

Министерство образования и науки Российской Федерации

Государственное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Оренбургский государственный университет»

Кафедра управления и информатики в технических системах

*Т. А. Пищухина*

# ИССЛЕДОВАНИЕ ЛИНЕЙНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

Методические указания  
к лабораторным работам

Рекомендовано к изданию Редакционно-издательским советом  
Государственного образовательного учреждения высшего  
профессионального образования «Оренбургский государственный  
университет»

Оренбург  
ИПК ГОУ ОГУ  
2010

УДК 681.5 (07)  
ББК 32.965я7  
ПЗ6

Рецензент - доктор экономических наук, профессор В.Н. Шепель

Пищухина, Т. А.

**ПЗ6** Исследование линейных систем: методические указания к лабораторной работе / Т. А. Пищухина; Оренбургский гос. ун-т. – Оренбург : ОГУ, 2010. – 63 с.

Основное содержание: описываются типовые звенья систем управления, используемые в качестве «кирпичиков» для построения более сложных систем. Путем математического моделирования в программе SAMSIM рассматриваются их временные и частотные характеристики, виды соединений, реализация на элементарных звеньях основных законов регулирования. В начале приводится краткое руководство по самой программе SAMSIM.

Методические указания по курсу «Теория автоматического управления» предназначены для студентов обучающихся по специальностям 220201 Управление и информатика в технических системах, 230100 Информатика и вычислительная техника (бакалавриат) очная форма обучения

УДК 621.9 (076.5)  
ББК 34.671я73

© Пищухина Т.А., 2010  
© ГОУ ОГУ, 2010

# Содержание

Введение.....	4
1 Общие сведения.....	7
1.1 Основные понятия теории автоматического управления.....	7
1.2 Описание программы «SAMSIM».....	12
1.3 Настройки программы.....	13
1.4 Поле редактора.....	17
1.5 Открытие (загрузка с диска) готовой модели.....	18
1.6 Расчёт схемы.....	18
1.7 Установка/удаление контрольной точки.....	19
1.8 Создание новой модели.....	20
1.9 Задание названия модели.....	21
1.10 Ввод параметров элементов схемы.....	22
1.11 Задание параметров интегрирования.....	24
1.12 Проверка схемы.....	25
1.13 Фазовый портрет (фазовая траектория).....	25
1.14 Частотные характеристики.....	26
1.15 Годограф (АФЧХ – амплитудно-фазочастотная характеристика).....	27
1.16 Просмотр результатов расчёта в таблице.....	28
1.17 Печать модели.....	28
1.18 Печать результатов расчёта и графиков.....	29
1.19 “Горячие” клавиши программы.....	30
2 Исследование характеристик линейных динамических звеньев. Часть 1.....	31
2.1 Цель работы.....	31
2.2 Общие указания.....	31
2.3 Безынерционное (пропорциональное, усилительное) звено .....	33
2.4 Интегрирующее (астатическое) звено .....	34
2.5 Аперiodическое инерционное звено первого порядка .....	36
2.6 Порядок выполнения работы.....	38
2.7 Содержание отчета.....	39
3 Исследование характеристик линейных динамических звеньев. Часть 2.....	39
3.1 Цель работы.....	40
3.2 Общие указания.....	40
3.3 Колебательное звено .....	40
3.4 Дифференцирующее звено .....	43
3.5 Запаздывающее звено .....	47
3.6 Порядок выполнения работы.....	47
3.7 Содержание отчета.....	48
4 Исследование характеристик типовых соединений звеньев.....	48
4.1 Цель работы.....	48
4.2 Общие указания.....	48
4.3 Порядок выполнения работы.....	51
4.4 Содержание отчета.....	52
5 Исследование динамических характеристик типовых законов регулирования.....	52
5.1 Цель работы.....	52
5.2 Общие указания.....	53
5.3 Порядок выполнения работы.....	54
5.4 Содержание отчета.....	56
6 Исследование линейных систем автоматического регулирования.....	56
6.1 Цель работы.....	56
6.2 Общие указания.....	56
6.3 Порядок выполнения работы.....	58

6.4 Содержание отчета.....	59
7 Требования к отчетам.....	60
8 Литература, рекомендуемая для изучения дисциплины.....	60
Список использованных источников.....	61

## Введение

Предметы «Теория автоматического управления» и «Основы теории автоматического управления» являются общепрофессиональными дисциплинами для специальностей 230100 «Информатика и вычислительная техника» и 220201 «Управление и информатика в технических системах». Они базируются на следующих дисциплинах: математика, математический анализ, дискретная математика, вычислительная математика, теория вероятностей и математическая статистика, физика, электротехника и электроника – у специальности «Информатика и вычислительная техника» и теоретическая механика, общая электротехника и электроника, математика – у специальности «Управление и информатика в технических системах».

Курс рассчитан на 34 лабораторных часа у специальности «Информатика и вычислительная техника» и на 68 лабораторных часов у специальности «Управление и информатика в технических системах». Формой итогового контроля является зачет и экзамен у обеих специальностей.

В данном издании содержится 6 лабораторных работ по предметам «Теория автоматического управления» и «Основы теории управления». В начале каждой лабораторной работы даны краткие теоретические сведения, необходимые для решения всех последующих примеров и задач, а в конце представлен порядок выполнения работы и содержание отчета.

В учебном процессе дисциплин «Теория автоматического управления» и «Основы теории автоматического управления» используется программа «Samsim». «Samsim» - это программа для моделирования линейных и

нелинейных систем автоматического управления. Моделирование систем – основа теории в вышеуказанных курсах. «Samsim» имеет очень удобный интерфейс и прост в использовании. Не требует дополнительных знаний программирования и математики в отличие от других аналогичных программ. Эта программа не занимает много места и легко устанавливается одной папкой на диск. При всей простоте «Samsim» дает очень наглядное представление об анализе систем автоматического управления использованием графической интерпретации отдельных звеньев систем и их соединения между собой. «Samsim» рассчитывает характеристики звеньев (и их соединений) и выдает их в виде графиков и таблиц с расчетными значениями (форму выдачи выходных данных можно настраивать в удобных пользовательских настройках). Поэтому «Samsim» был выбран в качестве программного обеспечения для лабораторных работ по курсам «Теория автоматического управления» и « Основы теории автоматического управления».

## **1 Общие сведения**

### **1.1 Основные понятия теории автоматического управления**

Теория автоматического управления – это наука, изучающая методы анализа и синтеза систем автоматического управления при помощи математического моделирования.

Любая система управления включает в себя устройство управления и объект управления.

Дадим основные понятия и определения, ориентируясь на схему на рисунке 1.

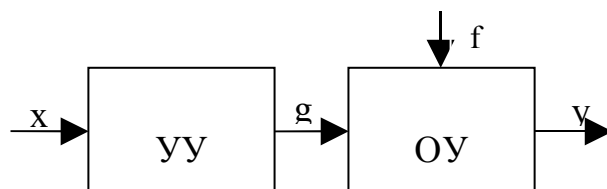


Рисунок 1 – Обобщенная структурная схема системы управления

**Объект управления (ОУ)** – устройство (система), осуществляющее технический процесс и нуждающееся в специально организованных воздействиях извне для осуществления своего алгоритма функционирования [2].

**Алгоритм функционирования объекта управления** – зависимость управляемой величины от управляющего и основного возмущающего воздействий.

**Устройство управления (УУ)** – устройство, осуществляющее в соответствии с алгоритмом управления воздействие на объект управления.

**Алгоритм управления** – совокупность предписаний, определяющая характер воздействий извне на объект управления, обеспечивающих его алгоритм функционирования.

**Управляемая величина** – физическая величина, характеризующая состояние объекта (на рисунке 1 это сигнал  $y$ ).

**Задающее воздействие** – предписанное (желаемое) значение управляемой величины на входе системы (на рисунке 1 это сигнал  $x$ ).

**Управляющее воздействие** - это воздействие, которое вырабатывается в управляющем устройстве в соответствии с алгоритмом управления в

зависимости от истинного и предписанного значений управляемой величины ( на рисунке 1 это сигнал g).

**Возмущающее воздействие** – воздействие внешней среды на объект управления, оказывающее негативное влияние на процесс управления (на рисунке 1 сигнал f).

Вид схемы на рисунке 1 может меняться в зависимости от используемого принципа управления.

**Принципы управления** – принципы, определяющие, каким образом связаны алгоритм функционирования и управления с реальным функционированием системы. Рисунок 1 демонстрирует принцип так называемого разомкнутого управления. В этом случае нас не интересует результат нашего управления. И мы не получаем никаких сведений о том, как осуществляется управление системой. Иначе говоря, относительно информации о результатах реализации управления система «разомкнута». Управление ориентируется только на задающее воздействие на входе системы.

Примерами разомкнутых систем могут быть системы с управляющими автоматами. Автомат действует строго по заданной программе, не получая сведений, правильно ли осуществляется эта программа. Системы пуска электродвигателей конвейеров тоже будут разомкнутыми и т.п.

Еще один вид разомкнутого управления – управление по возмущению (в этом случае структурная схема системы управления будет содержать в составе еще канал 1 на рисунке 2).



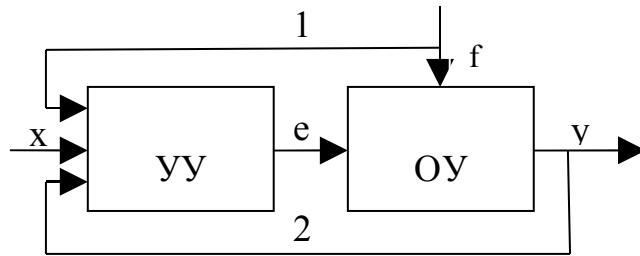


Рисунок 2 – Принципы управления

Управляющее воздействие в этом случае зависит не только от задающего воздействия, но и от возмущения. Однако здесь тоже отсутствует связь с результатами управления.

В большинстве случаев разомкнутые системы управления по возмущению выполняют функции стабилизации управляемой величины[3].

Преимущество разомкнутых систем управления по возмущению – их быстрое действие: они компенсируют влияние возмущения еще до того, как оно появится на выходе объекта. Но применимы эти системы лишь в том случае, когда на управляемую величину действуют одно или два возмущения и если есть возможность измерять эти возмущения. Сравнительно легко можно измерять, например, температуру, расход вещества, газа, ток нагрузки на генератор. Поэтому, если эти величины действуют на систему как возмущения, то их стремятся стабилизировать при помощи дополнительного устройства (компенсатора) или ввести в основную систему управления данным объектом сигнал, пропорциональный данному воздействию.

В системе управления с обратной связью (замкнутой системе) на вход управляющего устройства поступают задающее воздействие и контрольное (на рисунке 2 контрольное воздействие поступает по каналу 2). Управляющее воздействие в замкнутой системе формируется в большинстве случаев в

зависимости от величины и знака отклонения истинного значения управляемой величины ( $y$ ) от ее заданного значения ( $x$ ), то есть в зависимости от сигнала ошибки, рассогласования ( $e$  сигнал на рисунке 2  $e=x-y$ ).

