

Так как правая часть содержит отнесенную к моменту времени  $t_0$  абсолютную погрешность, для относительной погрешности можем записать

$$\delta_0 = - \frac{\alpha}{K-1} \cdot \frac{\theta t_2 - \alpha(K-1)(t_1 - t_2)}{\theta + \alpha x(t_1 - t_2)}. \quad (16)$$

Сопоставление (7) и (16) показывает, что изменение последовательности тактовых преобразований на обратное меняет динамическую погрешность, которую нельзя получить из (7) формальной заменой знака времени.

Задача отыскания оптимальной последовательности преобразований достаточно сложна, если даже располагать априорной плотностью распределения измеряемой величины по рабочему диапазону, т. к. погрешность является функцией параметров  $\theta$  и  $K$  тестов. Однако, исходя из условия минимума результирующей погрешности, можно выбрать как оптимальную последовательность операций, так и соответствующие ей параметры тестов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Орнатский И. П., Осеминин А. А. Аналитическая инвариантность измерительных устройств и условия ее достижения // Метрология. — 1975. — № 10. — С. 3—13.
2. Бродберг М., Куликовский К. Л. Тестовые методы повышения точности измерительных устройств. — М.: Энергия, 1978. — 176 с.
3. Диденко В. Н., Федотов В. П. Состояние, возможности и перспективы метода коммутационного шивертирования // Измерительная техника. — 1985. — № 3. — С. 31—33.

Лен. фил. ЕрПИ им. К. Маркса

5. IV. 1987

Изв. АН АрмССР (сер. III), т. XLII, № 5, 1989, с. 247—251

#### СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

УДК 681.511.42

С. Е. ЧИМИШКЯН

### КВАДРАТИЧНЫЕ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ПРОЦЕССОВ ДЛЯ КЛАССА НЕЛИНЕЙНЫХ МНОГОСВЯЗНЫХ САУ

Предлагается обобщение квадратичных оценок качества процессов одномерных систем на многосвязный случай.

Ил. 2. Библиогр.: 9 назв.

Առաջարկվում է ընդհանուր համակարգերի որոշանիշների որակի քառակուսային գնահատումների քառակուսային գնահատումը բնութագրող դեպքի համար:

В инженерной практике часто встречаются нелинейные многосвязные системы автоматического управления (САУ) вида рис. 1. Здесь

БН—диагональный блок статических нелинейностей из сектора  $(\alpha, \beta)$  (рис. 2), а  $W(s)$ —квадратная  $(m \times m)$  передаточная матрица линейной части. Для анализа устойчивости таких САУ успешно применяются частотные критерии абсолютной устойчивости [1—3] и полученные

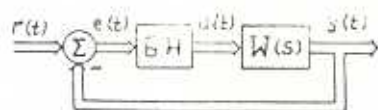


Рис. 1. Структурная схема системы.

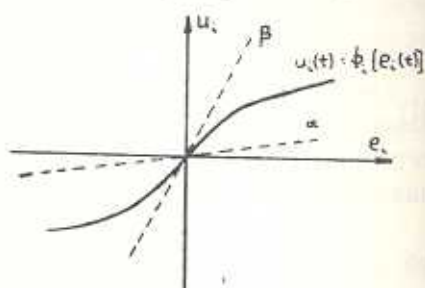


Рис. 2. Секторная нелинейная характеристика.

на их основе многомерные аналоги классических критериев В. М. Попова, кругового и др. [4, 5]. Однако при решении реальных задач управления одной лишь устойчивости САУ обычно недостаточно. При рассмотрении одномерных САУ определенное распространение получили квадратичные оценки качества регулирования [6]. Используя понятие евклидовой нормы вектора  $\|r\| = \left(\sum_{j=1}^m |r_j|^2\right)^{1/2}$ , введем обобщение этих оценок на многомерный случай:

оценка по входу нелинейного блока —

$$J_{\xi} = \int_0^{\infty} \|\xi(t)\|^2 dt = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \|\xi(j\omega)\|^2 d\omega; \quad (1)$$

оценка по выходу нелинейного блока —

$$J_{\eta} = \int_0^{\infty} \|\eta(t)\|^2 dt = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \|\eta(j\omega)\|^2 d\omega. \quad (2)$$

Здесь  $\xi(t)$  и  $\eta(t)$  —  $m$ -векторы возмущения номинальных процессов на входе и выходе нелинейного блока  $\xi(t) = e(t) - e^0(t)$ ,  $\eta(t) = u(t) - u^0(t)$ , вызванные исчезающим внешним воздействием  $r_1(t)$ , ограниченным по норме и энергии:

$$\sup \|r_1(t)\| < \infty, \quad \lim_{t \rightarrow \infty} \|r_1(t)\| = 0,$$

$$\int_0^{\infty} \|r_1(t)\|^2 dt = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \|r_1(j\omega)\|^2 d\omega < \infty. \quad (3)$$

Непосредственное вычисление оценок  $J_{\xi}$  и  $J_{\eta}$  сопряжено со значительными трудностями даже в одномерном случае, что притворяет идею простых косвенных оценок качества. Поэтому, как и в одномерном случае, следует вычислять верхние границы  $I_{\xi}$  и  $I_{\eta}$ .

