

신경회로망을 이용한 TCSC 적용 LQG 제어에 관한 연구

論 文
48A-3-6

A Study on the LQG Control of TCSC Using Neural Network

金泰僑* · 李丙河**
(Tae-Jun Kim · Byung-Ha Lee)

Abstract - In this paper we present a neural network approach to select weighting matrices of Linear-Quadratic-Gaussian(LQG) controller for TCSC control. The selection of weighting matrices is usually carried out by trial and error. A weighting matrices of LQG control are selected effectively using Kohonen network. It is shown that simulation results in application of this method to three machine nine bus system are satisfactory.

Key Words : LQG, TCSC, Neural network, Kohonen network

1. 서 론

최근 전력계통의 추세는 거대화되고 있고 전력수요 또한 점점 더 증대하고 있는 경향이다. 이에 전력회사는 증가하고 있는 전력수요에 발맞추어 발전설비 및 송배전설비의 신규 건설을 추진하고 있지만 환경적 문제와 부지확보 문제 등의 제약 때문에 어려움을 겪고 있다. 이에 따라 계통 연계 운영 등을 통한 기존설비의 이용률을 극대화함으로써 송전 선로를 신규로 건설하지 않고도 송전용량을 증대시키는 방안이 강구 되어왔다 [1].

이러한 일환으로서 기존 전력계통의 송전용량을 최대 열적 상한까지 사용하기 위한 새로운 개념의 전력전송방식인 유연송전시스템(Flexible AC Transmission System, FACTS)에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. FACTS는 전력수송설비에 전력용 반도체 스위칭소자를 이용한 제어기술을 도입함으로써, 전력수송설비의 기능을 고도화하고 설비 이용률의 극대화를 이룩하기 위한 개념의 송전 시스템이다. 신 전력전송 시스템을 위해 개발을 추진하고 있는 여러 가지의 기기 중 신 전력전송 시스템의 구현을 위한 핵심기기로는 위상변이기(Solid State Phase Shifter), 싸이리스터 제어형 직렬보상기(Thyristor Controlled Series Compensator), 정지형 무효전력보상기(Static VAR Compensator), UPFC(Unified Power Flow Controller) 등이 있고 이들 기기에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

이러한 FACTS 설비 중 TCSC는 선로에 직렬로 연결되어 선로의 임피던스를 제어하여 정상상태에서의 전력조류 극대화

및 전력수송능력 향상, 외란에 의한 과도시의 전력계통 안정화 기능 및 전력시스템 동요를 억제하는데 활용될 수 있다. 또한 TCSC는 TCR과 커패시터가 병렬로 구성되어 용량성과 유도성에 걸친 범위까지 연속적이고 신속한 제어를 할 수 있다. TCSC의 전력계통 안정화효과에 대한 기존의 연구는 주로 전력계통 동요 감쇠에 초점을 두고 있다. Anquist 등은 직렬보상과 병렬보상의 진동 감쇠에 있어서의 효과와 효과적인 위치의 선정에 대한 비교를 시도하였으며, 직렬보상이 병렬보상보다 효율적임을 밝힌 바 있다[2]. de Mello는 TCSC의 임피던스를 동기기의 리액턴스의 확장된 개념으로 보았으며[3], Noroozian 등은 두 지역 사이의 tie line에 TCSC를 설치하여 두 발전기의 각속도 차이를 이용한 제어방식을 제안하였다[4]. 이 밖에도 FACTS 설비들이 전력시스템의 동요를 억제하고 안정도를 향상시키는데 기여할 수 있음을 보여 줬다[5-7]. 전력시스템은 전 상태변수를 다 측정하기 어려우므로 최적제어기법으로서 LQG 제어가 적용될 수 있다. LQG 제어는 현실적으로 측정할 수 있는 출력만을 이용하여 시스템의 상태변수를 추정 한 후, 추정된 상태변수를 이용하여 제어를 설계하므로 실제 구현에 있어 용이하다고 할 수 있다[8, 9].

본 논문에서는 TCSC를 3기 9모선 전력시스템에 적용하여 전력시스템의 동요를 억제하기 위한 LQG 제어를 효과적으로 설계하는 연구를 수행한다. LQG 제어기의 성능은 가격함수에 포함되어 있는 가중행렬의 선정에 따라서 민감하게 영향을 받으므로 적절한 가중행렬이 선정되어야 하지만, 기존의 가중행렬 선정은 시행착오적 방법으로서 상당한 시간과 노력이 요구된다. 이에 신경회로망을 이용하여 LQG 제어기의 가중행렬을 효과적으로 선정하는 기법을 제시한다. 신경회로망 중에서 실시간 학습처리와 변화에 적응하는 능력이 우수한 코호넨 네트워크를 적용하여 LQG 제어기의 가중행렬을 설계한다. 이 기법으로 TCSC의 LQG 제어를 설계하고 대기 계통인 3기 9모선에 적용한 결과, 전력시스템의 동요를 억제하는 제어 성능이 향상됨을 시뮬레이션 결과를 통하여 보여준다.

