

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ

Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
”Оренбургский государственный университет”

Индустриально-педагогический колледж
Отделение автоматизации информационных и технологических процессов

А.В. ЗОБИН

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ НА ЭВМ ТИПОВЫХ ЗВЕНЬЕВ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ
ПО ДИСЦИПЛИНЕ
«АВТОМАТИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ»



Рекомендовано к изданию Редакционно–издательским советом
государственного образовательного учреждения
высшего профессионального образования
”Оренбургский государственный университет”

Оренбург 2009

УДК 681.5(07)
ББК 32.965я 722
З-78

Рецензент

кандидат технических наук, доцент Н.Ю. Глинская

Зобин, А.В.
3-78 **Моделирование и исследование на ЭВМ типовых звеньев: методические указания к лабораторной работе по дисциплине “Автоматическое управление” / А.В. Зобин. - Оренбург: ГОУ ОГУ, 2009. – 15 с.**

Методические указания предназначены для исследования переходных, импульсных и частотных характеристик типовых звеньев, представленных в виде электронной модели в среде «Electronics Workbench».

Методические указания разработаны для выполнения лабораторной работы по дисциплине “Автоматическое управление” для студентов специальности №220301 «Автоматизация технологических процессов и производств».

ББК 32.965я 722
© Зобин А.В., 2009
© ГОУ ОГУ, 2009

Содержание

Введение	4
1 Моделирование и исследование на ЭВМ типовых звеньев	5
1.1 Цель работы	5
1.2 Общие сведения	5
1.3 Типовые звенья и их параметры	6
1.3.1 Усилительное звено	6
1.3.2 Аперидическое звено	7
1.3.3 Интегрирующее звено	8
1.3.4 Дифференцирующее звено	9
1.3.5 Колебательное звено	10
1.3.6 Запаздывающее звено	11
1.4 Задание на выполнение работы	12
1.5 Порядок выполнения лабораторной работы	12
1.6 Содержание отчета	14
1.7 Контрольные вопросы	14
Список использованных источников	15

Введение

Система автоматического регулирования и отдельные ее элементы все время работают в переходных режимах, поэтому необходимо знать их динамические свойства. Системы регулирования описываются дифференциальными уравнениями, которые во многих случаях можно линеаризовать и свести к линейным дифференциальным уравнениям с постоянными коэффициентами.

Системы автоматического регулирования могут быть расчленены на отдельные составляющие их элементы различными способами.

Один из способов заключается в том, что система расчленяется на отдельные элементы по их назначению, по функциональным признакам, например, выделяются объект регулирования, управляющий элемент, исполнительный элемент и т. п. Можно расчленить систему на элементы по их конструктивному оформлению (например, генератор, электромашинный усилитель, потенциометр).

Однако при исследовании устойчивости и качества систем автоматического регулирования расчленение их на элементы по функциональному или конструктивному признакам оказывается бесполезным. При этих исследованиях важно различать элементы по их динамическим свойствам. Рассмотрение элементов систем с этой точки зрения показывает, что разные элементы, имеющие различные принципы действия и различное конструктивное оформление, описываются одинаковыми дифференциальными уравнениями и, следовательно, обладают одинаковыми динамическими свойствами, одинаково ведут себя в переходных процессах.

Элемент, рассматриваемый с точки зрения его динамических свойств, называется *звеном*.

Любая линейная система с сосредоточенными параметрами может быть расчленена на такие элементарные звенья. Переходные процессы звеньев описываются обыкновенными дифференциальными уравнениями, каждое из которых имеет порядок не выше второго.

Расчленение системы на типовые звенья может не совпадать с расчленением ее на функциональные или конструктивные элементы.

1 Моделирование и исследование на ЭВМ типовых звеньев

1.1 Цель работы

Исследование переходных, импульсных и частотных характеристик типовых звеньев систем автоматики представленных в виде электронной модели типового звена в среде «Electronics Workbench».

1.2 Общие сведения

Любую САУ можно представить в виде отдельных типовых звеньев, соединенных между собой определенным образом. Зная вид соединения элементарных звеньев и их характеристики, можно определить характеристики всей системы в целом. Типовые звенья отличаются по виду передаточной функции. Моделирование типовых звеньев основано, как правило, на использовании операционного усилителя (ОУ), во входную цепь которого и в цепь обратной связи включены комплексные сопротивления $Z(p)$ и $Z_o(p)$ (смотри рисунок 1).

