



БРАЗОВАНИЯ

отки и т  
нологичес  
программ

# Содержание

Введение	4
Раздел.1 Цель и задачи курсового проекта	5
Раздел 3. Функциональная и структурная схемы САУ	7
Раздел 4. Динамические характеристики САУ	9
Раздел.5 Расчет устойчивой САУ	22
Раздел 6. Показатели качества САУ	27
Заключение	35
Список использованной литературы	36

## Раздел.1 Цель и задачи курсового проекта

Цель выполнения курсового проекта –приобретение навыков самостоятельной работы при расчёте и анализе основных параметров заданной системы автоматического управления.

Задачи курсового проекта:

- Правильно построить функциональную схему заданной системы автоматического управления.
- Правильно выделить типовые динамические звенья.
- Построить структурную схему системы автоматического управления с определением видео соединения типовых динамических звеньев.
- Определить передаточные функции всех элементов системы автоматического управления.
- Определение устойчивости заданной системы автоматического управления.
- При необходимости провести коррекцию параметров с целью достижения устойчивости системы автоматического управления.
- Определение переходную характеристику замкнутой системы автоматического управления методом вещественных частотных трапецеидальных характеристик или другим методом.
- Провести анализ системы автоматического управления по полученным характеристикам и сделать выводы.

# Раздел.2 Задание на курсовой проект

Таблица 1

Исходные данные			
	Передаточные функции	Название звена	Функциональное назначение
1	$W(p)=K=5$	Пропорциональное звено	Операционный усилитель
2	$W(p)=\frac{K}{Tp+1} = \frac{1}{0.3p+1}$	Аперiodическое звено	LC - контур
3	$W(p)=\frac{K}{T^2p^2+T_1p+K}$	Колебательное звено	Двигатель
4	$W(p)=\frac{K}{Tp+1} = \frac{1}{0.4p+1}$	Аперiodическое звено	RC - контур
5	$W(p)=K=2$	Пропорциональное звено	Усилитель

