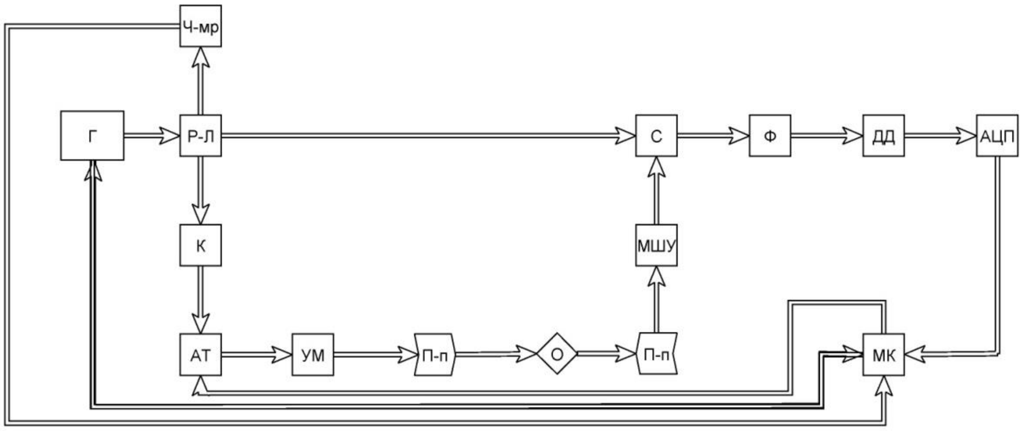

Рис. 1. Блок-схема ИС, где Ч-мр –частотомер; Г - генератор; Р-Л – радиочастотный разветвитель; К - ключ; АТ - аттенюатор; УМ – усилитель мощности; П-п пьезопреобразователь О; исследуемый образец; МШУ – малошумящий усилитель; С – смеситель сигналов; Ф – фильтр; ДД – дифференциальный драйвер АЦП; АЦП – аналогово цифровой преобразователь; МК – микроконтроллер.

1. Luthi B., Physical Acoustics in the Solid State, Springer (2005).

К АНАЛИТИЧЕСКОМУ СИНТЕЗУ ПИ-РЕГУЛЯТОРОВ

Захватов В.И.

Воронежский государственный технический университет, г. Воронеж, Россия

E-mail: v.zakhvatov@bk.ru

TO THE ANALYTICAL DESIGN OF PI-CONTROLLERS

Zakhvatov V.I.

Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia.

Annotation. Considered the possibilities of symbolic computation in the design of automatic control systems. An example of analytical synthesis of PI-controllers is given.

В развитие известных алгебраических методов синтеза управляемых систем рассматривается аналитический подход путем символьного решения систем нелинейных алгебраических уравнений методами компьютерной алгебры [1].

Стандартная постановка задачи синтеза регуляторов методом численного решения линейных полиномиальных уравнений относительно комплексной переменной p, для объекта с передаточной функцией $W_0(p) = B(p)/A(p)$ и эталонного полинома $C(p)$, задающего желаемый характеристический полином (ХП) системы управления, коэффициенты которых заданы в численном виде, состоит в следующем [2]. Требуется найти значения неизвестных параметров регулятора $W(p) = Y(p)/X(p)$, приводящего к совпадению свойств замкнутой системы с желаемым эталоном. Полиномиальное уравнение синтеза (1) решают в численном виде относительно неизвестных полиномов регулятора $X(p),Y(p)$:

$$A(p)X(p) + B(p)Y(p) = C(p) \quad (1)$$

Новая постановка задачи синтеза в символьной форме состоит в замене численных значений параметров объекта $W_0(p)$ и эталона $C(p)$ на аналитические эквиваленты [3]. Рассмотрим пример аналитического синтеза ПИ–регулятора для линейной системы общего вида с биномиальным желаемым ХП.

Пусть объект *имеет* передаточную функцию второго порядка в нормированной форме записи: $W_0(p) = k\frac{b_2p^2+b_1p+1}{a_2p^2+a_1p+1}$, а ПИ–регулятор: $W(p) = \frac{mp+n}{p}$. Желаемый ХП системы выберем в виде бинома Ньютона: $C(p) = (p + \lambda)^3$. *У*стойчивость системы обеспечивается условием $\lambda > 0$. Величина коэффициента λ задает требуемое быстродействие и полосу пропускания системы. Для расчета искомых параметров настройки регулятора *m, n* в функции параметров объекта и значений коэффициента λ желаемого ХП, составим систему нелинейных алгебраических уравнений (2), путем сравнения коэффициентов при одинаковых степенях переменной p в левой и правой частях уравнения синтеза (1):

$$\begin{gathered} a_1 + k(b_1m + b_2n) - 3\lambda(a_2 + b_2km) = 0 \\ k(m + b_1n) - 3\lambda^2(a_2 + b_2km) + 1 = 0 \\ kn - \lambda^3(a_2 + b_2km) = 0 \end{gathered} \quad (2)$$

Первые два уравнения в (2) позволяют найти аналитические выражения для коэффициентов настройки *m(λ)* и *n(λ)* ПИ-регулятора. Результат решения в Mathcad:

$$\begin{bmatrix} m(\lambda) \\ n(\lambda) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dfrac{3a_2b_1\lambda - 3a_2b_2\lambda^2 + b_2 - a_1b_1}{k(3b_2^2\lambda^2 - 3b_1b_2\lambda + b_1^2 - b_2)} \\ \dfrac{3(a_2b_1 - a_1b_2)\lambda^2 + 3(b_2 - a_2)\lambda + a_1 - b_1}{k(3b_2^2\lambda^2 - 3b_1b_2\lambda + b_1^2 - b_2)} \end{bmatrix}$$

Из третьего уравнения в (2) можно найти ограничения на параметры объекта и регулятора, гарантирующие устойчивость системы: $\lambda = \left(\frac{kn}{a_2+b_2km}\right)^{\frac{1}{3}} > 0$.

Приведенный пример показывает, что принцип символьного решения нелинейных полиномиальных уравнений, в отличие от известных численных методов, открывает широкие возможности в решении задач прямого аналитического синтеза регуляторов. Можно пересчитывать настройки в контроллере по формулам в темпе переходных процессов, управляя их длительностью, при произвольных значениях параметров объектов, минуя численные процедуры синтеза.

1. Дьяконов В.П. Энциклопедия компьютерной алгебры. - М.: ДМК Пресс, (2009).
2. Крутько П.Д. Обратные задачи динамики управляемых систем. Линейные модели. -М.: Наука, (1987).
3. Захватов В.И. Развитие алгебраических методов синтеза систем управления // Некоторые вопросы анализа, алгебры, геометрии и математического образования. № 5-1. С. 133-134, (2016).