В замкнутой системе контролируется непосредственно управляемая величина и тем самым при выработке управляющих воздействий учитывается действие всех возмущений, влияющих на управляемую величину. В этом преимущество замкнутых систем. Но из-за наличия замкнутой цепи в этих системах могут возникать колебания, которые в некоторых случаях делают систему неработоспособной. Кроме того, из-за того, что сигнал формируется в зависимости от выходного (то есть управление не компенсирует входное воздействие, пока не появится выходное), управление «тормозит», замедляется, что снижает его эффективность. Тем не менее этот принцип широко применяется.

В комбинированных системах создают две цепи воздействий – по задающему сигналу и по возмущению. В комбинированной системе эффективность управления выше, чем при остальных принципах.

При исследовании сложной системы управления она разбивается на отдельные более простые элементы – звенья, представляемые в виде математических моделей. Звено обозначается блоком, изображенным на рисунке 3.

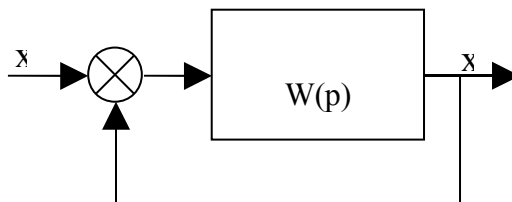


Рисунок 3 – Обозначение типового звена на схемах управления

Стрелками указываются входные и выходные величины (слева – входные, справа – выходные, сверху – возмущения). Внутри блока ставится символ алгоритма преобразования. Кружком обозначается суммирование, вычитание, умножение или деление сигналов.

На рисунке 3  $W(p)$  – обозначение передаточной функции.

**Передаточной функцией** называется отношение оператора воздействия (выражение, стоящее при входной величине) к собственному оператору системы (выражение, стоящее при выходной величине)[4].

Проще говоря, передаточная функция есть своеобразный коэффициент пропорции между входным и выходным сигналом, показывающий на какую величину (выражение, функцию) нужно умножить входную характеристику системы, чтобы получить выходную. Сложность этого коэффициента определяется сложностью самой системы, числом входящих в нее простых элементов.

Передаточная функция вместе с математическим описанием входного и выходного сигналов представляют собой модель отдельного звена (системы), которой пользуются как заменителем системы при анализе и синтезе.

## **1.2 Описание программы «SAMSIM»**

Программа предназначена для моделирования линейных и нелинейных цепей в системах автоматического управления. Работает с моделями, которые можно представить в форме блок-схем.

Программа имеет 48 типовых блоков. С помощью этой программы возможно:

- построение любых схем моделей из элементов, предлагаемых библиотеками,
- задание параметров интегрирования и параметров элементов схемы,
- сохранение в файле и считывание из файла модели (схемы и ее параметров),
- построение до 12 зависимостей от времени в любых точках схемы,
- построение фазовых портретов для любых схем,
- построение частотных характеристик и годографов для любых линейных схем;
- представление результатов расчёта в графической и табличной форме,
- сохранение результатов расчёта в текстовом файле или в файле MS Excel,
- сохранение графиков и рисунка схемы в bmp- или jpg-файле,
- вывод на печать схемы модели и её параметров, результатов расчёта.

## **1.3 Настройки программы**

Для вызова диалогового окна настроек программы необходимо выбрать пункт меню “Настройки > Пользователя” (рисунок 6).

На вкладке «Вид и поведение» можно задать окно программы, положение

окна Библиотек относительно окна Редактора (слева или справа в главном окне), вывод результатов расчетов.

**Задание 1** Установить настройки пользователя, как показано на рисунке 6.

На подвкладке «Методы» настроек пользователя (рисунок 7) можно задать некоторые численные методы, используемые при расчёте схемы.

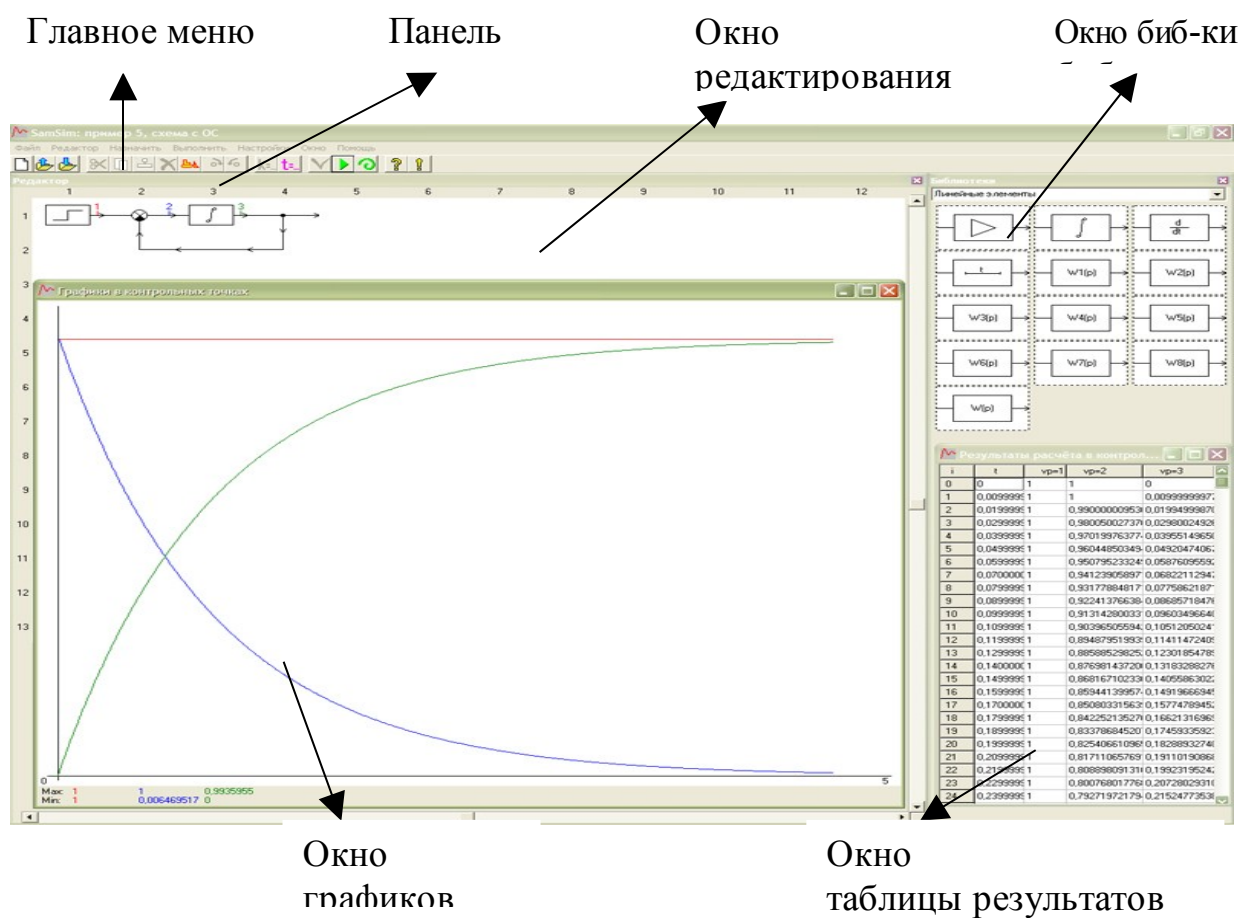
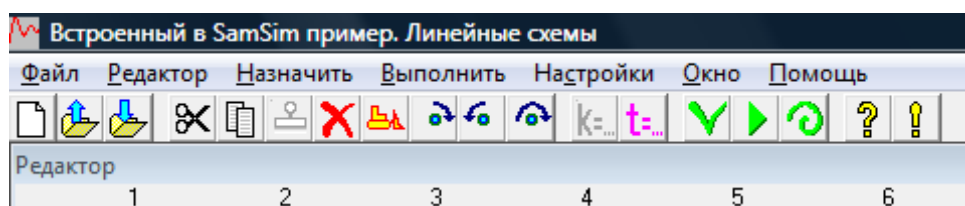
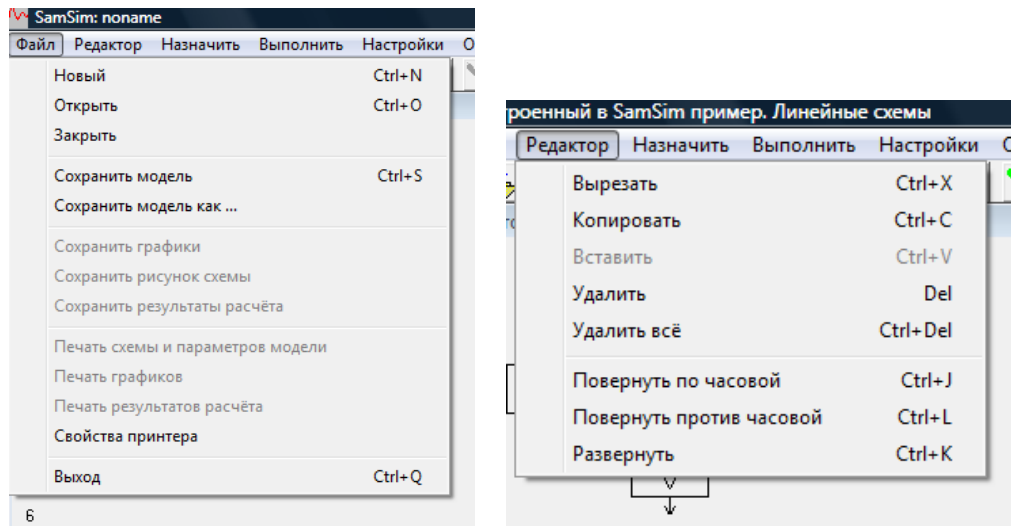


Рисунок 4 – Общий вид программы «Samsim»

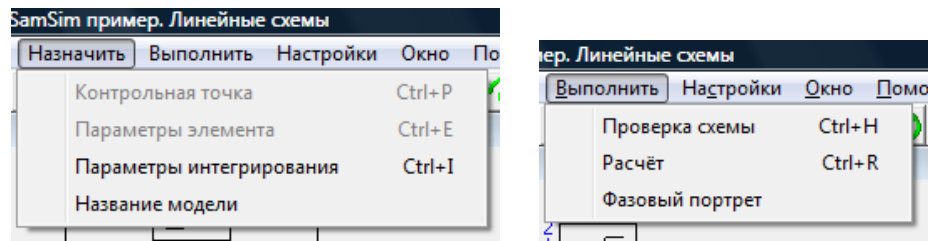


Общий вид меню Samsim (Набор кнопок и подменю над ним идентичны)



