第 2 分科

Liapunov법에 의한 전력계통의 과도안정도 해석

김 준 현 (한양대학교)
황 갑 주 (〃)

1. 머릿말

과도안정도는 수학적으로는 비선형 상미분 방정식 해의 안정성에 관한 연구이다.
지금까지의 해법은 주로 단단법 (step by step method)[1] 에 의해 동요곡선을 구하여 안정판별을 해왔다.

그러나 이 방법은 시간의 함수로 나타낸 동기기 내부위상각 δ의 변화로 부터 시스템의 안정성을 판별하므로 많은시간과 노력이 필요로 된다.
그래서 시간표현에 의하지 않고 직접 안정성을 논하는 방법들이 연구되어 왔다.
알려진 직접법으로 등면적법 (equalarea criterion) 이나 위상면법 (phaseplane criterion) 은 다기계통에서는 쓸수 없다.[2]

이에 비해 Liapunov 법을 사용하면 다기계통의 동요방정식 해를 직접 구하므로서 안정판별이 가능하다,

일반적으로 비선형계통에 대하여 얻어지는 안정성의 결과는 Liapunov 함수 V에 의존하기 때문에 이 V 함수의 구성이 중요시 된다.

El-Abiad 와 Gless 등은 전력계통의 전체에너지 형태를 V 함수로 구성하여 안정여부를 제시하였다 (3)~(5) 그러나 고장조건이나 계통상태에 따라 소극적인 안정영역을 주는 경우가 있어 본 연구에서는 이점을 보완한 개량된 Liapuonv 함수의 구성을 제안한다.

2. 적용근거

안정도 해석에 쓰이는 일반적인 가정[1]하에 전기계통의 동요방식은

$$M_i \frac{d^2\delta_i}{dt^2} + D_i \frac{d\delta_i}{dt} + P_{ei} = P_{mi} \quad i = 1, 2, \cdots n$$

이것을 $\dot{X} = f(X, U, t)$ (2)

로 표시되는 시변계수 비선형 시스템으로 생각

하면 초기조건이 $t = t_0$ 에서 $x(t_0) = x_0$, 입력을 $u = u_1(t)$ 로 했을 때의 특이해는

$$x = (x_1(t), t ; x_0, t_0) \qquad (3)$$

(2)식의 시스템에서 u= 일정, f가 t의 양의 함수가 아닐 경우

$$\dot{x} = f(x)$$

로 되어 자율계 (Autonomous system)의 표현식이 된다.

대체로 비선형 제어계의 안정성은 입력신호와 초기조건에 의존하기 때문에 Liapunov 의 안정론은 시스템의 평형상태에서 안정성을 검토하기 위한 제1방법 및 제2방법 (직접법)[6]으로 전개한다.

Liapunov 안정론을 전력계통에 적용하기 위해서는 (1) 식에서

$$M_i \ddot{\delta}_i + D_i \dot{\delta}_i + E_i^2 G_{ii} + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{n} E_i E_j \cos(\delta_i - \delta_j - \phi_{ij}) = P_{mi} \qquad (4)$$

$$i = 1, 2, \ldots\ldots, n$$

(4) 식의 평형점을 δ_i^s 로 하여

$$x_i = \delta_i - \delta_i^s$$

$$x_{i+n} = \dot{x}_i - \dot{\delta}_i \qquad i = 1, 2, \ldots, n$$

로 놓으면

$$\dot{x}_i = x_{i+n}$$

$$\dot{x}_{i+n} = -D_i x_{i+n} + (E_i^2 G_{ii} - P_{mi}) - \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{n} E_i E_j Y_{ij} \cos(x_i - x_j - \phi_{ij})$$

윗식은

$$\dot{x} = f(x) \tag{6}$$

의 형태로 표시되므로 시간변수를 포함하지 않는 자율계가 된다.

이 시스템에 대해 Liapunoy 의 직접법을 사용하므로서 (6) 의 $x = 0$ 근방의 안정성을 논할 수 있게 된다.

Liapunov 법의 수학적인 정리와 성질은 문헌 (6) 을 참조바람.

3. 연구내용

새로운 Liapunov 함수의 제안으로

(1) 이전의 논문[3]-[5]은 Liapunov 안정영역이 매우 소극적인 값을 주는 경우가 있어 본 연구에서는 V함수의 조건을 만족하는 범위내에서 V_t의 증가비율을 막기 위해 각속도 ω의 영향을 억제 했다.

(2) 불안정 평형점간의 norm ($\|x - x^u\| < \varepsilon$)을 계산하여 V_c를 보정하므로서 보다 나은 안정한계를 구했다.

(3) 다기계통에서는 damping torque를 무시할 수 없으므로[7] damping 항을 고려한 Liapunov 함수를 제시했다.

모델계통은 4기계통을 채택했고 조류계산은 뉴톤랍슨법[8]을 주프로그램으로 하였다.

〈참 고 문 헌〉

(1) G.W. Stagg, A. H. El-Abiad
Computer Method in Power System Analysis
Mc Graw-Hill, 1968

(2) M. Mansour
Generalized Lyapunov Function for power systems
IEEE Trans A.C. June 1974 P247

(3) Gless G.E.
The Direct Method of Liapunov Applied to transient power system stability
IEEE Trans. Vol. PAS-85, No. 2, pp. 159-168, Februady, 1966

(4) El-Abiad, A. H., and K. Nagappan
Transient stability Regions of Multi-machine power systems
IEEE Trans., Vol. PAS-85, No. 2 pp. 169-179, February, 1966

(5) G. A. Lüders

Transient stability of Multi-machine power systems via the Direct Method of Lyapunov

IEEE Trans., Vol. PAS-90, No. 1, 1971. pp. 23

(6) Joseph La salle Solomon Lefschetz

stability by Liapunov's Direct Method with Application

RIAS, Baltimore, Maryland

(7) J. L. Willems

optimum Liapunov Function and stability Regions for Multimachine power systems

PROC IEE Vol. 117 No. 3 March 1970. pp. 573

(8) W. F. Tinny & C. E. Hart

power Flow solution by Newton's Method

IEEE Trans PAS-86, No. 11, Nov. 1976, pp. 1449