

자가용 발전기의 디젤엔진 정속운전에 관한 연구

전영환*, 김지원*, 조동길**, 전진홍*, 김학만*
 *한국전기연구원 FACTS&PQ연구그룹, **창원대학교 전기전자공학부

A Study on the Constant Velocity Control of the Diesel Engine for the Generator

Yeong Han, Chun*, Ji Won, Kim*, Dong Kil, Cho**, Jin Hong, Jeon*, Hak Man, Kim*
 *KERI, **Chang-Won Univ.

Abstract - 자가용 발전기는 주로 디젤엔진과 동기발전기로 구성된다. 자가용 발전기의 안정적인 출력을 위해서는 디젤엔진을 정속으로 운전하는 것이 중요하다. 디젤엔진의 속도 제어기로는 일반적으로 조속기가 사용되는데, 본 논문에서는 DSP를 이용한 디지털 조속기를 개발하고 정속제어를 위한 운전 알고리즘을 제시하였다.

1. 서 론

최근 들어 수용가에서는 불의의 정전에 대비하여 비상용 발전기를 설치하여 운영하는 경우가 많이 있다(1). 비상용 발전기는 주로 디젤엔진과 발전기로 구성되어 있다. 비상용 발전기의 출력과 주파수를 정확히 제어하기 위해서는 디젤엔진의 회전수를 정확하게 제어하는 것이 관건이다(2). 디젤엔진의 속도제어에는 일반적으로 조속기가 사용되고 있다. 과거에는 유압식 조속기가 많이 사용되었지만, 이후 전자식 아나로그 형태에서 최근에는 디지털 형식의 조속기에 대한 연구가 많이 진행되고 있다(2). 본 논문에서는 TMS320C32를 이용한 디지털 조속기에 대한 연구를 수행하였다. 또한 본 논문에서 연구된 디지털 조속기를 이용하여 디젤엔진의 회전수 제어를 위한 운전 알고리즘에 대한 연구도 수행하였다.

2. 본 론

2.1 조속기

조속기는 일반적으로 prime mover(디젤 엔진)의 속도나 그 밖의 다른 몇몇 파라미터를 자동적으로 제어하는 장치로 정의된다. 조속기는 크게 기계식과 전자식으로 나눌 수 있는데, 기계식은 mechanical 조속기와 hydraulic 조속기로 구분된다. 최근에는 기계식 조속기를 대신하여 전자식 조속기가 많이 사용되는데 전자식 조속기는 아나로그 형태와 디지털 형태로 구분할 수 있다. 전자식 조속기는 기계적 조속기와는 달리 연료 주입기의 rack 위치를 조절할 수 있는 actuator와 디젤엔진의 회전속도 검출을 위한 센서를 필요로 한다.

2.2 디지털 조속기 설계 및 제작

일반적인 디지털 조속기는 발전기로부터 MPU(Magnetic Pickup Unit)의 신호를 받아서 디젤엔진의 현재 회전 속도를 계산하고, 내부적으로 계산된 출력값을 PWM 신호로 출력하여 연료 rack의 위치를 조절함으로써 엔진의 속도를 제어하는 기능을 한다. 본 논문에서는 Texas Instrument社의 TMS320C32 DSP를 주연산기로 하는 디지털 조속기 시스템을 설계 및 제작하였다. 먼저 MPU 신호를 받아들이는 부분은 크게 Zero-crossing을 검출하여 sinusoidal에 가까운 MPU 신호를 구형파로 변환하는 부분과 변환된 구형파 MPU 신호를 이용하여 현재 엔진의 회전 속도를 검출하는 부분으로 구분된다. 먼저 MPU 신호를 구형파 신호로 변환하는 회로를 그림 1에 나타내었다.

