

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ имени академика С.П. КОРОЛЕВА»  
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)

**СОВРЕМЕННАЯ ТЕОРИЯ УПРАВЛЕНИЯ И СИСТЕМЫ  
ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА**

**ЭЛЕКТРОННЫЙ ВАРИАНТ ПРИМЕРОВ ВЫПОЛНЕНИЯ И  
ОФОРМЛЕНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ**

САМАРА  
2010

УДК 629.7.017.1 (075)

Составители: Ольга Леонардовна Старинова, Евгений Иванович Давыдов, Александр Степанович Кучеров

Электронный вариант примеров выполнения лабораторных работ предназначен для студентов, обучающихся в рамках магистерской программы «Проектирование и конструирование космических мониторинговых и транспортных систем» по направлению 160400.68 «Ракетные комплексы и космонавтика».

Разработано на кафедре летательных аппаратов СГАУ.

**Федеральное агентство по образованию  
Государственное образовательное учреждение высшего  
профессионального образования**

**«Самарский Государственный аэрокосмический университет имени  
академика С. П. Королёва (национальный исследовательский  
университет)»  
СГАУ**

**Кафедра летательных аппаратов**

**Расчетно – графическая работа  
по курсу "Теория управления в  
организационно–технических системах"**

Выполнил студент группы 1308

Науменко А.В.

Принял Доцент Давыдов Е.И.

\_\_\_\_\_  
(Подпись преподавателя)

" \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 2010г.

Самара 2010

**Содержание**  
**расчетно – графической работы**  
**по курсу "Теория управления в ОТС"**

1. Тема работы.
2. Цель работы.
3. Структурная схема автоматической системы с численными значениями коэффициентов.
4. Преобразование исходной схемы к одноконтурной и определение передаточной функции разомкнутой и замкнутой системы.
5. Нахождение характеристического полинома замкнутой системы.
6. Определение устойчивости системы по:
  - алгебраическому критерию устойчивости Гурвица;
  - частотному критерию устойчивости Михайлова.
7. Используя возможности вычислительной среды SIAM, привести графики переходных функций исходной и скорректированной систем, соответствующих различным коэффициентам усиления разомкнутой системы. Оценить влияние коэффициента усиления разомкнутой системы на устойчивость.
8. Графики логарифмических частотных характеристик (ЛЧХ) (амплитудной ЛЧХ и фазовой ЛЧХ) исходной и скорректированной систем. Определить запас устойчивости по фазе на ЛЧХ.
9. Провести оценку качества процессов управления и коррекции САУ в соответствии с методическими указаниями к лабораторной работе №3.
10. Провести анализ нелинейной системы автоматического управления в соответствии с методическими указаниями №3.
11. Выводы по проделанной работе.

Пример оформления титульного листа расчетно – графической работы представлен в приложении.

Типовые звенья и их соединения. Характеристики автоматических систем.

Анализ устойчивости.

Цель работы: изучить динамические характеристики типовых звеньев и их соединений, а также методы их расчётов. Провести оценку устойчивости САУ.

1. Структурная схема автоматической системы с численными значениями коэффициентов изображена на рисунке 1.

$$k_1=1,6; k_3=1; k_4=1,8; k_5=2,3; T_2=0,15; T_4=0,07; T_5=0,6; C_5=0,35.$$

$$W_1(p)=k_1=1,6;$$

$$W_2(p)=T_2*p=0,15*p;$$

$$W_3(p)=k_3=1;$$

$$W_4(p)=k_4/(T_4*p+1)=1,8/(0,07*p+1);$$

$$W_5(p)=k_5/(T_5^2*p^2+2*T_5*C_5*p+1)=2,3/(0,36*p^2+0,42*p+1).$$

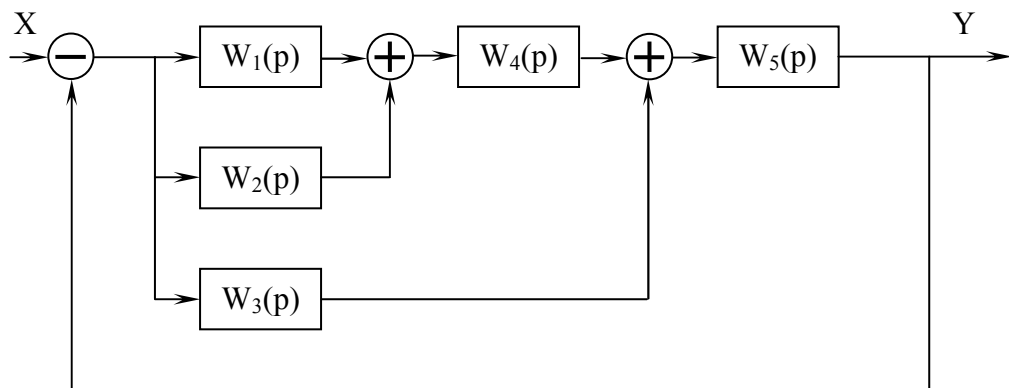


Рисунок 1 – Структурная схема САУ

2. Преобразуем исходную схему к одноконтурной и определим передаточную функцию разомкнутой и замкнутой систем:

$$W_6=W_{1-2}=W_1+W_2=k_1+T_2*p,$$

$$W_6=1,6+0,15*p,$$

$$W_7=W_{1-4}=W_6*W_4=(k_1+T_2*p)\left(\frac{k_4}{T_4*p+1}\right)=\frac{k_4(k_1+T_2*p)}{T_4*p+1},$$

$$W_7=\frac{1,8(1,6+0,15*p)}{0,07*p+1},$$

$$W_8=W_7*W_3,$$

$$W_8=W_7,$$

$$W_5 = \frac{k_5}{T_5^2 * p^2 + 2 * T_5 * c_5 + 1},$$

$$W_5 = \frac{2,3}{0,36 * p^2 + 0,42 * p + 1}.$$

Структурная схема преобразованной САУ изображена на рисунке 2.

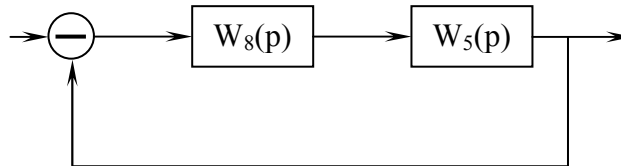


Рисунок 2 – Структурная схема преобразованной САУ

$$W_{\text{раз}}(p) = W_8(p) * W_5(p) = \frac{6,624 + 0,621 * p}{0,025 * p^3 + 0,389 * p^2 + 0,49 * p + 1},$$

$$W_{\text{зам}} = 1 + W_{\text{раз}} = \frac{6,624 + 0,621 * p}{0,025 * p^3 + 0,389 * p^2 + 1,111 * p + 7,624}.$$

3. Характеристический полином замкнутой цепи:

$$0,025 * p^3 + 0,389 * p^2 + 1,111 * p + 7,624 = 0.$$

4. Определим устойчивость по критерию Гурвица:

$$\begin{vmatrix} 0,389 & 7,624 & 0 \\ 0,025 & 1,111 & 0 \\ 0 & 0,389 & 7,624 \end{vmatrix}$$

$$\Delta_1 = 1,111 > 0,$$

$$\Delta_2 = \begin{vmatrix} 0,389 & 7,624 \\ 0,025 & 1,111 \end{vmatrix} = 0,432 - 0,191 = 0,241 > 0,$$

$$\Delta_3 = 7,624 \begin{vmatrix} 0,389 & 7,624 \\ 0,025 & 1,111 \end{vmatrix} = 1,837 > 0,$$

$$a_0 > 0, a_1 > 0, a_2 > 0, a_3 > 0.$$

Данная система является устойчивой по критерию Гурвица.

