정지형 여자제어 시스템 개발

임익헌, 류호선, 정창기, 류흥우
전력연구원

Development of Analog Controlled Transformer-fed Static Excitation System

I.H. LIM, H.S. RHEW, C.K. JUNG, H.W. RHEW
KOREA ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE(KEPRI)

Abstract - Potential-source controlled rectifier excitation system has been developed by KEPRI for synchronous generator in YOUNG-DONG thermal power plant. This paper describes the characteristics of redundant control system and transfer function of dual channel excitation control system. This system has been using a analog and digital circuit devices(hybrid type)

1. 서 론

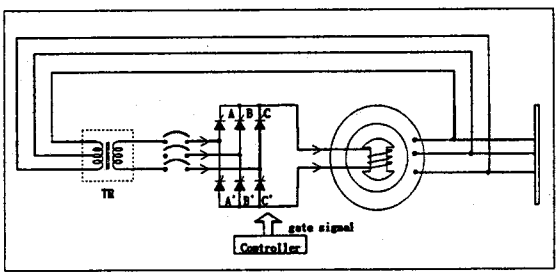
전력전자 및 계측제어 기술의 발전과 더불어 발전제어설비 분야에서의 국산화 개발이 활발히 진행되고 있다. 발전제어 설비중 동기 발전발전기 여자제어 시스템을 신뢰성이 높은 이중화된 정지형으로 연구 개발하여 현장 실증 적용 완료하였다. 회전형 교류여자제어 시스템이 영구자석 발전기, 여자기등이 터빈축에 직결되어 여기서 나온 교류 전력을 제어하여 발전기 전압을 제어하는데 반해서 정지형은 회전부분이 없이 자기 발전기 출력 단에서 여자용 변압기를 통해서 전압을 강압한후 Thyristor Converter를 위상 제어하여 필요한 발전기 계자 전류를 공급하여 발전기 전압을 제어하는 방식이다. 개발된 시스템이 갖는 주요 특성중에 하나는 아날로그 조절기와 디지털 설정기로 구성된 시스템을 이중화하였는데 각 Controller가 종속적인 정류기 Converter를 거느리면서 개별 채널이 50 : 50의 설정된 부하분배율에 따라서 병렬 운전되며 어느 한 개의 Controller나 정류기에 고장이 발생하면 나머지 한 채널이 전부하까지를 공급한다.

2. 본 론

국산 개발하여 실증 적용한 직접여자제어시스템 [그림 1]과 동기 발전기 정지형 여자제어시스템의 신호흐름 선도[그림 2]를 나타내었다. 여자 변압기를 제외한 전 시스템이 이중화되어 있으며 "A"채널은 발전기 전압(Outer Loop)과 계자전류(Inner Loop)를 기준 설정값에 따라서 운전되고 "B" 채널은 "A" 채널과 똑같은 기능을 수행하면서 찬넬별 여자전류의 출력을 비교하여 부하전류가 평형되게 분배되는 기능까지 포함한다. "B" 채널은 "A" 채널에 대해서 부하 평형을 위해서 Slave로써 기능을 수행한다.

2.1 직접여자제어 시스템(영동화력#1)

정지형 여자 방식은 주발전기의 출력을 직접 이용하여 여자시키는 방식으로 주발전기의 전압을 여자기 전원으로 사용하는 방식과 주발전기의 전압과 전류를 벡터적으로 합성하여 이용하는 두가지 방식이 있다. 이 방식은 발전기 출력이 여자전원으로 사용되어 직접 제어되므로 시간 지연이 거의 없는 장점을 갖고 있다. [그림 1]은 발전기 단자전압을 Thyristor 정류기를 통하여 직류로 변환하여 계자전류를 공급하는 방식을 나타내고 있으며 이때의 계자전류는 Thyristor 정류기의 점호각을 제어함으로써 이루어지며 이 방식을 Thyristor 직접여자 방식이라고 한다.



[그림 1] 직접여자제어시스템

2.1.1 전압제어 Loop Controller

발전기 단자 전압을 궤환받아 이를 정류 및 Smoothing한 리셋 신호와, 磁氣회로 과포화로 인한 발전기 고정자 및 주변압기 철심내의 철손 증가로 인한 과열로부터 기기를 보호하기 위하여 V/Hz 제한을 수정받은 디지털 전압 설정기와 비교해서 오차 신호를 발생하고, 신호의 검출과 증폭과정에

서 발생되는 위상지연을 보상하는 미분 위상보상 기능 그리고 System Gain 및 Rate Feedback을 조정하고 동기 발전기의 과도한 진상운전으로 인한 안정도 저하 및 고정자 단부 과열을 제한하는 Var Limit 기능 등을 수행한다.