*Теорема.* Пусть многосвязная САУ (рис. 1) является абсолютно устойчивой в секторе  $(a, b)$  по упрощенному критерию абсолютной устойчивости

$$(b-a)^{-1} + \operatorname{Re} \{ W(j\omega) [I + aW(j\omega)]^{-1} \} > 0, \quad 0 \leq \omega < \infty, \quad (4)$$

а реальные нелинейные характеристики БН (при  $e^0(t) = 0$ ), либо их производные ( $e_0(t) \neq 0$ ) принадлежат сектору  $(\alpha, \beta)$ , где  $0 \leq a < \alpha \leq \beta < b$ . Тогда справедливы оценки

$$J_{\varepsilon} \leq \left| \frac{(b-a)(\beta-a)}{(b-\beta)(\alpha-a)} \right|^2 \int_0^{\infty} \|r_{\varepsilon}^{\prime}(t)\|^2 dt, \quad (5)$$

$$J_{\varepsilon} \leq \left| \frac{(b-a)(\beta-a)}{(b-\beta)} \right|^2 \int_0^{\infty} \|r_{\varepsilon}^{\prime}(t)\|^2 dt.$$

Здесь  $r_{\varepsilon}^{\prime}(t)$  — эквивалентное воздействие, связанное с реальным воздействием  $r_{\varepsilon}(t)$  соотношением  $r_{\varepsilon}^{\prime}(j\omega) = [I + aW(j\omega)]^{-1} r_{\varepsilon}(j\omega)$ , и имеет место оценка  $\|r_{\varepsilon}^{\prime}(j\omega)\| \leq \|r_{\varepsilon}(j\omega)\| \cdot \sup \| [I + aW(j\omega)]^{-1} \|_2$ , где  $\|A\|_2$  — спектральная норма матрицы  $A$ .

Интерпретация приведенной теоремы полностью аналогична одномерному случаю. Смысл ее состоит в том, что если линейная часть САУ  $W(s)$  допускает абсолютную устойчивость в более широком секторе  $(a, b)$ , нежели сектор реального БН  $(\alpha, \beta)$ , то по энергетическим характеристикам возмущающего воздействия могут быть оценены соответствующие характеристики вызванных им возмущений на входе и выходе БН.

Аналогичные соотношения справедливы и для САУ с запаздываниями в линейной части, а также для дискретных САУ с амплитудной модуляцией. В последнем случае речь идет о суммарных, а не интегральных оценках [3], и во всех выражениях (1) — (5) интегралы заменяются на суммы, а непрерывные функции времени — на соответствующие решетчатые функции.

В случае не исчезающих и случайных внешних воздействий целесообразно ввести в рассмотрение усредненные во времени характеристики

$$\bar{J}_{\varepsilon} = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^T \|\varepsilon(t)\|^2 dt, \quad \bar{J}_{\varepsilon}^{\prime} = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^T \|r_{\varepsilon}^{\prime}(t)\|^2 dt,$$

тогда оценки, аналогично (5), имеют вид

$$\bar{J}_{\varepsilon} \leq \left| \frac{(b-a)(\beta-a)}{(b-\beta)(\alpha-a)} \right|^2 \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^T \|r_{\varepsilon}^{\prime}(t)\|^2 dt, \quad (6)$$

$$J_2 \leq \left[ \frac{(b-a)(\beta-a)}{(b-\beta)} \right]^2 \lim_{\tau \rightarrow \infty} \frac{1}{2\tau} \int_{-\tau}^{\tau} \|r'(t)\|^2 dt, \quad (6)$$

где

$$\lim_{\tau \rightarrow \infty} \frac{1}{2\tau} \int_{-\tau}^{\tau} \|r'(t)\|^2 dt = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} F'(j\omega) d\omega, \quad F'(j\omega) = \lim_{\tau \rightarrow \infty} \frac{1}{2\tau} \|r'_\tau(j\omega)\|^2,$$

$$r'_\tau(j\omega) = [I + aW(j\omega)]^{-1} r_\tau(j\omega), \quad r_\tau(j\omega) = \int_{-\tau}^{\tau} e^{-j\omega t} r(t) dt.$$

Доказательство соотношений (5) и (6) как для непрерывных, так и для дискретных многосвязных САУ приводится в [7].