5. Определим устойчивость системы по критерию Михайлова:

Характеристическое уравнение замкнутой системы имеет вид:

$$a_0 p^3 + a_1 p^2 + a_2 p + a_3 = 0.$$

Произведем замену  $p = j\omega$  и выделим вещественную и мнимую части:

$$-a_0 j \omega^3 - a_1 \omega^2 + a_2 j \omega + a_3 = 0,$$

$$P(\omega) = -a_1 \omega^2 + a_3,$$

$$P(\omega) = -0,389 \omega^2 + 7,624,$$

$$Q(\omega) = -a_0 \omega^3 + a_2 \omega,$$

$$Q(\omega) = -0,025\omega^3 + 1,111\omega.$$

|             |       |   |       |      |       |        |        |           |
|-------------|-------|---|-------|------|-------|--------|--------|-----------|
| $\omega$    | 0     | 2 | 4     | 5    | 6     | 7      | 8      | $\infty$  |
| $P(\omega)$ | 7,624 | 6 | 1,4   | -2,1 | -6,38 | -11,44 | -17,27 | $-\infty$ |
| $Q(\omega)$ | 0     | 2 | 2,844 | 2,43 | 1,266 | -0,8   | -3,912 | $-\infty$ |

Таблица 1 – параметры кривой Михайлова

График кривой Михайлова изображен на рисунке 3.

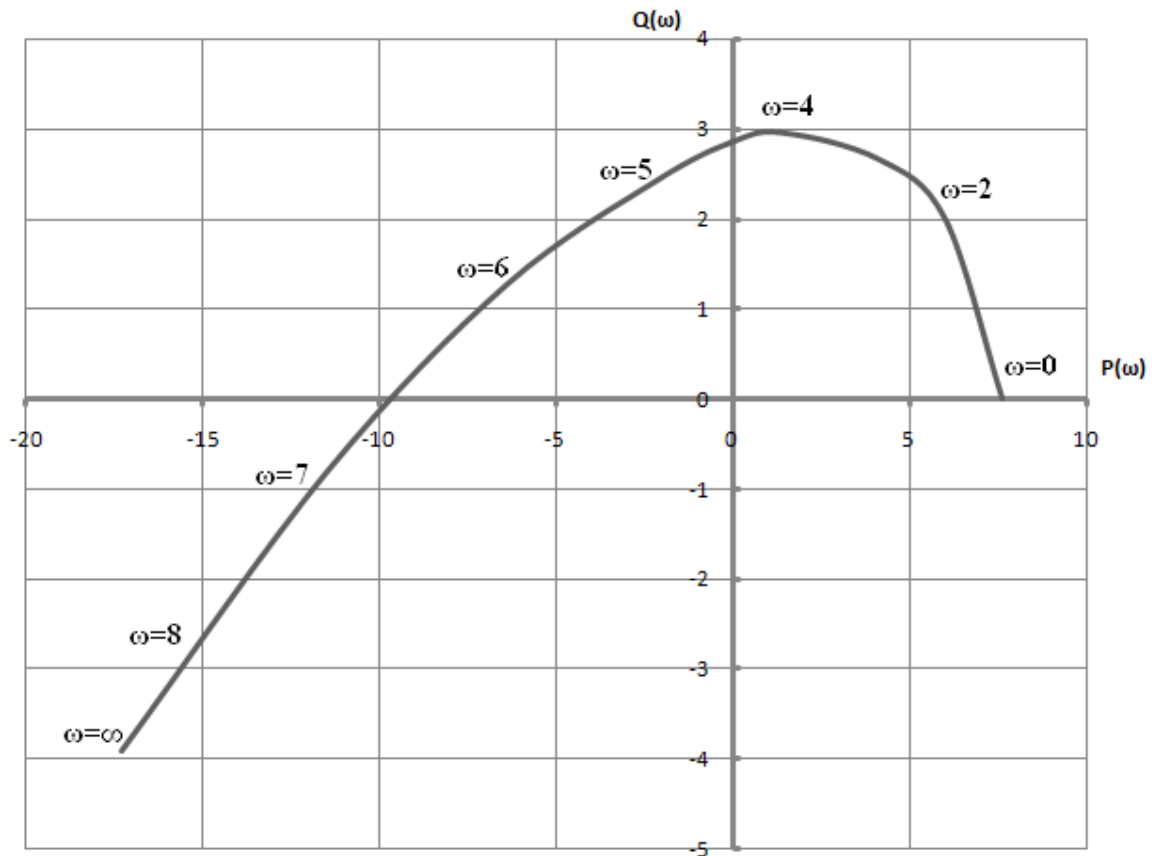


Рисунок 3 – Кривая Михайлова

При изменении  $\omega$  от 0 до  $\infty$  кривая Михайлова обходит последовательно три квадранта. Следовательно, по правилу Михайлова исследуемая система устойчива.

6. Графики переходных функций исходной и скорректированной системы, соответствующие различным коэффициентам усиления разомкнутой системы.