* 準 會 員 : 仁川大 工大 電氣工學科 碩士課程

** 正 會 員 : 仁川大 工大 電氣工學科 助教授 · 工博

接受日字 : 1998年 10月 30日

最終完了 : 1999年 1月 26日

2. 전력계통과 TCSC 모델

2.1 전력계통 모델

본 논문에서는 발전기가 3, 부하가 3인 3기 9모선 전력계통을 모델로 하였다. 또한 TCSC를 모선 8번과 9번 사이에 설치한 그림 1과 같은 모델을 이용하였다[10-12].

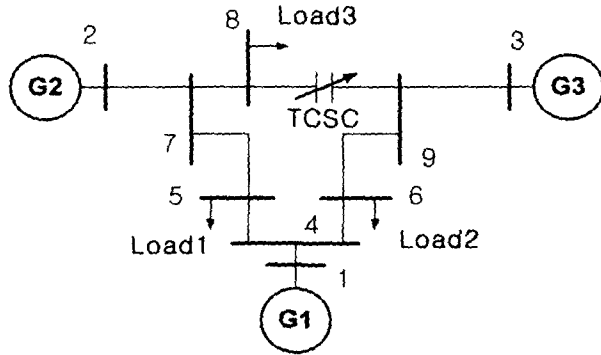


그림 1 TCSC가 포함된 3기 9모선 모델 계통도
Fig. 1 3 machine 9 bus power system model with TCSC

2.1.1 발전기 모델

발전기 모델은 고차의 모델부터 간략화 모델까지 여러 가지 모델이 존재하나 본 논문에서는 과도 및 중장기 안정도 해석에 가장 널리 사용하는 2축 모델을 사용하였다. 이 모델은 과도 리액턴스 동특성을 가지는 내부 전압을 상태 변수로 나타내고, 여자권선과 댐핑권선의 효과를 고려하며, 고전적 모델에서의 접근방식을 적용하기 용이하다. 발전기 모델식은 다음과 같다.

$$\dot{E}'_q = \frac{1}{T_{do}} \{-E'_q - (x_d - x'_d)i_d + E_{fd}\} \quad (1)$$

$$\dot{E}'_d = \frac{1}{T_{do}} \{-E'_d - (x_q - x'_q)i_q\} \quad (2)$$

$$\dot{\delta} = \omega_0(\omega - 1) \quad (3)$$

$$\dot{\omega} = \frac{1}{2H} \{-(E'_d i_d + E'_q i_q) - D(\omega - 1) + T_m\} \quad (4)$$

2.1.2 여자기 모델

고전적 안정도 해석에서는 통상 외란시에 여자기의 효과를 무시하였으나, 근래에는 응답이 빠른 여자기 개발되고 있으며, 이의 고려가 안정도 해석에 큰 영향을 미칠 수 있음이 알려졌다. 따라서, 안정도 해석 시에 여자기의 효과를 고려하는 것이 필수적이다. 본 논문에서는 IEEE Type 1 여자를 대표적인 모델로서 채택하였다. 이 모델의 블록 선도는 그림 2이며, 모델식은 다음과 같다.

$$\dot{V}_R = \frac{1}{T_A} \left\{ K_A R_f - \frac{K_A K_F}{T_F} E_{fd} - V_R - K_A V_i + K_A V_{REF} + K_A V_{sup} \right\} \quad (5)$$

$$\dot{E}_{fd} = \frac{1}{T_E} \{-(K_E + S_E)E_{fd} + V_R\} \quad (6)$$

$$\dot{R}_f = \frac{1}{T_F} \left\{ R_f + \frac{K_F}{T_F} E_{fd} \right\} \quad (7)$$

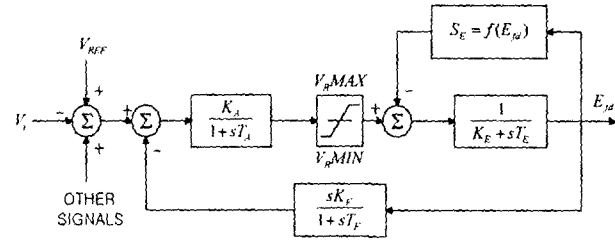


그림 2 IEEE Type 1 여자기 모델
Fig. 2. IEEE Type 1 exciter model

2.2 TCSC 모델

TCSC의 구조는 기본적으로 개루프 임피던스 입력이 부착되어 있고, 장래에 추가적인 제어장치를 부착할 수 있도록 보조 입력을 가지고 있다. 정상상태에서 선로조류제어를 위하여 임피던스 지정치로 운전되며, 외란에 의한 과도상태에서는 보조 입력 신호를 제어함으로써 안정도를 개선할 수 있다. 제어기로부터 입력되는 임피던스 신호는 이 임피던스를 구현하는 점호각으로 변환된다. 이로부터 원하는 임피던스로의 전이는 약간의 시지연이 발생한다. 이러한 시지연은 전력 계통 안정도 해석에서 다음과 같은 1차 지연 요소로 고려할 수 있고, 그 블록 선도를 그림 3에 나타내었다.