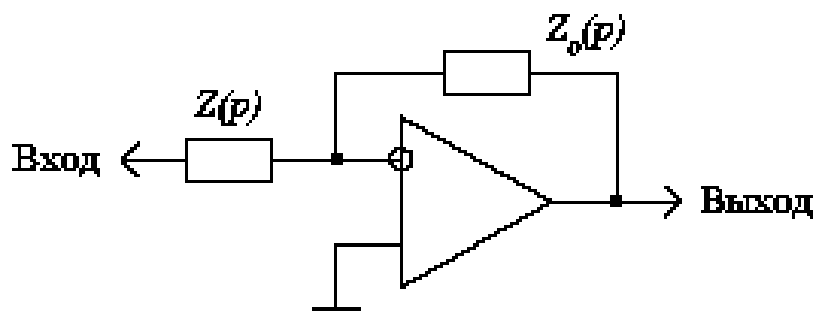


Рисунок 1 – Способ включения операционного усилителя

При этом передаточная функция типового звена

$$W(p) = -\frac{Z_o(p)}{Z(p)}. \quad (1)$$

Используя в качестве $Z(p)$ и $Z_o(p)$ различные активные и реактивные элементы, можно получить различные передаточные функции $W(p)$, а значит, и различные типовые звенья. Знак минус в формуле (1) является следствием включения ОУ по схеме инвертирующего усилителя.

Количество типов звеньев, на которые могут быть разбиты все реальные элементы систем автоматического, регулирования, оказываются небольшими. Различают следующие типовые звенья: усилительное, аperiodическое, колебательное, интегрирующее, дифференцирующее, запаздывающее.

1.3 Типовые звенья и их параметры

1.3.1 Усилительное звено

Это звено имеет передаточную функцию

$$W(p) = K; \quad (2)$$

и передает сигнал без искажения и сдвига во времени, но измененным в K раз. Закон изменения его выходной координаты на всех режимах работы описывается алгебраическим уравнением

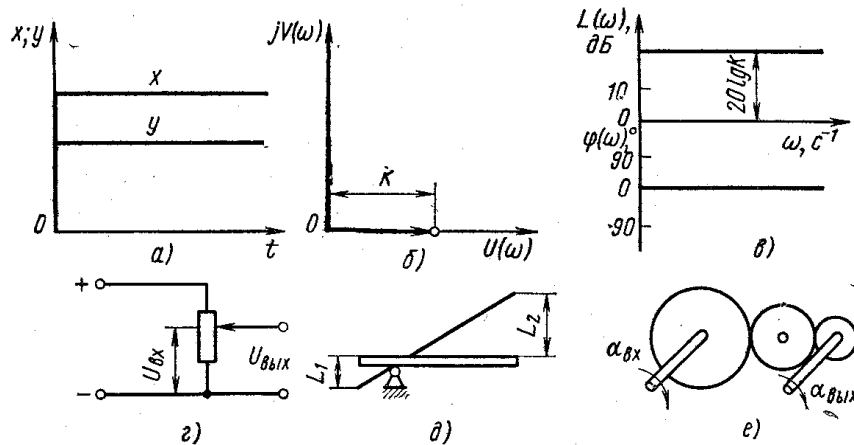
$$Y = KX, \quad (3)$$

что свидетельствует об отсутствии переходного процесса в этом звене.

Динамический параметр K усилительного звена называется *коэффициентом усиления*.

Реальные звенья могут быть отнесены к такому типу только условно, так как все они обладают инерционностью, которая проявляется при более или менее высоких скоростях изменения входной величины.

Характеристики и примеры безынерционного звена показаны на рисунке 2.



а — амплитудно-частотная характеристика; б — амплитудно-фазовая характеристика; в — логарифмические частотные характеристики; г, д, е — схемы безынерционных звеньев

Рисунок 2 - Безынерционное звено

Примерами такого звена могут служить: потенциометрический датчик, преобразующий перемещение ползунка l в напряжение U , пропорциональное этому перемещению; рычаг, где входной и выходной величинами являются перемещения его плеч l_1 и l_2 , электронный или полупроводниковый усилитель без реактивных элементов; беззаярная зубчатая передача.

