Министерство образования и науки Республики Казахстан
ВОСТОЧНО- КАЗАХСТАНСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМ. Д. СЕРИКБАЕВА

Алонцева Д.Л.

ЛИНЕЙНЫЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

Методические указания по выполнению лабораторных работ
для студентов специальности 5В070200 - Автоматизация и управление

Усть-Каменогорск
2013

УДК 681.5

Методические указания содержат 8 лабораторных работ, которые включают в себя цель работы, варианты задания, необходимый теоретический материал и рекомендации по выполнению лабораторной работы, контрольные вопросы, а также необходимую справочную литературу.
Предназначены для студентов специальности для студентов специальности 5В070200 - Автоматизация и управление,могут быть рекомендованы студентам других специальностей, в учебную программу которых входят дисциплины, связанные с автоматикой и автоматизацией.

Утверждено методической комиссией факультета информационных технологии и энергетики

Протокол № ___ от _______ 2013г.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ

Учебный курс «Теория автоматического управления» - один из основополагающих специальных учебных курсов, являющийся неотъемлемой частью подготовки современного специалиста по автоматическому управлению технологическими процессами. Целью изучаемой дисциплины является обучение будущих инженеров по автоматизации решению практических задач, возникающих при расчете и эксплуатации различных систем автоматизированного управления, используемых в современной промышленности, а также получение студентами знаний в области автоматического управления, которые будут необходимы при изучении ряда специальных дисциплин: «Автоматизация технологических процессов», «Технические средства автоматизации», «Автоматизация технических систем», «Современные технологии автоматизации», «Монтаж и эксплуатация автоматических систем» и др.

В последние десятилетия резко возрос объем материала, включаемого в курсы теории управления технических вузов. Компьютеризация обучения является сегодня, по-видимому, единственным средством, позволяющим достичь компромисс между широтой охвата материала и глубиной его освоения.

Поэтому для изучения основ теории управления представляется целесообразным использовать малые и средние специализированные программы. К этому классу относится предлагаемая программа VisSim, обладающая рядом существенных преимуществ. Программа VisSim имеет стандартный интерфейс Windows, систему интуитивно понятных меню и инструментальных панелей, обладает большой наглядностью и информативностью графических образов. В отличие от перечисленных программ, VisSim позволяет моделировать и анализировать значительно более широкий класс систем (в том числе нелинейных, дискретных, многомерных, сложных и иерархических). В программе VisSim дискретные и непрерывные блоки могут совместно применяться в одной модели, т.е. имеется возможность моделирования, так называемых гибридных систем, при этом гибридные системы могут быть и многоскоростными. Кроме того, данная программа позволяет устанавливать связь с другими приложениями в среде Windows, поддерживающими стандартный интерфейс обмена DDE (Dynamic Data Exchange), например, Microsoft Excell.

Простота использования и перечисленные достоинства позволяют надеяться, что использование предлагаемого программного средства в учебном процессе обеспечит достаточно хороший уровень освоения студентами учебного материала и позволит получить навыки решения задач анализа и синтеза систем управления.

Большинство действий, необходимых для работы с программой VisSim, достаточно просты в освоении. Чтобы начать пользоваться программой, достаточно ознакомиться с ее описанием.

Лабораторная работа №1

ОПИСАНИЕ ВИРТУАЛЬНОГО ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА

1.1 Назначение программы VisSim

Программа VisSim предназначена для построения, исследования и оптимизации виртуальных моделей физических и технических объектов, в том числе и систем управления. VisSim это аббревиатура выражения Visual Simulator – визуальная, воспринимаемая зрением, среда и средство моделирования.

Программа VisSim, разработана и развивается компанией Visual Solutions (USA). Эта программа – мощное, удобное в использовании, компактное и эффективное средство моделирования физических и технических объектов, систем и их элементов.

Программа предоставляет человеку развитой графический интерфейс, используя который, исследователь создает модель из виртуальных элементов с некоторой степенью условности так же, как если бы он строил реальную систему из настоящих элементов. Это позволяет создавать, а затем исследовать и оптимизировать модели систем широкого диапазона сложности.

При описании и последующем построении модели в среде VisSim нет необходимости записывать и решать дифференциальные уравнения, программа это сделает сама по предложенной ей исследователем структуре системы и параметрам ее элементов. Результаты решения выводятся в наглядной графической форме. Поэтому программой могут пользоваться и те, кто не имеет глубоких познаний в математике и программировании.

При использовании VisSim 'а не требуется владеть программированием на языках высокого уровня или ассемблере. В то же время, специалисты, владеющие программированием, могут создавать собственные блоки, дополняя ими богатую библиотеку стандартных блоков VisSim'а.

Моделирование систем управления это далеко не весь круг задач, которые можно решать в VisSim. Например, в этой программе при желании можно решать дифференциальные уравнения и VisSim делает это значительно эффективнее и быстрее, чем известная программа математической направленности MathCAD. При соизмеримой и более высокой производительности, чем у программы Simulink, входящей в солидный программный пакет MathLab, VisSim занимает в сотни раз меньше места на жестком диске и в оперативной памяти.

VisSim позволяет также решать задачи по физике, начиная с уровня школьных и кончая серьезными физическими экспериментами на виртуальных лабораторных стендах.

1.2 Графический интерфейс VisSim

Интерфейс программы это совокупность средств, позволяющих человеку общаться с ней:

- вводить и получать данные,
- контролировать ход выполнения компьютером программы,
- подавать управляющие воздействия и наблюдать реакцию на них программы и т.п.

Программа VisSim предоставляет исследователю графический интерфейс, позволяющий основную часть работы по созданию модели выполнить с помощью мыши, а параметры элементов ввести с клавиатуры. Интерфейс VisSim состоит из главного окна, имеющего меню и ряд кнопок управления, воспринимающих щелчки кнопок мыши, и рабочего пространства, в котором строится и корректируется модель, наблюдаются результаты ее работы. Главное окно VisSim имеет вид представленный на рис.1.1

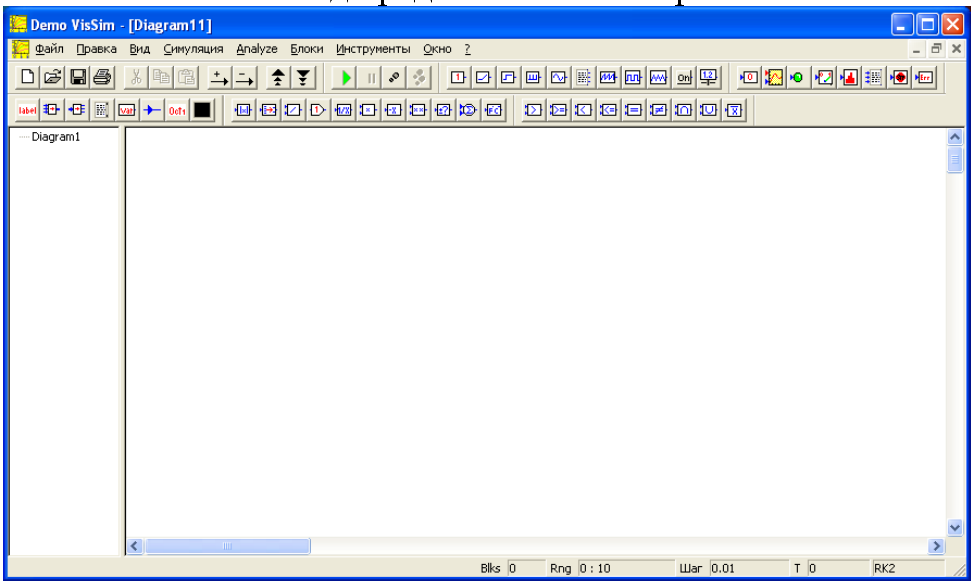

Рисунок 1.1 - Главное окно программы VisSim и ее рабочее пространство

С точки зрения исследователя интерфейс программы VisSim представляет собой интерактивный виртуальный лабораторный стенд, обеспечивающий построение моделей из отдельных блоков, запуск процесса моделирования, управление им и контроль результатов.

Принцип построения модели в VisSim'е состоит в вынесении на рабочее пространство моделей реальных элементов (блоков) и соединении их в соответствии с заранее составленной структурно-алгоритмической схемой моделируемой системы. Такое построение модели из виртуальных блоков очень похоже, с известной степенью условности, на построение реальной системы из настоящих блоков (генераторов, осциллографов, и других устройств) в производственных условиях или на лабораторном стенде.

Блоки VisSim'а можно условно разделить на три основных категории и одну дополнительную:

- Блоки, имеющие только выход: *генераторы*
- Блоки, имеющие вход и выход: *преобразователи*
- Блоки, имеющие только вход: *индикаторы*
- *Осциллограф*

- *Цифровой индикатор*
- Блоки без входов и выходов: *надписи, комментарии* и др.

Важным компонентом модели является **соединительная линия** – виртуальный аналог физического соединения элементов, передающего воздействия от одного элемента к другому. Соединительные линии в VisSim'е однонаправленные, передают сигналы с выхода одного блока к входу другого. Поэтому при построении модели следует так разделять реальную систему на функциональные блоки, чтобы последующий блок практически не влиял на функционирование предыдущего. Например, выходное электрическое сопротивление предыдущего блока должно быть значительно меньше входного сопротивления последующего блока.

Примечание: Входные и выходные сигналы могут быть как одиночными функциями времени, так и набором таких функций. В последнем случае сигнал называется векторным, как и соответствующий вход или выход блока.

1.3 Генераторы

Генераторы это блоки, имеющие только выход.

Генераторы вырабатывают изменяющиеся во времени или постоянные сигналы.

Примерами таких блоков в VisSim являются блоки:

- step (ступенька) – генератор ступенчатой единичной функции $\mathbf{1_0(t)}$;

- ramp (спуск, подъем)– генератор линейно растущего сигнала $\mathbf{t\cdot 1_0(t)}$;

- sinusoid – генератор синусоидального сигнала $\mathbf{X_m sin(\omega t+\varphi)}$;

- const – генератор постоянного сигнала, величина которого не меняется в процессе работы модели;

- slider (скользящий контакт, ползунок) – генератор постоянного сигнала, величину которого можно менять в процессе работы модели.

1.4 Преобразователи

Преобразователи это блоки, имеющие входы и выходы.

Блоки-преобразователи способны воспринимать воздействия от других блоков, преобразовывать их в соответствии с определенными уравнениями или правилами и выдавать преобразованный сигнал (отклик, реакцию блока) на выход.

Важнейшие блоки для моделирования линейных систем:

- transferFunction – блок передаточная функция. Этот блок позволяет создавать модели как простых, так и очень сложных элементов линейных систем и систем в целом;

- integrator – блок интегратора, осуществляющий интегрирование входного сигнала по времени и являющийся фундаментальным кирпичиком любой модели линейной системы;

- summingJunction – сумматор двух и более сигналов, его выходной сигнал равен сумме входных.

- gain – усилитель.

1.5 Индикаторы

Индикаторы это блоки, имеющие только вход.

Индикаторы программы VisSim предназначены для отображения сигналов в форме удобной и привычной для исследователя.

Важнейшими индикаторами являются блоки:

- осциллограф – *plot*;

- цифровой индикатор – *display*.

Виртуальный осциллограф VisSim'а представляет собой окно, похожее на экран осциллографа, в котором изображается зависимость наблюдаемых сигналов от времени (рис. 1.2). На боковой стороне осциллографа помещены условные изображения входов, к которым могут быть подключены выходы других блоков диаграммы для наблюдения поведения их сигналов в зависимости от времени.

Цифровой индикатор Цифровой индикатор **display** VisSim'а – выводит, показывает в цифровом виде значение сигнала на выходе того блока, к которому он подключен. Этот прибор используется для измерения постоянных величин.