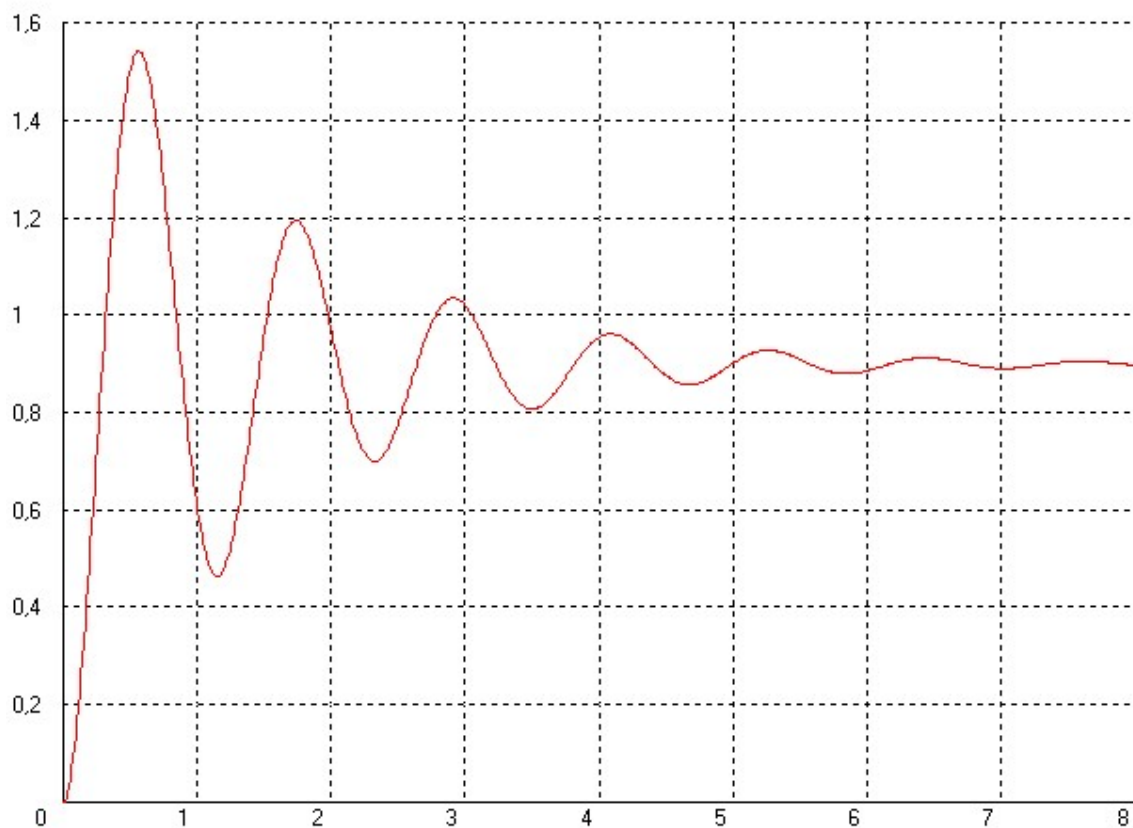


Рисунок 4 – График переходного процесса с коэффициентом усиления  $k=8,924$

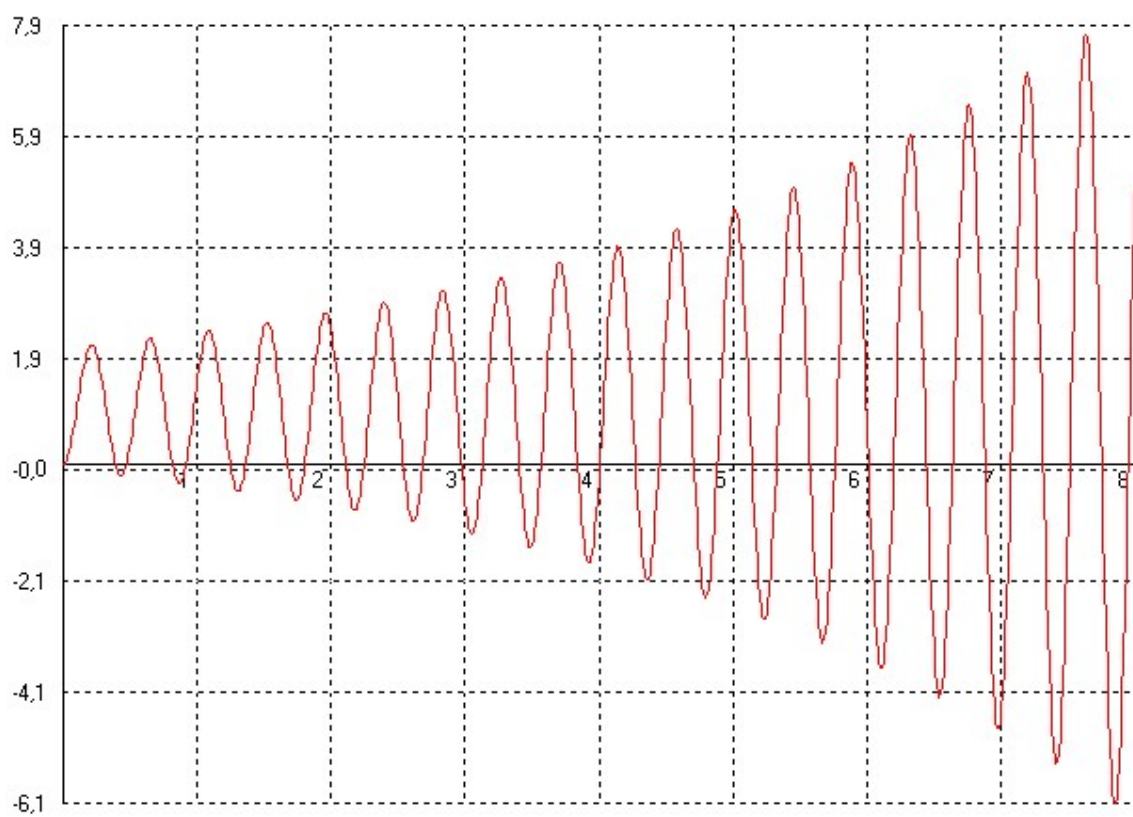


Рисунок 5 – График переходного процесса с коэффициентом усиления  $k=60$



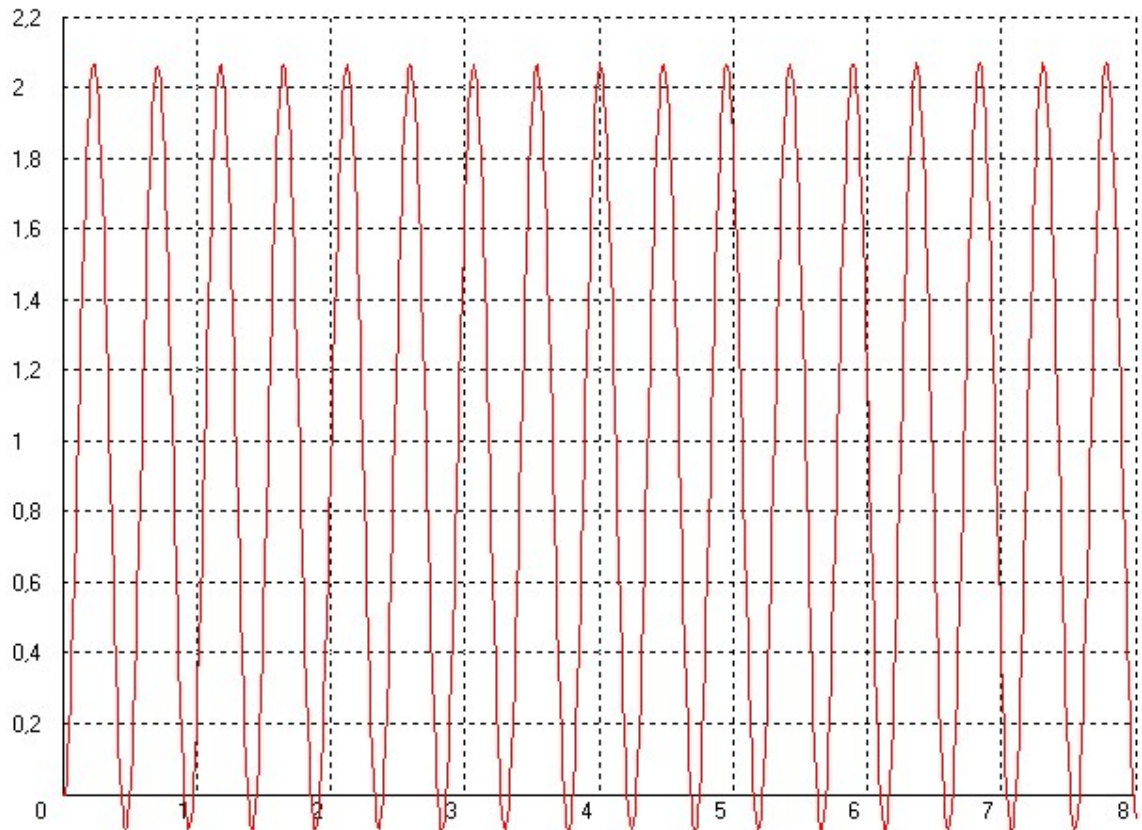


Рисунок 6 – График переходного процесса с коэффициентом усиления  $k=51,656$

Исходная САУ является устойчивой. При изменении коэффициента усиления  $k=60$  система становится неустойчивой, а при  $k=51,656$  она находится на границе устойчивости.

8. Графики логарифмических частотных характеристик (ЛЧХ) исходной и скорректированной систем. Запас устойчивости по фазе.