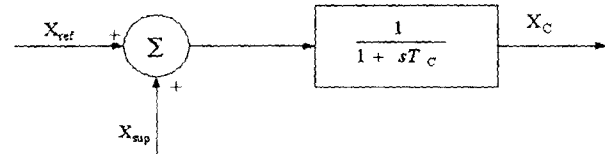


그림 3 TCSC 모델의 블록선도
Fig. 3 Block diagram of TCSC model

$$T_c \dot{X}_c = -X_c + X_{ref} + X_{sup} \quad (8)$$

여기에서 X_c 는 TCSC의 임피던스를 나타내며 단위는 Per Unit이다. X_{ref} 는 정상 운전 시의 기준 임피던스 입력 신호가 부가되는 단자이고, X_{sup} 는 외부의 적당한 신호를 이용하여 TCSC가 계통에 미치는 과도적인 특성을 개선하는 데 사용될 수 있는데 본 연구에서 LQG 제어기의 출력이 된다.

2.3 TCSC가 포함된 3기 9 모선 계통의 선형화

TCSC가 포함된 전력 계통의 수리모형은 발전기나 부하의 동 특성을 나타내는 식(9)의 미분방정식과 조류방정식을 포함하는 경계조건을 나타내는 식(10)의 대수 방정식으로 표현된다.

$$\frac{d}{dt}x(t) = f(x(t), y(t), u(t)) \quad (9)$$

$$0 = g(x(t), y(t), u(t)) \quad (10)$$

식(9), (10)에서 x 는 발전기 여자기, TCSC의 상태를 나타내고 y 는 모선의 전압, 전류, 위상각 등의 매개변수를 나타내며 u 는 입력을 나타낸다. 식 (10)에서 부하가 일정 임피던스라 가정하면 y 는 식(11)과 같이 나타낼 수 있고, 이를 식 (9)에 대입하면 식 (12)와 같이 하나의 미분 방정식 형태로 기술된다.

$$y(t) = z(x(t), u(t)) \quad (11)$$

$$\frac{d}{dt}x(t) = f(x(t), z(x(t), u(t)), u(t)) = F(x(t), u(t)) \quad (12)$$

식(12)를 동작점에서 선형화 하면 식(13)과 같은 선형화 관계식을 구할 수 있다.

$$\frac{d}{dt}\Delta \dot{x} = A(x_0)\Delta x + B(x_0)\Delta u \quad (13)$$

여기서,

$$A(x_0) = \left. \frac{\partial F}{\partial x} \right|_{x=x_0, u=u_0}$$

$$B(x_0) = \left. \frac{\partial F}{\partial u} \right|_{x=x_0, u=u_0}$$

위 식에서 상태 벡터는 발전기, 여자기, TCSC의 상태를 나타내고 입력은 TCSC의 보조 입력 신호이다. 전력 조류식에 해당하는 식(10)에 X_c 의 상태변수도 포함되어 있으므로, 선형화할 때 기존 Jacobian 행렬성분 외에 X_c 와 관련된 값들이 추가되며, 식 (8)의 입력 X_{sup} 을 조정하여 식 (13)으로부터 다른 상태변수들의 값을 제어할 수 있게 된다.

3. Linear-Quadratic-Gaussian(LQG) 제어기 설계

LQG 제어기의 설계를 위한 확률 선형 동적 시스템은 일반적으로 다음과 같이 표현된다[8,9,13].

$$\dot{x} = Ax + Bu + \xi \quad (14)$$

$$y = Cx + \theta \quad (15)$$

여기서 ξ 는 강도 ϵ 인 외란, θ 는 강도 θ 인 센서 잡음이고 둘 다 0-평균 White noise로 가정한다.

이 경우 Performance index는 아래와 같은 통계학적 값으로 설정할 수 있다.

$$J = E \left[\lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T (x^T Q x + u^T R u) dt \right] \quad (16)$$

이때 Kalman 필터의 동역학(dynamics)과 Linear Quadratic(LQ) 제어법칙은 각각 다음과 같이 표현된다.

$$\dot{\hat{x}} = A \hat{x} + Bu + H(y - C \hat{x}) \quad (17)$$

$$u = -G \hat{x} \quad (18)$$

여기서 \hat{x} 는 추정된 상태변수이다.

위 식에서 Kalman 필터의 동역학은 필터 게인 행렬 H 에 의해 지배되는 데, 이 H 는 아래의 필터대수 Riccati equation의 해로부터 구해진다.

$$AP + PA^T + E - PC^T \Theta^{-1} CP = 0 \quad (19)$$

$$H = PC^T \Theta^{-1} \quad (20)$$

또 제어 게인 행렬 G 는 아래의 제어대수 Riccati equation의 해로부터 구해진다.

$$KA + A^T K + Q - KB R^{-1} B^T K = 0 \quad (21)$$

$$G = R^{-1} B^T K \quad (22)$$

다음의 그림 4는 시스템과 LQG 제어기의 블록 선도이다. 본 논문에서 LQG 제어기의 입력은 TCSC 설치 지점에서 측정하기 쉬운 선로의 전류이고 출력은 TCSC의 X_{sup} 이다.