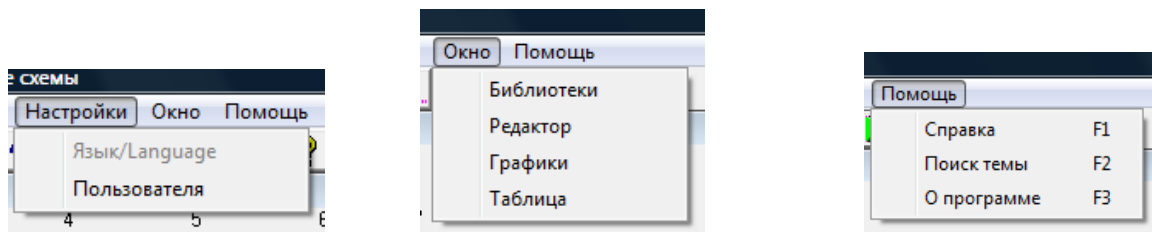
Подменю «Файл»

Подменю «Редактор»



Подменю «Назначить»

Подменю «Выполнить»



Подменю «Настройки»

Подменю «Окно»

Подменю «Помощь»

Рисунок 5 – Меню и подменю программы «Samsim»

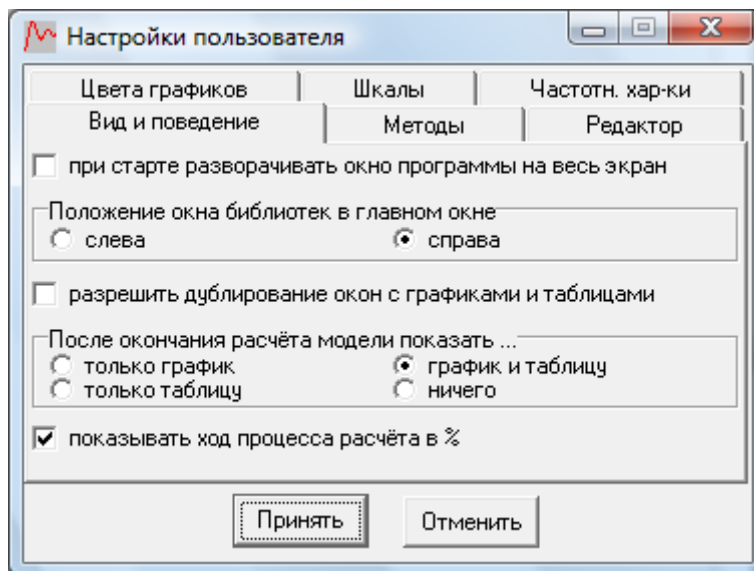


Рисунок 6 – Окно настроек пользователя

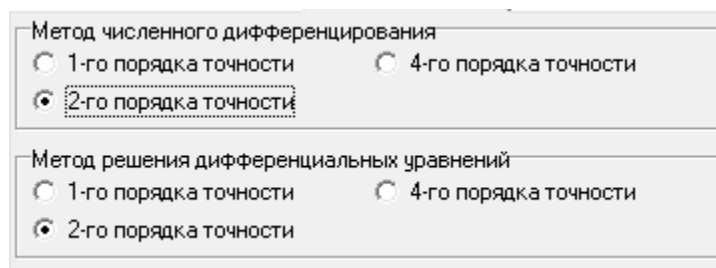


Рисунок 7 – Выбор численного метода расчета

Используются следующие методы численного интегрирования: для интегрирующего звена - формула трапеций; для дифференциальных уравнений - метод Адамса 2-го порядка и метод Адамса-Мултона 4-го порядка.

**Задание 2** Установить, как показано на рисунке 7.

**Задание 3** Вывод частотных характеристик (подвкладки настроек пользователя) установите в радианах. Остальные настройки - по предпочтению.

## 1.4 Поле редактора

Поле редактора разбито на ячейки, в которых могут быть расположены только элементы схемы (рисунок 9).

На одном поле могут размещаться несколько независимых однотипных схем. Размер поля редактора ограничен размером 5000 на 5000 ячеек.

Слева и сверху поля редактора расположены индексы ячеек. Индексы предназначены для индикации положения элементов схемы в поле редактора.

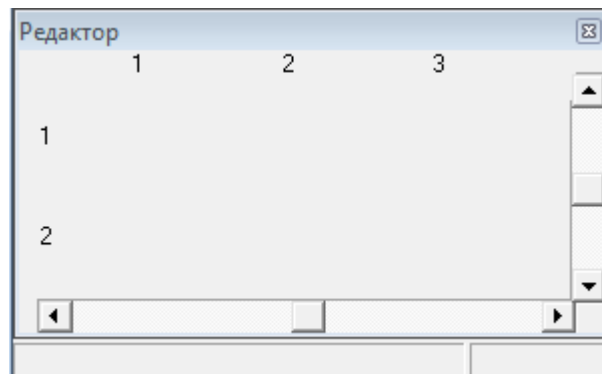



Рисунок 8 – Панель редактора

После открытия модели из файла модель помещается в поле Редактора так, что левая верхняя ячейка наименьшего прямоугольника, накрывающего всю схему, имеет индекс (1,1).


Справа и снизу поля редактора расположены полосы прокрутки, с помощью которых можно передвинуть схему в любую сторону. Если движок полосы прокрутки мигает, это означает, что он теперь может реагировать на клавиши со стрелками (расположены справа на клавиатуре).



При нажатии левой кнопки мышки по полю редактора выделяется соответствующая ячейка прямоугольником синего цвета. Если выделена пустая ячейка, то в неё можно поместить элемент схемы двойным щелчком левой кнопки мышки по необходимому элементу в окне библиотеки или вставить из буфера памяти после копирования или вырезания. Если выделена ячейка с элементом, то возможно его вырезание, копирование, удаление, задание параметров элемента, если они есть.


Элементы схемы можно перетаскивать по полю редактора, их можно разворачивать в любом направлении соответствующими кнопками  на панели инструментов программы.

### **1.5 Открытие (загрузка с диска) готовой модели**

Если у Вас уже имеется готовая схема модели, сохраненная в файле, то открыть ее можно следующим образом: в главном меню программы выбираем пункт “Файл” > ”Открыть” или кнопку  на панели инструментов, и в открывшемся диалоговом окне выбрать данный файл.

Вы можете также открыть и посмотреть уже готовые схемы моделей в качестве примеров, которые находятся в файлах программы Demo\*.sam.

## 1.6 Расчёт схемы

Для расчёта схемы выберите в главном меню пункт “Выполнить” > “Расчёт” или нажмите соответствующую кнопку на  панели инструментов. Если расчёт возможен, то он производится, и по его результатам будут построены графики в заданных контрольных точках схемы. Вид графика (зависимость от времени или частотные характеристики) зависит от типа входного элемента, задающего сигнал (ступенька, генератор кающейся частоты, импульс и т.д.).

Для проведения расчёта схемы должна быть установлена хотя бы одна контрольная точка. Цвет кривой на графике соответствует цвету номера контрольной точки. Под графиками, соответствующим цветом, выводятся минимальные и максимальные значения изображаемой величины.

## 1.7 Установка/удаление контрольной точки

Контрольная точка устанавливается на выходе элемента с помощью двойного щелчка левой кнопки мыши по этому элементу схемы, а также через пункты главного или всплывающего меню. Повторные двойные щелчки по этому же элементу снимают контрольную точку.

Номер контрольной точки устанавливается автоматически. Каждому номеру соответствует свой цвет. В схеме допускается не более 12-ти контрольных точек.

Если контрольная точка не устанавливается, то этому могут быть

следующие объяснения:

- на выбранном элементе невозможно установить контрольную точку в принципе (это элементы – соединения и разветвления и, значит, точку можно установить на выходе предыдущего или следующего элемента);


- вы не выбрали никакого элемента или щёлкаете по пустому месту схемы;

- в схеме уже установлено максимальное число контрольных точек.

#### **Задание 4**

1. Загрузите схему Demo0.sam.
2. Поставьте контрольные точки на выходах всех блоков.
3. Установите амплитуду входного сигнала и задержку, равными  $(N+10)/10$ , где N – Ваш номер в списке студентов группы.
4. Вычислите графики контрольных точек.
5. Сохраните графики в файл.
6. Сохраните в файл Вашу схему (программу) с именем DemoN-1

### **1.8 Создание новой модели**

Для создания новой схемы модели необходимо выбрать в главном меню программы пункт “Файл” > ”Новый” или нажать кнопку  на панели инструментов. Выбрав библиотеку элементов в окне Библиотеки, перетаскиваем мышкой из неё элементы в поле Редактора или, выбрав будущее положение элемента в поле Редактора (после щелчка мышью будущее место

расположения элемента выделяется синим прямоугольником), дважды щёлкнуть левой кнопкой мышки по нужному элементу в окне Библиотеки. С помощью операций перетаскивания в поле редактора, разворота элементов, копирования-вставки и удаления элементы выстраиваются в схему.

Доступ к операциям редактирования возможен как из пунктов главного меню, так и из “поп-меню”, “всплывающего” по щелчку правой кнопки мышки, или с помощью кнопок на панели инструментов, или с помощью “горячих” клавиш (см. приложение).

### **Задание 5**

1. Составьте новую схему типа схемы Demo0.sam, но не с параллельным, а последовательным соединением элементов.
2. Поставьте контрольные точки на выходах всех блоков.
3. Установите амплитуду входного сигнала и задержку, равными  $(N+10)/10$ , где N – Ваш номер в списке студентов группы.
4. Вычислите графики контрольных точек и сохраните их в файл.
5. Сохраните схему с именем Dev0N-2 в файл.

### **1.9 Задание названия модели**

Для задания названия модели необходимо выбрать пункт меню “Задать” (или “Назначить”) > “Название модели”. Длина названия не должна превышать 50 символов («лишние» отсекаются).

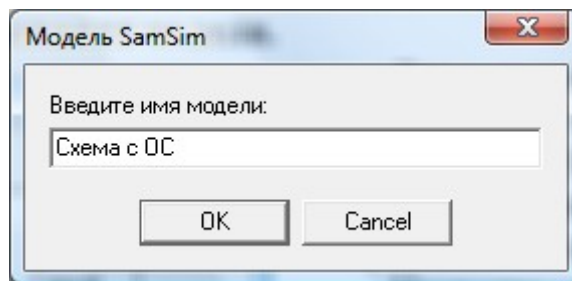



Рисунок 9 – Окно ввода названия модели

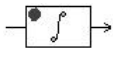
Название модели отображается в верхней полосе главного окна программы после имени файла модели.

**Задание 6** Задайте название Вашей модели DemoN-2.sam, и перезапишите файл.

### 1.10 Ввод параметров элементов схемы

Пока не заданы параметры для всех элементов схемы (у которых параметры имеются, включая и «Источник сигнала»), расчёт схемы невозможен. Задание параметров элементов схемы производится через пункт главного меню «Задать» > «Параметры элемента» или через соответствующий пункт меню, всплывающего по нажатию правой кнопки, или с помощью кнопки  на панели инструментов.

