



федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
**«Национальный исследовательский университет «МЭИ»**

---

Институт информационных и вычислительных технологий  
Кафедра управления и интеллектуальных технологий

Отчёт по лабораторной работе №1  
По дисциплине «Теория автоматического управления,  
часть 2»  
**«Исследование линейных импульсных систем автоматического  
управления»**

Выполнили студенты: Михайловский М., Томчук В.

Группа: А-03-21

Бригада: 1

Проверила: Сидорова Е. Ю.

Москва 2024

# Содержание

<b>1</b>	<b>Нахождение дискретной передаточной функции</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Влияние квантования <math>T</math> на свойства ИСАУ</b>	<b>4</b>
2.1	Динамические свойства . . . . .	4
2.2	Ошибка регулирования . . . . .	6
2.3	Область устойчивости . . . . .	7
<b>3</b>	<b>Выводы</b>	<b>9</b>

# 1 Нахождение дискретной передаточной функции

Рассматривается импульсная схема автоматического управления (ИСАУ), со следующей структурной схемой (рис. 1.1).

Для заданной формы импульса на выходе формирователя импульсов необходимо найти дискретную передаточную функцию формирователя. На вход этого элемента подаётся последовательность дельта-функций:

$$x^*(t) = x(t) \sum_{l=0}^{\infty} \delta(t - lT).$$

Переходной процесс при подаче дельта-функции (то есть весовая характеристика этого звена) имеет вид представленный на рис. 1.2.

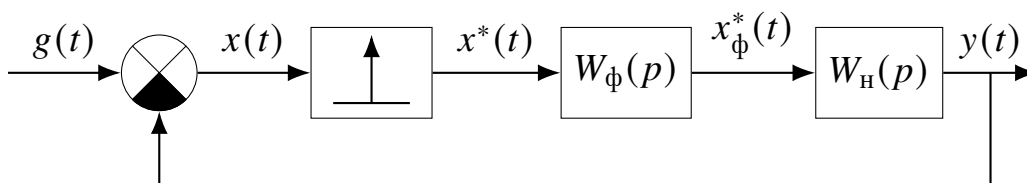


Рис. 1.1. Структурная схема импульсной системы автоматического управления

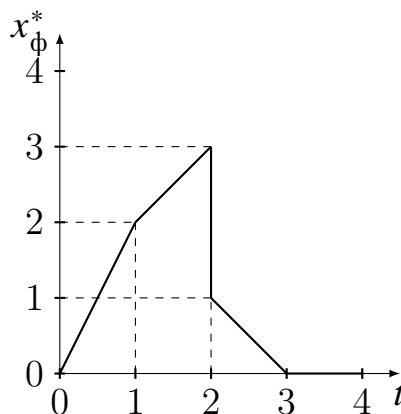


Рис. 1.2. Весовая характеристика формирователя импульсов

Этот сигнал можно представить в следующем виде (1):

$$\begin{aligned} w_{\phi}(t) &= 2t \cdot 1_0(t) - (t-1) \cdot 1_0(t-1) - (2t-2) \cdot 1_0(t-2) + (t-3) \cdot 1_0(t-3) = \\ &= 2t \cdot 1_0(t) - (t-1) \cdot 1_0(t-1) - [2(t-2) + 2] \cdot 1_0(t-2) + (t-3) \cdot 1_0(t-3) \end{aligned} \quad (1)$$

Тогда передаточная функция формирователя примет следующий вид:

$$W_{\phi}(p) = \mathcal{L}[w_{\phi}(t)] = \frac{2}{p^2} - \frac{1}{p}e^{-pT} - \left(\frac{2}{p^2} + \frac{2}{p}\right)e^{-2pT} + \frac{1}{p^2}e^{-3pT} \quad (2)$$

