

동기발전기의 자동전압조정장치 제어기 설계

이 중무*, 김 문환*, 이 주훈*, 박 용희*, 임 익현**, 구 기민**
 * 한국전기연구소, ** 한전기술연구원

AVR controller design of synchronous generator

J.M. LEE*, M.H. KIM*, J.H. LEE*, Y.H. PARK*, I.H. LIM**, K.M. GOO**
 * K.E.R.I., ** K.E.P.C.O.

Abstracts

This paper deals with AVR(Automatic Voltage Regulator) controller design of synchronous generator adapting AC indirect excitation system. The simulation results are presented in frequency and time domain for two plants(A and B). Try and error method for compensator design is used.

1. 서론

동기 발전기의 여자방식은 크게 직류, 교류 및 정지형 여자 방식으로 구분된다. 여기에서는 교류 간접 여자 방식을 채택한 동기 발전기를 대상으로 삼고 있다. 즉, 동기 발전기, 여자기 및 영구자석 발전기로 구성되어 있어서 영구자석 발전기로 부터의 일정한 출력전압을 3상 전파 제어 정류기에 의해 AVR의 제어신호에 따라서 여자기의 여자전류를 제어하고 이 결과로 출력되는 여자기의 출력전압을 단순히 3상 전파 정류하여 주 발전기의 여자전류를 제어함으로써 동기 발전기의 출력전압을 제어한다. 본 연구의 결과는 30 MW급의 발전소용 AVR에 실적용할 계획이므로 제어기의 설계에 신중을 기하기 위하여 현재 전력계통에 연계되어 운전되고 있는 A기에 대한 해석을 행하여 소신호 모델에 대한 확신을 가진 후에 모의 플랜트인 B기에 대하여 시행착오법으로 제어기를 설계하고 시험을 통하여 제어기 설계의 타당성을 입증한 다음에 대상으로 삼고 있는 플랜트에 대하여 제어기를 설계하여 실적용 하고자 한다. 발전소용 자동전압조정장치는 커다란 전력계통에 연계되어 운전되기 때문에 각종 제한회로, 보호회로, 경보회로 등이 필수적으로 요구되어지나 여기에서는 주 제어신호에 대해서만 살펴보기로 한다.

2. 여자제어 시스템

2-1. 소신호 모델

교류간접 여자방식을 채용한 동기 발전기의 출력을 개방한 상태에서의 소신호에 대한 여자제어 시스템 전달함수 블록도를 나타내면 그림 1과 같이 AVR, 여자기 및 동기 발전기 블록으로 표시된다.

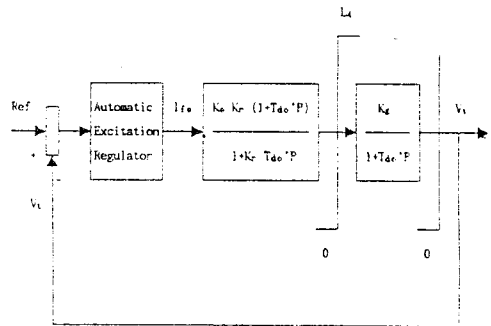


그림 1. 소신호 모델

2-2. 플랜트 선정

소신호 모델에 표시된 플랜트 상수들은 각각 표 1과 같다.

표 1. 플랜트 상수

ITEM	A 기	B 기	UNIT
Ke : Exciter Open Circuit Gain	6.6	20	V/A
Kr : Exciter Load Regulation	0.294	0.3	A/A
Kg : Gen. O/C Gain at Rated Vtg.	66.4	8.3	V/V
Tdo' : Gen. Trans. O/C Time Const.	8.75	0.028	Sec
Vt : Gen. Terminal Voltage	22,000	220	V
Re : Exciter Field Resistance	0.16	10.38	Ohm
Te : Exciter Field Time Constant	1.64	0.0124	Sec
Kt : Thyristor Converter Gain	64.14	7.5	V/V

2-3. AVR 전달함수

교류 간접 여자 방식에 적용하기 위한 각종 제한회로 등을 제외한 주 제어신호에 대한 AVR의 상세한 블럭도를 그림 2에 나타낸다. 그림에서 알수 있는 바와 같이 전압 제어 루프와 전류 제어 루프가 종속 접속되어 있는 형태이다.