1.3.2 Аperiodическое звено

Аperiodическим (инерционным) называют звено, в котором при подаче на вход ступенчатого сигнала выходная величина аperiodически (по экспоненте) стремится к новому установившемуся значению.

В переходном режиме звено описывается дифференциальным уравнением первого порядка

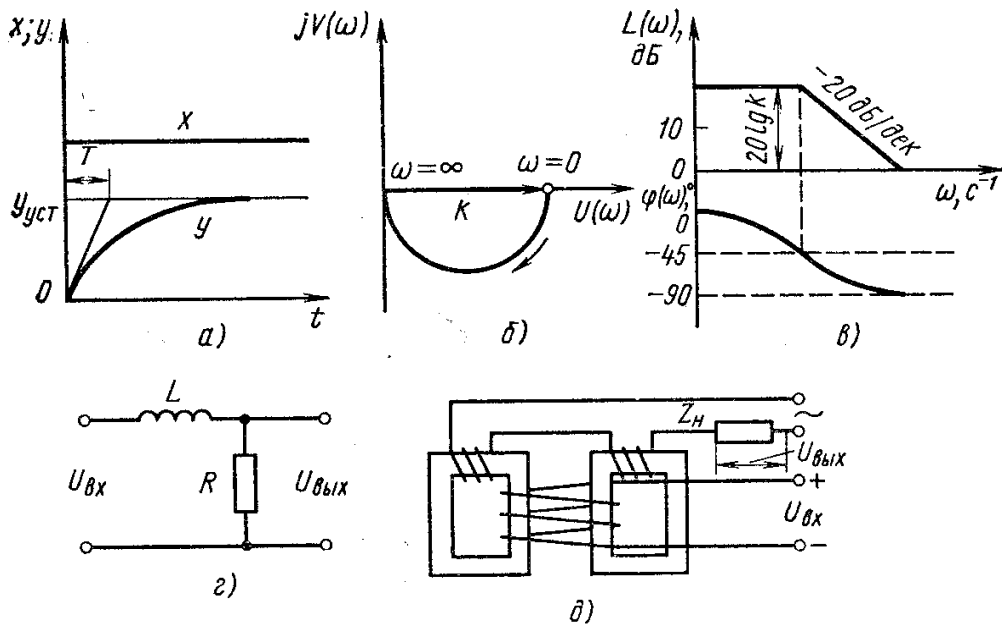
$$T \frac{dY}{dt} + Y = X. \quad (4)$$

Это звено имеет передаточную функцию

$$W(p) = 1/(Tp + 1), \quad (5)$$

где T — постоянная времени звена.

Характеристики и примеры аperiodического звена приведены на рисунке 3.



a — переходная характеристика; $б$ — амплитудно-фазовая характеристика; $в$ — логарифмические частотные характеристики; $г, д$ — схемы аperiodических звеньев

Рисунок 3 – Аperiodическое звено

Аperiodическое звено образуется из элемента, накапливающего энергию, и элемента, рассеивающего ее. Например, в RC -цепи, электронном или полупроводниковом усилителе с учетом наличия реактивных элементов, магнитном усилителе входной величиной является напряжение $U_{вх}$, выходной — напряжение $U_{вых}$.

1.3.3 Интегрирующее звено

Интегрирующим называют звено, в котором выходная величина пропорциональна интегралу во времени от входной величины.

