

동기발전기 여자시스템용 고주파 PWM 컨버터 설계

장수진, 류동균, 원충연, 이진국*, 배기훈*, 김수석**
 성균관대학교, (주)K₂ Power*, 서울산업대학교**

Design of a High Frequency PWM Converter for Synchronous Generator Excitation System

Su-Jin Jang, Dong-Kyun Ryu, Chung-Yuen Won,
 Jin-Kuk Lee**, Kee-Hun Bae*, Soo-Suck Kim**

Sungkyunkwan University, K₂ Power Ltd*, Seoul National University of Technology**

ABSTRACT

A synchronous generator is equipped with an automatic voltage regulator(AVR), which is responsible for keeping the output voltage constant under normal operating conditions at various levels.

The output voltage of Synchronous Generator is regulated constantly by field voltage control in excitation system.

High frequency PWM converter (Buck converter) type excitation system for synchronous generator that can sustain proper output voltage level even at the fault condition happened.

The proper operation of the proposed excitation system was verified through the simulations and the experiments.

본 논문에서는 안정적인 발전기 출력 전압과 부하 변동에 의한 발전기 단자 전압의 변화에 따른 속응성 있는 여자기 제어를 위해 고주파 PWM 컨버터인 Buck 컨버터를 적용해서 안정된 여자시스템을 구현하였다.

2. 동기발전기의 여자시스템

2.1 동기발전기 여자시스템의 구성

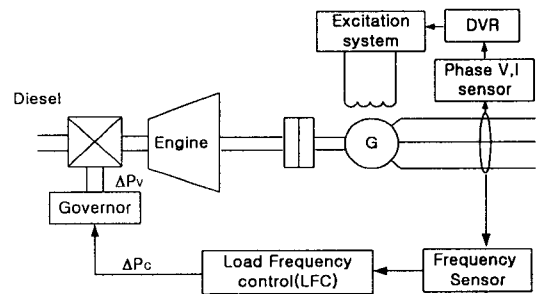


그림 1. 동기발전기 여자시스템 전체 구성도

1. 서 론

일반적으로 수백 kW급 건물의 비상용전원, 군사용 전원, 병원, 낙도용 전원에 안정적인 전력의 공급은 엔진 및 발전기의 제어장치의 성능에 의존한다. 그러나 발전소와 대형 육상용 발전기(620[kW]~2,000[kW]급)는 해외기술에 의존하고 있으며, 중·소용량의 민수용은 국산화가 되고 있다.^{[1],[2],[3]}

기존의 TCR(thyristor control rectifier)로 여자전원이 제어되는 AVR(automatic voltage regulator)은 다양한 종류의 부하가 발전기 출력에 연결되고 이로 인한 발전 전압의 왜곡과 다이리스터의 제어각을 정확하게 설정하지 못하므로 정밀한 출력전압을 제어할 수 없다.

즉, TCR에 의해 발전기의 출력전압 제어를 하게되면 제어주기가 길어서 빠른 응답특성을 얻을 수가 없다.^[1]

그림 1은 동기 발전기 여자시스템 전체 블록도이다. 동기발전기는 전기에너지원으로 전력 시스템에서 중추적인 역할을 한다. 발전기는 디젤 엔진으로 구동되고, 여자전류는 여자시스템에서 제공된다.

직류 여자시스템은 브러시의 고장과 보수, 그리고 불꽃에 의한 공급 전류제한에 의해 브러쉬형과 TCR형등의 교류 여자시스템을 주로 사용한다.^[2]

기존의 TCR 교류 여자시스템에는 그림 2의 정지형 여자시스템이 있다.

정지형 여자시스템은 고정된 제어 정류기로부터 얻은 직류전압을 슬립링을 통하여 동기발전기 계자에 전류를 공급하는 방식이다.

이러한 시스템에서 정류기의 입력은 동기기의 출력을 강압하여 사용한다.

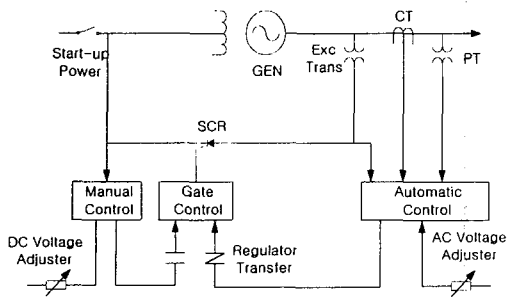


그림 2. 다이리스터 직접 여자시스템(정지형)

그림 3은 회전 전기자형 교류 발전기를 주발전기 회전축에 직결하여 그 출력을 같은 회전축에 부착된 정류기에서 직류로 변환하여 주발전기의 계자전류를 공급하고, 브러쉬와 슬립링을 사용하지 않기 때문에 브러쉬리스 여자방식이라 한다.[4],[5]