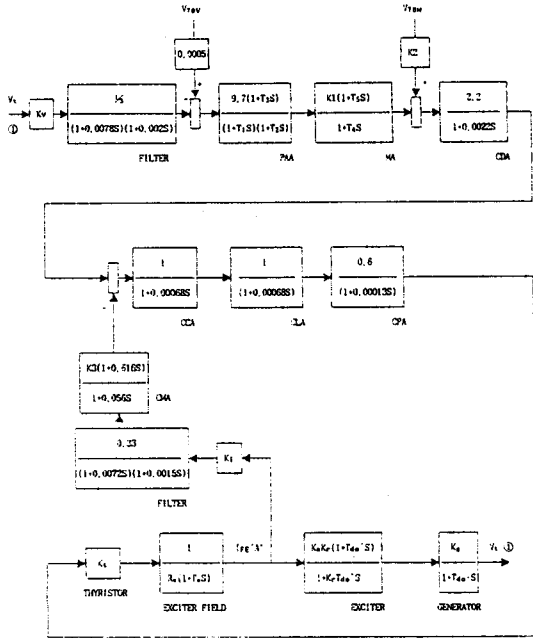


그림 2. AVR 블럭도

3. 시뮬레이션

3-1. A기 시뮬레이션

그림 2의 AVR 블럭도에 나타낸 각각의 심볼 값은 다음과 같으며, R1, R2, R3, R4는 0에서 1사이의 값을 가지는 정규화된 변수이다.

$$K1 = 1 + 0.735 \cdot R1$$

$$K2 = 5 / (11 + R2)$$

$$K3 = 0 \text{ to } 1.21$$

$$Kv = 0.00154$$

$$Ki = 0.0544$$

$$T1 = (10.25E-4 + 6E-5 \cdot R3 - 10E-4 \cdot R3^2) / (0.04497 + \text{ROOT}(2.834E-5 - 12E-5 \cdot R3 + 20E-4 \cdot R3^2))$$

$$T2 = (10.25E-4 + 6E-5 \cdot R3 - 10E-4 \cdot R3^2) / (0.04497 - \text{ROOT}(2.834E-5 - 12E-5 \cdot R3 + 20E-4 \cdot R3^2))$$

$$T3 = 0.5285 + 0.03 \cdot R3 - 0.51546 \cdot R3^2$$

$$T4 = T5 + 1.36 \cdot K1 \cdot (1 - R4)$$

$$T5 = 0.44 + 0.1 \cdot R4 - 0.1 \cdot R4^2$$

가. 개루프 주파수 응답

그림 3에 R4를 변화시킬 경우의 개루프에서의 이득과 위상 특성을 나타낸다. 참고로 IEEE std 421A는 이득여유 6 dB 이상, 위상여유 40도 이상을 규정하고 있다. 그림에서 알수 있는 바와 같이 R4의 값이 증가함에 따라 이득여유와 위상여유가 증가하나 R4의 값이 적을 경우 0.3Hz 부근에서 위상여유가 줄어든다.

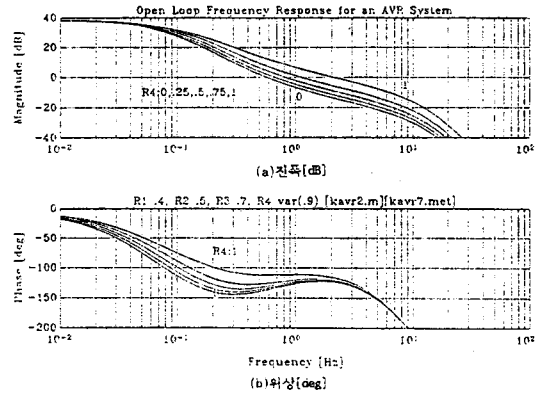


그림 3. 개루프 주파수 응답 특성

나. 폐루프 주파수 응답

그림 4에 R1을 변화시킬 경우의 폐루프에서의 이득과 위상 특성을 나타낸다. 참고로 IEEE std 421A는 최대이득 0.8에서 4 dB, 주파수역 0.3에서 12Hz를 규정하고 있다. 그림으로 부터 R1의 증가에 따라 주파수역은 조금씩 증가하나 최대이득은 거의 변화가 없음을 알수 있다.