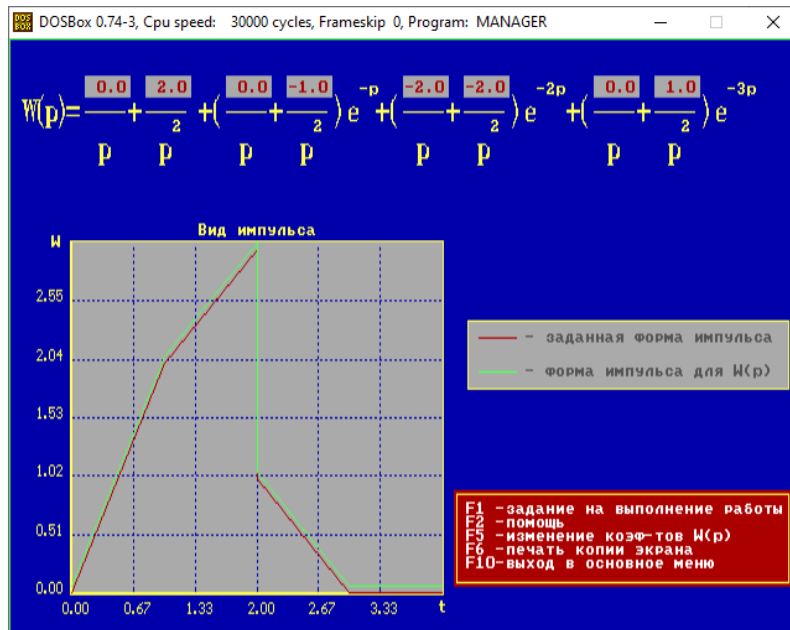


Рис. 1.3. Проверка полученной передаточной функции формирователя в программе

Именно такой результат был получен в ходе лабораторной работы и проверен в программе, рис. 1.3.

## 2 Влияние квантования $T$ на свойства ИСАУ

Мы будем исследовать поведение ИСАУ со следующей непрерывной частью:

$$W_{\text{нч}}(p) = \frac{0,2(1 + 2p)}{p(1 + p)(1 + 3p)^2} = \frac{0,4p + 0,2}{9p^4 + 15p^3 + 7p^2 + p} \quad (3)$$

Передаточная функция формирователя имеет вид (4). Таким образом, последовательность дельта-функций, поступающих с идеального импульсного элемента, модулируются в последовательность прямоугольных импульсов с длительностью равной периоду квантования  $T$ .

$$W_{\Phi}(p) = \frac{1 - e^{-pT}}{p} \quad (4)$$

### 2.1 Динамические свойства

Для исследования влияния периода квантования на показатели качества была собрана следующая схема для моделирования в среде Simintech: рис. 2.1

Период квантования изменялся в пределах от  $T = 0.01$  с до  $T = 0.5$  с. На рис. 2.2, 2.3 представлены переходные процессы для этих значений периода кван-

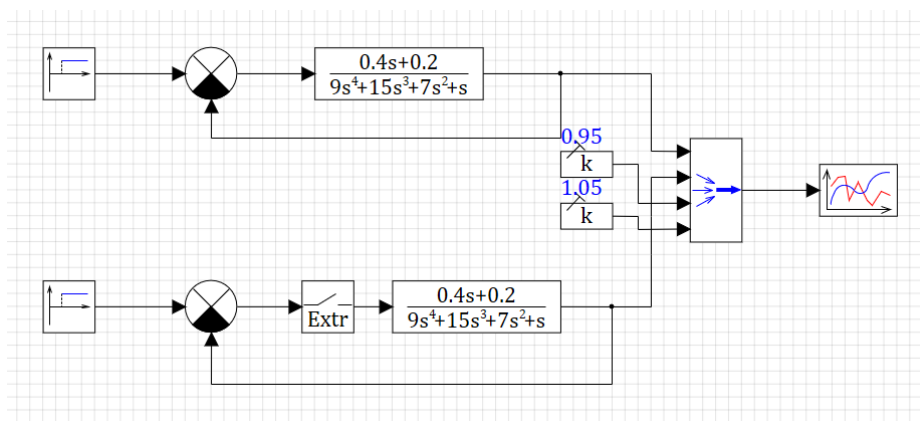


Рис. 2.1. Схема для исследования влияния квантования на показатели качества ИСАУ

тования. Для меньшего периода визуальных различий в процессах не видно, но для  $T = 0.5$  отличие от процесса в непрерывной системе заметно.

