Предмет: Основы теории автоматического управления

1. **Варианты контрольной работы**

**Вариант 10**

1. Дайте определение понятия чувствительности системы. Приведите примеры с использованием этого понятия.
2. Для приведенной структурной схемы представить передаточную функцию. Описать процесс получения результата.



|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **W1(p)** | **W2(p)** | **W3(p)** | **W4(p)** |
| kp /(Tp+1) | k/(T2p2 + 2r Tp + 1) | k/[p(Tp+1)] | k/p |

1. Для приведенной электрической принципиальной схемы выполните следующие действия:
* Составить дифференциальное уравнение электрической цепи
* Определить переходную функцию и построить ее график
* Определить передаточную функцию, используя преобразование Лаплпса
* Определить и построить амплитудную частотную характеристику цепи
* Определить и построить фазовую частотную характеристику цепи
* Сделать вывод об устойчивости схемы



*Типовой пример расчета приводится в Приложении 1.*

1. Изучить особенности работы программы SamSim и выполнить задания, предписанные в методических положениях *Приложения 2.*
2. Составить структурную схему с использованием ЭВМ для управления подачей горючего в двигатель в зависимости от скорости движения автомобиля и поясните принцип ее действия.
3. **Выполнение и оформление контрольной работы**

При выполнении работы обучающиеся знакомятся с рекомендуемой основной и дополнительной литературой.

Структура контрольной работы: с новой страницы – номер и содержание задания, ниже краткий аналитический ответ по сути задания (до 2 страниц на задания 1,2,5; до 16 страниц – на задания 3,4), список литературы (введение, содержание, приложения не требуются).

Общий объем работы – до 24 стр.

1. **Учебно-методическое и информационное обеспечение**

**А. Основная литература**

1. Никулин, Е.А. Основы теории автоматического управления. Частотные методы анализа и синтеза систем: учеб. пособие / Е.А. Никулин. – СПб.: БХВ-Петербург, 2015.
2. Петраков, Ю.В. Теория автоматического управления технологическими системами [Эл. ресурс]: учеб. пособие / Ю.В. Петраков. – Электрон. текстовые данные. – М.: Машиностроение, 2008. – Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/5153.
3. Шишмарев, В.Ю. Основы автоматического управления: учеб. пособие / В.Ю. Шишмарев. – М.: Академия, 2008. – 353 с.

**Б. Дополнительная литература**

1. Алексеев А.А., Имаев Д.Х., Кузьмин Н.Н., Яковлев В.Б. Теория управления: учебник. – СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 1999.
2. Анализ и синтез систем управления / Д.Х. Имаев и др. – СПб., Гданьск, Сургут, Томск: Информ-изд. центр Сургут. гос. ун-та, 1998.
3. Бессекерский В.А., Изранцев В.В. САУ с микро ЭВМ. – М., Наука, 1981.
4. Давыдов А.В. Основы теории управления. Тематические лекции: учебное пособие. – Екатеринбург, УГГУ, ИГиГ, каф. ГИН. – <http://www.prodav.narod.ru/otu/index.html>.
5. Давыдов А.В. Лабораторные работы по курсу "Основы теории управления": учебное пособие. – Екатеринбург, УГГУ, ИГиГ, ГИН. – <http://www.prodav.narod.ru/otu/practical/otulab.doc>.
6. Егоров А.И. Основы теории управления / А.И. Егоров. – М.: Физматлит, 2007. – 504 с.
7. Ерофеев А.А. Теория автоматического управления: учебник для вузов. – СПб.: Политехника, 1998.
8. Лазарева Т. Я., Мартемьянов Ю. Ф. Основы теории автоматического управления: учебное пособие. - Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2003. – 308 с.
9. Мирошник И.В. Теория автоматического управления. Линейные системы: учебное пособие для вузов / И.В. Мирошник. – СПб.: Питер, 2005. - 336 с.
10. Повзнер Л.Д. Теория систем управления: учебное пособие. – М.: Изд. МГГУ, 2002. – 472 с.