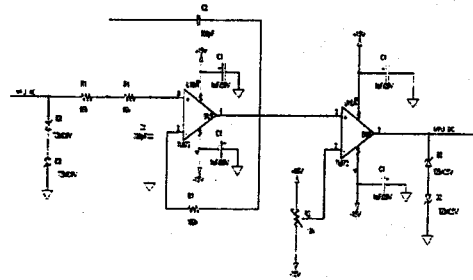


그림 1. MPU 신호의 구형파 변환회로

그림 1에서 보듯이 MPU 신호에서 Zero crossing을 검출하여 구형파로 변환하는 것은 OP-Amp를 이용하여 간단하게 구현할 수 있다. 그러나 일반적으로 MPU 신호는 zero crossing 부분에서 노이즈가 발생할 가능성이 높기 때문에 약간의 offset을 둘 수 있도록 가변저항을 사용하였다. 그림 2에 그림 1의 회로를 이용한 MPU 신호를 구형파로 변환한 결과를 나타내었다.

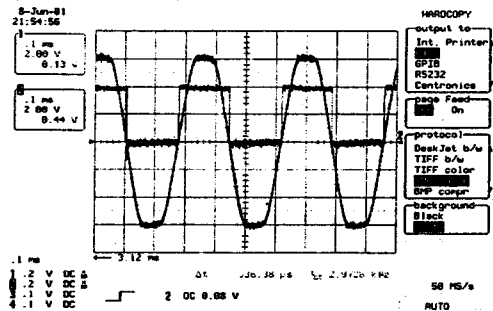


그림 2. MPU 신호의 구형파 변환 결과

다음으로 구형파로 변환된 MPU 신호를 이용하여 엔진의 회전 속도를 검출하는 방법으로는 일정 주기동안 MPU 신호를 검출하여 속도를 검출하는 방법과 MPU 신호의 High 기간동안 조속기에서 사용되는 clock 수를 세어 속도를 검출하는 방법이 있다. 첫 번째 방법은 일정주기동안의 회전수를 검출하는 방법이므로 엔진의 속도 검출이 용이하지만 MPU 신호가 고속으로 들어오지 않으면 해상도가 떨어지는 단점이 있다. 일반적으로 MPU 신호는 엔진이 정상상태에서 운전되는 경우(약 1800 RPM)1kHz에서 12kHz 정도의 주파수를 갖고, 조속기의 제어주기는 수 kHz에서 수백 Hz 정도를 갖는다. 따라서 본 논문에서는 두 번째 방법을 이용하였다. 두 번째 방법을 이용하여 엔진의 속도를 검출할 경우 엔진속도(RPM)은 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$w_{Engine} (RPM) = \frac{60 \times f_{clock}}{n_{teeth} \times 2n_{high}} \quad (1)$$

f_{clock} : 조속기의 clock 주파수

n_{teeth} : MPU 치차의 개수

n_{high} : 구형파 MPU 신호의 High 기간동안 계수된 clock 수

식 (1)을 이용하여 엔진의 회전속도를 측정하는 경우 조속기에서 사용하는 clock이 충분히 높은 주파수를 갖는다면 상당히 정밀한 해상도로 엔진의 회전속도 측정이 가능하다. 이 방법의 단점으로는 엔진이 회전하지 않는 경우 n_{high} 의 값이 0이 되어 계산이 불가능하게 된다. 그러나 엔진이 회전하지 않는 경우는 처음 시작할 때와 마지막 엔진의 동작을 정지시키는 경우뿐이므로 간단하게 소프트웨어적인 처리를 통해서 이를 처리할 수 있다. 그림 3에 엔진 속도 검출을 위한 디지털 회로를 나타내었다. 그림 3의 회로는 조속기에 부착된 EPLD에 구현하였다.