**Задание 7** Задайте в модели DemoN-2.sam, более длинный временной интервал, посмотрите и сохраните графики.

Если для элемента схемы можно задать параметры, но они не заданы, то этот элемент помечается значком  (сиреневая звёздочка или чёрный кружок, в зависимости от текущей цветовой палитры экрана и его разрешения) в левом верхнем углу изображения элемента на схеме.

После нажатия кнопки “Принять” в диалоговом окне задания параметров происходит автоматическая проверка корректности введённых значений. В случае некорректности принятие заданных значений не происходит. В некоторых случаях программа может предупредить о возможных проблемах при расчёте, но заданные значения будут приняты.

При задании параметров линейного звена общего вида: для подстройки размеров таблицы задания коэффициентов и начальных условий необходимо перейти (“щёлкнуть” мышкой) с одного поля ввода порядка числителя/знаменателя на другое (с “n” на ”m” и наоборот). Аналогично для остальных параметров ( $a_i$ ,  $b_i$  и  $y_i(0)$ ). При изменении размеров таблицы содержание всех её ячеек устанавливается по умолчанию.

После сохранения модели в файле все заданные параметры элементов также сохраняются в этом файле.

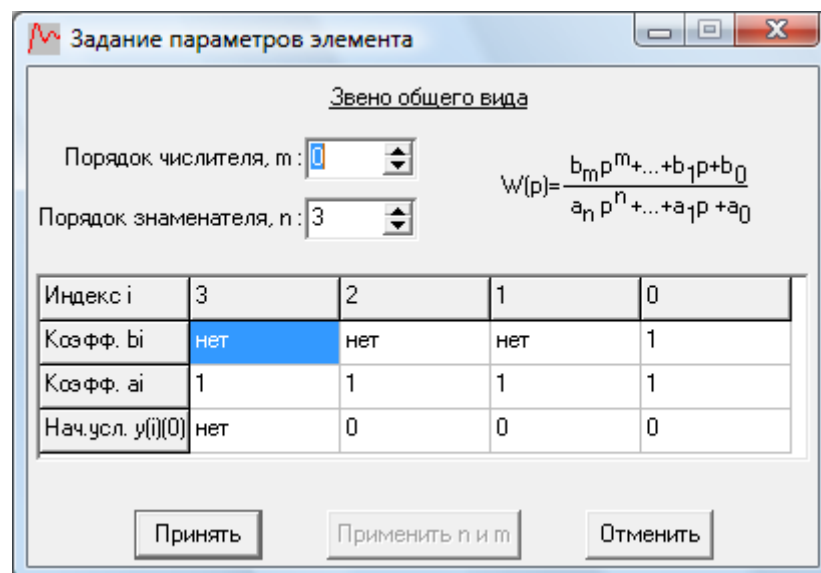



Рисунок 10 – Окно ввода параметров звена общего вида

## 1.11 Задание параметров интегрирования


Задание параметров интегрирования производится через пункт главного меню “Задать” > “Параметры интегрирования” или с помощью соответствующей кнопки  на панели инструментов.

Задание параметров интегрирования необязательно, если подходят значения установленные программой по умолчанию, равные от 0 до 5 с шагом 0.01.

После сохранения модели в файле параметры интегрирования также сохраняются в этом файле.

**Задание 8** Измените в модели DemoN-2.sam, в одном из блоков параметры интегрирования, посмотрите и сохраните графики.

## 1.12 Проверка схемы


После составления схемы и задания всех параметров элементов можно проверить ее на корректность составления, для чего выбираем в главном меню пункт “Выполнить” > ”Проверка схемы” или нажатием кнопки  на панели инструментов. Результат проверки будет сообщён.

Проверка также производится автоматически (если она не была сделана) перед началом выполнения расчёта схемы. Необходимые условия корректности схемы: в ней есть хотя бы один источник сигнала и параметры всех элементов заданы.

**Задание 9** Загрузить модель Demo2.sam, разорвать цепь обратной связи и

проверить схему.

### 1.13 Фазовый портрет (фазовая траектория)

Для построения фазового портрета выберите пункт главного меню “Выполнить” > “Фазовый портрет” или нажмите кнопку  на панели инструментов.

Для построения фазового портрета в схеме должно быть установлено чётное число контрольных точек. Один фазовый портрет строится по паре контрольных точек (нечётной и чётной), по оси “X” будут откладываться результаты расчёта в контрольных точках с нечётными номерами, по оси “Y” - с чётными номерами.

Если на вход нелинейного элемента подать синусоидальный сигнал достаточной амплитуды и назначить здесь контрольную точку 1, а на выходе этого нелинейного элемента поставить контрольную точку 2, то построение фазового портрета приведёт к построению статической характеристики этого нелинейного элемента.

Стрелка на фазовом портрете указывает направление развития процесса (соответствует возрастанию времени).

**Задание 10** Пример фазовой траектории посмотреть на модели Demo2.sam.

### 1.14 Частотные характеристики

Для построения частотных характеристик на входе схемы в качестве источника сигнала должен стоять генератор качающейся частоты (ГКЧ), расчёт



производится через пункт главного меню “Выполнить” > “Расчёт” или с помощью соответствующей кнопки на панели инструментов. Для расчёта схемы должна быть установлена хотя бы одна контрольная точка.

Частотный диапазон и тип(ы) характеристик (АЧХ, ФЧХ, ЛЧХ, АФЧХ), выводимых на экран в графическом виде, задаются как параметры входного элемента – ГКЧ (рисунок 11).

В таблицу с результатами расчёта выводятся значения и для амплитуды (АЧХ или ЛЧХ), и для фазы, независимо от того, какой график выбран для отображения.

**Задание 11** Пример построения частотной характеристики посмотреть на модели Demo0.sam.

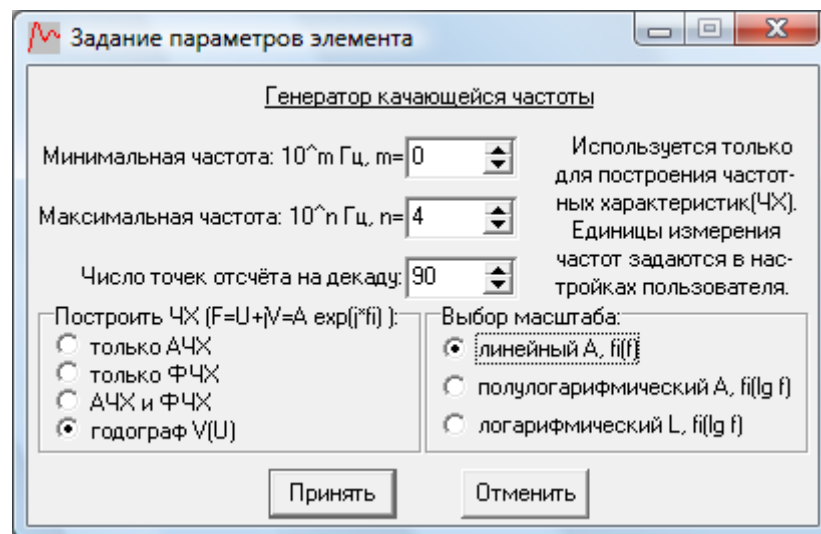


Рисунок 11 – Выбор вида частотной характеристики и масштаба графиков в параметрах элемента ГКЧ

## 1.15 Годограф (АФЧХ – амплитудно-фазочастотная характеристика)

Для построения годографа (АФЧХ) на входе схемы должен стоять генератор качающейся частоты (ГКЧ), расчёт производится через пункт главного меню “Выполнить” > “Расчёт” или с помощью соответствующей кнопки на панели инструментов (рисунок 12). Для расчёта схемы должна быть установлена хотя бы одна контрольная точка.

Частотный диапазон и вид характеристики – годограф задаются как параметры входного элемента – ГКЧ. Выбор масштаба характеристики (линейный, логарифмический), как параметра ГКЧ, не влияет на вид годографа.

**Задание 12** Пример построения годографа посмотреть на модели Demo0.sam.

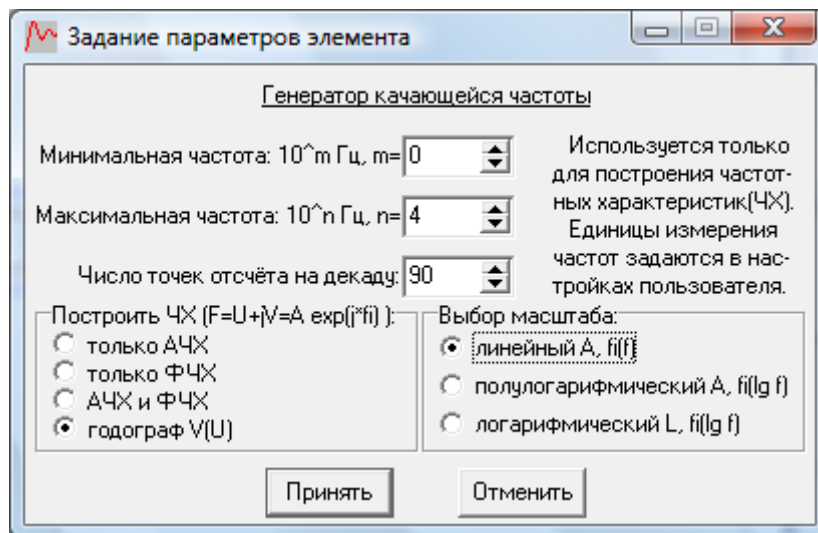


Рисунок 12 – Задание параметров ГКЧ для вывода годографа

## 1.16 Просмотр результатов расчёта в таблице

Для просмотра результатов расчёта в таблице необходимо выполнить сначала сам расчёт, а затем выбрать пункт меню “Окно” > “Таблица”. Таблица появится в отдельном окне.

При работе с таблицей возможно: прокручивание её по столбцам и строкам; изменение ширины столбцов; изменение размеров окна с таблицей.

Таблицу с результатами, всю или только часть, можно сохранить в текстовом файле и/или распечатать.

## 1.17 Печать модели

Перед тем как распечатывать схему модели необходимо задать область печати, так как на печать выводится только видимое поле окна Редактора. Задание области печати происходит путём изменения размера окна программы и с помощью прокруток в окне Редактора.

Для вывода на печать заданной области Редактора необходимо выбрать пункт меню “Файл” > “Печать модели”. После выбора принтера, задания ориентации листа бумаги и числа копий нажмите “ОК”.

На печать выводится имя файла (если есть), название модели (если есть), время печати, заданная область со схемой, параметры интегрирования, список элементов всей модели, имеющих параметры, и значения этих параметров (если они заданы). Справа от названия элемента выводится его координата в поле Редактора в формате (№ строки, № столбца).

## 1.18 Печать результатов расчёта и графиков

Печать результатов расчёта и графиков (как и их сохранение в отдельном файле) возможна только при открытых соответствующих окнах (с таблицей или графиками).

При проведении нескольких последовательных расчётов и при открытии нескольких окон с таблицей или графиками на печать выводятся результаты только последнего расчёта (независимо от того, какое из окон было активно последним).

