

에너지함수를 이용한 STATCON의 제동특성 해석

설 용 태
호서대학교 전기공학과

Damping Analysis of STATCON based on Energy Function

Yong Tae, Sul

Dept. of Electrical Eng. Hoseo University

Abstract-The control strategy for damping analysis of STATCON is derived based on an energy function of the power system equation. The center-of-angle(COA) coordinated system by a simple equivalent physical system is used and the control law for this system is induced for FACTS devices as TCSC and STATCON. Damping results from the transient performance simulations carried out on the model system.

1. 서 론

최근 외국에서는 전력계통의 효율적인 운용을 위해서 SVC, TCSC, STATCON 등과 같은 FACTS 설비의 활용이 증가하고있고, 국내에서도 이들에 대한 도입가능성에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 이 설비들의 주된 기능중에 하나는 선로고장, 부하급변과 같은 외란에 대해서 시스템의 동요를 억제하여 안정도 여유를 증가 시키는 것으로, 지금까지는 주로 TCSC에 대한 연구가 주를 이루어 왔다[1-5]. 그러나 최근 전력전자 기술의 발달과 함께 SVC의 기능을 향상시킨 STATCON이 주목을 받기 시작하고 있는데, 아직 이에 대한 연구는 많지 않은 실정이다. 본 연구에서는 과도안정도에서의 STATCON의 제동효과를 에너지함수를 이용하여 해석하는 기법을 제시하였다. 계통에서의 발전기의 특성을 간단한 등가의 물리계로부터 center-of-angle(COA)좌표계의 개념을 도입하여 에너지함수를 유도 하여, TCSC와 STATCON의 제어법칙을 구했다. 이러한 기법의 효용성은 모델계통에의 시뮬레이션을 통해서 검토 하였다.

2. 에너지 함수

n개의 발전기들로 구성된 계통에서 발전기 i의 운동방정식은

$$M_i \dot{\omega}_i = P_i - P_{ei} \quad i = 1, \dots, n \quad (1)$$

$$\dot{\delta} = \omega_i$$

여기서,

$$P_{ei} = \sum_{j \neq i} [C_{ij} \sin(\delta_i - \delta_j) + D_{ij} \cos(\delta_i - \delta_j)]$$

$$P_i = P_{mi} - E_i^2 G_{ii}$$

$$C_{ij} = E_i E_j B_{ij}, \quad D_{ij} = E_i E_j G_{ij}$$

발전기를 그림 1과 같이 스프링으로 서로 연결된 질량체로 보고 이들은 원주상을 움직이는 간단한 등가의 물리계로 보자[6].

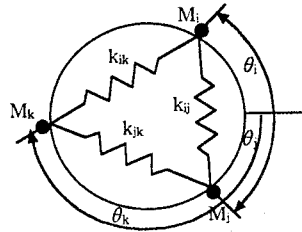


그림 1 발전기의 등가 물리계

그림 1의 물리계를 식으로 표현하면

$$m_i \ddot{\theta}_i = - \sum_{j=1}^n K_{ij} \sin(\theta_i - \theta_j) \quad (2)$$

여기서,

θ_i, θ_j : 질량체 i, j의 상차

K_{ij} : 질량체 i와 j 사이의 스프링 정수

m_i : 질량체 i의 정수

와 같고, 시스템의 동기화를 유지하기 위해서는 각속도 $\dot{\theta}_i$ 를 일정한 값으로 유지해야 되므로, 에너지 함수 L은,

$$L = \sum_{i=1}^n \frac{1}{2} m_i (\dot{\theta}_i)^2 \quad (3)$$

$$L = 0, \quad \text{if } \dot{\theta}_i = 0, \quad i = 1 \dots n$$

이 되며, 식 (3)을 (2)에 대입하고 미분하면 다음과 같이 된다.

$$L = \sum_{i=1}^n m_i \dot{\theta}_i \ddot{\theta}_i = - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \dot{\theta}_i K_{ij} \sin(\theta_i - \theta_j)$$

$$= - \sum_{i=1}^n \sum_{j=i+1}^n K_{ij} (\dot{\theta}_i - \dot{\theta}_j) \sin(\theta_i - \theta_j) \quad (4)$$

식 (4)에서 center-of-angle 좌표계는

$$M_i = \sum_{j=1}^n M_j, \quad \theta_0 = \frac{\sum_{i=1}^n M_i \theta_i}{M_i} \quad (5)$$

와 같고, center-of-angle $\theta_{i,COA}$ 는 식 (6)과 같다.

$$\theta_{i,COA} = \theta_i - \theta_0 \quad (6)$$

3. 제어함수

(1) TCSC의 경우

과도안정도에서 외란에 따른 발전기 상차각의 제동을 위해서는 식 (3)의 에너지 함수가 증가되지 않고 감소시켜야 된다. 이를 위해서는 K_{ij} 의 크기를 조절해서 선로 어드미턴스를 제어해야되는데,이로부터 TCSC의 제어함수는 다음과 같다.

$$(\dot{\theta}_i - \dot{\theta}_j) \sin(\theta_i - \theta_j) \geq 0$$

최대의 K_{ij} , 혹은 최소의 K_{ij} (7)

(2) STATCON의 경우

STATCON이 모선 k와 l 사이에 그림 2와 같이 설치된 경우에 대해서 보자.

