터처리 및 관리가 용이하며, 다른 전자 장비를 모니터링하고 통합적으로 제어할 수 있다는 것이다.

본 논문에서는 기존의 아날로그 방식의 발전기 제어를 TMS320F2812기반의 C 프로그램을 통해 디지털 방식으로 제어하며, 각종 엔진 신호와 외부 연결 신호를 모니터링 할 수 있는 시스템 설계를 목표로 하였다.

II. 디지털 기반의 시스템 구성

본 논문에서 벤치마킹한 아날로그 발전기는 PLC를 이용한다. PLC는 프로그래밍 언어와 외부 시퀀스 회로로 구성된다. PLC는 시퀀스로 이루어진 회로를 기계어 기반의 프로그래밍 언어로 제어하는 것이다. 즉 시퀀스 회로로 이루어진 하드웨어 장치를 제어하기 위해 CPU를 통해 기계어 프로그램을 구성하는 것이다. 시퀀스 회로는 스위치와 릴레이, 마그네티로 이루어지는데 이는 하드웨어 요소이다. 입력신호는 스위치로 구성되고 출력은 릴레이를 사용한다. 즉 입출력 신호의 개수에 따라 스위치와 릴레이를 연결해야 하는 것이다. 하드웨어 회로 개념의 PLC의 경우에는 고속의 복잡한 동작이나 타이밍제어가 힘들다.

본 논문에서는 기존의 PLC로 구성된 아날로그 제어방식을 TMS320F2812 DSP 기반의 디지털 제어 방식으로 대체하고 C 프로그램을 설계하는 것을 목표로 한다.

2.1 TMS320F2812

본 논문에서는 TI 사의 TMS320F2812를 사용하였다. F2812는 모션제어 전용의 DSP로 그 특징은 열거하면 아래와 같다.

- 150MHz의 고속 동작
- 128k의 플래시 메모리, 8k SARAM 내장
- 32bit CPU 타이머 0, 1, 2
- 16채널 12bit 고속 ADC
- PWM 출력 가능 Event Manager A, B 포함
- 96개의 다양한 인터럽트
- 최대 56개의 범용 IO
- 2개의 SCI 통신모듈, eCAN 통신 모듈

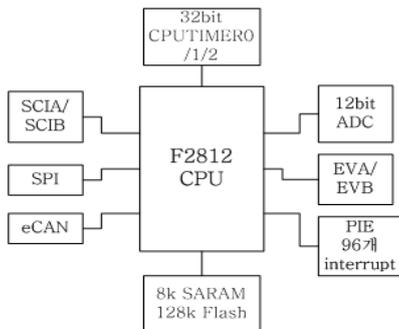


그림 1 TMS320F2812 구조

F2812는 고속동작을 하며 다양한 주변장치가 내장되어 있어 엔진 제어 프로세서로서 적합하다.

2.2 픽업 신호 입력부

엔진의 회전 속도는 마그네틱 픽업센서에서 펄스로 출력된다. 픽업코일의 원리는 그림과 같이 자성 기어 휠이 회전함에 따라 자기장이 변화하고 코일에 기전력이 유도된다. 픽업코일은 정현파

형태로 출력되며 픽업코일의 주파수는 휠의 기어수와 비례한다.

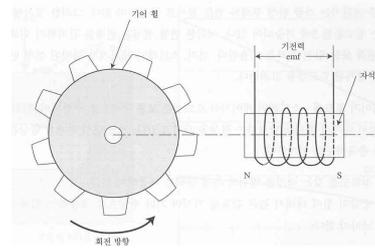


그림 2 픽업코일 원리

본 논문에서는 엔진 RPM을 모니터링하기 위해 픽업 코일에서 나오는 정현파를 구형파로 변환한 후 TMS320F2812의 캡처유닛에 인가하였다. F2812의 캡처는 구형펄스의 각 에지마다 타이머의 값을 캡처하여 레지스터에 자동 저장한다. 에지를 디텍트하여 타이머값을 레지스터에 저장하는데 걸리는 시간은 불과 2 CPU 클럭밖에 걸리지 않는다. 인터럽트로는 이렇게 빠른 처리가 불가능하다. 에지의 상승에지와 하강에지 모두에서 타이머 값을 저장한다면 펄스의 듀티를 알 수 있고, 하나의 에지에서 동작한다면 펄스의 시간 주기를 알 수 있다. F2812는 이런 캡처유닛이 두 개 내장 되어 있어 픽업신호를 2채널 인가할 수 있다.

