

ОБ ОДНОМ МЕТОДЕ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ОБЪЕКТОМ ТИПА ДВОЙНОГО ИНТЕГРИРУЮЩЕГО ЗВЕНА ПРИ УСЛОВИИ НЕПОЛНОЙ ЕГО НАБЛЮДАЕМОСТИ

А. М. МАЛЫШЕНКО, С. С. КОНДРАТЬЕВ

(Представлена научным семинаром кафедры автоматики и телемеханики)

Автоматическое управление объектом типа двойного интегрирующего звена имеет свои специфические особенности. В частности, реализация непрерывного управления связана с трудностями обеспечения устойчивости системы, особенно в тех случаях, когда объекту не полностью наблюдаем и для формирования управления не может быть использована информация о скорости изменения выходной координаты объекта. Кроме того, в подобных случаях оказывается невозможной реализация управления, оптимального по быстродействию или по расходу энергии на управление [1].

В связи с вышеизложенным большое распространение получили релейные алгоритмы управления объектами указанного типа [2]. Стремление приблизить динамические характеристики подобных систем управления к оптимальным приводит к необходимости изыскания новых методов управления.

Ниже рассматривается один из методов релейного управления объектом типа двойного интегрирующего звена, обеспечивающий достаточно высокие точностные и динамические показатели системы и не требующий для своей реализации информации о скорости изменения регулируемой координаты объекта.

Структурная схема системы представлена на рис. 1. Здесь обозначено:

α_0, α — заданное и текущее значение регулируемой координаты;

ε — ошибка стабилизации;

M_u, M_v — управляющий и возмущающий сигналы, приложенные к объекту;

РЭ — релейный элемент.

Отличительной особенностью рассматриваемой схемы является использование релейного элемента с отрицательным гистерезисом. Характеристика связи входного и выходного сигналов этого релейного элемента представлена на рис. 2.

Использование подобного типа релейного элемента при формировании управляющего сигнала для объекта рассматриваемого типа способствует повышению устойчивости системы, так как по своему эффекту оказывается эквивалентным введению в закон управления воздействия по производной от ошибки [3]. Этому же эффекту способствует и охват объекта и исполнительного органа двумя обратными

связями: отрицательной единичной и через инерционное звено. Итоговая передаточная функция цепи обратной связи при этом становится равной

$$W_{oc}(s) = 1 + \frac{K_k}{1 + Ts} = \frac{K(1 + T_1s)}{1 + Ts}, \quad (1)$$

где

$$K = 1 + K_k; \quad (2)$$

$$T_1 = \frac{T}{1 + K_k}, \quad (3)$$

т. е. становится эквивалентной упругому звену.

Динамика приведенной системы автоматического управления описывается следующей системой уравнений (рис. 1):

$$\begin{aligned} Is^2\alpha(s) &= \psi(\varepsilon, v) - M_B(s); \\ \varepsilon(s) &= \alpha_0(s) - \alpha(s); \\ (Ts + 1)v(s) &= K_k\alpha(s). \end{aligned} \quad (4)$$

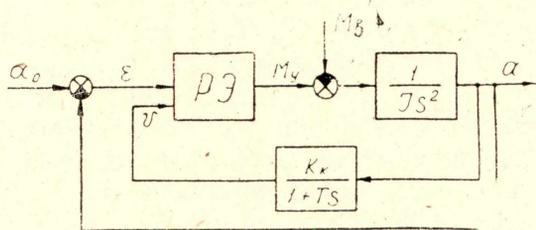


Рис. 1

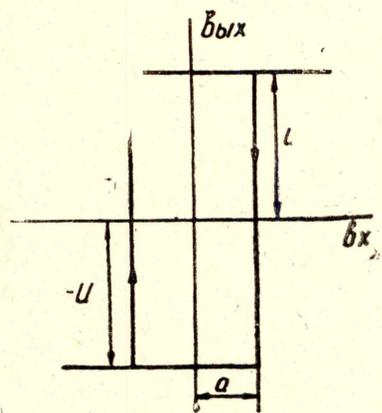


Рис. 2

При этих условиях собственное движение системы описывается уравнением

$$\ddot{\varepsilon} + \frac{\psi(\varepsilon, v)}{I} \varepsilon = 0. \quad (5)$$

Формируя тем или иным образом функцию $\psi(\varepsilon, v)$, можно изменять характер собственных движений системы, приближая их к заданным. В частности, можно обеспечить квазиоптимальный по быстродействию режим работы системы. Действительно, уравнение (5) совпадает с уравнением собственных движений квазиоптимальной по быстродействию системы, приведенной в [4].

Для реализации квазиоптимального по быстродействию управления необходимо в начальный период отработки рассогласования в системе обеспечивать максимальную скорость устранения ошибки и изменение ошибки ε по закону

$$\varepsilon = A \cdot \cos(\omega t + \varphi), \quad (6)$$

где A и φ — постоянные коэффициенты, определяемые начальными условиями.

Уравнения собственных движений при этом должно иметь вид

$$\ddot{\varepsilon} + \omega^2 \varepsilon = 0. \quad (7)$$

При попадании изображающей точки в фазовом пространстве системы с координатными осями $\dot{\varepsilon}$, ε на линию

$$\dot{\varepsilon} + \lambda \varepsilon = 0 \quad (8)$$

необходимо, чтобы исполнительный орган обеспечил движение системы согласно уравнению

$$\ddot{\varepsilon} - \lambda^2 \varepsilon = 0, \quad (9)$$

или

$$\varepsilon(t) = C_1 e^{-\lambda t} + C_2 e^{\lambda t}, \quad (10)$$

причем постоянная C_2 , определяемая начальными условиями, должна быть обеспечена равной нулю. При этом система асимптотически будет приходить к положению равновесия, как показано на рис. 3. Очевидно, что момент переключения исполнительного органа $t_{\text{пер}}$ определяется начальным состоянием системы.

