

동기발전기 디지털 여자 시스템 PSS 제어

(Synchronous Generator Digital Exciter System PSS Control)

홍헌문*

(Hyun-Moon Hong)

요 약

본 논문에서는 디지털 PSS 제어기를 사용하여 동기발전기에 디지털 여자기 제어를 적용하는 것을 제안하였다. 실험결과는 디지털 제어 시스템은 아날로그 제어 시스템과 비교하여 우수한 제어 성능을 증명하였다. 현대제어 이론은 디지털 제어를 구현하기가 쉽게 확립되었다.

Abstract

This thesis also proposes an applied digital exciter control system for a synchronized generator using a digitally PSS controller. Experiment results show that the digital control system manifests excellent control performance compared to analog control systems. It has also been confirmed that it is easy for the modern control theory to implement digital control.

Key Words : PSS, Exciter

1. 서 론

대부분의 전력회사들은 공통적으로 재정, 환경, 부지 확보 등의 제약 때문에 발전설비는 부하 중심 지로부터 원거리에 위치하며, 새로운 송전선로를 확보하는데 어려움이 있기 때문에 기존의 송전선로를 최대한 이용하여 전력을 공급하는 경향이 있다. 전력수요 증가에 따른 전력시스템의 대형화 추세 속에서 정상적인 운전상태에서의 부하변동이나 선로상

태의 변화 등과 같이 계통조건이 변화했을 때, 특정 발전기에는 어느 정도의 동요현상이 발생하게 된다 [3]. 이런 현상은 발전기의 기계적 모드에 제동토크 (Damping Torque) 성분이 부족하기 때문에 나타나며, 전력시스템에 발생하는 저주파 동요의 감쇠는 안정성 유지측면에서 매우 중요한 과제로 부각되어 왔다. 이와 같은 문제점을 해결하는 방법으로써 여러 가지 방안들이 연구되어 왔다. 또한 발전설비, 송전설비 등의 전력설비가 대형화되면 계통의 리액턴스가 증가하게 되어 안정도 여유가 감소하게 되기 때문에 계통의 안정된 운전을 위한 제어기, 특히 고 성능 여자기에 대한 의존도가 더욱 증가하게 되었다 [1-6].

발전기 여자시스템(Excitation System)의 역할은

* 주저자 : 동해대학교 전기전자공학과 조교수
Tel : 033-521-9321, Fax : 033-521-9407

E-mail : hmhong@donghae.ac.kr

접수일자 : 2004년 5월 11일

1차심사 : 2004년 5월 17일, 2차심사 : 2004년 6월 16일

심사완료 : 2004년 7월 12일

전력시스템의 성능향상과 더불어 그 중요성이 더욱 증대되었다. 전력전자 및 제어기술의 발달로 인해 전압원 정지형 여자시스템(Voltage-Source Static Exciter System)이 널리 사용되고 있다. 이 시스템은 구조가 간단하고 저렴할 뿐만 아니라 정비·보수가 용이하며 시간지연이 적은 초속용 여자가 가능하기 때문에 안정도를 향상시키는 장점을 가지고 있다. 고성능 여자기의 채용은 동기화토크(Synchronizing Torque)를 증가시키는 효과가 있기 때문에 과도상태의 안정도 개선에는 유용하지만 계동토크를 감소시켜 저주파 동요를 유발시킨다. 이러한 문제점들을 해결하는 방법들이 많이 연구되고 있으며, 그 중에서 전력시스템 안정화장치(Power System Stabilizer, PSS)를 도입하는 연구가 활발하게 진행되어 왔다.

세계 도처의 선진 전력계통 전력회사들과 국내 전력계통 전력회사는 저주파 동요의 억제를 위하여 대형발전기에 PSS를 설치하여 운영하고 있다. 또한 PSS를 채택한 경우에 있어서도 자동전압 조정장치(Automatic Voltage Regulator, AVR)의 제어기는 고전적 제어이론인 주파수응답법(Frequency Response Method)을 기반으로 한 진-지상 보상기(Lead-Lag Compensator)를 사용하였다. 이 방식 외의 이론적인 접근방식으로 근궤적(Root-Locus)법, 고유값(Eigenvalue)법, 극배치(Pole Placement)법, LQ 제어이론(Linear Quadratic Control Theory), 적응제어이론(Adaptive Control Theory)을 이용한 제어기 설계에 대한 연구가 진행되었고, 많은 연구소와 대학들로부터 긍정적인 평가가 이루어졌다 [7-9].

