

인천화력 4호기 발전기용 주/부 제어기를 갖는 정지형 여자시스템 개발

柳 皓 善, 金 守 烈, 金 長 睦, 林 翼 憲

Development of generator excitation system with main/standby controller
in Inchun thermal power plant #4

Ho-Seon Ryu, Su-Yeol Kim, Jang-Mok Kim, Ick-Hun Lim

요 약

한국전력에서는 인천화력 4호기 수명연장의 일환으로 여자시스템 교체가 이루어졌다. 기존의 회전형 여자 시스템은 발전기축에 부여자기와 교류여자기가 부착되어 회전하는 형태로 과거 스위칭소자 용량의 한계를 극복하기 위하여 설계된 시스템으로 전력연구원에서는 회전형 여자시스템을 새롭게 개발된 아날로그와 디지털의 하이브리드 제어기와 대용량 싸이리스터 제어정류기를 가지고 있는 정지형 이중화 여자시스템으로 교체하였다. 설비의 신뢰성을 높이기 위하여 정지형 여자시스템의 상태를 순시 감시하기 위한 데이터 취득 시스템이 설치되었고 위상제어정류기는 운전시 1대가 고장이 발생하더라도 발전기의 전부하 능력을 유지하기 위하여 3대가 병렬로 운전되는 N+1 방식을 채택하였다. 시스템의 신뢰성 시험은 성능평가를 위한 시운전시에 검증되었으며 성공적으로 운전중에 있다.

ABSTRACT

For the life extension of Inchun thermal power plant, excitation system had been replaced in KEPCO(Korea Electric Power Corporation). The existing system, rotating-type excitation system composed of a pilot exciter and AC exciter, had been designed for overcoming capacity limitation of switching elements. KEPRI replaced old excitation with developed static main/standby excitation system having analog digital hybrid control and large capacity thyristor controlled rectifiers. This system has DAS for monitoring the operation state of excitation system and adopts N+1 PCRs for maintaining full load capacity even if IPCR is fault. The system reliability was verified by performance test during the commissioning and the system has been operated successfully.

Key Words : Excitation system, Main/Standby control, DAS(Data Acquisition System), Crawbar circuit
PCR(Phase Controlled Rectifier)

1. 서 론

국내 발전소는 70년대 초부터 경제성장과 함께 많이 건설되어 왔으며 입지조건 및 환경문제 등으로 점차 대용화 되어가고 있는 추세에 있다. 또한 기존의 20~30년된 발전소들은 경제적 측면에서 유리한 수명연장을 실시하여 노후화 된 제어설비와 기타 보조기기를 신설비로 교체하여 운전하고 있다. 이 제어설비들 중

에서 발전기의 출력전압을 발생하게 하는 여자시스템의 교체가 근래에 들어 활발하게 진행되고 있다¹⁾. 그 중 325MW 용량을 지닌 인천화력 4호기도 노후설비로 여자시스템의 교체가 필요하게 되었다. 발전기 여자시스템은 동기발전기의 계자권선에 직류 전류를 공급하여 계자에 흐르는 전류량을 제어함으로써 발전기의 출력단자전압을 조정하는 무효전력제어기능과 발전기의 순간적이고 단시간 능력에 부합하는 계자강화를 수행

함으로서 과도적인 외란에 대응할 수 있는 계통 안정도 향상을 위한 기능이 포함되어 있다. 이런 기능을 하는 여자시스템은 그 종류도 직류여자시스템, 교류회전형 여자시스템, 정지형 여자시스템으로 나누어진다^[1]. 전력연구원은 기존 회전형을 철거한 후 연구개발한 정지형 여자시스템을 실증적용 목적으로 설치하게 되었다. 이중화 여자시스템의 특징을 기술하면, 첫째 제어기는 주/부 제어형 마스터-마스터-보호기(추종회로)를 이용한 이중화 제어기로 주 제어기가 고장이 발생하였을 때 주 제어기에서 부 제어기로 자동절체되는 제어기능을 하고 있으며 두 채널 중에서 어느 제어기로도 주 제어기가 되어 운전할 수 있다. 둘째로 위상 제어정류기는 나병렬 N+1방식으로 50% 용량을 3병렬 운전시켜 1대가 정지하더라도 전부하 운전이 가능하도록 되어있다. 셋째로 개별 채널에 대하여 각각 독립적인 보호를 담당하는 비간섭 형태로 이상이 발생한후 최종 마스터로 운전하는 부분의 보호기능이 발전기 보호를 수행하게 설계되어 있다. 3가지 분류외에 여자시스템의 상태를 순차 감시하기 위하여 데이터 취득 장치가 설치되어 이상 발생시 대처 능력을 향상시켰다. 인천화력 4호기 여자시스템의 교체에 앞서 개발된 이중화 정지형 여자시스템은 전력연구원에서 모의 실증 시험을 실시한 후에 적용되었으며 시스템의 신뢰성 시험은 시스템의 시운전시의 시운전 절차 및 IEEE 기준인^[2]에 의해서 수행되었고 현재 성공적으로 상업운전 중에 있다.