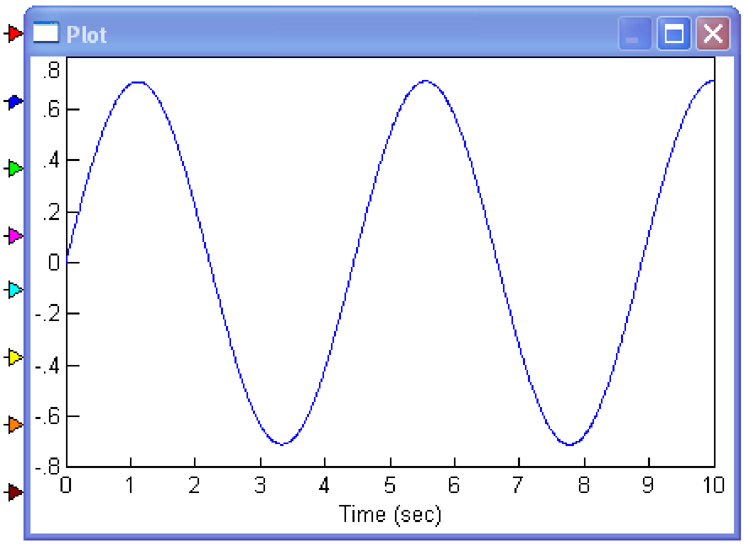

Рисунок 1.2 – Виртуальный осциллограф

1.6 Надписи и комментарии

Надписи это блоки без входов и выходов.

Эти блоки позволяют создавать на рабочем пространстве диаграммы VisSim текстовые области, которые помогают понять смысл диаграммы и содержат сведения о том, кто, когда и какую диаграмму создал. Основной блок: **label** – надпись.

1.7 Принципы управления моделью и получение результатов моделирования

Построенную модель следует запустить в работу, щелкнув по кнопке с зеленым треугольником "Пуск". В результате работы модели выходные сигналы блоков начнут изменяться, их величины просматривают на виртуальном осциллографе и других индикаторах. Параметры некоторых сигналов и блоков исследователь может изменять в процессе работы модели, другие параметры можно изменить, остановив процесс работы модели. Продолжительность работы модели можно задавать до ее запуска, можно и прерывать работу модели по желанию исследователя.

Получив эту команду, программа начинает анализировать то, как соединены блоки, на основе этого анализа составляет дифференциально-алгебраические уравнения, описывающие модель и решает их. Полученные результаты, как функции модельного времени, периодически и очень часто, передаются значениям входных и выходных сигналов блоков. Эта способность программы выполнять столь сложные, интеллектуальные действия, удивляет и восхищает.

Дифференциально-алгебраические уравнения математически описывают динамические объекты, объекты очень широкого класса, обладающие инерционностью и рядом других свойств. И поскольку программа VisSim способна решать такие уравнения, то в ней можно моделировать системы и объекты очень широкого диапазона сложности.

Решение уравнений проводится по шагам – дается малое приращение времени, вычисляются, с учетом начальных условий, значения сигналов на выходах и входах всех блоков, затем вновь дается малое приращение времени, проводятся вычисления и т.д. Малая величина шага интегрирования позволяет исследователю воспринимать сигналы как непрерывные. Выходные сигналы любого блока при желании можно наблюдать на экране виртуального осциллографа или измерять виртуальным цифровым индикатором. В результате решения можно получить зависимости выходных сигналов от времени. Таким образом, работа по моделированию систем в программе VisSim для исследователя похожа на работу на реальном стенде.

Кроме того, программа позволяет более глубоко проанализировать полученные результаты и оптимизировать модель. Например VisSim предоставляет возможность быстрого построения частотных характеристик фрагментов модели и всей системы.

Вопросы для контроля:

1) Что собой представляет и для чего предназначена программа VisSim?
2)Какие задачи решаются путем использования программы VisSim?
3) Перечислите основные блоки VisSim, разделив их на три основных категории и одну дополнительную.
4) Скачайте и установите программу VisSim, ознакомьтесь с ее основными блоками.

Лабораторная работа № 2
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК И ИДЕНТИФИКАЦИЯ ТИПОВЫХ ДИНАМИЧЕСКИХЗВЕНЬЕВ

Цель и содержание задания: Научиться идентифицировать динамические звенья по их временным и частотным характеристикам, а так же находить коэффициенты передачи, постоянную времени и другое, характеристики типовых динамических звеньев по готовым уравнениям.

2.1 Общие сведения

В ЛСАР при моделировании линейных систем применяют так называемые типовые звенья, которые приближенно соответствуют элементам реальных систем и точно и просто описываются математически.

Типовое звено это структурно-математическая модель динамического элемента САР (системы автоматического регулирования) или САР в целом, обладающая определенным ограниченным набором физических свойств, например способностью к накоплению воздействия или к усилению воздействия и инерционностью.

Типовые звенья позволяют провести структурное моделирование системы управления путем замены функциональных элементов системы их моделями при сохранении связей между элементами. Свойства структурной модели системы исследуются математическими методами, а результаты исследований проецируются на исходную САР, что позволяет судить о ее физических свойствах.

Типовые звенья по мере увеличения совокупности свойств, которыми они обладают, и порядка дифференциального уравнения, которым они описываются, разделяют на

- простейшие (усилительное, интегрирующее и дифференцирующее);
- звенья первого порядка (апериодическое, форсирующее, инерционно-дифференцирующее и др.);
- звенья второго порядка (колебательное и апериодическое второго порядка);
- звено третьего порядка (Вышнеградского. Это простейшее звено, способное терять устойчивость);
- звено запаздывания.

Перечисленные линейные звенья содержат один вход и один выход. Существует еще одно линейное звено, которое может иметь несколько, больше одного, входов и один выход: сумматор. Сумматор - необходимое звено для построения модели достаточно сложной системы, состоящей из нескольких звеньев.

Часто в литературе в формулах переходных функций звеньев (3.1 и далее) ступенчатая функция в правой части не указывается, но подразумевается, что $h(t)$ равна нулю при $t < 0$. Это условие физической реализуемости звена, которое означает, что отклик звена появляется вследствие воздействия, а не до него. Условие физической реализуемости отражает причинно-следственную связь между входным и выходным сигналами.

2.2 Динамические звенья и их характеристики во временной области

Рассмотрим систему автоматического регулирования (САР), описываемую линейным дифференциальным уравнением вида:

$$a_n \frac{d^n y(t)}{dt^n} + a_{n-1} \frac{d^{n-1} y(t)}{dt^{n-1}} + \ldots + a_1 \frac{dy(t)}{dt} + a_0 y(t) =$$
$$= b_m \frac{d^m u(t)}{dt^m} + b_{m-1} \frac{d^{m-1} u(t)}{dt^{m-1}} + \ldots b_1 \frac{du(t)}{dt} + b_0 u(t), \qquad (2.1)$$

где *u(t)* – входной процесс; *y(t)* – выходной процесс; *ai, bj,* – постоянные коэффициенты; *n, m (n >= m)* – постоянные числа.

Если ввести обозначение p для оператора дифференцирования $p = \frac{d}{dt}$, то можно записать (2.1) в операторной форме:

$$(a_n p^n + a_{n-1} p^{n-1} + \ldots + a_1 p + a_0) y(t) =$$
$$= (b^m p^m + b^{m-1} p^{m-1} + \ldots + b_1 p + b_0) u(t), \qquad (2.2)$$

Откуда получается:

$$\frac{y(t)}{u(t)} = \frac{B(p)}{A(p)} = W(p),$$

где *A(p)* и *B(p)* – полиномы из формулы (2.2).

Выражение (2.2) по виду совпадает с определением передаточной функции (ПФ) как отношения преобразования по Лапласу выходной переменной к преобразованию по Лапласу входной переменной при нулевых начальных условиях:

$$\frac{y(s)}{u(s)} = \frac{B(s)}{A(s)} = W(s), \qquad (2.3)$$

где *s* – комплексная переменная.

Комплексные числа, являющиеся корнями многочлена B(s), называются нулями передаточной функции, а корни многочлена A(s) –полюсами.

Описание типовых динамических звеньев приведено в таблице.

Таблица 2.1 - Типовые динамические звенья

I	Название звена	ПФ звена
1	Интегрирующее	$W(s)=\dfrac{K}{s}$
2	Дифференцирующее	$W(s)=Ks$
3	Усилительное (безынерционное)	$W(s)=K$
4	Апериодическое 1-го порядка (инерционное)	$W(s)=\dfrac{K}{Ts+1}$
5	Апериодическое 2-го порядка (все корни вещественные)	$W(s)=\dfrac{K}{T_2^2s^2+T_1s+1};\ T_1\ge 2T_2$
6	Колебательное*	$W(s)=\dfrac{K}{T_2^2s^2+T_1s+1};\ T_1<2T_2$
7	Консервативное	$W(s)=\dfrac{K}{Ts^2+1}$
8	Интегрирующее с запаздыванием (реальное интегрирующее)	$W(s)=\dfrac{K}{s(Ts+1)}$
9	Дифференцирующее с запаздыванием (реальное дифференцирующее)	$W(s)=\dfrac{Ks}{Ts+1}$
10	Форсирующее	$W(s)=K(Ts+1)$
11	Изодромное	$W(s)=\dfrac{K(Ts+1)}{s}$

$$W(s)=\frac{K}{T^2s^2+2\xi Ts+1};\quad T=T_2,\quad \xi=\frac{T_1}{2T_2}$$

Временные характеристики динамического звена представляют собой зависимость выходного сигнала системы от времени при подаче на ее вход некоторого типового воздействия. Обычно выполняется анализ выхода системы на единичный скачок (функция Хевисайда) и импульсную функцию (функция Дирака или δ-функция).

Единичный скачок 1(t) определяется условиями:

$$1(t)=\begin{cases}0 \text{ при } t\le 0,\\ 1 \text{ при } t>0.\end{cases}$$

Реакция САУ на единичный скачок называется переходной функцией системы и обозначается h(t). При неединичном ступенчатом воздействии *g(t)=N1(t)*, где *N = const*, в соответствии с принципом суперпозиции выходная реакция системы будет

$$y(t)=N h(t) \tag{2.4}$$

Импульсная функция δ(t) определяется условиями:

$$\delta(t)=\begin{cases}\infty \text{ при } t=0,\\ 0 \text{ при } t\ne 0.\end{cases}$$

Очевидно: $\delta(t)=1'(t).$

Реакция САУ на импульсную функцию называется импульсной переходной функцией системы (функцией веса) и обозначается ω(t).

Импульсная и переходная функции системы связаны соотношением:

$$h(t)=\int_0^t w(\tau)\,d\tau. \tag{2.5}$$

2.3 Частотные характеристики динамических звеньев

Сущность метода частотных характеристик заключается в том, что на вход исследуемой системы подается гармонический сигнал (синусоидальные колебания) в широком диапазоне частот. Реакция системы при разных частотах позволяет судить о ее динамических свойствах.

Пусть входной сигнал системы имеет амплитуду *a* и частоту *ω*, т. е. описывается формулой

$$x=a\sin(\omega t) \tag{2.6}$$

Выходной сигнал будет иметь амплитуду A1 и отличаться от входного по фазе на величину ψ (фазовый сдвиг):

$$y=A_1\sin(\omega t+\psi). \tag{2.7}$$

Таким образом, можно рассчитать усиление по амплитуде $A=\dfrac{A_1}{a}$

Для каждой частоты входного сигнала ω􀀀будут свои A и ψ.

Изменяя ω в широком диапазоне, можно получить зависимость A(ω) – амплитудную частотную характеристику (АЧХ) и ψ(ω) – фазовую частотную характеристику (ФЧХ).

Главное достоинство метода частотных характеристик заключается в том, что АЧХ и ФЧХ объекта могут быть получены экспериментально. Для этого необходимо иметь генератор гармонических колебаний, который подключается к входу объекта, и измерительную аппаратуру для измерения амплитуды и фазового сдвига колебаний на выходе объекта.