*Пример.* Пусть передаточная матрица линейной части САУ (рис. 1) имеет вид

$$W(s) = \frac{1}{(0,4+s)(1,5+s)} \begin{bmatrix} 1+s & -2 \\ 5 & 8+s \end{bmatrix}.$$

Как показано в [5], эта САУ является абсолютно устойчивой в секторе  $(0, 0,54)$ . Пусть реальный нелинейный блок удовлетворяет сектору  $(0,1, 0,4)$  и рассматривается случай  $e^0(t) \equiv 0$ , т. е. номинальные входные воздействия равны нулю:  $r^0(t) \equiv 0$ . Тогда в соответствии с (5) имеем

$$J_2 \leq \left[ \frac{(0,54-0)(0,4-0)}{(0,54-0,4)(0,1-0)} \right]^2 \int_0^{\infty} \|r_1(t)\|^2 dt = 2,38 \int_0^{\infty} \|r_1(t)\|^2 dt.$$

$$J_1 \leq \left[ \frac{(0,54-0)0,4-0}{(0,54-0,4)} \right]^2 \int_0^{\infty} \|r_1(t)\|^2 dt = 2,38 \int_0^{\infty} \|r_1(t)\|^2 dt.$$

Таким образом, в отличие от критериев  $L_2$ -устойчивости [8], устанавливающих лишь тот факт, что конечная  $L_2$ -норма (т. е. энер-

гетическая характеристика  $\int_0^{\infty} \|r_1(t)\|^2 dt = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \|r_1(j\omega)\|^2 d\omega$ ) входного

сигнала  $r(t)$  (3) гарантирует ограниченность  $L_2$ -нормы ошибки, выхода САУ и т. д., предлагаемые квадратичные оценки устанавливают численное соответствие между этими нормами. Оценки являются дополнением критериев абсолютной устойчивости, используемых при синтезе САУ [9], т. к. позволяют оценить характер процессов в САУ.

## Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Джурі Э., Ли В. Абсолютная устойчивость систем со многими нелинейностями//Автоматика и телемеханика.—1965.—Т. 26, № 6.—С. 945—965.
2. Резван В. Абсолютная устойчивость автоматических систем с запаздываниями.—М.: Наука, 1983.—360 с.
3. Цыпкин Я. З., Попков Ю. С. Теория нелинейных импульсных систем.—М.: Наука, 1973.—416 с.
4. Гаспарян О. Н. Исследование абсолютной устойчивости нелинейных многосвязных систем методом характеристических передаточных функций//Изв. АН АрмССР. Сер. ТН.—1986.—Т. XXXIX, № 5.—С. 23—29.
5. Чимишкян С. Е. Нормальная аппроксимация, числовая область и графические критерии абсолютной устойчивости многосвязных САУ/Ереванск. политехи. ин-т.—Ереван, 1986.—36 с.—Деп. в АрмНИИНТИ 29.07.1986, № 37—Ар.
6. Цыпкин Я. З. Основы теории автоматических систем.—М.: Наука, 1977.—560 с.
7. Чимишкян С. Е. Квадратичные оценки качества процессов для класса нелинейных многосвязных САУ/Ереванск. политехи. ин-т.—Ереван, 1986.—26 с.—Деп. в АрмНИИНТИ 28.11.1986, № 50—Ар.
8. Харрис К., Валенка Ж. Устойчивость динамических систем с обратной связью.—М.: Мир, 1987.—360 с.
9. Карсян Э. В., Чимишкян С. Е. Метод синтеза класса абсолютно устойчивых нелинейных многосвязных систем автоматического управления//Изв. АН АрмССР. Сер. ТН.—1986.—Т. XXXIX, № 4.—С. 43—46.

ЕрПИ им. К. Маркса

4. IX. 1987

Изв. АН АрмССР (сер. ТН), т. XLII, № 5 1989, с. 251—257

### СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

УДК 681.3.06.001.2:66.012—52

Г. Г. АРУНЯНЦ, Е. А. ШАРАБХАНИЯН, М. А. РАФАЕЛЯН

### АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ЛОГИЧЕСКИЙ СТРУКТУРНЫЙ СИНТЕЗ САУ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Приведены результаты разработки программного комплекса автоматизированного логического структурного синтеза САУ параметров ХТС, реализующего алгоритмы анализа причинно-следственных связей параметров объекта с выявлением оптимальных вариантов организации контуров регулирования на основе результатов анализа статических и динамических характеристик.

Ил. 1. Библиогр.: 1 назв.

*ներկայացված են ավտոմատ կարգավորող համակարգի ավտոմատացված արամատանական կառուցվածքային սինթեզի ծրագրերի մշակումների արդյունքները ֆինիտ-անվերջության համակարգի պարամետրերի համար, որը կրակատացվում է որչեփոր պարամետրերի պատահական-հետևանքային կապերի վերլուծության արդյունքները կարգավորման արժույթների չափագրայն տարրերակների բացահայտմամբ, վերլուծության արդյունքների ստատիկ և դինամիկ բնութագրությունների հիման վրա:*

Любая методология проектирования систем автоматического регулирования (САУ) ХТС должна обеспечивать возможность эффек-