Это звено имеет передаточную функцию вида

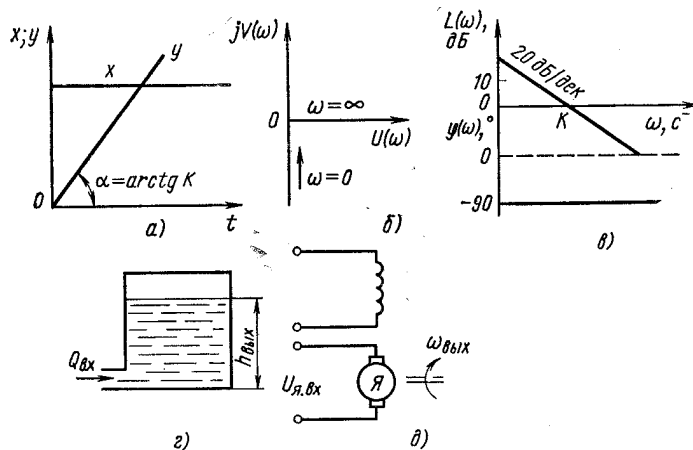
$$W(p) = 1/p. \quad (6)$$

Его динамические свойства описываются дифференциальным уравнением

$$T_{\text{инт}} \frac{dY}{dt} = KX, \quad (7)$$

где $T_{\text{инт}}$ — постоянная времени интегрирования.

Характеристики и пример интегрирующего звена приведены на рисунке 4.



a — переходная характеристика; *б* — амплитудно-фазовая характеристика; *в* — логарифмические частотные характеристики; *г*, *д* — примеры интегрирующего звена

Рисунок 4 - Интегрирующее звено

Примером интегрирующего звена может служить электрический двигатель, имеющий незначительные электромеханическую и электромагнитную постоянные времени, у которого частота вращения вала является выходной величиной, а напряжение, приложенное к цепи якоря, $U_{\text{я}}$ входной величиной.

Скорость изменения выходной величины пропорциональна входной величине. В интегрирующем звене нет определенного соотношения между установившимися значениями входной и выходной величин, а есть лишь определенное соотношение между значениями входной величины и скоростью изменения выходной величины.

Это звено имеет все признаки астатичности. Такое звено иногда называют *астатическим*.

1.3.4 Дифференцирующее звено

Дифференцирующим называют звено, в котором выходная величина пропорциональна производной во времени от входной величины. В дифференцирующем звене выходная величина пропорциональна скорости изменения входной величины.

Дифференцирующее звено первого порядка описывается передаточной функцией вида

$$W(p) = pT_{\text{диф}}, \quad (8)$$

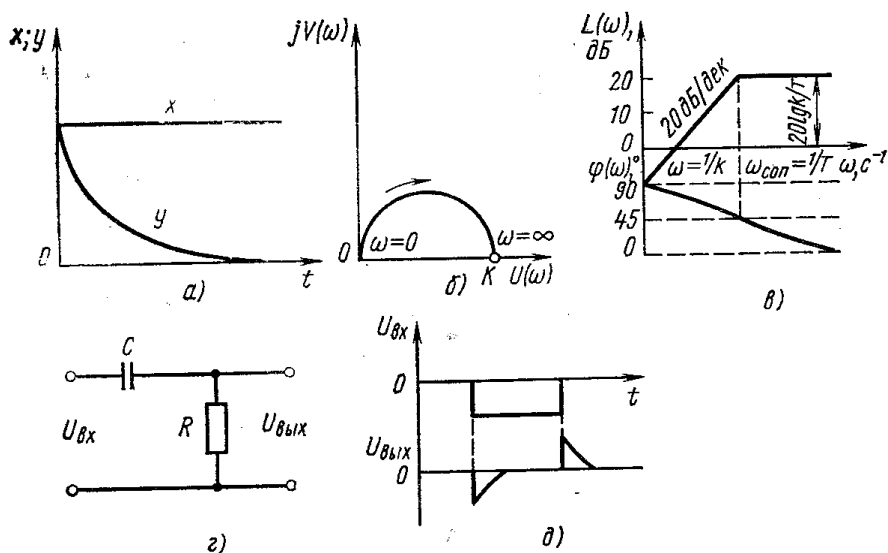
где $T_{\text{диф}}$ — постоянная дифференцирования.

Уравнение идеального дифференцирующего звена

$$Y = T_{\text{диф}} \frac{dX}{dt} + X. \quad (9)$$

При подаче на вход звена ступенчатого сигнала на выходе получается мгновенный выходной импульс, теоретически имеющий бесконечно большую амплитуду, соответствующую бесконечно большой скорости входного сигнала в момент подачи.

