

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
«МАМИ»

Ефимов М.И.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к лабораторным работам по дисциплине «Автоматизация литейного производства»
для студентов магистратуры, обучающихся по направлению «Машиностроение»
150700.68 профиль- «Машины и технологии литейного производства»

Одобрено методической комиссией по направлению 150000

Москва 2012

Разработано в соответствии с федеральным государственным образовательным стандартом высшего профессионального образования (ФГОС ВПО) от « 9» ноября 2009 г. № 555 для студентов магистратуры, обучающихся по направлению подготовки 150700 «Машиностроение»

Рецензенты: доцент, к.т.н. кафедра «АССИ» Максимов А.Д.
доцент, к.т.н. кафедра «АССИ» Сидоров С.Г.

Методические указания подготовлены на кафедре - «Машины и технологии литейного производства» имени П.Н.Аксёнова

Методические указания к лабораторным работам по дисциплине «Автоматизация литейного производства» для студентов магистратуры, обучающихся по направлению «Машиностроение» 150700.68, профиль-«Машины и технологии литейного производства», а также могут быть использованы в дисциплине «Теория автоматического управления» для студентов бакалавриата по направлению «Машиностроение» 150700 профиль- «Машины и технологии литейного производства» и по направлению «Технологии художественной обработки материалов» 261400 профиль- « Литейные технологии художественной обработки материалов»

МГТУ «МАМИ». 2012 г. 37 стр., табл. 40, рис. 5.

Методические указания включают в себя пояснения по выполнению пяти лабораторных работ, каждая из которых содержит теоретическую часть, где представлено содержание и пояснения по выполнению практической части работы.

© Ефимов М.И.

© МГТУ «МАМИ», 2012

СОДЕРЖАНИЕ

1. Введение.....	4
2. Правила подготовки студента к занятию.....	4
3. Инструкция по технике безопасности.....	4
4. Порядок выполнения лабораторных работ.....	5
5. Оформление отчёта по лабораторной работе.....	5
6. Сдача лабораторных работ.....	6
7. Лабораторная работа №1.....	7
8. Лабораторная работа №2.....	11
9. Лабораторная работа №3.....	15
10. Лабораторная работа №4.....	20
11. Лабораторная работа №5.....	29
12. Контрольные вопросы.....	35
13. Литература.....	35
14. Приложение.....	36

Введение

Данные методические указания предназначены для студентов МГМУ «МАМИ», выполняющих лабораторные работы по дисциплине «Автоматизация литейного производства» и составлено так, что при наличии необходимых учебников [Л.1,2] и конспекта лекций, даёт возможность студенту подготовиться к лабораторному занятию и провести все исследования, предусмотренные заданием.

Лабораторные работы преследуют следующие цели:

- подготовить студента к выполнению экспериментальных исследований типовых звеньев соответствующих элементам систем автоматизации литейного производства в соответствии с заданием;
- научить студента методам математического моделирования и экспериментальной проверке теоретических моделей;
- научить студента правильно оформлять и анализировать результаты экспериментальных исследований.

Правила подготовки студента к занятию.

Студент обязан подготовиться к занятию, пользуясь данным указанием, учебниками и конспектом лекций.

Подготовленным к занятию считается тот студент, который:

- подготовил к занятию теоретическую часть отчёта;
- умеет объяснить все характеристики исследуемого звена с применением формул;

Преподаватель перед занятием проверяет подготовку студента к занятию устно. Недостаточно подготовленный студент к выполнению лабораторной работы не допускается, о чём преподаватель отмечает в лабораторном журнале. Во время занятия в лаборатории этот студент готовится к занятию и подвергается после этого в конце занятия повторной проверке.

Пропущенную лабораторную работу студенту необходимо выполнить во внеурочное время по согласованию с преподавателем.

Инструкция по технике безопасности.

1. Перед началом первого лабораторного занятия студент должен быть ознакомлен с инструкцией по технике безопасности, обязаться выполнять её и расписаться об этом в журнале.