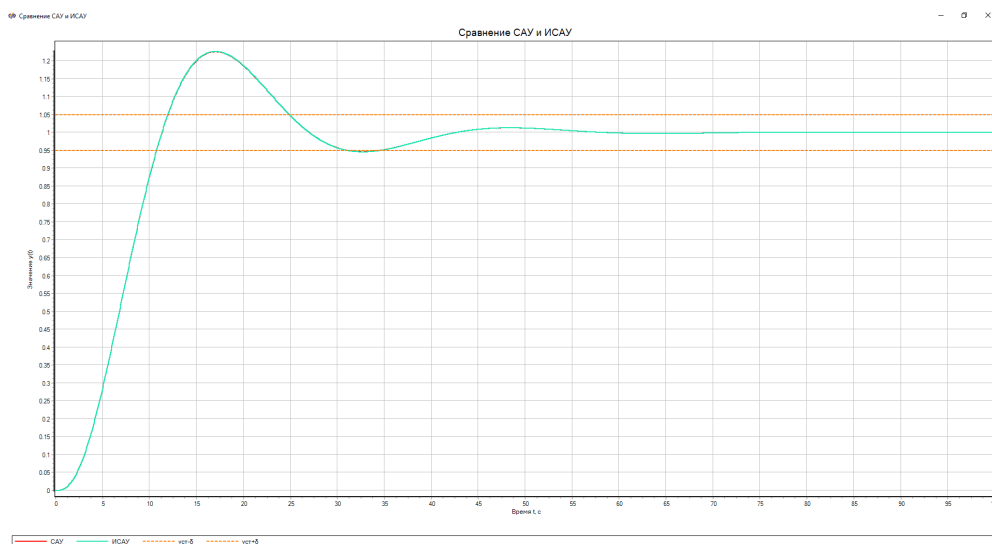
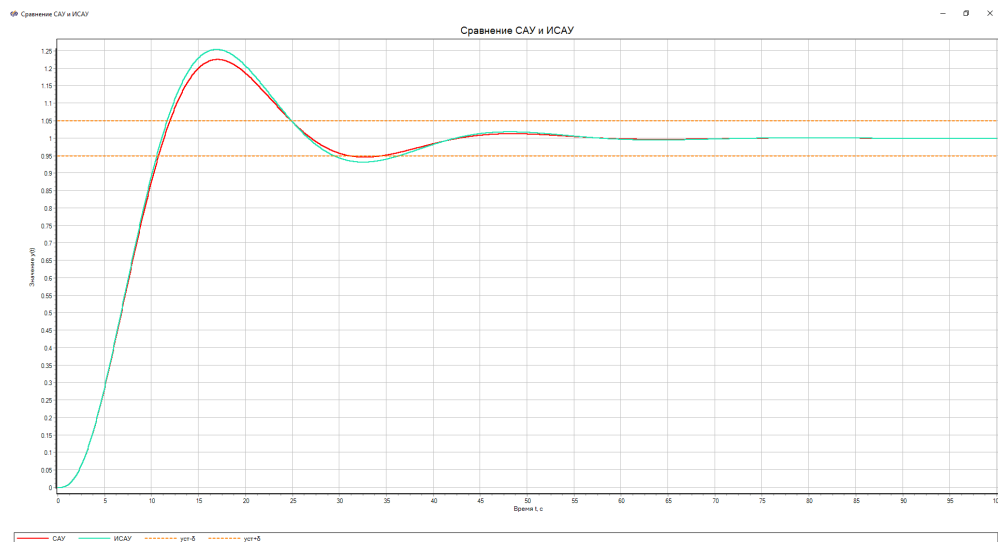


Рис. 2.2. Переходной процесс САУ и ИСАУ при  $T = 0.01$  с

Итоговые значения времени регулирования и перерегулирования, которые были получены в результате моделирования, приведены в табл. 1.

Как видно, чем выше период квантования  $T$ , тем менее хорошие динамические свойства имеет импульсная система, а именно процесс имеет более колебательный характер и дольше приходит к установившемуся режиму.

Для малых периодов квантования процессы в САУ и ИСАУ протекают практически одинаково, и в предельном случае при  $T \rightarrow 0$  эти процессы будут совпадать.