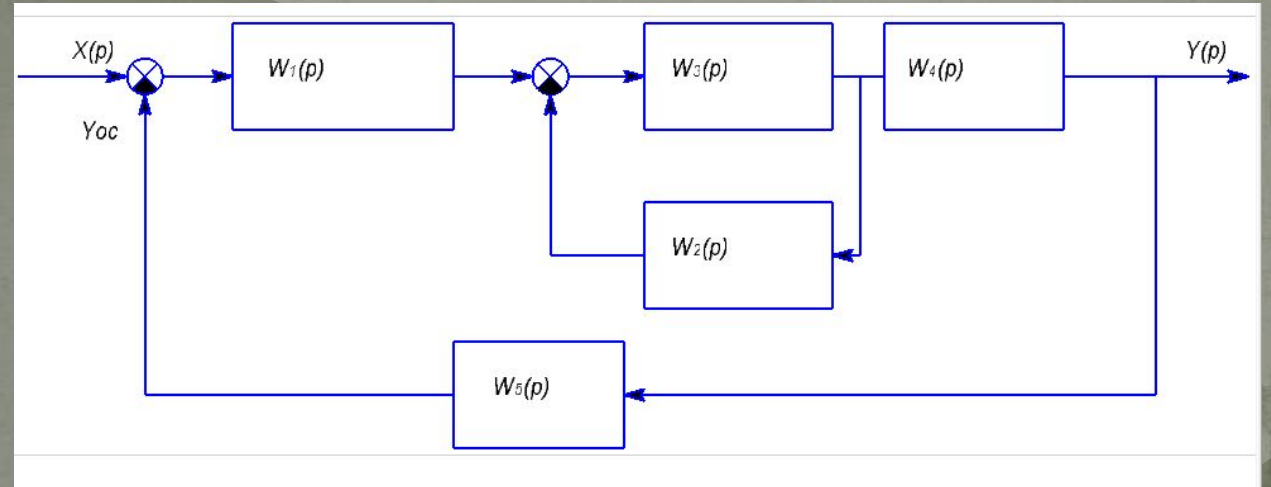


Рис1. Структурная схема системы автоматического управления

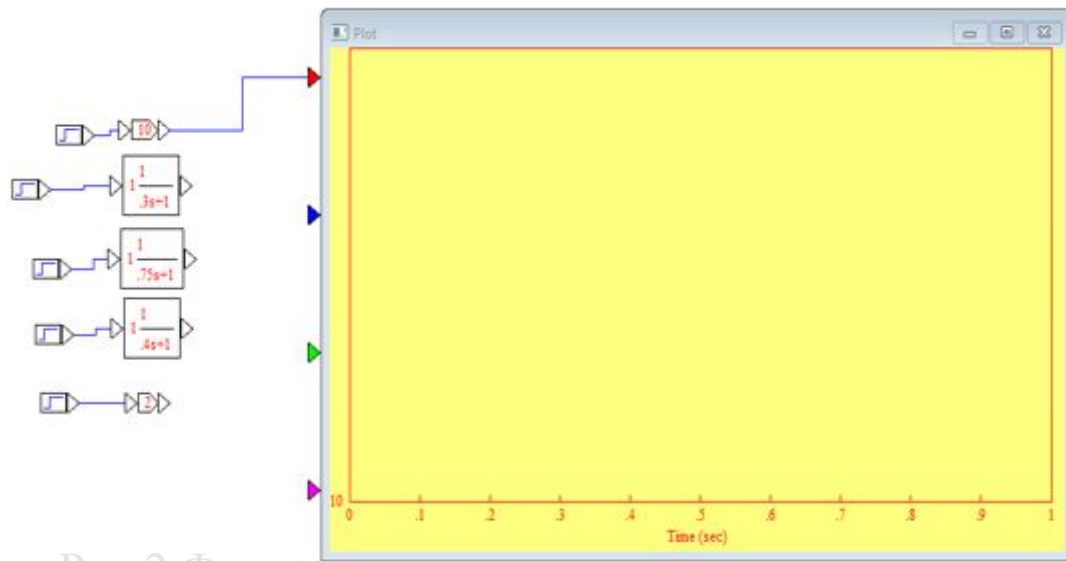


Рис.2 Функция пропорционального звена

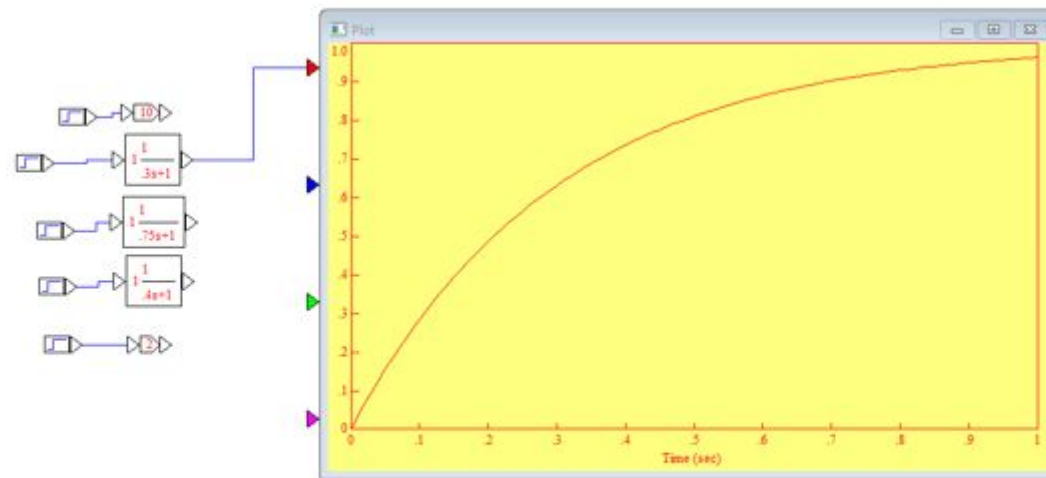


Рис.3 Функция апериодического звена

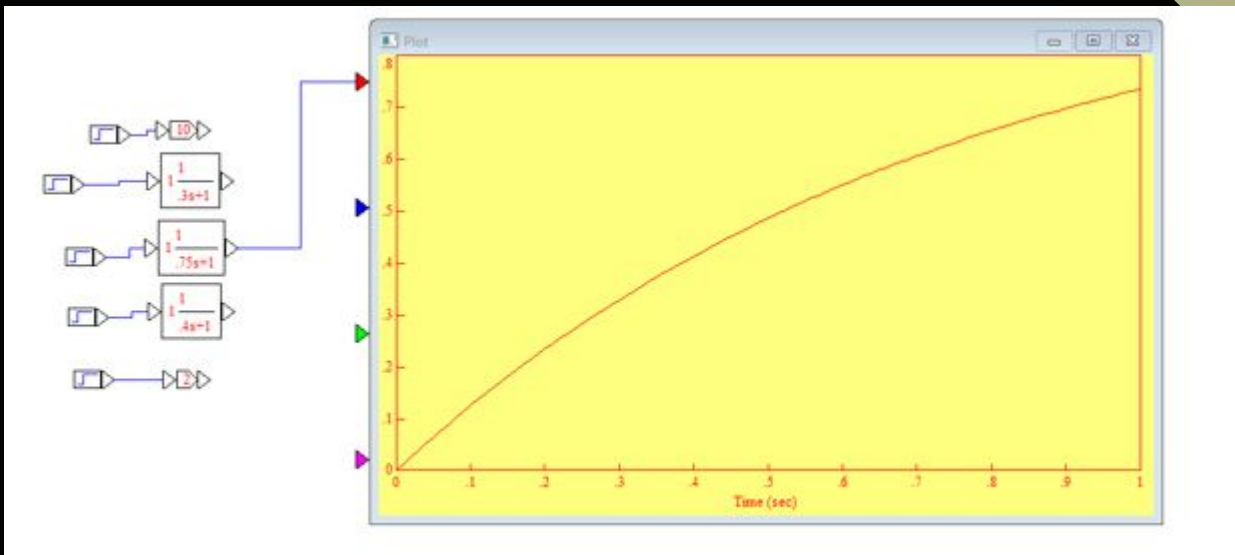


Рис.4 Функция колебательного звена

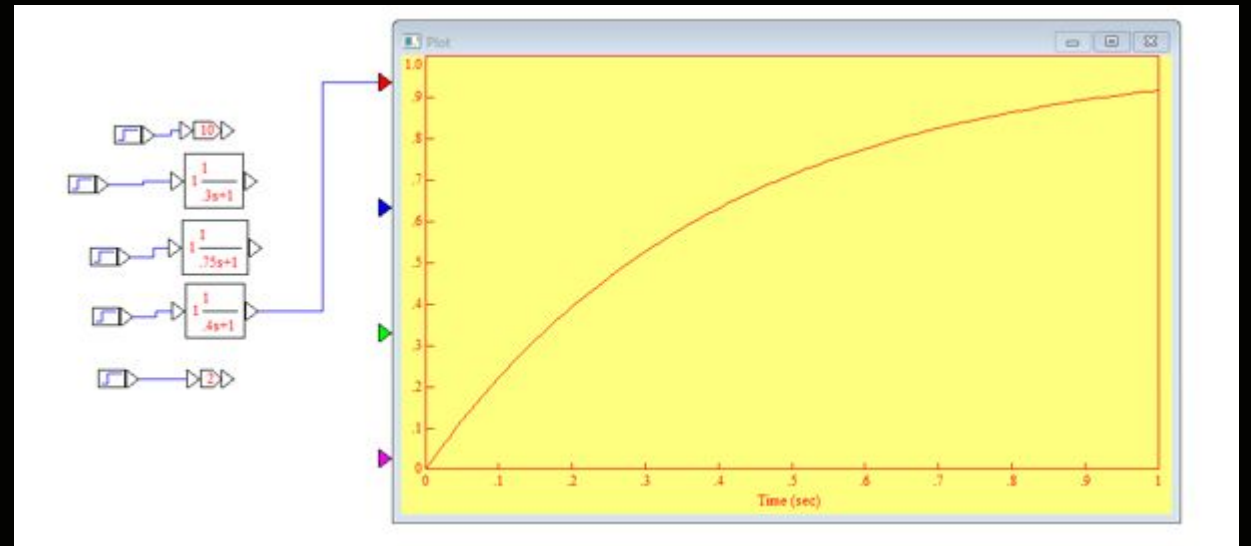


Рис.5 Функция аperiodического звена

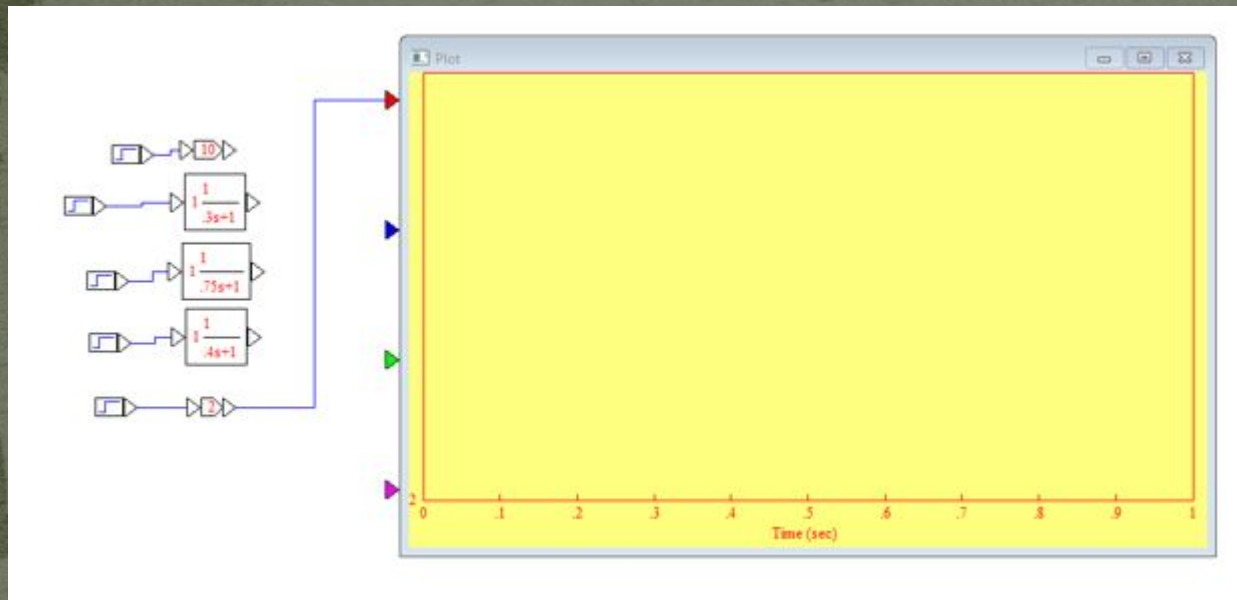


Рис.6 Функция пропорционального звена

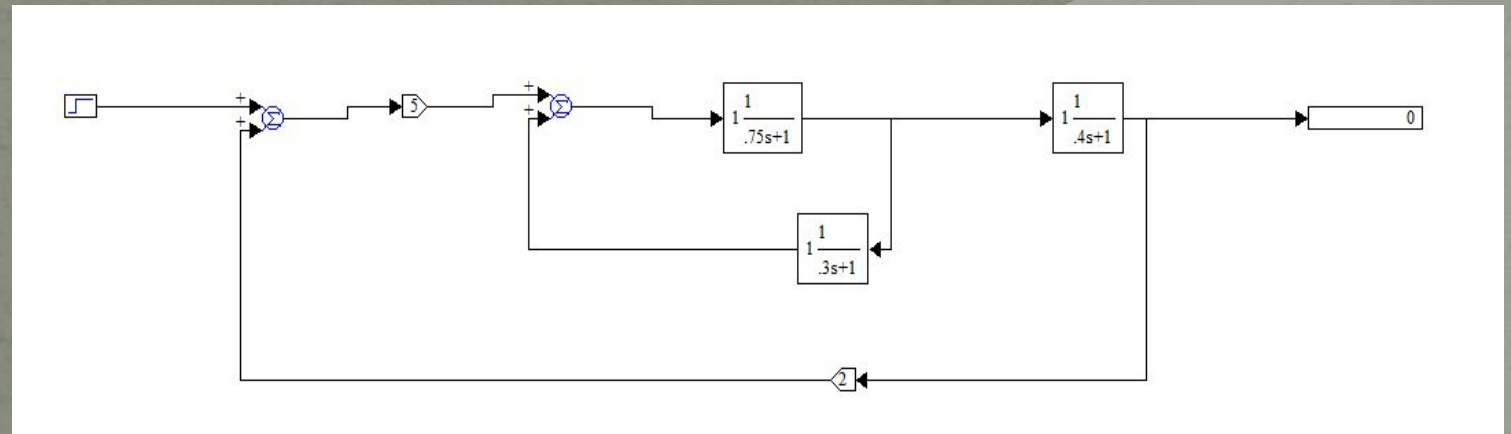


Рис. 7 Структурная схема САУ VisSim

### Раздел 3. Функциональная и структурная схемы САУ

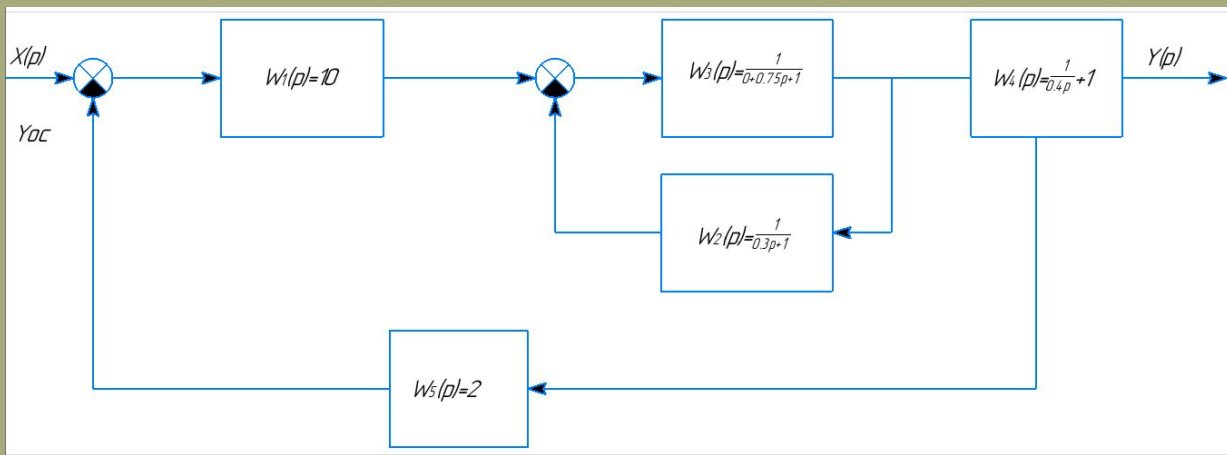


Рис.8 Структурная схема САУ

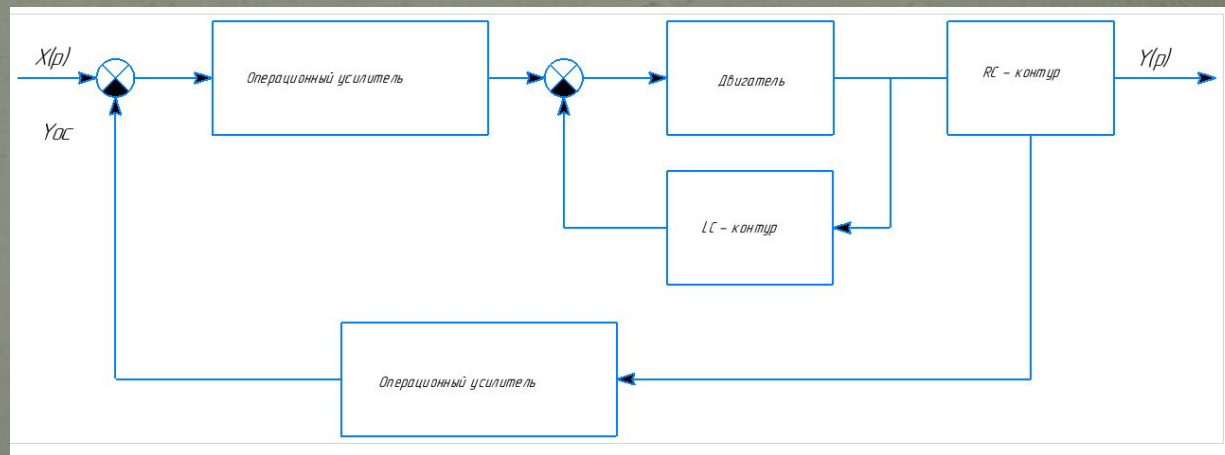


Рис.9 Функциональная схема САУ



# Раздел 4. Динамические характеристики САУ

## 4.1 Передаточная функция

$$W_{\text{раз}} = 5 * \frac{\frac{1}{0+0,75p+1}}{1-\frac{1}{0,3p}} * \frac{1}{0,4p+1};$$

$$W_{\text{зам}} = \frac{W_{\text{раз}}}{1 - W_{\text{раз}} * W_{\text{ос}}} = 300p + \frac{1000}{18p^3 + 69p^2 + 60p} = 300p + \frac{1000}{18p^3 + 69p^2 - 540p - 2000}$$

## 4.2 Частотная передаточная функция

$$W_{\text{раз}}(p) = 300j\omega + \frac{1000}{-18j\omega^3 - 69\omega^2 + 60j\omega} * 18j\omega^3 + 69\omega^2 - \frac{60j\omega}{18j\omega^3 + 69\omega^2 - 60j\omega} 3\omega$$