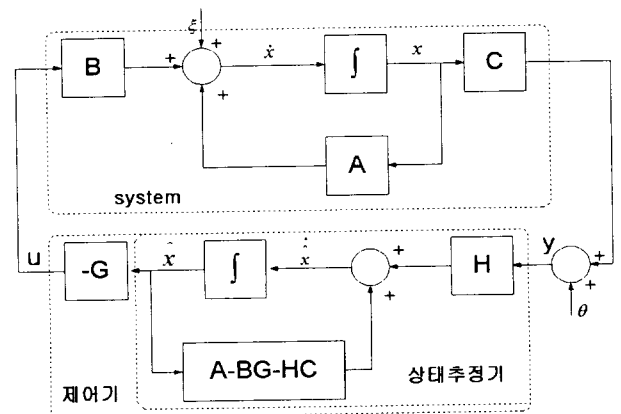


그림 4 시스템, LQG 제어기의 블록선도
Fig. 4 Block diagram of system and LQG controller

4. 코호넨 네트워크 적용

4.1 경쟁 학습

코호넨의 학습에서 각 뉴런은 연결강도 벡터와 입력벡터가

얼마나 가까운가를 계산한다. 그리고 각 뉴런들은 학습할 수 있는 특권을 부여받으려고 서로 경쟁하는데 거리가 가장 가까운 뉴런이 승리하게 된다. 이 승자 뉴런이 출력신호를 보낼 수 있는 유일한 뉴런이다. 또한 이 뉴런과 이와 인접한 이웃 뉴런들만이 제시된 입력벡터에 대하여 학습이 허용된다[14].

4.2 코호넨의 학습 규칙 (learning Rule)

코호넨 네트워크는 오차 역전파 알고리즘의 신경회로망과는 달리 계층적인 네트워크가 아니며 그림 5에서 보는 바와 같이 2개의 층으로 이루어져 있다. 코호넨 네트워크의 첫 번째 층은 입력층이고, 두 번째 층은 경쟁층이며 2차원의 격자 구조로 구성되어 있다. 또한 네트워크의 모든 연결은 첫 번째 층에서 두 번째 층의 방향으로 되어 있으며, 두 번째 층은 서로 완전히 연결되어 있다. 따라서 경쟁층의 뉴런들은 고밀도로 연결되어 있다고 말할 수 있다. 경쟁학습을 통하여 승자 뉴런을 결정하고 난 후에는 코호넨의 학습 규칙에 따라 뉴런의 연결강도를 조정해야 한다. 이 규칙은 다음 식으로 표현된다.

$$W_{new} = W_{old} + \alpha(X - W_{old}) \quad (23)$$

여기서, W_{old} 는 조정되기 이전의 연결 강도 벡터이며, W_{new} 는 조정된 후의 새로운 연결강도 벡터이고, X 는 입력 패턴 벡터이며, α 는 학습상수이다.

일반적으로 코호넨 네트워크에서는 그림 6에서 보는 바와 같이 $N_c(S_3)$ 에서 $N_c(S_2)$, $N_c(S_1)$ 으로 승자 뉴런의 이웃 반경은 서서히 줄어든다. 학습의 처음단계에서는 층 내의 모든 뉴런들이 포함될 수 있으며 각각의 패턴에 대해 거의 모든 뉴런들이 학습하게 된다. 훈련이 진행됨에 따라 이웃반경은 서서히 줄어들어서 점점 적은 개수의 뉴런들이 학습을 하게 된다. 최종적으로는 단지 승자 뉴런만이 그것의 연결강도를 조정하게 된다.

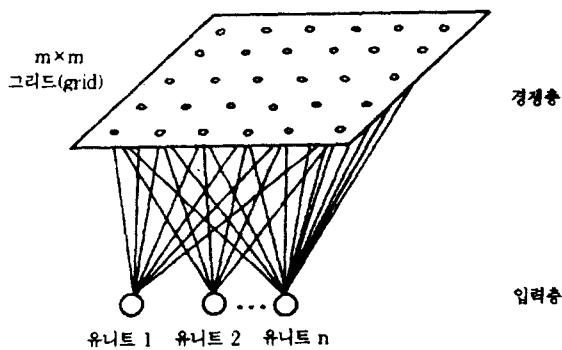


그림 5 코호넨 네트워크
Fig. 5 Kohonen Network

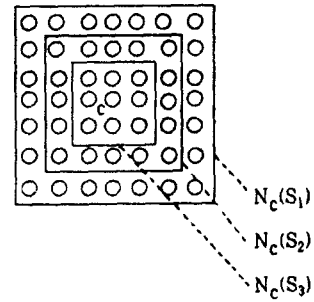


그림 6 중심뉴런과 이웃뉴런
Fig. 6 Central Neuron & Neighbor Neuron

4.3 자기조직화 형상지도(Self-organizing Feature Maps) 알고리즘

- (단계 1) 연결강도를 초기화한다. N개의 입력으로부터 M개의 출력 뉴런 사이의 연결강도를 작은 값의 임의수로 초기화한다.
- (단계 2) 새로운 입력벡터를 제시한다.
- (단계 3) 입력벡터와 모든 뉴런들간의 거리를 계산한다. 입력과 출력 뉴런 j사이의 거리 d_j 는 다음 식과 같이 계산한다.

