

УДК 681.5
Ф 333

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО СВЯЗИ

Федеральное государственное образовательное бюджетное учреждение
высшего профессионального образования

Московский технический университет связи и информатики

Кафедра защиты информации и техники почтовой связи

Редоров С. В.

Методические указания и задания
к выполнению курсовой работы

по дисциплине

ТЕОРИЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

Москва 2012

Уч. 6813
Р 333

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Курсовая работа по дисциплине «Теория автоматического управления» выполняется студентом под руководством преподавателя как самостоятельное исследование заданной системы автоматического управления (САУ) с целью анализа ее динамических характеристик, анализа качества процесса управления и его коррекции для обеспечения требуемых значений показателей качества САУ.

В результате выполнения курсовой работы формируются заданные уровни компетенций студента:

- владение культурой мышления, способность к обобщению, анализу, восприятию информации, способность к постановке цели исследования и выбору путей её достижения;
- способность логически верно, аргументированно и ясно строить устную и письменную речь;
- способность к саморазвитию, повышению своей квалификации и мастерства;
- осознание социальной значимости своей будущей профессии;
- способность использовать основные законы и методы дисциплин математического и естественнонаучного цикла, а также дисциплин общепрофессионального цикла в своей будущей профессиональной деятельности;
- способность применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования;
- владение методами расчёта и исследования систем автоматического управления на базе современной вычислительной техники;
- способность применения на практике современных методов анализа и синтеза САУ.

ТЕМА КУРСОВОЙ РАБОТЫ:

«Исследование динамических характеристик САУ».

ЦЕЛЬ КУРСОВОЙ РАБОТЫ:

На основе анализа устойчивости и точности САУ разработать рекомендации по повышению качества процесса управления.

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ КАЖДОГО ВАРИАНТА ЗАДАНИЯ

(номера вариантов задания указаны в Приложении 2)

1. Структурные схемы САУ для каждого варианта задания даны в**Приложении 1.**

Структурные схемы № 1, 2, 3 отображают систему автоматического регулирования скорости вращения ротора электродвигателя Ω_d .

Структурные схемы №№ 4 ... 10 отображают систему автоматического регулирования угла поворота редуктора Θ_p , соединяющего вал электродвигателя и объект управления (например, руку робота).

На структурных схемах задающее напряжение U_3 сравнивается с напряжением U_d датчика скорости вращения или датчика угла поворота. На выходе вычитающего (сравнивающего) устройства формируется сигнал рассогласования $\Delta = U_3 - U_d$.

2. Передаточные функции звеньев САУ для каждого варианта задания**2.1. Усилитель**

$$W_{y1}(p) = \frac{k_y}{T_y p + 1} \quad \text{для структурных схем №№ 1, 2, 3, 4, 10;}$$

$$W_{y2}(p) = k_y \quad \text{для структурных схем №№ 5, 6, 7, 8, 9.}$$

Здесь значения коэффициентов k_y и постоянных времени T_y задаются в табл.1 (Приложение 2) для каждого варианта задания. Коэффициент передачи усилителя k_y может варьироваться для повышения качества процесса автоматического управления.

2.2. Звено последовательной коррекции

$$W_{пк}(p) = k_k(1 + \tau_k p),$$

где значения коэффициента передачи k_k и постоянной времени звена последовательной коррекции τ_k выбираются на основе анализа динамических процессов САУ.

Предварительно установлены следующие их значения: $k_k = 10$, $\tau_k = 0,1$ с.

2.3. Электродвигатель

$$W_{дв}(p) = \frac{k_{дв}}{T_{я}T_{м}p^2 + T_{м}p + 1},$$

где коэффициент передачи электродвигателя $k_{дв} = 0,6$; электромагнитная постоянная времени $T_{м} = 1,6$ с; электромагнитная

постоянная времени для структурных схем №№ 1, 3, 5, 6, 10 $T_{\text{я}} = 1$ с;
 электромагнитная постоянная времени для структурных схем №№ 2, 4,
 7, 8, 9 $T_{\text{я}} = 0,08$ с.

2.4. Редуктор

$$W_p(p) = \frac{k_p}{p},$$

где передаточное отношение редуктора $k_p = 1/30$.