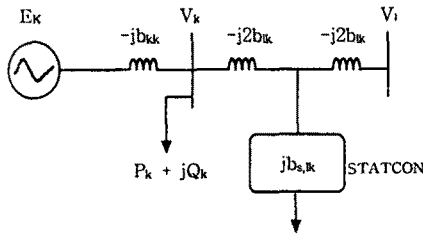


그림 2 STATCON이 설치된 경우

이 경우 부하전력 P_k, Q_k 는

$$P_k = b_{kk}(V_{kr}E_{ki} - V_{ki}E_{kr}) + \sum_{i \neq k}^N \beta_{ik}(V_{kr}V_{li} - V_{ki}V_{lr}) \quad (8)$$

$$Q_k = b_{kk}(V_{kr}E_{kr} + V_{ki}E_{ki} - V_{kr}^2 - V_{ki}^2) + \sum_{i \neq k}^N \beta_{ik}(V_{kr}V_{lr} + V_{ki}V_{li} - \alpha_{ik}V_{kr}^2 - \alpha_{lk}V_{li}^2)$$

여기서,

$$\alpha_{ik} = 1 - \frac{b_{s,kl}}{2b_{kk}}, \quad \beta_{ik} = \frac{b_{ik}}{1 - \frac{b_{s,kl}}{4b_{kk}}} \quad (9)$$

$b_{s,kl} \leq 0$; 유도성
 $b_{s,kl} \geq 0$; 용량성

STATCON의 경우 TCSC의 경우와 같이 선로 임피던스를 조절하기 위해서는 식(9)의 $b_{s,kl}$ 에 의한 β_{ik} 를 조절함으로써 가능하므로 제어함수는 식 (10)과 같다.

$$(\dot{\delta}_i - \dot{\delta}_k) \sin(\delta_i - \delta_k) \geq 0, \quad 1, \quad (\text{최대 용량성})$$

$$(\dot{\delta}_i - \dot{\delta}_k) \sin(\delta_i - \delta_k) \leq 0, \quad 1, \quad (\text{최대 유도성}) \quad (10)$$

4. 시뮬레이션

그림 3과 같은 모델계통에 대해서 적용하였다.

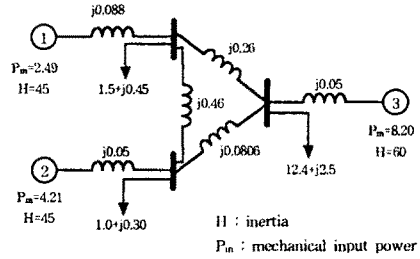


그림 3 모델 계통

그림 3의 모델계통에서 외란으로 발전기 1, 3의 상차각이 증가된 경우에 대해서 보상선비가 없는 경우와 TCSC, STATCON에 의한 제동효과를 시뮬레이션을 통해서 분석하였으며, 발전기 상차각의 결과는 그림 4와 같다.

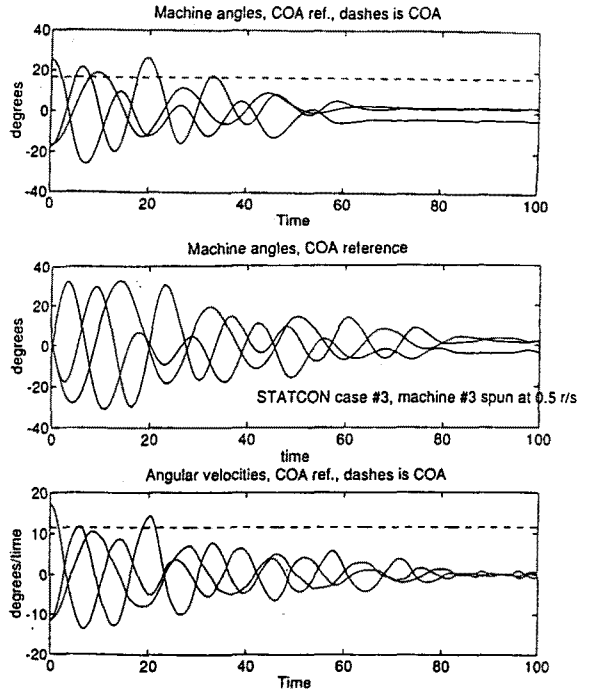


그림 4 분석 결과의 예

5. 결론

본 연구에서는 STATCON의 제동효과를 에너지함수를 이용한 과도안정도 해석을 통해서 분석하였다. 모델계통에 대한 과도상태에서의 시뮬레이션 결과 center-of-angle 좌표계로부터 유도된 에너지 함수와 이에 따른 STATCON의 제어법칙이 효과적으로 적용됨을 보였다.

(참 고 문 헌)

1. E. Lerch and D. Povh, "Performance of AC system using FACTS equipment", FACTS EPRI Conference, Boston, May 18-20, 1992.
2. L. Angquist, B. Lundin and J. Samuelsson, "Power oscillation damping using controlled reactive power compensation", IEEE Trans. PS, Vol. 8, No. 2, pp. 687-700, May 1993.
3. H. Faulhauser and S. Torseng, "Advanced simulation techniques for the analysis of power system dynamics", IEEE CAP, Vol. 3, No. 4, pp. 31-36, Oct. 1990.
4. Ian A. Hiskens and D.J. Hill, "Incorporation of SVCs into energy function methods", IEEE Trans. PS, Vol. 7, No. 1, Feb., 1992.
5. Chin-Hsing Cheng and Yuan-Yih Hsu, "Damping of generator oscillations using an adaptive SVC", IEEE Trans., PS Vol. 7, No. 2, May, 1992.
6. W. Bayer and P. Sihombing, "Aspects of damping of power oscillations by power modulation", CEPSI Conf., Australia, 1988.