

분산전원의 계통연계를 위한 디젤발전기의 부하변동에 따른 제어기 개발연구

(A Study on the Controller Development Depending Load Variation of a Diesel Generator for Power System Connection of Distributed-source)

한상석* · 한후석 · 이창구

(Sang-Seok Han · Hoo-Sek Han · Chang-Goo Lee)

요 약

일반적으로 비상시 전원으로 디젤발전기를 가장 많이 사용하고 있으며, 하이브리드 전원소스(상용전원, 축전기, 연료전지, 태양전지 등)를 사용하여 부하에 안정적인 전력을 공급하기 위한 방법들이 연구되어지고 있다. 최근 비상시 전원으로 가장 많이 사용하고 있는 디젤발전기의 역할이 아주 중요하게 여겨지며, 운영부하에 따라서도 유연하게 동작되어야 하고, 신뢰성도 확보되어야 한다. 따라서 본 연구에서 부하 변동에 따른 최대전력 추종제어 기능이 가능하고, 고조파 억제 기능 및 안정주파수 유지기능이 가능하도록 부하 변동에 따른 디젤발전기의 제어기에 대하여 논하고자 한다.

Abstract

Diesel generator is most widely used for supplying of emergency electrical power. There have been extensive research efforts to develop ways to ensure stable electrical power delivery to the loads using hybrid power sources, such as power source, storage batteries, fuel cells and solar cells. Furthermore, as the role of these diesel generators for emergency electrical power supply has recently become very important, they should assure high reliability and flexibility according to the operation load. Therefore, in this paper, we introduce a controller to be used in diesel generator to enable tracking control of maximum power according to the load variation and suppressing high-order harmonics while maintaining stable frequency.

Key Words : Distributed source, Diesel generator, PWM converter, Load variation, Power system connection

1. 서 론

정부의 차세대 성장 동력으로 예상되는 분산전원의 주변기술과 이에 따른 주변기술들의 연구가 필요한 실정이며, 향후 대체에너지 보급 및 이에 따른 기술들의 연구가 필요한 실정이다. 우리나라의 대체에

* 주저자 : 전북대학교 매카트로닉스공학과 박사과정
Tel : 063-211-1626, Fax : 063-211-3684
E-mail : hanssda@chonbuk.ac.kr
접수일자 : 2008년 1월 16일
1차심사 : 2008년 1월 24일, 2차심사 : 2008년 2월 11일
심사완료 : 2008년 2월 18일

분산전원의 계통연계를 위한 디젤발전기의 부하변동에 따른 제어기 개발연구

너지(태양열, 태양광, 연료전지, 풍력 등)의 급속한 개발로 인한 주변기술들의 개발도 시급하며, 이와 더불어 자가발전기술(디젤발전, 가스발전 등) 및 계통연계기술도 필요한 실정이다.

일반적으로 비상시 전원으로 디젤발전기가 가장 많이 사용되고 있으며, 하이브리드 전원소스(상용전원, 축전지, 연료전지, 태양전지 등)를 사용하여 부하에 안정적인 전력을 공급하기 위한 방안들이 연구되어지고 있다. 최근 비상시 전원으로 가장 많이 사용되고 있는 디젤 발전기의 역할이 매우 중요하며, 또한 운영부하에 따라서 유연하게 동작되어야 하고 신뢰성도 확보되어야 한다.

따라서 이와 같은 이유로 인하여 부하 변동에 따른 최대전력 추종제어 기능, 한전실계통과의 병렬운전 기능, 고조파 억제기능 및 안정주파수 유지기능, 디젤발전기 사용자의 편리성 및 안정성이 고려되어야 한다.

따라서 본 연구에서는 그동안 국내에 많이 보급되어 비상전원으로 사용하고 있는 기존의 거버너식 디젤발전기가 부하변동에 따라 유연성이 결여되어 있어 부하변동에 유연하게 대처할 수 있고 안정주파수 유지 기능이 가능 할 수 있도록 기존의 거버너를 움직일 수 있도록 하고 거버너를 부하변동에 따라 자동으로 조절할 수 있는 제어기를 개발하고자 한다.

