

200kW급 엔진-발전기의 디지털 전압제어 시스템 설계

김태형, 이동희, 안진우
경성대학교

Design of Digital Voltage Regulation System for 200kW Engine-Generator

Tae-Hyoung Kim, Dong-Hee Lee, Jin-Woo Ahn
Kyungsung University

Abstract - In this paper, peak detector of generator output voltage and variable gain controller is introduced for the fast dynamic response. The general r.m.s. detecting signal of generator has inherent time delay from the actual signal. So the dynamic response of generator using conventional PID controller has some problem in sudden load change. In order to overcome this problem, the peak detector and signal selector with variable gain controller is used in this paper. The proposed control scheme is verified from experimental test of 200kW diesel engine-generator.

1. 서 론

엔진-발전기는 일반적으로 선박용 독립시스템의 전력생산이나 건물 등의 비상용 전력생산용으로 주로 사용되었으나, 근래에는 도서벽지나 산간지방과 같이 전력선에 의한 외부전력공급이 어려운 지역의 전력생산용으로 이용되는 등 그 범위가 확대 적용되고 있다.

이러한 독립형 엔진 발전기 시스템이 상기와 같이 선박용 독립적인 전력체계를 가지는 시스템에 적용될 경우 전체 시스템의 특성상 부하에 따른 출력전압 및 주파수변동의 문제가 발생 할 수 있으며, 이 경우 전체시스템의 수명을 단축시키고 전기장치의 오동작을 발생 시킬 수 있다는 문제점을 가지고 있다. 특히 선박 등의 독립적인 시스템에서는 운항장치등 주요장치들의 전원용으로 사용되기 때문에 그 문제점은 더욱 심화 될 수 있다. 따라서 전체시스템의 안정화를 위해서는 부하의 급변에 강한 특성을 가지는 신뢰성 높은 엔진-발전기의 제어가 요구된다.

이러한 엔진-발전기의 출력은 엔진의 속도를 제어하는 Governor와 발전기 출력전압을 조정하는 자동 전압 조절기(Automatic Voltage Regulator, 이하 AVR)에 의해 결정된다. 일반적으로 엔진-발전기 시스템에서는 엔진은 가급적 일정한 속도로 제어되므로, 급격한 부하변동 및 외란으로 인한 출력전압의 조절은 AVR의 발전기의 출력제어에 의해 결정되게 된다. 따라서 AVR의 출력성능은 전체시스템의 안정성에 주요한 역할을 하게 된다.

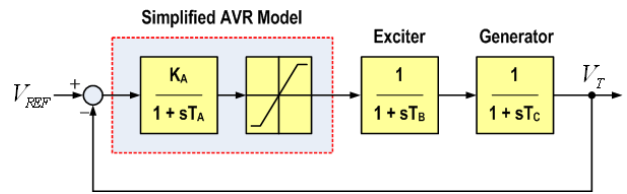
기존 발전기의 전압 제어를 위한 AVR은 최근에 SCR을 사용하는 아날로그 제어 방식에서 마이크로프로세서 등을 활용한 PWM 제어 구조를 가진 디지털 자동 전압 조절기(Digital Automatic Voltage Regulator, 이하 DAVR)로 전환되고 있는 실정이다[1-3]. 아날로그 방식의 경우 발전기의 정수가 달라질 경우 제어기의 설계 및 이득결정이 바뀌게 되고 전체적인 시스템을 수정하여야 하는 경우가 발생할 수 있지만, 디지털 방식을 이용한 제어기의 경우 소프트웨어적인 설계로 다양한 발전기에 적용하기 용이하고 Droop 제어 및 병렬 제어와 같은 복잡한 계통 제어가 용이하기 때문이다[4-8]. 이와 함께 제어를 위하여 사용되는 제어 기법으로는 산업계에서 널리 알려진 PID 제어기가 많이 적용되고 있는데 이는 제어 이득의 설정에 따라 다양한 발전기에 적용이 가능하며, 사용자에 익숙하기 때문이다[9-10].

