

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ИНЕРЦИОННЫМ ОБЪЕКТОМ ПРИ УЧЕТЕ ВЛИЯНИЯ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ПАРАМЕТРОВ

Тарасова Г.И.¹, Филиппов А.В.², Каковкина А.С.³

Email: Tarasova1134@scientifictext.ru

¹Тарасова Галина Ивановна – доцент, кандидат технических наук;

²Филиппов Анатолий Владимирович – студент;

³Каковкина Анна Сергеевна – студент,

кафедра систем автоматического управления и контроля, факультет интеллектуальных технических систем,
Национальный исследовательский университет
Московский институт электронной техники, г. Зеленоград

Аннотация: в статье описывается процесс проведения исследования влияния распределительных параметров в виде запаздывания на устойчивость и качество системы автоматического управления с инерционным термоэлектрическим объектом. Рассматривается влияние распределительных параметров на выбор настроечных параметров регулятора системы управления. Проводится идентификация объекта управления и исследование математической модели системы управления в программной среде MATLAB Simulink. В заключении проводится сравнительный анализ показателей качества в переходного процесса системы управления.

Ключевые слова: система автоматического управления, инерционный объект, передаточная функция, переходный процесс, идентификация.

THE INERTIAL OBJECT CONTROL SYSTEM, TAKING INTO ACCOUNT THE EFFECT OF DISTRIBUTED PARAMETERS

Tarasova G.I.¹, Filippov A.V.², Kakovkina A.S.³

¹Tarasova Galina Ivanovna – Docent, Candidate of Engineering Sciences;

²Filippov Anatoly Vladimirovich – студент;

³Kakovkina Anna Sergeevna – студент,

Chair of automatic operation and control systems, Department of intellectual technical systems.
National research university of electronic technology, Zelenograd

Abstract: the article describes the process of researching the influence of distribution parameters in the form of a delay on the stability and quality of an automatic control system with an inertial thermoelectric object. The effect of the distribution parameters on the selection of the tuning parameters of the control system controller is considered. The identification of the control object and the study of the mathematical model of the control system in the MATLAB Simulink software environment are carried out. In conclusion, a comparative analysis of the quality of the transition process control system.

Keywords: automatic control system, inertial object, transfer function, transient process, identification.

УДК 62-503.55

Почти все реальные элементы, входящие в состав технических систем автоматического управления (САУ), представляют собою элементы с распределенными параметрами. Но в большинстве случаев реальный элемент можно с достаточной степенью точности заменить упрощенной моделью - элементом с сосредоточенными параметрами. На практике широко применяют аппроксимацию передаточных функций сложных систем с распределенными параметрами при помощи передаточных функций с сосредоточенными параметрами и звеньев с так называемым чистым запаздыванием. Если кривая переходного процесса при приложении ступенчатого воздействия, начиная с момента $t = \tau_3$, мало отличается от экспоненты с постоянной времени T , а до момента $t = \tau_3$ ординаты достаточно малы, то соответствующее приближенное изображение уравнения объекта можно записать в виде:

$$(Tp + 1) \cdot e^{-P\tau_3} \cdot y(p) = k \cdot x(p), \quad (1)$$

где k - ордината асимптоты при единичном воздействии [1].

В настоящей работе математическое описание инерционного термоэлектрического объекта управления (ОУ) получено с помощью идентификации по экспериментальной временной характеристике $h(t)$ в виде последовательно соединенных динамических звеньев: типового аperiодического звена и звена запаздывания с передаточной функцией $W_3(p) = e^{-P\tau_3}$, являющейся трансцендентной функцией оператора p [2].

Анализ экспериментальной переходной характеристики $h(t)$ термоэлектрического ОУ показал, что с приемлемой приведенной погрешностью $< 3\%$ постоянную времени объекта для исследуемого случая можно оценить величиной $T_o = 1250\text{с}$, коэффициент передачи - $k_o = 30,8 \text{ К/В}$, время запаздывания - $\tau_3 = 20 \text{ с}$.