**В. Программное обеспечение**

Пакет MicroSoft Office, программа SamSim, ЯВУ Pascal.

**Г. Базы данных, информационно-справочные и поисковые системы**

Автоматизированная информационно-библиотечная система «Марк».

ЭБС IPRbooks:[www.iprbookshop.ru](http://www.iprbookshop.ru/).

ЭБС ВСЭИ:<http://edu/vs_library/index.php>

**Приложение 1**

Приложение к заданию № 3

 **Линейные дифференциальные уравнения**

<http://kurs.ido.tpu.ru/courses/tay/chapter_2/glv_2_page_1.html>

Наиболее общей и наиболее полной формой математического описания автоматических систем и их элементов является дифференциальное уравнение вида. Желаемый закон в них имеет вид



где и– входная и выходная величины элемента или системы; – коэффициенты уравнения.

Уравнение (1) устанавливает связь между входной и выходной величиной как в переходных, так и в установившихся режимах.

Коэффициенты дифференциального уравнения называются параметрами. Они зависят от различных физических констант, характеризующих скорость протекания процессов в элементах. Такими константами являются, например, массы движущихся частей, индуктивности и емкости электрических цепей, теплоемкости нагреваемых элементов.

Иногда параметры некоторых элементов систем изменяются во времени. Такую систему называют нестационарной или системой с переменными параметрами. Системой с переменными параметрами является, например, автоматическая система управления приводом поворота мощного экскаватора, если в процессе его поворота одновременно происходит выдвижения рукояти с ковшом.

В большинстве практических случаев коэффициенты уравнения существенно не изменяются и системы являются системами с постоянными параметрами. В дальнейшем будут рассматриваться только такие системы.

Для автоматических систем управления, описываемых линейным уравнением, справедлив принцип наложения или суперпозиции, согласно которому изменение выходной величины, возникающее при действии на систему нескольких входных сигналов , равно сумме измененийвеличины , вызываемых каждым сигналом в отдельности.

Это свойство линейных систем имеет большое практическое значение, так как благодаря ему значительно облегчаются все расчеты.

Рассмотрим типовые формы записи линейного дифференциального уравнения (1), используемые в различных задачах теории автоматического управления.

Все физические переменные, входящие в уравнение, могут быть выражены в относительных единицах. Для этого каждое слагаемое делят на постоянную величину, имеющую размерность той переменной, которая входит в это слагаемое. Постоянные величины называют базовыми. В качестве базовых величин обычно принимают номинальные или установившиеся значения переменных и .

Удобной формой записи линейных дифференциальных уравнений является символическая или операторная. Переход к операторной форме осуществляют введением сокращенного условного обозначения операции дифференцирования: . Соответственно, k-ю производную переменной  обозначают,

 (2)

тогда уравнение (2) в символической форме будет иметь вид.

 (3)

Многочлены от  степени  и , находящиеся в левой и правой частях уравнения (3), называются дифференциальными операторами. Каждый такой оператор устанавливает соответствие между функцией времени и определенной совокупностью производных этой функции. Многочлен

 (4)

называют собственным оператором, а многочлен

 (5)

называют входным оператором или оператором воздействия.

Название "собственный оператор" обусловлено тем, что многочлен  характеризует собственное (свободное) движение элемента, т.е. движение при отсутствии внешних воздействий. Оператор  называют также характеристическим.

У всех реальных элементов и систем порядок наивысшей производной во входном операторе не может быть больше порядка наивысшей производной в собственном операторе, т.е. всегда . Если это условие не выполняется, то уравнение соответствует физически нереализуемой системе.

Уравнения элементов невысокого порядка  в теории автоматического управления принято записывать в так называемой стандартной форме. При стандартной форме записи уравнение преобразовывают таким образом, чтобы коэффициент при выходной величине был равен единице. При этом коэффициент перед входной величиной в правой части уравнения становится равным передаточному коэффициенту, а коэффициенты при производных выходной величины будут иметь размерность времени в степени, равной порядку соответствующей производной. Например, уравнение второго порядка

 (6)

путем деления всех членов на коэффициент  может быть приведено к стандартной форме

, (7)

где , , ,.