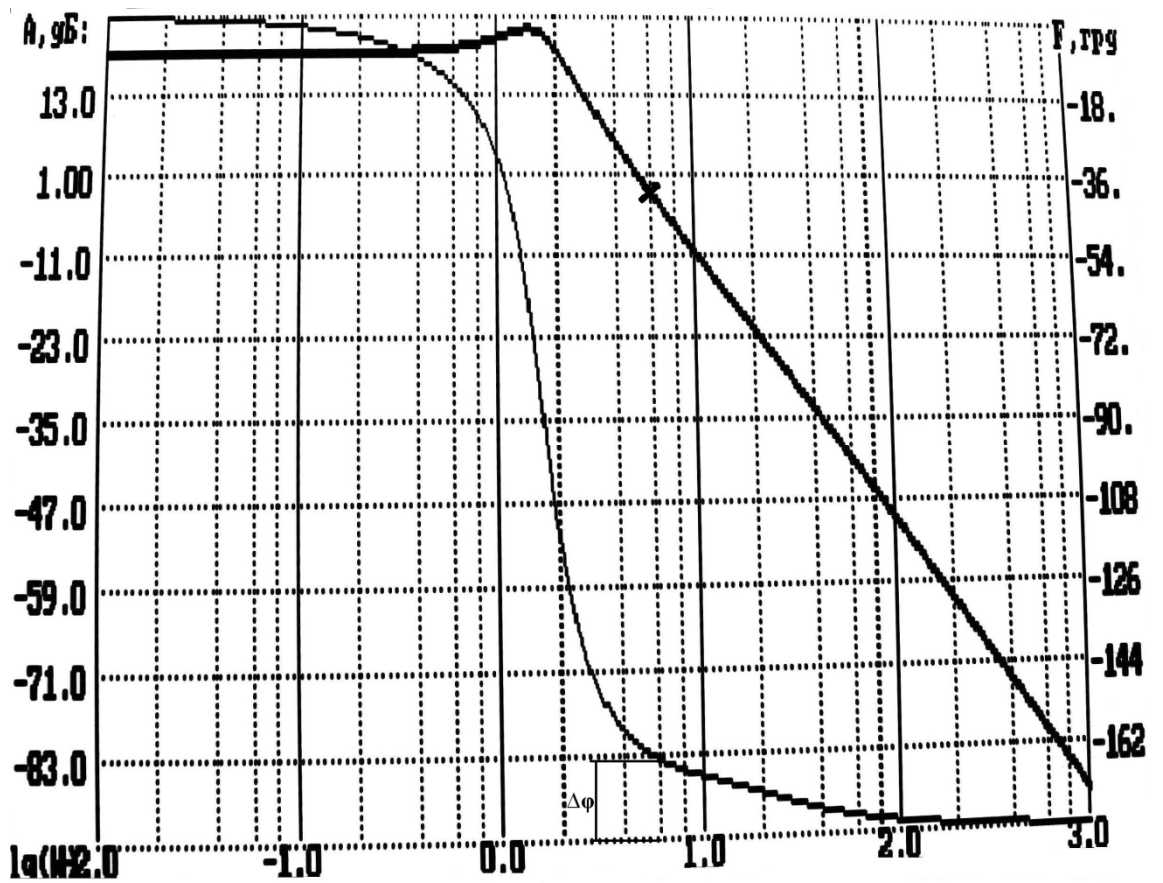


Рисунок 7 – ЛЧХ САУ с коэффициентом усиления  $k=8,924$

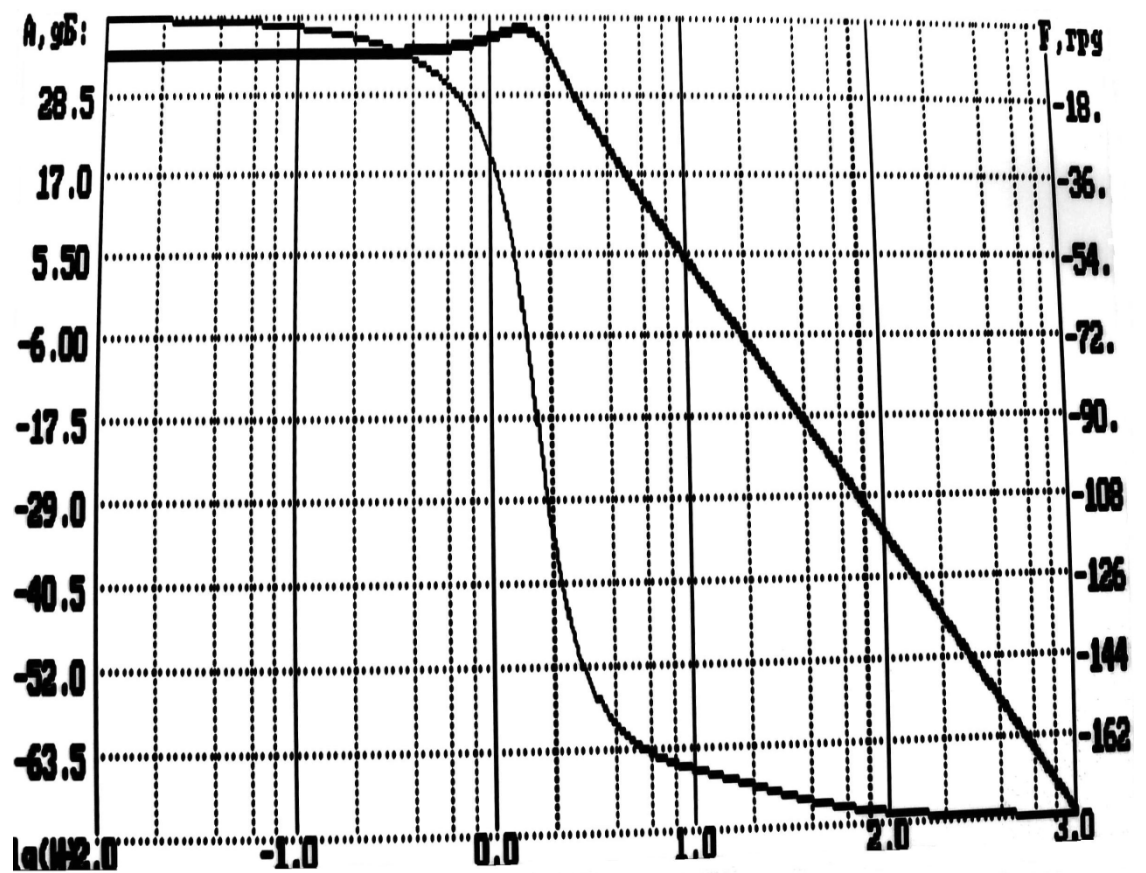


Рисунок 7 – ЛЧХ САУ с коэффициентом усиления  $k=51,656$

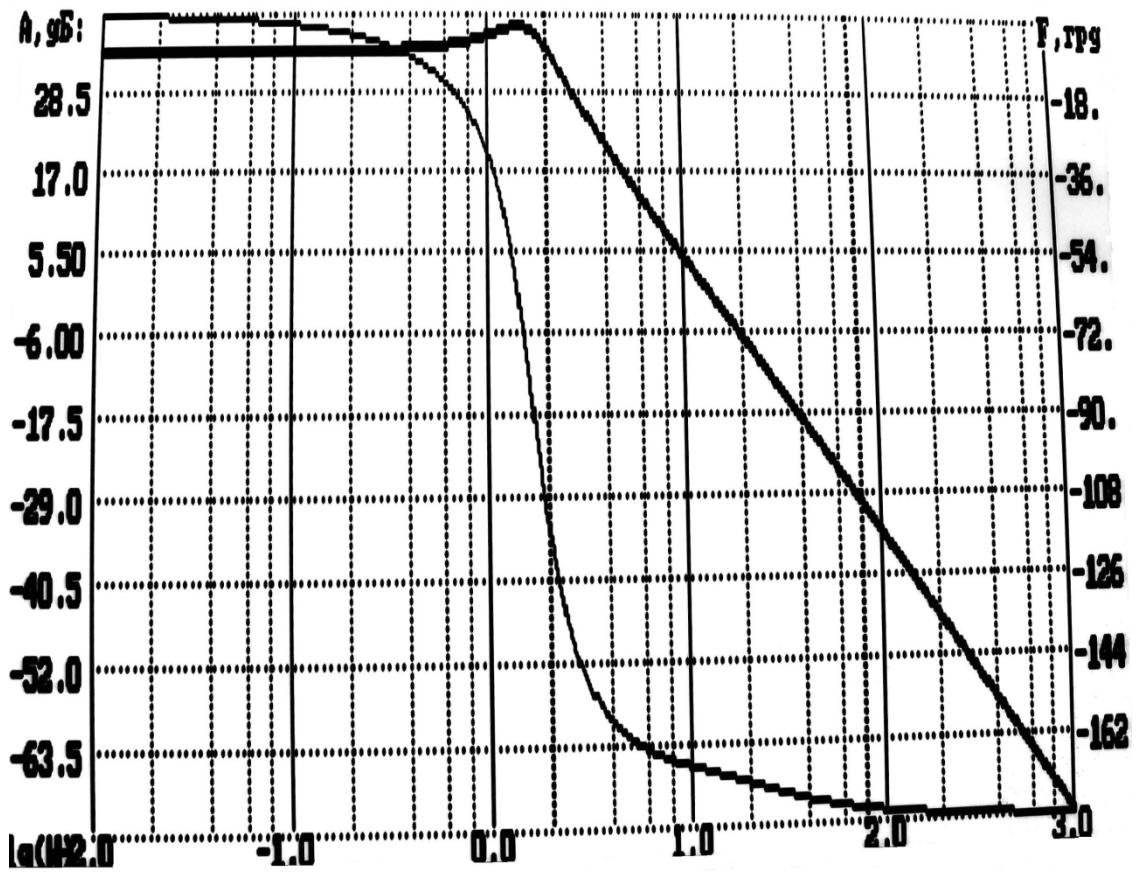


Рисунок 7 – ЛЧХ САУ с коэффициентом усиления  $k=60$

9. Оценка качества процессов управления и коррекции САУ.

Структурная схема САУ с численными значениями коэффициентов изображена на рисунке 1.

Структура преобразованной схемы показана на рисунке 2.