Выражение амплитудно-фазовой частотной характеристики звена запаздывания согласно передаточной функции имеет вид:

$$W(j\omega) = e^{-j\omega\tau_3}, \quad (2)$$

откуда получаем выражения амплитудно-частотной характеристики $A(\omega) = 1$, логарифмической амплитудно-частотной характеристики (ЛАЧХ) $L(\omega) = 0$ и фаза-частотной характеристики (ФЧХ) $\varphi(\omega) = -\omega\tau_3$.

Таким образом, на низких частотах звено запаздывания практически не оказывает влияния на общие характеристики разомкнутой САУ, а на высоких частотах оказывает, и особенно существенно на частотах, близких к частоте $\omega = \pi/\tau_3$, где фазовая характеристика звена пересекает значение $\varphi_3(\omega) = -\pi$. Поэтому фазовая характеристика разомкнутой системы с учетом звена запаздывания по сравнению с системой без учета запаздывающего звена имеет отрицательное приращение, пропорциональное частоте ω , вследствие чего возможно нарушение устойчивости замкнутой системы управления, даже в случае исходной структурно устойчивой системы.

Для типовой структуры САУ термическим ОУ передаточная функция разомкнутой системы $W_{раз}(p)$ в целом имеет вид:

$$W_{раз} = W_{yy}(p) \cdot W_{иу}(p) \cdot W_{оу}(p) \cdot W_{дат}(p) \quad (3)$$

где $W_{yy}(p)$, $W_{иу}(p)$, $W_{оу}(p)$, $W_{дат}(p)$ - передаточные функции устройства управления (УУ), исполнительного устройства, ОУ, датчика температуры соответственно.

Датчиком температуры в анализируемой САУ является термопара с постоянной времени $T_{дат}=4\text{с}$, исполнительное устройство – безынерционный усилитель.

При классическом изодромном или пропорционально-интегральном (ПИ) законе управления передаточная функция УУ может быть представлена выражением:

$$W_{yy}(p) = K_n + \frac{1}{T_i p} = \frac{K_n \cdot T_i p + 1}{T_i p} = \frac{T_y p + 1}{T_i p} \quad (4)$$

где: $T_y = K_n T_i$; K_n и $T_i = 1/K_n$ – настроечные параметры УУ.

Передаточная функция разомкнутой САУ может быть представлена в виде, удобном для анализа частотных характеристик системы с использованием типовых сомножителей:

$$W_{раз}(p) = \frac{K_o \cdot K_{дат} \cdot (T_y \cdot p + 1)}{T_i \cdot p \cdot (T_o \cdot p + 1) \cdot (T_{дат} \cdot p + 1)} \cdot e^{-p\tau_3} \quad (5) \text{ или}$$

$$W_{раз}(p) = \frac{K_c \cdot (T_y \cdot p + 1)}{p \cdot (T_o \cdot p + 1) \cdot (T_{дат} \cdot p + 1)} \cdot e^{-p\tau_3}, \text{ где } K_c = K_n K_o K_{дат} \text{ с}^{-1}.$$

Характеристическое уравнение таких систем с распределенными параметрами или с запаздыванием трансцендентно и имеет бесчисленное множество корней. Необходимым и достаточным условием устойчивости в таком случае, так же, как и в случае обыкновенной линейной системы, является нахождение всех корней этого уравнения в левой полуплоскости комплексной плоскости корней. Для практического использования при оценке устойчивости таких систем более удобными являются частотные критерии устойчивости, в частности, критерий устойчивости Найквиста, что и используется в данной работе.

При моделировании исследуемой системы на начальном этапе анализа без учета влияния звена запаздывания была проведена автоматизированная настройка параметров ПИ - регулятора в программной среде MATLAB Simulink [3]. В результате автоматизированной настройки ПИ - регулятора с помощью встроенного блока настройки Function Block Parameters: PI controller были получены следующие значения параметров: пропорциональный коэффициент $K_n = 2.57$, интегральный коэффициент $K_i = 0.0015$.

