

원전 발전기 디지털 제어시스템 개발 II

(2차년도 중간보고서 요약)

신만수*, 이병구**, 임익현*, 이주현*, 류호선*, 정태원***
한전전력연구원*, 맥스파워(주)**, 충남대학교***

Development of digital excitation system in nuclear power plant II

Shin Man-su*, Lee Byeong-gu**, Lim Ick-hun*, Lee Ju-hyun*, Ryu Ho-seon*, Jeong Tae-won***
KEPRI*, Maxpower**, Chung-nam National University***

Abstract - Nowadays nuclear power plants does main part of our country electric-power resources, and is one of the lowest price material resources. This project is aim to retrofit nuclear power plants, also improves the reliance, safety, faculty of nuclear generator excitation system. This paper describes the contents

1. 서 론

원자력발전소의 제어 시스템은 고도의 신뢰성과 안정성이 요구된다. 국내에는 운용된 지 20년 이상의 원전용 발전기가 있는데 그 아날로그 제어시스템이 경제수명에 거의 다다르고 있다. 따라서 발전기 제어시스템을 3중화 내고장 설비로 구축하고 최신의 MMI 시스템으로 운전 편의성과 고장진단 능력을 향상시켜 시스템의 신뢰성, 안정성, 기능성을 높이는 노력을 하고 있다. 이러한 요건을 갖추기 위한 일환으로 본 연구가 진행되고 있으며 본 논문에서는 2차년도에 진행되었던 연구 내용을 정리하여 수록하였다.

2. 본 론

2.1 3중화 디지털 제어기 하드웨어 적용

디지털 제어기는 다중화하여 내 고장 설비로 구축하는 것이 최근의 추세이다. 개발 시스템은 신뢰도 향상을 위해 완벽한 후비보호가 있는 삼중화 방식의 TRICON 시스템으로 채용되었다. 본 시스템은 주제어기 및 임출력 모듈이 3중화로 구성되어 있으며 울산화력 4-5호기 등 발전소 10여기, 국내 화학플랜트 100여기, 국외 6000여기에 적용된 바 있는 신뢰성이 확보된 것이다.

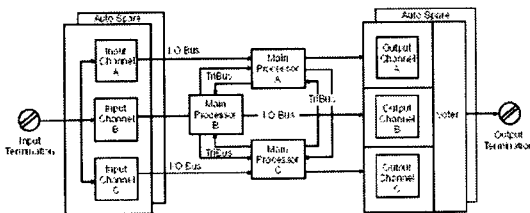


그림 1. 3중화 디지털 제어기

2.2 제어·제한·보호 알고리즘 기능블록 개발

이미 개발된 기본적인 알고리즘을 제외한 본 연구에서 새롭게 개발 중인 알고리즘 등에 대해서 기술하겠다.

2.2.1 ST4B Type Excitation System

그림 2에 나와 있는 IEEE ST4B 여자기 모델은 현재 화력발전소에 다수 적용되어 운전 중에 있으며 여자기의 이득은 자동전압조정기의 비례·적분(PI) 이득 정수에서 고려된다. 이 모델의 주요 특징이라고 한다면 과여자제한기(OEL)의 특성이 Low Value Gate로 되어 있으며,

UEL과 V/Hz 제한기가 제어기의 입력의 함으로 구성되어 있다는 것이다.

여자시스템 모델의 전력요소 변수(V_E)는 여자시스템에 적용될 수 있는 등가원전전압이며 Bus-fed 방식의 여자기가 적용되므로 $V_E = K_P \times V_t$ 가 되며 이로써 여자용 변압기를 이용하는 여자전원전원에 대한 발전기 모션 전압의 관계를 얻을 수 있다.

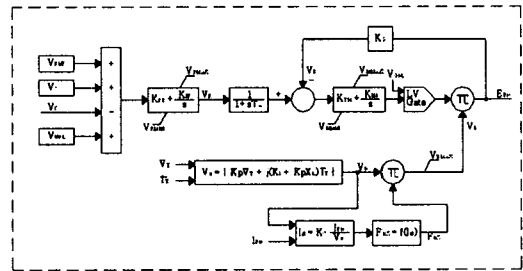


그림 2. ST4B Type Block Diagram

맷랩 시뮬링크를 사용한 ST4B의 블록선도는 그림 3과 같으며 발전기 전압에 대한 시간응답 특성을 모의하면 비례 이득 K_{PR} 에 따라서 그림 4와 같다.