2. Во время работы запрещается одновременное касание двумя руками двух различных заземленных предметов, например, двух различных стендов. Запрещаются также соприкосновения с такими заземлёнными предметами, как трубы, радиаторы центрального отопления и со стендами.

3. После проведения необходимой коммутации (соединения между собой различной аппаратуры) студент должен предъявить её для проверки преподавателю.

4. Не производить самостоятельно никаких ремонтных работ со стендом и прочей аппаратурой, используемой в лаборатории. Обо всех неисправностях немедленно сообщать преподавателю.

5. По окончании работы выключить питание всей аппаратуры, используемой при проведении лабораторной работы.

Порядок выполнения лабораторных работ.

1. После проведения необходимой сборки стенда (соединения между собой различной аппаратуры) студент должен предъявить её для проверки преподавателю.

2. Строго придерживаться указанного в описании к работе алгоритма действий.

3. Работа считается выполненной после проверки и утверждения преподавателем полученных результатов.

4. Перед уходом из лаборатории сдать рабочее место.

5. Если работа выполнена досрочно и безошибочно, то преподаватель может разрешить сдачу теории по данной или одной из предыдущих лабораторных работ.

Оформление отчёта по лабораторной работе.

1. Отчёт должен быть оформлен на листах формата А4 с соблюдением обозначений, приведённых в ГОСТах на документацию. Оформление на компьютере является предпочтительным. Все разделы отчета должны вводиться в компьютер в ручном режиме с помощью клавиатуры и мыши.

2. Графики желательно оформлять с использованием графических программ, например Microsoft Excel.

3. Все частотные характеристики должны быть выполнены и в логарифмическом масштабе.

4. В целях сравнения полезно в одни координатные оси помещать несколько кривых, характеризующих данное явление. Для каждой кривой необходимо указать (например, в виде таблиц), при каком параметре и условии она получена.

5. Полученные кривые следует сопоставлять с теоретическими, которые следует выделить другим типом линии.

6. Графоаналитические расчёты выполняются или прямо на соответствующих графиках, или в конце отчёта. При вычислениях проставлять единицы измерения.

7. Отчёты, оформленные с нарушениями вышеперечисленных правил, возвращаются студенту для переделки.

Сдача лабораторных работ.

- К сдаче лабораторных работ допускаются студенты, правильно оформившие отчёты и получившие разрешение преподавателя.
- Оценка сдачи студентом лабораторных работ заносится преподавателем в журнал.
- При хороших и отличных оценках, полученных в срок, студент после устного собеседования с преподавателем может получить досрочно “зачёт” по лабораторным работам.
- К зачёту по лабораторным работам допускается только тот студент, который имеет по всем лабораторным работам оценки не ниже “удовлетворительно”.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

1. Цель работы

Освоение методов анализа и изучение основных характеристик типового реального дифференцирующего звена устройств автоматизации.

2. Задание

Расчёт, построение и анализ характеристик реального дифференцирующего звена

3. Введение

Дифференцирующее звено – это звено, у которого выходная величина пропорциональна скорости изменения входной величины.

Примером дифференцирующего звена являются электрический тахогенератор, стабилизирующий трансформатор.

Дифференциальное уравнение реального дифференцирующего звена имеет вид(1):

$$T \frac{dy}{dt} + y(t) = K \frac{dx}{dt} \quad (1)$$

Используя преобразование Лапласа, получаем передаточную функцию реального дифференциального звена (2):

$$W(p) = \frac{pK}{Tp+1} = \frac{B(p)}{A(p)} \quad (2)$$

4. Порядок выполнения лабораторной работы

4.1. Собрать стенд (рабочее место студента) согласно рисунку №1.1:

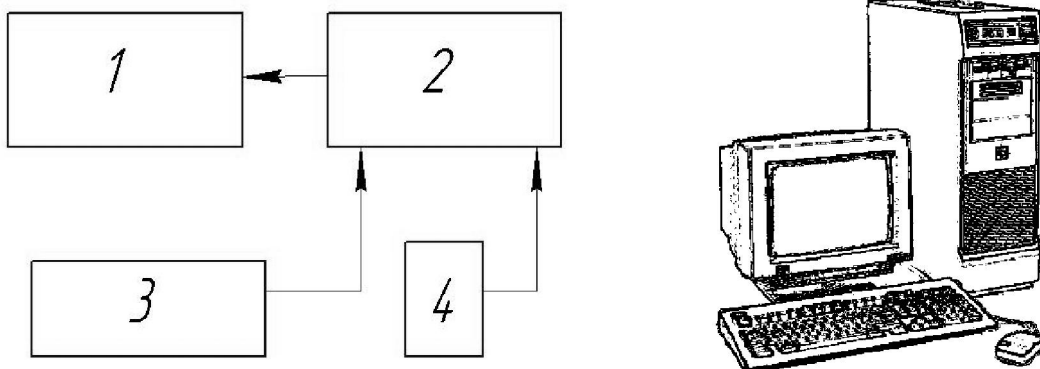


Рис.4.1. Рабочее место студента.

1 – монитор, 2 – системный блок, 3 – клавиатура, 4 – мышь.

4.2. Расчёт и построение комплексного коэффициента передачи звена:

Подставляем в уравнение(2) $j\omega$ вместо p . В результате получаем комплексный коэффициент передачи звена (ККП), который имеет следующий вид(3):

$$W(j\omega) = \frac{j\omega K}{j\omega T + 1} \quad (3)$$

В общем виде комплексный коэффициент передачи звена (3) записывается согласно выражению (4):

$$W(j\omega) = \frac{V(\omega) + M(j\omega)}{V_1(\omega) + M_1(j\omega)} \quad (4) \text{ или}$$

$$W(j\omega) = V(\omega) \pm jM(\omega) \quad (5)$$

Тогда комплексный коэффициент передачи звена (3) может быть представлен в виде (6):

$$W(j\omega) = \frac{TK\omega^2}{T^2\omega^2 + 1} + j \frac{K\omega}{T^2\omega^2 + 1} \quad (6)$$

Введём обозначение:

$$\text{Действительная часть - } V(\omega) = \frac{TK\omega^2}{T^2\omega^2 + 1} \quad (7)$$

$$\text{Мнимая часть - } M(\omega) = \frac{K\omega}{T^2\omega^2 + 1} \quad (8)$$

где $T = K + N$

K - зависит от варианта задания по таблице № 4.1

N - порядковый номер студента по журналу посещаемости

Таблица № 4.1

Варианты	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
К	1,2	2,2	3,2	4,2	5,2	1,3	2,3	3,3	4,3	5,3	1,4	2,4	3,4	4,4	5,4

Продолжение таблицы № 4.1

Варианты	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
К	1,5	2,5	3,5	4,5	5,5	1,6	2,6	3,6	4,6	5,6	1,7	2,7	3,7	4,7	5,7

Для графического построения (ККП) подставляем в формулы (7) и (8) ω от 0 до ∞ и результаты расчётов записываем в Таблицу № 4.2. По полученным расчётным данным (Таблица № 4.2) производим графическое построение (ККП).

Таблица №4.2

ω	$V(\omega)$	$M(\omega)$

Построить график: $jM(\omega)=f[V(\omega)]$

4.3.Расчёт и построение амплитудно-частотной(АЧХ) характеристики:
АЧХ в общем виде определяется по формуле (9)

$$A(\omega) = \sqrt{\frac{[V(\omega)]^2 + [M(\omega)]^2}{[V_1(\omega)]^2 + [M_1(\omega)]^2}} \quad (9)$$

