2. Предложены пути совершенствования систем аспирации и снижения энергетических затрат при их эксплуатации.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. А л е к с а н д р о в, А. Н. Пневмотранспорт и пылеулавливающие сооружения на деревообрабатывающих предприятиях / А. Н. Александров, Г. Ф. Козориз. – М.: Лесная промышленность, 1988. – 248 с.

Представлена кафедрой
теплогазоснабжения и вентиляции

Поступила 4.04.2008

УДК 681.575

МОМЕНТНЫЙ КРИТЕРИЙ УСТОЙЧИВОСТИ ЗАМКНУТОЙ ЛИНЕЙНОЙ АСР

Канд. техн. наук, доц. НАЗАРОВ В. И.

Белорусский национальный технический университет

Для анализа линейных автоматических систем регулирования (АСР), все параметры которых известны, используют различные критерии устойчивости, определяющие условия, необходимые и достаточные для того, чтобы корни характеристического уравнения имели отрицательную вещественную часть. К таким критериям относятся критерии Раутса, Гурвица, Михайлова и т. д. Каждый из разработанных критериев имеет свою область использования и соответственно какие-то ограничения по применению. Цель данного исследования – разработка универсального критерия, позволяющего без громоздких расчетов оценить устойчивость линейной АСР.

Пусть передаточная функция линейной замкнутой АСР представлена в виде

$$W(p)=\frac{\sum\limits_{i=1}^{m} b_i p^i + b_0}{\sum\limits_{j=1}^{n} a_j p^j + a_0}=\frac{\varepsilon(p)}{g(p)}, \qquad (1)$$

где $\varepsilon(p)$ – изображение ошибки регулирования; $g(p)$ – то же задающего воздействия.

Представим оригинал ошибки регулирования $\varepsilon(p)$ в виде обобщенного ряда Фурье [1]

$$\varepsilon(t)=\sum_{i=1}^{k} C_i \varphi_i(t), \qquad (2)$$

где $\varphi_1(t)$, $\varphi_2(t)$, …, $\varphi_k(t)$ – система ортонормированных функций, для которых справедливо равенство

$$\int_0^{\infty} \varphi_i(t)\varphi_j(t)=\delta_{ij}.$$

Здесь δ_{ij} – символ Кронекера; C_1, C_2, …, C_k – обобщенные коэффициенты Фурье, определяемые исходя из метода наименьших квадратов как

$$C_k = \int_0^\infty \varepsilon(t)\varphi_k(t)dt. \tag{3}$$

Если $\varphi_1(t)$, $\varphi_2(t)$, …, $\varphi_k(t)$ – ортонормальная экспоненциальная система [2]:

$$\begin{gathered}\varphi_1(t) = \alpha_{11}e^{-\alpha t};\\ \varphi_1(t) = \alpha_{12}e^{-\alpha t} + \alpha_{22}e^{-2\alpha t};\\ \varphi_k(t) = \alpha_{1k}e^{-\alpha t} + \alpha_{2k}e^{-2\alpha t} + \ldots + \alpha_{kk}e^{-k\alpha t},\end{gathered} \tag{4}$$

то справедливо:

$$\begin{gathered}C_1 = \alpha_{11}\int_0^\infty \varepsilon(t)e^{-\alpha t}dt;\\ C_2 = \alpha_{12}\int_0^\infty \varepsilon(t)e^{-\alpha t}dt + \alpha_{22}\int_0^\infty \varepsilon(t)e^{-2\alpha t}dt;\\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\\ C_k = \alpha_{1k}\int_0^\infty \varepsilon(t)e^{-\alpha t}dt + \alpha_{2k}\int_0^\infty \varepsilon(t)e^{-2\alpha t}dt + \ldots\ \alpha_{kk}\int_0^\infty \varepsilon(t)e^{-k\alpha t}dt,\end{gathered} \tag{5}$$