2. 교체된 여자시스템의 개요

2.1 회전형 여자시스템(교체 전)

인천화력 4호기에서 장기간 운전해왔던 시스템은 그림 1과 같은 회전형이다. 발전기 계자전원 공급처가 발전기 축과 직결되어 회전하는 교류발전기(여자기)이다. 발전기 출력전압을 제어하기 위해서는 파일롯 여자기(Pilot Exciter)의 출력전압을 위상제어정류기를 통하여 전압제어를 한후에 다시 교류여자기(AC Exciter)의 계자회로에 공급시켜 여자기의 출력을 다이오드로 정류해서 교류를 직류로 변환해서 발전기 계자코일에 보내는 것이다.^[1] 발전기축에 직결된 여자기로부터 계자전원을 공급받기 때문에 안정적인 여자전원 확보 측면에서는 아래의 정지형에 비해서 유리하나 회전기가 긴축으로 연결되어 기계적 진동유발과 유지보수에 어려움이 상존하고, 전기적인 시정수가 커서 응답특성이 느리다는 단점을 갖는다. 70년대에 제작된 인천화력 4호기 여자시스템은 아날로그 회로기술의 초보단계로

발전기진압 설정기는 전동기로 구동하는 유접촉식 가변저항기를 사용함으로써 빈번한 반복동작으로 마모가 심해 전압난조등 잦은 고장과 공냉식 여자기 로타의 열화진진등 문제가 발생하고 있었다. 또한 제어기는 단일채널로 구성되어 있어 후비보호가 없는 시스템으로 고장발생시 발전기 비상정지 또는 정비시간 장기소요등으로 안정적인 전력공급의 장애요인을 내재하고 있었다.

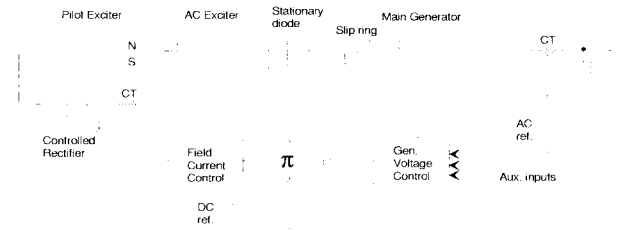


그림 1 회전형 여자시스템
Fig. 1 Rotating excitation system

2.2 정지형 직접여자시스템(교체 후)

정지형 여자시스템은 그림 2에서와 같이 계자전원을 발전기의 출력 단에서 여자변압기를 통하여 받는 방식으로 회전형에 비하여 구조가 간단하고 고장요인이 상대적으로 훨씬 적으며 전압제어 속응성이 매우 빨라 계통동태안정도 유지에 큰 장점을 가진 시스템이다^[1]. 또한, 개발 시스템은 기본적으로 발전소 정지를 최소화하기 위하여 제어기를 이중화하고 아날로그회로에 디지털회로를 일부 채용하여 신뢰도를 제고시킨 방식이다.