2.5. Датчик скорости вращения ротора электродвигателя

(для схем №№ 1, 2, 3)

$$W_d(p) = \frac{k_{\text{дт}}}{T_{\text{д}}p + 1},$$

где коэффициент передачи $k_{\text{дт}} = 0,02$ В/(рад/с); постоянная времени
 $T_{\text{д}} = 0,1$ с.

2.6. Датчик угла поворота редуктора

2.6.1. Передаточная функция для схем №№ 4, 10

$$W_d(p) = k_{\text{дт}},$$

где коэффициент передачи датчика угла поворота
 $k_{\text{дт}} = 0,01$ В/рад.

2.6.2. Передаточная функция для схем №№ 6, 7, 8, 9

$$W_d(p) = \frac{k_{\text{дт}}}{T_{\text{д}}p + 1},$$

где коэффициент передачи датчика угла поворота $k_{\text{дт}} = 0,01$ В/рад,
 постоянная времени датчика угла поворота $T_{\text{д}} = 0,05$ с.

2.7. Звенья корректирующих обратных связей

$$W_{0i}(p) = k_{0i}p, \quad i=1,2,3,4,$$

где коэффициенты передачи корректирующих звеньев обратной связи

$$k_{01} = 2 \times 10^{-5};$$

$$k_{02} = 5;$$

$$k_{03} = 60;$$

$$k_{04} = 4.$$

При необходимости коэффициенты передачи корректирующих звеньев
 обратной связи k_{0i} , $i = 1, 2, 3, 4$ могут варьироваться для обеспечения
 требуемого качества функционирования САУ.

ОСНОВНЫЕ ВОПРОСЫ, ПОДЛЕЖАЩИЕ

ИССЛЕДОВАНИЮ И РАЗРАБОТКЕ

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ И ЗАЩИТЫ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

Указания по анализу и коррекции САУ

1. Анализ устойчивости САУ с применением алгебраического и частного критериев устойчивости

- 1.1. Составление передаточной функции разомкнутой и замкнутой САУ.
- 1.2. Анализ устойчивости САУ с применением критерия Рауса-Гурвица.
- 1.3. Анализ устойчивости САУ с применением критерия Найквиста.
- 1.4. Анализ путей повышения устойчивости САУ.

2. Анализ точности САУ в вынужденном режиме

- 2.1. Анализ статической ошибки.
- 2.2. Анализ ошибки по скорости.
- 2.3. Анализ путей повышения устойчивости САУ.

3. Анализ качества переходного процесса

- 3.1. Частотный метод анализа.
- 3.2. Корневой метод анализа.
- 3.3. Анализ путей повышения качества переходного процесса.

4. Разработка рекомендаций по повышению качества процесса управления исследуемой САУ

- 4.1. Выбор путей коррекции САУ.
- 4.2. Расчет запасов устойчивости скорректированной САУ по амплитуде и фазе.
- 4.3. Расчет точности скорректированной САУ в вынужденном режиме.
- 4.4. Оценка качества переходного процесса скорректированной САУ.

1. При анализе устойчивости САУ применять последовательно алгебраический критерий Рауса-Гурвица и частотный критерий Найквиста.
2. При анализе запасов устойчивости САУ по амплитуде и фазе использовать логарифмические АЧХ и ФЧХ разомкнутой САУ.
3. Анализ качества переходного процесса САУ проводить с использованием корневого и частотного методов анализа переходных процессов.
4. Для вычисления значений диагональных миноров матрицы Гурвица, вычисления корней характеристических уравнений, построения годографа амплитудно-фазовой характеристики, логарифмических АЧХ и ФЧХ и при анализе переходного процесса исследуемой САУ использовать прикладную программу Mathcad.
5. Для повышения качества процесса управления исследуемой САУ могут быть скорректированы параметры основных звеньев САУ и введены дополнительные корректирующие звенья.
6. Параметры корректирующих звеньев и усилителя САУ варьируются с учетом обеспечения запасов устойчивости по амплитуде (не менее 6 дБ) и фазе (не менее 30 град.) при обеспечении высокой точности САУ в статическом режиме (относительная ошибка не более 5%) и необходимой точности по скорости.
7. При исследовании свойств САУ удобно преобразовать исходную структурную схему САУ с целью получения единичной главной обратной связи, отнеся датчик к объекту управления и получив таким образом

преобразованный объект как объект управления с последовательно подключенным к его выходу датчиком.