График переходного процесса заданной САУ представлен на рисунке 10.

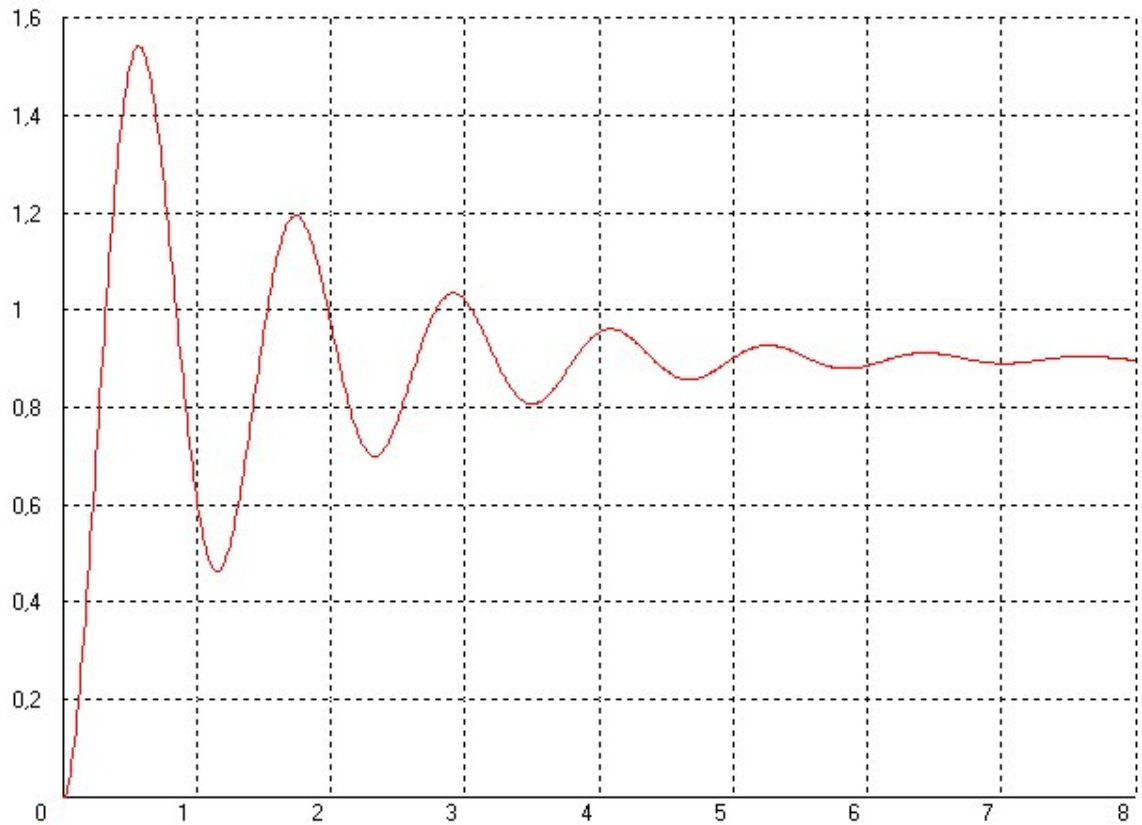


Рисунок 10 – График переходного процесса САУ

$$t_{\text{пер}}=8 \text{ с,}$$

$$\sigma = \frac{U_{\text{max}} - U_{\text{уст}}}{U_{\text{уст}}} = \frac{1,55 - 0,9}{0,9} * 100\% = 72\%,$$

$$\Delta = \quad = \quad * 100\% = 10\%.$$

В схему, приведенную на рисунке 1, введем корректирующий элемент с параметрами. Скорректированная схема изображена на рисунке 11.