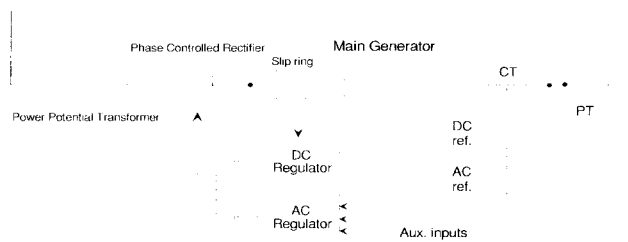


그림 2 정지형 직접여자시스템
Fig. 2 Static excitation system

3. 내고장성 여자시스템의 설계

3.1 제어기의 여유(redundancy)설계^[2]

제어기 다중화의 경우 특히, 기존 단일 시스템을 이중화했을 때 신뢰도를 구하여 시스템 설계에 반영하는 것이 일반적이다. 그림 3과 같이 직렬로 연결된 각 성

분의 신뢰도($R_i(t)$)를 살펴보면 전체 신뢰도($R_{sys}(t)$)는 다음과 같은 확률로 나타낼 수 있다.

$$R_{series}(t) = R_1(t)R_2(t)\cdots R_N(t) \quad (1)$$

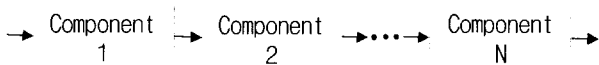
또한, 병렬로 연결된 각 성분을 합한 전체 신뢰도($R_{parallel}(t)$)는 다음과 같은 확률로 나타낼 수 있다.

$$R_{parallel}(t) = 1.0 - Q_{parallel}(t) = 1.0 - \prod_{i=1}^N (1.0 - R_i(t)) \quad (2)$$

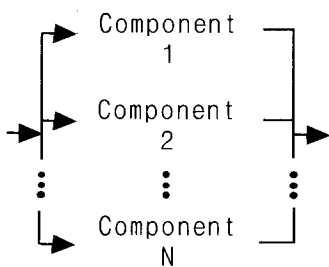
여기서 $R(t) + Q(t) = 1$

$R(t)$: 신뢰도

$Q(t)$: 비신뢰도



(a) 직렬연결 시스템



(b) 병렬연결 시스템

그림 3 시스템의 신뢰도 블록도

Fig. 3 The reliability block diagram of a system

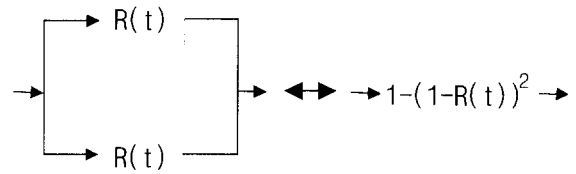
만일 예를 들어 그림 4에서 처럼 3개의 블록 시스템이 병렬로 이중화되어 운전된다고 했을 때 각 블록의 1시간후의 신뢰도를 $R_1(t)=R_2(t)=R_3(t)=0.9$ 로 했을 경우 전체 신뢰도는 다음과 같다.

$$R_{system}(t) = [1 - (1 - R_1(t))^2] \cdots [1 - (1 - R_3(t))^2] \quad (3)$$

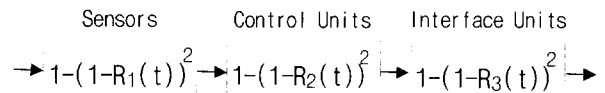
$$R_{system}(t) = [1 - (1 - 0.9)^2]^3 = 0.97 \quad (4)$$

따라서 이중화된 제어기의 신뢰도는 1시간 운전 후 0.97이고 만일 이 시스템이 단일 제어기로 구성되었을

경우 그때는 (1)식에 의해서 $0.9^3 = 0.729$ 이 된다. 이 수치에서 알 수 있듯이 시스템의 신뢰성은 이중화된 시스템이 기존 단일 시스템보다 우수함을 알 수 있다.



(a) 직렬시스템으로 축소 모의된 이중화 시스템



(b) 신뢰도를 위하여 축소 모의된 이중화 모델

그림 4 이중화 제어의 신뢰도 모델

Fig. 4 The reliability model of redundancy control

3.2 사용된 PWM 주/부 이중화 제어기

발전기 출력단자 전압을 자동조절하는 여자시스템의 신뢰도 향상을 위하여 이중화 자동추종 방식이 주로 채택되고 있다. 추종 형태의 이중화 시스템은 주제어기가 전체 시스템의 제어를 담당하고 주제어기에 고장이 발생하였을 경우 주제어기의 제어신호를 추종하던 부제어기가 주제어기로 전환되어 운전하는 방식이다. 주제어기로 지정되어 운전중인 제어기를 자동추종하는 부제어기는 추종시간의 설정치가 부적절한 경우가 많