2.1.2 전류제어 Loop Controller

전압제어 Loop Control을 Outer Loop Control이라고 한다면 이것은 Inner Loop Control에 해당한다. 시스템을 보다 정밀하고 속응성있게 제어하기 위하여 Cascade Control 개념으로 설계되어 있다. 과도 상태에서는 전압제어 Loop Controller 출력으로 수정을 받고 정상상태에서는 이 신호에서 받은 수정 신호를 추종회로에서 추종해서 수동설정기, 즉 Base Excitation Controller가 Follow-Up되도록 설계되어 있다. 전압제어 자동신호와 전류제어 수동신호가 발전기 여자 전류 기준치가 되고 정류기 출력 전류를 궤환받아 두 신호를 비교하여 편차신호를 만든다. 한편 계자회로에 정격 이상의 과도한 전류로 인한 발열로부터 회전자를 보호키 위한 제한회로 신호가 가산되어 싸이리스터 점호위상을 결정하는 최종 제어 신호를 만든다.

2.1.3 PWM Follow-Up & Current Balancing

정상상태하에서 자동신호의 출력편차 신호를 추종하여 수동설정기가 수정동작을 수행하여 Mode 절환시 Bumpless를 최소화 하기위해서 추종장치가 설치되어 있는데 이를 Pluse With Modulation Method를 사용하여 편차의 크기에 따라서 Pulse Train의 주기를 변화시켜 신속하고 정확하게 그리고 Hunting 없이 수정 동작을 수행하는 방식이다. 한편 끊임없이 변화하는 채널간의 여자출력 전류분배·분담을 PWM으로 수행하여 적정의 부동대를 줌으로서 안정적인 전류 평형이 이루어진다.

2.1.4 무접촉 Analog Memory 방식의 설정기

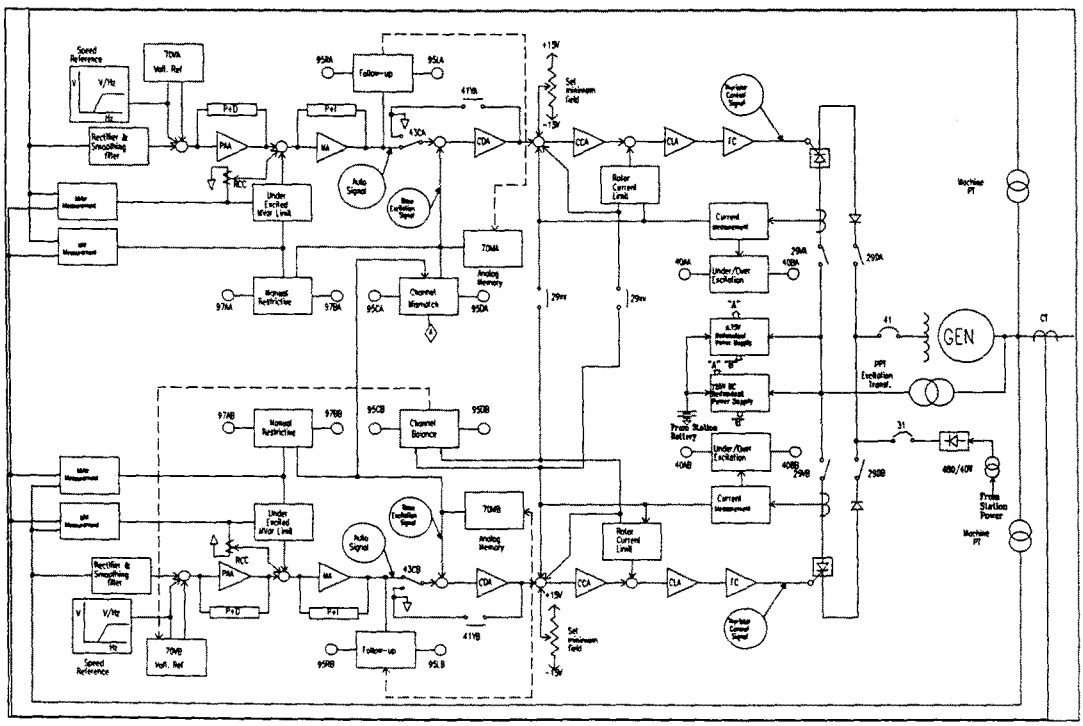
디지탈 Counter와 D/A Converter를 사용하여 발전기 전압 및 여자 전류 기준 설정기로 사용함으로써 종전의 유접촉식 가변저항을 이용한 전압설정기 방식에서 발생되는 불완전 접촉으로 인한 발전기 전압 Hunting을 근원적으로 제거하였다.

2.1.5 Data Acqusition System

시스템 운전지원과 고장진단을 위한 자료 취득 장치를 부가하여 정상 운전시 각종 신호의 Trending, Alarm Display, Historical Data 저장 등을 수행하고, 고장발생으로 인한 불시 정지시 mSec 단위로 발생전후 상황을 Trip Log로 저장하여 사고원인 규명과 고장대책에 편리하도록 한 장치이다.