2.3 아날로그 신호 입력부

F2812는 내부에 고속의 12bit ADC 컨버터가 내장되어있다. 16개 채널이 있으며 2개의 샘플/홀더가 있어 순차적으로 혹은 2개 동시에 샘플/홀더를 할 수 있다. ADC는 0~3.0V 레벨을 12bit 해상도로 변환한다. 본 연구에서는 8개 채널을 시퀀스 모드로 설정하여 아날로그 센서 신호를 AD 변환하도록 구성하였다.

2.4 SCI 통신 부와 스위치 입력부

F2812의 경우 RS232 통신 모듈이 2개 내장되어 있다. LCD 출력 표시를 위해 SCIA의 경우 9600 보레이트로 설정하여 컨트롤하였고 PC와는 38400 보레이트로 통신한다.

엔진으로부터 들어오는 각종 스위치는 다수의 범용 I/O 포트를 이용해서 입력받는다. F2812의 경우는 최대 56개의 범용 포트가 있으나 스위치 입력에는 GPIOB 포트 10개를 할당하였다. 또한 스위치 단절입력은 GPIOA 포트 6개를 할당하여 GPIOA와 GPIOB 입력의 상태를 입력받아 현재 스위치 상태와 단절 상태를 인지할 수 있도록 설계한다.

III. C 프로그램

본 논문의 프로그램은 발전설비 제어와 모니터

링을 목적으로 한다. 즉, 발전기의 디젤엔진을 구동하고, 구동중인 엔진에서 각종 신호를 입력받아서 발전기의 상태를 체크하여야 한다. 따라서 본 프로그램은 엔진 구동, 정지 등의 커맨드를 받아 디젤 엔진을 제어하며, 엔진으로부터 센서신호, 엔진의 rpm 등의 정보를 입력받아 LCD에 출력하는 등의 동작이 필요하다. 그림은 본 프로그램의 구조이다

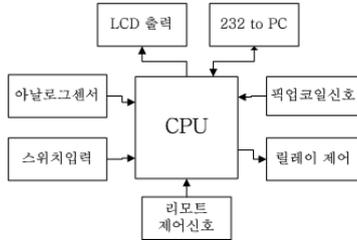


그림 3 프로그램의 기본 구조도

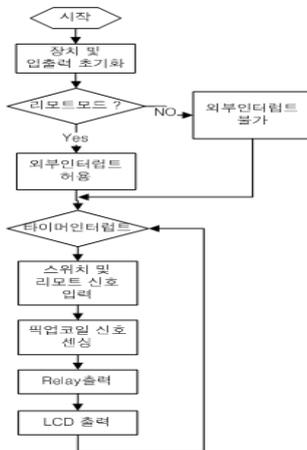


그림 4 프로그램 순서도

3.1 엔진의 구동신호

발전기 구동은 엔진의 시동, 구동 그리고 정지의 동작이 있다. 본 논문의 발전기시스템의 경우 메인 제어실에서 들어오는 리모트 신호와 직접 사용자가 구동하는 매뉴얼 신호 두 가지로 동작할 수 있다. 리모트 신호와 매뉴얼 신호는 동작이 동일하다. 각 신호의 동작은 표와 같다. 일정 시간마다 현재 리모트 동작인지 매뉴얼 동작인지를 판단한다.

표 1. 입력 커맨드와 동작

리모트 신호	매뉴얼 신호	동작
Remote Start	Start	엔진 시동
Remote Stop	Stop	엔진 정지
Black Start		엔진 시동
Delay Stop		지연후정지
Remote Reset	Alarm Reset	알람초기화
	Bell Stop	알람벨정지
	Emergency Stop	비상 정지

3.2 엔진 구동을 위한 릴레이

본 시스템에서는 엔진 구동을 위해 릴레이를 작동시킨다. 본 논문에서는 릴레이 7개를 채택하여 표2와 같은 기능으로 설정하였다.

Relay 1은 엔진의 스타트 모터를 구동한다. 스타트 모터는 엔진에 시동이 걸렸을 경우 모터보다 엔진의 속도와 힘이 더 크기 때문에 보호차원에서 전원을 바로 꺼야한다. 즉, 엔진이 시동되었음을 알리는 RPM 신호가 입력 될 경우 즉시 Relay 1을 OFF 시켜야한다. 엔진을 시동시키기 위해서는 스타트 모터 뿐 아니라 엔진의 연료 밸브도 열어야하는데 Relay 2로 연료밸브를 구동한다. 엔진이 시동되었을 경우 Relay 1은 OFF하고 Relay 2은 계속 ON 시켜놓아야 엔진이 구동된다.