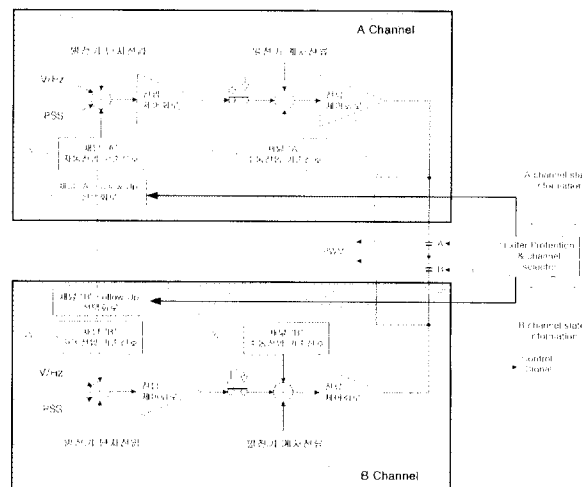


그림 5 PWM 주/부 이중화 제어

Fig. 5 PWM main/standby redundancy control

아 주제어기의 이상 신호 발생시에 추종되고 있는 부 제어기도 그 이상 신호를 빠른 시간에 추종하는 경우가 종종 발생하는 경우가 있는데, 이런 현상을 막기 위하여 디지털 회로에서는 N차 지연함수를 추가하여 사용하여 왔고 아날로그 회로에서는 저항, 콘덴서 시정수를 이용하여 지연시켜 왔다. 그러나 지연시간의 수정시에 제어카드를 교체하여야 하는 번거로움이 있어 추종되고 있는 부제어기의 추종시간의 선정이 자유로운 시스템이 필요하여 PWM제어 회로를 추종제어에 사용함으로써 추종시간의 선택 폭을 자유롭게 함은 물론, 카드의 교체 없이 수정이 가능할 수 있게 하였다.

3.3 컨버터 여유설계

위상제어 정류기(PCR:Phase controlled Rectifier)는 여자변압기의 AC 전력을 공급받아서 이중화제어기의 지령에 의해서 DC로 변환된 전력을 계자에 공급하는 장치로 내고장성을 높이기 위하여 N+M(N개로 정상운전, M개의 여분)개념 중 2+1을 사용하여 설계되었고 각각의 PCR은 입력단에 AC 차단기를 출력단에 DC 개폐기를 갖고 있어서 고장난 단위 PCR의 제거가 가능하도록 설계되어 있다.

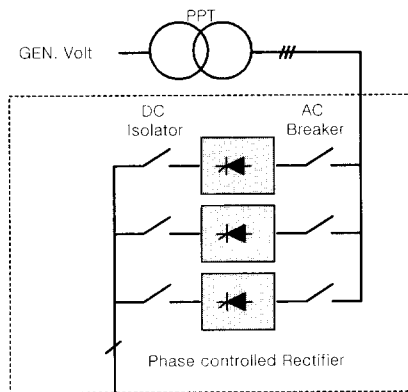


그림 6 2+1 위상제어 정류기
Fig. 6 2+1 Phase Controlled Rectifier

4. 여자시스템의 주요구성품

4.1 제어기

2중화 제어시스템은 아날로그와 디지털이 혼합된 형태로 구성되어 있다. 시스템의 주제어는 PID의 기본 알고리즘을 갖고 있는 캐스케이드(Cascade)형태로 설계되었으며 자동제어와 수동제어의 기준신호는 PWM 펄스가 아날로그 메모리에 가감되는 형태로 이상이 받

생되었을 때 동요됨 없이 채널전환 및 자동제어에서 수동제어로 전환이 용이하도록 추종제어를 하고 있다. (정지형 직접여자시스템의 경우 실험결과 채널전환이 10ms 이내에 동작해야 발전기 단자전압의 변화가 없음)

4.2 여자변압기

여자변압기는 발전기 단자전압을 여자시스템의 주전원으로 사용하기 위하여 저전압으로 강하시켜주고 계차용량과 역류등을 고려하여 발전기의 대략 0.5~0.6% 용량으로 선정되며 퍼센트 임피던스는 8% 내외로 설계되고 설계시 고려사항은 다음과 같다.