Требования к содержанию и оформлению курсовой работы

Пояснительная записка к курсовой работе должна содержать:

1. Титульный лист.

2. Введение

Во введении раскрывается актуальность темы, формулируются цели и задачи работы, описываются предмет, объект и методы исследования.

3. Основная часть.

Основная часть должна быть посвящена анализу устойчивости, переходных процессов и точности САУ, анализу основных динамических характеристик САУ и необходимой их коррекции. Здесь приводятся аналитические выражения и графики: годографы, логарифмические АЧХ, ФЧХ, графики переходной функции.

4. Выводы и рекомендации по обеспечению качества функционирования САУ.

5. Список использованных источников.

Оформляется пояснительная записка в соответствии с требованиями ГОСТа по оформлению отчета о научно-исследовательской работе. Объем пояснительной записки не более 20 страниц.

В приложении к пояснительной записке должен быть представлен демонстрационный материал, иллюстрирующий основные результаты анализа статических и динамических свойств САУ, и разработанные рекомендации по повышению качества процесса управления исследуемой САУ (не менее 3 плакатов, слайдов). При этом чертежи, графики, диаграммы, схемы должны соответствовать требованиям государственных стандартов ЕСКД.

В качестве примера в Приложении 3 представлен фрагмент иллюстрации результатов курсовой работы, выносимых на доклад.

Порядок защиты курсовой работы

Пояснительная записка по курсовой работе представляется руководителю курсовых работ не позднее чем за 5 дней до назначенного дня ее защиты для предварительной оценки качества содержания и оформления курсовой работы.

Защита курсовой работы проводится в форме доклада ее основных результатов. На доклад отводится до 10 минут, в течение которых студент должен раскрыть суть проведенных исследований и основные результаты анализа САУ с последующей её коррекцией. После доклада студент отвечает на вопросы руководителя по уточнению результатов выполненной курсовой работы и проверке уровня знаний и компетенций по анализу и разработке САУ.

Оценка курсовой работы

Курсовая работа оценивается руководителем курсовой работы по следующим компонентам:

- по степени полноты, достоверности и обоснованности результатов выполнения задания по курсовой работе;
- по качеству оформления пояснительной записки и демонстрационного материала;
- по уровню качества доклада и использованного в ходе доклада иллюстративного материала;
- по уровню обоснованности и полноты ответов студента в ходе защиты курсовой работы.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Основная литература

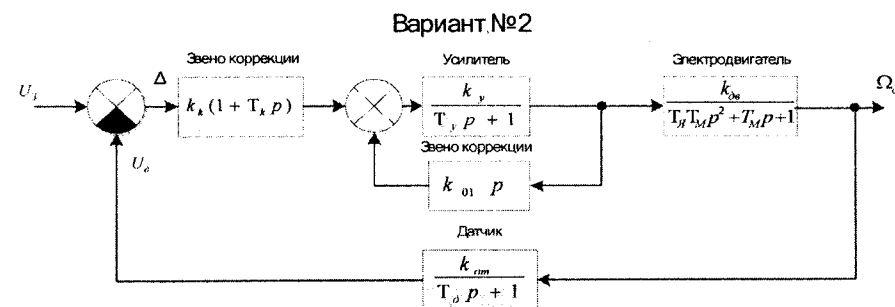
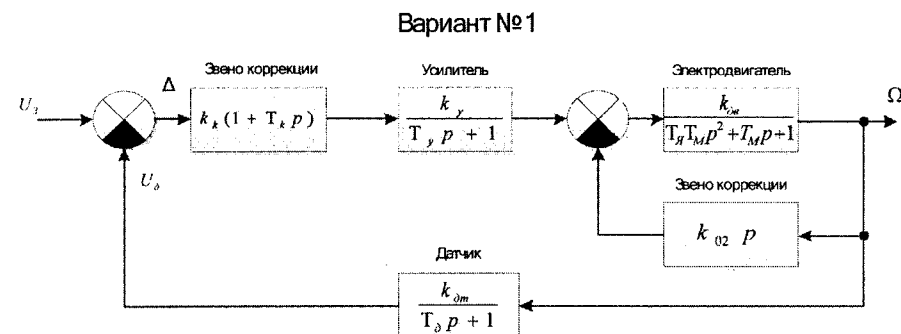
1. Юревич Е. И. Теория автоматического управления. Учебник для вузов / Е. И. Юревич. - 3-е изд. - СПб.: БХВ-Петербург, 2007.
2. Востриков А. С., Французова Г. А. Теория автоматического регулирования. Учеб. пособие для вузов. - М.: Высшая школа, 2004.
3. Савин М. М. Теория автоматического управления: Учеб. пособие для вузов / М. М. Савин, В. С. Елсуков, О. Н. Пятина; под ред. д.т.н., проф. В. И. Лачина. - Ростов н/Д: Феникс, 2007.