Коэффициенты , ,, принято называть постоянными времени, характеризующими динамические свойства элемента.

**Пример 1**

Составить дифференциальное уравнение электрической цепи (рис. 1).



Рисунок 1. Схема одноконтурной электрической цепи

**Решение.** Входной величиной для цепи является напряжение , а выходной величиной – напряжение . В динамических режимах по одноконтурной цепи протекает ток . Выходное напряжение равно падению напряжения на сопротивлении . На основании второго закона Кирхгофа при нулевых начальных условиях составим уравнение:

. (8)

Выходное напряжение

, (9)

откуда определим значение тока

. (10)

Подставим (10) в (8):

. (11)

Уравнение (11) является интегро-дифференциальным и его необходимо привести к дифференциальной форме. После дифференцирования (11) получим:

 (12)

Уравнение (12) приводится к стандартной форме:

 (13)

где.

В операторной форме уравнение (13) представляется как

. (14)

**Временные характеристики**

Дифференциальное уравнение является самой общей формой описания элемента и не дает наглядного представления о передаточных свойствах элемента. Наглядное представление об этих свойствах дает функция , являющаяся решением дифференциального уравнения. Но одно и то же дифференциальное уравнение может иметь множество решений, зависящих от начальных условий и вида внешнего воздействия . Поэтому принято динамические свойства элементов и систем характеризовать решением, соответствующим нулевым начальным условиям и одному из типовых воздействий. В качестве типового воздействия принимают единичное ступенчатое, дельта-функцию или гармоническое воздействие.

Наиболее наглядное представление о динамических свойствах элемента дает его переходная функция (характеристика). *Переходной функцией*. называют изменение выходной величины  во времени, возникающее после подачи на вход единичного ступенчатого воздействия, при нулевых начальных условиях. Переходная функция может быть задана в виде графика (рис. 2, а) или аналитически.

Переходная функция , как и любое решение неоднородного дифференциального уравнения, имеет две составляющие: вынужденную  и свободную . *Вынужденная составляющая* переходного процесса представляет собой частное решение исходного уравнения. При ступенчатом воздействии вынужденная составляющая равна установившемуся значению выходной величины, которое для статических элементов может быть определено непосредственно из дифференциального уравнения (при нулевых производных):

. (15)

Свободная составляющая может быть найдена как решение однородного дифференциального уравнения (при отсутствии одинаковых корней):

, (16)

где  – корни характеристического уравнения;  – постоянные интегрирования, зависящие от начальных условий.



Рисунок 2. Переходная (а) и импульсная (б) характеристики

 Переходная функция определится как сумма вынужденной и свободной составляющих.

*Характеристическое уравнение*, соответствующее определенному дифференциальному уравнению, представляет собой алгебраическое уравнение, степень и коэффициенты которого совпадают с порядком и коэффициентами левой части этого уравнения. Для дифференциального уравнения, записанного в форме (6), характеристическое уравнение имеет вид

. (17)

Структура характеристического уравнения (2.10) совпадает со структурой левой части уравнения (2.3) и со структурой собственного оператора  (см. (4)). Поэтому при записи характеристического уравнения часто вместо символа , обозначающего неизвестную переменную алгебраического уравнения, используют символ . Но при этом означает уже не операцию дифференцирования, а некоторое комплексное число, которое является решением (корнем) характеристического уравнения.

 Для линейных элементов и систем, кроме принципа суперпозиции, справедливо еще одно общее правило: реакция  на неединичное воздействие  равна .

*Импульсной переходной функцией*  называют изменение выходной величины , возникающее после подачи на вход дельта-функции, при нулевых начальных условиях (рис. 2, б).