2.6 싸이리스터 위상제어

점호각(Phase angle α) 제어방식은 Cosine Control 방식을 사용하였다. 여자기 변압기 2차에서 신호를 받아서 Synchronising Step-down Transformer에서 강압하여 정현파를 만들고 이 신

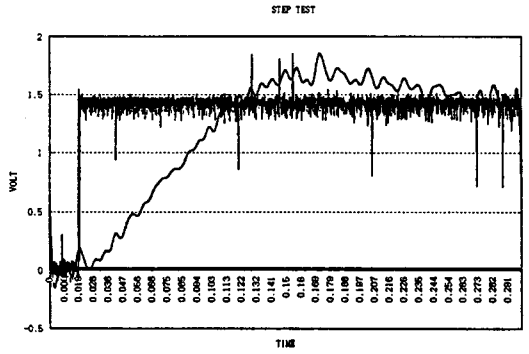


[그림 2] 동기발전기 정지형 여자제어시스템 신호 흐름선도

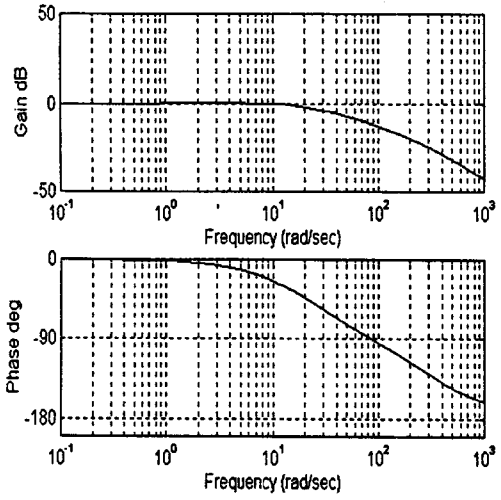
호와 전류제어 Loop Controller에서 발생된 최종 제어신호가 Mark/Space 증폭기에서 비교되어 Pulse 신호를 만들고 이를 다시 증폭해서 Phase Control을 행한다.

2.7 시스템 응답시험 결과 및 주파수 특성

정지형 여자제어 시스템을 설치하여 무부하 상태에서 소신호 성능평가를 위한 Inner Loop와 Outer Loop의 계단응답 시험결과 제반 성능평가 지수가 안정한 범위내에 들어있다. [그림 3]은 계단응답 시험시 자동운전에서의 발전기 여자 System의 응답특성을 나타낸 것으로 스텝신호 및 실측출력 파형을 나타내고 있다. 그리고 각각의 셋팅치와 정수추정으로 얻어진 전달함수를 이용하여 [그림 4]에서는 폐루프 보드선도를 나타내었다.



[그림 3] 스텝응답시험 파형



[그림 4] 폐루프 보드 선도

3. 결 론

이제까지 여러가지 설명을 통해서 125MW 동기발전기용 이중채널 정지형 여자제어 시스템에 대한 기능과 성능을 살펴보았다. 그리고 여자시스템의 소신호 성능평를 실시한 결과 여자기 시스템이 안정 범위내에 있음을 알 수 있다. 국내 기술에 의해서 최초로 실증 적용된 정지형 여자제어 시스템이 각종 제한 및 능력곡선 그리고 보호 범위내에서 성공적으로 운전되는 것을 보면서 발전소 제어설비의 국산화와 전력전자 기술 개발에 일조한것에 큰 의의를 두고자 한다. 향후 여자전류 3000A~5000A용량의 초대형 정지형 여자기 개발에 본 선행 기술이 좋은 초석이 될 것으로 확신한다.

[참 고 문 헌]

[1] IEEE Committee Report, "Proposed Excitation System Definitions for Synchronous Machines," IEEE Trans., Vol. PAS-88, pp. 1248-1258, August 1969.

[2] IEEE Committee Report, "Excitation System Dynamic Characteristics," IEEE Trans., Vol. PAS-92, pp. 64-75, January/February, 1973.

[3] IEEE Committee Report, " Excitation System Models for Power System Stability Studies," IEEE Trans., Vol. PAS-100, pp. 494-509, February, 1981.

[4] IEEE Standard Definitions for Excitation Systems for Synchronous Machines, IEEE Standard 421.1-1986.

[5] IEEE Recommended Practice for Excitation System Models for Power System Stability Studies, IEEE Standard 421.5-1992.

[6] P. Kundur, "Power System Stability and Control," McGraw-Hill, Inc. 1993.

[7] D.C. Lee and P. Kundur, "Advanced Excitation Controls for Power System Stability Enhancement," CIGRE Paper 38-01, Paris, France, 1986.

[8] 대한전기학회 하계학술대회 논문집(B), "동기발전기용 자동전압조정장치 국산개발" P853-855, 1994.