엔진 시동은 3회 시도한다. 엔진 시동 커맨드가 입력되면 Relay1을 5초간 ON 한다. 이때 엔진 RPM 신호가 인가되지 않을 경우 5초간 OFF 이후 다시 5초간 ON하는 동작을 3회 시도한다. 즉 엔진 시동의 최대 시간은 25초이다.

Relay 3은 엔진 시동을 연속 3회 한 결과 엔진 구동이 실패한 경우 ON 되어 외부에 엔진시동이 실패했음을 알린다. 또한 이때 알람벨을 울리는 Relay 5이 ON 된다. Relay 4는 리모트 모드로 설정 되어있음을 보여주고 Relay 6은 엔진 과속 상태, 1980 RPM 이상임을 알려준다. 이때 시스템은 엔진을 자동 정지시키고 외부에 과속 알람임을 표시하고 알람벨을 울린다. Relay 7은 엔진의 알람 상태를 알려준다. 제어기가 전원이 들어오고 알람이 없을 경우에는 Relay 7이 ON 되고 각종 알람이 들어올 때 마다 트리거신호로 깜빡이며 외부에 엔진의 알람상태가 발생했음을 알려준다.

표 2. 릴레이 기능 및 제어

릴레이	기능	비고
Relay 1	엔진 스타트 크랭크 시동	RPM이 인가되면 OFF
Relay 2	연료 밸브	밸브가 닫히면 엔진 정지
Relay 3	Start Fail	엔진 시동실패
Relay 4	Remote ON	리모트로 동작
Relay 5	Alarm Bell	알람 벨 울림
Relay 6	Over Speed	엔진 과속
Relay 7	Abnormal Alarm	각종 알람 입력 표시

3.4 아날로그 센서입력과 스위치 입력

본 논문에서 적용한 아날로그 센서는 다음과 같다. 윤활유 온도 범위는 200℃이며 0.6V~3.0V의 형태로 입력된다. 12bit 해상도로 변환된 값을 다시 최저 0.6V와 3.0V 기준으로 계산하고 센싱된 입력 값을 필터링하여 표시한다. 다른 아날로그 입력 값도 이와 동일하게 연산된다. 시스템의 전원 전압 값도 센싱 된다. 30V 까지 센싱받을 수 있으며 이 전원이 20V 이하로 떨어질 경우 낮은

전압 알람이 발생한다.

표 3. 아날로그 센서와 입력전압

아날로그 센서	기능	범위
아날로그1	윤활유 온도	0~200℃
아날로그2	윤활유 압력	0~10bar
아날로그3	냉각수 온도	0~120℃
아날로그4	냉각수 압력	0~10bar
전원전압	시스템전원	0~ 30V

엔진으로부터 입력받는 스위치 신호는 10개까지 확장할 수 있도록 설계하였다. 이중 6개의 입력은 스위치 ON, OFF 상태뿐 아니라 입력 케이블의 절단 상태까지 판단할 수 있다.

3.4 RPM 계산

엔진 구동에 있어서 현재 엔진의 속도를 입력받아 계산 한 후 LCD에 표시하거나 필요한 경우 저장할 수도 있다. 입력되는 구형펄스는 캡처 인터럽트를 이용하여 시간을 계산한다. RPM 계산식은 다음과 같다. 엔진의 픽업코일마다 한 회전당 펄스 수가 다르기 때문에 이 펄스 값 변수를 조정해주기만 하면 다른 엔진에 적용하는 것이 용이하다.

$$RPM = \frac{\text{측정주파수} \times 60}{\text{픽업코일펄스수}}$$

캡처 인터럽트 때 마다 입력받은 타이머 값을 연산하여 버퍼에 저장한다. 캡처 인터럽트 특성상 다음에지가 들어올 때까지 기다리기 때문에 특정 주파수, 약 100Hz 이하의 주파수 입력은 받지 않도록 설계하였다.

3.5 알람리스트

본 논문에서 적용한 엔진 알람리스트는 표와 같다. 엔진 구동에 중요한 과속, 시동 실패 등과 같은 알람은 알람이 발생했을 경우 알람리스트 저장과 동시에 비상벨이 울리도록 설계하였다. 알람리스트는 내부 플래시 메모리 영역에 저장하고 지정된 변수는 알람리스트 신호가 입력되면 초기화된다.