Рис. 2.3. Переходной процесс САУ и ИСАУ при  $T = 0.5$  с

Время квантования $T$ , с	Время регулирования $\tau$ , с		Перерегулирование $\sigma$ , %	
	ИСАУ	Отличие от САУ	ИСАУ	Отличие от САУ
-				
0.01	34.65	0.05	18.43	0
0.05	34.85	0.25	18.57	0.14
0.1	35.06	0.46	18.77	0.34
0.25	35.65	1.05	19.35	0.92
0.5	36.38	1.78	20.26	1.83

Таблица 1. Влияние периода квантования на время регулирования и перерегулирование

## 2.2 Ошибка регулирования

Как мы видели по характеру переходных процессов – процессы в ИСАУ имели очень схожий характер с аналогичной непрерывной системой. Поэтому можно предположить, что ошибка регулирования в такой системе будет той же, что и в САУ.

Для САУ как известно статическая ошибка будет равна нулю, поскольку система содержит интегратор, то есть является астатической.

Кинетическая ошибка для САУ имеет следующий вид, где  $k$  – добротность системы.:

$$\begin{aligned}
 \Delta_{\text{кин}} &= \lim_{t \rightarrow \infty} \delta(t) \Big|_{g(t)=t \cdot 1_0(t)} = \lim_{p \rightarrow 0} p W_{\delta}(p) \cdot \frac{1}{p^2} = \\
 &= \lim_{p \rightarrow 0} \frac{1}{p} \cdot \frac{1}{1 + \frac{B(p)}{pA(p)}} = \lim_{p \rightarrow 0} \frac{A(p)}{pA(p) + B(p)} = \frac{1}{k} \quad (5)
 \end{aligned}$$

В исследуемой системе имеем  $\Delta_{\text{кин}} = \frac{1}{0,2} = 5$ . Проверим это с помощью

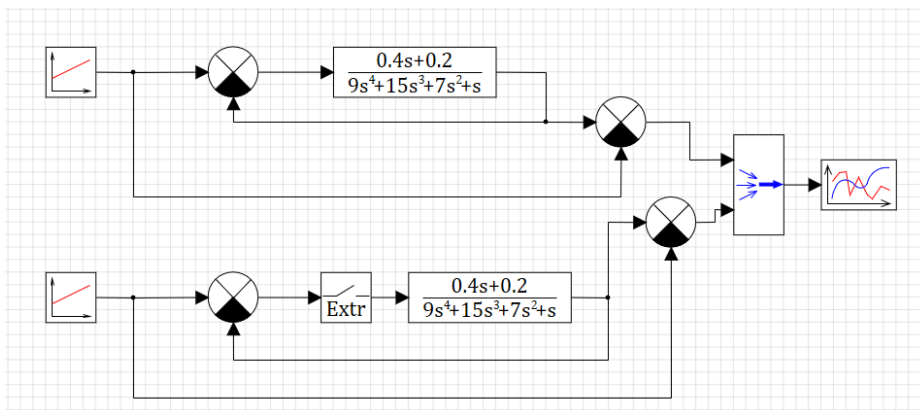
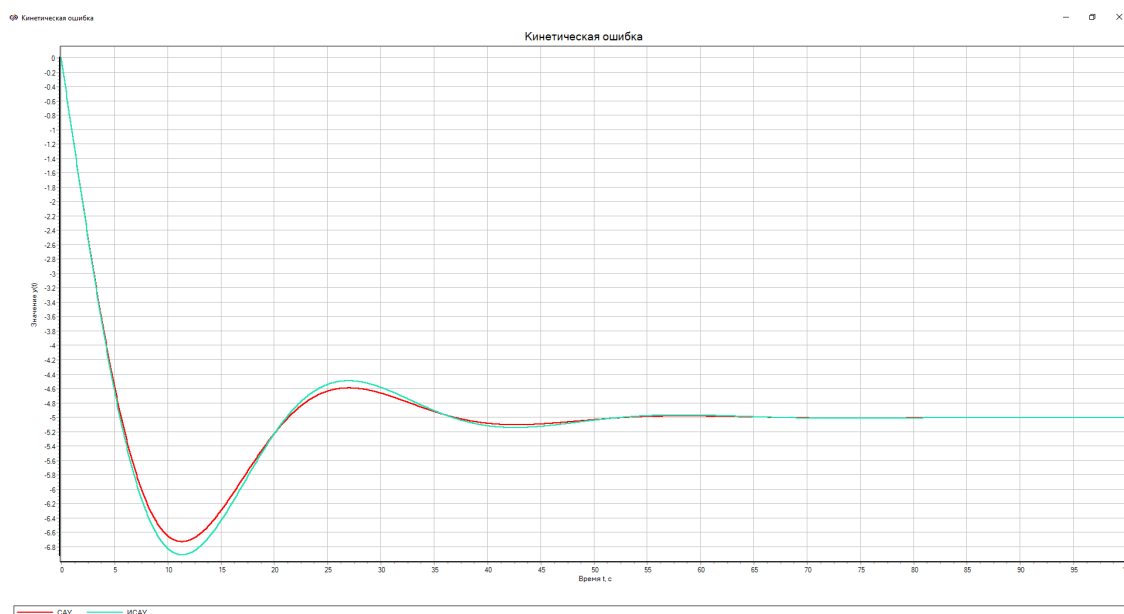