Характеристики и пример реального дифференцирующего звена приведены на рисунке 5.



a — переходная характеристика; $б$ — амплитудно-фазовая характеристика; $в$ — логарифмические частотные характеристики; $г$ — дифференцирующая цепь; $д$ — переходная характеристика RC-цепи

Рисунок 5 - Реальное дифференцирующее звено

Примером реального дифференцирующего звена может служить RC-цепь, которая нашла широкое применение в промышленной электронике для

преобразования прямоугольного импульса в импульсы более короткой длительности, предназначенные, например, для переброса триггера.

1.3.5 Колебательное звено

Колебательным называют звено, у которого при ступенчатом изменении входной величины выходная величина стремится к новому установившемуся значению, совершая при этом колебания.

Это звено имеет передаточную функцию вида

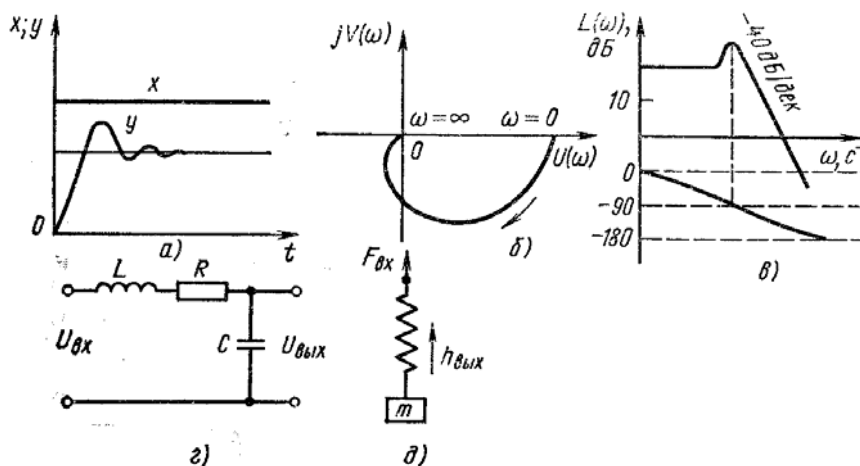
$$W(p) = \frac{K}{T_k^2 p^2 + 2sT_k p + 1}, \quad (10)$$

где T_k — постоянная времени колебательного звена;
 s — коэффициент колебательности.

Его динамические свойства описываются дифференциальным уравнением второго порядка

$$T_2^2 \frac{d^2 Y}{dt^2} + T_1 \frac{dY}{dt} + Y = KX. \quad (11)$$

Характеристики и примеры колебательного звена приведены на рисунке 6.



a — переходная характеристика; *б* — амплитудно-фазовая характеристика; *в* — логарифмические частотные характеристики; *г*, *д* — примеры колебательного звена

Рисунок 6 - Колебательное звено

Колебательное звено образуется из двух элементов, способных запасать энергию и взаимно обмениваться этими запасами. Примером колебательного звена может служить электрическая цепь, состоящая из последовательно соединенных резистора R , конденсатора C и катушки L . На рисунке $U_{вх}$, $U_{вых}$ — соответственно входная и выходная величины. Конденсатор способен запасать

энергию электрического поля, катушка — энергию магнитного поля. При колебаниях происходит обмен энергией, запасенной в этих элементах, с потерей на резисторе.

Другой пример колебательного звена — масса m , подвешенная на пружине. Если приложить к массе некоторую импульсную силу в вертикальном направлении, то она будет совершать колебания относительно нового установившегося значения. Входная величина в данном случае — сила F , выходная — перемещение h . Масса здесь запасает потенциальную энергию, пружина — кинетическую.

При наличии возмущающих факторов, нарушающих равновесие звена, возникают колебания. Причем, если в результате колебаний происходит потеря энергии в звене, то колебания затухают и звено в этом случае является устойчивым. Если в колебательном звене нет потери энергии, то такое звено называют консервативным.

1.3.6 Запаздывающее звено

Это звено, в котором выходная величина идеально повторяет входную, но с отставанием на постоянный отрезок времени $T_{зан}$.

Уравнение переходной функции такого звена описывается выражением

$$Y = X(t - T_{зан}). \quad (12)$$

График переходной функции приведен на рисунке 7.