Частотные характеристики САУ могут быть получены по ее ПФ *W(s)*. Для суждения о реакции звена на синусоидальный сигнал достаточно исследовать его реакцию на гармонический сигнал вида [1]

$$x(j\omega) = e^{j\omega t} \tag{2.8}$$

Тогда выходной сигнал

$$y(j\omega) = A(\omega) e^{j(\omega t + \psi(\omega))} \tag{2.9}$$

и частотная ПФ

$$W(j\omega) = \frac{y(j\omega)}{x(j\omega)} = A(\omega) e^{j\psi(\omega)} \tag{2.10}$$

Формально для получения частотной ПФ надо сделать в *W(s)* подстановку $s = j\omega$, и тогда полученная $W(j\omega)$ является комплексным выражением, которое можно представить в виде:

$$W(j\omega) = \frac{a_1(\omega) + jb_1(\omega)}{a_2(\omega) + jb_2(\omega)} \tag{2.12}$$

Для нахождения вещественной и мнимой частей частотной передаточной функции необходимо домножить числитель и знаменатель на сопряженную знаменателю величину, а затем провести разделение:

$$W(j\omega) = \frac{a_1(\omega) + jb_1(\omega)}{a_2(\omega) + jb_2(\omega)} = \frac{(a_1(\omega) + jb_1(\omega))\ \ (a_2(\omega) - jb_2(\omega))}{(a_1(\omega) + jb_2(\omega))\ \ (a_2(\omega) - jb_2(\omega))} =$$

$$= \frac{a_1(\omega)a_2(\omega) + b_1(\omega)b_2(\omega)}{a_2^2(\omega) + b_2^2(\omega)} + j\frac{a_2(\omega)b_1(\omega) - a_1(\omega)b_2(\omega)}{a_2^2(\omega) + b_2^2(\omega)} =$$

$$= U(\omega) + jV(\omega) = A(\omega) \cdot e^{j\varphi(\omega)},$$

где

$$A(\omega)=\left|W(j\omega)\right|=\sqrt{U^2(\omega)+V^2(\omega)}=\frac{\sqrt{a_1^2+b_1^2}}{\sqrt{a_2^2+b_2^2}},$$

$$\psi(\omega)=\arg(W(j\omega))=\mathrm{arctg}\left[\frac{V(\omega)}{U(\omega)}\right]=\mathrm{arctg}\left[\frac{b_1}{a_1}\right]-\mathrm{arctg}\left[\frac{b_2}{a_2}\right].$$

Графики функций U(ω) и V(ω) называют соответственно вещественной и мнимой частотной характеристиками.

В практических расчетах удобно применять графики частотных характеристик, построенных в логарифмическом масштабе – логарифмические частотные характеристики (ЛЧХ).

Логарифмическая амплитудная частотная характеристика (ЛАЧХ) определяется следующим выражением:

$$L(\omega) = 20\ \lg A(\omega). \tag{2.12}$$

Логарифмической фазовой частотной характеристикой (ЛФЧХ) называется график зависимости ψ(ω), построенный в логарифмическом масштабе частот.

Единицей L(ω) является децибел (дБ), а единицей логарифма частоты – декада. Декадой называют интервал частот, на котором частота изменяется в 10 раз. При изменении частоты в 10 раз говорят, что она изменилась на одну декаду. Ось ординат при построении ЛЧХ проводят через произвольную точку, а не через точку ω= 0. Частоте ω= 0 соответствует бесконечно удаленная точка: $\lg\omega \to -\infty$ при $\omega \to 0$.

Основное преимущество использования ЛЧХ заключается в том, что приближенные (асимптотические) ЛАЧХ типовых динамических звеньев изображаются отрезками прямых.

Пример. Построим ЛЧХ апериодического звена первого порядка.

Передаточная функция звена

$$W(s)=\frac{k}{Ts+1}\cdot$$

Частотная передаточная функция

$$W(j\omega)=\frac{k}{Tj\omega+1}=\frac{k(1-Tj\omega)}{(T\omega)^2+1},$$

$$U=\frac{k}{(T\omega)^2+1},\quad V=-\frac{kT\omega}{(T\omega)^2+1}.$$

Следовательно, АЧХ описывается формулой

$$A(\omega)=\frac{k}{\sqrt{(T\omega)^2+1}}, \tag{2.13}$$

ФЧХ строится по формуле

$$\psi(\omega)=-\mathrm{arctg}(T\omega). \tag{2.14}$$

ЛАЧХ апериодического звена 1-го порядка

$$L(\omega)=20\lg k-20\lg\sqrt{(T\omega)^2+1}. \tag{2.15}$$

По этой формуле можно построить две асимптоты – прямые, к которым стремится ЛАЧХ при ω→0 и ω→∞. Так, при ω→0 второе слагаемое близко к нулю, и этот участок ЛАЧХ представляет собой горизонтальную прямую

$$L(\omega)=20\lg k.$$

При ω→∞ получаем наклонную прямую:

$$L(\omega)\approx-20\lg\sqrt{(T\omega)^2+1}\to-\infty \tag{2.16}$$

Для определения наклона этой прямой можно рассмотреть границы декады:

$$\omega=\frac{1}{T}\text{ и }\omega=\frac{10}{T}.$$

Изменение ЛАЧХ между этими точками:

$$\Delta L(\omega)\approx-20\lg\sqrt{\left(T\frac{10}{T}\right)^2+1}+20\lg\sqrt{\left(T\frac{1}{T}\right)^2+1}\approx-20\ (\text{дБ/дек}).$$

ЛЧХ часто называют *диаграммами Боде.*

Задача. При изменении положения регулирующего органа объекта с 20 до 40 % температура в объекте изменилась от 150 до 220 °C в течении 22 секунд. Данные изменения температуры представлены в таблице 1.1.

Таблица 1.1

t, c	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22
θ, °C	150	170	185	196	203	207	212	216	218	219	220	220

Необходимо: а) определить тип звена, к которому можно отнести данный объект; б) вычислить передаточный коэффициент $K_{об}$ и постоянную времени T объекта; в) в численном виде представить уравнение объекта и его передаточную функцию.

Пояснения:

- предварительно постройте график изменения температуры и по его виду определите тип звена;
- уравнение объекта соответствует уравнению опознанного звена, в которое проставьте численные значения $K_{об}$ и T.

Ответ: б) $3.5\frac{^oC}{\%X.P.O.}$; 6,8 секунд. в) $2\_^0C/c\times\%X.P.O.$

Лабораторная работа № 3
ИССЛЕДОВАНИЕ УСИЛИТЕЛЬНОГО ЗВЕНА

Цель работы: изучение экспериментальных способов определения динамических свойств усилительного звена и получение его математической модели.

3.1.1 Усилительное звено

Его переходная функция равна

$$h(t) = k \cdot 1_0(t) \qquad (3.1)$$

Передаточная функция усилительного звена равна его коэффициенту усиления:

$$W(p) = k \qquad (3.2)$$

здесь k – коэффициент усиления звена. Коэффициенты усиления типовых звеньев могут быть размерными и безразмерными.

Как видно из определения и формулы 3.1, усилительное звено это безинерционное звено усиливающее сигнал в k раз в любой момент времени, как бы быстро он не изменялся. Усилительным звеном моделируются системы управления и их элементы в статике, в таком режиме, когда воздействия, поступающие на систему управления, не изменяются во времени уже в течение достаточно длительного времени.

3.1.2 Задание

3.1.2.1 Построить виртуальный стенд для исследования усилителя. Для этого вынесите на рабочее поле Vissim'a блоки генератор **step** ступенчатого сигнала (Blocks – Signal Producer - step), усилитель (Blocks – Arithmetic - gain), осциллограф (Blocks – Signal Consumer – Plot) рисунок 3.1;

3.1.2.2 Чтобы вид модели был аккуратнее, следует выбрать в меню Вид пункт Параметры блоков;

3.1.2.3 В нижней части рисунка 3.1 показана панель Vissim'a, на которой отображаются основные параметры моделирования:

- количество блоков (Blks) – 5;
- модельное время Rng выбирается в меню Симуляция пункт Настройки симуляции изменяющимся в начале от -0.5 сек конец до 2 сек. Это сделано для повышения наглядности осциллограммы, чтобы показать часть оси времени левее нуля и поведение там исследуемых функций;
- шаг моделирования Step (там же Time Step) выбран равным 0.01 сек;
- T – текущее время, параметр, полезный при моделировании в реальном времени (отметить при необходимости …от текущего состояния);
- RK2 – интегрирование проводится по методу Рунге-Кутты 2 порядка.

3.1.2.4 Измените коэффициент усиления. Для этого следует дважды щелкнуть по блоку и в единственном поле диалогового окна Properties задать значение коэффициента усиления. Варианты заданий смотрите в таблице 3.1

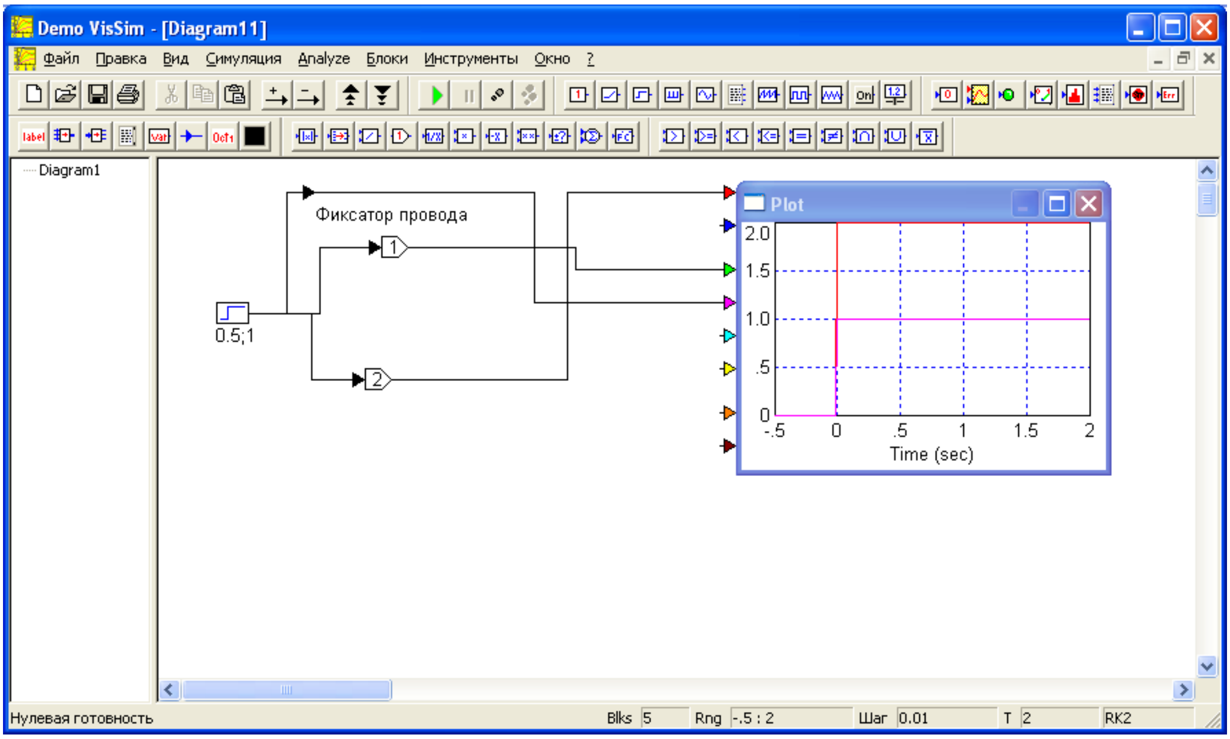

Рисунок 3.1 – Усилительное звено

Таблица 3.1

Вариант	k	T, c	Вариант	k	T, c	Вариант	k	T, c
1	2	1	9	5	9	17	3	20
2	3	2	10	4	10	18	2	21
3	4	3	11	3	12	19	2	22
4	5	4	12	2	14	20	3	24
5	4	5	13	4	15	21	4	25
6	3	6	14	5	16	22	5	27
7	2	7	15	5	17	23	5	28
8	4	8	16	4	18	24	4	30

Контрольные вопросы к лабораторной работе № 3

1. Что такое ступенчатая единичная функция 1(t) (функция включения, функция Хевисайда)?
2. Что такое переходная функция линейного звена?
3. Что такое передаточная функция линейного звена?
4. Записать выражения для передаточной и переходной функций усилительного звена, назвать его параметр и указать, как этот параметр связан с переходной характеристикой усилительного звена.
5. Каково условие физической реализуемости линейного звена?