이러한 디지털 제어기와 PID제어기법을 이용하여 발전기의 출력전압을 조절하기 위해서는 발전기의 출력전압을 검출하여 이에 대한 r.m.s를 PID 제어기의 입력으로 사용하게 된다. 그러나 실제 발전기의 경우 발전제어 시스템에서 검출된 r.m.s의 경우 순시출력전압에 대해 시간의 지연을 가지고 있어 제어이득을 크게 설정하기 어렵고 이에 의해 부하의 급변에도 낮은 응답성을 가지게 된다는 단점을 가진다. 특히 엔진-발전기 시스템에서는 발전기의 주파수가 가변적이고 순시적인 주파수 검출을 위한 별도의 장치를 부착하기가 어렵기 때문에 제어이득의 선정이 어렵다는 문제점을 가지고 있다.

따라서 본 논문에서는 엔진발전기의 r.m.s 검출지연에 의해 저감되는 응답성을 개선하기 위해 기존의 PID 제어기에 피크전압 검출부 및 제어 이득 변환기를 적용하여, 급격한 부하 변동에 따른 빠른 응답성을 가지는 제어 구조를 제안하였다. 제안된 방식은 실제 선박용 200kW급 디지털 엔진 발전기에 대한 실부하 시험을 통하여 검증하였다.

2. 일반적인 PID제어를 통한 발전기의 출력제어특성

일반적인 엔진-발전기 시스템은 그림 2와 같이 제어 이득과 시간 지연을 가지는 1차 지연요소로 표현되며, 여자기 및 발전기도 전기적 시상수에 의한 지연요소로 간략화 되며 발전기의 출력은 식(1)과 (2)처럼 표현된다.



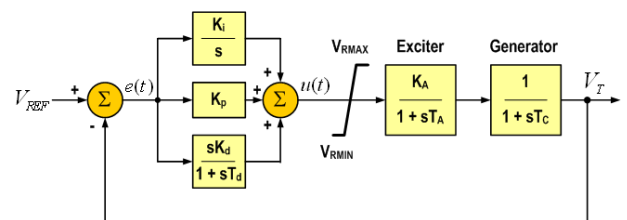
〈그림 1〉 간략화된 발전기 제어시스템 블록

$$V_{err} = V_{REF} - V_T \quad (1)$$

$$V_T = \left(\frac{K_A}{1 + sT_A} \right) \cdot \left(\frac{1}{1 + sT_B} \right) \cdot \left(\frac{1}{1 + sT_C} \right) \cdot V_{err} \quad (2)$$

여기서 T_A 는 AVR 제어기의 시상수, T_B 는 여자기의 전기적 시상수, T_C 는 발전기의 전기적 시상수를 나타낸다.

그림 2는 PID 제어기를 적용한 발전기의 제어시스템을 나타내고 있다. PID제어기의 경우 제어 이득의 설정에 따라 다양한 발전기에 적용이 가능하며, 사용자에 익숙하므로 많은 분야에서 적용되고 있다. PID 제어기의 응답성은 제어이득에 따라 가변적이므로 발전기가 출하되기에 제어이득의 튜닝을 통하여 적합한 이득을 산정하게 된다.



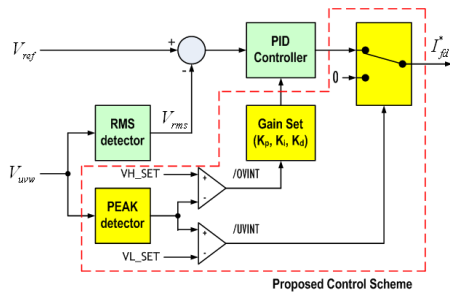
〈그림 2〉 PID 제어기로 구현된 발전기 AVR 시스템

일반적으로 PID 제어를 통한 발전기의 출력전압제어를 위해서는 발전기의 출력전압 V_T 를 검출하여 제어기의 전압리퍼치 V_{REF} 와 비교하고 이에 대한 오차 $e(t)$ 를 PID 제어기에 입력하여 제어치를 설정하게 된다. 이때 사용되는 발전기의 출력전압은 순시전압의 r.m.s이다. 그러나 실제 발전제어 시스템에서 r.m.s 검출 신호는 순시전압 출력에 대하여 시간 지연을 가지게 된다. 이러한 시간 지연의 문제로 인하여 제어 이득을 크게 설정하기 어렵고, 부하의 급변에 대하여 낮은 응답성을 가지게 된다. 육상용 발전 시스템에서는 d-q 변환에 의한 순시적인 r.m.s 검출이 용이하지만, 엔진-발전기 시스템에서는 부하에 따라 발전기의 주파수가 가변적이고 순시적인 주파수 검출을 위한 별도의 장치를 부착하기가 어렵기 때문에 AVR의 제어 이득의 선정과 발전기의 시상수에 매우 의존적으로 된다.