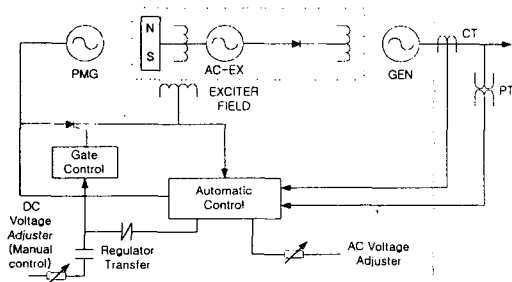


그림 3. 브러쉬리스형 교류 여자시스템

이와 같이 발전기의 여자방법은 다양하지만 보수와 전력공급에 대한 제한적인 요소로 인해 직류 여자시스템에서 교류 여자시스템으로 대체되고 있다.[6]

이러한 문제를 해결하고자 본 논문에서는 종래의 다이리스터 위상제어정류기 대신에 PWM Buck 컨버터를 사용하여 여자를 제어한다.

제어기를 선정하기 위해서는 제어대상 기기의 특성과 제어기의 가격, 생산성, 개발기간 등을 고려하여야 한다.

따라서 PWM 신호를 제어하기 위하여 마이크로 콘트롤러(PIC)를 사용하였다.

PIC는 미국 마이크로칩테크놀러지사가 개발한 8비트 마이크로콘트롤러로서 산업계에서 널리 사용되고 있다.

PIC16C74B의 경우에는 8채널의 A/D 컨버터를 내장하고 있으며, 33개의 I/O포트, 3개의 타이머, 12개의 인터럽트 소스를 가지고 있다.

PIC16C74B의 기능을 살펴보면 타이머 인터럽트는 2개 사용하고 있고, 외부 인터럽트 1개, 체인지 인터럽트 1개, A/D 변환, PWM 인터럽트를 사용하고 있다.

타이머0 인터럽트는 제어용으로 사용되고 있으며, 2[ms] 주기를 가지고 있다.

타이머1 인터럽트는 52[ms] 주기를 가지고, 초기 soft start, soft fault check 등을 하고 있다.

A/D 컨버터는 7개가 있으며, 발전기의 출력전압, 전류 및 병렬 운전시를 고려한 신호등을 디지털 값으로 변환한다.

PWM 인터럽트는 주 스위치에 인가되는 드라이버의 신호로 사용된다.

그림 4는 본 연구에서 제안한 여자시스템용 컨버터와 발전기 시스템을 보여주고 있다.

PMG의 출력은 일정한 값으로 가정하고, 발전기의 단자전압을 제어하기 위해 Buck 컨버터는 계자 전압을 제어한다.

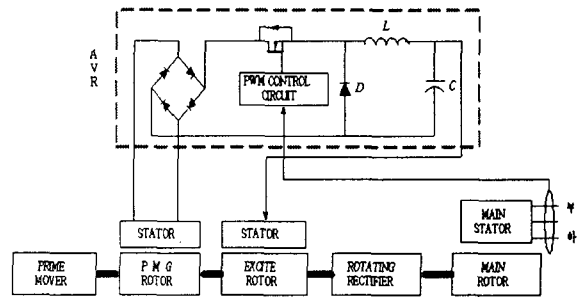


그림 4. Buck 컨버터를 이용한 여자시스템 구현

PMG의 출력은 다이오드 정류기를 통하여 Buck 컨버터의 입력이 되며, Buck 컨버터의 제어 동작에 의해 동기발전기의 계자로 전압이 인가된다.

따라서 다이리스터를 이용한 위상제어보다 여자 시스템 제어가 용이하며, 발전기 단자전압을 신속하게 제어할 수 있다.

위와 같이 여자에 Buck 컨버터를 사용하여 계자 전압을 제어할 수 있다. 따라서 동기발전기의 단자전압이 제어된다.

부록에는 동기 발전기의 회전형 정류기 부분과 부여자기와 Main 발전기 set을 보여준다.

3. 시뮬레이션 및 실험결과

3.1 시뮬레이션

Buck 컨버터를 적용한 여자시스템의 응답 특성을 보기 위하여 PSIM 소프트웨어 툴로 시뮬레이션 하였다. Buck 컨버터를 이용한 여자시스템의 파라미터는 표 1과 같다.

표 1. 여자 시스템 정격 파라미터

파라미터	정격
PMG 출력주파수	250~300[Hz]
PMG 출력전압	180~240[Vac]
컨버터 인덕턴스	3.1[mH]
컨버터 커패시턴스	940[μ F]
계자 저항	18~20[Ω]
계자 인덕턴스	50[mH]
스위칭 주파수	100[kHz]

그림 5는 본 논문에 사용된 발전기 여자 시스템용 Buck 컨버터의 시뮬레이션 회로도이다.