Лабораторная работа № 4
ИССЛЕДОВАНИЕ ИНТЕГРИРУЮЩЕГО ЗВЕНА

Цель работы: Изучение экспериментальных способов определения динамических свойств интегрирующего звана (тактового интегратора), исследование нескольких интеграторов.

4.1. Интегрирующее звено

Интегратор - это звено, выходной сигнал которого пропорционален интегралу по времени от входного:

$$h(t)=\frac{1}{T}\int_{0}^{t} x(t) \qquad (4.1)$$

Передаточная функция интегратора равна:

$$W(p)=\frac{1}{pT}=\frac{k}{p} \qquad (4.2)$$

здесь T [сек] – постоянная времени интегратора, k = 1/T [1/сек] - коэффициент усиления интегратора.

4.2 Задание

4.1.1.1 Проверить действительно ли интегратор Vissim'a (Blocks – Integration - Integrator) является таковым. Для этого вычислить по формуле 4.1 значения переходной функции интегратора в различные моменты времени, отделяя их некоторым шагом, и проставить точки на снимке осциллограммы в программе Paint таблица 4.1 рисунок 4.1 (синий график);

4.1.1.2 Задать величину ступеньки, отличающуюся от единицы и убедиться, что крутизна выходного сигнала интегратора изменилась пропорционально изменению величины ступеньки. Если точки, вычисленные по формуле переходной функции ложатся на экспериментальную линию, то исследуемое устройство – интегратор, таблица 4.2 рисунок 4.1 (розовый график);

4.1.1.3 Vissim позволяет исследовать одновременно несколько интеграторов с разными постоянными времени. Построить виртуальный стенд для исследования интеграторов как показано на рисунке 4.2;

4.1.1.4 Интегратор Vissim'a не позволяет изменять его постоянную времени. Для этого применены усилители (Blocks – Arithmetic - gain), усиление которого обратно пропорционально постоянной времени k = 1/T [1/сек]. (См. формулу 4.2). Убедиться, что постоянная времени интеграторов может изменяться, включите последовательно с ними (Blocks – Arithmetic - gain) усилители и измените его коэффициенты усиления.

4.1.1.5 Постоянные времени следует определить по графикам с точностью в две значащих цифры.

Таблица 4.1

t	0	0.5	1	1.5	2
y(t)	0	0.5	1	1.5	2

$$y(t)=\begin{cases} t, \; t \geq 0 \\ 0, \; t < 0 \end{cases}$$

Таблица 4.2

t	0	0.5	1	1.5	2
y(t)	0	0.75	1.5	2.25	3

$$y(t)=\begin{cases} 1.5t, \; t \geq 0 \\ 0, \quad t < 0 \end{cases}$$

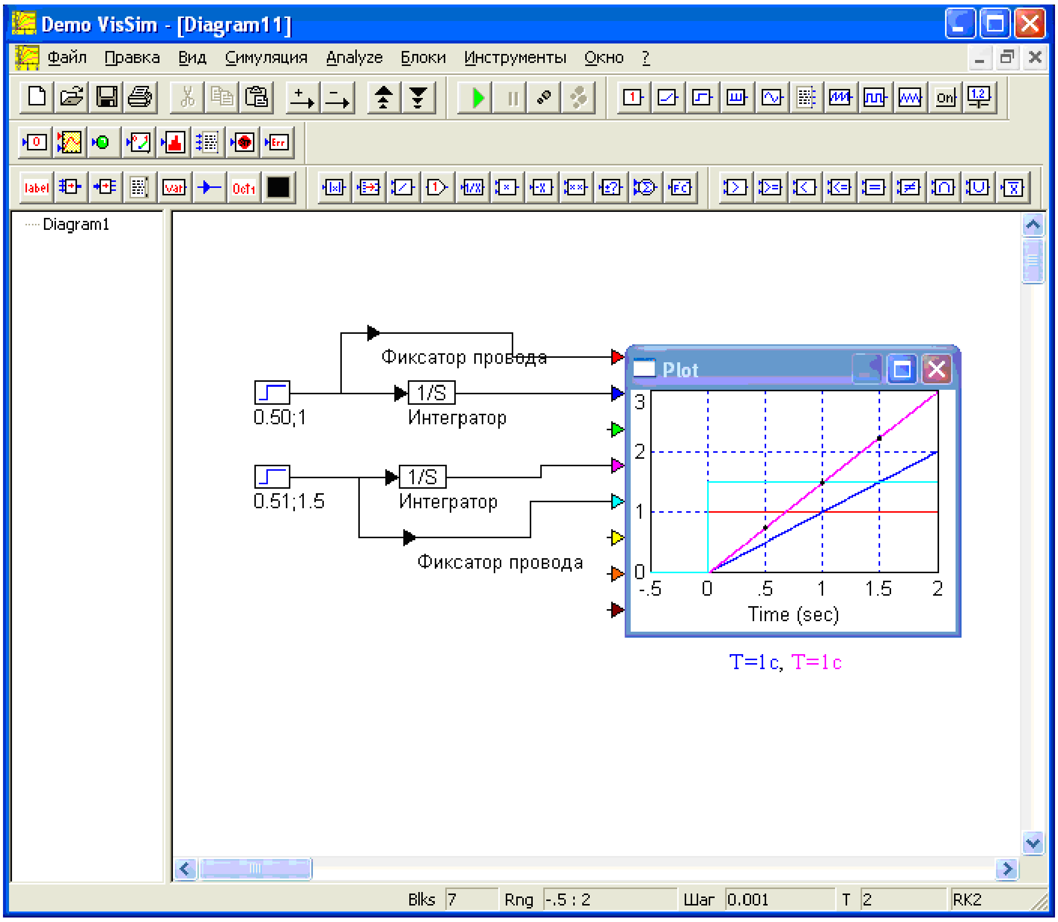

Рисунок 4.1 – Исследование тактового интегратора

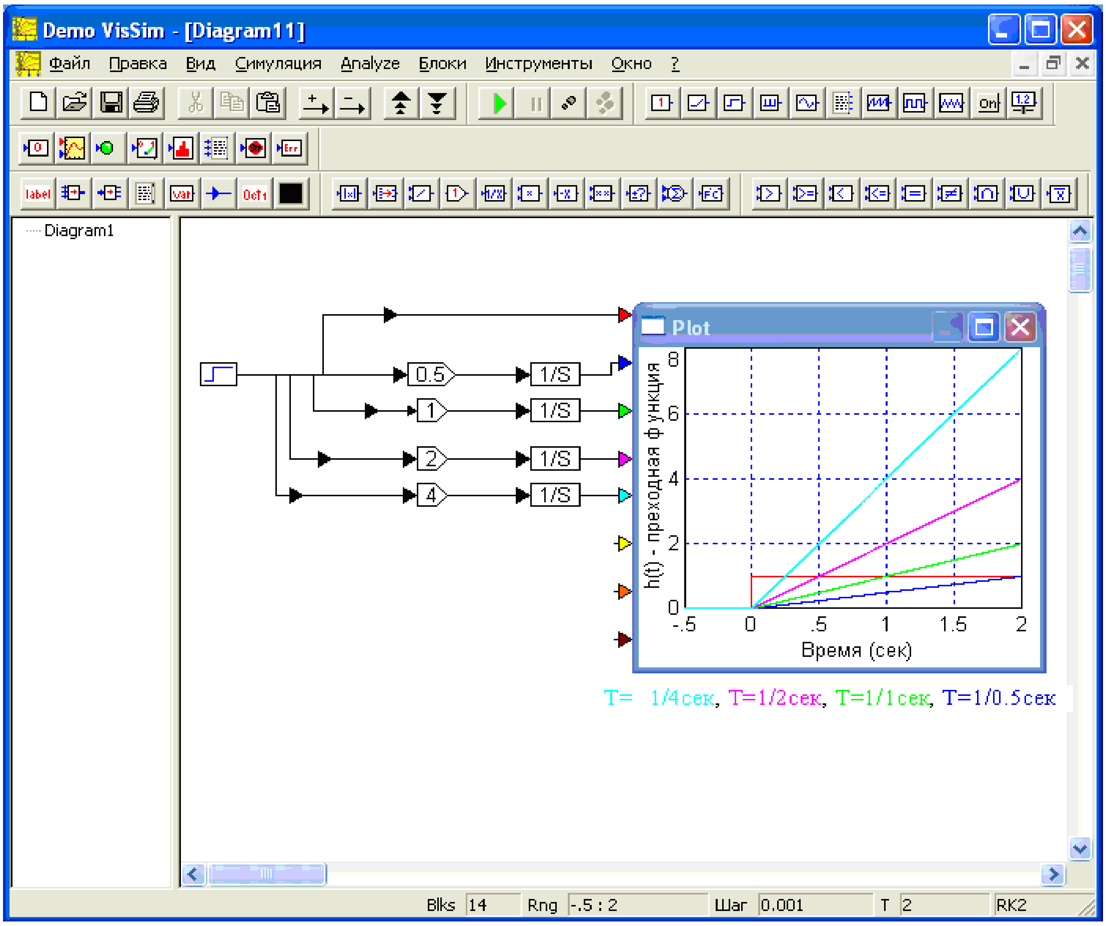

Рисунок 4.2 – Исследование нескольких интеграторов

Контрольные вопросы к лабораторной работе №4

1. Как выносится на рабочее пространство Vissim'а интегратор? Как задаётся его параметр?
2. Почему линейные блоки характеризуют переходной функцией? Какая от нее польза?
3. Как проявляется свойство интегратора накапливать входной сигнал?
4. Как проверить линейность интегратора, т.е. то, что реакция на сумму воздействий блока интегратора равна сумме его реакций на каждое из них?
5. Как исследовать одновременно несколько интеграторов с разными постоянными времени?
6. Сделать вывод о соответствии и о точности соответствия виртуального интегратора идеальному.
7. Интегрирующее звено, его дифференциальное уравнение, передаточная функция.
8. Что такое коэффициент передачи и как он определяется?
9. Как определить постоянную времени интегратора?
10. Как определяется крутизна выходного сигнала интегратора?

Лабораторная работа №5
ИССЛЕДОВАНИЕ АПЕРИОДИЧЕСКОГО ЗВЕНА

Цель работы: построение модели апериодического звена и исследование его временной характеристики.

5.1 Общие сведения

Апериодическое звено это звено, выходной сигнал y(t) которого связан с входным x(t) дифференциальным уравнением:

$$T\frac{dY}{dt}+Y=kx \tag{5.1}$$

Передаточная функция апериодического звена равна:

$$W(p)=\frac{k}{Tp+1} \tag{5.2}$$

здесь два параметра: k – коэффициент усиления (размерный или безразмерный) и T – постоянная времени, сек.

Переходная функция апериодического звена:

$$h(t)=k(1-e^{-t/T}) \tag{5.3}$$

Апериодическое звено – простейшее из тех звеньев, которые обладают инерцией. Действительно, (5.1) показывает, что это звено не сразу, вначале быстро, а затем все более постепенно реагирует на ступенчатое воздействие. Это происходит потому, что в физическом оригинале апериодического звена имеется один накапливающий элемент (а также один или несколько потребляющих энергию элементов), энергия, запасенная в котором, не может изменяться скачком во времени – для этого потребовалась бы бесконечная мощность.

5.2. Задание

5.2.1.1 Модель апериодического звена задайте и составьте из интегратора, сумматора и усилителя (смотрите рисунок 5.1).

5.2.1.2 Модель эквивалентного апериодического звена задайте передаточной функцией (блоком transferFunction) рисунок 5.2. Совпадение переходных функций будет свидетельствовать об идентичности моделей.

5.2.1.3 Изменяя значения коэффициентов усиления k1, k2 получите требуемые значения параметров k и T апериодического звена (таблица 3.1).