В результате для реального дифференцирующего звена на основании формулы (9) АЧХ рассчитывается по формуле: (10) и расчётные данные заносятся в таблицу № 4.3, № 4.3а

$$A(\omega) = \frac{K\omega}{\sqrt{(T\omega)^2 + 1}} \quad (10)$$

Таблица № 4.3

ω	$A(\omega)$

Таблица № 4.3а

$\text{Log}(\omega)$	$A(\omega)$

Построить графики: $A(\omega)=f(\omega)$ и $A(\omega)=f[\log(\omega)]$

4.4.Расчёт и построение фазо-частотной (ФЧХ) характеристики:
ФЧХ в общем виде определяется по формуле (11)

$$\varphi(\omega) = \text{arctg} \frac{M(\omega)}{V(\omega)} \quad (11),$$

а для реального дифференцирующего звена по формуле (12) и расчётные данные заносятся в таблицу №4.4, № 4.4а.

$$\varphi(\omega) = \frac{\pi}{2} - \text{arctg}(\omega T) \quad (12)$$

Таблица № 4.4

ω	$\varphi(\omega)$

Таблица № 4.4а

$\text{Log}(\omega)$	$\varphi(\omega)$

Построить графики: $\varphi(\omega)=f(\omega)$ и $\varphi(\omega)=f[\log(\omega)]$

4.5. Расчёт и построение переходной $\mathbf{h(t)}$ характеристики:

Переходная характеристика – это реакция на ступенчатое воздействие:

$$x(t) = 1(t), \text{ а в изображении Лапласа } x(p) = \frac{1}{p}$$

Из уравнения передаточной функции получаем переходную характеристику в изображении Лапласа:

$$h(p) = W(p) * \frac{1}{p} \quad (13)$$

Выражение(13) справедливо для нахождения переходной функции любых звеньев, а для реального дифференцирующего звена по формуле (14):

$$h(p) = W(p) * \frac{1}{p} = \frac{Kp}{(Tp+1)p} = \frac{K}{Tp+1}. \quad (14)$$

Используя таблицу преобразования Лапласа, получим для $\mathbf{h(t)}$ выражение (15) вида:

$$h(t) = \frac{K}{T} * e^{-\frac{t}{T}} \quad (15)$$

Расчетные данные по формуле (15) заносятся в таблицу №4.5

Таблица № 4.5

t	h(t)

Построить график: $\mathbf{h(t) = f(t)}$

4.6. Расчёт и построение импульсной $w(t)$ характеристики:

Импульсная характеристика – это реакция системы на импульсное типовое воздействие. С учётом преобразований получаем выражение для расчёта импульсной характеристики (16):

$$w(t) = -\frac{K}{T^2} * e^{-\frac{t}{T}} \quad (16)$$

Расчетные данные по формуле (16) заносятся в таблицу № 4.6

Таблица № 4.6

t	w(t)

Построить график: $w(t) = f(t)$

5.Выводы

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

1. Цель работы

Освоение методов анализа и изучение основных характеристик типового инерционного звена первого порядка для устройств автоматизации литейного производства

2. Задание

Расчёт, построение и анализ характеристик инерционного звена первого порядка

3. Введение

Инерционное звено первого порядка – это звено, у которого при подаче на вход ступенчатого воздействия на выходе величина изменяется по аperiodическому закону.

Примером инерционного звена первого порядка является генератор постоянного тока или резервуар с водой, когда вода из резервуара вытекает свободно.

Дифференциальное уравнение инерционного звена первого порядка имеет вид:

$$T \frac{dy}{dt} + y(t) = K_3 \chi(t) \quad (1)$$

где K_3 - коэффициент затухания (демпфирования); T – постоянная времени.