Импульсная переходная функция  равна производной от переходной функции :

, (18)

и наоборот, переходная функция равна интегралу от импульсной переходной функции:

. (19)

Переходные характеристики называют также *временными*.

**Пример 2**

Для электрической цепи (рис. 3) определить переходную функцию.



Рисунок 3. Электрическая RC-цепь и ее переходная функция

**Решение.** Электрической цепи соответствуют уравнения:

 (20)

которые путем исключения промежуточной переменной  приводятся к одному дифференциальному уравнению:

 (21)

или в стандартной форме:

, (22)

где .

Из (22) составляем характеристическое уравнение

 (23)

и определяем корень .

Переходная функция . При единичном воздействии вынужденная составляющая также равна единице:. Тогда

 (24)

При , и тогда из (24) определим постоянную интегрирования .

Окончательно имеем

 (25)

Переходная функция показана на рис. 3.

**Операционный метод и передаточная функция**

Наиболее распространенным методом описания и анализа автоматических систем является операционный метод. В основе метода лежит *преобразование Лапласа:*

, (26)

которое устанавливает соответствие между функциями действительной переменной и функциями комплексной переменной . Функцию времени , входящую в интеграл Лапласа, называют *оригиналом*, а результат интегрирования – функцию – *изображением* функции по Лапласу.

Преобразование Лапласа выполнимо лишь для таких функций времени, которые равны нулю при . Это условие обеспечивается обычно умножением функции на единичную ступенчатую функцию . С математической и физической точек зрения такой искусственный прием вполне корректен, так как функции описывают процессы в автоматических системах, начинающиеся с некоторого момента времени, а этот момент времени всегда может быть принят за начало отсчета.

Наиболее важными свойствами преобразования Лапласа являются свойства, формулируемые обычно в виде правил: *при нулевых начальных условиях дифференцированию оригинала по переменной соответствует умножение изображения на комплексную переменную , а интегрированию оригинала соответствует деление на* .

Именно на этих двух свойствах основан операционный метод решения дифференциальных уравнений, который заключается в следующем. Исходное дифференциальное (или интегро-дифференциальное) уравнение, записанное относительно искомой выходной функции , заменяют на алгебраическое уравнение относительно изображения (это называется алгебраизацией дифференциального уравнения), затем, решая алгебраическое уравнение при заданном , находят изображение и, наконец, по изображению определяют функцию . Этот обратный переход от изображений к оригиналам в большинстве практических задач может быть осуществлен при помощи таблиц, имеющихся в специальных справочниках по операционному исчислению.

Широкое распространение операционного метода в теории автоматического управления обусловлено тем, что с его помощью определяют так называемую передаточную функцию, которая является самой компактной формой описания динамических свойств элементов и систем.

Применим преобразование Лапласа к линейному дифференциальному уравнению (1), полагая, что до приложения внешнего воздействия система находилась в покое и все начальные условия равны нулю. Используя свойство линейности и правило дифференцирования, можно получить алгебраическое уравнение в изображениях:

 (27)

где

|  |
| --- |
| , |
| . |

Сравнивая уравнение (27) с уравнением в символической форме (3), можно заметить полную аналогию их структур. Различие уравнений лишь в значении символа : в первом уравнении он обозначает операцию дифференцирования, во втором – комплексную переменную.

Введем понятие передаточной функции. *Передаточной функцией* : называют отношение изображения выходной величины к изображению входной величины при нулевых начальных условиях:

. (28)

Для системы, описываемой уравнением (1), передаточная функция равна отношению входного оператора к собственному оператору :

. (29)

Как следует из (28) и (29), передаточная функция представляет собой некоторый динамический оператор, характеризующий прохождение сигналов через линейный элемент.

Рассмотрим основные свойства и особенности передаточных функций автоматических систем и их элементов.

Передаточная функция элемента связана с его импульсной переходной функцией преобразованием Лапласа:

. (30)

Для реальных элементов, описываемых обыкновенными дифференциальными уравнениями, передаточная функция представляет собой правильную рациональную дробь, у которой степень многочлена числителя меньше или равна степени многочлена знаменателя, т. е. . Все коэффициенты передаточной функции – действительные числа, характеризующие параметры элемента.