Дополнительная литература

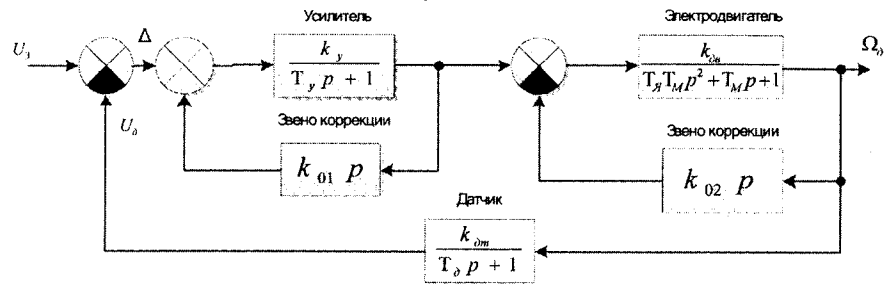
1. Дьяконов В. П. Mathcad 8-12 для студентов. - М.: СОЛОН-Пресс, 2005.
2. Дьяконов В. П. Mathcad 11/12/13 в математике. Справочник. - М.: Горячая линия – Телеком, 2007.

Приложение 1

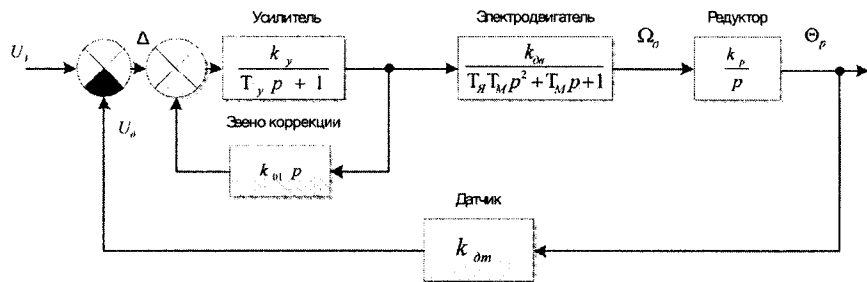
Варианты структурных схем



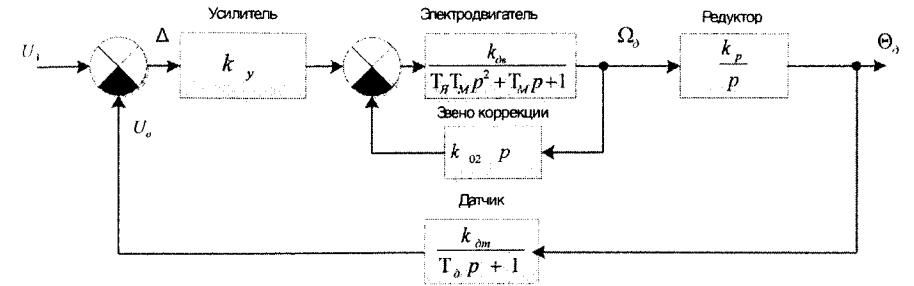
Вариант №3



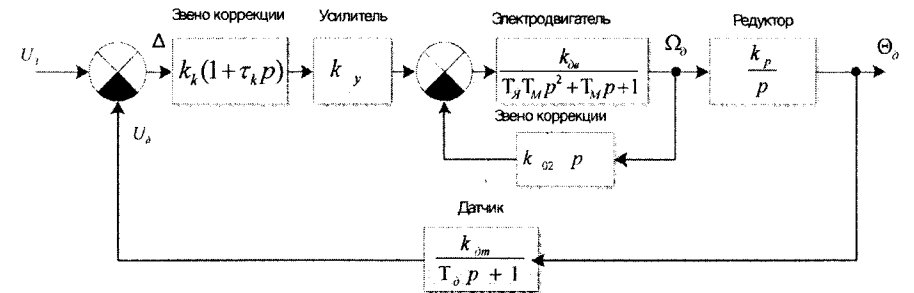
Вариант №4



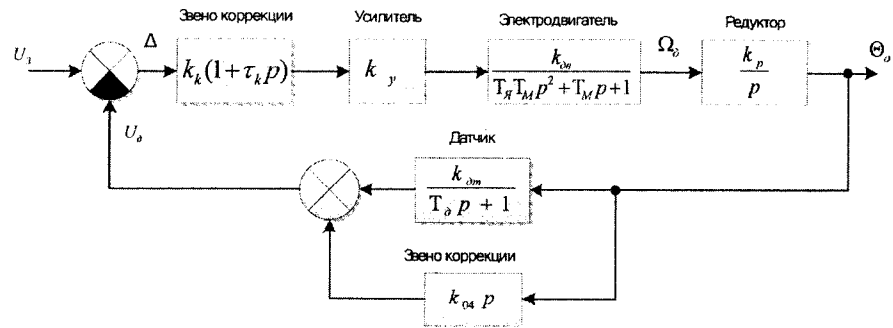