3. 제안된 기법에 의한 발전기 출력특성 개선

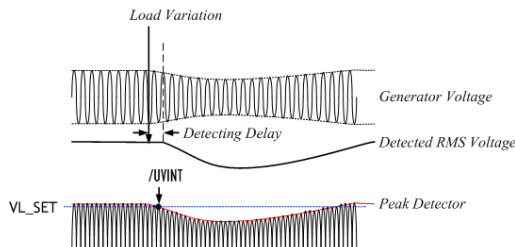
본 논문에서는 발전기 전압의 r.m.s 검출 지연으로 인한 응답특성 문

제를 개선하기 위하여 간단한 피크 검출부 및 가변이득 제어기 구조를 적용하였다. 그림 3과 그림 4는 제안된 발전기-AVR 시스템의 블록도와 실제 동작에 대한 설명을 나타내고 있다.

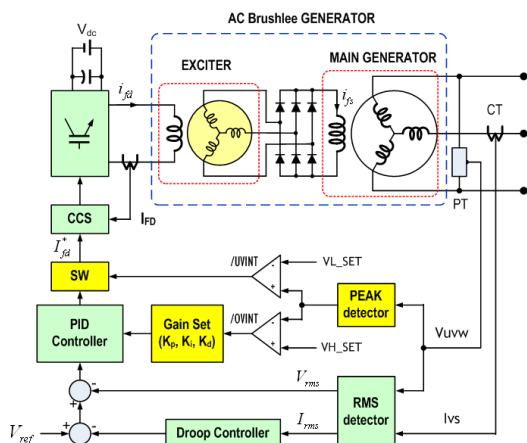


〈그림 3〉 제안된 발전기-AVR 시스템

그림 3의 제안된 시스템은 발전기 r.m.s. 검출 지연에 대한 응답 특성을 개선하기 위하여 r.m.s. 검출부 이외에 발전기 전압의 피크 검출부를 가진다. 피크 검출부는 발전기의 주파수에 따라, AC 발전 전압의 피크치를 검출하는 부분으로 발전기의 응답에 대하여 지연없이 최대 크기를 검출할 수 있다. 연속적인 제어에 대해서는 노이즈 및 고정된 R, C에 의해 동작하므로, 방전 부분에서는 피크 값보다 작은 값이 검출된다. 따라서 본 논문에서는 AD 컨버터로 연속적으로 피크 검출부의 전압을 검출하고, 발전기 주파수 검출에 의해 그 중에서 최대 값을 찾는 방법의 해를 각 주기에서의 전압 변동을 검출하도록 설계하였다. 그림 3에서 2개의 비교기는 피크 검출부에서 검출된 전압과 설정치를 비교하는 부분이며 피크 검출부의 노이즈 및 검출 오류를 고려하여 설정값을 결정하였다. 그림 3의 비교기에서 피크 검출부가 VL_SET 보다 작아지거나 VH_SET 보다 커지는 경우에는 발전기에 급격한 부하가 변동된 것으로 판단할 수 있게 된다. 따라서, 발전기에 급격한 부하의 인가에 의해 전압의 감소가 발생하게 되면, r.m.s. 검출부는 검출 지연에 의해 서서히 변동하게 되지만, 피크 검출부에서는 부하의 인가를 검출하게 된다. 반대로, 부하가 급격하게 제거되어 발전기의 전압이 상승하게 되면, $/OVINT$ 신호에 의해 여자의 제어 전류 지령을 0으로 급격하게 감소시킨다. 그림 5는 제안된 r.m.s.검출과 다중 전류이득 선택기법을 적용한 전체 DAVR 시스템의 구성을 나타내고 있다.