$$d_j = \sum_{i=0}^{N-1} (x_i(t) - w_{ij}(t))^2 \quad (24)$$

여기서 $x_i(t)$ 는 시각 t에서의 i번째 입력벡터이고 $w_{ij}(t)$ 는 시각 t에서의 i번째 입력벡터와 j번째 출력 뉴런 사이의 연결강도이다.

- (단계 4) 최소 거리 d_j 인 출력뉴런 j^* 를 선택한다.
- (단계 5) 뉴런 j^* 와 그 이웃 반경내의 뉴런들의 연결강도를 다음 식에 의해 조정한다.

$$w_{ij}(t+1) = w_{ij}(t) + \alpha(x_i(t) - w_{ij}(t)) \quad (25)$$

여기에서 j는 j^* 의 이웃 반경내의 뉴런이고 i는 0에서 N-1까지의 정수 값이다. α 는 0과 1사이의 값을 가지는 이득항(gain term)인데 시간이 경과함에 따라 점차 작아진다.

- (단계 6) 단계 2로 가서 반복한다[14].

5. 시뮬레이션

본 논문에서는 TCSC의 시정수를 0.1초로 하였고 계통의 주요 파라미터는 표 1과 표 2에 나타내었다.

표 1 여자기의 파라미터

Table 1 Parameters of the excite

K_A	25.0
K_E	0.0445
K_F	0.16

본 시뮬레이션에서 발전기 #1은 수력 발전기의 데이터를 적용하고 기준 발전기로 정하였고, 또한 발전기 #2와 발전기 #3은 화력 발전기의 데이터를 적용하였다[10].

제어기의 가중행렬 등의 설계 파라미터 선정은 모델의 여러 상태로 반복 학습시킨 코호넨 네트워크에서 구하여진 설계 파라미터로 제어기를 설계하였다. 코호넨 네트워크에서 학습상수 α 는 0.3으로 하여 가중행렬 Q가 양의 반함정 대칭행렬 조건을 만족하도록 하여 다음과 같이 구하였고 R은 9.9999로 하였다.

$$Q = \text{diag}[9.3246 \ 0.8666 \ 0.0778 \ 1.0112 \ 9.0031 \ 0.0023 \\ 0.0089 \ 9.3423 \ 1.0091 \ 0.0766 \ 1.0027 \ 9.0685 \\ 0.0013 \ 0.0766 \ 9.5554 \ 1.0391 \ 0.0556 \ 1.9027 \\ 9.0664 \ 0.0021 \ 0.0376 \ 9.9961]$$

또한 시뮬레이션 사례로는 정상 상태의 모델 계통에 부하 변화의 외란이 들어오는 것으로 하여 계단함수 형의 부하변동이 발생한 것을 가정하고 MATLAB으로 시뮬레이션을 하였다.

그림 7에서 그림 9는 발전기 #3의 내부전압과 회전각, 발전기 단자전압이고 그림 10에서 그림 12는 발전기 #2의 q축 내부전압과 회전각, 발전기 단자전압으로 점선은 신경회로망을 이용하지 않은 LQG 제어 시 제적이고 실선은 신경회로망으로 선택되어진 가중행렬로 설계한 LQG 제어 시 제적으로 그림에서 나타난 것처럼 신경회로망을 이용해 LQG 제어를 설계한 것이 동요가 좀더 감소함을 볼 수 있었다. 또한 그림 13에서 그림 18은 계통의 중간모선과 부하모선의 전압이다. 각각의 그림에서 볼 수 있듯이 코호넨 신경회로망을 이용해 선택되어진 가중행렬로 LQG 제어기를 설계하였을 때 제어 성능이 향상되는 것을 알 수 있었다.