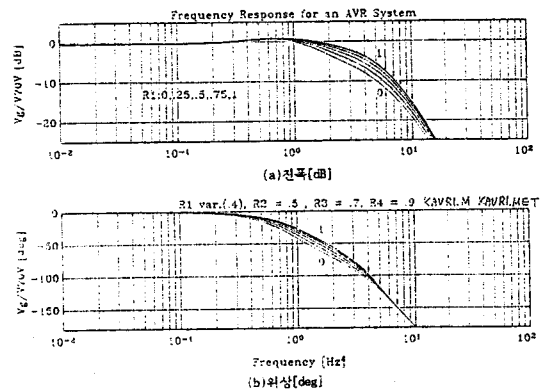


그림 4. 폐루프 주파수 응답 특성

다. 계단 응답

그림 5에 R3를 변화시킬 경우의 계단 응답 특성을 나타낸다. 그림으로 부터 R3를 증가시키에 따라 시간영역에서의 규정치를 벗어남을 알수 있다.

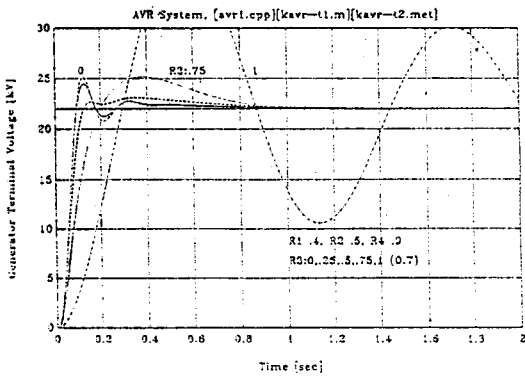


그림 5. 계단 응답 특성

3-2. B기 시뮬레이션

플랜트가 B기로 바뀔 때 따라 Kv가 0.15, Ki가 1.167로 되고, 원하는 제어성을 얻기 위하여 시행착오법으로 접근하여 보상기의 T1을 1 Sec, T2를 A기 T2의 9배 값을 적용하여 아래와 같은 결과를 얻었다.

가. 개루프 주파수 응답

B기에 대한 루프 전달함수의 주파수 응답과 보상기를 포함한 전달함수의 주파수 응답을 그림 6에 나타낸다. 그림에 나타난 바와 같이 보상기를 포함하지 않은 전달함수의 주파수 응답 특성을 개선하기 위하여 그림 7과 같은 보상기를 시행착오법으로 설계하여 그림 6에 나타난 바와 같은 개루프 응답 특성을 얻었다.

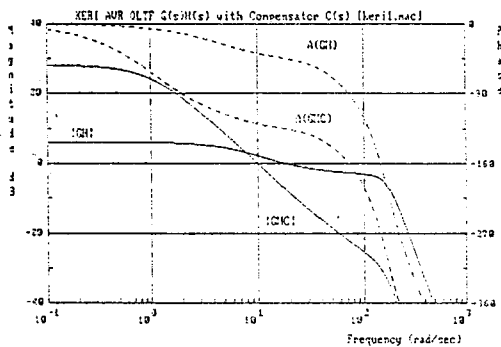


그림 6. 개루프 주파수 응답 특성

나. 보상기의 주파수 응답

B기 플랜트에 대한 보상기의 주파수 응답 특성을 그림 7에 나타낸다. 시행착오법으로 설계하여 그림 6과 같이 B기에 대한 개루프 주파수 응답 특성을 얻었다.