위의 제어이론들을 적용하여 제어기를 설계하기 위해서는 시스템의 동특성을 충분히 표현할 수 있도록 모델링을 수행한 후, 그 수학적 모델로부터 제어기를 설계하여야 한다. 특히 시스템의 파라미터에 정년변화와 드리프트 현상에 의한 파라미터 변화 그리고 고주파수 특성을 고려한 불확실성이 포함되지 않은 경우에는 폐환제어계(Feedback Control System)를 구성하고 위의 제어이론을 도입하여 제어성을 보장할 수 있는 제어기를 설계할 수 있다. 그러나, 그렇지 않은 경우에는 이론값과 실제값 사이에 많은 편차가 발생하기 때문에 현장에서는 실제 도입

된 예가 거의 없다. 따라서 전력시스템에 포함된 불확실성과 외란에 대하여 강인성을 보장하면서 원하는 제어성을 얻을 수 있는 제어기의 도입이 필요하다. 그러나 제어이론을 도입하여 설계한 제어기는 대부분 높은 차수를 갖기 때문에 아날로그 구현이 어렵게 되어 디지털 구현에 의한 제어기법의 연구가 선행되어야 한다.

본 논문에서는 디지털로 여자시스템을 구현함으로써 현대 제어 이론을 구현하는데 수월하게 되었다. 또한 동기발전기 디지털 여자시스템의 PSS에 제어기 구현으로 전력시스템의 안정성과 신뢰성을 보장할 수 있을 것이다.

2. 전력시스템 안정화 장치(PSS)

본 장에서는 제안한 디지털로 구현한 PSS를 도입한 그림 1과 같은 전압원 정지형 직접여자 제어시스템을 제안하였다. 먼저 실험에 이용된 디지털 여자 제어시스템의 기본구성과 제안된 방식에 의해 설계된 제어기를 디지털로 구현할 수 있는 TMR (Triple Modular Redundant) 장비에 대해 기술하고, 전력안정화장치(PSS)에 대하여 기술하고자 한다.

2.1 시스템 모델

그림 1은 디지털 PSS 제어기를 사용한 여자시스템을 포함한 전력시스템의 전체 구성도이다.

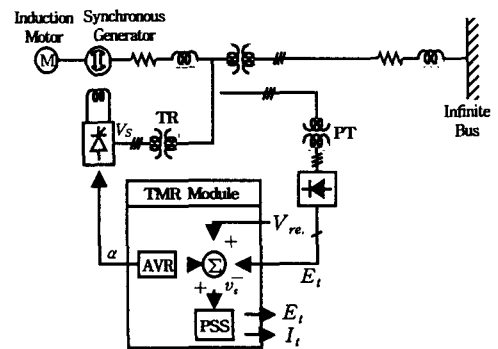


그림 1. AVR과 PSS를 가진 디지털 실험 시스템 구성도
Fig. 1. Basic block diagram of digital exciter experiment system with AVR and PSS

제안된 전력시스템은 한 개의 병렬 전송라인을 무한대 버스에 연결한 동기발전기 모델로 표현한다. 그림 1의 실험에 사용된 동기발전기와 유도전동기(M-G) 세트이다. 제안된 방식을 디지털 PSS로 구현하기 위한 TMR 장비의 기본사양은 입력모듈, 메인 프로세서 및 출력 모듈에 이르기까지 완벽한 3중화 기술에 의해 설계되어 있으며, 모든 입출력 모듈은 레그(Leg)로 불리는 독립된 3개의 회로망을 내장하고 있다. 입력모듈의 각 레그는 프로세스 데이터를 읽어들이고, 이 자료를 각각에 해당하는 메인 프로세서로 보내며, 3개의 메인 프로세서는 고속의 내부 버스 매체를 통하여 서로 통신을 할 수 있다. 또한 각 입출력 모듈은 핫 스페어(Hot Spare) 모듈을 설치할 수 있는 구조로 되어 있으며, 운전중인 첫 번째 모듈의 고장이 검출되면 자동으로 제어기능이 핫 스페어 모듈로 전환되도록 되어 있다. 또 핫 스페어 슬롯은 온-라인 시스템 보수용으로 사용할 수도 있다.

2.2 전력안정화장치(PSS)

발전기의 기본적인 제어는 발전기 단자전압 제어이다. 이 제어는 부하변화, 속도변화와 온도변화 등 여러 가지 외란에 관계없이 발전기 단자전압을 전압 기준 설정값과 일치하도록 제어하는 것이 AVR의 일반적인 특성이다. 그러나, 이것만으로 전력 시스템 운전은 불충분하여 다음과 같은 무효전류 보상장치(Reactive Current Compensator), 자동 역률 조정장치(Automatic Power Factor Regulator), 자동 무효 전력 조정장치(Automatic Var Regulator), 송전전압 제어장치(Power System Voltage Regulator), 난조 방지회로, 부족 여자제한기(Under Excitation Limiter), 과전류 제한기(Over Current Limiter), 자동 추종 제어기(Automatic Follow-Up Controller) 등이 보조제어 장치가 필요하게 되었다. [4,9].