## 1.19 “Горячие” клавиши программы

**Ctrl+N** - Создание новой модели

**Ctrl+O** - Открытие модели из файла

**Ctrl+S** - Сохранение модели в файл

**Ctrl+Q** - Выход из программы

**Ctrl+X** - Вырезать выделенный элемент из схемы

**Ctrl+C** - Скопировать выделенный элемент из схемы

**Ctrl+V** - Вставит элемент в выделенную позицию

**Del** - Удалить выделенный элемент из схемы

**Ctrl+Del** - Удалить все элементы схемы

**Ctrl+J** - Поворот выделенного элемента по часовой стрелке

**Ctrl+L** - Поворот выделенного элемента против часовой стрелки

**Ctrl+P** - Установить/удалить контрольную точку

**Ctrl+E** - Задать параметры выделенного элемента схемы

**Ctrl+I** - Задать параметры интегрирования

**Ctrl+H** - Выполнить проверку схемы

**Ctrl+R** - Выполнить расчёт

**F1** - Вызов справки

**F2** - Вызов тем справки

**F3** - О программе

Данную программу, с разрешения авторов, можно взять из:

<http://www.spb-lta-kafapp.narod.ru/SamSim.exe>,

<http://www.samsim2002.narod.ru>,

<http://www.samsim2002.chat.ru>.

## **2 Исследование характеристик линейных динамических звеньев. Часть 1**

### **2.1 Цель работы**

Изучение временных и частотных характеристик типовых динамических звеньев и приобретение практических навыков определения параметров передаточных функций этих звеньев по полученным экспериментальным переходным характеристикам.

### **2.2 Общие указания**

Экспериментально-исследовательская часть работы проводится на компьютерах с использованием пакета «SamSim» или "Mathcad".

Динамические свойства систем автоматического управления и их звеньев могут быть однозначно определены переходной и импульсной (весовой) временными характеристиками. Для получения указанных характеристик на вход системы (звена) подают определенного вида воздействие  $x(t)$  и исследуют реакцию системы (звена)  $y(t)$  на это воздействие.

В данной и последующих лабораторных работах свойства звена системы анализируются при помощи входного скачкообразного сигнала (ступенчатое воздействие):

$$X(t) = 1(t) = 0, \text{ при } t \leq 0; \quad X(t) = 1(t) = 1, \text{ при } t > 0.$$

Реакцию анализируемого звена системы на единичное ступенчатое воздействие  $1(t)$  в математической форме описывает переходная функция  $H(t)$  (функция Хэвисайда), которую иногда называют кривой разгона.

До приложения единичного воздействия звено или система находится в состоянии покоя. Предполагается, что единица имеет ту же размерность, что и физическая переменная на входе системы. В реальных условиях подобное воздействие соответствует быстрому включению задающего сигнала. Основой классификации элементарных звеньев являются их динамические характеристики. Функциональные блоки различной физической природы могут быть представлены в виде одинаковых динамических звеньев, если их динамические свойства описываются одинаковыми дифференциальными уравнениями (не выше второго порядка).

В зависимости от свойств, все звенья можно разбить на три группы: статические (пропорциональные), дифференцирующие и интегрирующие.

В лабораторных работах исследуются временные характеристики пяти типовых линейных динамических звеньев: безинерционного (масштабирующего, усилительного при  $K > 1$ , или ослабительного при  $K < 1$ ), колебательного, апериодического, интегрирующего и реального дифференцирующего.

**Задание** Исследовать характеристики описанных ниже звеньев.

### 2.3 Безынерционное (пропорциональное, усилительное) звено

В любой момент времени выходная величина звена пропорциональна входной с коэффициентом пропорциональности  $k$  (рисунок 13):

$$y(t) = k u(t).$$

Безынерционное звено передаст сигнал без искажения и сдвига во времени, но измененный в  $k$  раз.

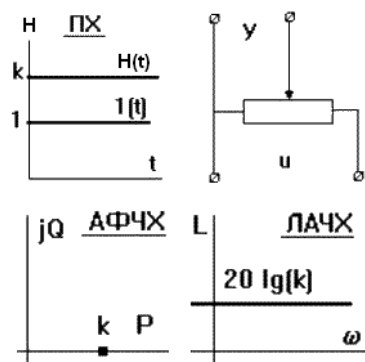


Рисунок 13 – Характеристики и пример безынерционного звена

Реальные звенья могут быть отнесены к данному типу условно, так как

всегда обладают инерционностью. Однако, если переходный процесс в звене протекает за время, малое по сравнению со временем переходного процесса системы в целом, то эти звенья могут считаться безынерционными.

Переходная характеристика повторяет ступенчатое входное воздействие  $1(t)$ , измененное в  $k$  раз:

$$H(t) = k \cdot 1(t).$$

Передаточная функция звена равна коэффициенту  $k$ :

$$W(p) = k.$$

Функция веса имеет площадь, равную  $k$ :

$$h(t) = k \delta(t).$$

Амплитудно-фазо-частотная характеристика АФЧХ:

$$W(j\omega) = k.$$

АЧХ:  $A(\omega) = k$ . ФЧХ:  $\varphi(\omega) = 0$ . ЛАЧХ:  $L(\omega) = 20 \lg k$ .

Звено пропускает все частоты одинаково, увеличивая амплитуды сигналов в  $k$  раз, и без сдвига по фазе.

## 2.4 Интегрирующее (астатическое) звено

Идеальное интегрирующее звено описывается дифференциальным уравнением первого порядка:

$$dy/dt = k u(t).$$

Общее решение:  $y(t) = y(0) + \int_0^t k u(\tau) d\tau$ . Передаточная функция звена:

$$W(p) = k/p.$$



Переходная характеристика при  $u(t) = 1(t)$  и нулевых начальных условиях

(рисунок 14):

$$H(t) = k \int_0^t 1(\tau) d\tau. \quad H(p) = k/p^2.$$

Весовая функция при  $u(t) = \delta(t)$  и нулевых начальных условиях:  $h(t) = k1(t)$ .  $h(p) = k/p$ .

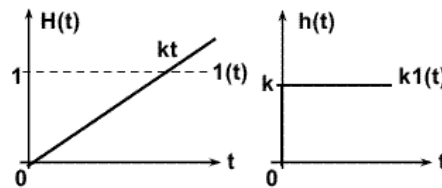


Рисунок 14 – Переходные характеристики интегрирующего звена

АФЧХ интегратора:  $W(j\omega) = k/j\omega = -jk/\omega = k \exp(-j\omega /2)/\omega$ .

Интегратор ослабляет высокие частоты пропорционально частоте и неограниченно усиливает низкие частоты. Годограф АФЧХ (рисунок 15) расположен вдоль отрицательной мнимой оси. Фазово-частотная характеристика для положительных частот имеет постоянное значение  $-\pi/2$ , т.е. все частоты звено пропускает с запаздыванием по фазе на  $90^\circ$ . Радиус-вектор АЧХ при изменении частоты от 0 до  $\infty$  монотонно убывает от значения  $\infty$ , стремясь к 0. Коэффициент усиления бесконечно малых частот теоретически неограничен.

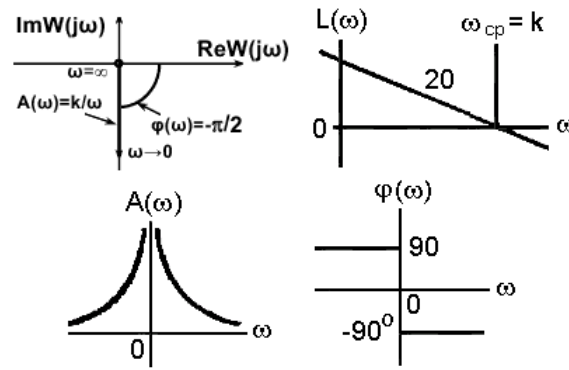


Рисунок 15 – Частотные характеристики интегрирующего звена

ЛАЧХ интегратора:

$$L(\omega) = 20 \lg |W(j\omega)| = 20 \lg k - 20 \lg \omega.$$

Логарифмическая характеристика представляет собой прямую с отрицательным наклоном 20 дБ/дек, которая проходит через точку 0 дБ на частоте  $\omega = k$ .

## 2.5 Аperiodическое инерционное звено первого порядка

Описывается дифференциальным уравнением:

$$T \, dy/dt + y(t) = k \, u(t).$$

Передаточная функция звена:

$$W(p) = k/(Tp+1).$$

Динамические свойства определяются значениями двух величин  $k$  и  $T$ .  $T$  – постоянная времени,  $k$  – коэффициент передачи (усиления) звена. Переходная функция:

$$H(p) = W(p) \, 1(p) = k/[p(Tp+1)].$$

$$H(t) = k (1 - \exp(-t/T)).$$

Переходный процесс инерционного звена экспоненциальный (рисунок

16). При  $t \rightarrow \infty$  сигнал достигает установившегося значения  $k1(t)$ .

Весовая функция находится дифференцированием переходной характеристики:

$$h(t) = (k/T) \exp(-t/T) 1(t).$$

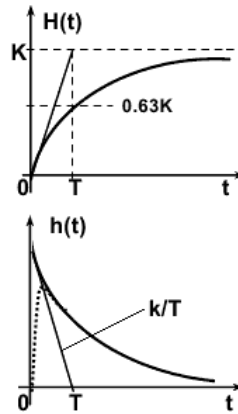


Рисунок 16 – Переходные характеристики апериодического звена

По переходной характеристике можно определить передаточный коэффициент  $k$ , равный установившемуся значению  $H(t)$ , и постоянную времени  $T$  по точке пересечения касательной к кривой в начале координат с ее асимптотой. Касательная при  $t=0$  равна  $k/T$ , а при  $t=T$  значение  $H(t) = 0.63k$ . Чем больше  $T$ , тем больше длительность переходного процесса. Практически обычно принимают, что переходной процесс заканчивается при  $t$  порядка  $3T$ , что соответствует 95% от установившегося значения. Характерен скачок амплитуды в начальный момент времени, возникающий из-за наличия на входе  $\delta$ -функции. Так как идеального скачка быть не может, то будет наблюдаться процесс, обозначенный на рисунке 16 пунктиром.

АФЧХ инерционного звена (рисунок 17):

$$W(j\omega) = k/(Tj\omega+1) = k(Tj\omega-1) / [(Tj\omega+1)(Tj\omega-1)] =$$

$$= k [1/(T^2\omega^2+1) - jT\omega/(T^2\omega^2+1)] = k \exp(-j \arctg T\omega) / \sqrt{T^2\omega^2+1} .$$

Годограф описывает полуокружность с наименьшей точкой на частоте  $1/T$ , при этом фазовый сдвиг равен  $-\pi/4$ , коэффициент усиления АЧХ равен  $0.707k$ .