표 2 각 상태변수의 시정수 (단위:초)

Table 2 Time constant of each state variable (unit:sec)

	발전기 #1	발전기 #2	발전기 #3
T_{ω}	8.96	5	6
T_F	1	1	1
H	23.64	6.5	3.01
T_{ϕ}	0	0.54	0.65
T_E	0.5	0.5	0.5
T_A	0.06	0.006	0.06

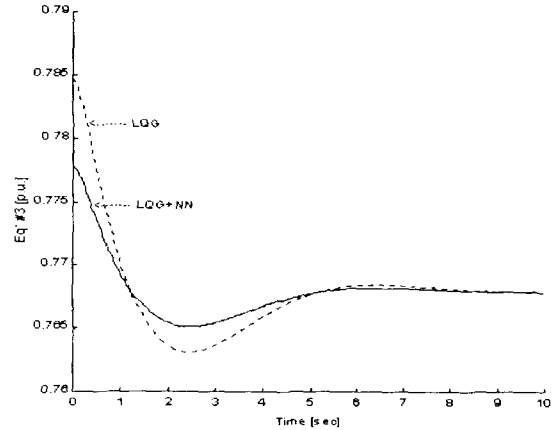


그림 7 발전기 #3의 q축 내부전압
Fig. 7 q-axis internal voltage of generator #3

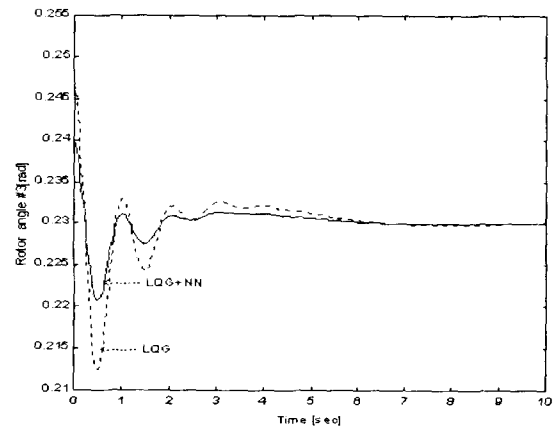


그림 8 발전기 #3의 회전각
Fig. 8 Rotor angle of generator #3

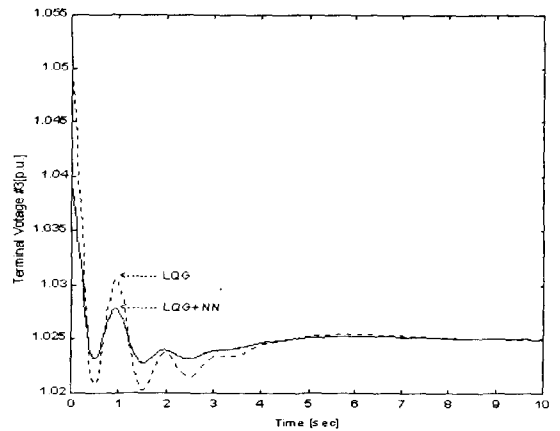


그림 9 발전기 #3의 터미널전압
Fig. 9 Terminal voltage of generator #3

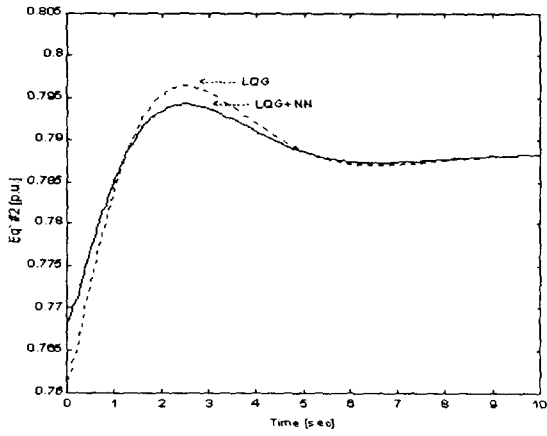


그림 10 발전기 #2의 q축 내부전압
Fig. 10 q-axis internal voltage of generator #2

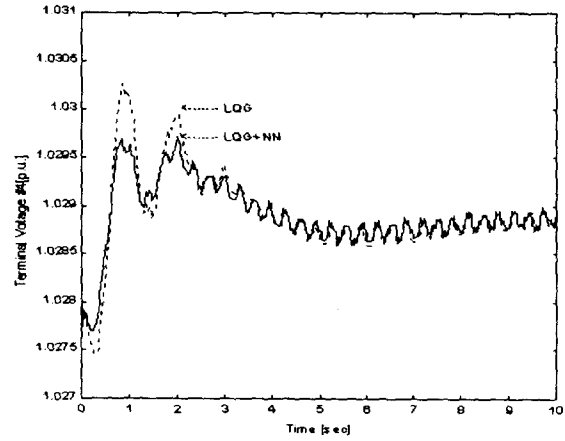


그림 13 4번 모선 전압
Fig. 13 Voltage of bus 4

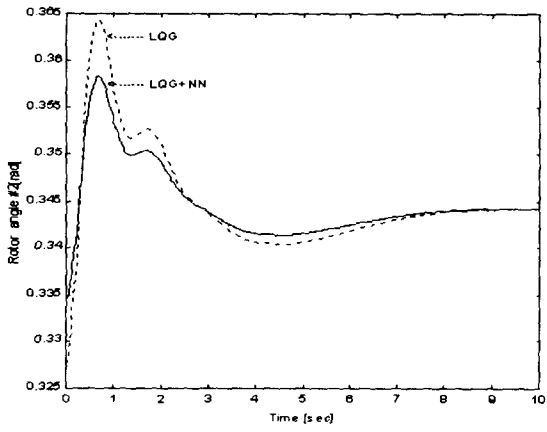


그림 11 발전기 #2의 회전각
Fig. 11 Rotor angle of generator #2