$$* \frac{80j + 6000j\omega^2 + 23\omega}{-9\omega^2 * (6j\omega^2 + 23\omega - 20j)^2} = -80j + 6000\omega^2 + \frac{23\omega}{3\omega * (6j\omega^2 + 23\omega - 20j)^2}$$

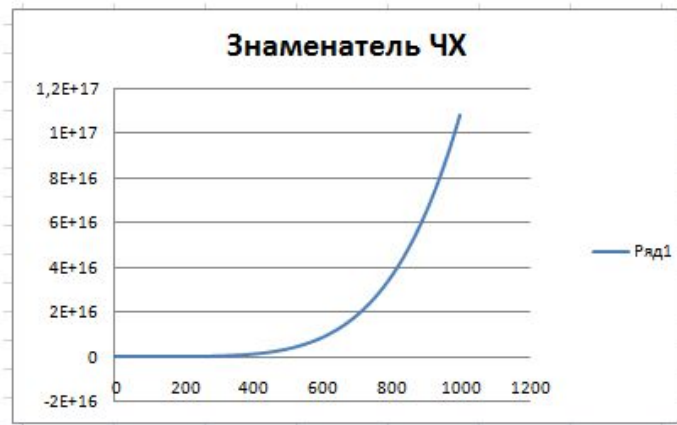


Рис.10 Частотная передаточная функция знаменателя разомкнутой системы



Рис. 11 Частотная передаточная функция числителя разомкнутой системы

$$W_{\text{зам}}(j\omega) = \frac{300j\omega + 1000}{-18j\omega^3 - 69\omega^2 - 540j\omega - 2000} * \frac{18j\omega^3 - 69\omega^2 - 540j\omega - 2000}{18j\omega^3 + 69\omega^2 + 540j\omega + 2000}$$

$$= \frac{5400\omega^4 + 387000j\omega^3 + 162000\omega^2 + 1440000j\omega + 69000\omega^2 2000000}{-324\omega^6 - 2484j\omega^5 - 4761\omega^4 540\omega^2 - 2000^2 - 19440\omega^4 - 164520j\omega - 276000\omega^2 - 216000j\omega}$$

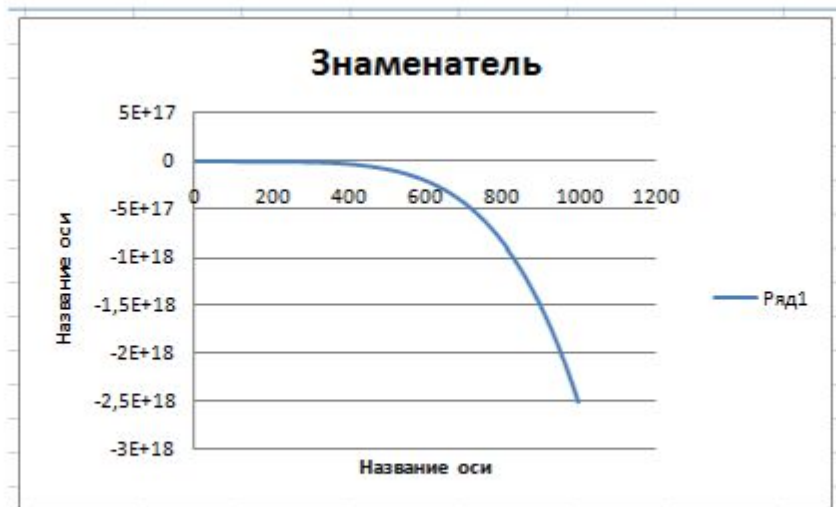


Рис. 12 Частотная передаточная функция знаменателя замкнутой системы

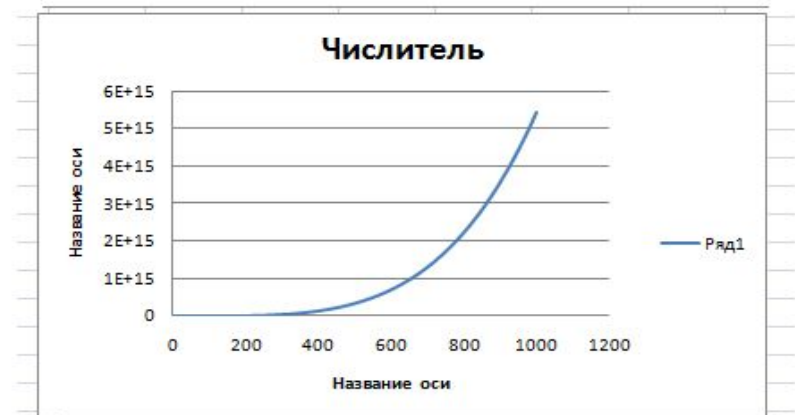


Рис. 13 Частотная передаточная функция числителя замкнутой системы

### 4.3 Вещественная частотная характеристика (ВЧХ)

$$U_{\text{раз}}(\omega) = \frac{6000\omega^2}{3\omega * (6j\omega + 23\omega - 20j)}$$