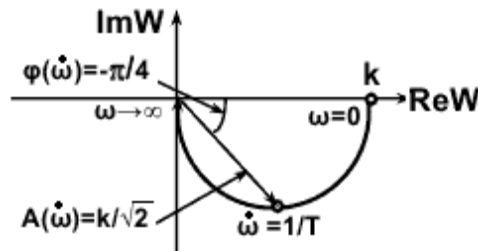


Рисунок 17 – АФЧХ апериодического звена

При изменении частоты от  $0$  до  $\infty$  радиус-вектор АЧХ монотонно убывает от значения  $k$  до  $0$ . Полная АФЧХ для положительных и отрицательных частот представляет собой окружность. ЛАЧХ и ЛФЧХ инерционного звена:

$$L(\omega) = 20 \lg |W(j\omega)| = 20 \lg k - 10 \lg(T^2\omega^2+1).$$

Чем меньше инерционность звена (меньше  $T$ ), тем шире полоса пропускания.

## 2.6 Порядок выполнения работы

1. Запустить на компьютере пакет моделирования SamSim (или Mathcad).
2. Составить исследуемую модель в виде функциональной структуры

(При работе в Mathcad задать программу источника сигнала и составить алгоритмы работы звена).

3. Задать численные значения параметров исследуемых звеньев  $K$  и  $T$  равными:  $K = 1-N/50$ ,  $T=0.2+K/2$ , задержка входного сигнала  $1-T$ ,  $N$  – ваш номер в списке группы.

4. Получить переходную характеристику звена при заданных параметрах.

5. Проанализировать влияние параметров  $K$  и  $T$  на переходную характеристику, изменяя  $T$  в 2, 4 раза при постоянном значении  $K$  и изменяя  $K$  в 3 раза при постоянном значении  $T$ .

6. Зарегистрировать выходные сигналы звена на входные сигналы типа меандра и белого шума.

7. С генератором качающейся частоты (ГКЧ) оценить частотные характеристики звена (В Mathcad задать алгоритмы расчета частотных характеристик).

## **2.7 Содержание отчета**

1. Краткая теория.

2. Графики передаточных и частотных характеристик с указанием параметров звеньев  $K$  и  $T$ .

3. Реакция звеньев на меандр и шум.

4. Выводы по динамическим и частотным параметрам.

## **3 Исследование характеристик линейных динамических звеньев. Часть 2**

### **3.1 Цель работы**

Изучение временных и частотных характеристик типовых динамических звеньев и приобретение практических навыков определения параметров передаточных функций этих звеньев по полученным экспериментальным переходным характеристикам.

### **3.2 Общие указания**

Экспериментально-исследовательская часть работы проводится на компьютерах с использованием пакета «SamSim» или "Mathcad".

**Задание** Исследовать характеристики описанных ниже звеньев.

### **3.3 Колебательное звено**

Относится к звеньям второго порядка и описывается дифференциальным уравнением:

$$T_2 y''(t) + 2\rho T y'(t) + y(t) = k u(t).$$

Передаточная функция звена:

$$W(p) = 1/(T^2 p^2 + 2\rho T p + 1).$$

Корни полинома  $p_{1,2} = (-\rho \pm \sqrt{\rho^2 - 1})/T$ . Звено будет апериодическим второго порядка, если корни вещественные, или колебательным, если корни комплексные.

При  $\rho < 1$  корни полинома знаменателя  $W(p)$  комплексно-сопряженные. Переходная характеристика представляет собой выражение, характеризующее затухающий колебательный процесс с затуханием  $\gamma$  (возможные значения от 0 до 1) и частотой  $\omega_0 = 1/T$ , т.е. переходный процесс представляет собой затухающие колебания относительно установившегося значения (рисунок 18). Передаточный коэффициент  $k$  равен установившемуся значению переходной функции. Примерами колебательного звена могут служить пружина, имеющая успокоительное устройство, электрический колебательный контур с активным сопротивлением и т.п.

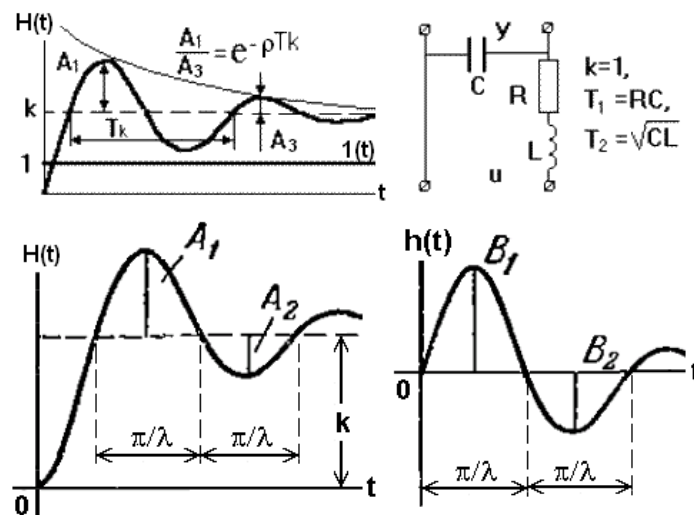


Рисунок 18 – Переходные характеристики и пример колебательного звена

При  $\rho = 0$  колебания носят незатухающий характер.

Аналитическая формула переходной характеристики звена (рисунок 18):

$$H(t) = k[1 - \exp(-\gamma t) (\cos \lambda t + (\gamma/\lambda) \sin \lambda t)] 1(t),$$

$$\gamma = \lambda/\pi \ln (A_1/A_2), \quad \gamma = \rho/\omega_0, \quad \lambda = \omega_0 \sqrt{1 - \rho^2}.$$

Импульсная функция:

$$h(t) = (k\omega_0^2 / \lambda) \exp(-\gamma t) \sin(\lambda t) 1(t).$$

Зная характеристики реального устройства, можно определить его параметры как колебательного звена. Постоянная времени  $T$  и коэффициент затухания:

$$T = T_k / \sqrt{\xi \pi^\gamma - \ln^\gamma(A_1/A_\gamma)}, \quad \rho = \ln(A_1/A_3) / \sqrt{\xi \pi^\gamma - \ln^\gamma(A_1/A_\gamma)},$$

где  $T_k$  – период колебаний,  $A_1$  и  $A_3$  – амплитуды двух соседних полупериодов одного знака относительно установившегося значения (см. рисунок 18).

АФЧХ колебательного звена:

$$W(j\omega) = k / [-T^2\omega^2 + 2\rho Tj\omega + 1].$$

Годограф приведен на рисунке 19. На частоте  $\omega_0$  имеется фазовый сдвиг  $-\pi/2$ , но максимум амплитуды достигается на меньшей частоте

$$\omega_M = \omega_0 \sqrt{1 - \gamma \rho^\gamma}.$$

ЛАЧХ колебательного звена:

$$L(\omega) = 20 \lg k - 10 \lg((1 - T^2\omega^2)^2 + 4\rho^2 T^2\omega^2).$$

При  $\rho < 0.707$  амплитудная частотная характеристика звена имеет резонансный пик на частоте  $\omega_M = \omega_0 \sqrt{1 - \gamma \rho^\gamma}$ . Высота пика тем больше, чем меньше параметр затухания:

$$A(\omega_M) = k / [2\rho \sqrt{1 - \gamma \rho^\gamma}].$$



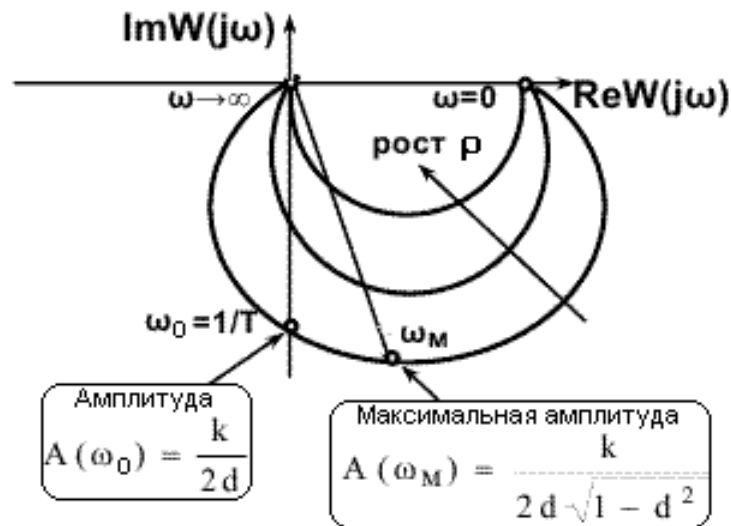


Рисунок 19 – Годограф колебательного звена

### 3.4 Дифференцирующее звено

Выходная величина идеального дифференцирующего звена пропорциональна производной от входной величины, а уравнение динамики имеет вид:

$$y(t) = k \, du(t)/dt.$$

Передаточная функция:

$$W(p) = kp.$$

При  $k = 1$  звено осуществляет чистое дифференцирование  $W(p) = p$ .

Идеальное дифференцирующее звено реализовать невозможно, так как величина всплеска выходной величины при подаче на вход единичного ступенчатого воздействия всегда ограничена, а должна быть бесконечно

большой. Близок к идеальному звену операционный усилитель в режиме дифференцирования (рисунок 20).

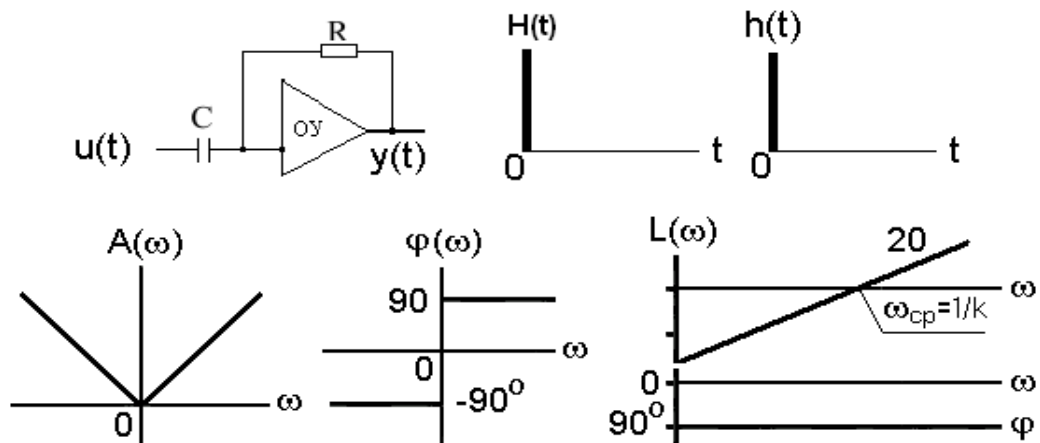


Рисунок 20 – Характеристики и пример дифференцирующего звена

Характеристики звена:

$$H(t) = k1'(t) = k \delta(t).$$

$$h(t) = k d\delta(t)/dt.$$

$$W(j\omega) = kj\omega.$$

На практике используют реальные дифференцирующие звенья, осуществляющие приближенное дифференцирование входного сигнала. Реальное звено является последовательным соединением двух звеньев - идеального дифференцирующего  $k_p$  и инерционного  $1/(T_p+1)$ . При малых  $T$  звено можно рассматривать как идеальное дифференцирующее.