Рассчитаны ЛАЧХ и ЛФЧХ исследуемой системы без учета звена запаздывания при использовании предварительно полученных значений параметров ПИ-регулятора. По частотным характеристикам исследуемой системы оценены: частота среза $\omega_{ср} = 0,034 \text{ рад/с}$, запасы устойчивости по фазе $\gamma = 82,1^\circ$, по амплитуде $L_h \rightarrow \infty$, коэффициент усиления системы: на частоте $\omega_0 = 0.02 \text{ рад/с}$ имеем наклон -20дБ/дек , отсюда следует $K_c = 0.03$. Критический коэффициент системы $K_{кр} \rightarrow \infty$, т.к. запас устойчивости по амплитуде $L_h \rightarrow \infty$.

По переходной характеристике исследуемой системы без учета звена запаздывания были определены показатели качества переходного процесса: время регулирования: $t_p \approx 97,4\text{с}$, перерегулирование $\sigma \approx 1\%$, установившаяся ошибка $\epsilon_{уст} = 0$, так как САУ астатическая.

Специализированный ПП MATLAB Simulink дает возможность провести компьютерное моделирование систем с запаздыванием, получить частотные характеристики разомкнутой системы, провести по ним предварительный анализ устойчивости и качества переходных процессов замкнутой САУ. Кроме того, рассчитать временные характеристики в устойчивой системе управления ($K_C < K_{кр}$) при различных значениях изменяемых параметров регулятора [3].

При моделировании исследуемой системы с учетом влияния звена запаздывания была проведена автоматизированная настройка параметров ПИ - регулятора в программной среде MATLAB Simulink.

По частотным характеристикам определены следующие показатели исследуемой системы со звеном запаздывания: частота среза равна $\omega_{ср} = 0,034$ рад/с, запасы устойчивости по амплитуде и фазе $\gamma = 43,5^\circ$; $L_{\eta} = 6,02$ дБ, коэффициент усиления системы: $20lgK_C - 20lg\omega_0 = 10,59$, отсюда значение критического коэффициента $K_{кр} \approx 0,066$, и, следовательно, система может стать неустойчивой. На частотах более $\omega_3 = \frac{\pi}{\tau_3} = 0,157$ рад/с звено запаздывания начинает существенно влиять на общую фазовую характеристику исследуемой системы.

По переходной характеристике замкнутой исследуемой системы с учетом звена запаздывания были определены показатели качества переходного процесса: время регулирования: $t_p \approx 227$ с, перерегулирование $\sigma = 30\%$, установившаяся ошибка равна нулю.

Показатели точности в установившемся режиме $\varepsilon_{уст}$, быстродействия t_p и колебательности σ системы при одном и том же значении коэффициента усиления САУ без учета и с учетом влияния распределенных параметров ОУ приведены в табл. 1.

Таблица 1. Показатели качества переходного процесса системы

Время запаздывания, с	$K_{кр}$	K_C	$\varepsilon_{уст}$	t_p , с	σ , %
$\tau_3 = 0$, с	∞	0.03	0	97,4	1
$\tau_3 = 20$, с	0.066	0.03	0	227	30,8

Таким образом, исследование САУ с инерционным термоэлектрическим объектом показало, что влияние распределенных параметров ОУ в виде чистого запаздывания на устойчивость и качество САУ при определенных соотношениях параметров блоков системы может быть весьма существенным, и это влияние необходимо учитывать при выборе настроечных коэффициентов регулятора системы управления. Использование автоматической настройки параметров регулятора в программной среде Simulink с PID Controller при компьютерном моделировании [4] ускоряет нахождение удовлетворительных показателей системы управления.

Список литературы / References

1. Муромцев Ю.Л.. Основы автоматики и системы автоматического управления. Учебное пособие. Тамбов: Изд-во ТГТУ, 2008. Ч. 1. 96 с.
2. Диллигенская А.Н. Идентификация объектов управления. Учеб. пособие. Самара. СамГТУ, 2009. 136 с.
3. Филиппов А.В. «Анализ качества следящей системы с ПИД - регулятором», Микроэлектроника и информатика–2015. 22-я Всероссийская научно-техническая конференция студентов и аспирантов: Тезисы докладов. М.: МИЭТ, 2015. 380 с. С. 249 с.
4. Щербаков В.С., Глушец В.А., Рунпель А.А. Основы моделирования систем автоматического регулирования и электротехнических систем в среде MATLAB и Simulink. Учебное пособие. Омск: Изд-во СибаДИ, 2003. 160 с.