Из дифференциального уравнения с помощью преобразования Лапласа при нулевых начальных условиях на входе получается следующая передаточная функция (2):

$$W(p) = \frac{K_3}{Tp + 1} = \frac{B(p)}{A(p)} \quad (2)$$

4. Порядок выполнения лабораторной работы

4.1. Собрать стенд (рабочее место студента) согласно рисунку №4.1:

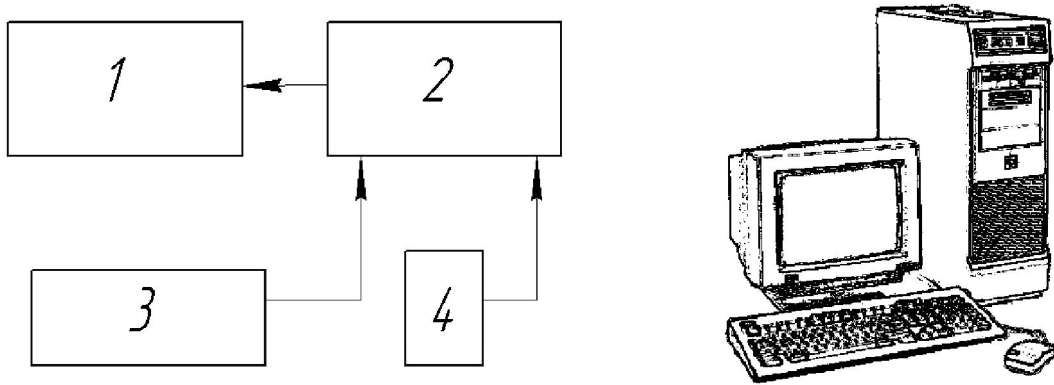


Рис.4.1. Рабочее место студента.

1 – монитор, 2 – системный блок, 3 – клавиатура, 4 – мышь

4.2. Расчёт и построение комплексного коэффициента передачи звена:

Подставляем в уравнение (2) $j\omega$ вместо p . В результате получаем комплексный коэффициент передачи звена (ККП), который имеет следующий вид(3):

$$W(j\omega) = \frac{K_3}{j\omega T + 1} \quad (3)$$

В общем виде комплексный коэффициент передачи звена (3) записывается согласно выражению (4):

$$W(j\omega) = \frac{V(\omega) + M(j\omega)}{V_1(\omega) + M_1(j\omega)} \quad (4) \text{ или}$$

$$W(j\omega) = V(\omega) \pm jM(\omega) \quad (5)$$

Тогда комплексный коэффициент передачи звена (3) может быть представлен в виде (6):

$$W(j\omega) = \frac{K_3}{T^2\omega^2 + 1} + j \frac{-K_3 T \omega}{T^2\omega^2 + 1} \quad (6), \text{ где}$$

Действительная часть:

$$V(\omega) = \frac{K_3}{T^2\omega^2 + 1} \quad (7)$$

Мнимая часть:
$$M(\omega) = \frac{-K_3 T \omega}{T^2 \omega^2 + 1} \quad (8)$$

Коэффициент $T = K_3 + N$, где

K_3 – выбирается по варианту задания таблица № 4.1

N – порядковый номер студента по журналу посещаемости

Таблица № 4.1

Варианты	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
K_3	1,2	2,2	3,2	4,2	5,2	1,3	2,3	3,3	4,3	5,3	1,4	2,4	3,4	4,4	5,4

Продолжение таблицы № 4.1

Варианты	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
K_3	1,5	2,5	3,5	4,5	5,5	1,6	2,6	3,6	4,6	5,6	1,7	2,7	3,7	4,7	5,7

Для графического построения (ККП) подставляем в формулы (7) и (8) ω от 0 до ∞ и результаты расчётов записываем в Таблицу № 4.2. По полученным расчётным данным (Таблица № 4.2) производим графическое построение (ККП).