- ① 과도상태에서의 속응성을 위해 정상전압의 확보
- ② 직류, 교류측의 각종 손실등을 고려
- ③ 스위칭소자의 안정적 동작을 위해 설계한 변압기의 퍼센트 임피던스 등을 고려한 후 여자변압기 2차측 정상전압(Ceiling Voltage)을 구하면 다음과 같은 식으로부터 유도된다.¹⁷⁾

$$V_2 = \frac{\pi(V_P \times V_{fb} + V_D)}{3\sqrt{2}(\cos \alpha - 0.5 \times I_Z)} \quad (5)$$

여기서,

V_2 : 정상전압

$V_P \times V_{fb}$: 정상전압배수와 무부하여자전압

V_D : 싸이리스터 또는 다른요소에 의한 전압강하

α : 최대점호각(대략 $10 \sim 20^\circ$)

I_Z : 여자변압기 인덕턴스 (pu)

표 1 인천화력 4호기의 여자변압기 규격

Table 1 Excitation transformer specification of Incheon thermal power plant #4

Phase	3상
정격용량	3,000[kVA]
정력전압(입력:출력)	24,000 : 560[V]
결선(1차:2차)	Δ : Y
% Impedance	10%

4.3 컨버터

대형 발전기용 여자시스템의 컨버터는 위상제어정류기, 점호회로, 냉각시스템, 차단회로로 크게 분류된다. 위상제어에 사용된 싸이리스터는 용량을 충분히 고려하여 ABB사의 5STP38N4200를 사용하였다. 여기서 컨버터의 싸이리스터 용량설정에 관한 사항을 고려해 보면 다음과 같다.¹⁶⁾

- ① 컨버터가 출력해야 하는 부하의 정격용량에 따른 싸이리스터 각각의 최소용량고려
- ② 입력의 변동에 따른 컨버터의 변동 여유율 고려 (JEC-114에서는 여자기 변동율을 110%로 하였음)
- ③ 싸이리스터가 스위칭함으로서 생기는 과도 피크값 고려
- ④ 입력 전원공급 개폐시의 침투전압 고려
- ⑤ 여자시스템은 정격용량에 150%에서 30초정도 견뎌야 함으로 충분한 용량고려

[실계된 용량]

싸이리스터 내압 결정

$$\text{정상전압} \textcircled{1} \times 1.2 \textcircled{2} \times 1.2 \textcircled{3} \times 3 \textcircled{4}$$

싸이리스터 최대전류 결정

$$\text{정격정류} \textcircled{1} \times 1.2 \textcircled{2} \times 1.2 \textcircled{3} \times 1.5 \textcircled{5}$$

싸이리스터와 함께 중요하게 갖추어야 하는 설비인 냉각시스템은 2중화된 강제 공냉방식으로 냉각장치 또는 냉각용 전원의 1단계 실패에도 불구하고 안정적인 운용이 가능하도록 설계되었다. 고장시의 컨버터차단은 교류입력단을 우선적으로 차단하여 아크발생을 줄였으며 교류차단이 불가능하였을 때 출력단의 DC 개폐기로 차단하게 설계되어 있다.

4.4 여자시스템 데이터 취득장치

인천화력 4호기에는 여자시스템 감시를 위한 데이터 취득장치가 설치되어 있다. 이 장치는 발전소 운전원이 각종 경보발생시 경보발생원인을 신속히 파악하여 대응능력을 향상하고 또한 이상이 발생하여 시스템 정지시에도 각종 정보가 자동저장 되어 문제점 파악이 용이하도록 설계되어 있다. 설치된 장비의 기본기능으로는 정보, 현재(과거)이력 그래픽, 발전기 및 여자시스템의 실제 지시값 등을 나타내고 있다.