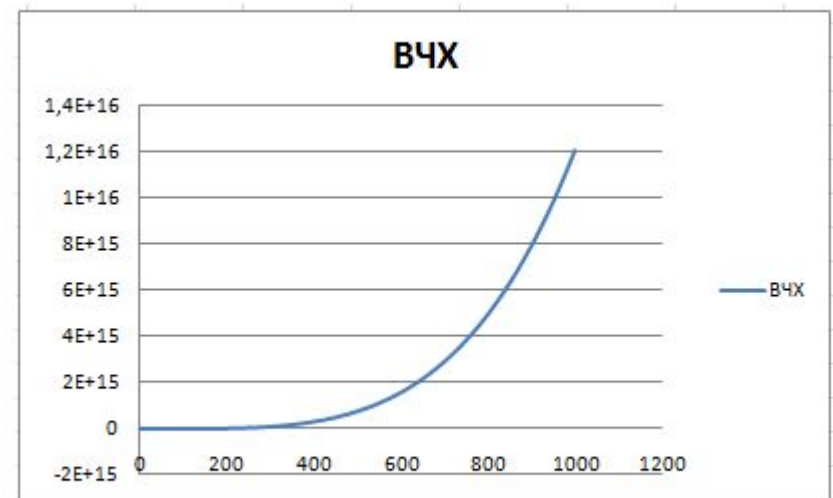


Рис. 14 ВЧХ разомкнутой системы

$$U_{\text{раз}}(\omega) = \frac{5400\omega^4 + 162000\omega^2 + 69000\omega^2 + 2000000}{-324\omega^6 - 2484j\omega^5 - 4761\omega^4 + 540\omega^2 - 2000^2 - 19440\omega^4 - 164520j\omega - 276000\omega^2 - 216000j\omega}$$

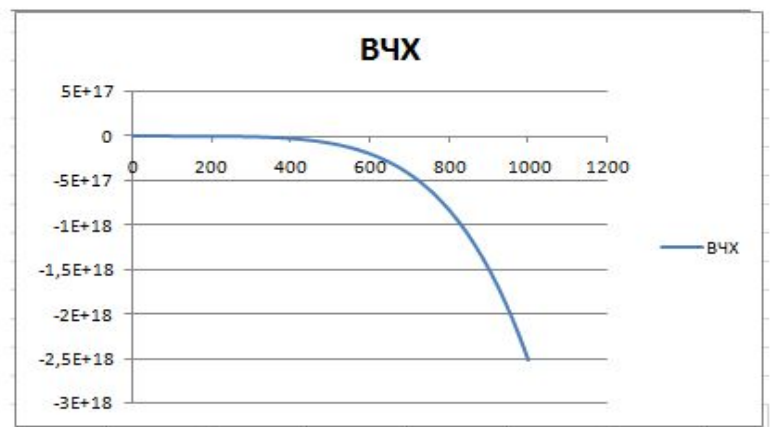


Рис. 15 ВЧХ замкнутой системы

#### 4.4 Мнимая частотная характеристика (МЧХ)

$$V_{\text{раз}}(\omega) = -\frac{80j \cdot 23\omega}{3\omega * (6j\omega^2 + 23\omega - 20j)^2}$$