Передаточная функция является функцией комплексной переменной , которая может при некоторых значениях переменной  обращаться в нуль или бесконечность. Значение переменной , при котором функция  обращается в нуль, называют нулем , а значение, при котором обращается в бесконечность, – полюсом передаточной функции. Очевидно, что нулями передаточной функции являются корни полинома , а полюсами - корни полинома . Корни полиномов числителя и знаменателя могут быть комплексными, мнимыми и вещественными числами (в том числе и нулевыми). Если эти корни известны, то передаточная функция может быть представлена в следующем виде:

, (31)

где  – корни многочлена (нули );  – корни многочлена  (полюсы ).

 По распределению нулей и полюсов передаточной функции на комплексной плоскости с координатами  и  можно судить о свойствах элемента или системы.

**Пример 3**

Найти передаточную функцию для электрической цепи, схема которой приведена в примере 1 (рис. 1). Входной величиной является напряжение , а выходной – напряжение .

 Передаточную функцию электрических цепей удобно получить на основе операторной схемы замещения цепи для нулевых начальных условий. Напомним, что операторное сопротивление индуктивности равно , емкости – , а активного сопротивления – . На рис. 4 приведена операторная схема замещения рассматриваемой цепи.



Рисунок 4. Операторная схема замещения для определения W(p)

**Решение.** Для операторной схемы замещения относительно изображений переменных справедливы законы Кирхгофа. На основании 2-го закона Кирхгофа составим уравнение

. (32)

Изображение выходного напряжения с изображением тока связано соотношением

. (33)

Исключив из уравнений промежуточную величину , после преобразований получим

, (34)

откуда определим передаточную функцию как

. (35)

Значения постоянных времени ,  и  приведены в примере 1.

Тот же результат может быть получен и из уравнения (7) примера 1.

**Пример 4**

Найти аналитические выражения для частотных характеристик для цепи (пример 3, рис. 4), имеющей передаточную функцию

.

**Решение**. Амплитудно-фазовая функция цепи равна (замена )

.

Выражение для амплитудной частотной характеристики найдем как

.

Фазовая частотная характеристика определится как разность аргументов числителя и знаменателя :

.

**Приложение 2**

Приложение к заданию № 4

**Изучение программы SamSim и изучение с ее помощью типовых звеньев**

**АУ и типовых схем АУ**

**Назначение системы автоматизированного моделирования “SamSim”**

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



Рисунок 1. Главное окно программы

С помощью программы возможно:

- построение любых схем моделей из библиотек элементов,

- задание параметров интегрирования и параметров элементов,

- сохранение в файле и считывание из файла модели,

- построение зависимостей от времени в любых точках схемы,

- построение фазовых портретов для любых схем,

- построение частотных характеристик для любых линейных схем,

- вывод результатов расчёта в графической и табличной форме,

- вывод на печать схемы и её параметров, результатов расчёта.

**Шаг 1**.Посмотреть содержание разделов меню «Файл»

Настройки программы (меню «Настройки»).

****

Рисунок 2. Пункт меню “Настройки пользователя»

На вкладке «Вид и поведение» можно задать окно программы, положение окна Библиотек относительно окна Редактора (слева или справа в главном окне), вывод результатов расчетов.

**Шаг 2.** Установить параметры, как показано на рисунке.

На вкладке «Методы» можно задать точность выполнения расчетов и решения дифференциальных уравнений.

**Шаг 3.** Установить 2-ой порядок точности.

**Шаг 4.** Установить вывод частотных характеристик в радианах.

**Шаг 5.** Просмотреть содержание и установить остальные настройки – по индивидуальному предпочтению.

**Поле редактора (меню «Редактор»)**

Поле редактора разбито на ячейки, в которых могут быть расположены элементы схемы. На поле могут размещаться несколько независимых однотипных схем.