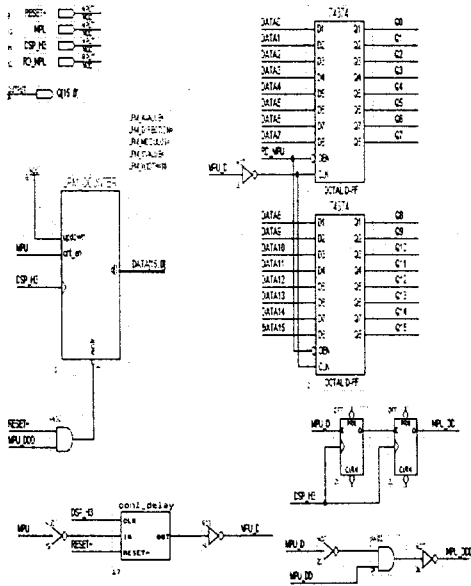


그림 3. MPU 신호를 이용한 엔진의 회전 속도 검출 회로

그림 3의 회로에서는 구형파 MPU 신호의 High 기간 동안 clock의 개수를 계수한 후 Low 기간동안 계수한 값을 data transmitter에 latch 시키고 카운터를 reset한다. 이후 같은 과정이 계속 반복되므로 그림 3의 회로를 이용하면 비교적 해상도가 높은 엔진의 회전 속도 검출이 가능하다.

다음으로는 조속기에서 계산된 출력값을 PWM을 이용하여 출력함으로써 actuator를 구동하는 회로를 그림 4에 나타내었다.

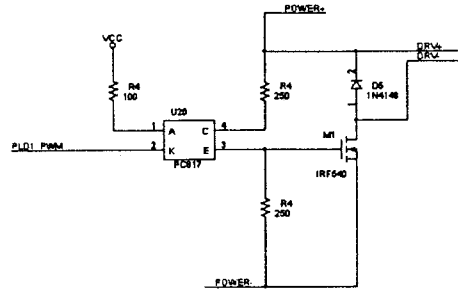


그림 4. Actuator 구동 회로

일반적으로 actuator로는 solenoid valve나 DC motor등이 많이 쓰이고 있다. 따라서 단방향 구동만 필요하게 됨으로 그림 4와 같은 MOSFET 스위치 회로를 이용하면 간단하게 actuator 구동 회로를 구현할 수 있다. 그림 5에는 앞에서 설명한 회로들을 포함하는 조속기의 사진을 나타내었다.

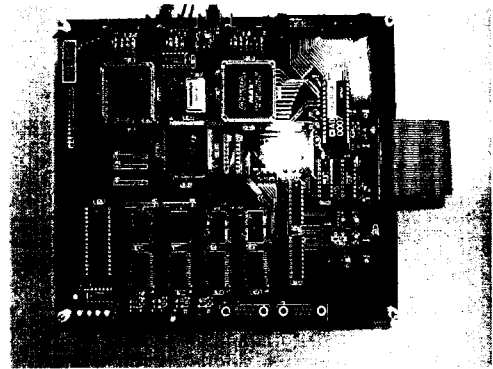


그림 5. 제작된 조속기

그림 5의 조속기는 앞에서 설명한 기능 외에도 추후 추가적인 기능들을 고려하여 AD 변환기, DA 변환기, Magnetic Contact 구동기 및 각종 signal conditioning 회로들을 추가하여 제작하였다.

2.3 조속기 운전 알고리즘

일반적으로 조속기가 갖추어야 하는 기능은 크게 Start/Stop 기능, Speed Control 기능 및 Safety 기능으로 구분할 수 있다. 먼저 Start/Stop 기능은 엔진을 start 또는 stop 시키는 기능이고, Speed Control 기능은 조속기 고유의 기능으로 엔진의 회전수를 일정하게 제어하는 기능이다. 마지막 safety 기능은 엔진의 회전수가 일정 이상으로 올라가거나 떨어지는 경우 엔진의 동작을 차단하여 사고를 방지하는 기능이다. 본 논문에서는 두 번째 기능인 Speed Control을 위한 운전 알고리즘에 관하여 살펴보았다. 그림 6에 일반적인 디젤엔진의 시동과정을 나타내었다.