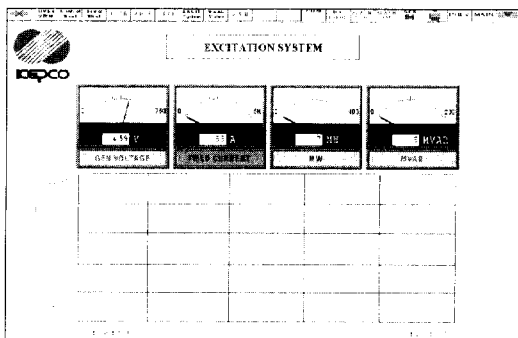


그림 7 이력그래프창의 실례
Fig. 7 An example of historical graphic screen

5. 직접여자시스템의 인천화력 4호기 적용시 문제점 해결

5.1 다병렬 위상제어정류기 전류불평형 해결

325MW 발전기용 여자시스템의 여자전류정격은 3000[A] 이상이기 때문에 3병렬 컨버터를 사용하였다. 시스템이 3병렬로 운전됨으로서 컨버터 출력이 리액터 부하이기 때문에 3개의 컨버터간에 전류 불평형이 발생되었고 이런 문제를 해결하기 위하여 외국 제품의 경우에는 컨버터 출력 부스바의 기하학적인 배치에 힘쓰고 있으며 또한 부스바 저항값을 조절하기 위하여 시운전시에 저항이 다른 부스바를 교체 할 수 있게 되어 있다. 그러나 전력연구원에서는 이런 하드웨어적인 요소보다는 제어범위에 크게 영향을 주지 않는 범위내에서 각각의 PCR 출력단의 전류량을 검출하여 비교한 후에 자기의 전류가 크고 작음에 따라 컨버터의 점호 신호에 미소신호를 가/감하여 전류 불평형이 10% 이하로 하였다.

5.2 여자변압기 2차측 전류불평형 해결

여자변압기의 2차측은 상대적으로 1차측보다 많은 전류가 흐르게 되는데 3상에 대하여 1상당 5가닥으로 포설하여 시험한 결과 5가닥 각각의 선에 전류불평형이 500% 이상 발생하였다. 이런 현상은 시뮬레이션 결과 상간의 상호인덕턴스의 영향으로 전류불평형이 발생하는 것으로 판명되었으며 일본 JCS 168E(1995)를 기본으로 하여 기하학적으로 대칭되게 하기 위하여 6가닥(짝수개)으로 상배치에 따른 시뮬레이션 및 실제 케이블 포설후 시험결과 불평형율이 130% 이하로 감소되는 것을 알 수 있었다.

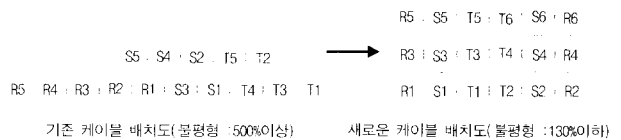


그림 8 케이블 배치도
Fig. 8 Cable arrangement diagram

5.3 발전기 계자과전압 보호회로(크로바회로) 신뢰성 향상

발전기 여자시스템에는 여러 가지 발전기 및 여자시스템의 보호회로가 있는데 그중 동기발전기 3상단락, 동기탈조동으로 발생될 수 있는 발전기 계자 코일의 과전압에 대한 보호회로(크로바회로)가 신뢰성향상

측면에서 개발되었다. 기존의 계자 과전압 억제회로는 BOD(Break Over Diode)를 사용하여 적정전압 이상의 전압이 유기되었을 때 BOD가 동작하여 싸이리스터를 동작시키고 일단 도통이 되면 전원측으로부터의 계속적인 공급전력이 있을때는 차단이 불가능하고 순간서지성전압에 대한 대안이 없이 여자시스템을 정지하였다.¹⁴⁾ 그러나 연구원에서 설치한 크로바회로는 GTO를 이용하여 On-Off를 설정치에 따라 제어함으로써 순간서지성 전압에 대하여 여자시스템을 정지하지 않고 운전할 수 있게 되었다. 발전기 계자과전압 회로의 동작 전압설정치는 첫 번째로 발전기측에서 과전압 유기시 회전계자회로에 영향을 주지 말아야 함으로 다음과 같다.

$$V_{CR \max 1} = 0.8 V_{preff} \tag{6}$$

$V_{CR \max}$: 크로바 동작 최대전압

V_{preff} : 회전계자의 테스트 전압의 실효치

또한, 두 번째의 고려대상인 컨버터의 싸이리스터에 영향이 없도록 하기 위해서는 다음식이 만족되어야 한다.

$$V_{CR \max 2} = 2(K_S \cdot V_{RRM} - \frac{V_{V0} \cdot \sqrt{2}}{\sqrt{3}}) \tag{7}$$