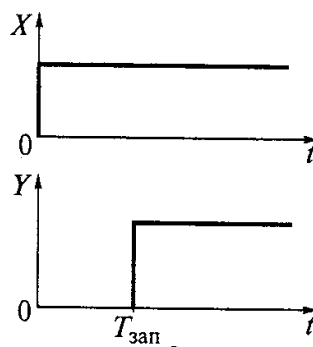


Рисунок 7 – Внешнее воздействие и переходная функция идеального звена запаздывания

Передаточная функция запаздывающего звена описывается выражением

$$W(p) = \exp(-T_{зан} / p). \quad (13)$$

Передаточное звено не описывается дифференциальным уравнением. Его передаточная функция получается преобразованием Лапласа.

В чистом виде запаздывание, как правило, возникает в объектах, где транспортируется рабочее вещество.

1.4 Задание на выполнение работы

Для всех типовых звеньев построить переходную и импульсную характеристики, а также передаточную функцию. Все полученные характеристики зарисовать с экрана дисплея. Для любых двух типовых звеньев рассчитать и построить АЧХ и сравнить их с экспериментальными.

1.5 Порядок выполнения лабораторной работы

Для моделирования типовых звеньев необходимо использовать линейную модель ОУ (смотри рисунок 1). Согласно принципиальной схеме типового звена поочередно составить в среде Workbench схему и выполнить моделирование.

При построении частотных характеристик к входу звена необходимо подключить синусоидальный источник напряжения, а при построении переходной характеристики необходимо использовать импульсный источник входного напряжения с частотой 0.1Гц (смотри рисунок 1).

Безынерционное звено

Таблица 1 – Исходные данные

Вариант №	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<i>K</i>	2	34	48	80	65	125	10	20	35	200

$$W(p) = -K$$

$$K = \frac{R_0}{R}$$

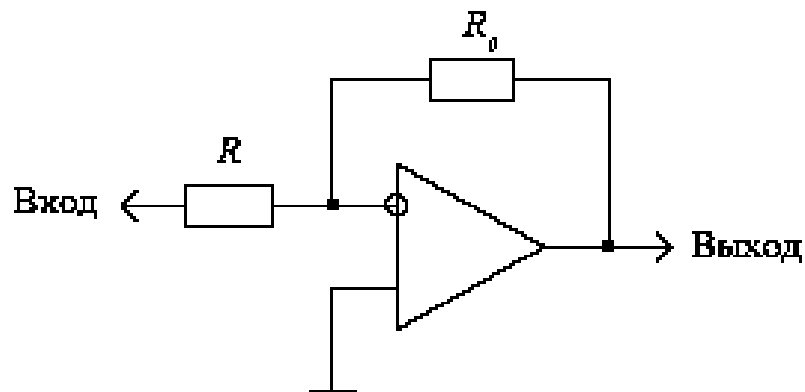


Рисунок 8 - Безынерционное звено

Интегратор

Таблица 2 - Исходные данные

Вариант №	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
K	10	100	20	400	500	150	600	800	950	50

$$W(p) = -\frac{K}{p}$$

$$K = \frac{1}{RC}$$

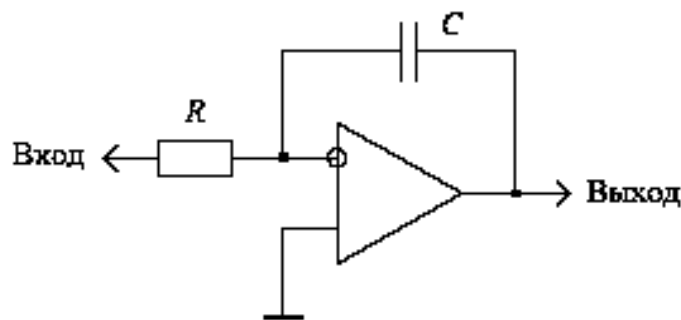


Рисунок 9 – Интегрирующее звено

Дифференциатор

Таблица 3 - Исходные данные

Вариант №	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
K	2	1	0,1	0,5	0,2	0,01	0,02	0,05	0,06	0,4