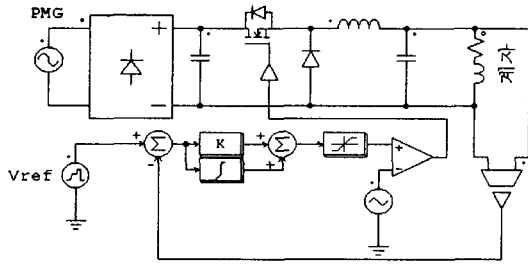


그림 5. 발전기 여자시스템용 컨버터

본 시뮬레이션에서는 PMG의 일정 전압을 AC 입력력으로 하고, 발전기의 출력전압 변동은 V_{ref} 로 가정하였으며, 여자기의 계자는 R-L 회로로 등가화하였다.

실제 발전기에서는 발전기 단자 전압 제어를 단위 응답시험으로 하지만 그림 5에서는 발전기 계자만을 고려하여 계자 전압 제어를 하였다.

그림 6은 발전기 계자전압이 70[V]에서 32[V]로 하강하였을 때의 계자 전류 단위응답 파형이다.

그림 7은 발전기 계자전압이 32[V]에서 70[V]로 상승하였을 때의 계자 전류 단위응답 파형이다.

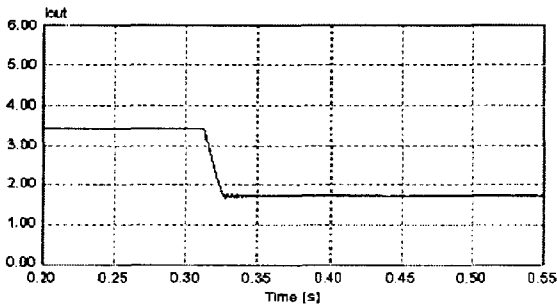


그림 6. 70[V] 계자전압에서 32[V] 하강 단위응답 파형 (1A/div)

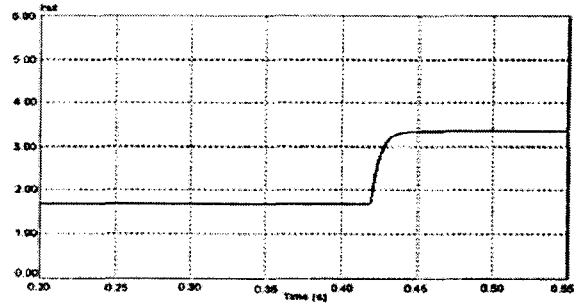


그림 7. 32[V] 계자전압에서 70[V] 상승 단위응답 파형 (1A/div)

시뮬레이션에서 Buck 컨버터를 사용하여 여자기 계자 전압을 제어함으로써 동기발전기 여자시스템에 대한 단위 응답 특성을 크게 개선하였다.

3.2 실험 결과

실험은 시뮬레이션과 동일한 조건하에 Buck 컨버터를 설계하여 실험하였다. 발전기 출력 전압의 변동은 궤환 신호가 변동하는 것으로 가정하였다.

그림 8은 발전기 출력 전압이 상승하였을 때의 컨버터의 출력 전류 파형이다.

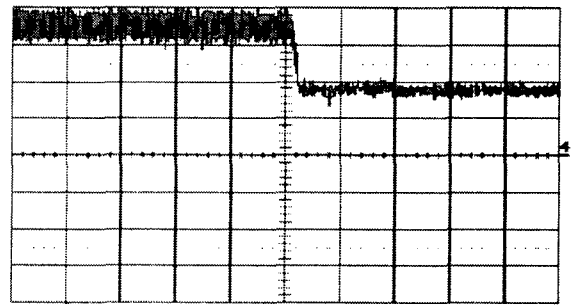


그림 8. 70[V] 계자전압에서 32[V] 하강 단위응답 파형 (1A/div)

그림 9는 발전기 궤환 신호가 하강하였을 때의 컨버터 출력 전류 파형이다.

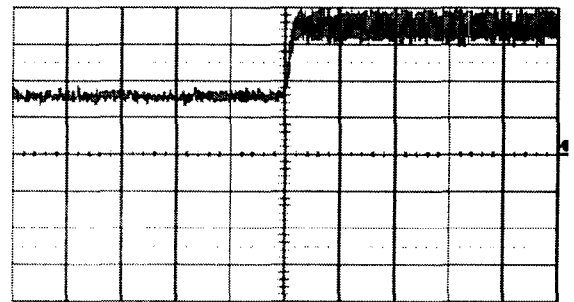


그림 9. 32[V] 계자전압에서 70[V] 상승 단위응답 파형 (1A/div)

그림 6, 7의 시뮬레이션과 그림 8, 9의 실험 파형의 결과가 서로 일치함을 알 수 있었다.

