



УДК 681.511.4

## ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ НЕЛИНЕЙНОЙ САУ ПО КРИТЕРИЮ ДОПУСТИМОЙ ДИНАМИЧЕСКОЙ ПОГРЕШНОСТИ В УСТАНОВИВШЕМСЯ РЕЖИМЕ

*Е.С. Волохоненко, e-mail: vol578@yandex.ru, Г.С. Галикян, e-mail: aitgs@mail.ru*

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ)  
им. М.И. Платова, г. Новочеркасск

В нелинейной САУ с элементами релейного типа определению подлежит параметр  $K_1$ , входящий в математическое описание системы управления. Критерием оптимальности  $K_1$  является минимум динамической ошибки САУ в установившемся режиме работы, который характеризуется амплитудой  $A$  и частотой  $\omega$  несинусоидальных колебаний выходного параметра. Показано, что меньшим значениям динамической ошибки соответствуют большие значения кинематического фактора  $A^2\omega^2$ , соответствующие большему значению мощности силовых устройств САУ.

Известно, что установившийся режим нелинейной САУ в ряде случаев характеризуется амплитудой и частотой несинусоидальных колебаний, подлежащих определению при варьировании значимого параметра, например,  $K_1$ [1].

Для определения  $K_1$  рассмотрим, например, структурную схему (рис. 1) системы с нелинейным звеном (НЭ), статическая характеристика которого представлена рис.2.

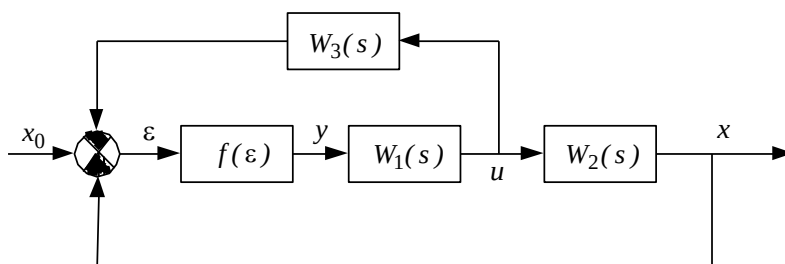


Рис. 1 – Структурная схема системы

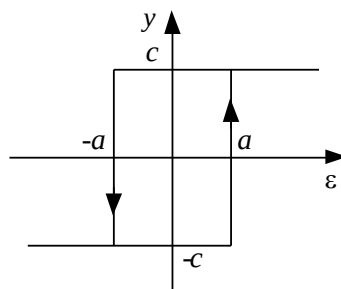


Рис. 2 – Статическая характеристика нелинейного звена

Передаточные функции линейных звеньев и комплексный коэффициент передачи гармонически линеаризованного НЭ имеют следующий вид:

$$W_1(s) = \frac{K_1}{s^v(T_1s + 1)}; \quad W_2(s) = \frac{K_2}{T_{21}^2s^2 + T_{22}s + 1}; \quad W_3(s) = \frac{K_3}{T_3s + 1};$$

$$W_{HЭ}(A) = \frac{4C}{\pi A} \cos \beta - j \frac{4ac}{\pi A^2}; \quad \beta = \arcsin \frac{a}{A}, \quad A \geq a; \quad v = \begin{cases} 0 & \text{при } a \neq 0; \\ 1 & \text{при } a = 0, \end{cases}$$

Численные значения параметров звеньев системы приведены в таблице 1.



Таблица 1

**Численные значения параметров звеньев системы**

| Параметры и их размерность |        |       |          |       |             |             |       |          |
|----------------------------|--------|-------|----------|-------|-------------|-------------|-------|----------|
| $a, В$                     | $c, В$ | $K_1$ | $T_1, с$ | $K_2$ | $T_{21}, с$ | $T_{22}, с$ | $K_3$ | $T_3, с$ |
| 1                          | 20     | 3     | 0,3      | 8     | 0,6         | 0,8         | 4     | 0,2      |

Варьируемым параметром системы является коэффициент передачи первого звена её линейной части  $K_1$ , который может принимать ряд значений:  $K_1 = \{2; 3; 4; 6; 8; 9\}$ .

Искомыми параметрами являются амплитуда  $A$  и угловая частота  $\omega$  автоколебаний на выходе САУ в установившемся режиме. Для удобства анализа сигнал задания  $X_0$  принят равным нулю.

При граничном значении коэффициента усиления  $K_{l.гр}$  амплитудно-фазовые характеристики линейной части (ЛЧ) и НЭ системы автоматического управления имеют одну общую точку соприкосновения или касания.