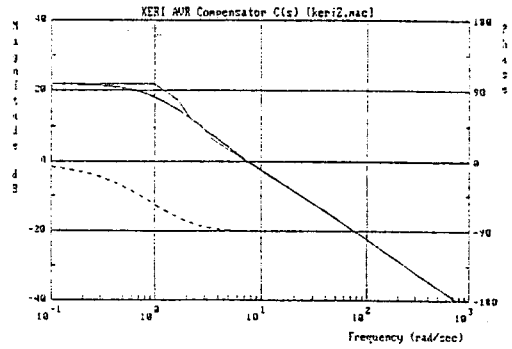


그림 7. 보상기의 주파수 응답 특성

다. 페루프 주파수 응답

그림 8에 보상기를 포함한 경우와 포함하지 않은 경우에 대한 페루프 주파수 응답 특성을 나타낸다. 그림으로 부터 보상기를 포함하지 않은 경우는 최대이득 및 주파수역이 규정치를 만족시키지 못함을 알 수 있다.

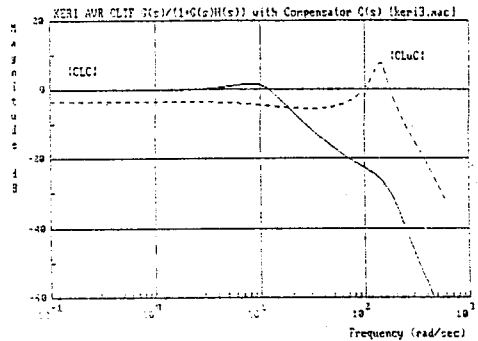


그림 8. 페루프 주파수 응답 특성

라. 계단 응답

그림 9에 보상기를 포함한 경우와 그렇지 않은 경우에 대한 계단 응답 특성을 나타낸다.

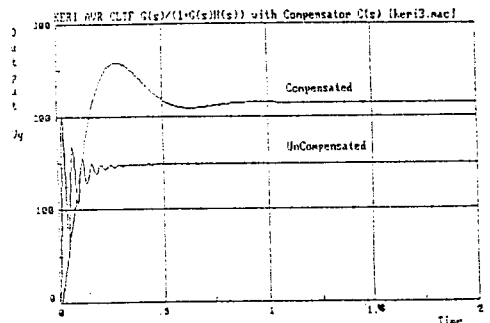


그림 9. 계단 응답 특성

4. 향후 연구 방향

서론에서 언급한 바와 같이 본 연구의 결과는 30 MW급의 발전소에 실적용할 계획으로 AVR의 제어기 설계에 신중을 기하기 위하여 상술한 바와 같이 복잡한 절차를 거치게 되었으며, 향후 B기의 제어성능 시험을 통하여 시뮬레이션 결과와 비교 검토하여 대상플랜트에 대한 제어기 설계를 행하고자 한다.

참고문헌

1. EDWARD WILSON KIMBARK, "POWER SYSTEM STABILITY : SYNCHRONOUS MACHINES". DOVER PUBLICATIONS INC, NEW YORK, 1955.
2. P.M. ANDERSON, "POWER SYSTEM CONTROL AND STABILITY", IOWA STATE UNIVERSITY PRESS, 1977.
3. 한국전력공사 기술연구원, "발전기 제어계 특성조사 및 적정 파라미터 선정에 관한 연구", KRC88S-J01, NOV. 1991.
4. IEEE COMMITTEE REPORT, "EXCITATION SYSTEM MODELS FOR POWER SYSTEM STABILITY STUDIES", POWER APPARATUS AND SYSTEMS, VOL. PAS-100, NO.2, PP494-509, FEB. 1981.
5. IEEE COMMITTEE REPORT, "EXCITATION SYSTEM DYNAMIC CHARACTERISTICS", PP64-75, MAY 1972.
6. IEEE STANDARD, "TEST PROCEDURES FOR SYNCHRONOUS MACHINES", IEEE NO.115, MAR. 1965.
7. IEEE STANDARD, "IEEE GUIDE FOR IDENTIFICATION, TESTING AND EVALUATION OF THE DYNAMIC PERFORMANCE OF EXCITATION CONTROL SYSTEMS", IEEE STD. 421A, 1978.
8. IEEE STANDARD, "IEEE STANDARD CRITERIA AND DEFINITIONS FOR EXCITATION SYSTEMS FOR SYNCHRONOUS MACHINES", IEEE STD. 421, 1972.
9. JEC STANDARD, "SYNCHRONOUS MACHINES", JEC 114, 1979.