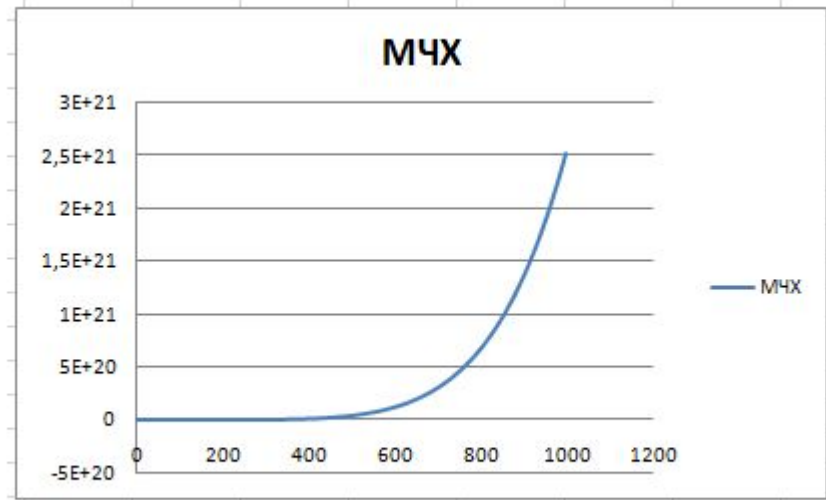


Рис. 16 МЧХ разомкнутой системы



Рис. 17 МЧХ замкнутой системы

$$V_{\text{зам}}(\omega) = \frac{1}{-324\omega^6 - 2484j\omega}$$

#### 4.5 Амплитудная частотная характеристика (АЧХ)

$$A(\omega) = \sqrt{U^2(\omega) + V^2(\omega)}$$

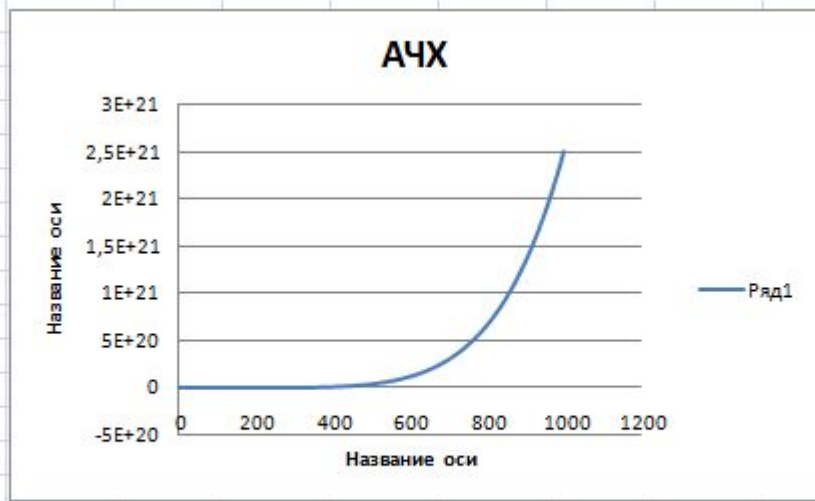


Рис. 18 АЧХ разомкнутой системы

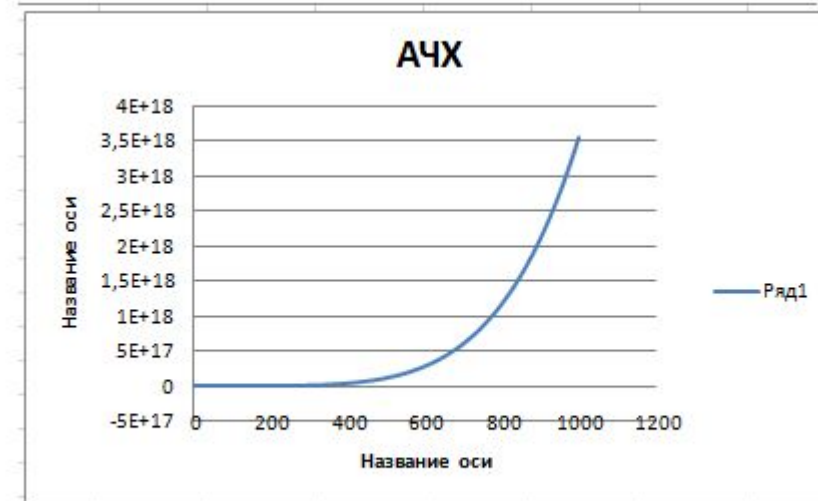


Рис. 19 АЧХ замкнутой системы

#### 4.6 Фазовая частотная характеристика (ФЧХ)

$$\varphi(\omega) = \arctg \frac{V(\omega)}{U(\omega)}$$



Рис.20 ФЧХ разомкнутой системы

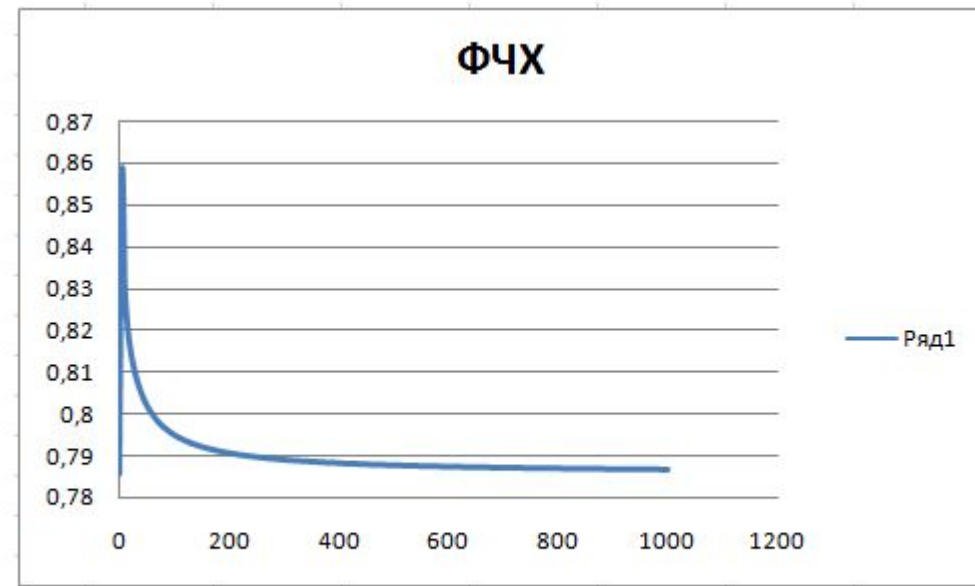


Рис.21 ФЧХ замкнутой системы

#### 4.7 Амплитудная фазовая частотная характеристика (АФЧХ)

$$L(\omega) = 20\lg(A(\omega))$$

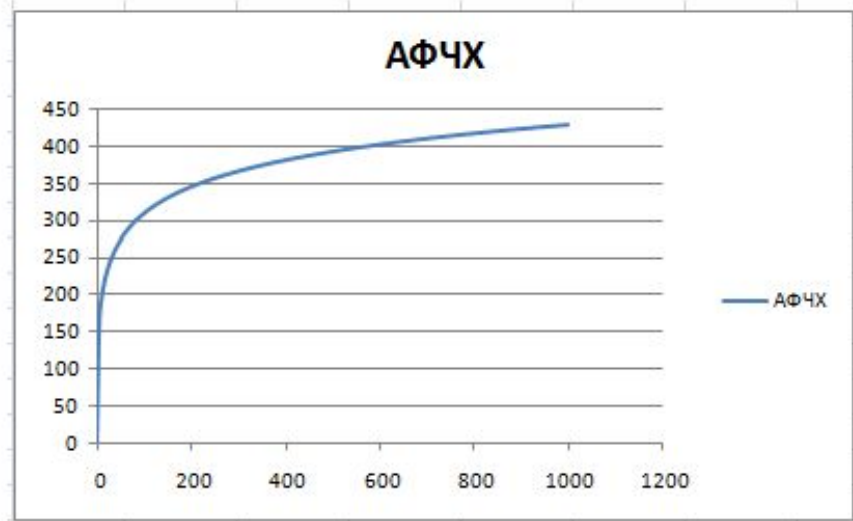


Рис. 22 АФЧХ разомкнутой системы

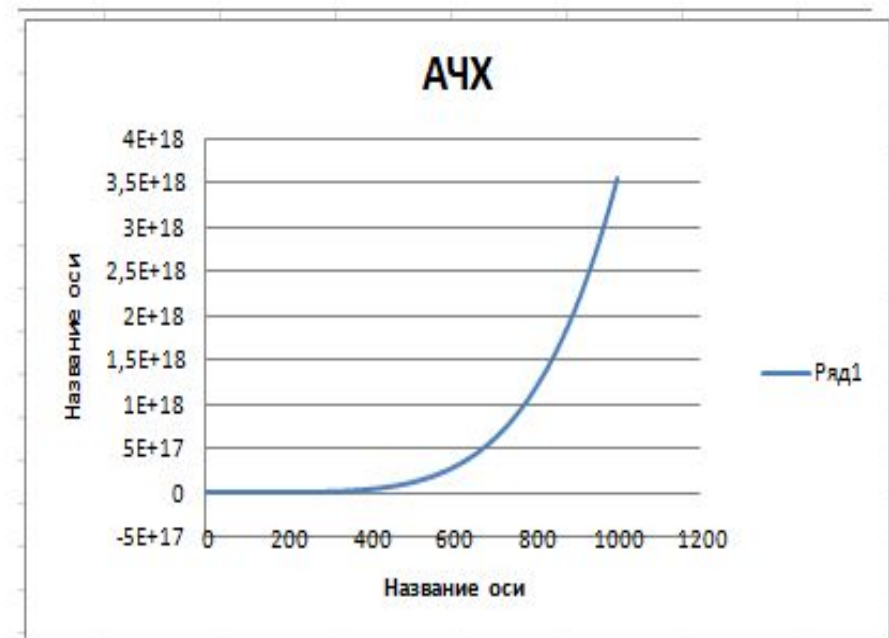


Рис.23 АФЧХ замкнутой системы



## 4.8 Логарифмическая амплитудная частотная характеристика (ЛАЧХ) и логарифмическая фазовая частотная характеристика (ЛФЧХ)

