

GA를 이용한 TCSC 제어기의 파라미터 선정

김학만*, 오태규*, 신명철**, 손광명***
 한국전기연구소*, 성균관대**, 동의대***

GA Based Control Parameter Selection Method for Optimal TCSC Control

Hak Man Kim*, Tae Kyoo Oh*, Myong Chul Shin**, Kwang Myoung Son***
 KERI*, Sung Kyun Kwan Univ.**., Donggeui Univ.***

Abstract - In this paper we present a Genetic approach to select weighting matrices of LQ (Linear Quadratic) controller for optimal TCSC (Thyristor Controlled Series Capacitor) control. A design of LQ controller depends on choosing weighting matrices. The selection of weighting matrices is usually carried out by trial and error, which is not a trivial problem. We proposed a efficient method using GA of finding weighting matrices for optimal control law. The proposed GA method was applied to design LQ controller of TCSC in one machine infinite bus system and showed good results.

1. 서 론

전력설비의 이용률을 높이고 전력계통의 유연성과 제어 능력을 향상시켜 수송용량을 극대화시키기 위해 최근 FACTS(Flexible AC Transmission Systems)에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다.

본 논문에서는 대표적인 FACTS 설비인 TCSC (Thyristor Controlled Series Capacitor)를 이용하여 안정도를 향상시키기 위한 LQ 제어기의 설계시 중요한 문제인 가중행렬 선정에 GA를 이용하여 구하는 방법을 제시하고자 한다.

LQ 제어기의 성능은 가중행렬의 선정에 따라 상당한 차이가 발생한다. 일반적으로 가중행렬은 시행착오로 구하는데 효과적인 가중행렬 선정은 많은 시간과 노력이 소요된다. 따라서 본 논문에서는 가중치 행렬의 선정문제에 강인한 최적화 기법인 GA를 이용하여 최적의 가중행렬을 결정하고 이를 리카르티 방정식의 해를 구해 최적의 제어 이득을 결정하는 기법을 제시하고자 한다.

그리고 1기 무한대 계통에서 TCSC의 LQ 제어기를 GA를 이용하여 최적의 제어 이득을 구하고 이를 적용하여 본 논문에서 제안하는 제어기 설계법의 타당성을 입증하고자 한다.

2. GA를 이용한 최적 제어기 설계

이산치계 플랜트는 식 (1)과 같이 표현된다.

$$x(k+1) = A_d x(k) + B_d u(k) \quad (1)$$

최적기법을 이용한 디지털 제어기의 설계 목적은 식 (2)의 시스템의 자승 성능 평가 지수(Quadratic Performance Index) J를 최소화시키는 식 (3)의 최적 제어 입력을 구하는 것이다.

$$J = \frac{1}{2} \sum_{k=0}^{\infty} [x^T(k)Qx(k) + u^T(k)Ru(k)] \quad (2)$$

$$u(k) = -Kx(k) \quad (3)$$

식 (2)에 포함되어 있는 Q, R 행렬은 가중행렬로서 제어기의 성능과 특성을 좌우하게 된다. 평가 지수 J를 최소화하는 최적 제어 이득 K는 Q, R 값을 결정한 후에 식 (4)의 ARE(Arithmetic Riccati Equation)의 symmetric positive definite 해인 S를 구한 후 이를 통해 제어 이득 값인 K 행렬을 구하면 식(5)와 같이 표현된다.

$$S - A_d^T S A_d + A_d^T S B_d (R + B_d^T S B_d)^{-1} B_d^T S A_d - Q = 0 \quad (4)$$

$$K = (R + B_d^T S B_d)^{-1} B_d^T S A_d \quad (5)$$

Q, R 가중행렬은 대칭행렬로써 대각 요소를 유전자로 하는 염색체를 구성하여 GA 이용하여 최적의 가중행렬을 결정하기 위해 염색체로 나타낸 가중행렬은 그림 1과 같다. 그림 1과 같이 구성된 염색체를 초기에 N개의 가능해집단을 구성하고 식 (4), (5)를 풀어서 식 (2)의 평가 지수함수를 이용하여 평가 지수가 최소가 되는 Q, R을 구하고 이 Q, R에 의한 최적 제어 이득 K를 구한다.

$$Q = \begin{bmatrix} a_{11} & & & 0 \\ & a_{22} & & \\ & & \dots & \\ 0 & & & a_{mm} \end{bmatrix} \quad R = \begin{bmatrix} r_{11} & & & 0 \\ & r_{22} & & \\ & & \dots & \\ 0 & & & r_{nn} \end{bmatrix}$$

↓

$$[a_{11} \ a_{22} \ \dots \ a_{mm} \ r_{11} \ r_{22} \ \dots \ r_{nn}]$$

그림 1 Q, R 가중행렬로 구성된 염색체

최적화 기법에 근거한 제어기를 설계하는 전체 과정은 그림 2와 같다.