Рисунок 3. Поле редактора (меню «Редактор»)

Слева и сверху поля расположены индексы ячеек. 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 и разворачивать в любом направлении кнопками  на панели инструментов программы.

**Открытие (загрузка с диска) имеющейся модели**

Если у Вас уже имеется готовая схема модели, сохраненная в файле, то открыть ее можно из меню “Файл” > ”Открыть” или кнопкой  на панели инструментов, и в 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.

**Шаг 6.** Откройте в окне редактора схему Demo0.sam.

1. **Расчёт схемы.**

Для расчёта схемы выберите в главном меню пункт “Выполнить” > “Расчёт” или нажмите кнопку  панели инструментов. Для проведения расчёта схемы должна быть установлена хотя бы одна контрольная точка. По результатам расчета будут построены графики в заданных контрольных точках схемы. Вид графика (зависимость от времени или частотные характеристики) зависит от типа входного элемента, задающего сигнал. Цвет кривой на графике соответствует цвету номера контрольной точки.

1. **Установка/удаление контрольной точки.**

Контрольная точка устанавливается (или снимается) на выходе элемента с помощью двойного щелчка левой кнопки мыши по этому элементу схемы, а также через пункты меню «Назначить».

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:

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

- в схеме уже установлено максимальное число контрольных точек;

- выбрано соединение или разветвлении, а не выход элемента.

**Шаг 7.**

1. Поставьте контрольные точки на выходах всех блоков.
2. Установите для входного сигнала: задержку Т=1 с, амплитуду А=N, где N здесь и в дальнейших заданиях – Ваш номер в списке студентов группы на лабораторные занятия.
3. Вычислите графики контрольных точек.
4. Сохраните графики в файл.
5. Сохраните в файл Вашу схему (программу) с именем Demo-1

**Создание новой модели**

Для создания новой схемы модели необходимо выбрать в главном меню программы пункт “Файл” > ”Новая схема” или нажать кнопку  на панели инструментов. Выбрав библиотеку элементов в окне Библиотеки, перетаскиваем мышкой из неё элементы в поле Редактора или, выбрав щелчком мыши будущее положение элемента в поле Редактора, дважды щёлкнуть левой кнопкой мышки по нужному элементу в окне Библиотеки.

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.

**Шаг 8.**

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 параметры входного сигнала, как в задании 7.
4. Вычислите графики контрольных точек и сохраните их в файл.

**Задание названия модели**

Для задания названия модели необходимо выбрать пункт меню "Назначить" > “Название модели”.

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

**Шаг 9.** Задайте название Вашей модели Demo-2.sam, и запишите файл.

**Задание параметров элементов схемы**

Пока не заданы параметры для всех элементов схемы, расчёт схемы невозможен. Задание параметров элементов схемы производится через пункт главного меню “Назначить” > ”Параметры элемента” или через пункт меню, всплывающего по нажатию правой кнопки, или с помощью кнопку «k=…» на панели инструментов.

**Шаг 10.** Задайте в модели Demo-2.sam, более длинный временной интервал, посмотрите и сохраните графики.

Если для элемента схемы не заданы параметры, то этот элемент помечается значком \* (сиреневая звёздочка или чёрный кружок) 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 задания выводится соответствующее сообщение.

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

**Задание параметров интегрирования**

Задание параметров интегрирования (начало, конец и временной шаг расчетов для графиков) производится через пункт главного меню “Задать” > “Параметры интегрирования” или с помощью соответствующей кнопки «t=…» на панели инструментов.

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

**Шаг 11.** Измените параметры интегрирования в модели Demo-2.sam, посмотрите и сохраните графики.

**Проверка схемы**

После составления схемы и задания всех параметров элементов можно проверить ее на корректность составления - пункт меню “Выполнить” > ”Проверка схемы” или нажатие кнопки  на панели инструментов. Результат проверки будет сообщён.

Проверка 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.