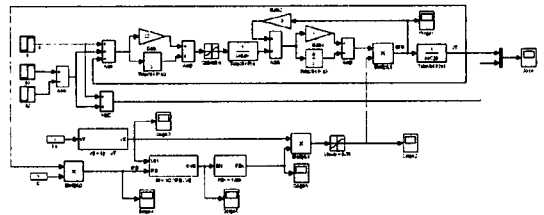


그림 3. 시뮬링크를 사용한 ST4B의 블록선도

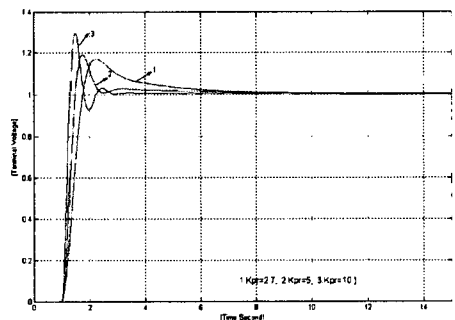


그림 4. 이득 변경에 따른 계산된 시간 응답 특성

2.2.2 과여자제한기와 전기자전류제한기

발전기의 단자 전압 및 계통에 이상이 있는 동안 과여자 영역에서 안전하게 운전되기 위해서는 크게 두 가지

중요한 점이 있게 된다. 하나는 연속운전 영역 및 과도 영역에서의 발전 능력이고 다른 하나는 발전기를 보호하기 위해 고안된 여자시스템의 제한기에 관한 문제를 들 수 있다.

과여자 영역에서의 발전기의 능력은 발전기의 피상전력과 계자권선의 열적 능력에 의해 제한된다. 계자전류의 제한은 연속 운전시에 계자의 온도 측면을 기본으로 한다. 기본 기능은 I_t 또는 I_t^2 반한시 곡선에 적용시킬 수 있으며 IEEE C50.13에는 특히 원동형 발전기에 대해서 기술하고 있으며 C50.12에는 수력용 발전기에 대해서 기술하고 있으나 과여자에 대한 자세한 사양을 주지는 않고 있다. 표 1은 C50.13에 따른 과부하전류와 허용 가능한 시지연을 보여주고 있다.

표 1. C50.13 과부하전류와 허용 가능한 시지연

Time (seconds)	10	30	60	120
Field Voltage / Current (Percent of rated)	208	146	125	112

그림 5는 $k = 31$, $k=25$, $k=18$ 인 경우의 OEL 곡선이다. 보통 경보 설정치는 트립의 70% 정도에서 동작하도록 한다.

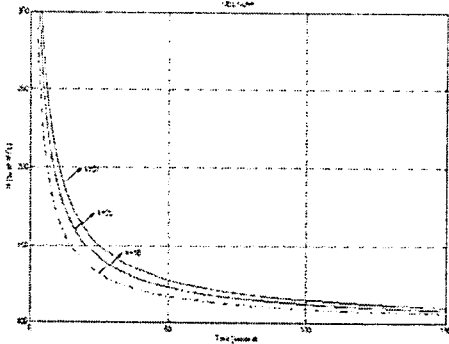


그림 5. 과여자제한기 특성 곡선 ($k = 31$, $k=25$, $k=18$)

과여자제한기가 동작하는 데에는 두 가지 수단이 있는데 하나는 계통 등의 고장으로 전기자 축의 과전류를 인해서 계자 축에 과전류가 유기되는데 이때 계자전류를 감지하여 정격 계자전류의 140% 이상으로 Field Forcing을 허용하는 기능이 있다. 허용 시간은 일반적으로 약 1초 정도로 하나 Compound 형이나 Brushless 여자시스템의 경우에는 10초까지도 길게 설정할 수도 있다. 이러한 Forcing 시간이 지나게 되면 과여자제한기능이 비로소 활성화된다. 그 제한기는 비례·적분(PI) 제어기 형태를 갖고 있으며 기준 설정값을 정격계자전류의 125%와 100% 두개를 갖고 이러한 기준 설정값에 계자전류 감소시키는 것을 통해 달성하게 된다. 다음 블록선도는 이에 따른 과여자제한기를 보이고 있다.