$$W(p) = -Kp$$

$$K = RC$$

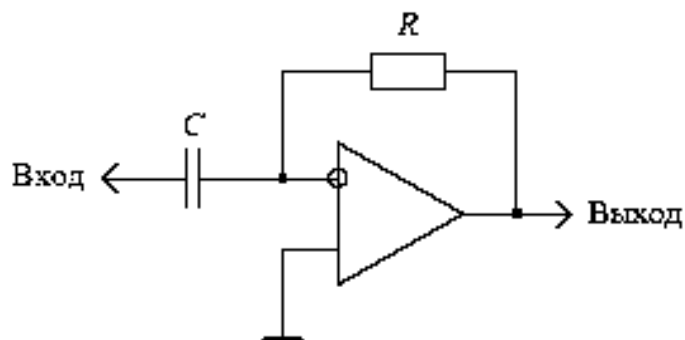


Рисунок 10 – Дифференцирующее звено

Инерционное звено

Таблица 4 - Исходные данные

Вариант №	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
K	1	4	8	10	100	50	20	200	150	30
T (мс)	2	3	20	0,1	0,2	4	8	25	0,5	0,1

$$W(p) = \frac{-K}{(1+pT)}$$

$$K = \frac{R_0}{R}$$

$$T = R_0 C_0$$

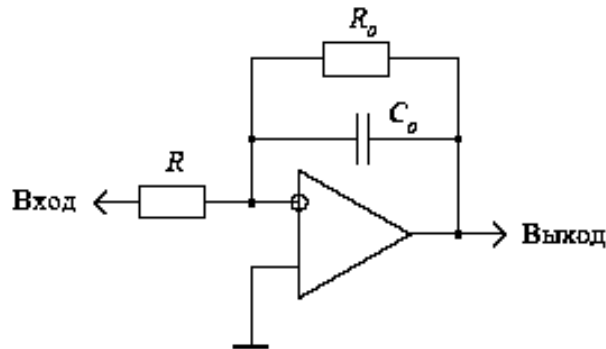


Рисунок 11 - Инерционное звено

1.6 Содержание отчета

Отчет по проделанной лабораторной работе должен содержать:

- схему исследуемого типового звена;
- импульсную характеристику каждого звена;
- переходную характеристику каждого звена;
- амплитудно- и фазочастотные характеристики каждого звена;
- выводы по результатам проделанной работы.

1.7 Контрольные вопросы

- 1 По какому признаку классифицируются типовые звенья?
- 2 Объясните, как построить асимптотическую логарифмическую амплитудно-частотную характеристику типового звена.
- 3 Как по заданной передаточной функции построить амплитудно-частотную и фазочастотную характеристики?
- 4 Каким образом строится дифференцирующее звено?
- 5 Какие объекты описываются интегрирующими звеньями?
- 6 Какие объекты соответствуют дифференцирующему звену?
- 7 Какие реальные процессы отображает апериодическое звено?

Список использованных источников

- 1 **Гальперин, М.В.** Автоматическое управление: учебник / М.В. Гальперин. – М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2004. – 224с. - ISBN 5-8199-0020-0 (ФОРУМ), ISBN 5-16-000543-9 (ИНФРА-М).
- 2 **Горошков, Б.И.** Автоматическое управление: учебник для студ. учреждений сред. проф. образования / Б.И. Горошков. - М.: Издательский центр «Академия», 2003. — 304 с. - ISBN 5-7695-1637-2.
- 3 **Иващенко, Н.Н.** Автоматическое регулирование. Теория и элементы систем: учеб. для вузов / Н.Н. Иващенко. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1978. – 736 с.
- 4 **Теория автоматического управления:** сборник лабораторных работ / сост. К.К. Васильев, С.В. Елягин, М.А. Цветов. – Ульяновск: УлГТУ, 2001. – 28с.
- 5 **Головенков, С.Н.** Основы автоматики и автоматического регулирования станков с программным управлением: учеб. для машиностр. техникумов / С.Н. Головенков, С.В. Сироткин. - М.: Машиностроение, 1988. – 288 с.
- 6 **Карлащук, В.И.** Электронная лаборатория на IBM PC: лабораторный практикум на базе Electronics Workbench и MATLAB / В.И. Карлащук. – 5-е изд.- М.: СОЛОН-Пресс, 2004. – 800 с. - ISBN 5-98003-151-0.