Рис. 2.4. Схема для моделирования ошибки регулирования

Рис. 2.5. Переходной процесс ошибки регулирования для САУ и ИСАУ с  $T = 0,5$  с

моделирования для системы с периодом квантования  $T = 0,5$  с. Схема для моделирования приведена на рис. 2.4. Переходной процесс ошибки регулирования приведен на рис. 2.5.

Как видим, установившееся значение ошибки совпадает для непрерывной и импульсной систем, и равняется 5.

Можем сделать вывод, что если устойчивость импульсной системы при данном периоде квантования сохраняется, то ошибка регулирования будет иметь то же значение, что и в соответствующей непрерывной системе.

## 2.3 Область устойчивости

Исследуем влияние на границу устойчивости системы по добротности  $k$  для разных значений постоянной времени  $T_1$ , которая стоит в числителе передаточной

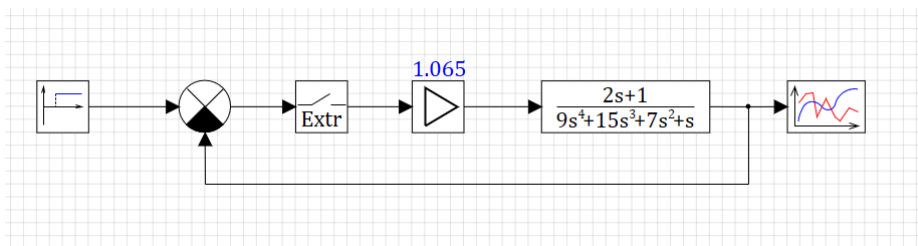


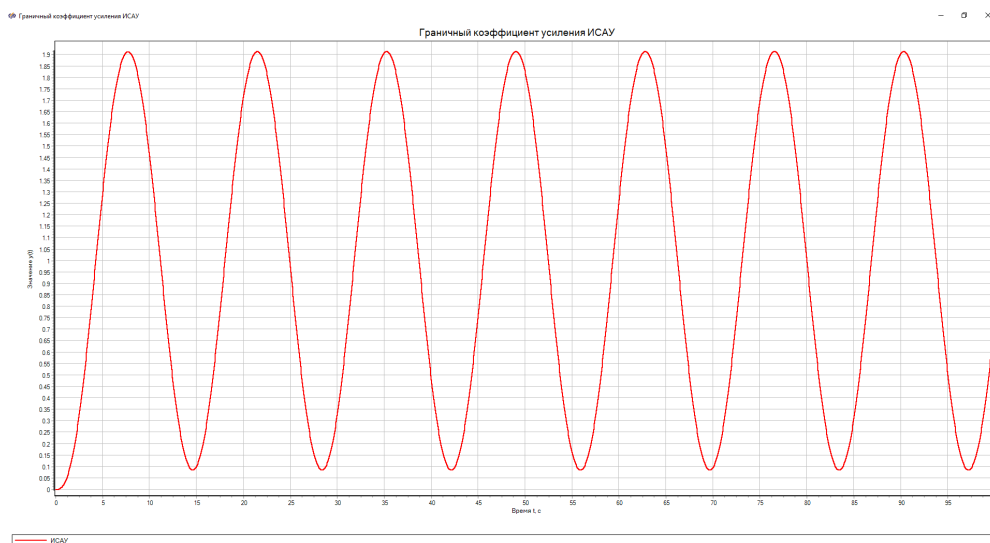
Рис. 2.6. Схема для поиска границы устойчивости

$T_1, \text{с}$	Предельная добротность $k_{\text{пр}}$					
	САУ	ИСАУ $T = 0.01$	ИСАУ $T = 0.05$	ИСАУ $T = 0.1$	ИСАУ $T = 0.25$	ИСАУ $T = 0.5$
1	0,665	0,664	0,655	0,644	0,616	0,573
2	1,07	1,065	1,042	1,014	0,943	0,845
3	1,33	1,323	1,290	1,25	1,145	1,008

Таблица 2. Предельные значения добротности для разных параметров ИСАУ

функции непрерывной части и периода квантования  $T$ .