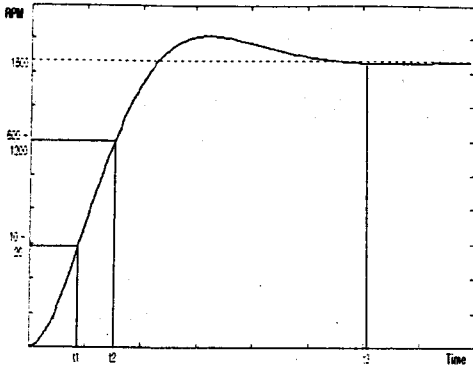


그림 6. 디젤엔진의 시동과정

그림 6에서 t_1 까지의 시간은 배터리를 이용하여 외부에서 엔진을 돌려주는 시기를 나타낸다. 처음 시동 스위치를 ON하여 엔진의 RPM이 약 10 ~ 20 RPM이 되기까지는 외부의 힘으로 엔진을 돌린다. 엔진의 회전수가 외부의 힘에 의해서 일정속도 이상이 되면 조속기에서는 open loop 제어를 수행하여 엔진의 회전속도를 올려준다. 그림 6에서 t_1 에서 t_2 까지의 기간이 open loop 제어가 수행되는 기간이다. open loop 제어를 통하여 엔진의 회전수가 600 ~ 1200 RPM 정도가 되는 t_3 에서부터는 closed loop 제어를 수행한다. 이후 t_4 부터는 엔진의 회전수가 정상상태에 도달하여 일반적인 조속기 오차의 한계인 $\pm 0.2\%$ 이내로 제어를 수행하게 된다. 그림 7에 그림 6의 운전형태를 구현하기 위한 운전알고리즘의 흐름도를 나타내었다.

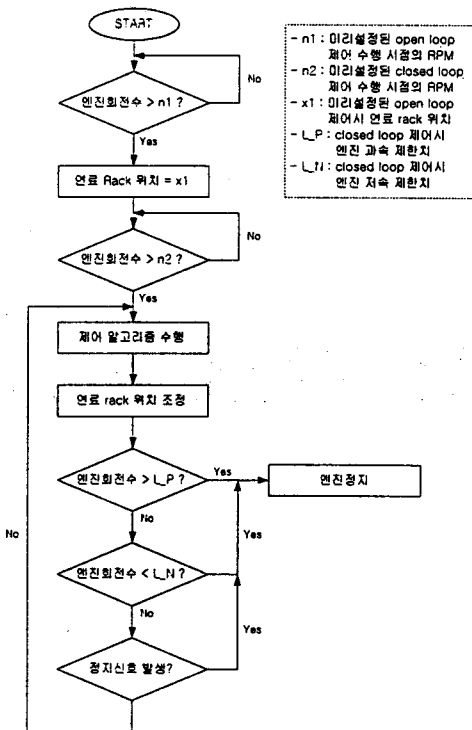


그림 7. 조속기 운전 알고리즘

3. 결 론

본 논문에서는 디젤엔진의 정속제어를 위한 디지털 조속기를 설계 및 제작하고 그 운전 알고리즘을 제시하였다. 추후의 과제로는 본 논문에서 제작한 디지털 조속기와 운전 알고리즘을 이용하여 실제 디젤엔진 발전기를 제어하고 그 성능을 확인하는 것이다. 또한 추후 디지털 조속기를 compact하고 가격경쟁력을 갖도록 설계 및 제작하여 실용화하는 방향도 모색중이다.

(참 고 문 헌)

- [1] 김국헌 외, "비상용 발전기 디지털 제어시스템 개발", 최종보고서, 1995
- [2] 최순만, 오진석, "디젤발전기 원동기의 운전특성 시뮬레이션", 韓國船舶機關學會誌, 第21卷, 第2號, 1997
- [3] Chee-Mun Ong, "Dynamic Simulation of Electric Machinery", Prentice Hall, 1998
- [4] M. Morris Mano, "Digital Design 2nd Ed.", Prentice Hall, 1991
- [5] 이승호, 이경은, 임만직, "ALTERA MAX+PLUSII를 사용한 디지털 시스템 설계", 복두출판사, 1999
- [6] B. Shahian, M. Hassul, "Control System Design Using MATLAB", Prentice Hall, 1993