1950년대 후반부터 AVR을 가진 대형 발전기들이 전력시스템에 적용되어 전력수요의 대부분을 담당하게 되었고 AVR에 고속응 여자방식을 채택함으로써 전력시스템의 과도상태 안정도를 개선할 수 있는 반면에 정상상태 안정도에는 악영향을 미치게 되었다. 또한 소규모의 저주파동요가 장시간 계속되고

전력공급능력이 경우에 따라 감소하는 현상도 발생하게 되었다. 이와 같은 문제를 해결하기 위해서 그림 2와 같이 여자제어시스템에 전력시스템 안정화장치(Power System Stabilizer, PSS)를 도입하였다.

여자시스템에 PSS로부터 보조신호인 회전자 속도, 모선 주파수, 유효전력, 가속력 등가 인가되면, 발전기의 제동토크가 증가되어 저주파동요와 같은 이상현상이 신속히 감소되고, 발전기의 안정도가 개선된다.

PSS의 기본적인 기능은 보조 안정화신호를 이용하여 여자시스템을 제어함으로써 발전기 회전자의 진동을 억제하기 위한 댐핑을 제공하는 것이다. 댐핑을 제공하기 위해서는 회전자의 속도편차와 동상인 전기적 토크 성분을 발생시킬 필요가 있다.

그림 2는 싸이리스터 여자기 시스템을 고려한 AVR과 PSS를 포함한 여자기 시스템의 구성도를 블록선도로 나타낸 것이다.

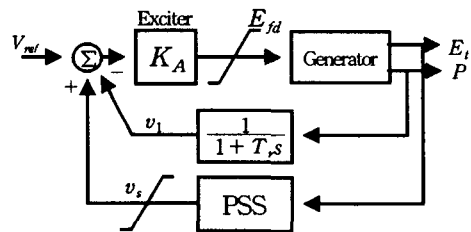


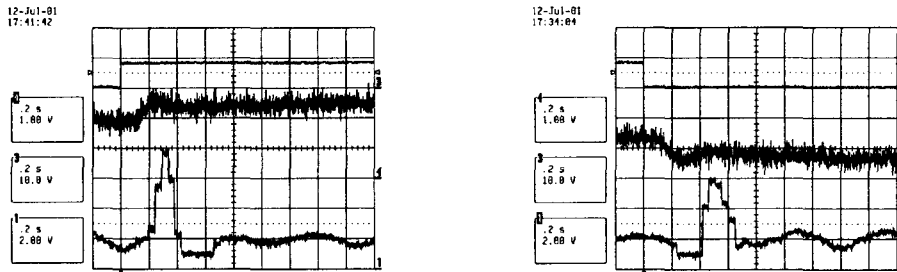
그림 2. AVR과 PSS를 가진 싸이리스터 여자시스템도
Fig. 2. Thyristor exciter system with AVR and PSS

3. 실험결과

본 장에서는 발전기 디지털 여자 시스템을 구현하여 우수한 성능을 증명하였다. 다음과 결과를 얻을 수 있었다.

그림 3은 기존 PSS를 도입하여 실시스템에 적용한 결과를 나타낸다. 여기서, 각각의 파형은 위에서부터 차례로 기준 여자전류, 실제 여자전류, 적용된 PSS 출력을 나타낸다. 그림 3(a)는 무부하에서 기준 여자전류가 상승하였을 때이고, 그림 3(b)는 하강하였을 때의 실험파형이다.

그림 4는 무부하상태에서 PSS의 도입되지 않은

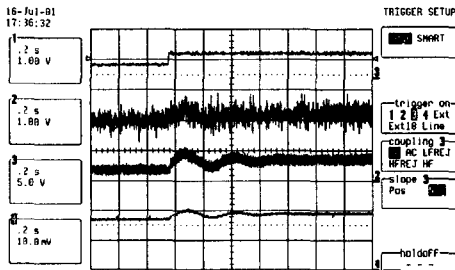


(a) Up step

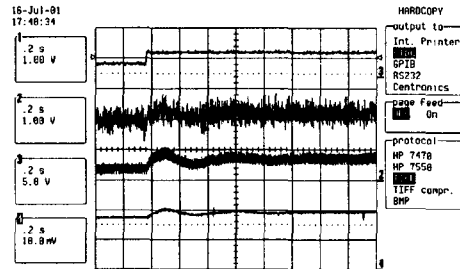
(b) Down step

그림 3. 무부하시 기준여자전류, 실제여자전류와디지털 PSS 출력 실험파형 : 1. 기준여자전류, 2. 실제여자전류, 3. PSS 출력신호

Fig. 3. Experiment waveforms excitation reference current, excitation real current and digital PSS output at no load : 1. Exciter reference current, 2. Exciter reference current, 3. PSS output signal