Звено описывается уравнением:

$$T dy(t)/dt + y(t) = k du(t)/dt.$$

Передаточная функция:

$$W(p) = k_p / (T_p+1).$$

Переходная характеристика:

$$H(t) = (k/T) \exp(-t/T) 1(t).$$

Импульсная характеристика:

$$h(t) = [k\delta(t)/T - (k/T^2) \exp(-t/T)] 1(t).$$

По переходной характеристике, имеющей вид экспоненты (рисунок 21), можно определить передаточный коэффициент  $k$  и постоянную времени  $T$ . Примерами звеньев являются четырехполюсники из сопротивления и емкости или сопротивления и индуктивности. Дифференцирующие звенья применяются для улучшения динамических свойств САУ.

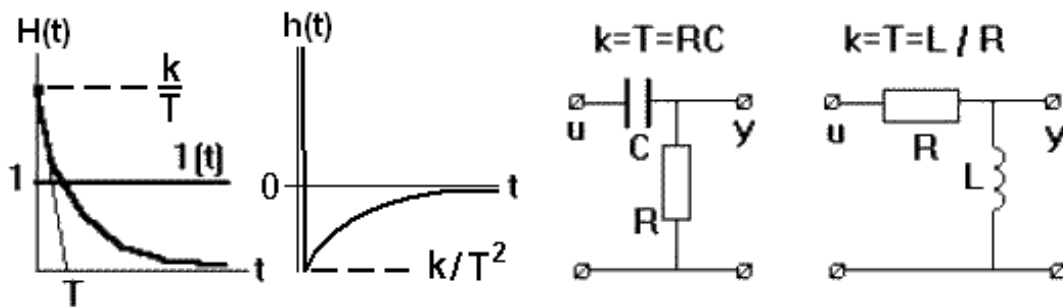


Рисунок 21 – Переходные характеристики и пример реального дифференцирующего звена

Частотная передаточная функция:

$$W(j\omega) = kj\omega/(j\omega T+1).$$

Годограф звена (рисунок 22) описывает полуокружность с радиусом, стремящимся к бесконечности, при  $T \rightarrow 0$ .

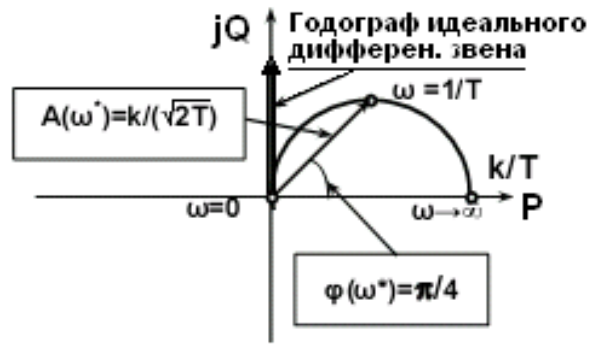


Рисунок 22 – Годограф идеального дифференцирующего звена

При этом годограф прижимается к положительной мнимой полуоси и стремится к годографу идеального дифференцирующего звена. Частота  $\omega=1/T$  считается максимальной, до которой реальное звено может приниматься за близкое к идеальному.

Частотные характеристики звена приведены на рисунке 23.

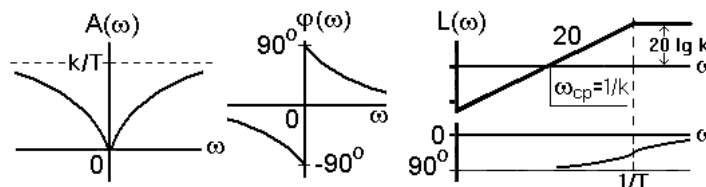


Рисунок 23 – Частотные характеристики дифференцирующего звена

В области высоких частот реальное звено пропускает сигнал хуже, чем идеальное. При  $\omega \rightarrow \infty$  коэффициент передачи звена стремится к  $k/T$ . Фазовые сдвиги, вносимые звеном, являются наибольшими при низких частотах. На высоких частотах фазовый сдвиг стремится к нулю при  $\omega \rightarrow \infty$ .

### 3.5 Запаздывающее звено

Передаточная функция звена:

$$W(p) = \exp(-Tp),$$

где  $T$  – время чистого запаздывания. Это звено передаст сигнал без искажения, но сдвинутым во времени на величину  $T$ . Переходная характеристика звена:

$$H(t) = 1(t - T).$$

### 3.6 Порядок выполнения работы

1. Запустить на компьютере пакет моделирования SamSim (или Mathcad).
2. Составить исследуемую модель в виде функциональной структуры (При работе в Mathcad задать программу источника сигнала и составить алгоритмы работы звена).
3. Задать численные значения параметров исследуемых звеньев  $K$  и  $T$  равными:  $K = 1 - N/50$ ,  $T = 0.2 + K/2$ , задержка входного сигнала  $1 - T$ ,  $N$  – ваш номер в списке группы.
4. Получить переходную характеристику звена при заданных параметрах.
5. Проанализировать влияние параметров  $K$  и  $T$  на переходную характеристику, изменяя  $T$  в 2, 4 раза при постоянном значении  $K$  и изменяя  $K$  в 3 раза при постоянном значении  $T$ .
6. Зарегистрировать выходные сигналы звена на входные сигналы типа меандра и белого шума.

7. С генератором качающейся частоты (ГКЧ) оценить частотные характеристики звена (В Mathcad задать алгоритмы расчета частотных характеристик).

### **3.7 Содержание отчета**

1. Краткая теория.
2. Графики передаточных и частотных характеристик с указанием параметров звеньев  $K$  и  $T$ .
3. Реакция звеньев на меандр и шум.
4. Выводы по динамическим и частотным параметрам.

## **4 Исследование характеристик типовых соединений звеньев**

### **4.1 Цель работы**

Изучение способов соединения типовых динамических звеньев, определение передаточных функций, приобретение практических навыков определения передаточных функций по экспериментальным переходным характеристикам.

### **4.2 Общие указания**

Возможны три способа соединения звеньев: последовательное, параллельное и встречно-параллельное или с ОС (обратной связью).

**Последовательным** называют соединение звеньев, при котором выходная величина предыдущего звена является входной для последующего (рисунке 24). При известных передаточных функциях звеньев:

$$W(p) = W_1(p) W_2(p).$$

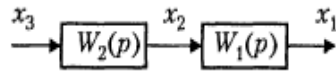


Рисунок 24 – Последовательное соединение звеньев

Таким образом, систему из неограниченного количества звеньев, включенных последовательно, можно заменить одним эквивалентным звеном с передаточной функцией  $W(p)$  равной произведению передаточных функций звеньев.

**Параллельным** называют соединение, когда на входы звеньев подается одна и та же величина, а выходная величина равна сумме выходных величин отдельных звеньев (рисунок 25).

$$W(p) = W_1(p) + W_2(p).$$

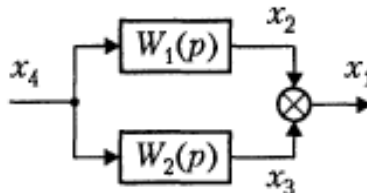


Рисунок 25 – Параллельное соединение звеньев

Параллельное соединение звеньев эквивалентно одному звену с переходной характеристикой, равной сумме переходных функций входящих в соединение звеньев:

$$H(t) = \sum_{i=1}^n H_i(t).$$

Построение переходной характеристики параллельного соединения

заключается в построении переходных характеристик отдельных звеньев на одном графике и суммировании их ординат для одних и тех же значений времени.

**Система с отрицательной обратной связью.** На вход звена кроме входной подается выходная величина через звено обратной связи. На рисунке 26 звено  $W_1(p)$  составляет прямую цепь, которая охвачена ОС - звеном  $W_2(p)$ . При отрицательной обратной связи сигнал  $x_3$  вычитается из входного сигнала  $x_4$ . Передаточная функция

$$W(p) = W_1(p) / (1 + W_1(p)W_2(p)).$$

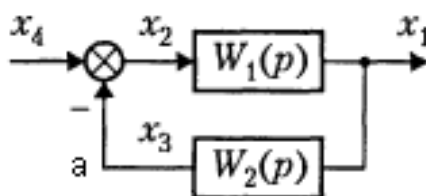


Рисунок 26 – Соединение звеньев с обратной связью

Полученная передаточная функция может интерпретироваться как передаточная функция последовательно соединенных звеньев с передаточной функцией  $W_1(p)$  и системы с передаточной функцией:

$$\Phi(p) = 1 / (1 + W_{pc}),$$

где  $W_{pc} = W_1(p)W_2(p)$  - передаточная функция разомкнутой системы, например, в точке “а”.

При охвате любого звена единичной ОС (т.е. при  $W_2(p) = 1$ ) разомкнутая система преобразуется в замкнутую с передаточной функцией:



$$W(p) = W_1(p) / (1 + W_1(p)).$$

С другой стороны, если обеспечить высокий коэффициент усиления в цепи прямой связи ( $W_1(p) \rightarrow \infty$ ), то 1 в знаменателе передаточной функции можно пренебречь и свойства звена определяются только свойствами цепи ОС:

$$W(p) = 1/W_2(p).$$

### **Задание**

1. Исследовать последовательное соединение звеньев, изученных в работах 2 и 3, с интегрирующим звеном.

2. Аналогично исследовать последовательное соединение звеньев с апериодическим звеном.

### **4.3 Порядок выполнения работы**

1. Составить исследуемую модель в виде функциональной структуры (При работе в Mathcad задать программу источника сигнала и составить алгоритмы работы звена).

2. Задать численные значения параметров исследуемых звеньев  $K$  и  $T$  равными:  $K = 1 - N/50$ ,  $T = 0.2 + K/2$ , задержка входного сигнала  $1 - T$ ,  $N$  – ваш номер в списке группы.

3. Получить переходную характеристику системы при заданных параметрах.

4. Проанализировать влияние параметров  $K$  и  $T$  на переходную характеристику.

5. Зарегистрировать выходные сигналы звена на входные сигналы типа меандра и белого шума.

6. Оценить частотные характеристики системы.

#### **4.4 Содержание отчета**

1. Краткая теория.
2. Графики передаточных и частотных характеристик с указанием параметров звеньев  $K$  и  $T$ .
3. Реакция звеньев на меандр и шум.
4. Выводы по динамическим и частотным параметрам.

### **5 Исследование динамических характеристик типовых законов регулирования**

#### **5.1 Цель работы**

Изучение динамических характеристик типовых законов регулирования, определение динамических параметров при вариации настроенных параметров регуляторов.