**Шаг 12.** Загрузить модель Demo2.sam, разорвать цепь обратной связи и проверить схему.

**Частотные характеристики**

Для построения частотных характеристик на входе схемы должен стоять генератор качающейся частоты (ГКЧ). Частотный диапазон и типы характеристик (АЧХ, ФЧХ, ЛЧХ, АФЧХ), выводимых на экран в графическом виде, задаются как параметры входного элемента – ГКЧ.

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

**Шаг 13.** В модели Demo-1 замените блок входного сигнала на генератор ГКЧ и вычислите последовательно все типы частотных характеристик. Графики характеристик запишите в файлы.

**Годограф (АФЧХ)**

Для построения годографа (АФЧХ) на входе схемы должен стоять генератор качающейся частоты ГКЧ. 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.

**Шаг 14.** Пример построения годографа посмотреть на модели Demo-1.sam, в которой блоки W8p заменить на блоки W1p с параметрами по Т = N, N/2, N/4.

**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.

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

**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).

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>

**Изучение апериодического инерционного звено первого порядка**

Цель работы: Моделирование и изучение временных и частотных характеристик апериодического инерционного звена первого порядка и приобретение практических навыков определения параметров передаточных функций звена по экспериментальным переходным характеристикам.

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 определенное воздействие u(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, t ≤ 0; X(t) = 1(t) = 1, t > 0.

Реакцию анализируемого звена системы на единичное ступенчатое воздействие 1(t) в математической форме описывает переходная функция H(t).

До приложения единичного воздействия звено или система находится в состоянии покоя. Предполагается, что выходная единица имеет ту же размерность, что и физическая переменная на входе системы. В реальных условиях подобное воздействие соответствует быстрому включению задающего сигнала.

Апериодическое 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 Т. Т – 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)).

Весовая функция: h(t) = (k/T) exp(–t/T) 1(t).

АФЧХ инерционного звена:

W(jw) = k/(Tjw + 1) = k(Tjw – 1)/|(Tjw + 1)(Tjw – 1)| =

k |1/( T2w2 + 1) – jTw/( T2w2 + 1)|= k exp(–j arctg Tw) /.

ЛАЧХ и ЛФЧХ инерционного звена:

L(w) = 20 lg |W(jw)| = 20 lg k – 10 lg(T2w2 + 1).

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

Содержание отчета: изложить порядок и результаты выполнения Задания 4.

**Изучение интегрирующего звена**

Цель работы: Моделирование и изучение временных и частотных характеристик интегрирующих звеньев и приобретение практических навыков определения параметров передаточных функций звена по экспериментальным переходным характеристикам.

Интегрирующее (астатическое) звено.

Идеальное интегрирующее звено описывается дифференциальным уравнением: dy/dt = k u(t).

Общее решение: y(t) = y(0) + k u(t) dt. Передаточная функция звена: W(p) = k/p.

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

H(t) = k 1(t) = k1(t) dt, H(p) = k/p2.

Весовая функция при u(t) = δ(t) и нулевых начальных условиях: h(t) = k 1(t), h(p) = k/p.

АФЧХ интегратора: W(jw) = k/jw = –jk/w = k exp(–jp/2)/w.

ЛАЧХ интегратора: L(w) = 20 lg |W(jw| = 20 lg k – 20 lg w.

Интегрирующее звено с замедлением.

Дифференциальное уравнение звена: T d2y(t)/dt2 + dy(t)/dt = k u(t).

Передаточная функция звена: W(p) = k/|p(Tp + 1)|.

Переходная характеристика: H(t) = k|t – T(1 – exp(–t/T))| 1(t).

Весовая функция: h(t) = k|1 – exp(–t/T)| 1(t).

Частотные характеристики звена: L(w) = 20 lg |k/(ω·)|.

Построить графики указанных зависимостей с помощью программы SamSim.

Содержание отчета: изложить порядок и результаты выполнения Задания 4.

**Изучение апериодического звена второго порядка**

Цель работы: Моделирование и изучение временных и частотных характеристик апериодического звена второго порядка и приобретение практических навыков определения параметров передаточных функций звена по экспериментальным переходным характеристикам.