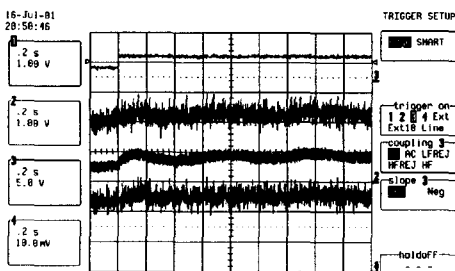
(a) Case of no PSS



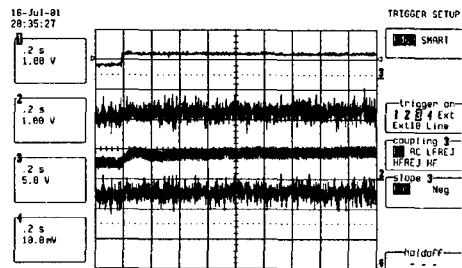
(b) Case of PSS

그림 4. 무부하시 기준여자전류, 실제여자전류와 디지털 PSS 출력 실험파형 : 1. 기준여자기 전류, 2. 전류프로브로 측정된 실제여자전류, 3. 필터링한 실제여자전류, 4. TMR 입력 여자기실제전류.

Fig. 4. Experiment waveforms excitation reference current, excitation real current at no load : 1. Exciter reference current, 2. Exciter real current using current probe, 3. Exciter real current using filtering, 4. TMR input exciter real current



(a) Case of no PSS



(b) Case of PSS

그림 5. 2[kW] 부하시 기준여자전류, 실제여자전류와 전기적 전력 실험파형 : 1. 기준여자기 전류, 2. 전류프로브로 측정된 실제여자전류, 3. 필터링한 실제여자전류, 4. TMR 입력 여자기실제전류.

Fig. 5 Experiment waveforms Excitation reference current, excitation real current and Electrical Power at 2[kW] load : 1. Exciter reference current, 2. Exciter real current using current probe, 3. Exciter real current using filtering, 4. TMR input exciter real current

경우와 도입된 경우의 실험파형이다. 여기서, 각각의 파형은 위에서부터 차례로 기준 여자전류, 전류 프로브로 측정된 실제 여자전류, TMR 입력단의 실제 여자전류, 세 번째 파형을 필터링한 결과를 나타낸다. 이 그림들로부터 무부하상태에서는 PSS가 시스템에 영향을 주지 않음을 알 수 있다.

그림 5은 동기발전기에 2[kW] 부하를 연결하여 실험한 결과이다. 여기서, 각각의 파형은 위에서부터 차례로 기준 여자전류, 발전기 출력전압, 실제 여자전류, 유효전력을 나타낸다. 그림 7은 PSS가 없는 경우이고, 그림 5(b)에서는 PSS를 도입한 경우이다. 이 그림들로부터 세 번째 파형을 비교하면 기준 여자전류를 5% 증가하였을 때, PSS를 도입한 경우 보다 안정적이고 빠른 추종성능을 보임을 알 수 있다.

4. 결 론

본 논문에서는 동기발전기 여자시스템에 디지털을 도입하여 제어를 설계하여 전력 시스템의 안정성과 신뢰성을 보장할 뿐만 아니라 개선된 추종성능이 나타남을 위의 실험결과들로부터 검증하였다.

앞으로 디지털 제어를 적용하면 여러 가지 현대 제어이론을 적용하는 것이 과제이다.

References

- (1) H. M. Rustebakke, Electrical Utility Systems and Practice, John Wiley & Sons Inc., 1983.
- (2) C.A. Gross, Power Systems Analysis, John Wiley & Sons Inc., 1986.
- (3) K. Ogata, Modern Control Engineering, Prentice-Hall Inc., 1997.
- (4) C. T. Chen, Linear System Theory and Design, Holt, Rinehart and Winston, 1970.
- (5) T. Kailath, Linear Systems, Prentice-Hall Inc., 1980.
- (6) P. Kundur, M. Klin, 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.
- (7) E. W. Kimbark, Power System Stability Vol. III : Synchronous Machines, John Wiley & sons Inc., 1959.
- (8) B. R. Barmish, New Tools for Robustness of Linear Systems, Macmillan, 1994.
- (9) M. Vidyasagar, Nonlinear Systems Analysis, Prentice-Hall, 1993.

◇ 저자소개 ◇

홍헌문 (洪鉉文)

1992년 충북대학교 전기공학과 졸업. 1994년 동대학원 졸업(석사). 2002년 동대학원 졸업(박사). 1998년~현재 동해대학교 전기전자공학과 조교수.