Расчет граничного значения коэффициента передачи  $K_1$  линейной части системы проведен с помощью программы *MathCAD*. Результаты расчета приведены в таблице 2.

Таблица 2

**Результаты расчета граничного значения  $K_{l.гр}$**

| $K_{l.гр}$            | $A, В$ | $\omega, с^{-1}$ |
|-----------------------|--------|------------------|
| $5,454 \cdot 10^{-3}$ | 1      | 1.667            |

Из приведенных данных следует, что при  $K_{l.гр}$  нелинейная САУ практически вырождается из-за малого значения  $K_{l.гр}$ . Поэтому далее рассматриваем нелинейные САУ, для которых режим автоколебаний выходного параметра является приемлемым, например, автопилот.

По результатам расчета и совместного построения АФХ линейной части системы и НЭ были определены параметры амплитуды и частоты автоколебаний, используемые для построения зависимостей  $A(K_1)$  и  $\omega(K_1)$  от варьируемого параметра  $K_1$ . Указанные зависимости аппроксимированы полиномами четвертого порядка. Для рассматриваемой САУ эти зависимости имеют вид

$$A = 11.07 + 13.82K_1 - 3.585K_1^2 + 0.56K_1^3 - 0.04K_1^4, \quad (1)$$

$$\omega = 3.2 - 0.1K_1 + 0.424K_1^2 + 0.11K_1^3 + 0.012K_1^4. \quad (2)$$

Для желаемой динамической ошибки  $\gamma$  справедливо соотношение

$$A(K_1)/X_0 = \gamma, \quad (3)$$

где  $X_0$  – сигнал задания на входе САУ, принимаемый равным 5В в связи с тем, что выходное управляющее напряжение может меняться, как правило, в диапазоне 0 – 10В.

Для частоты автоколебаний  $\omega$ , находящейся в зоне равномерного пропускания частот, справедливо ограничение

$$\omega(K_1) \leq 1/T_{\max}, \quad (4)$$

где  $T_{\max}$  – максимальная постоянная времени линеаризованной САУ.

Решения (3) для желаемых  $\gamma$ , изменяемых в диапазоне 0.01 – 0.5, при ограничении (4) позволяет определить соответствующие значения  $K_1$  (рис.3).

Рис. 3 – Зависимость  $\gamma(K_1)$ 

После нахождения  $K_1$ , соответствующего требуемой  $\gamma$ , и однозначно определяемых из аппроксимирующих выражений (1) и (2) значений  $A$  и  $\omega$ , целесообразно оценить мощность  $P$ , которая потребуется от силовых исполнительных устройств САУ

$$P = M\omega = J \frac{d\omega}{dt} \omega ,$$

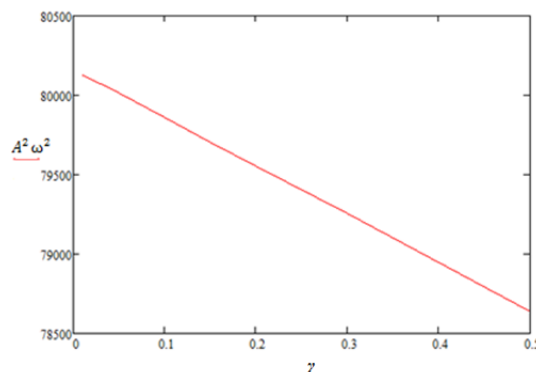
где  $M$  и  $J$  – соответственно момент сил сопротивления движению исполнительных органов и момент инерции объекта управления.

Так как осциллограммы автоколебаний близки к синусоидальным, то можно принять  $\omega(t) = A \sin \omega(t)$ . Тогда максимальное значение мощности для исполнительных органов может быть определено из соотношения

$$P(t) = J A^2 \omega^2 \cos 2\omega t / 2 .$$

Так как объекты имеют разные значения  $J$ , то целесообразно для конкретной структуры САУ построить зависимости кинематического фактора  $A^2 \omega^2$  от желаемого значения  $\gamma$ .

Характеристика такой зависимости для анализируемой САУ представлена на рис.4

Рис. 4 – Зависимость фактора  $A^2 \omega^2$  от  $\gamma$ 

Из приведенного графика следует, что меньшим значениям динамической ошибки  $\gamma$  в установившемся режиме работы нелинейной САУ соответствуют большие значения кинематического фактора  $A^2 \omega^2$  и, следовательно, большие значения мощности силовых устройств САУ.

#### Список цитируемой литературы

1. Савин М.М., Елсуков В.С., Пятина О.Н. Методические указания к курсовой работе по дисциплине “Теория автоматического управления” /Юж.-Рос. гос. техн. ун-т. – Новочеркасск: ЮРГТУ, 2007– 25 с