V_{V0} : 여자 변압기의 2차측 상전압

V_{RRM} : 싸이리스터 최대 반복 피크 역전압

K_S : 싸이리스터 전압분배 계수

또한, 실제적으로 V_{RRM} 은 제작사나 다음식 (8)으로 개략적으로 구할 수 있다.

$$V_{RRM} = (2.5 \sim 3.0) \sqrt{2} V_{V0} \tag{8}$$

(7)식에 (8)식을 대입한 후 K_S 를 0.8로 하면, $V_{CR \max 2}$ 는 다음과 같다.

$$V_{CR \max 2} = (4 \sim 5.2) V_{V0} \tag{9}$$

(9)식의 결과 값을 (6)식과 비교하여 더 낮은 값을 크로바회로의 최대 동작전압으로 결정한다. 그리고 최저 동작전압에 대한 범위는 컨버터 동작중에 최대 발

생 가능한 전압으로 $V_{CR \min 1}$ 를 대략 구하면,

$$V_{CR \min 1} \approx 3 V_{V0} \tag{10}$$

다른 한편으로 최저 응답전압은 필드억제동안 회전계자에 유기된 최대 전압보다 커야하므로 (10)식과 (11)식을 비교하여 큰 쪽을 최저 전압값으로 결정하면 된다.

$$V_{CR \min 2} \geq V_{RE} \tag{11}$$

여기서, V_{RE} : 필드억제 저항에 나타난 전압

최소 응답전압은 (10)식과 (11)식 중 가장 큰 값을 최소 기준전압으로 한다. 크로바 회로가 동작하게되는 시점은 위 식을 이용하여 최대, 최소값을 이용하여 적정 시간에서 동작하도록 설계하면 된다.

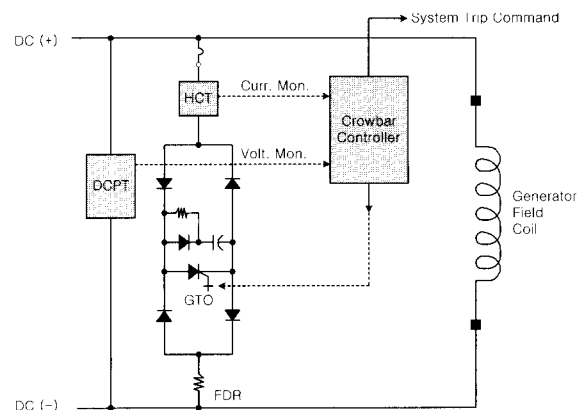


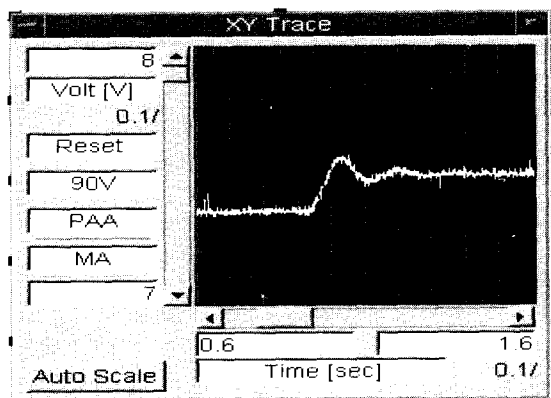
그림 9 과전압 억제용 크로바회로
Fig. 9 Crowbar circuit for overvoltage protection

6. 여자시스템의 계단응답시험 결과

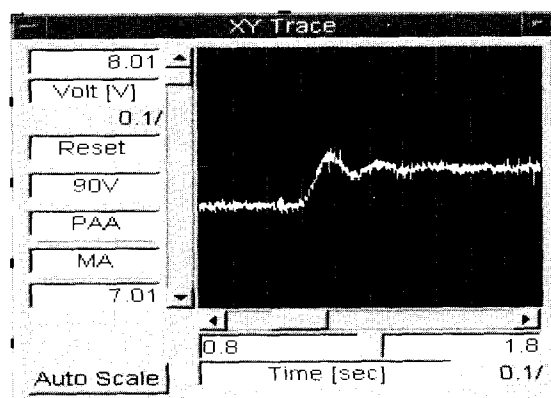
인천화력 4호기 발전기를 대상으로 정지형 여자시스템을 설치하여 무부하 상태에서 소신호 성능평가를 위한 계단응답 시험결과 제반 성능평가 지수가 안정한 범위내에 들어있다. 그림 10은 계단응답 시험시 자동 운전에서의 발전기 여자시스템 응답특성을 나타낸 것으로 스텝신호에 대한 발전기 단자전압 실측출력 파형을 나타내고 있다. 발전기 정격전압 24,000[V]가 7.4[V]로 감압되어 제어기의 궤환 입력전압으로 사용되었고 X축은 시간(눈금당 100ms) Y축은 전압(눈금당 0.1V)을 나타내고 있다.