2. 본 론

2.1 디젤엔진발전기의 시스템의 구성

일반적으로 디젤엔진을 이용한 발전기 시스템은 엔진에 발전기를 연결하고 엔진을 구동하게 되면 엔진의 힘에 의하여 발전기가 회전하고 이 회전력에 의하여 발전기에 단자전압이 발생한다. 이 단자전압을 AVR(Automatic Voltage Regulator)을 이용하여 계자 전류 양을 조절하여 단자전압의 크기를 제어하게 된다. 그리고 부하가 증가하게 되면 엔진의 조속기(Governor)를 이용하여 디젤 엔진의 주입연료량을 조절하여 엔진이 일정한 속도를 유지할 수 있도록 한다.

본 연구에서는 비상시 전원을 공급하기 위하여 30[kW]의 디젤발전기를 설치하여 운전하고 있던 중 부하가 증가하게 되자 디젤 발전기가 부하변동에 대

응하지 못하고 멈추어 서게 되어, 부하변동 시험을 여러 번 실시한 결과 부하가 24[kW]부근에서 항상 발전기가 멈추는 것을 알 수 있었다. 따라서 30[kW] 발전기로 공급할 수 있는 부하의 여유가 있으나 거버너 동작으로 연료량을 투입하여도 더 이상 부하에 대응하지 못하는 것을 발견하였다.

따라서 부하 변동에 잘 대응할 수 있도록 하기 위해서는 엔진 조속기(Governor)를 가변시키면 가능하리라 판단되어 거버너를 가변할 수 있는 제어기를 개발하고 이 제어기를 실제 발전기에 부착하여 실험을 하였다.

또한 단자전압을 조정하는 그림 1에서 발전기 계자제어시스템의 AVR을 제거하고 그림 2처럼 디젤 엔진 발전기 시스템을 구축하였다.

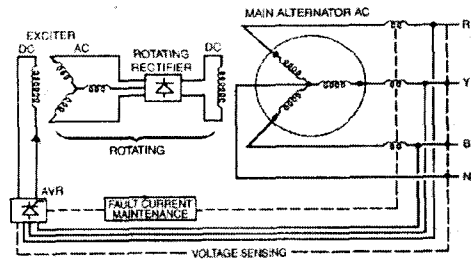


그림 1. 발전기 계자시스템
Fig. 1. Generator field system

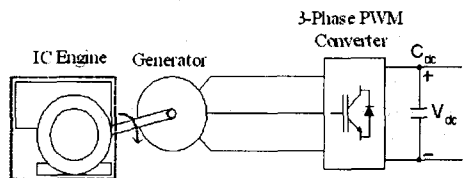


그림 2. 디젤엔진 발전기시스템
Fig. 2. Diesel engine generator system

그림 2에서 보듯이 디젤엔진 발전기는 3상 AC전압을 출력하고, 이 3상 전압을 PWM(Pulse Width Modulation) 컨버터를 이용하여 일정한 DC전압으로 변환하여 준다. 정류된 DC전압은 계통연계시스템(PWM 인버터)의 에너지원으로 동작하게 된다.

2.1.1 발전기와 3상 PWM 컨버터

일반적으로 3상 PWM 컨버터는 계통전원과 컨버터 사이에 전원전류 규제치를 지키기 위한(원전전류

리플, 전원임피던스에 의한 전원고조파의 억제) 인덕턴스를 적절히 설계하여 구성하였다. 본 시스템은 발전기 자체의 동기 인덕턴스가 존재하기 때문에 별도의 인덕턴스를 설치할 필요성이 없다. 따라서 엔진 발전기의 터미널이 PWM 컨버터와 직접 연결되고 발전기의 역기전력은 3상 가변주파수 가변 크기의 전압원이라 생각할 수 있다. 결국 본 시스템은 그림 3과 같이 발전기의 역기전력은 3상 VVVF (Variable Voltage Variable Frequency) 가변 계통 전압으로 임피던스 및 PWM 컨버터 연계용 AC라인 인덕턴스로 생각할 수 있다.

2.1.2 PWM 컨버터의 전류

PWM 컨버터의 전류제어를 위해 동기좌표계 전류제어 기법을 사용하였다. 이를 위해 기준이 되는 전원의 기준각을 찾아야 하며, 일반적으로 전원전압을 측정하여 기준각 정보를 추정하는 방법이 이용되어 왔다. 하지만 본 시스템의 경우 전원에 해당하는 발전기의 역기전력을 측정하는 것은 불가능하므로 측정된 전류를 이용하여 발전기의 역기전력을 추정하고 이를 이용하여 기준각을 추정하였다.