#### **5.2 Общие указания**

Регулятором называется блок (алгоритм), рассчитывающий управляющее воздействие  $u(t)$  с целью решения локальной задачи управления. Алгоритмом управления называется набор аналитических выражений, используемых для расчета управляющих воздействий, или система операций, выполняемых по определенным правилам. Типовой алгоритм управления, это математическая зависимость между выходным регулирующим воздействием  $u(t)$  и входным отклонением  $\varepsilon$  регулируемой величины  $y$  от заданного значения  $y^*$  (рисунок 27).

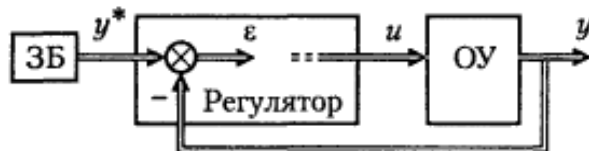


Рисунок 27 – Схема системы управления с регулятором

В практике принято рассматривать три типовых закона регулирования: пропорциональный П, интегрирующий И, дифференцирующий Д. На базе этих законов в регуляторах реализуют более сложные алгоритмы, являющиеся комбинацией основных, которые приведены ниже.

Уравнения типовых регуляторов:

- П - пропорциональный (статический):

$$u(t) = k_p \varepsilon(t), \quad W(p) = k_p.$$

- И - интегральный (астатический):

$$u(t) = k_i \cdot \int_0^t \varepsilon(\tau) d\tau, \quad W(p) = k_i / (T_i p).$$

- ПИ - пропорционально-интегральный (изодромный):

$$u(t) = k_p \varepsilon(t) + (k_i / T_i) \cdot \int_0^t \varepsilon(\tau) d\tau, \quad W(p) = k_p + k_i / (T_i p).$$

- ПД - пропорционально-дифференциальный:

$$u(t) = k_p \varepsilon(t) + k_d T_d d\varepsilon(t)/dt, \quad W(p) = k_p + k_d T_d p.$$

- ПИД - пропорционально-интегрально-дифференциальный:

$$u(t) = k_p \varepsilon(t) + k_d T_d d\varepsilon(t)/dt + (k_i / T_i) \cdot \int_0^t \varepsilon(\tau) d\tau, \quad W(p) = k_p + k_d T_d p + k_i / (T_i p).$$

где  $k_p$ ,  $k_d$ ,  $k_i$  - постоянные коэффициенты.

## Задание:

Исследовать ПИ-, ПД- и ПИД- законы регулирования.

### 5.3 Порядок выполнения работы

1. Ввести модель ПИ-закона регулирования.
2. Задать численные значения параметров исследуемых звеньев  $K$  и  $T$  равными:  $K = 1-N/50$ ,  $T=0.2+K/2$ , задержка входного сигнала  $1-T$ ,  $N$  – ваш номер в списке группы.
2. Исследовать переходный процесс (переходную характеристику) ПИ-закона при вариации настроенных параметров  $k_p$  и  $k_i = 1/T_i$ .
3. Исследовать условия, при которых ПИ-закон переходит в П-закон.
4. Исследовать условия перехода ПИ-закона в И-закон. Исследование должно подтверждаться графиками и переходными характеристиками с определением их динамических параметров.
5. Ввести модель ПД-закона.
6. Исследовать переходный процесс ПД-закона регулирования при вариациях  $k_p$  и  $T_d$ .

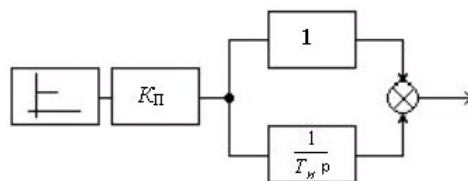


Рисунок 28 – Схема для исследования переходных процессов при ПИ-регулировании

7. Исследовать ПД-закон при настроечных параметрах, превращающих этот закон в П-закон.

8. Ввести модель ПИД-закона.

9. Исследовать переходный процесс ПИД-закона при изменении настроечных коэффициентов  $k_p$ ,  $k_i$ ,  $T_d$ .

10. Установить настроечные параметры для перехода ПИД-закона в П-закон, в ПИ-закон, в ПД-закон, и исследовать эти переходные характеристики.

11. Оценить частотные характеристики систем регулирования.

#### **5.4 Содержание отчета**

1. Краткая теория.

2. Графики передаточных и частотных характеристик с указанием параметров звеньев.

3. Реакция звеньев на меандр и шум.

4. Выводы по динамическим и частотным параметрам.

## **6 Исследование линейных систем автоматического регулирования**

### **6.1 Цель работы**

Изучение линейных САР с типовыми регуляторами, приобретение практических навыков определения устойчивости и качества САР.

### **6.2 Общие указания**

В практике автоматического регулирования параметров технологических

процессов наиболее широко применяют САР с регулированием по отклонению. Объекты управления (регулирования) обладают определенными свойствами самовыравнивания и запаздывания реакции объекта на воздействия. Под самовыравниванием понимают способность объекта самостоятельно приходить в новое состояние равновесия при изменении управляющего или возмущающего воздействия. Способность объекта аккумулировать энергию вещества характеризуют емкостью. Сравнивая свойства типовых звеньев со свойствами наиболее распространенных объектов управления можно установить следующее:

Одноемкостный объект с самовыравниванием по динамическим свойствам представляет собой аperiodическое звено. Иногда его записывают в виде:

$$T_n dy(t)/dt + \rho y(t) = x(t),$$

где  $\rho = 1/k$  – коэффициент самовыравнивания,  $T_n = T/k$ . При  $\rho > 0$  объект имеет положительное самовыравнивание и называется устойчивым статическим. При  $\rho < 0$  объект не обладает самовыравниванием и называется неустойчивым статическим. При  $\rho = 0$  объект астатический и описывается уравнением интегрирующего звена.

Многоемкостные объекты с самовыравниванием моделируют последовательным соединением аperiodических звеньев. Если число последовательно соединенных звеньев достаточно велико, а их постоянные времени очень малы, система близка к запаздывающему звену. При

последовательном соединении трех и более апериодических звеньев с большими постоянными времени, систему можно моделировать последовательным соединением апериодического и запаздывающего звеньев с соотношением  $\tau/T$  в диапазоне  $0.1 \leq \tau/T \leq 1$ . Передаточную функцию такой системы записывают в виде:

$$W(p) = k \exp(-\tau p) / (Tp + 1).$$

Если в структурной схеме САР измерительный преобразователь объединить устройством сравнения, а исполнительный механизм с регулирующим органом и объектом управления, то САР преобразуется к виду, представленному на рисунке 28, где:  $\varepsilon = x(t) - y(t)$ ,  $\varepsilon$  - отклонение управляемой величины  $y(t)$  от заданного значения  $x(t)$ ;  $W(p)$  – передаточная функция регулятора;  $W_{oy}(p)$  – передаточная функция объекта управления.

Показатель  $\varepsilon(t)$  является показателем точности устойчивой системы. Устойчивая САР, выведенная из равновесия возмущающим воздействием, должна под действием регулятора приходить в исходное или новое состояние равновесия. Показатели точности и качества САР могут быть определены по переходной характеристике при единичном ступенчатом воздействии. Неустойчивые САР неработоспособны.

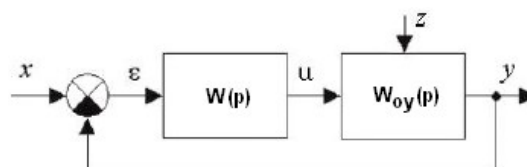


Рисунок 29 – Преобразованная схема многоемкостной САР

**Задание** Исследовать характеристики линейной САР.

### 6.3 Порядок выполнения работы

1. Ввести модель САР вида на рисунке 30.
2. Исследовать П, И, ПИ, ПД и ПИД законы регулирования с статическим объектом без запаздывания. Получить переходные характеристики при постоянных параметрах ОУ.

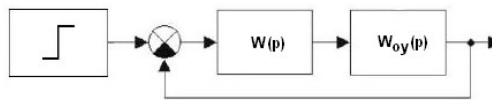


Рисунок 30 – Схема для моделирования законов регулирования

3. Исследовать П, И, ПИ, ПД и ПИД законы регулирования с астатическим объектом регулирования без запаздывания. Получить переходные характеристики при постоянных параметрах ОУ.
4. Исследовать П, И, ПИ, ПД и ПИД законы регулирования с статическим объектом с запаздыванием. Получить переходные характеристики при постоянных параметрах ОУ.
5. Исследовать П, И, ПИ, ПД и ПИД законы регулирования с астатическим объектом регулирования с запаздыванием. Получить переходные характеристики при постоянных параметрах ОУ.
6. Для П, И, ПИ регуляторов провести анализ устойчивости по алгебраическим критериям.
7. Оценить частотные характеристики систем регулирования.



## **6.4 Содержание отчета**

1. Краткая теория.
2. Графики передаточных и частотных характеристик с указанием параметров звеньев.
3. По переходным характеристикам определить показатели качества и точности САР.
4. Реакция звеньев на меандр и шум.
5. Выводы по динамическим и частотным параметрам.

## **7 Требования к отчетам**

Отчеты по работам выполняются по типовой форме в виде документа Word.doc по заданиям в инструкциях и сопровождаются (по тексту документа) всеми графиками, просмотренными в результате выполнения работ.

## **8 Литература, рекомендуемая для изучения дисциплины**

- 8.1** Мирошник, И.В. Теория автоматического управления. В 2-х т. / И.В. Мирошник – СПб.: Питер, 2006. – Т.1 – 336с.; Т.2 – 272с.
- 8.2** Бесекерский, В.А. Теория систем автоматического управления/ В.А. Бесекерский, Е.П. Попов – 4-е изд., перераб. и доп. – СПб.: Изд-во «Профессия», 2003. – 752 с.
- 8.3** Дорф, Р. Современные системы управления/Р. Дорф – М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2002. – 832 с.
- 8.4** Филлипс, Ч. Системы управления с обратной связью/Ч. Филлипс, Р.Харбор – М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2001 – 616 с.
- 8.5** Теория автоматического управления: в 2-х ч./ Под ред. Воронова А.А. -М.: Высш. школа, 1986. – Ч.1 – 367с.; Ч.2 – 504с.

## Список использованных источников

1. Втюрин, В.А. Автоматика и автоматизация производственных процессов: Методические указания по выполнению лабораторных и практических работ для студентов специальностей 2602, 2601 и 1704/В.А. Втюрин, Е.М. Семенов, К.О. Самуйлов – СПбГЛТА.: Санкт-Петербург, 2004 г. – 43с. (Взято за основу)
2. Туманов, М.П. Теория управления. Теория линейных систем автоматического управления: учебное пособие/М.П. Туманов – М.:МГИЭМ, 2005. - 82 с.
3. Лукас, В.А. Теория управления техническими системами: компактный учебный курс для вузов./В.А. Лукас – 3-е изд., перераб. и доп. – Екатеринбург: изд-во УГГГА, 2002. – 675 с.
4. Теория автоматического управления: в 2-х ч./ Под ред. Воронова А.А. - М.: Высш. школа, 1986. – Ч.1 – 367с.; Ч.2 – 504с.