다른 하나는 I_t 계산을 적분하여 과여자제한기를 활성화시키는 방안으로 이는 반한시의 특성을 가질 수 있게 한다. 특성 곡선에는 두 가지의 단계가 있다. 하나는 보호치(트립 레벨)이며 다른 하나는 제한기 동작 레벨이다. 설정값은 IEEE C50.13의 곡선에 부합되도록 한다.

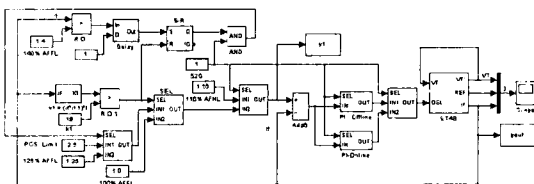


그림 7. 시퀀싱크를 사용한 과여자제한기 블록선도

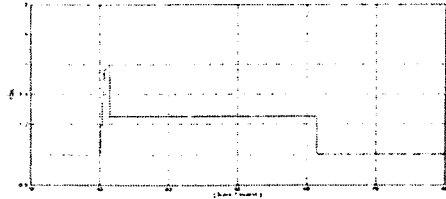


그림 8. 과여자제한기 시간 응답 파형

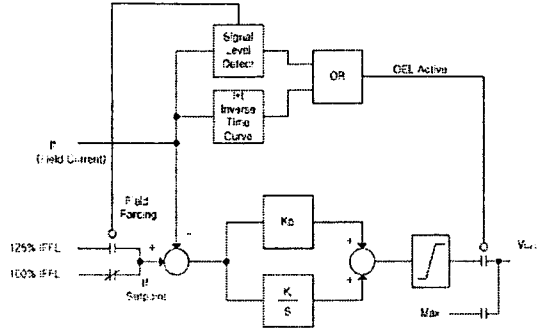


그림 9. 과여자제한기 블럭선도

발전기 전기자전류제한기는 피상전력의 제한에서 오는 것으로 발전기 전기자전류를 제한한다. 이것은 발전기 능력곡선 상의 정격 역률, 정격 출력과 Field Heating 곡선이 만나는 지점에서 교차된다. 터빈에서의 대표적인 출력은 이 교차점에서의 유효출력에 해당된다.

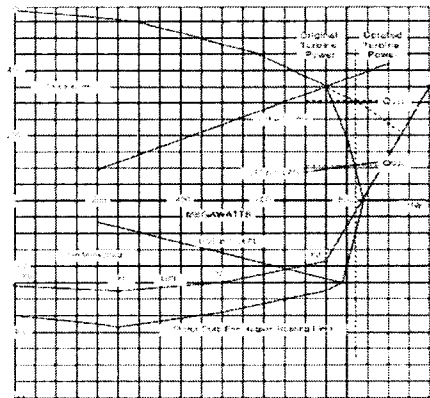


그림 9. 발전기 능력 곡선과 SCL 제한기

터빈 정격출력을 초과하면 계자축의 열 발생 문제보다 피상전력의 제한이 더 큰 제약조건이 된다. 이는 과여자 제한기가 동작하는 것으로는 발전기의 보호에 충분치 않게 되므로 전기자전류제한기에서 계자전류를 감소시켜 발전기 능력곡선 제한치 내로 무효전력을 낮추어야 한다는 것이다. 전기자전류제한기의 제어 동작은 동작 지점에 따라 달라지며 과여자 운전 영역에서는 SCL이 동작점을 제한치로 낮추기 위해서 여자를 감소시키며, 저여자 영역에서는 다음에서 소개할 부속여자제한기에서 그 역할을 수행한다. 그림 10은 SCL의 설정값에 대해서 자동전압조정기 설정값의 상승·하강 입력으로 적용되는 SCL의 블럭선도를 보이고 있다.

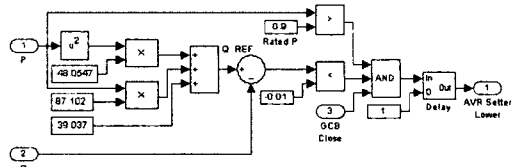


그림 10. SCL Block Diagram