$$k_{\text{ск}}=1,5,$$

$$T_{1\text{ск}}=0,5 \text{ с,}$$

$$T_{2\text{ск}}=0,01 \text{ с.}$$

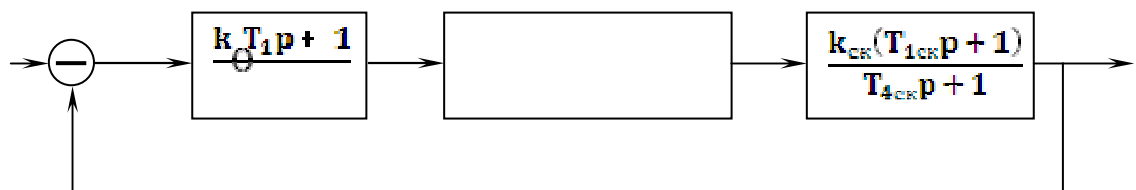


Рисунок 11 – Структурная схема скорректированной САУ

График переходного процесса скорректированной САУ приведен на рисунке 12

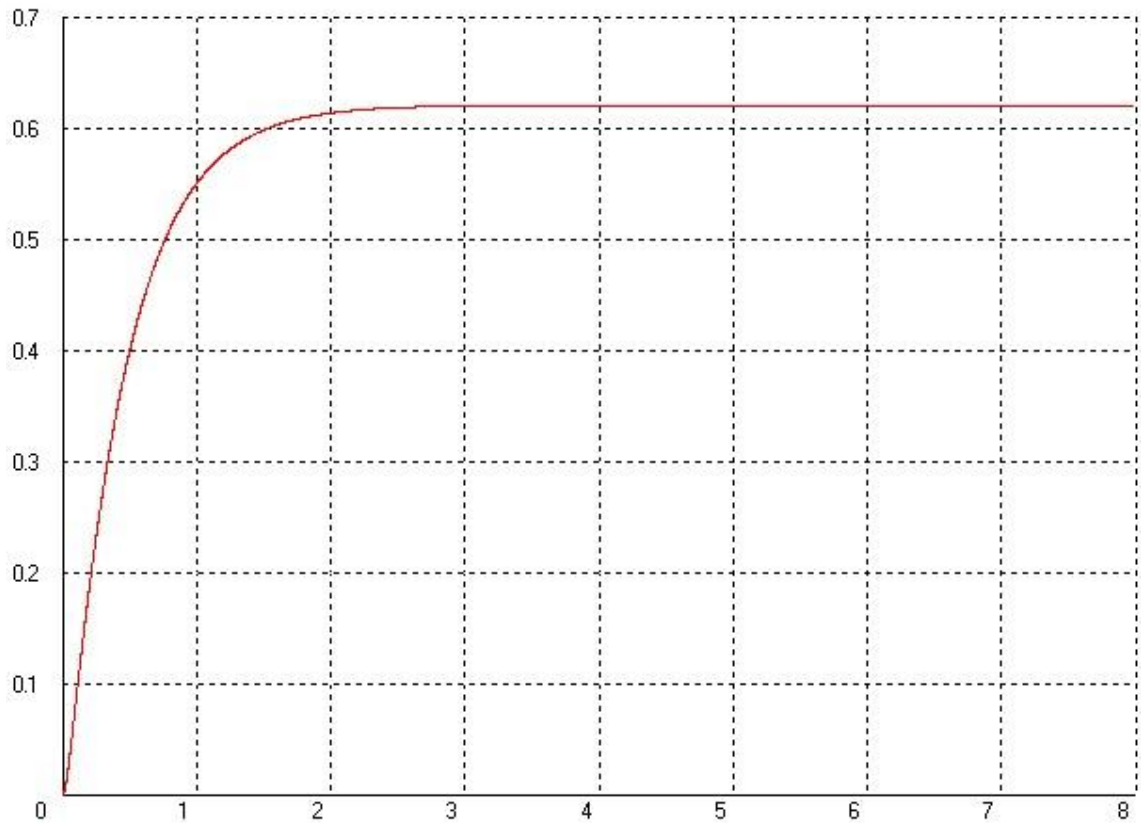


Рисунок 12 – График переходного процесса скорректированной САУ

$t_{пер}=3$  с.

В схему, приведенную на рисунке 13, введем статическое звено с коэффициентом  $k_{oc}$ . Подбирая коэффициент усиления, исследуем влияние корректирующего элемента в обратной связи на устойчивость системы. Графики зависимости переходного процесса САУ от корректирующего элемента приведены на рисунках 4, 14, 15, 16.

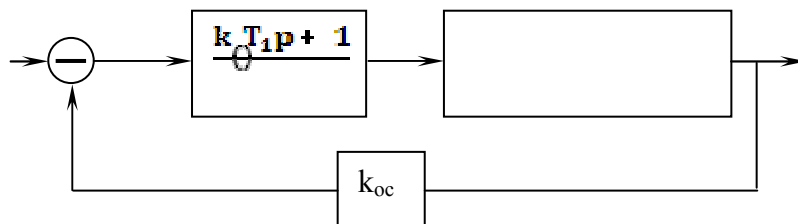


Рисунок 13 – Схема с обратной связью

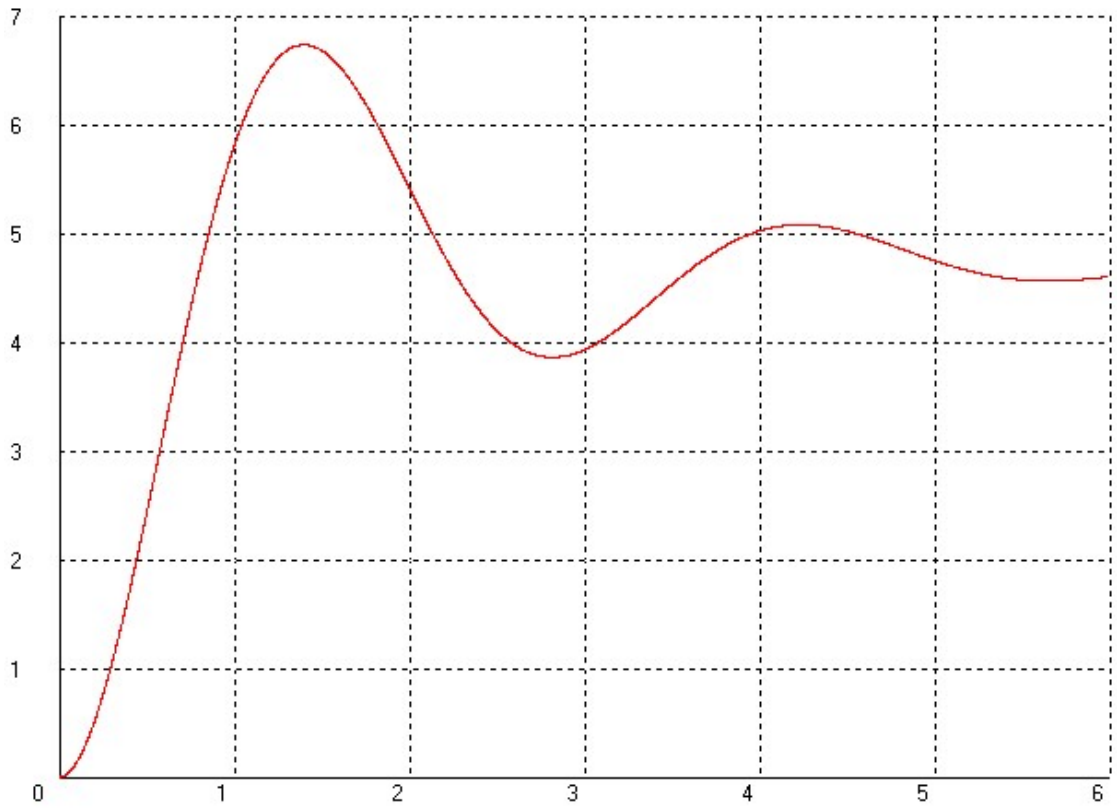


Рисунок 14 – График переходного процесса скорректированной САУ с коэффициентом усиления  $k_{oc}=0,1$



Рисунок 15 – График переходного процесса скорректированной САУ с коэффициентом усиления  $k_{oc}=42,35$