표 4. 알람목록

알람	기능	비고
Start Fail	엔진 시동	비상 벨 울림
낮은 전압	20V 이하 전원	비상 벨 울림
Over Speed	엔진 과속	비상정지 후 벨
센서 알람	설정 이상의 입력	
센서단절알람	센서신호가 단절	
스위치입력알람	스위치입력 알람	특정 입력만 벨
스위치단절알람	스위치입력 단절	특정 입력만 벨

3.6 알람 저장

아날로그 방식에서 디지털 방식으로 변경할 때 가장 큰 이점은 저장할 수 있다는 것이다. 아날로그 방식의 제어는 엔진의 알람이 기록되지 않고 사용자가 알람을 인식할 때까지 알람을 발생시키기만 한다. 하지만 본 프로그램은 알람이 발생하였을 경우 내부 플래시 메모리에 저장하여 시스템 가동 후 각종 알람 발생 목록을 볼 수 있다. 이 목록은 RS232를 이용하여 PC로 읽어 들일 수 있다. 본 프로그램에서는 FLASHB 영역의 1kbyte 공간을 알람이벤트 저장 공간으로 설정하였다.

3.7 LCD 출력

엔진의 상태, 즉 엔진 RPM, 아날로그 센서신호 각종 알람의 상태를 LCD로 출력하였다. 그림은 LCD 출력 상태이다. 4개의 아날로그 센서 값을 표시하고 그 값을 차트로 볼 수 있으며 전원 값도 마찬가지로이다. 중요 알람들은 왼쪽에 나열하여 알람이 발생하였을 경우 LCD에 표시하여 사용자에게 알려준다. 또한 메뉴얼, 리모트 모드 표시와 엔진의 구동상태 READY, RUN, START FAIL 등 상태도 표시하였다.

IV. 성능 평가 결과 및 분석

4.1 알람리스트 저장 및 로드

본 프로그램은 픽업코일 펄스수와 스위치 입력을 설정할 수 있도록 CVI로 PC용 프로그램을 설계하였다. PC용 프로그램은 알람기록을 읽어 들어서 텍스트로 표시할 수 있도록 구현하였고, 펄스 입력과 스위치 설정 변경을 할 수 있다. 실험 결과에서는 스위치 1번은 오일부족 스위치로 연결하였으면 이 스위치는 노멀 클로즈 상태로 오일이 부족할 경우 스위치가 오픈되어 오일부족 알람을 발생시킬 수 있다. 또한 픽업코일을 158로 설정하여 4.74kHz 일 때 1800 RPM으로 구동된다. 그림은 알람리스트를 읽어 들인 화면이다. 본 프로그램에서는 알람이 발생한 목록을 0x3F4000 영역부터 1kbyte 공간에 저장한다.



그림 5 PC 프로그램

4.2 릴레이 제어 출력

발전기 제어에서 가장 중요한 부분이라고 할 수 있는 릴레이 제어 출력이다. 앞서 표2에서 언급한 바와 같이 릴레이마다 각 기능이 부여되어있다.

그림6에서 엔진 스타트 신호가 인가되면 Relay 1 이 ON 되는 것을 알 수 있다. 그림 7은 엔진 정지 신호 인가 후 Relay2 ON 신호이다.