где

$$\alpha = \frac{a_0}{a_1} \quad \text{и} \quad \alpha_{ij} = \frac{\sqrt{2j\alpha}(-i)^{i+j}(i+j-1)!}{l!(l-1)!(j-i)!}.$$

Вводим понятие моментов импульсной характеристики:

$$\begin{gathered}\mu_1 = \int_0^\infty \varepsilon(t)e^{-\alpha t}dt = W(\alpha)g(\alpha);\\ \mu_2 = \int_0^\infty \varepsilon(t)e^{-2\alpha t}dt = W(2\alpha)g(2\alpha);\\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\\ \mu_k = \int_0^\infty \varepsilon(t)e^{-k\alpha t}dt = W(k\alpha)g(k\alpha).\end{gathered} \tag{6}$$

Тогда:

$$\begin{gathered}C_1 = \alpha_{11}\mu_1;\\ C_2 = \alpha_{12}\mu_1 + \alpha_{22}\mu_2;\\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\\ C_k = \alpha_{1k}\mu_1 + \alpha_{2k}\mu_2 + \ldots + \alpha_{kk}\mu_k.\end{gathered} \tag{7}$$

Если переходный процесс по ошибке регулирования $\varepsilon(t)$ сходится, то соответственно должен сходиться и ряд, составленный из коэффициентов Фурье. Исходя из изложенного выше сформулируем необходимое и достаточное условие устойчивости замкнутой линейной АСР: для устойчивости АСР необходимо и достаточно, чтобы ряд, составленный из коэффициентов обобщенного ряда Фурье, описывающего поведение данной АСР (по ошибке регулирования), сходился.

Поясним применение данного критерия на примерах.

Пример 1. Пусть имеется одноконтурная система регулирования с передаточной функцией объекта и П-регулятором соответственно:

$$W_{\text{од}}(p) = \frac{3}{(7,5p+1)(12,5p+1)(25p+1)};$$

$$W_n(p) = 4.$$

Необходимо определить, устойчива ли данная система.

Находим $\alpha = 0,3$. Затем: $\mu_1 = 3,054$; $\mu_2 = 1,640$; $\mu_3 = 1,105$; $\mu_4 = 0,8313$; $\mu_5 = 0,6658$ и $C_1 = 2,366$; $C_2 = -1,30$; $C_3 = 0,714$; $C_4 = -0,34$; $C_5 = 0,08$, т. е. ряд, составленный из коэффициентов ряда Фурье сходится, значит, данная система устойчива.

Пример 2. Рассмотрим случай, когда объект задан в виде передаточной функции инерционного звена второго порядка, а регулятор – ПИ-алгоритмом регулирования:

$$W_{\text{од}}(p) = \frac{10}{(20p+1)(5p+1)};$$

$$W_{\text{пи}}(p) = 10\left(1 + \frac{1}{p}\right).$$

Находим $\alpha = 1$. Затем: $\mu_1 = 0,3865$; $\mu_2 = 3752$; $\mu_3 = 2933$; $\mu_4 = 0,2329$ и $C_1 = 0,5466$; $C_2 = 0,7052$; $C_3 = 1,0$; $C_4 = 0,745$, т. е. ряд квадратов коэффициентов ряда Фурье расходится, значит, данная система неустойчива.

ВЫВОД

Предложен моментальный критерий устойчивости АСР, позволяющий определять устойчивость линейных АСР по их передаточным функциям на базе обобщенного ряда Фурье.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бачище, П. В. Метод идентификации объектов управления по экспериментальным переходным функциям на основе обобщенного преобразования Фурье / П. В. Бачище, В. И. Назаров // Энергетика… (Изв. высш. учеб. заведений). – 1983. – № 1. – С. 99–102.

2. Назаров, В. И. Исследование модели системы регулирования мощностью ортогональным методом моментов / В. И. Назаров, В. И. Литвинец, В. С. Писарчик // Научные и прикладные проблемы энергетики. – Минск: БПИ, 1984. – Вып. 11. – С. 10–15.

Представлена кафедрой ТЭС Поступила 3.03.2008