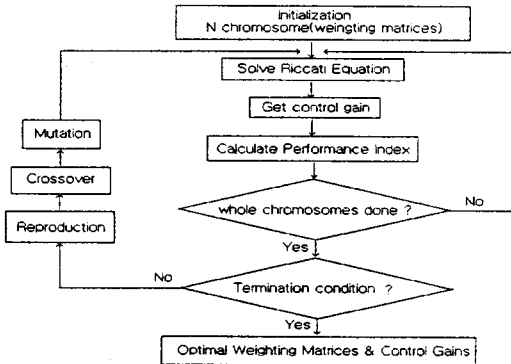


그림 2 GA를 이용한 LQ 제어기 설계

3. TCSC 제어기에 적용

그림 3의 TCSC가 포함된 1기 무한대 계통에 대해서 동기기 모델은 2축 모델[1], 여자기는 IEEE Type 1[2]을 이용하였고 TCSC는 1차 시지연을 가지는 간략화된 모델인 식 (6)을 이용하였다.

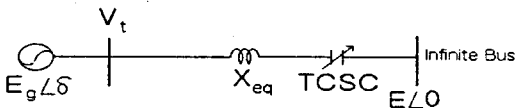


그림 3 TCSC가 포함된 1기 무한대 계통

$$T_c \dot{X}_c = -X_c + X_{ref} + X_{sup} \quad (6)$$

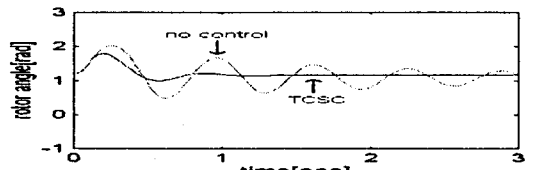
식 (6)에서 T_c 는 TCSC의 시정수, X_{ref} 는 정상 운전시의 기준 임피던스 입력 신호, X_{sup} 는 TCSC가 계통에 미치는 과도적인 특성을 개선하기 위하여 설계된 제어기의 출력 신호로써 입력을 나타낸 것이다.

LQ 제어기 설계를 위해 그림 3의 TCSC가 포함된 1기 무한대 계통을 선형화하여 식 (1)의 형태로 표현하였다. 여기서 입력행렬 B_u 는 발전기의 모든 상태가 TCSC의 임피던스 변화에 의해 제어되도록 구성하였다. 시스템 자승 평가 지수에서 가중행렬 Q 는 제어대상변수인 회전자의 위상각과 위상각에 영향을 미치는 각속도에 대해서만 가중치를 주었다. GA를 이용하여 TCSC의 LQ 제어기를 설계하

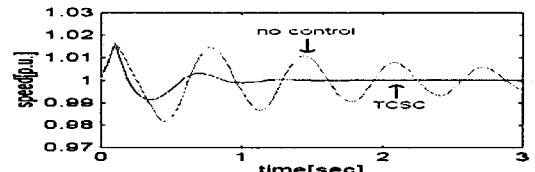
기 위해서 집단수는 100, 교차 확률은 0.5, 돌연변이 확률은 0.1로하여 엘리트시즘을 적용하여 설계하였다.

비선형 1기 무한대 계통의 무한대 모선에 3상 고장을 각각 0.1초, 0.13125초, 0.13177초, 0.14167초 지속시간 결과 그림 4, 5, 6, 7와 같이 각각 안정, 임계 안정(critically stable), 임계 불안정(critically unstable), 불안정을 보였다.

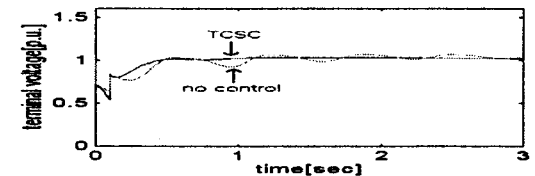
설계한 TCSC의 LQ 제어기를 TCSC가 포함된 비선형 1기 무한대 계통에 적용한 결과 그림 4, 5, 6, 7과 같이 안정한 결과를 보였다.