Общие указания: Работа выполняется по шаблону в среде "Mathcad" (Atulab4.mcd).

Дифференциальное уравнение звена: T2 d2y(t)/dt2 + 2ρT dy(t)/dt + y(t) = k u(t), r декремент затухания.

Передаточная функция: W(p) = k/(T2p2 + 2r Tp + 1).

Корни характеристического уравнения: p1,2 = (r ±)/T.

Звено будет апериодическим, если корни вещественные, или колебательным, если корни комплексные.

Если r ≥ 1, то знаменатель W(p) имеет два вещественных корня и может быть разложен на два сомножителя: T2p2 + 2rTp + 1 = (T1p + 1)(T2p +1),

T1,2 = Tr ±).

Переходная характеристика: H(t) = k(1 – (T1/(T1 – T2)) exp(–t/T1) + (T2/(T1 – T2)) exp(–t/T2)) 1(t).

Весовая функция: h(t) = (k/(T1 – T2)) (exp(–t/T1) – exp(–t/T2)) 1(t).

Амплитудная частотная характеристика: A(w) = k/||.

Фазовая характеристика: j(w) = – argtg wT1 – argtg wT2.

Построить графики указанных зависимостей с помощью программы SamSim.

Содержание отчета: изложить порядок и результаты выполнения Задания 4.

**Изучение колебательного звена второго порядка**

Цель работы: Моделирование и изучение временных и частотных характеристик колебательного звена второго порядка и приобретение практических навыков определения параметров передаточных функций звена по экспериментальным переходным характеристикам.

Общие указания: Работа выполняется по шаблону в среде "Mathcad" (Atulab5.mcd).

Дифференциальное уравнение звена: T2 d2y(t)/dt2 + 2rT dy(t)/dt + y(t) = k u(t), r декремент затухания.

Передаточная функция: W(p) = k/(T2p2 + 2r Tp + 1).

Корни характеристического уравнения: p1,2 = (–r ± )/T.

Звено будет колебательным, если корни комплексные.

Аналитическая формула переходной характеристики звена:

H(t) = k[1 – exp(–gt) (cos lt + (g/l) sin lt)] 1(t), g = (l/p) ln (A1/A2), l = w.

Импульсная функция: h(t) = (kw02/l) exp(–gt) sin(lt) 1(t).

По характеристикам реального устройства можно оценить его параметры. Постоянная времени Т и коэффициент затухания: T = Tk/, r = ln(A1/A3) /, где Tk – период колебаний, А1 и А3 – амплитуды двух соседних полуколебаний одного знака относительно установившегося значения.

ЛАЧХ колебательного звена: L(w) = 20 lg k – 10 lg((1 – T2 w2)2 + 4r2T2w2).

Построить графики указанных зависимостей с помощью программы SamSim.

Содержание отчета: изложить порядок и результаты выполнения Задания 4.

**Изучение дифференцирующего звена**

Цель работы: Моделирование и изучение временных и частотных характеристик дифференцирующих звеньев и приобретение практических навыков определения параметров передаточных функций звена по экспериментальным переходным характеристикам.

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 не реализуется. Близок к идеальному звену операционный усилитель в режиме дифференцирования.

Характеристики звена: H(t) = k1'(t) = k d(t). h(t) = k dd(t)/dt. W(jw) = kjw.

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

Звено описывается уравнением: T dy(t)/dt + y(t) = k du(t)/dt.

Передаточная функция: W(p) = kp /(Tp + 1).

Переходная характеристика: H(t) = (k/T) exp(–t/T) 1(t).

Импульсная характеристика: h(t) = |kd(t)/T – (k/T2) exp(–t/T)| 1(t).

Частотная передаточная функция: W(jw) = kjw/(jwT + 1).

Построить графики указанных зависимостей с помощью программы SamSim.

Содержание отчета: изложить порядок и результаты выполнения Задания 4.