2.1.3 역기전력 추정기에서 제어각 초기값 찾기

역기전력 추정을 통해 동기각을 추정하는데 있어서 추정기가 수렴하는 속도가 충분히 빠르지 않으면 PWM 컨버터는 잘못된 각을 기준으로 전류제어를 수행한다. 이와 같은 경우 시스템의 출력 DC 전압의 과충전으로 시스템 트립을 발생시킬 수 있다. 빠른 추정기의 수렴 속도를 위해 추정 역기전력의 초기값, 그리고 PLL(Phase Locked Loop)의 초기값을 적절히 설정할 필요가 있다. 역기전력 추정방법은 그림 3과 같다.

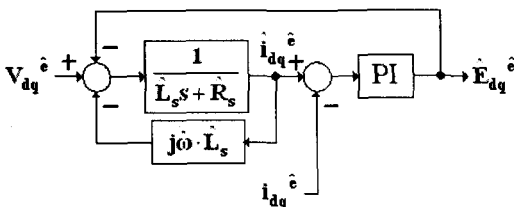


그림 3. 역기전력 추정방법
Fig. 3. Method of estimating back EMF

2.1.4 DC 링크 제어 방법

PWM 컨버터를 통해 DC 전압을 일정하게 유지하기 위해서는 DC 전압제어기가 상위에 있어야 하며, 전체 블록도는 그림 4와 같다.

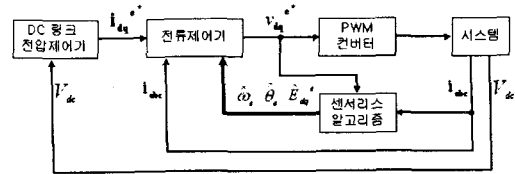


그림 4. PWM 제어 전체 블록도
Fig. 4. Entire block diagram of PWM control

PWM 컨버터의 전원전압 기준제어를 위하여 전압 방정식으로 표현하고 전원전압 기준제어의 특성을 제어각과 전원전압과의 관계로부터 제어각을 선정하게 되면, 교류전동기의 벡터제어와 유사한 특성을 얻을 수 있다. 또한 전압제어기를 구성하여 전원측에서 공급되는 입력전력이 부하에서 소비하는 출력전력보다 클 경우에는 직류링크 전압이 증가하고, 반대의 경우에는 직류링크전압이 감소하므로 입력전력을 제어함으로써 직류링크 전압을 제어할 수 있다.

2.1.5 계통연계 시스템

정지좌표계의 물리량을 동기좌표계로 변환하거나, 동기좌표계의 물리량을 정지좌표계로 변환하기 위해서는 제어각이 필요하다. 제어각과 실제각이 일치하는 경우와 제어각이 실제각보다 뒤지는 경우 그리고 제어각이 실제각보다 앞서는 경우의 제어각 오차와 동기좌표계의 d축 전원전압을 구할 수 있다. 그러므로 동기좌표계 d축 전원전압이 영이 되도록 제어각을 수행해 나가면 실제각과 제어각을 일치시킬 수 있으며 이는 간단하게 PI 제어기로 구현할 수 있다. 이를 기반으로 하여 계통연계 시스템은 계통에 병렬로 연결된 UPQC의 병렬인버터를 이용하였다. PWM 인버터는 순시적으로 계통에 공급하는 전력량을 제어하여 계통에 전력을 공급할 수 있으며, 적절한 단일운전 모드로의 전환을 통해 부하의 보호운전을 수행할 수 있다. 그림 5는 디젤엔진 발전기를 이용한 계통연계시스템의 전체 블록다이어그램이다.