Для этого соберём схему, приведенную на рис. 2.6 и будем искать значение  $k = k_{\text{пр}}$  при котором наблюдаются незатухающие колебания следующего вида: рис. 2.7.

Рис. 2.7. Незатухающий переходной процесс для системы с  $T_1 = 2 \text{ с}$  и  $T = 0,01 \text{ с}$ 

В результате ряда экспериментов были получены данные, которые представлены в табл. 2. Как видно из таблицы, по сравнению с непрерывной системой, предельное значение добротности уменьшилось максимально на 24%, что значительно.

Границы устойчивости для разных периодов квантования представлены на рис. 2.8. Здесь хорошо видно, что большие значения квантования уменьшают область устойчивости системы.



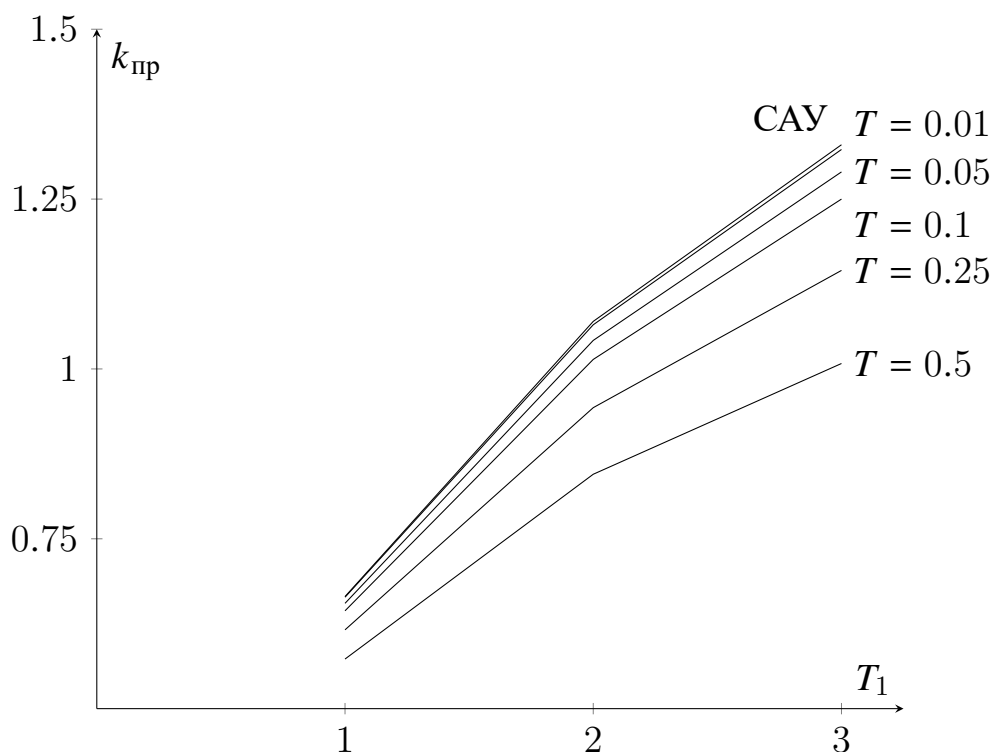


Рис. 2.8. Границы устойчивости для разных периодов квантования

### 3 Выводы

Было исследовано влияние введения дискретизации по времени в непрерывных системах. Для малых периодов квантования отличие между ИСАУ и САУ практически не наблюдалось. С увеличением периода квантования динамические свойства и запас по устойчивости ухудшались.

Если сравнивать непрерывные и импульсные системы в установившемся режиме, то при условии, что устойчивость при введении дискретизации не нарушается – установившийся режим в системах совпадает. А следовательно и совпадают показатели ошибки регулирования.