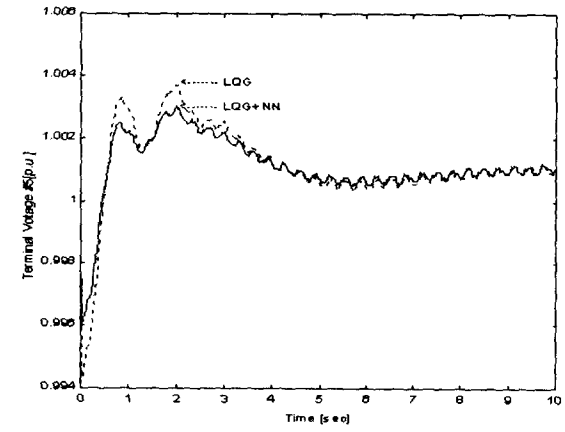


그림 14 5번 모선 전압
Fig. 14 Voltage of bus 5

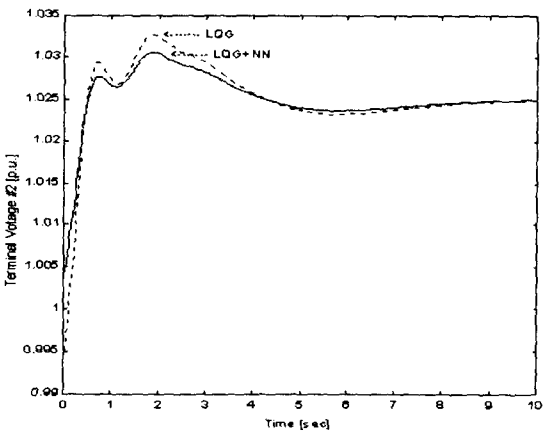


그림 12 발전기 #2의 터미널전압
Fig. 12 Terminal voltage of generator #2

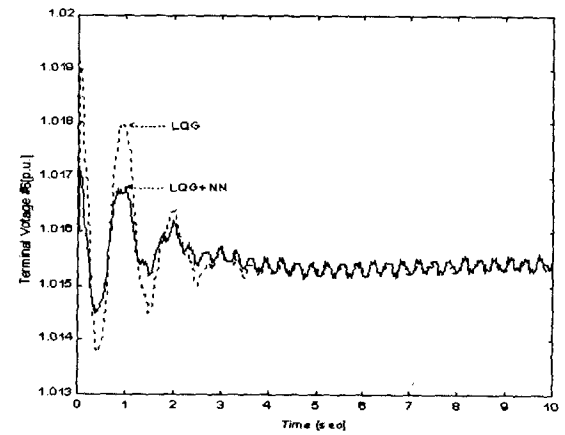


그림 15 6번 모선 전압
Fig. 15 Voltage of bus 6

6. 결론

본 논문에서는 신 전력전송방식인 FACTS 설비 중 TCSC의 제어기로 LQG 제어를 설계하였고 LQG 제어 성능에 영향을 미치는 가중행렬 등의 설계파라미터를 코호넨 신경회로망을 이용해 선택하였다. 또한 제어기의 입력을 TCSC 설치 단자의 전류로 선택하여 실제 적용 시 설계하기 용이하도록 하였다. 본 논문에서 TCSC를 1기 무한대 모선에서 개념이 확장된 다가다모선 계통인 3기 9모선 계통에 포함하였고 제안한 선정기법으로 선택된 가중행렬로 제어기를 설계한 결과 전력시스템의 동요를 억제하는 제어 성능이 향상되는 것으로 나타났다.

향후 본 논문에서 제안하는 기법을 대규모 시스템에 확대 적용하기 위해서는 상태방정식의 차수를 줄이기 위한 대규모 시스템의 동적 축약기법에 대한 연구가 필요하며, LQG 제어기법과 관련된 대수방정식들을 효과적으로 풀기 위한 알고리즘 개선에 대한 연구도 추후의 연구과제이다.

본 논문은 한국전력공사 지원(기초전력공학공동연구소 관리)에 의한 연구 결과임 (과제번호 : 95-지-02).