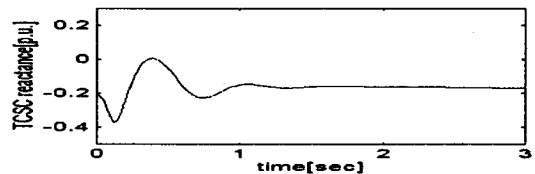
(a) 회전자의 위상각



(b) 회전자의 각속도

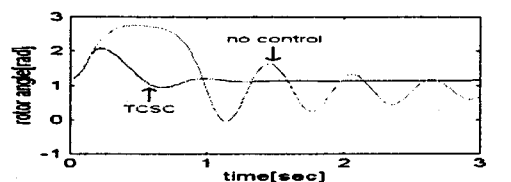


(c) 발전기의 단자전압

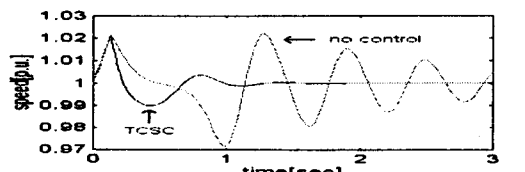


(d) TCSC의 리액턴스

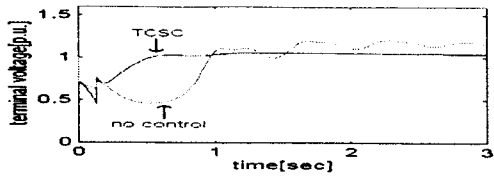
그림4 지속시간 0.1초의 3상 고장



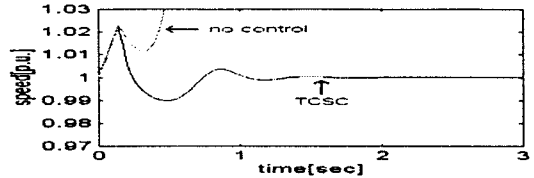
(a) 회전자의 위상각



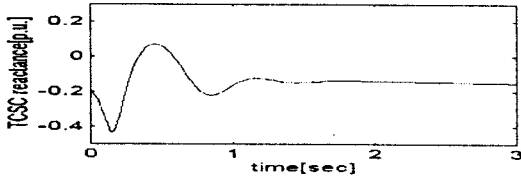
(b) 회전자의 각속도



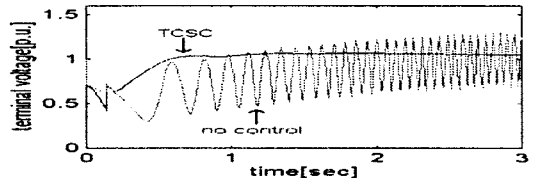
(c) 발전기의 단자전압



(b) 회전자의 각속도

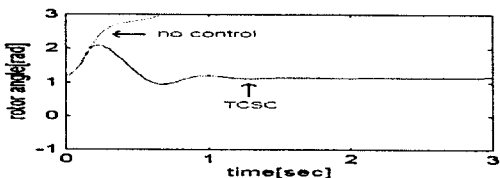


(d) TCSC의 리액턴스

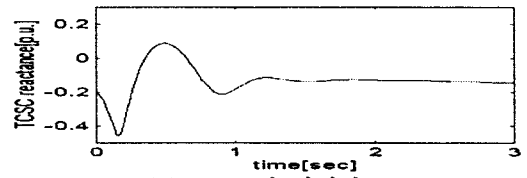


(c) 발전기의 단자전압

그림5 지속시간 0.13125초의 3상 고장

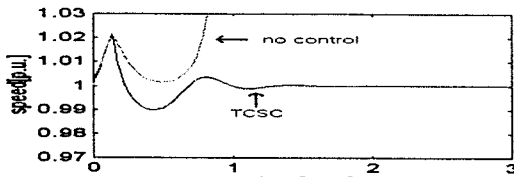


(a) 회전자의 위상각



(d) TCSC의 리액턴스

그림7 지속시간 0.14167초의 3상 고장



(b) 회전자의 각속도

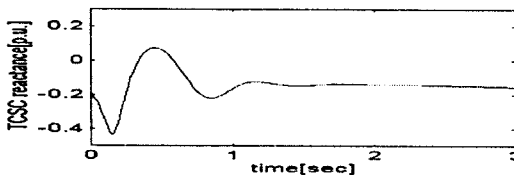
GA를 이용하여 선형 모델에서 설계한 LQ 제어기를 비선형 1기 무한대 계통에 적용한 결과 안정, 임계안정, 불안정 고장조건에 대해 좋은 결과를 나타내었다.

4. 결 론

본 논문에서는 1기 무한대 계통에서 TCSC의 LQ 제어기 설계시 제어기 성능에 중요한 영향을 미치는 가중행렬을 제안한 강인한 최적화 기법인 GA를 이용하여 최적의 가중행렬을 결정함으로써 시행착오 없이 효과적으로 우수한 성능의 제어기를 설계할 수 있음을 확인하였다.

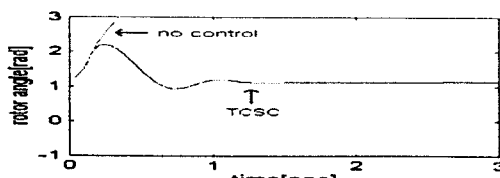
[참 고 문 헌]

- [1] P.M.Anderson A.A.Foud, Power System Control and Stability, Iowa State Univ. Press, 1977
- [2] IEEE Committee Report, "Computer Representation of Excitation Systems", IEEE Trans. on PAS, Vol.87, pp.1460-1464, 1968
- [3] Benjamin C. Kuo, Digital Control Systems, 2nd Ed., Saunders College Publishing, 1992.
- [4] Zbigniew Michalewicz, Genetic Algorithms +Data Structures=Evolution programs, Spring-Verlag, 1992.



(d) TCSC의 리액턴스

그림6 지속시간 0.13177초의 3상 고장



(a) 회전자의 위상각