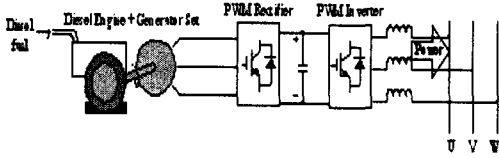


그림 5. 디젤엔진 발전기를 이용한 계통연계시스템 전체 블럭 다이어그램
 Fig. 5. Entire block diagram of the power system connection used in diesel engine generator

2.2 부하변동에 따른 제어기 개발

디젤발전기가 운전 중에 급격한 부하에 의하여 부하가 변동하게 되면 엔진출력을 증가시켜 부하에 유연하게 대처하도록 하여야 한다. 거버너식 디젤발전기는 부하가 변화하게 되면 엔진의 출력을 변화시켜 부하의 변동에 대처 하고 있다. 그러나 출력이 변화하더라도 발전기의 회전수는 항상 일정하게 유지되도록 거버너가 설치되어 있으며, 발전기에서 나오는 단자전압은 AVR을 통하여 일정한 전압이 공급되어 부하에 잘 적응하도록 되어있다. 본 연구에서는 이와 같이 출력을 변화시킬 수 있는 거버너를 부하의 변동에 의해 자동적으로 동작될 수 있도록 거버너 제어기를 부착하여 부하가 변화하면 거버너를 자동적으로 동작시켜 엔진출력을 변화시킬 수 있도록 하였으며, 기존의 계자제어 시스템 및 AVR 제거하였다. 계자제어 시스템 및 AVR를 제거하면 발전기에서 나오는 전압 및 주파수가 일정하지 않다. 따라서 부하 변동에 따라 일정한 전압 및 주파수 유지를 위하여 컨버터를 부착하여 유지할 수 있도록 하였다.

2.2.1 부하변동에 대응하는 제어기의 구성

부하 변동에 따라 거버너의 출력을 변경시키기 위하여 DC모터를 사용하여 제어기를 구성하여 실험세트를 제작하였다. 제어기의 구성 및 실험장치의 구성은 그림 6과 같다.

그림 7에서 보면 기존 디젤 발전기는 거버너를 움직이지 못하도록 고정시켜 놓았다. 고정된 부분의 볼트를 분해하여 거버너가 자유롭게 움직일 수 있도록 하였으며 이 거버너를 좌우로 자유롭게 움직이기 위하여 DC모터를 이용하였다. 또한 거버너가

부하변동에 따라 원하고자 하는 위치에 정확하게 멈출 수 있도록 하였으며, 원하고자 하는 위치에 멈추지 않았을 때 이를 보상하기 위하여 보상장치를 위한 제어기를 설치하였다.

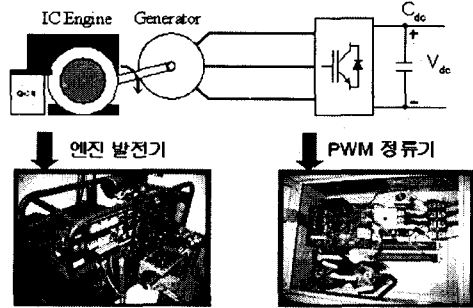
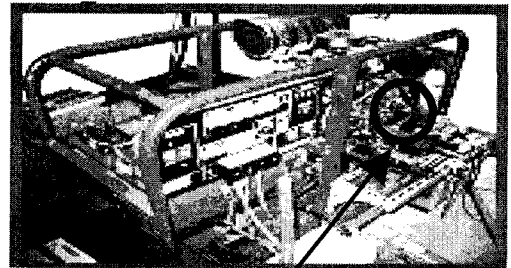


그림 6. 전체 실험장치의 구성
 Fig. 6. Entire experiment set up



거버너 위치 및 제어기

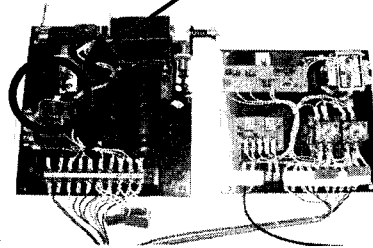


그림 7. 제어시스템 실험 세트
 Fig. 7. Experiment set up for the control system

2.2.2 부하변동에 대응하는지의 검증실험

제어기시스템을 30[kW] 디젤발전기에 부착하여 실험을 실시하였으며, 부하 시험을 위하여 30[kW] 선형부하 장치를 이용하여 실시하였다. 실험 결과 그림 8처럼 출력 파형이 부하의 변동에 따라 잘 추종

하고 있으며, 그림 9와 같이 거버너 시스템이 유연하게 동작하고 있음을 볼 수 있었다.

구를 진행하려고 한다.

본 연구는 산업자원부지원에 의하여 기초전력연구원 (R-2003-B-443) 주관으로 수행된 과제임.