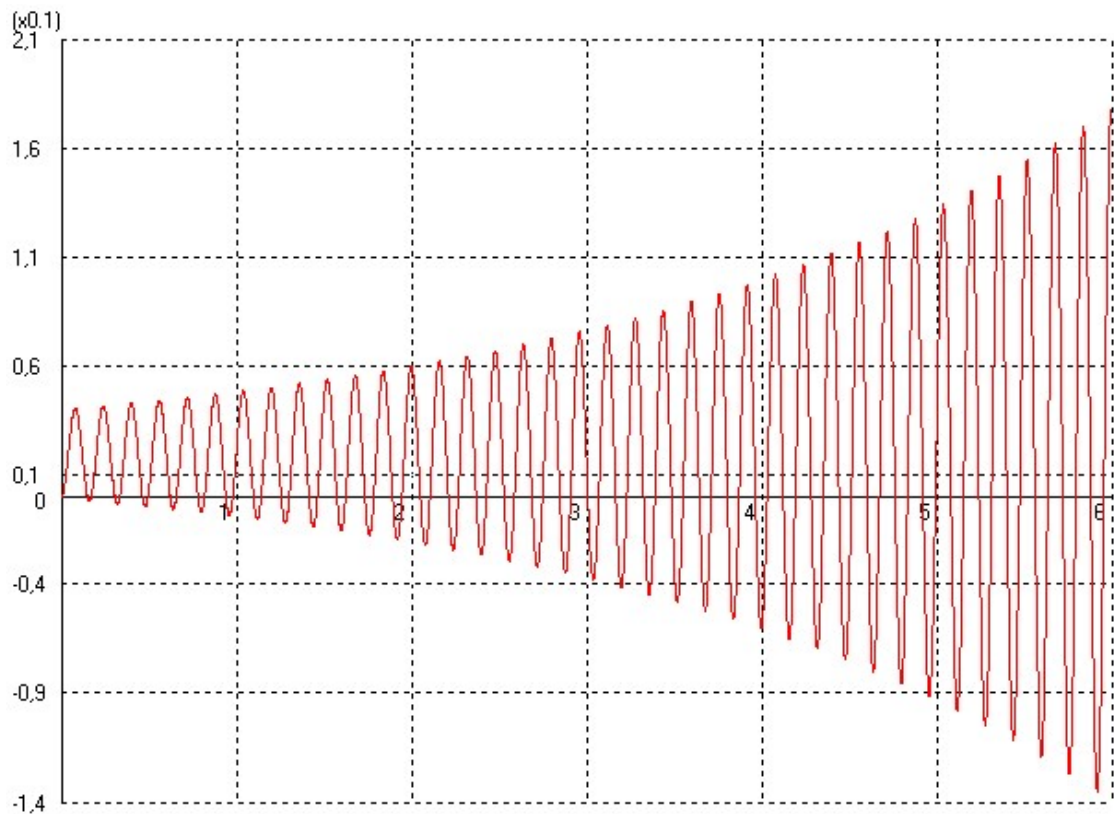


Рисунок 16 – График переходного процесса скорректированной САУ с коэффициентом усиления  $k_{oc}=50$

Исходная САУ является устойчивой. При изменении коэффициента усиления  $k_{oc}=50$  система становится неустойчивой, при  $k_{oc}=0,1$  система устойчива, а при  $k_{oc}=42,35$  она находится на границе устойчивости.

#### 10 Анализ нелинейной системы автоматического управления.

Используя возможности вычислительной среды SIAM, наберем структурные схемы показанные на рисунке 17.

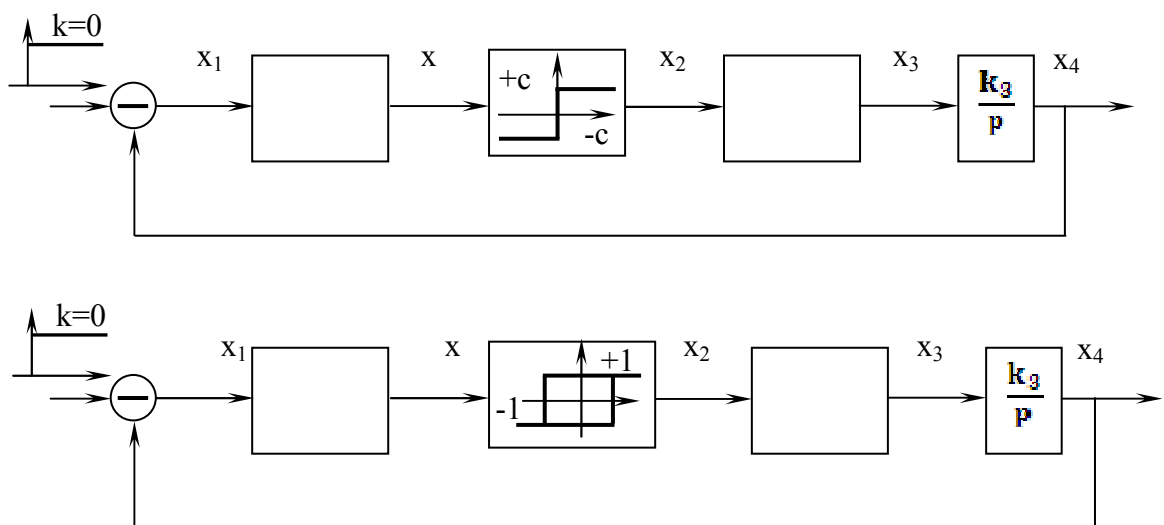


Рисунок 17 – Структурные схемы нелинейной САУ

Исходные данные:  $k_1=10$ ;  $T_1=1$  с;  $k=5$ ;  $T_2=0,01$  с;  $C=10$ .

Начальные условия:  $X_4(0)=1,0$ .

Погрешность интегрирования по методу Фельберга равна 0,001.

Фазовые траектории для схемы с идеальным двухпозиционным реле представлены на рисунке 18, 19.

Фазовые траектории для схемы с идеальным двухпозиционным реле с зоной нечувствительности представлены на рисунке 20, 21.

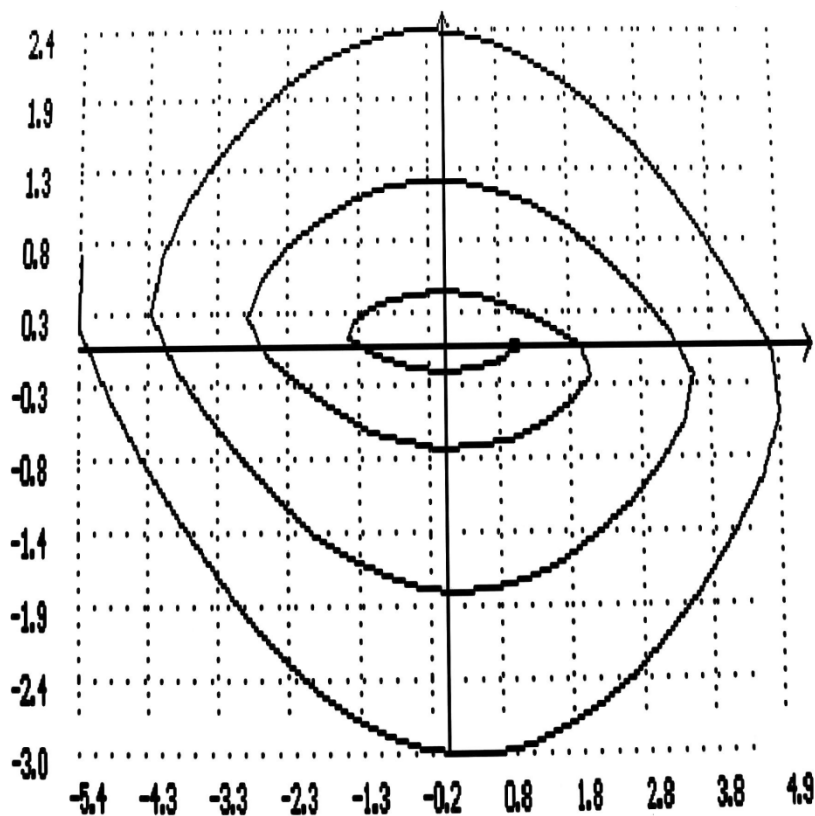


Рисунок 18 – Фазовая траектория для схемы с идеальным двухпозиционным реле при  $X_4(0)=1$