В рассматриваемой системе

$$\psi(\varepsilon, v) = \pm M_{\text{max}}, \quad (11)$$

причем

$$\frac{\psi(\varepsilon, v)}{I} = \omega^2 \text{ при } M_y = +M_{\text{max}}, \quad (12)$$

$$\frac{\psi(\varepsilon, v)}{I} = -\lambda^2 \text{ при } M_y = -M_{\text{max}}, \quad (13)$$

следовательно,

$$\left| \frac{\omega}{\lambda} \right| = 1.$$

Согласно [5], описанная система будет устойчивой, если постоянная времени инерционного звена обратной связи

$$T < \frac{0,45}{\omega} = 0,45 \sqrt{\frac{I}{M_{\text{max}}}}. \quad (14)$$

В целях более полного исследования динамических свойств рассматриваемой системы было проведено моделирование ее на аналоговой

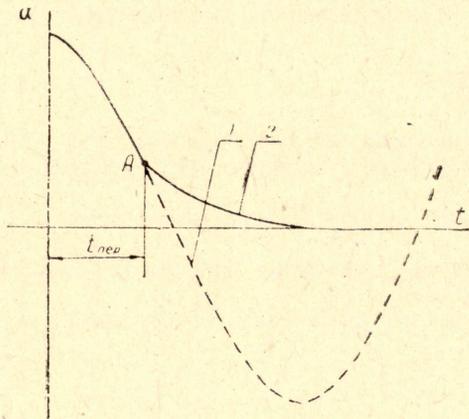


Рис. 3. Характер переходного процесса в рассматриваемой системе. Кривая 1 — $\alpha = \alpha_n \cos \omega t$; кривая 2 — $\alpha = \alpha_A e^{-\lambda t}$

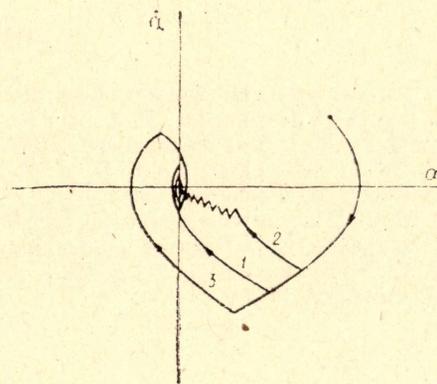


Рис. 4

вычислительной машине. Проведенные исследования показали, что анализируемая система обладает достаточно высокими динамическими свойствами. В частности, по таким показателям, как быстродействие,

установившаяся погрешность, простота реализации, она не уступает, а даже превосходит систему с переменной структурой, описанную в [4].

В данной системе можно добиться того, что переходный процесс при любых начальных условиях будет происходить без перерегулирования. Однако при этом отработка отклонений регулируемой величины будет в ряде случаев происходить в скользящем режиме.

Типичные фазовые траектории движения системы приведены на рис. 4, соответствующем

$$M_y = 1000 \text{ гсм}; \alpha_0 = 18,4 \cdot 10^{-3} \text{ рад};$$

$$J = 300 \text{ кг/мсек}^2; \omega_0 = 5,25 \cdot 10^{-4} \text{ 1/сек};$$

$$T = 0,6 \text{ сек.}$$

Фазовой траектории I соответствует величина коэффициента обратной связи $K_k = 0,89$, траектории 3 — 0,74 и траектории 2 — 1,15.

Рис. 4 показывает, что уменьшением коэффициента передачи инерционного звена можно добиться полного отсутствия скользящего режима работы. Переходный процесс будет носить при этом колебательный характер. Величина постоянной времени T мало сказывается на длительности переходного процесса, однако определяет частоту переключения исполнительного устройства в скользящем режиме. При уменьшении T частота переключений увеличивается.

В установившемся состоянии система совершает автоколебательные движения. В частности, фазовой траектории I на рис. 3 соответствует амплитуда предельного цикла

$$\alpha_{\text{пц}} = 1,31 \cdot 10^{-4} \text{ рад},$$

частота

$$\omega_{\text{пц}} = 1,05 \cdot 10^{-6} \text{ 1/сек}$$

и период

$$T_{\text{пц}} = 3,05 \text{ сек.}$$

Заметим, что полученная при этом амплитуда предельного цикла меньше, чем в схеме, описанной в [4] и имеющей те же параметры.

ЛИТЕРАТУРА

1. М. Атанс, П. Фалб. Оптимальное управление. М., «Машиностроение», 1968.
2. К. Б. Алексеев, Г. Г. Бебенин. Управление космическими летательными аппаратами. М., «Машиностроение», 1964.
3. А. А. Красовский, Г. С. Поспелов. Основы автоматки и технической кибернетики. М., Госэнергоиздат, 1962.
4. Э. В. Гаушус. Динамика релейной системы управления ориентацией космических аппаратов. Космические исследования, № 3, 1969.
5. С. В. Емельянов. Системы автоматического управления с переменной структурой. «Наука», 1967.