Вариант №5



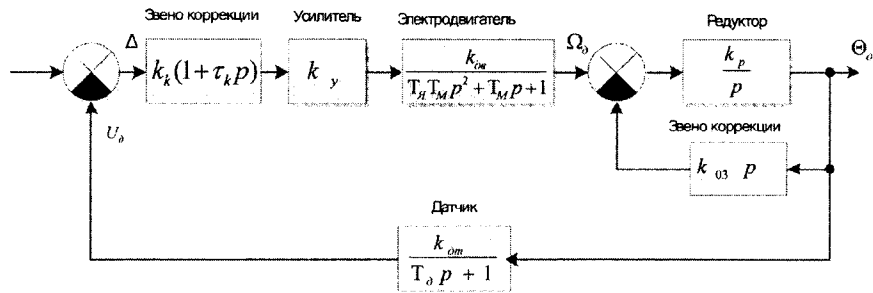
Вариант №6



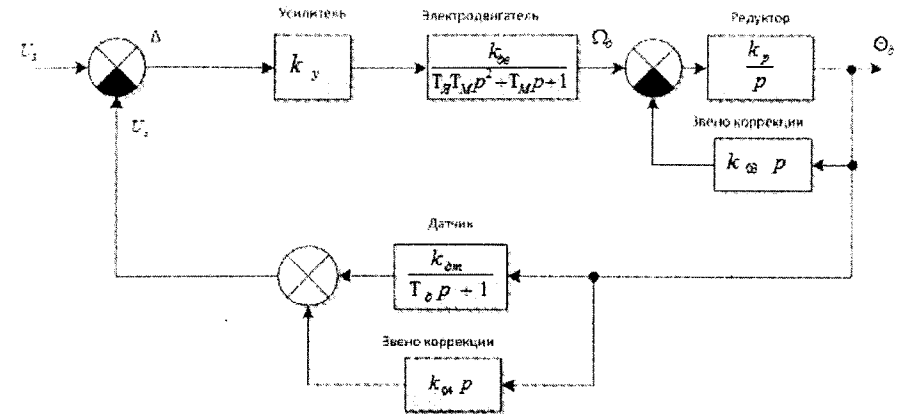
Вариант №7



Вариант №8



Вариант №9



Вариант №10

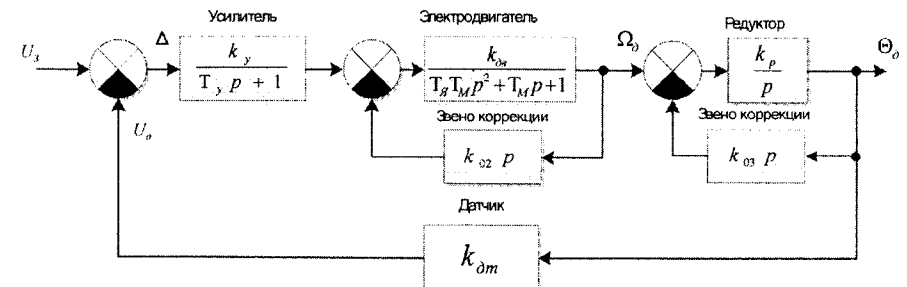


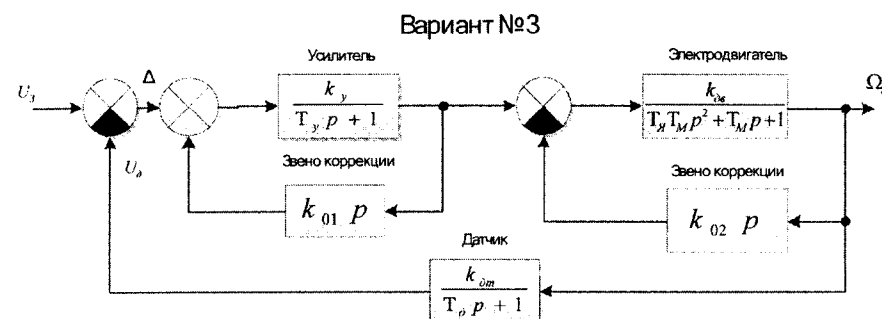
Таблица 1

Варианты задания

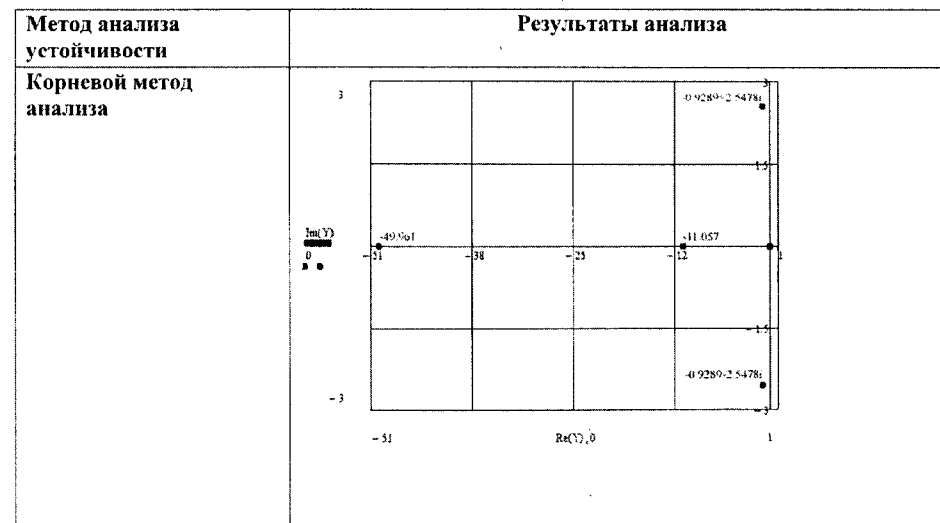
Номер варианта	Номер схемы	Коэффициент усиления, k_y	Постоянная времени, T_y
1	1	10^3	0,04
2	2	10^3	0,04
3	3	10^3	0,04
4	4	10^3	0,04
5	5	10^3	0,04
6	6	10^3	0,04
7	7	10^3	0,04
8	8	$3 \cdot 10^3$	0,04
9	9	$3 \cdot 10^3$	0,04
10	10	$3 \cdot 10^3$	0,04
11	1	$2 \cdot 10^3$	0,06
12	2	$2 \cdot 10^3$	0,06
13	3	$2 \cdot 10^3$	0,06
14	4	$2 \cdot 10^3$	0,06
15	5	$2 \cdot 10^3$	0,06
16	6	$4 \cdot 10^3$	0,06
17	7	$4 \cdot 10^3$	0,06
18	8	$4 \cdot 10^3$	0,06
19	9	$4 \cdot 10^3$	0,07
20	10	$4 \cdot 10^3$	0,07
21	1	10^3	0,05
22	2	10^3	0,05
23	3	10^3	0,05
24	4	10^3	0,05
25	5	10^3	0,05