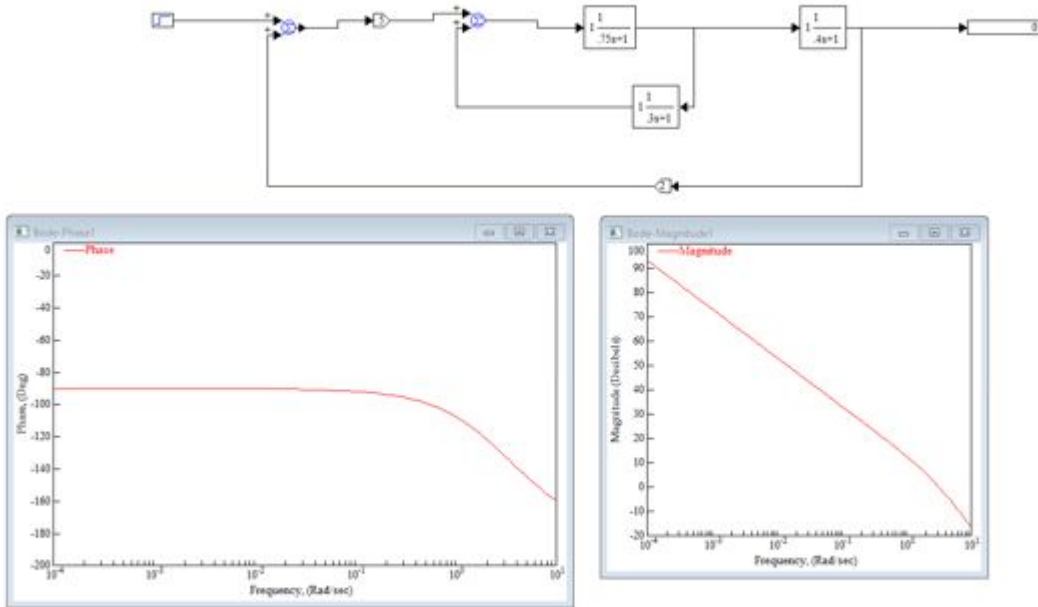


Рис.24 ЛАЧХ и ЛФЧХ разомкнутой САУ

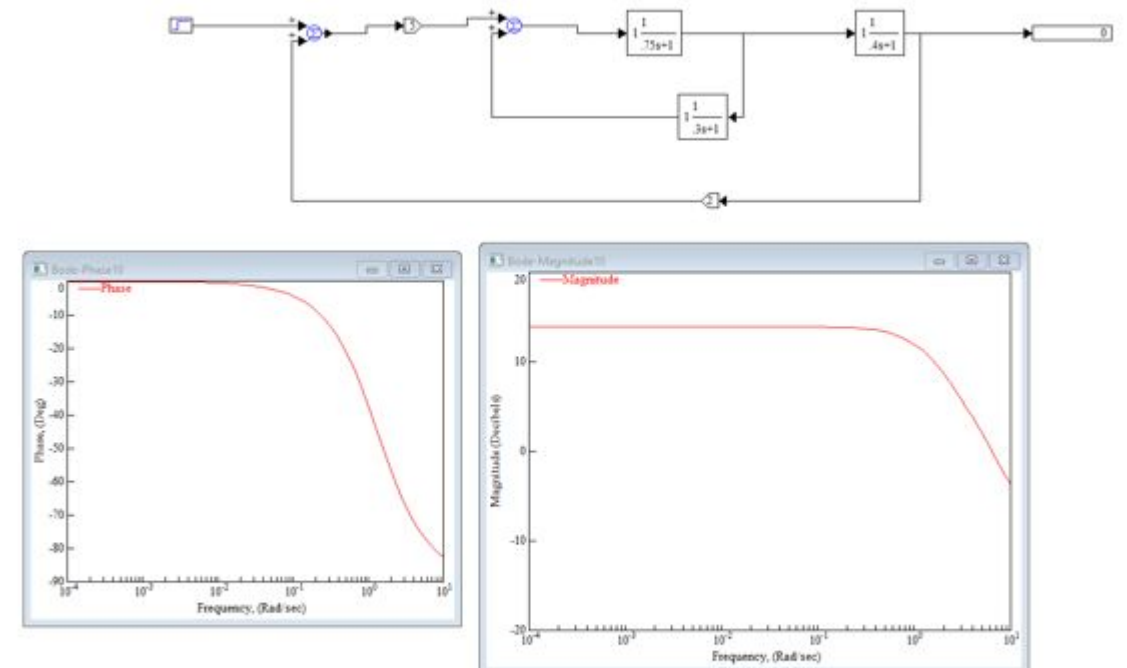


Рис.25 ЛАЧХ и ЛФЧХ замкнутой САУ

# Раздел.5 Расчет устойчивой САУ

Алгебраические критерии устойчивости

Критерии устойчивости Рауса

Знаменатель разомкнутой системы

$$18p^3 + 69p^2 + 60p = 0$$

$$a_0 = 18; \quad a_1 = 69; \quad a_2 = 60$$

Таблица 2

Исходные данные

<u>Козф.</u> $r_i$	<u>k/i</u>	1	2	3
-	1	18	60	0
-	2	69	0	0
0.11	3	60	0	0
0.45	4	0	0	0

Так как в первом столбце таблицы Рауса нет перемены знака, то рассматриваемая система устойчива.

Знаменатель замкнутой системы

$$18p^3 + 69p^2 - 540p - 2000 = 0$$

$$a_0 = 18; \quad a_1 = 69; \quad a_2 = 540; \quad a_3 = 2000$$

### Исходные данные



Кэф. <u><math>r_i</math></u>	<u><math>k/i</math></u>	1	2	3
-	1	18	540	0
-	2	69	2000	0
0.11	3	20	0	0
0.05	4	0	0	0

Так как в первом столбце таблицы Рауса нет перемены знака, то рассматриваемая система устойчива.

## Критерии устойчивости Гурвица

Знаменатель разомкнутой системы

$$18p^3 + 69p^2 + 60p = 0$$

$$\Delta n = \begin{vmatrix} 69 & 0 & 0 \\ 18 & 60 & 0 \\ 0 & 69 & 0 \end{vmatrix} = 0$$

Так как все определители Гурвица больше или равны нулю, то рассматриваемая система находится на границе устойчивости.

Знаменатель замкнутой системы

$$18p^3 + 69p^2 - 540p - 2000 = 0$$

$$\Delta n = \begin{vmatrix} 69 & 2000 & 0 \\ 18 & 540 & 0 \\ 0 & 69 & 200 \end{vmatrix} = 252000$$

Так как все определители Гурвица больше нуля, то рассматриваемая система устойчива.

# Критерий устойчивости Михайлова

## Критерий разомкнутой системы

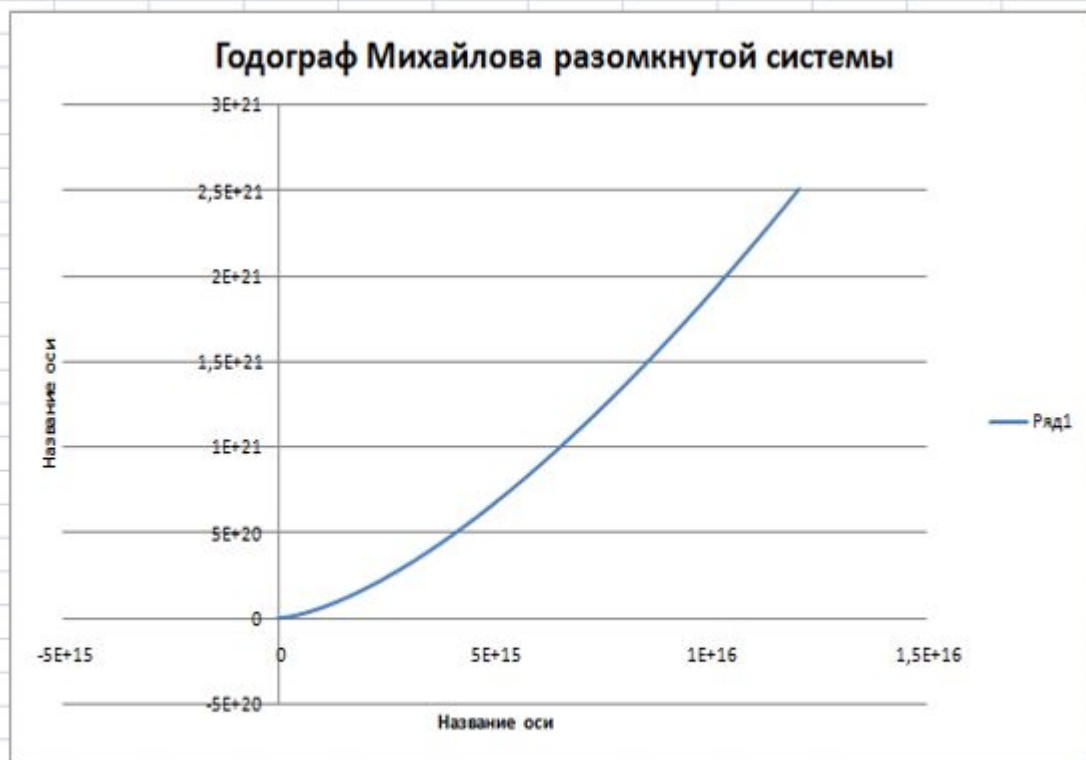


Рис.26 Годограф Михайлова разомкнутой системы

Годограф начинается на положительной полуоси при  $D(0) = a_n$ , при изменении частоты от  $0$  до  $\infty$ , последовательно проходит против часовой стрелки  $n$  квадрантов комплексной плоскости, с уходом в бесконечность в  $n$ -ом квадранте нигде не обращаясь в ноль, значит система устойчива.

## Критерий замкнутой системы



Рис.27 Годограф Михайлова замкнутой системы

Годограф начинается на положительной полуоси при  $D(0) = a_n$ , при изменении частоты от 0 до  $\infty$ , последовательно проходит против часовой стрелки  $n$  квадрантов комплексной плоскости, с уходом в бесконечность в  $n$ -ом квадранте нигде не обращаясь в ноль, значит система устойчива.

## Критерий замкнутой системы

## Критерии устойчивости Найквиста

Линейная динамическая система устойчивая в разомкнутом состоянии, устойчива и в замкнутом состоянии, если АФЧХ разомкнутой системы  $W_{oc}(j\omega)$  при изменении частоты от 0 до  $\infty$  не охватывает на комплексной плоскости точку с координатами  $(-1; j0)$  (годограф 1), линейная динамическая система неустойчивая в разомкнутом состоянии, устойчива в замкнутом состоянии, если АФЧХ разомкнутой системы  $W_{pc}(j\omega)$  при изменении частоты от 0 до  $\infty$  охватывает на комплексной плоскости точку с координатами  $(-1; j0)$  столько раз, сколько корней характеристического уравнения лежит справа от мнимой оси на комплексной плоскости корней (годограф 2).