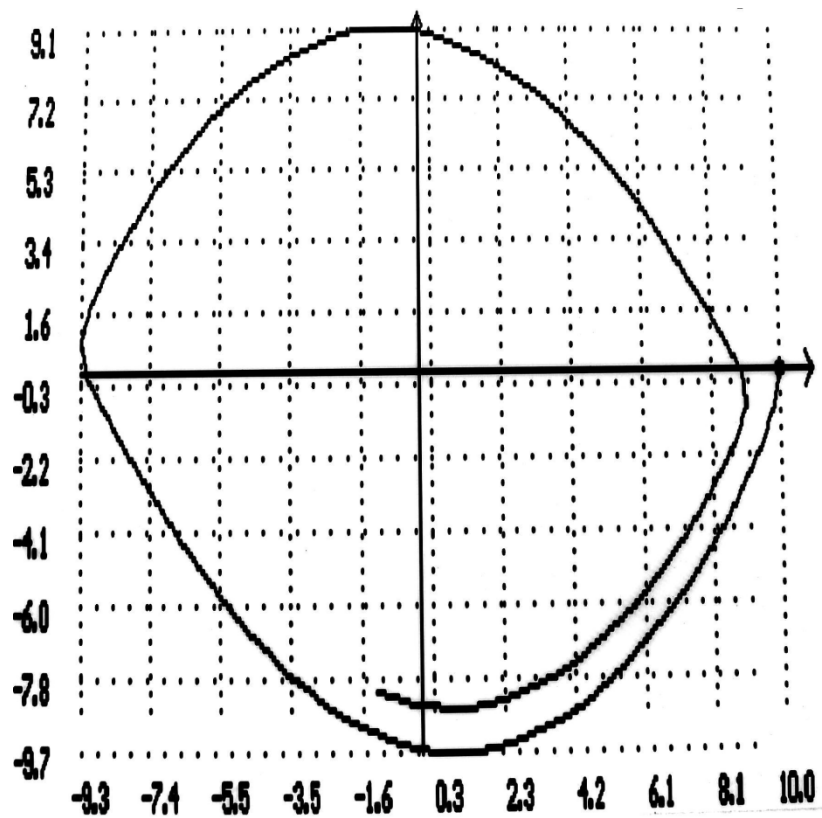


Рисунок 19 – Фазовая траектория для схемы с идеальным двухпозиционным реле при  $X_4(0)=10$

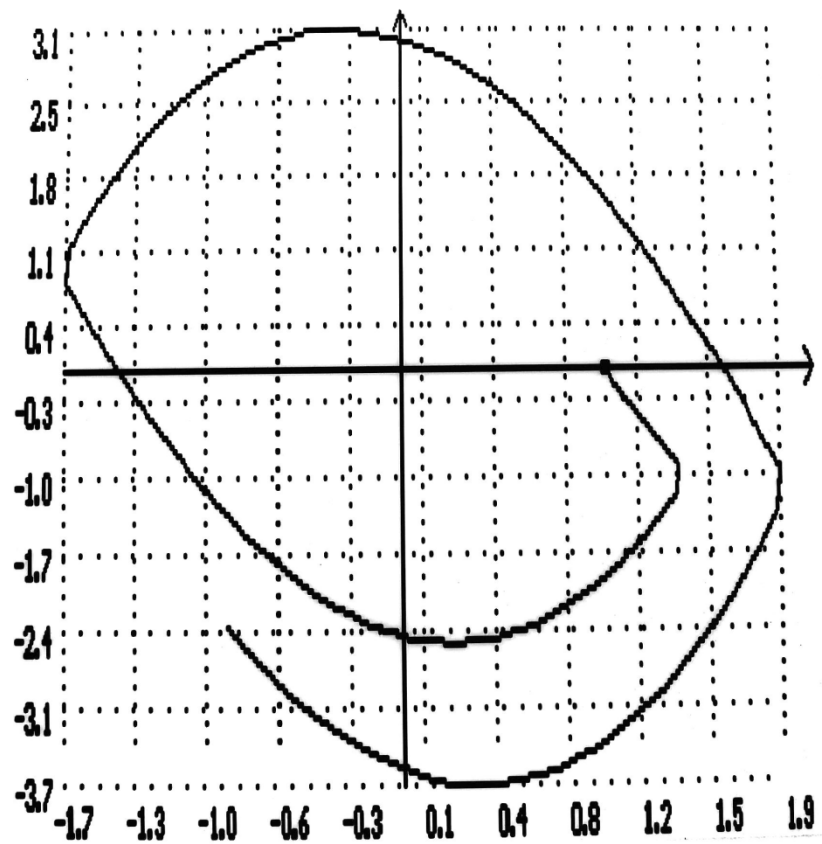


Рисунок 20 – Фазовая траектория для схемы с идеальным двухпозиционным реле с зоной нечувствительности при  $X_4(0)=1$

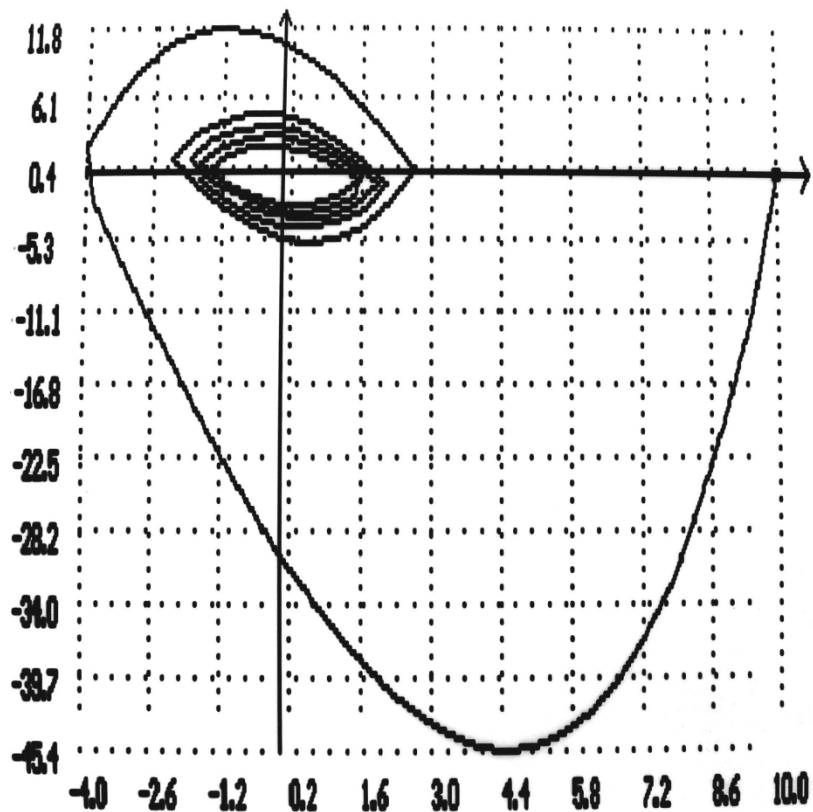


Рисунок 21 – Фазовая траектория для схемы с идеальным двухпозиционным реле с зоной нечувствительности при  $X_4(0)=10$

Фазовая траектория для схемы с идеальным двухпозиционным реле неустойчива в малом и устойчива в большом.

Фазовая траектория для схемы с идеальным двухпозиционным реле с зоной нечувствительности устойчива в малом и неустойчива в большом.

11 Вывод по проделанной работе.

Исходная система является устойчивой по критериям Гурвица и Михайлова. Устойчивость системы показана на рисунке 4.

При увеличении коэффициента усиления свыше определенного значения система становится неустойчивой, что показано на рисунке 5. При коэффициенте равном этому значению САУ находится на границе устойчивости.

При введении коэффициента усиления в обратную связь САУ становится неустойчивой при увеличении этого коэффициента свыше определенного значения.

Введение последовательного корректирующего элемента, со значениями параметров  $k_{ск}=1,5$ ,  $T_{1ск}=0,5$  с,  $T_{2ск}=0,01$  с, приводит к тому что переходной процесс САУ становится монотонным.