При расчете коэффициентов используйте равенства $k=\frac{k_2}{k_1}$, $T=\frac{1}{k_1}$,

$$W(p)=\frac{\frac{k_2}{k_1}}{p\frac{1}{k_1}+1}=\frac{k}{Tp+1}$$

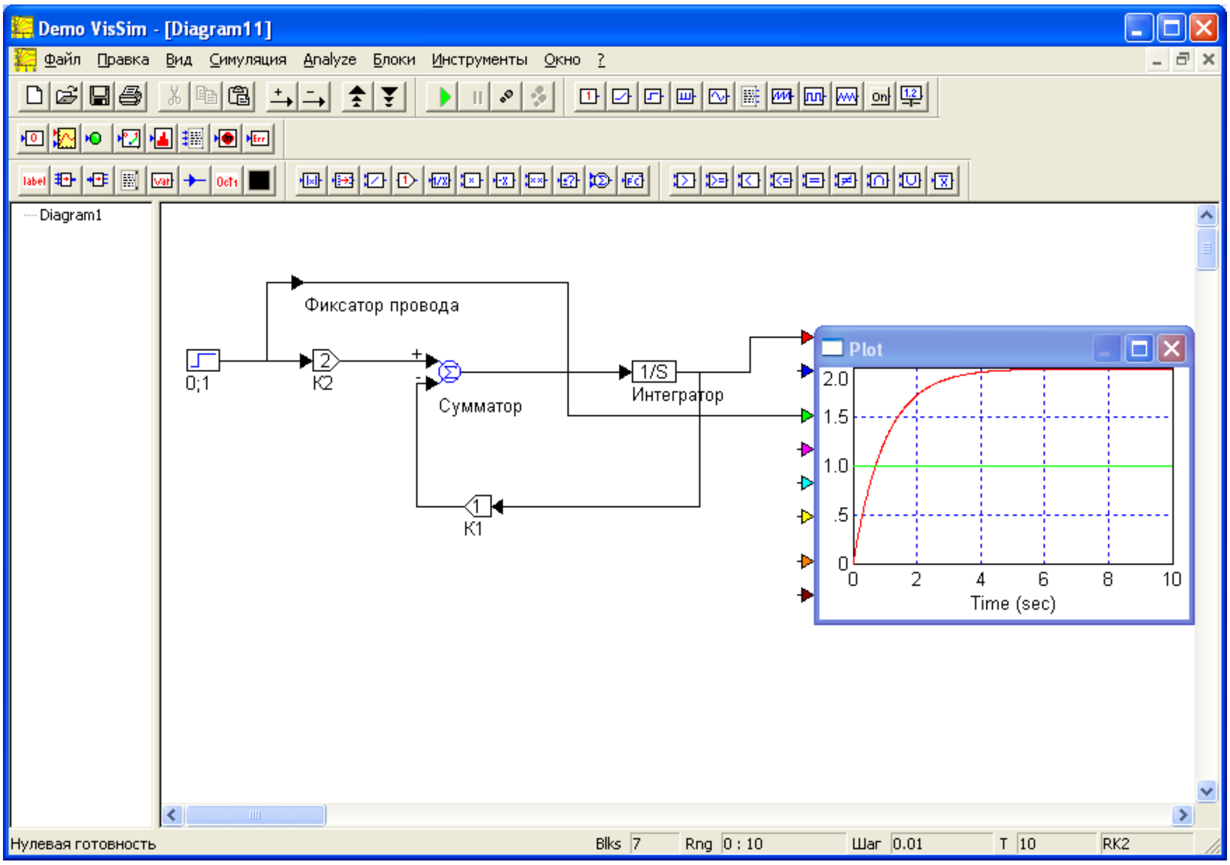

Рисунок 5.1 – Модель апериодического звена

5.2.1.4 Сравните осциллограммы для этого к выходному сигналу одной из моделей можно прибавить малую константу, например 0.9, тогда осциллограммы расположатся параллельно, и одна не будет закрываться другой. Сделайте вывод.

5.2.1.5 Параметры апериодического звена задайте в окне диалога, появляющегося при двойном щелчке по блоку transferFunction Задание передаточной функции. Числа (коэффициенты полиномов) должны быть отделены пробелами, аргумент p не вводится, программа выводит его в формуле сама см. рисунок 5.3.

5.2.1.6 Сделайте вывод о точности модели апериодического звена используемой в VisSime. Для этого вычислите точки переходной функции апериодического звена по формуле 5.3 и сравните их с экспериментальной переходной функцией.

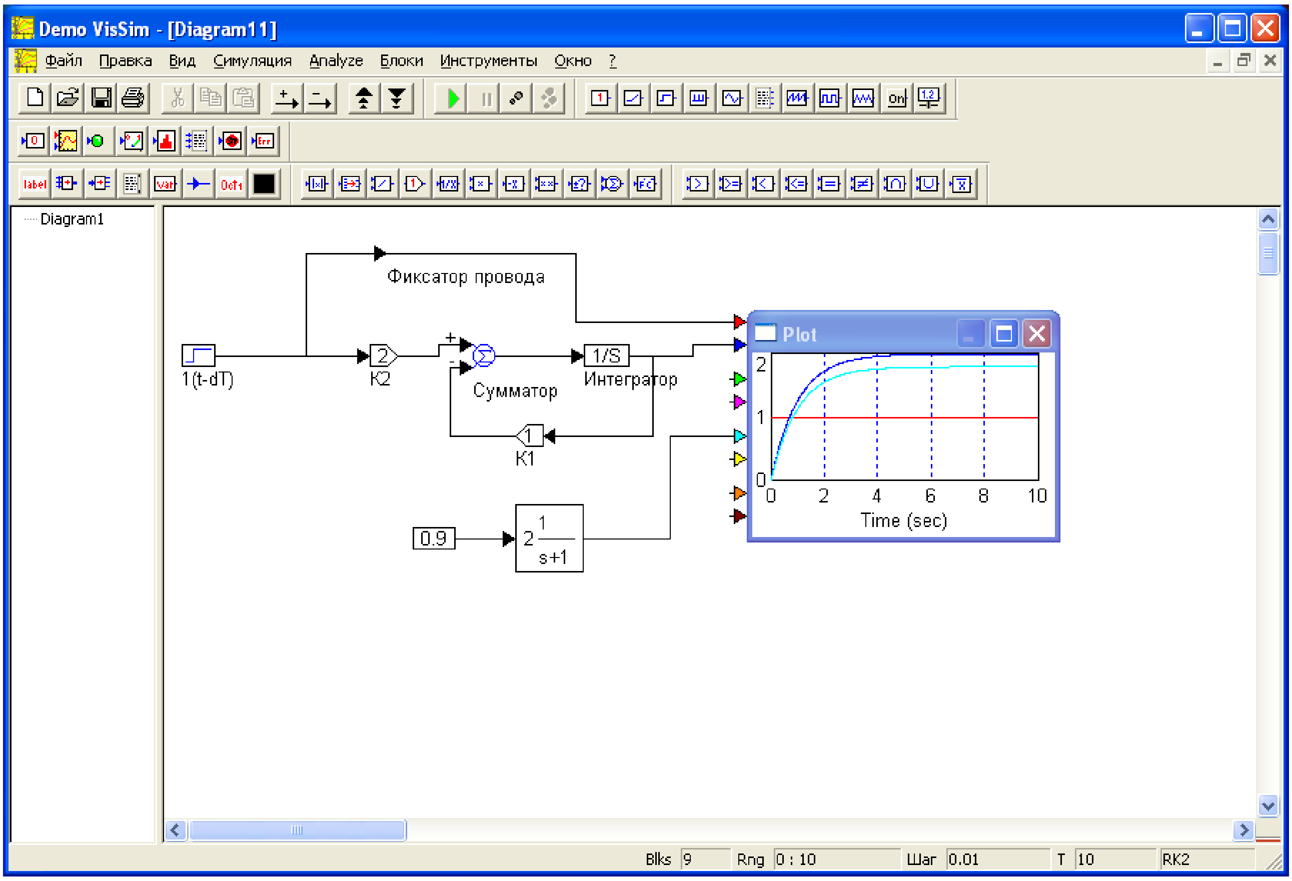

Рисунок 5.2 – Эквивалентная модель апериодического звена

Контрольные вопросы к лабораторной работе №5

1. Записать выражения для передаточной и переходной функций апериодического звена, назвать его параметры и указать как они связаны с переходной характеристикой апериодического звена.
2. Как выносится на рабочее пространство Vissim’а блок transferFunction (Передаточная функция)? Как задаются их параметры?
3. Какие линейные звенья могут быть промоделированы блоком Vissim’а transferFunction?
4. Как проявляется инерционное свойство апериодического звена? Чем оно обусловлено?
5. Что называется звеном?
6. Апериодическое звено, его дифференциальное уравнение.
7. Как определяется постоянная времени апериодического звена?
8. Как проверить точность модели апериодического звена?
9. Как получить значения коэффициентов усиления k1, k2?
10. Приведите примеры апериодического звена.

Лабораторная работа № 6
ИССЛЕДОВАНИЕ КОЛЕБАТЕЛЬНОГО ЗВЕНА

Цель работы: построение модели колебательного звена и исследование его временных характеристик

6.1 Общие сведения

Колебательное звено наряду со свойствами, присущими уже перечисленным звеньям (способности к усилению, накоплению и инерционностью), обладает и еще одним свойством, которого нет у более простых звеньев, колебательностью. Это его способность при определенном сочетании параметров Т и δ переходить к новому стационарному значению, определяемому воздействием, или возвращаться в исходное состояние после снятия воздействия, колебательно. Такое поведение обусловлено наличием в колебательном звене двух накапливающих элементов, способных обмениваться друг с другом энергией разного рода (потенциальной и кинетической, электрической и магнитной и т.п.), и элемента(ов), потребляющего, рассеивающего энергию.

Если затухание достаточно велико или накапливающие элементы содержат энергию одного вида, например это два электрических конденсатора, то колебаний в звене не происходит, и его называют еще и апериодическим

Колебательное звено это звено, выходной сигнал y(t) которого связан со входным сигналом x(t) дифференциальным уравнением:

$$T^2 \frac{d^2Y}{dt^2} + 2\delta T \frac{dY}{dt} + Y = kx \tag{6.1}$$

Его передаточная функция имеет вид:

$$W(p) = \frac{k}{T^2 p^2 + 2\delta T p + 1} \tag{6.2}$$

Переходная функция равна

$$h(t) = k\left[1 - \frac{1}{\sqrt{1-\delta^2}} e^{-\delta\frac{t}{T}} \sin(\omega t + \varphi)\right] \tag{6.3}$$

здесь три параметра k – коэффициент усиления, Т – постоянная времени и декремент затухания δ (безразмерный, может меняться от 0 до бесконечности) $\omega = \frac{\sqrt{1-\delta^2}}{\grave{O}}$ - частота затухающих колебаний (рад/с), $\varphi = \arccos(\delta)$ - начальная фаза.

При δ ≥ 1 трение в системе, рассеивание энергии, относительно велико и колебательность переходной функции исчезает, функция становится монотонной апериодической 2-го порядка.

Постоянная времени Т колебательного звена не равна периоду колебаний $T_{кол}$, она связана с периодом, но существенно меньше его.

$$T_{\hat{e}\hat{i}\ddot{e}} = \frac{2\pi T}{\sqrt{1-\delta^2}} \qquad (6.4)$$

При δ < 0.5 период затухающих колебаний примерно равен $T_{кол} \approx 2\pi T$. По колебательной (δ < 0.5) переходной характеристике колебательного звена можно приближенно оценить его параметры:

- уровень успокоения колебаний равен коэффициенту усиления k звена;
- постоянная времени приближенно равна $T \approx T_{кол}/2\pi$
- декремент затухания приближенно равен $\delta \approx 3T/T_{пер}$,

где $T_{пер}$ - длительность переходного процесса, определяемая промежутком времени, за которое переходная функция попадает в пятипроцентный коридор.