Таблица № 4.2

ω	$V(\omega)$	$M(\omega)$

Построить график: $jM(\omega) = f[V(\omega)]$

4.3. Расчёт и построение амплитудно-частотной (АЧХ) характеристики инерционного звена первого порядка:

АЧХ в общем виде определяется по формуле (9)

$$A(\omega) = \sqrt{\frac{[V(\omega)]^2 + [M(\omega)]^2}{[V_1(\omega)]^2 + [M_1(\omega)]^2}} \quad (9)$$

В результате для инерционного звена первого порядка на основании формулы (9) АЧХ звена рассчитывается по формуле: (10) и расчётные данные заносятся в таблицу № 4.3, № 4.3а

$$A(\omega) = \frac{K_3}{\sqrt{(T\omega)^2 + 1}} \quad (10)$$

Таблица № 4.3

ω	$A(\omega)$

Таблица № 4.3а

$\text{Log}(\omega)$	$A(\omega)$

Построить графики: $A(\omega)=f(\omega)$ и $A(\omega)=f[\log(\omega)]$

4.4. Расчёт и построение фазо-частотной (ФЧХ) характеристики инерционного звена первого порядка:

ФЧХ в общем виде определяется по формуле (11)

$$\varphi(\omega) = \text{arctg} \frac{M(\omega)}{V(\omega)} \quad (11),$$

а для инерционного звена первого порядка по формуле (12) и расчётные данные заносятся в таблицу № 4.4, № 4.4а

$$\varphi(\omega) = - \text{arctg}(\omega T) \quad (12)$$

Таблица № 4.4

ω	$\varphi(\omega)$

Таблица № 4.4а

$\text{Log}(\omega)$	$\varphi(\omega)$

Построить графики: $\varphi(\omega)=f(\omega)$ и $\varphi(\omega)=f[\log(\omega)]$

4.5. Расчёт и построение переходной характеристики $h(t)$ инерционного звена первого порядка:

Для расчёта переходной характеристики $h(t)$ инерционного звена первого порядка находим корень Z ($Z \equiv P$) из характеристического уравнения

$$A(P) = T p + 1 - \text{знаменателя передаточной функции звена (2)}.$$

$$Z = \frac{-1}{T}$$

Переходная характеристика $h(t)$ определяется по формуле:

$$h(t) = C_1 - C_2 e^{Z t} \quad (13)$$

$$C_1 = C_2 = \frac{B(0)}{A(0)}; \quad B(0) = B(p)_{\text{при } p=0} \quad A(0) = A(p)_{\text{при } p=0};$$

итак $C_1 = C_2 = K_3$;

После подстановки цифровых значений в формулу (13) расчётные данные заносятся в таблицу № 4.5

Таблица № 4.5

t	h(t)

По полученным расчётным данным (Таблица № 4.5) строится график переходной характеристики **h(t)**

Построить график **h(t) = f(t)**

4.6. Расчёт и построение импульсной **w(t)** характеристики:

Импульсная характеристика – это реакция системы на импульсное типовое воздействие. С учётом преобразований получаем выражение для расчёта импульсной характеристики (14):

$$w(t) = \frac{K_3}{T} * e^{-\frac{t}{T}} \quad (14)$$

Расчетные данные по формуле(16) заносятся в таблицу № 4.6

Таблица № 4.6

t	w(t)

Построить график: **w(t) = f(t)**

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

1. Цель работы

Освоение методов анализа и изучение основных характеристик типового интегрирующего звена для устройств автоматизации.

2. Задание

Расчёт, построение и анализ характеристик интегрирующего звена

3. Введение

Примером интегрирующего звена являются: ёмкость, наполняемая водой; интегральный исполнительный механизм.

Дифференциальное уравнение интегрирующего звена имеет вид(1):

$$T \frac{d^2 y}{dt^2} + \frac{dy}{dt} = Kx(t) \quad (1)$$

Используя преобразование Лапласа, получаем передаточную функцию интегрирующего звена (2):

$$W(p) = \frac{K}{Tp^2 + p} = \frac{B(p)}{A(p)} \quad (2)$$

4. Порядок выполнения лабораторной работы

4.1. Собрать стенд (рабочее место студента) согласно рисунку №4.1:

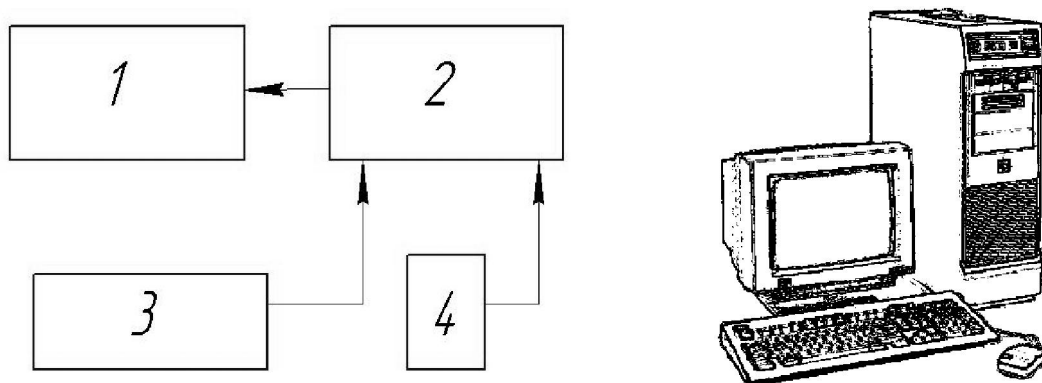


Рис.4.1. Рабочее место студента.

1 – монитор, 2 – системный блок, 3 – клавиатура, 4 – мышь.

4.2. Расчёт и построение комплексного коэффициента передачи звена:

Подставляем в уравнение(2) $j\omega$ вместо p . В результате получаем комплексный коэффициент передачи интегрирующего звена (ККП), который имеет следующий вид(3):

$$W(j\omega) = \frac{K}{-T\omega^2 + j\omega} \quad (3)$$

В общем виде комплексный коэффициент передачи звена (3) записывается согласно выражению (4):

$$W(j\omega) = \frac{V(\omega) + M(j\omega)}{V_1(\omega) + M_1(j\omega)} \quad (4) \quad \text{или}$$

$$W(j\omega) = V(\omega) \pm jM(\omega) \quad (5)$$

Тогда комплексный коэффициент передачи звена (3) может быть представлен в виде (6):

$$W(j\omega) = \frac{-KT\omega^2}{T^2\omega^4 + \omega^2} - j \frac{K\omega}{T^2\omega^4 + \omega^2} \quad (6)$$

Введём обозначение:

$$\text{Действительная часть - } V(\omega) = \frac{-KT\omega^2}{T^2\omega^4 + \omega^2} \quad (7)$$

$$\text{Мнимая часть - } M(\omega) = \frac{K\omega}{T^2\omega^4 + \omega^2} \quad (8)$$

где $T = K + N$

K - зависит от варианта задания по таблице № 4.1

N - порядковый номер студента по журналу посещаемости

Таблица № 4.1

Варианты	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
К	1,2	2,2	3,2	4,2	5,2	1,3	2,3	3,3	4,3	5,3	1,4	2,4	3,4	4,4	5,4

Продолжение таблицы № 4.1

Варианты	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
К	1,5	2,5	3,5	4,5	5,5	1,6	2,6	3,6	4,6	5,6	1,7	2,7	3,7	4,7	5,7

Для графического построения (ККП) подставляем в формулы (7) и (8) ω от 0 до ∞ и результаты расчётов записываем в Таблицу № 4.2. По полученным расчётным данным (Таблица № 4.2) производим графическое построение (ККП).