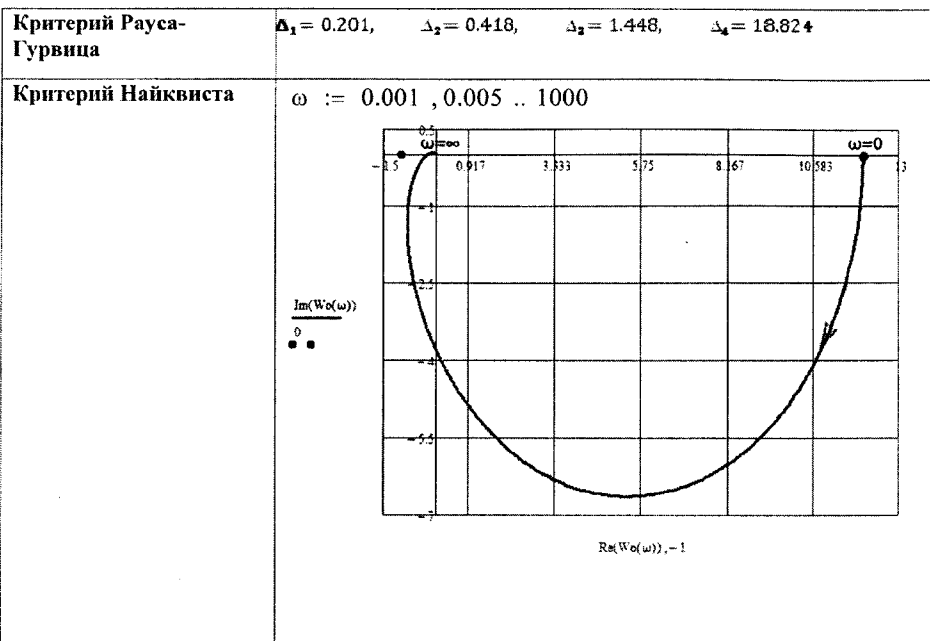
Пример иллюстрации доклада о результатах исследования САУ