4. 결 론

종래의 브러쉬리스형 자여자식 발전기의 AVR은 3상 전압을 TCR방법으로 발전기 여자기에 공급하여 발전기 출력 전압을 조정한다.

이 방법은 발전기 전압을 왜곡시키는 부하가 연결될 때 다이리스터의 제어각을 정확하게 결정할 수 없어 발전기 전압을 신속하게 제어할 수 없다.

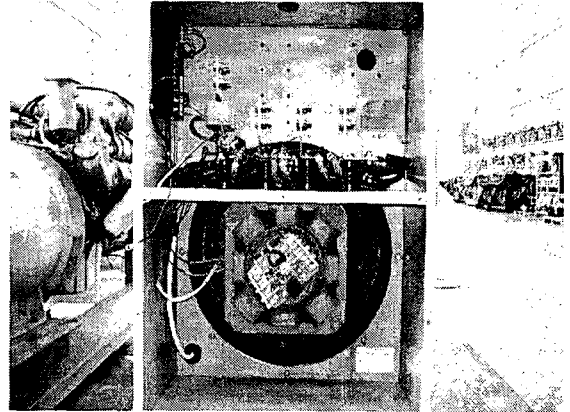
본 연구에서는 고주파 PWM Buck 컨버터로 디지털 AVR을 구현하여 부하에 관계없이 빠른 제어와 정교한 발전기 전압제어가 가능함을 얻었다.

본 기술내용은 과학 기술부 연구성과 지원사업의 지원에 의하여 연구되었음. (2001.01.12~2002.11.30)

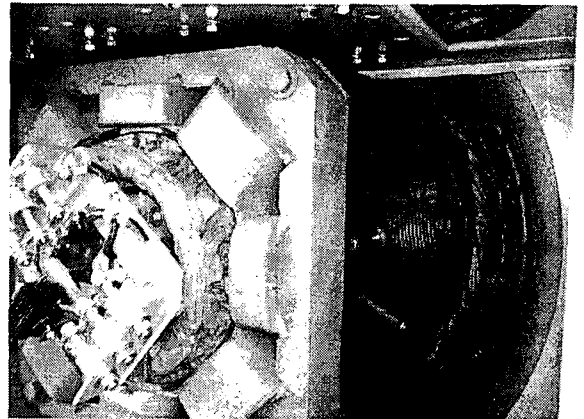
참 고 문 헌

- [1] 안중보, "디젤 엔진 구동 동기발전기의 자동전압 조정기에 관한 연구", 한국과학기술원 석사학위논문, 1995.
- [2] 원충연, 안정호, "동기발전기용 여자기 전원장치 및 디지털 전압제어 동향", 조명·전기설비학회지 기술 해석, pp.51-57, 2002.
- [3] 임익현, 류호선, "동기발전기 여자 시스템 모델 및 성능 평가", "디지털 여자 시스템 제어 알고리즘 및 컨버터 기술", 전력전자학회 합동 춘계 학술발표회, pp.117-184, 2002.
- [4] 임익현, "동기발전기 디지털 여자 시스템 개발에 관한 연구", 홍익대학교 대학원 공학박사 논문, 2001.
- [5] "An american national standard IEEE standard definitions Excitation Systems for Synchronous Machines", pp.8-14, 1986.
- [6] 류홍우, "동기발전기용 승강압 초퍼식 정지형 여자 시스템에 관한 연구", 서울 대학교 공학박사논문, 1996.

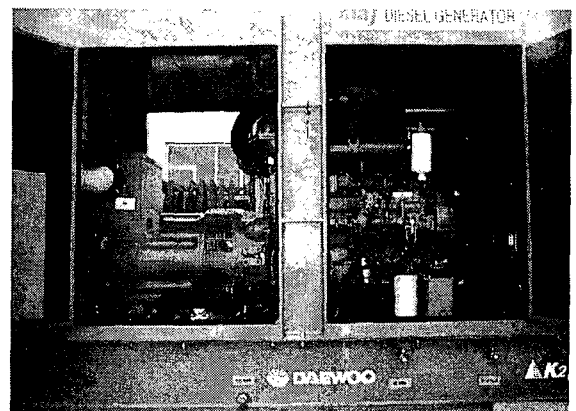
부 록



1. 부여자기(pilot exciter)와 AVR



2. 부여자기와 Main 발전기



3. 비상용 동기발전기 외형