При δ=0 переходная функция представляет собой гармонические незатухающие колебания с постоянной амплитудой, это колебательное звено относится к консервативному;

При δ < 0 мы имеем расходящийся колебательный процесс;

При 0<δ < 1 – сходящийся колебательный процесс, в этом случае колебательное звено является форсирующим.

6.2. Задание

6.2.1.1 Построить в программе Vissim виртуальный лабораторный стенд для исследования модели колебательного звена из интеграторов, сумматоров и усилителей. Изменяя значения коэффициентов усиления К1, К2 и К3 можно получить любые требуемые значения параметров колебательного звена: $\hat{E}1 = \frac{1}{\grave{O}^2}$; $\hat{E}2 = \frac{2\delta}{\grave{O}}$; $\hat{E}3 = \frac{\hat{E}}{\grave{O}^2}$. Например, для К=1, Т=0.5, δ=0.1 график переходной функции колебательного звена представлен на рисунке 6.1

6.2.1.2. Построить в программе Vissim виртуальный лабораторный стенд для исследования модели эквивалентного колебательного звена. Колебательное звено создается вынесением на рабочее поле блока Передаточная функция - transferFunction и задайте его параметры рисунок 6.2.

6.2.1.3 Сравните осциллограммы для этого к выходному сигналу одной из моделей прибавьте малую константу, например 0.7, тогда осциллограммы расположатся параллельно, и одна не будет закрываться другой. Сделайте вывод.

6.2.1.4 Вычислите значения переходной функции h(t) звена используя формулу (6.3) с параметрами k, T, δ. Параметры выбрать из таблицы 6.1. Проставить в Paint'е точки на соответствующей осциллограмме. Вычисления можно провести в Маткаде. Сделать вывод о точности модели колебательного звена, используемой в Vissim'е.

6.2.1.5 Определить по осциллограммам параметры звеньев: постоянные времени, коэффициенты усиления и декременты затухания и указать, какая кривая соответствует какому звену. Объяснить почему.

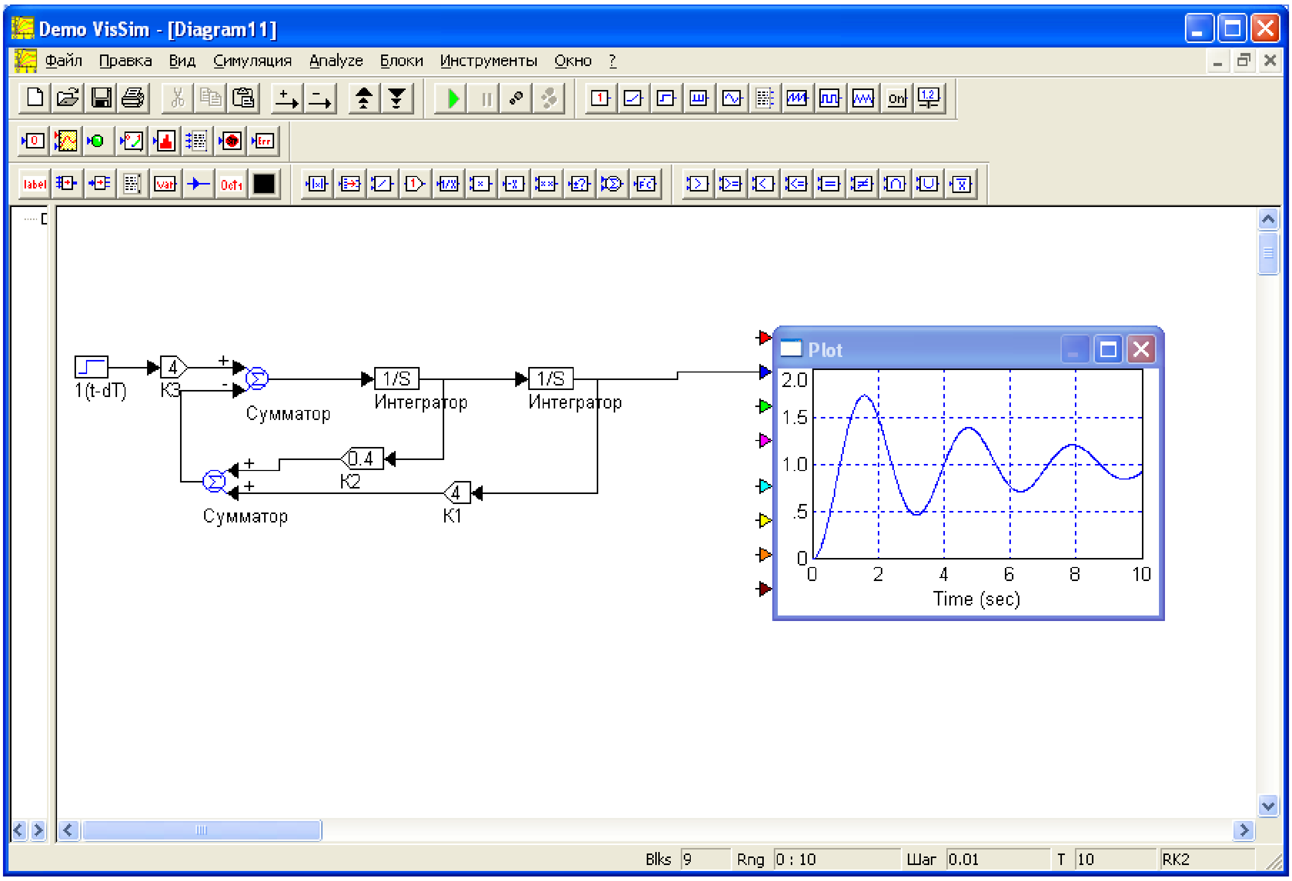

Рисунок 6.1 – Модель колебательного звена

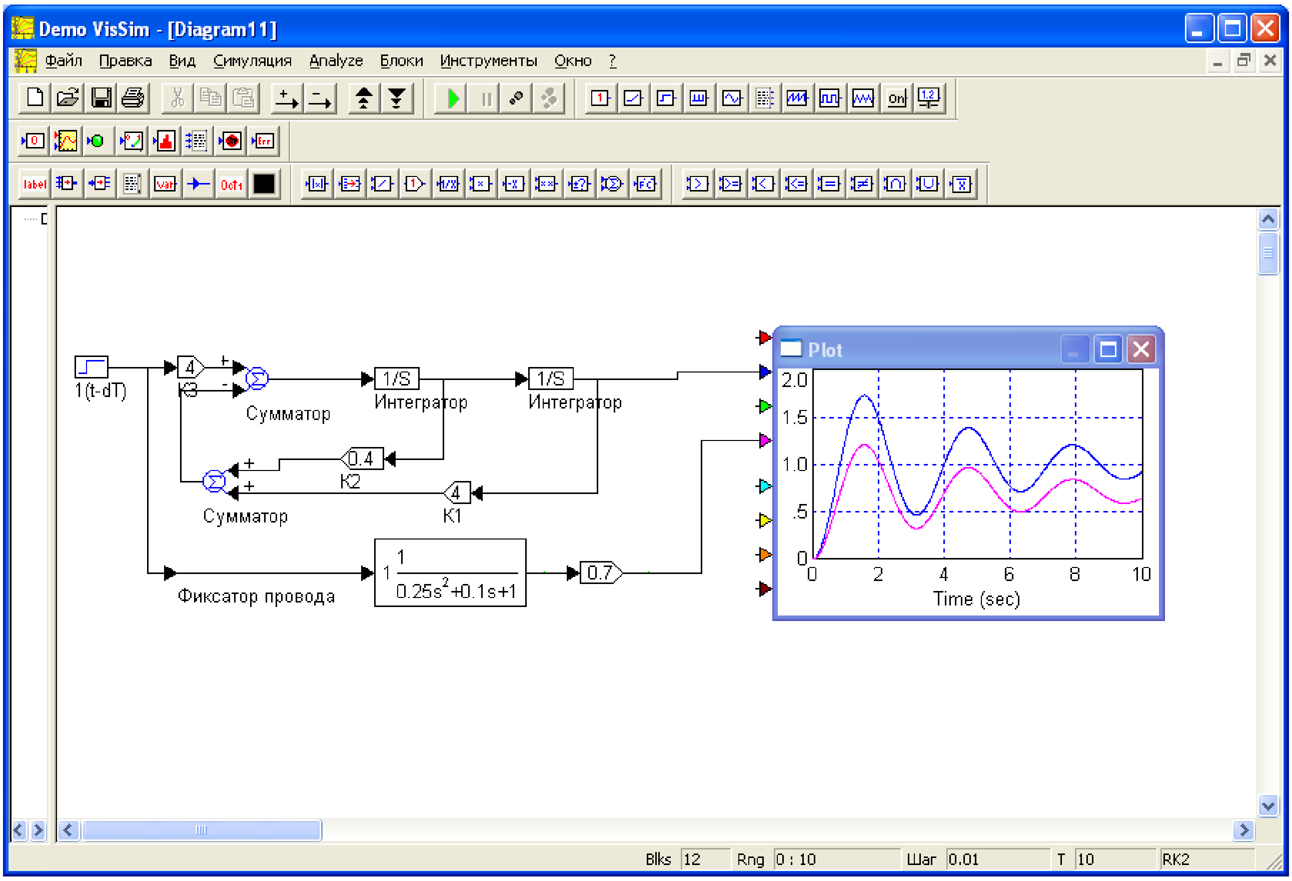

Рисунок 6.2 – Эквивалентная модель колебательного звена

Таблица 6.1

Вариант	k	T, c	Вариант	k	T, c	Вариант	k	T, c
1	2	0.1	9	5	0.9	17	3	2.0
2	3	0.2	10	4	1.0	18	2	2.1
3	4	0.3	11	3	1.2	19	2	2.2
4	5	0.4	12	2	1.4	20	3	2.4
5	4	0.5	13	4	1.5	21	4	2.5
6	3	0.6	14	5	1.6	22	5	2.7
7	2	0.7	15	5	1.7	23	5	2.8
8	4	0.8	16	4	1.8	24	4	3.0

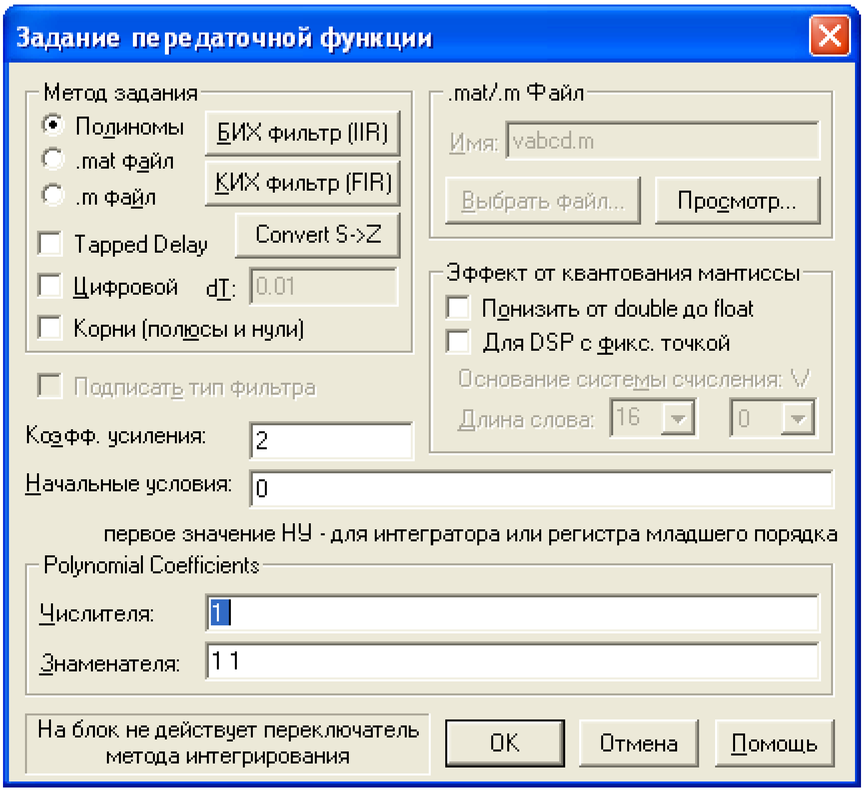

Рисунок 6.3 – Диалоговое окно блока «передаточная функция»

Контрольные вопросы к лабораторной работе №6

1. Записать выражения для передаточной и переходной функций колебательного звена, назвать его параметры и указать, как они связаны с переходной характеристикой колебательного звена.