References

- (1) TOYO Denki Industrial "Diesel Generator Operation Manual".
- (2) RHLasseter, "MicroGrids Power Engineering society Winter Meeting, IEEE, Vol 1, Jan, 2002, pp.304-308.
- (3) Dynamic characteristic analysis and optimization of shipping Diesel generator system that use gene algorithm, Changwon university, 2000.2.
- (4) Larry F Weber et al., "A New Gas Discharge Logic Technique that Reduces Circuit Complexity for AC Plasma Display Panels", Conf. Record of IDRC, pp. 502-505, Kobe, Japan, 1983.
- (5) A Poseukon technology report, "PWM converter that have Performance that improve", Consecutive number of volumes 16, 2004.10.
- (6) <http://www.dbpower.co.kr/contents> AVR Special quality.
- (7) [http://www.eleman911.com.ne.kr/safy/safy10.htm](http://www.eleman911.com.ne.kr/safty/safy10.htm), Driving of Diesel generator and bursting tube state special quality etc.

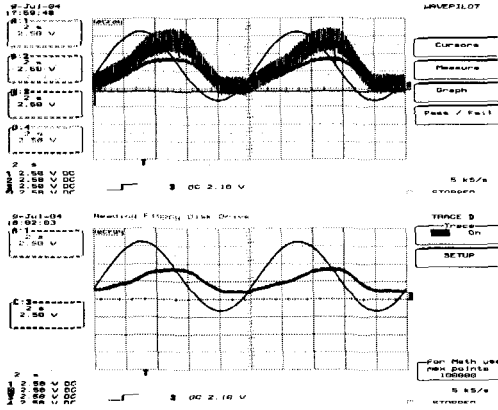


그림 8. 부하변동에 따른 출력 파형
Fig. 8. Output wave of load variation

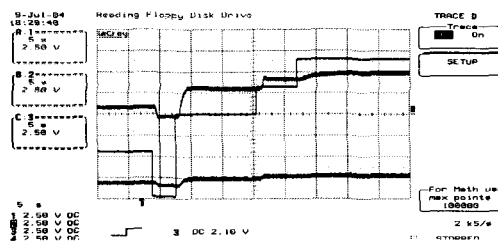


그림 9. 부하변동에 따른 거버너 제어기 파형
Fig. 9. Governor control wave of load variation

5. 결 론

본 논문은 30[kW] 디젤발전기의 운전 중 부하 변동에 따라 유연하게 운용될 수 있도록 제어를 설계하고 제작하여 실험을 하는 것이 목적이다. 따라서 이를 위하여 기존 디젤 발전기의 계자제어 시스템을 분리하고, 거버너의 동작을 원활히 하기 위하여 고정된 거버너의 볼트를 제거하여 자유롭게 움직일 수 있도록 하였다. 이후 제작된 제어기를 부착하여 실험을 실시하였으며, 실험을 위하여 3상 PWM 컨버터와, 30[kW] 부하장치 등을 연결하여 실시하였다. 실험결과 출력 파형이 부하의 변동에 따라 잘 추종하고 있고 거버너 시스템이 유연하게 동작하고 있음을 볼 수 있었다. 향후 제어시스템 보안을 위하여 시뮬레이션을 실시하고 새로운 제어기에 대한 연

◇ 저자소개 ◇

한상석 (韓商錫)

1967년 12월 17일. 1991년 전주교육대학교 졸업. 2002년 동 대학원 졸업(석사). 현재 전북대학교 공과대학 메카트로닉스 공학과 박사과정.

Tel : (063)274-4369

E-mail : hanssda@chonbuk.ac.kr

한후석 (韓后錫)

1958년 10월 24일. 1987년 전북대학교 전기공학과 졸업. 1989년 2월 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2000년 동 대학원 의용생체계측공학과 졸업(박사). 현재 기초전력연구원 책임연구원.

Tel. (02)885-9443

E-mail : hhs@snu.ac.kr

이창구 (李昌求)

1958년 12월 25일생. 1981년 전북대학교 전기공학과 졸업. 1991년 전북대학교 전기공학과 박사. 1992년~현재 전북대학교 전자정보공학부 교수.

Tel : (063)274-4369

E-mail : changgoo@chonbuk.ac.kr