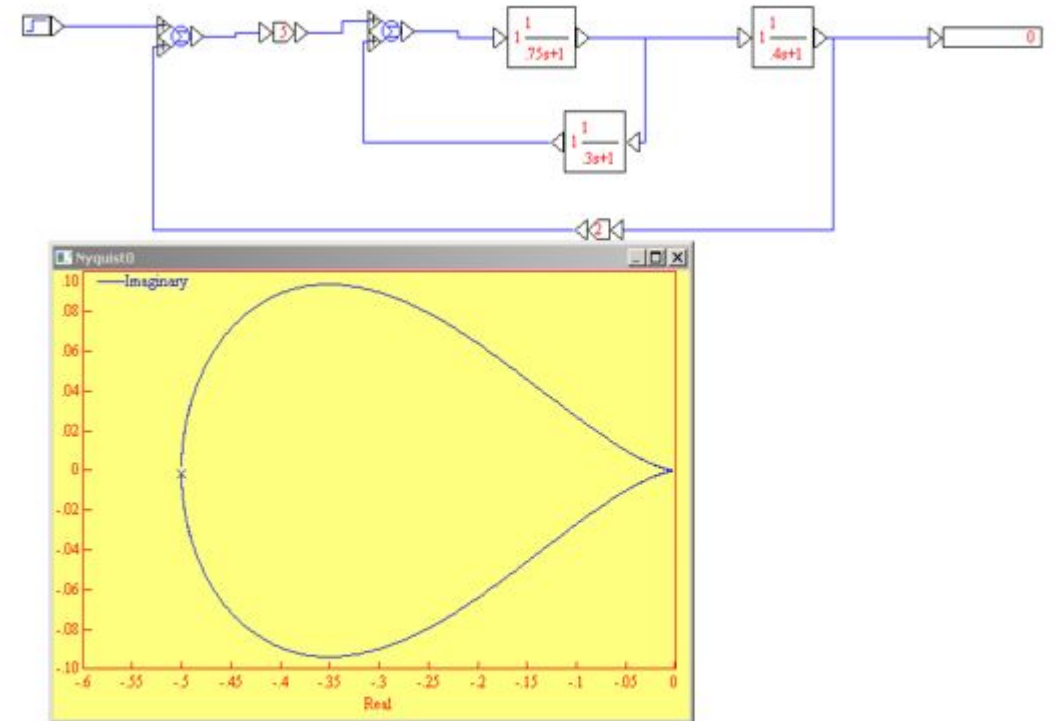
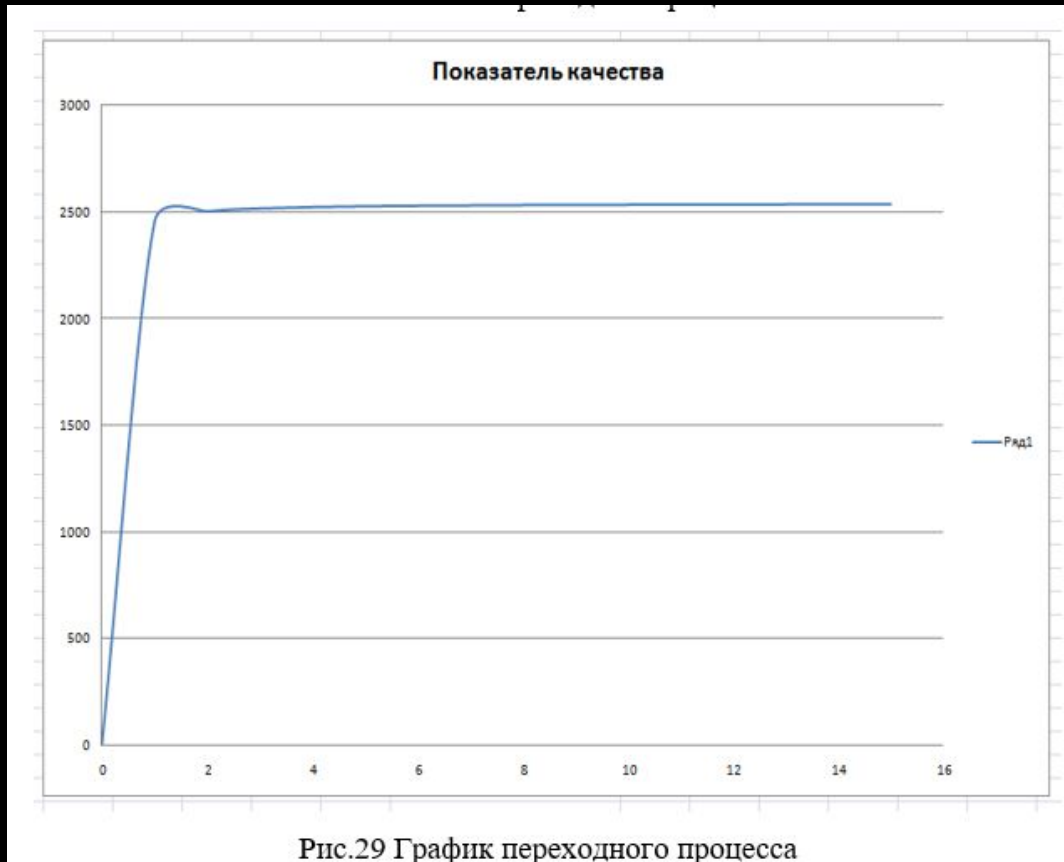


Рис.28 Критерии устойчивости Найквиста замкнутой системы

Так как график не охватывает точки  $(-1; 0)$ , значит система устойчива.

# Раздел 6. Показатели качества САУ



Установившееся значение регулируемого параметра:

$$y_n = 2600$$

Время регулирования:

$$t_p = 2$$

Установившаяся ошибка регулирования:

$$\delta_2 = 2600 \pm 10 * 0,05$$

Колебательность переходного процесса:

$$M = 1,5$$

Время нарастания:

$$t_n = 1,5$$

Время достижения первого максимума:

$$t_{max} = 1,75$$



$$C = \frac{M^2}{M^2 - 1};$$

$$R = \frac{M}{M^2 - 1};$$

Корневой метод оценки и качества  
 $18p^2 + 69p^2 - 540p - 2000 = 0$

$$A = \frac{\sqrt{385}}{12} + \frac{23}{12} = 3.522$$

$$B = \frac{23}{12} - \frac{\sqrt{385}}{12} = 0.282$$

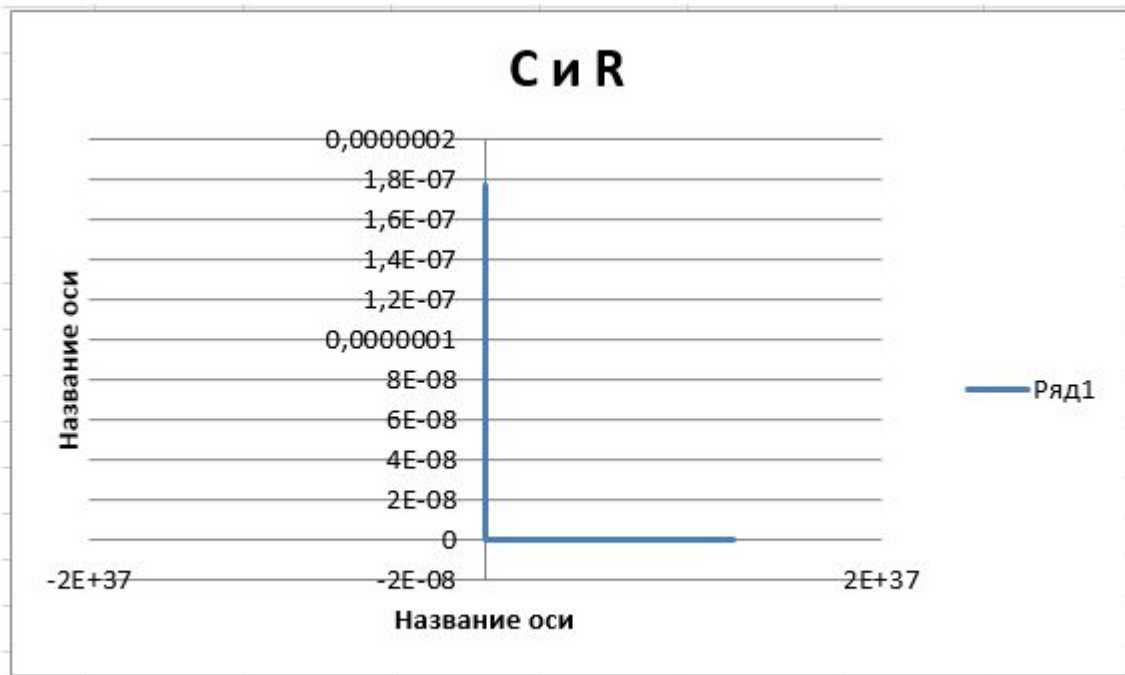


Рис.30 График АЧХ C(R)