Структурная схема САУ

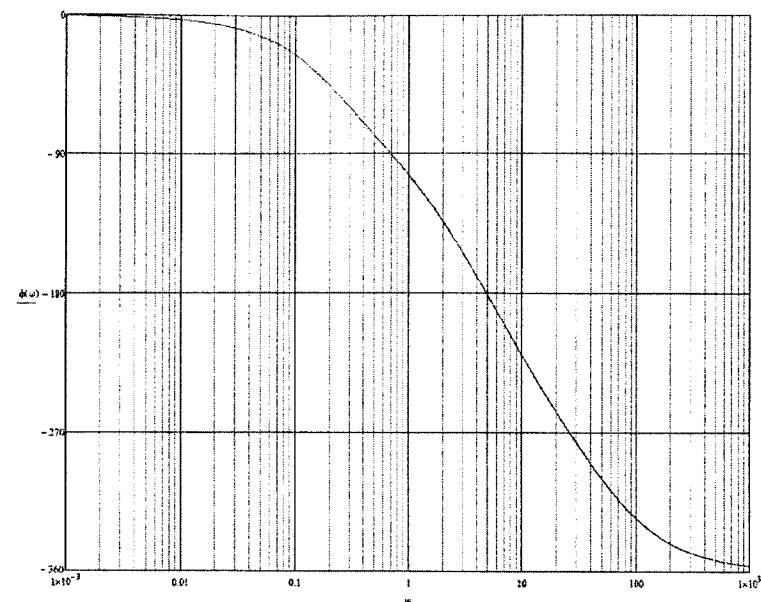


Анализ устойчивости САУ

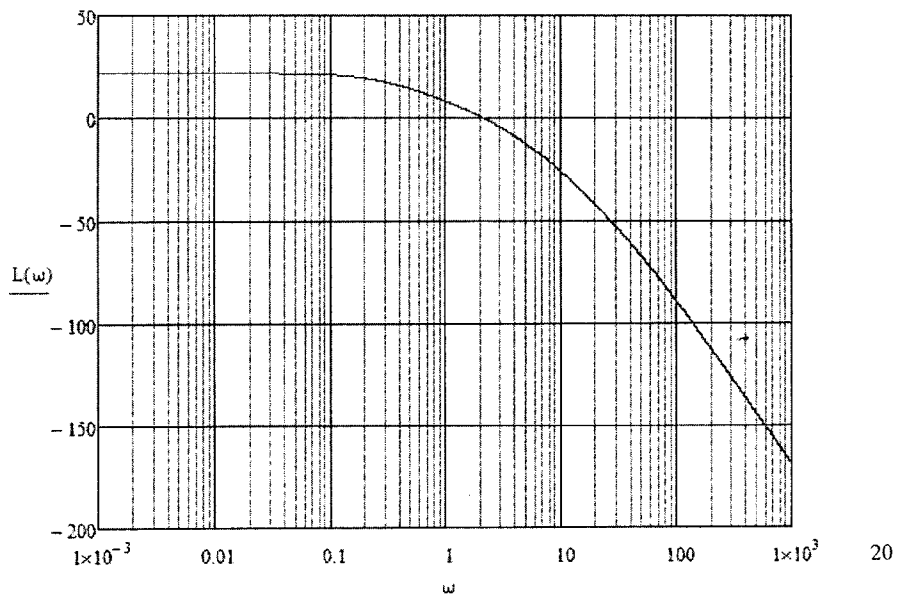




Логарифмическая фазо-частотная характеристика разомкнутой САУ



Логарифмическая амплитудно-частотная характеристика разомкнутой САУ



Запас устойчивости по амплитуде:

$$L(\omega) := 0 \quad \omega_{\pi} := 4.843 \quad \Delta L := 11.998 \text{ дБ}$$

Запас устойчивости по фазе:

$$\omega_c := 2.143 \quad \phi := -137.33 \quad \Delta\phi := 180 - |\phi| = 42.67 \text{ град}$$

Анализ колебательности и длительности переходного процесса

Показатель колебательности:

$$\omega_{cp} := 3.17$$

$$M := \frac{\sqrt{\text{Re}(W_3(\omega_{cp}))^2 + \text{Im}(W_3(\omega_{cp}))^2}}{\sqrt{\text{Re}(W_3(0))^2 + \text{Im}(W_3(0))^2}} = 1.084$$

Время переходного процесса:

$$t_n := 2 \cdot \frac{2\pi}{\omega_{cp}} = 3.955$$

Критерий длительности - степень устойчивости:

$$P := \begin{pmatrix} -11.057 \\ -49.961 \\ -0.9289 - 2.5478i \\ -0.9289 + 2.5478i \end{pmatrix}$$

$$\eta = \min_{\{i\}} |\operatorname{Re}(p_i)| = 0.929$$

$$tn \leq \frac{3}{\eta} \text{ float}, 3 \rightarrow tn \leq 3.23$$

Критерий колебательности - степень колебательности

$$z := -0.9289 + 2.5478i$$

$$\mu := \left| \frac{\operatorname{Im}(z)}{\operatorname{Re}(z)} \right| = 2.743$$

$$\gamma := \frac{\arg(z) \cdot 180}{\pi} = 110.031 \text{ град.}$$

Анализ точности САУ

Анализ статической ошибки:

$$\Delta := 1 - W_3(0) = 0.077$$

$$\frac{1}{1 + k_y \cdot k_{дт} \cdot k_{дв}} \leq 0.05$$

$$k_{дт} \geq \frac{19}{k_y \cdot k_{дв}} ; \quad \frac{19}{k_y \cdot k_{дв}} = 0.032$$

Анализ ошибки по скорости:

$$\Delta c := \frac{d}{dp} (1 - W_3(p)) \left| \begin{array}{l} \text{substitute } p = 0 \\ \text{float}, 5 \end{array} \right. \rightarrow 0.33515$$