표 2 인천화력 4호기 발전기 규격
Table 2 Generator spec of Inchun thermal power plant #4

제작사	ALSTHOM-ATLAMTIQUE
정격용량	382.35[MVA]
유효출력	325[MW], 역률 : 0.85
발전기 출력전압	24,000(±5%) [V]
여자전압, 전류	455[V], 3.150[A]



(a) A채널 Step-up 실측파형



(b) B채널 Step-up 실측파형

그림 10 0.02 pu 스텝시험 파형
Fig. 10 waveforms of 0.02 pu step-up

7. 결론

여러가지 설명을 통해서 325MW 동기 발전기용 이중채널 정지형 여자시스템에 대한 기능과 성능을 살펴 보았다. 그리고 여자시스템의 소신호 성능평가를 실시한 결과 여자시스템이 안정 범위내에 있음을 알 수 있

었다. 국내 기술에 의해서 주/부제어기 형태의 정지형 여자시스템이 각종 제한 및 능력곡선 그리고 보호 범위 내에서 성공적으로 운전되는 것을 보면서 발전소 제어 설비의 국산화와 전력전자 기술 개발에 일조한것에 큰 의의를 두고자 한다. 향후 초대형 정지형 여자기 개발에서 본 선행 기술로 좋은 초석이 될 것으로 확신한다.

참 고 문 헌

- [1] P.Kundur, "Power System Stability and Control", McGraw-Hill Inc.,1994.
- [2] Barry W. Johnson, "Design and Analysis of Fault-Tolerant Digital System", Addison-Wesley Publishing Company, Inc. 1986
- [3] IEEE Guide for Identification, Testing and Evaluation of the Dynamic Performance of Excitation Control System. IEEE Standard 421.2-1990
- [4] H. Herzog, J. Eeak, Barden "Protecting the Static Excitation Equipment and Rotor Windings of Synchronous Machines Against Overvoltages" Brown Boveri Rev 6-82.
- [5] IEEE Committee Report, "Excitation System Models for Power System Stability Studies," IEEE Trans., Vol. PAS-100, pp. 494-509, 1981.
- [6] P. Kunder and P.L. Dandeno, "Implementation of Synchronous Machine Model into Power System Stability Programs." IEEE Trans., Vol. PAS-102, pp. 2047-2054, 1983
- [7] "동기기 여자계의 사양과 특성" 일본전기학회기술보고 제536호 1995.2
- [8] "사이리스터 직접여자형 자동전압조정장치 연구개발 최종보고서" TR.95YS03.S1998.72, 전력연구원

저 자 소개



류호선(柳皓善)

1970년 7월 21일생. 1993년 충남대 전기공학과 졸업. 1995년 충남대 대학원 졸업(석사). 1995년 한전 전력연구원 입사. 현재 한전 전력연구원 발전연구실 선임(보) 연구원.



김수열(金守烈)

1968년 2월 29일생. 1990년 중앙대 전기공학과 졸업. 1995년 중앙대 대학원 졸업(석사). 1995년 한전 전력연구원 입사. 현재 한전 전력연구원 발전연구실 선임(보) 연구원.



김장목(金長睦)

1961년 8월 6일생. 1988년 부산대 전기공학
학과 졸업. 1996년 서울대 대학원 졸업(박
사). 1997년 한전 전력연구원 입사. 현재
한전 전력연구원 발전연구실 선임연구원.



임익헌(林翼憲)

1958년 7월 25일생. 1980년 건국대 전기
공학과 졸업. 1996년 홍익대 대학원 전기
공학과 졸업(석사, 박사과정수료), 1979년
한전 입사. 현재 한전 전력연구원 책임연
구원.