2. Как выносится на рабочее пространство Vissim'а блок transferFunction (Передаточная функция)? Как задаются их параметры?

3. Как проявляется колебательность колебательного звена? Чем она обусловлена?

4. Как сделать вывод о точности модели колебательного звена, используемой в Vissim'е?

5. Почему именно переходную функцию выбрали в качестве характеристики звена?

6. Что такое постоянная времени T колебательного звена и чему она равна?

7. Что такое декремент затухания δ?

8. Как связан характер переходной функции с декрементом затухания?

9. Каким свойством, которого нет у более простых звеньев, обладает колебательное звено?

10. Что такое и как определяется длительность переходного процесса колебательного звена?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 7
Построение областей устойчивости в плоскости параметров системы, понятие о D-разбиении.

Цель работы: научиться определять области устойчивости САУ (САР), используя метод D – разбиения. Приобрести навыки расчета, построения и анализа областей и кривой D – разбиения.

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

При исследовании систем на устойчивость часто представляет интерес не только факт устойчивости или неустойчивости системы, но и определение диапазона изменения какого-либо параметра системы, в пределах которого система остается устойчивой. Уравнение границы области устойчивости можно находить пользуясь любым критерием устойчивости, но наиболее общим является метод D-разбиения, предложенный Ю.И. Нейманом.

Рассмотрим характеристическое уравнение замкнутой системы n-го порядка.

$$a_n p^n + a_{n-1} p^{n-1} + \ldots + a_1 p^1 + a_0 = 0. \qquad (1)$$

Каждый из коэффициентов уравнения (1) можно рассматривать как координатную ось *n*-мерного пространства, которое называют пространством коэффициентов. Если изменять коэффициенты a_i уравнения (1) его корни, в силу их зависимости от коэффициентов, будут перемещаться в плоскости корней и образовывать в ней области, имеющие *k* корней лежащих слева и *n*-*k* корней, лежащих справа от мнимой оси. Число *k* может изменяться от 0 до *n*. Эти области обозначают $D(k)$. Разбиение пространства коэффициентов на области с одинаковым числом левых корней внутри данной области и выделение среди полученных областей области устойчивости, называют *D*-разбиением.

Наглядно суть *D*-разбиения можно представить для характеристического уравнения второй степени $p^2+a_1p+a_0=0$. Пусть в этом уравнении коэффициенты a_1 и a_0 не определены и могут изменяться произвольным образом, образуя плоскость пространства коэффициентов a_0 a_1 (значения параметров откладываются по осям: a_0 – это ось абсцисс, a_1 – это ось ординат). В этом пространстве линии ($\pm$ a_1 0 a_0) являются границей *D*-разбиения, отделяющей области $D(0)$, $D(1)$ и $D(2)$. Очевидно, что область $D(2)$ является областью устойчивости в пространстве коэффициентов a_0 a_1. Если не существует области $D(2)$, то это значит, что система не может быть устойчивой.

Границу *D*-разбиения можно рассматривать как отражение мнимой оси плоскости корней *p* характеристического уравнения системы на пространство его коэффициентов, поскольку переход через линию D-разбиения в пространстве коэффициентов соответствует в плоскости корней переходу их через мнимую ось.

В соответствии с критерием Михайлова система будет находиться на границе устойчивости, если годограф Михайлова $D(j\omega)$ проходит через начало координат, чему соответствует условие

$$D(j\omega) = P(\omega) + jQ(\omega) = 0,$$

где

$$P(\omega) = 0; \qquad Q(\omega) = 0 \tag{2}$$

Решая уравнения (2) относительно исследуемых коэффициентов – параметров системы, например a_0 и a_1, считая остальные неизменными, получим выражения

$$a_0 = f_0(\omega); \qquad a_1 = f_1(\omega) \tag{3}$$

Изменяя в выражениях (3) частоту ω от -∞ до +∞ можно построить кривую *D*-разбиения плоскости этих параметров и определить диапазон изменения этих параметров, соответствующий границе устойчивости.

В том случае, когда необходимо исследовать **влияние на устойчивость только одного параметра,** например коэффициента передачи системы *k*, вместо этого параметра вводится комплексная величина, вещественная часть которой равна этому параметру, т.е. предполагается, что $k=P(\omega)+jQ(\omega)$.

Для определения области устойчивости следует:

1) Разрешить характеристическое уравнение замкнутой системы относительно исследуемого параметра.

2) В полученном выражении заменить p на jω и выделить его вещественную и мнимую части

$$P(\omega)=f_1(\omega); \qquad Q(\omega)=f_2(\omega).$$

3) Изменяя частоту ω от -∞ до +∞ вычислить значения $P(\omega)$ и $Q(\omega)$ и в плоскости $P(\omega)$ и $Q(\omega)$ построить *D*-разбиения.

4) Заштриховать кривую *D*-разбиения слева при движении от $\omega=-\infty$ к $\omega=+\infty$. Область, в сторону которой направлена штриховка, будет иметь наибольшее число левых корней и будет претендовать на область устойчивости.

5. Выполнить проверку одной точки выделенной области на устойчивость и записать условие устойчивости (если оно существует). При этом следует рассматривать лишь действительные значения исследуемого параметра.

Пример.1.

Дано характеристическое уравнение системы $p^2+2p+k=0$. Определить пределы изменения к, при которых система будет устойчива.

Разрешаем исходное уравнение относительно исследуемого параметра $k=-p^2-2p$.

Вместо *p* подставляем $j\omega$. Тогда $k=\omega^2-j2\omega=P(\omega)+jQ(\omega)$, Где

$$P(\omega)=\omega^2; \quad Q(\omega)=-2\omega.$$

В плоскости $P(\omega)$=Rek и $Q(\omega)$=Jmk строим кривую D-разбиения (рисунок 2.1).

При частоте ω=0 $P(\omega)$=0 и $Q(\omega)$=0;

при $\omega=\pm1$ $P(\omega)$=1 и $Q(\omega)=\mp2$ и т.д.

При $\omega\to\infty$ $P(\omega)\to\infty$ и $Q(\omega)\to-\infty$.

При $\omega\to-\infty$ $P(\omega)\to\infty$ и $Q(\omega)\to+\infty$.

Кривую D-разбиения штрихуем слева при движении от $\omega=-\infty$ к $\omega=\infty$. Проверяем, является ли эта область областью устойчивости. Примем k=1. Тогда уравнение системы примет вид $p^2+2p+1=0$. Его оба корня $p_{1,2}=-1$ являются левыми. Следовательно, выделенная штриховкой на рисунке 3.10 область является областью устойчивости. Проверим граничную точку k=0. При k=0 уравнение системы примет вид $p^2+2p=0$. Его корни $p_1=0$; $p_2=-2$, т.е. один корень нулевой, а второй лежит слева от мнимой оси. Система находится на границе устойчивости. Следовательно, условию устойчивости рассматриваемой системы отвечают значения $k > 0$.

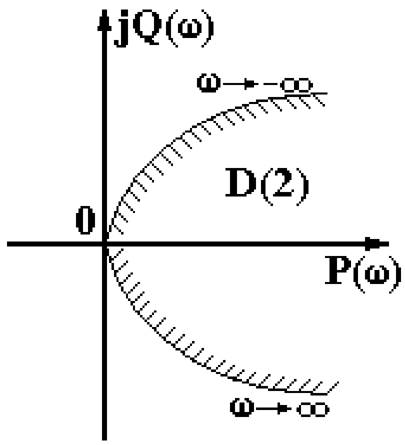

Рисунок 2.1 - Кривая D-разбиения для анализа устойчивости системы с характеристическим уравнением $p^2+2p+k=0$ в плоскости параметра k.

ЗАДАНИЕ

Методом D – разбиения найти область устойчивости системы в плоскости параметра К и определить диапазон его вариации, если характеристическое уравнение САР имеет вид:

$$p^3+p^2+p+K=0$$

Указания: Для построения кривой D – разбиения используйте не менее 20 точек на каждую ветвь:

w	0	0,25	0,50	0,75	1,00	…
P(w)						
Q(w)						

Контрольные вопросы:

1. Для чего используется метод D-разбиения? В чем сущность данного метода?
2. Как исследовать влияние на устойчивость только одного параметра, пользуясь методом D-разбиения?
3. Какой получилась область устойчивости в лабораторной работе? Какие точки использовали для проверки?
4. Сколько левых корней содержится в данной области? Какие корни называются левыми?
5. Сколько областей можно выделить в плоскости параметра k относительно построенной в работе кривой D-разбиения? Сколько левых корней содержится в каждой области?
6. Строгое ли неравенство следует использовать для задания области устойчивости?
7. Как связана граница *D*-разбиения с мнимой осью плоскости корней *p* характеристического уравнения системы?

Лабораторная работа №8
ИССЛЕДОВАНИЕ ЗВЕНА ЗАПАЗДЫВАНИЯ

Цель работы: построение модели запаздывающего звена и исследование его временной характеристики

7.1 Общие сведения

Этим звеном моделируются системы и устройства, сигналы в которых задерживаются на ощутимую величину по сравнению с временными параметрами, характеризующими инерционность этих систем. Это, как правило, протяженные в пространстве устройства: линии связи, трубопроводы, транспортеры и т.п.

Его переходная функция равна

$$h(t) = 1(t - \tau) \qquad (7.1)$$

где τ – единственный параметр звена запаздывания: это время, на которое задерживается сигнал, проходя звено запаздывания.

7.2 Задание

7.2.1.1 Построить в программе Vissim виртуальный лабораторный стенд для исследования модели звена запаздывания. Звено запаздывания выносится на рабочее поле из пункта меню (Blocks – Time Delay - timeDelay), блок константы – из (Blocks – Signal Producer - const). Величина задержки сигнала в звене запаздывания определяется величиной сигнала, подаваемого на его верхний вход t. Задерживаемый сигнал подается на нижний вход x звена рисунок 7.1.

7.2.1.2 Меняя величину задержки, задаваемой блоком константы двойным щелчком по нему и изменением значения, убедиться, что величина задержки, отображаемая осциллографом, равна величине сигнала, подаваемого на вход t звена запаздывания. Построить график величины запаздывания в звене, определяемой непосредственно по осциллографу, от задаваемой величины задержки.

7.2.1.3 Звено запаздывания может быть приближенно заменено апериодическим звеном при относительно небольших задержках сравнительно медленно изменяющихся сигналов (рис. 7.2). Постоянная времени аппроксимирующего апериодического звена равна времени задержки сигнала в звене запаздывания

7.2.1.4 Проверить возможность аппроксимации звена запаздывания одним или несколькими апериодическими звеньями рис. 7.2 и рис. 7.3

7.2.1.5 Определить пределы изменения задержки, при которой апериодические звенья сравнительно мало искажают сигнал и приближенно можно считать, что он задерживается ими. Сделать снимок экрана и выводы.