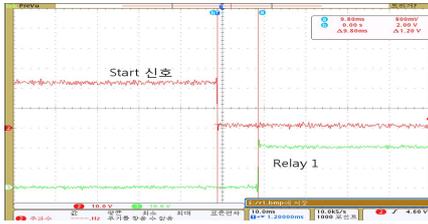


그림 6 엔진 시동

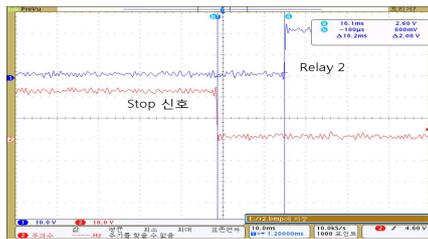


그림 7 엔진 정지

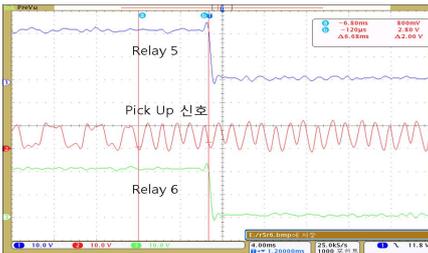


그림 8 엔진 과속알람과 벨 알람

4.3 엔진 RPM 계산 및 아날로그 센서부

그림9는 엔진 RPM을 Code Compose Studio로 모니터링 한 데이터이다. 픽업코일의 펄스 수가 158일 경우 1800rpm 의 주파수는 4.74kHz 이다. 캡처 유닛에 인가되는 펄스의 타이머 값은 20개의 데이터를 평균하여 시간을 계산한다. 그림 10은 아날로그 센서 입력 데이터를 모니터링한 결과이다. 아날로그 센서 1 입력에 0~120℃의 센서를 연결하여 실온(26.2℃)을 측정 한 결과이다.

Name	Value	Type	Radix
engine_rpm	1800	Uint16	unsigned
period_buf	0x0009180	unsigned long(20)	hex
[0]	31617	Uint32	unsigned
[1]	31604	Uint32	unsigned
[2]	31616	Uint32	unsigned
[3]	32191	Uint32	unsigned
[4]	31619	Uint32	unsigned
[5]	31618	Uint32	unsigned
[6]	31618	Uint32	unsigned
[7]	31617	Uint32	unsigned
[8]	31625	Uint32	unsigned
[9]	31618	Uint32	unsigned
[10]	31618	Uint32	unsigned
[11]	31624	Uint32	unsigned
[12]	31618	Uint32	unsigned
[13]	31625	Uint32	unsigned
[14]	31618	Uint32	unsigned
[15]	31619	Uint32	unsigned
[16]	31618	Uint32	unsigned
[17]	31621	Uint32	unsigned
[18]	31619	Uint32	unsigned
[19]	31624	Uint32	unsigned
measu_fre	4740	Uint32	unsigned

그림 9 엔진 RPM을 모니터링 한 데이터

Name	Value	Type	Radix
engine_rpm	1419	Uint16	unsigned
period_buf	0x0009180	unsigned long(20)	hex
[0]	40293	Uint32	unsigned
[1]	39781	Uint32	unsigned
[2]	40289	Uint32	unsigned
[3]	40291	Uint32	unsigned
[4]	40287	Uint32	unsigned
[5]	39782	Uint32	unsigned
[6]	40289	Uint32	unsigned
[7]	39781	Uint32	unsigned
[8]	40291	Uint32	unsigned
[9]	40289	Uint32	unsigned
[10]	39781	Uint32	unsigned
[11]	40288	Uint32	unsigned
[12]	40292	Uint32	unsigned
[13]	39776	Uint32	unsigned
[14]	40290	Uint32	unsigned
[15]	40296	Uint32	unsigned
[16]	39775	Uint32	unsigned
[17]	40290	Uint32	unsigned
[18]	40289	Uint32	unsigned
[19]	40289	Uint32	unsigned
measu_fre	3739	Uint32	unsigned
AvrFusesH0	1535	long	dec
SensingD	262	long	dec

그림 10 아날로그 센서 입력

V. 결론

본 논문에서는 TMS320F2812 DSP 기반의 비상용 발전기 제어시스템을 구현하였다. 엔진의 시동, 구동 정지 등의 기본적인 기능을 구현하였을 뿐 아니라, 아날로그 방식에서 구현할 수 없는 이벤트를 플래시메모리에 기록하여 PC에서 로드할 수 있도록 설계하였다. 또, 픽업코일의 펄스열을 PC에서 간단히 변경할 수 있어 엔진 적용성을 높였다.

그리고 DSP 이용하여 고속으로 RPM, 아날로그 센서 등의 신호를 연산하여 데이터 오차를 줄였고, 기존의 아날로그 방식의 엔진 제어기에 비해 정확성, 신뢰성, 소형화를 이루어내었다.

[본 연구는 교육과학기술부와 한국산업 기술재단의 지역혁신 인력양성사업으로 수행된 연구결과임]

참고문헌

- [1] Pounder, 선박용 디젤엔진 및 가스터빈, 동명사, 2005
- [2] Richard S. Figliola, Donald E.Besley, Theory and Design for Mechanical Measurements, WILEY, 2006
- [3] 윤대용, 이철직, 김순기, 손재현, 시퀀스제어 요론, 동일출판사, 2004
- [4] Texas Instrument, TMS320F2812 Digital Signal Processor, 2004