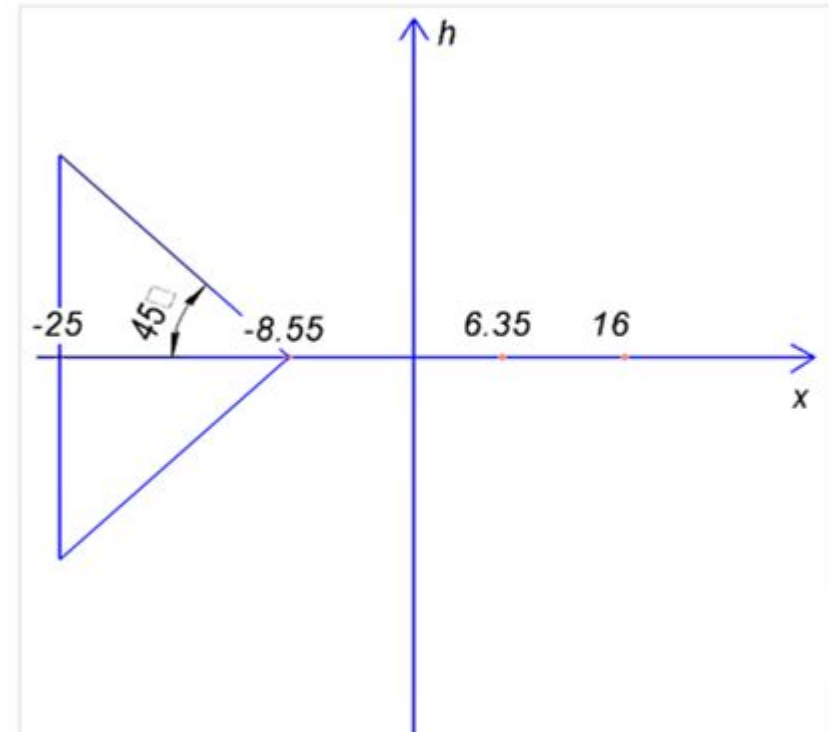


Рис.31 Корневой метод оценки качества замкнутой системы

## Оценка качества переходного процесса по диаграмме Вышнеградского

$$A = \frac{a_1}{\sqrt[3]{a_0^2 a_3}} = 6.4; \quad B = \frac{a_2}{\sqrt[3]{a_0 a_3^2}} = 10.4$$

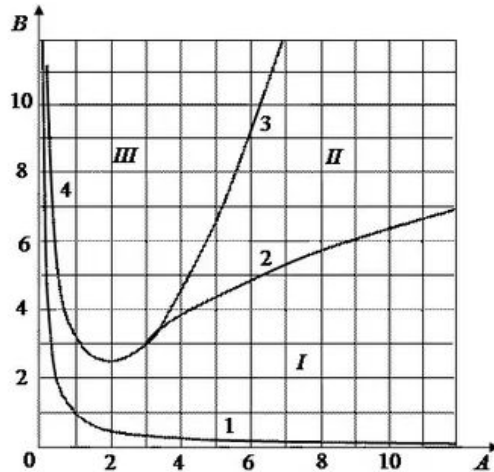


Рис.32 График переходного процесса по диаграмме Вышнеградского

## Интегральные критерии оценки качества

$$y := \int_0^{1000} 18p^3 + 69p^2 - 540p - 2000 \, dp$$

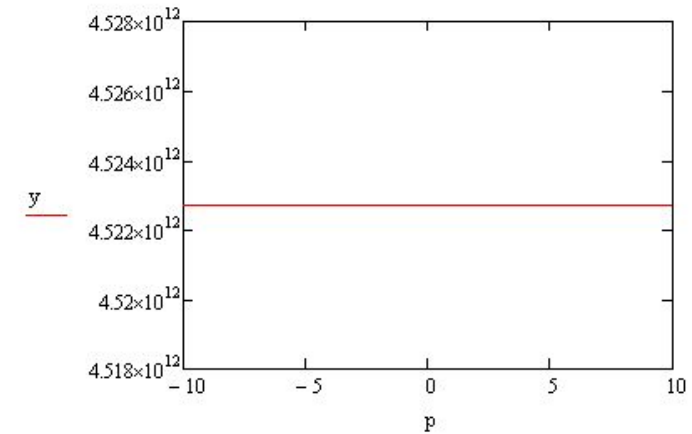


Рис.33 Интегральный критерий оценки качества замкнутой системы

Величина  $J_{00}$  представляет собой линейную оценку качества управления. Чем она меньше, тем выше быстродействие системы. При выборе параметров системы стремятся обеспечить минимум  $J_{00}$ .

трапеций

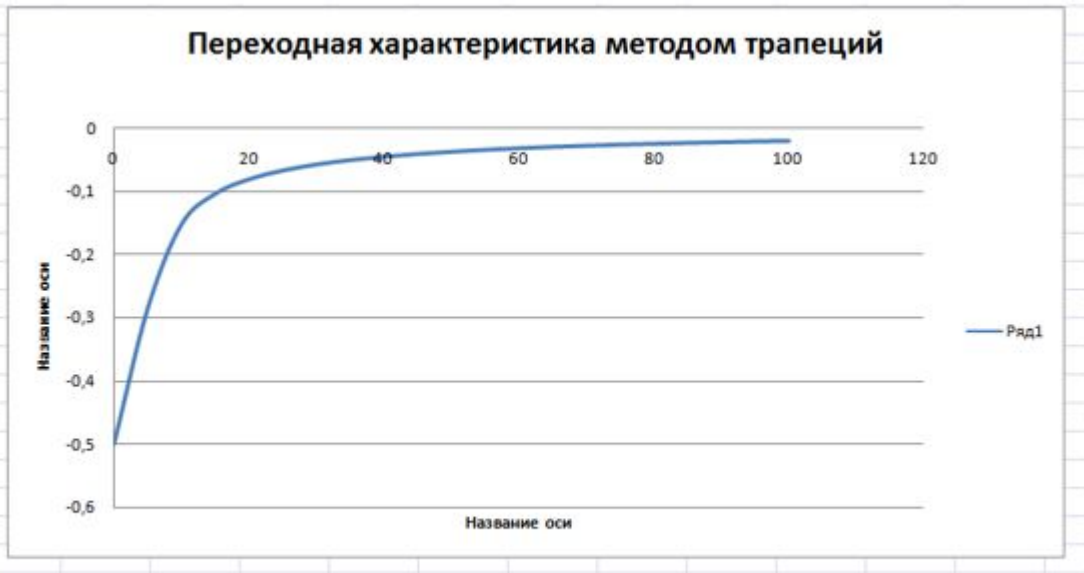


Рис.34 Переходная характеристика

1 трапеция ABCD

$$P(\text{ad}) = -0.6$$

$$\omega_1 = 100$$

$$\omega_2 = -0.6$$

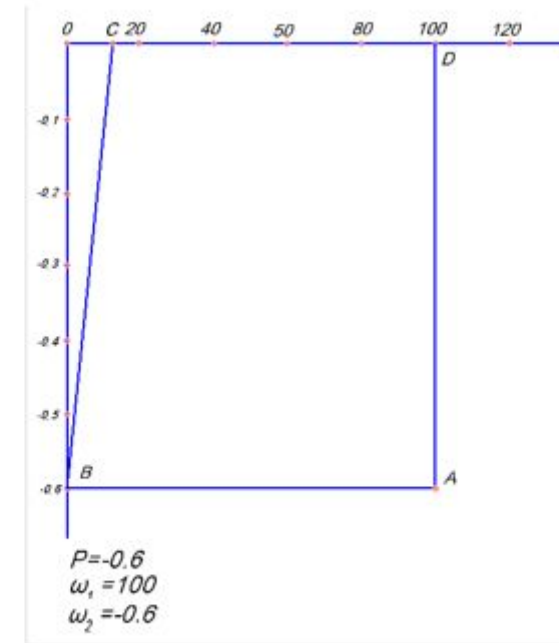


Рис.35 Построение переходной характеристики методом трапеций

# Построение переходной характеристики методом треугольников

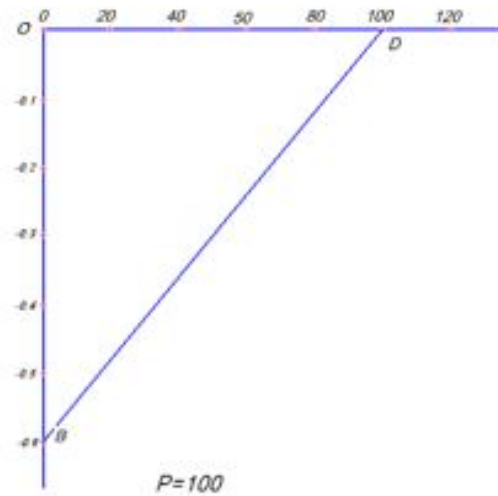


Рис.36 Построение переходной характеристики методом треугольников

## Заключение

Моя система была исследована по таким критериям как: критерий Рауса, критерий Гурвица, критерий Михайлова, критерий Найквиста. По критерию Рауса разомкнутая система управления – устойчива, замкнутая – устойчива. По критерию Гурвица разомкнутая система управления – устойчива, замкнутая – устойчива. По критерию Михайлова разомкнутая система управления – устойчива, замкнутая - устойчива. По критерию Найквиста замкнутая система автоматического управления – устойчива.

Так же были определены показатели качества системы:

Установившееся значение регулируемого параметра:

$$y_n = 2600$$

Время регулирования:

$$tp = 2$$

Установившаяся ошибка регулирования:

$$\delta = 2600 \pm 10 \cdot 0.05$$

Колебательность переходного процесса:

$$M = 1.5$$

Время нарастания:

$$t_n = 1.5$$

Время достижения первого максимума:

$$t_{\max} = 1.5$$

Спасибо за  
ВНИМАНИЕ !!!!  
Все молодцы!