〈그림 4〉 제안된 방식의 동작

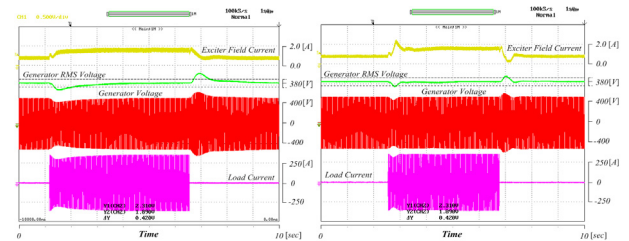


〈그림 5〉 제안된 전체 제어 시스템

4. 실험 및 결과

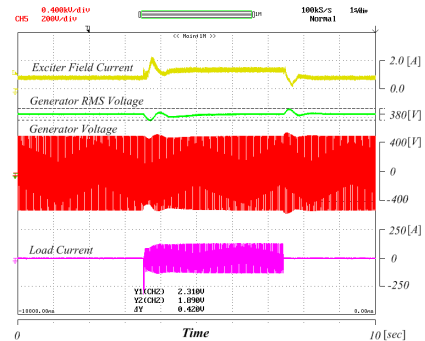
제안된 제어기의 타당성을 검증하기 위하여 3상 380V, 200kW 디젤 엔진 발전기에 대한 실험을 수행하였다. 그림 6은 100% 부하 인가와 부하 제거 상태에서의 PID 제어기와 제

안된 방식의 제어 구조에서의 응답특성을 나타내고 있다. 그림 6(a)의 일반적인 PID 제어기에서 부하의 인가와 제거 상태에서 언더슈트와 오버슈트는 설정전압의 90%와 110% 보다 크게 변동하고, 특히 오버슈트는 약 24%까지 증가하는 것을 보이고 있다. 제안된 제어 구조의 경우 그림 6(b)와 같이 언더슈트 및 오버슈트가 크게 감소하고 있으며, 제어 이득의 변화에 따라 PID 제어기 보다 빠른 응답성을 나타내고 있다.



(a) 일반적인 PID 제어 (b) 제안된 제어기법
〈그림 6〉 전부하 인가와 및 제거 상태에서의 응답특성 비교

그림 7은 인덕턴스 부하의 인가와 제거에 대한 응답특성이며, 제안된 방식에서 인덕턴스 부하의 인가와 제거에 대해서도 안정적인 전압 제어 특성을 나타내고 있다.



〈그림 7〉 인덕턴스 부하에 대한 응답

5. 결론

본 논문에서는 발전기의 출력전압 제어를 위해 PID제어를 적용시 발전기의 출력전압 검출에 대한 시간적 지연으로 발생하는 응답성의 저감을 개선하기 위하여 순시적인 r.m.s.검출 기법과 가변이득제어기 구조를 적용한 DAVR 제어기법 및 시스템을 제안하였다. 제안된 기법은 부하의 급변에도 안정적인 r.m.s 검출 및 부하의 변동을 검출하여 제어기에 전달하고 이를 통해 PID의 제어이득을 가변적으로 선택함으로써 부하의 급변에 대해서도 출력전압의 안정화 및 응답성을 개선할 수 있었으며, 200kW급 동기발전기를 대상으로 한 실험을 통하여 이를 검증하였다.

본 연구는 산업자원부의 지역혁신 인력양성사업의 연구 결과로 수행되었음.

[참고 문헌]

- [1] "An American National Standard IEEE Standard Definitions Excitation System for Synchronous Machines", pp. 8-14, 1986.
- [2] L. W. Matsch, J. D. Morgan, 'Electromagnetic and Electromagnetical Machines', John Wiley & Sons, pp. 214-215, 1987.
- [3] P. Kundur, M. Klein, G. J. Rogers, and M. S. Zywno, "Application of Power System Stabilizer for Enhancement of Overall System Stability", IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 4, No. 2. pp. 614-626, May, 1989.
- [4] K. A. Riddle, "Renovation of a paper mill steam driven turbine-generator", presented at IEEE Pulp and Paper Technical Conference, Rome, GA, 1995.
- [5] IEEE Guide for Specification for Excitation Systems", IEEE Std. 421. 4. 1990
- [6] Gao Feng, Qin Yihong, Xu Guoyu. A method for automatic design of fuzzy voltage regulator[J]. Automation of Electric Power Systems, 1995, 19(8) : 5-9.