참고문헌

- [1] N. G. Hingorani, "FACTS - Flexible AC transmission System", EPRI Workshop, Cincinnati, Ohio, Nov. 14-16, 1990.
- [2] L. Angquist, B. Lundin, J. Samuelsson, "Power Oscillation Damping Using Controlled Reactive Power Compensation-A Comparison Between Series and Shunt Approaches", IEEE Transaction on Power System, Vol. 8, No. 2, May 1993.
- [3] F. P. de Mello, "Exploratory Concepts on Control of Variable Series Compensation in Transmission System to Improve Damping of Intermachine/System Oscillation", IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 9, No. 4, October 1994.
- [4] M. Noroozian, G. Andersson, "Damping of Power System Oscillation By Use of Controllable Components, IEEE Transaction on Power Delivery, Vol. 9, No. 4, October 1994.
- [5] B. L. Agrawal, R. A. Hedin, R. K. Johnson, A. H. Montoya, B. A. Vossler, "Advanced Series Compensation(ASC) steady-state, transient stability and subsynchronous resonance studies", FACTS Conference 2, EPRI TR-101784, Boston, Massachusetts, May 1992.
- [6] J.J. Paserba, E. V. Larson, "A stability model for Thyristor Controlled Series Compensation(TCSC)", FACTS Conference 2, EPRI TR-101784, Boston, Massachusetts, May 1992.
- [7] 손광명, 한학근, 이송근, 박종근, 이병하, "전력 계통 동요 억제를 위한 싸이리스터 제어 직렬 보상기의 해석 및

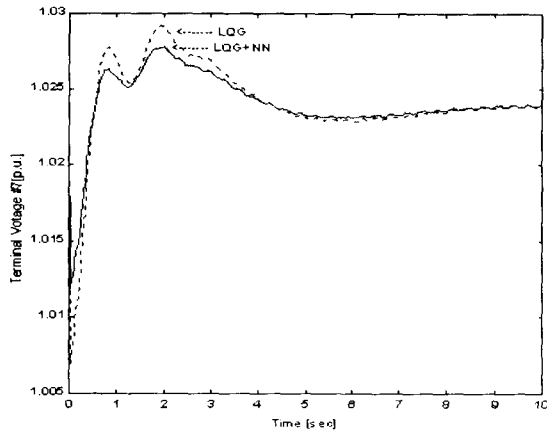


그림 16 7번 모선 전압
Fig. 16 Voltage of bus 7

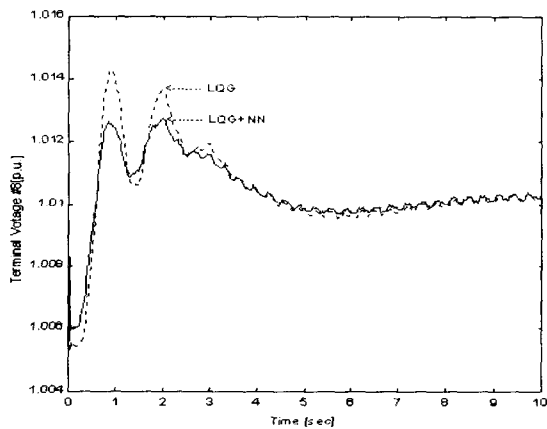


그림 17 8번 모선 전압
Fig. 17 Voltage of bus 8

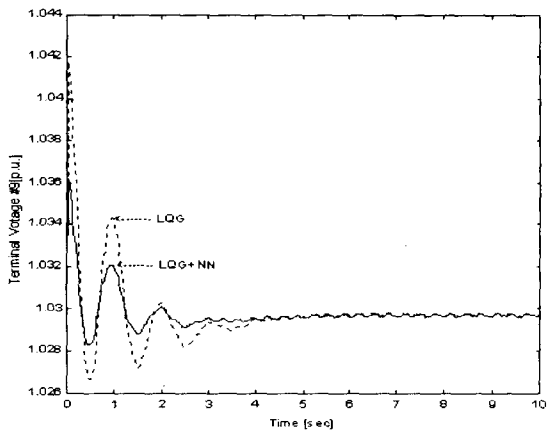


그림 18 9번 모선 전압
Fig. 18 Voltage of bus 9

- 제어”, 대한 전기 학회 논문지, 제 45권, 제 4호, pp. 484-489, 1996.
- [8] P. Dorato, C. Abdallah, V. Cerone, *Linear-Quadratic Control*, Prentice-Hall, 1995.
- [9] F. L. Lewis, *Applied Optimal Control and Estimation*, Prentice-Hall, 1992.
- [10] P. M. Anderson, A. A. Fouad, *Power System Control and Stability*, Iowa State Univ. Press, 1977.
- [11] P. Kunder, *Power System Stability and Control*, McGraw-Hill, 1994
- [12] A. J. Wood, B. F. Wollenberg, *Power Generation, Operation, and Control*, John Wiley & Sons, 1984.
- [13] B. Shahian, M. Hassul, *Control System Design using MATLAB*, Prentice-Hall, 1993.
- [14] S. Haykin, *Neural Networks*, Prentice-Hall, 1994.

저 자 소 개



김 태 준 (金 泰 僑)

1972년 8월 25일생. 1997년 시립 인천대 공대 전기공학과 졸업. 현재 시립 인천대 전기공학과 대학원 석사과정.



이 병 하 (李 丙 河)

1954년 7월 12일생. 1978년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1980년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1991년 미국 Pennsylvania 주립대 전기공학과 졸업(공학박). 1979 ~ 1994년 한국전력공사 기술연구원 선임연구원. 현재 시립 인천대 공대 전기공학과 조교수.