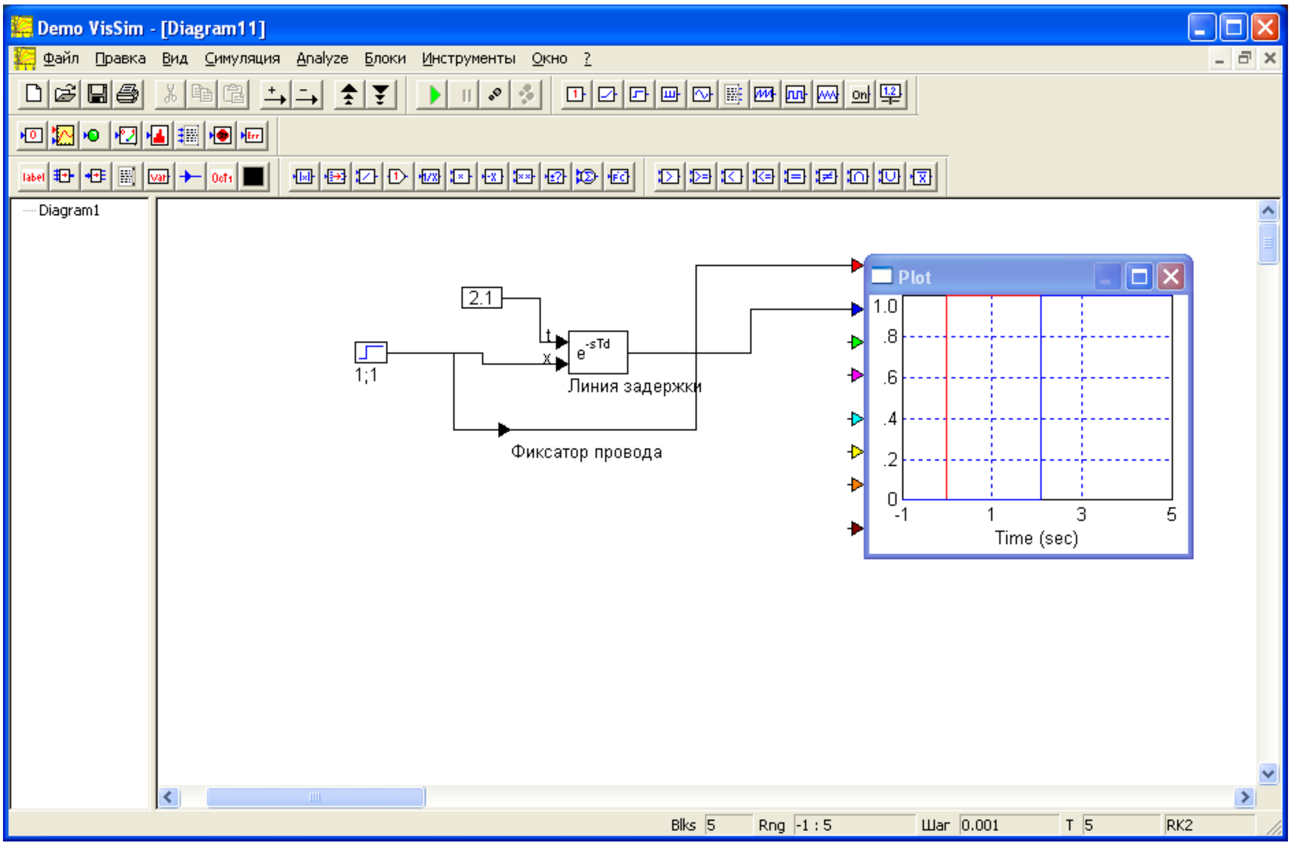

Рисунок 7.1 – Модель звена запаздывания

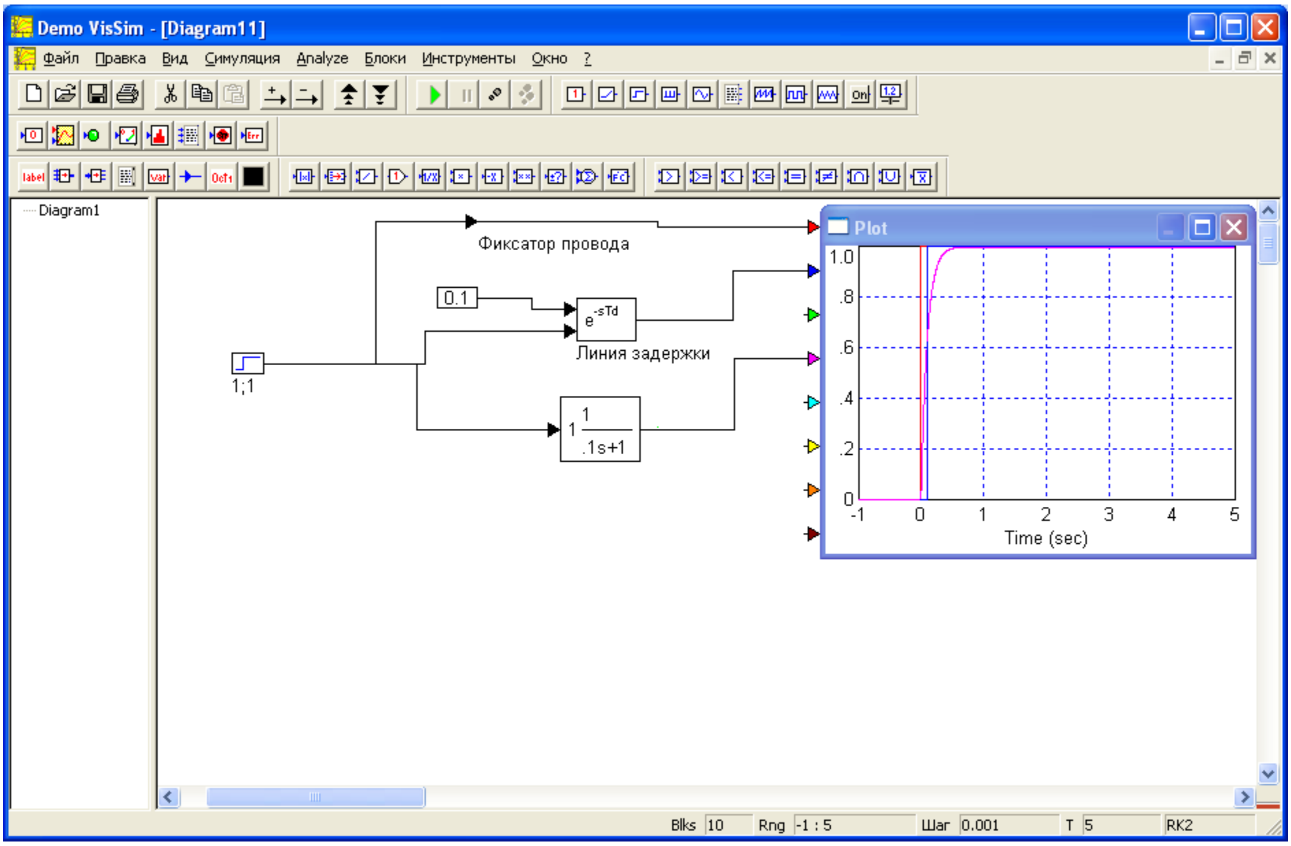

Рисунок 7.2 – Аппроксимация звена запаздывания апериодическим звеном $T=\tau=0.1$

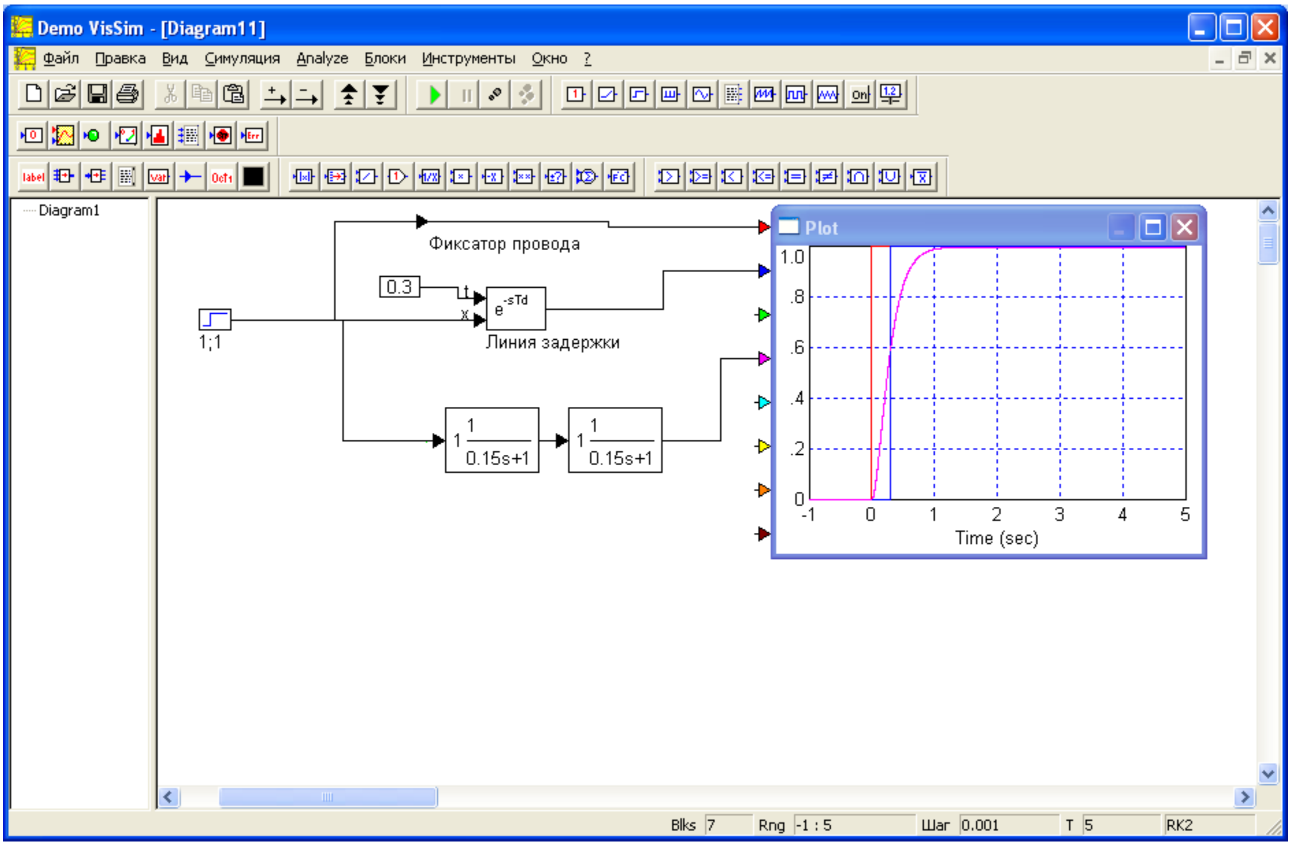

Рисунок 7.3 - Аппроксимация звена запаздывания двумя апериодическими звеньями

$T_1=T_2=\tau/2=0.3/2=0.15$

Контрольные вопросы к лабораторной работе №8

1. Дать определение звену запаздывания.
2. Приведите примеры запаздывающего звена?
3. Как выносится на рабочее пространство Vissim'а звено запаздывания?
4. Пояснить аппроксимацию звена запаздывания?
5. Чему равна постоянная времени аппроксимирующего апериодического звена?
6. На какой вход подается задерживаемый сигнал в звене запаздывания?
7. Записать выражения для передаточной и переходной функций звена запаздывания?
8. Начертить график переходной функции запаздывающего звена
9. Проверить возможность аппроксимации звена запаздывания несколькими апериодическими звеньями.
10. Как определить пределы изменения задержки, при которой апериодические звенья сравнительно мало искажают сигнал и приближенно можно считать, что он задерживается ими?

Список литературы

1. Федосов Б.Т. Теория автоматического управления. Математическое описание линейных систем и их элементов. Рабочий учебник, эл. версия 1.23 в формате chm, 1.06 МБ, Рудный, РИИ, 2005 г.

2. Полевая Ж.А. Управление техническими системами: Курс лекции. – ВКТУ, Усть-Каменогорск, 2001.- 128с.

3. Сборник задач по теории автоматического управления./Под ред. А.А. Бесекерского.- М.: Наука, 1965.-646с.

4. Макаревич С.П. Теория автоматического управления: Курс лекций.- ВКГТУ, Усть-Каменогорск, 2001.- 135с.

5. Макаревич С.П. Теория автоматического управления: Методические указания по выполнению лабораторных работ для студентов спец. 340140, Усть-Каменогорск, 2002.- 25с.

6. Теория автоматического управления. / Под ред. А.А. Воронова. Части 1 и 2. – М.: ВШ, 1986. – 367., 504с.