Таблица №4.2

ω	$V(\omega)$	$M(\omega)$

Построить график: $jM(\omega)=f[V(\omega)]$

4.3.Расчёт и построение амплитудно-частотной(АЧХ) характеристики:
АЧХ в общем виде определяется по формуле (9)

$$A(\omega) = \sqrt{\frac{[V(\omega)]^2 + [M(\omega)]^2}{[V_1(\omega)]^2 + [M_1(\omega)]^2}} \quad (9)$$

В результате для интегрирующего звена на основании формулы (9) АЧХ рассчитывается по формуле: (10) и расчётные данные заносятся в таблицу № 4.3, № 4.3а.

$$A(\omega) = \frac{K}{\sqrt{T^2\omega^4 + \omega^2}} \quad 10)$$

Таблица № 4.3

ω	$A(\omega)$

Таблица № 4.3а

$\text{Log}(\omega)$	$A(\omega)$

Построить графики: $A(\omega)=f(\omega)$ и $A(\omega)=f[\log(\omega)]$

4.4.Расчёт и построение фазо-частотной (ФЧХ) характеристики:
ФЧХ в общем виде определяется по формуле (11)

$$\varphi(\omega) = \text{arctg} \frac{M(\omega)}{V(\omega)} \quad (11),$$

а для интегрирующего звена по формуле (12) и расчётные данные заносятся в таблицу №4.4, №4.4а.

$$\varphi(\omega) = \frac{\pi}{2} - \text{arctg}(\omega T) \quad (12)$$

Таблица № 4.4

ω	$\varphi(\omega)$

Таблица № 4.4а

Log (ω)	$\varphi(\omega)$

Построить графики: $\varphi(\omega)=f(\omega)$ и $\varphi(\omega)=f[\log(\omega)]$

4.5. Расчёт и построение переходной **h(t)** характеристики:

Переходная характеристика – это реакция на ступенчатое воздействие:

$$x(t) = 1(t), \text{ а в изображении Лапласа } x(p) = \frac{1}{p}$$

Из уравнения передаточной функции получаем переходную характеристику в изображении Лапласа:

$$h(p) = W(p) * \frac{1}{p} \quad (13)$$

Выражение(13) справедливо для нахождения переходной функции любых звеньев, а для интегрирующего звена по формуле (14):

$$h(p) = W(p) * \frac{1}{p} = \frac{Kp}{(Tp+1)p} = \frac{K}{Tp+1}. \quad (14)$$

Используя таблицу преобразования Лапласа, получим для h(t) выражение

$$(15) \text{ вида: } h(t) = \frac{K}{T} * e^{-\frac{t}{T}} \quad (15)$$

Расчетные данные по формуле (15) заносятся в таблицу №4.5.

Таблица № 4.5

t	h(t)

Построить график: **$h(t) = f(t)$**

4.6. Расчёт и построение импульсной **$w(t)$** характеристики:

Импульсная характеристика – это реакция системы на импульсное типовое воздействие. С учётом преобразований получаем выражение для расчёта импульсной характеристики (16):

$$w(t) = -\frac{K}{T^2} * e^{-\frac{t}{T}} \quad (16)$$

Расчетные данные по формуле (16) заносятся в таблицу № 4.6

Таблица № 4.6

t	w(t)

Построить график: **$w(t) = f(t)$**

5.Выводы

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

1. Цель работы

Освоение методов анализа и изучение основных характеристик типового апериодического звена второго порядка для устройств автоматизации

Построение и анализ характеристик апериодического звена второго порядка

3. Введение

Апериодическое звено второго порядка – это звено, у которого при подаче на вход ступенчатого воздействия на выходе величина совершает затухающие колебания.

Примером апериодического звена второго порядка является фильтр низких частот в устройствах автоматизации литейного производства.

Дифференциальное уравнение апериодического звена имеет вид:

$$T^2 \frac{d^2 y}{dt^2} + 2K_D T \frac{dy}{dt} + y(t) = Kx(t), \quad (1)$$

Где K_D – коэффициент затухания (демпфирования); T – постоянная времени.

Из дифференциального уравнения с помощью преобразования Лапласа при нулевых начальных условиях на входе получается следующая передаточная функция (2):

$$W(p) = \frac{K}{T^2 p^2 + 2K_D T p + 1} = \frac{B(p)}{A(p)} \quad (2)$$

4. Порядок выполнения лабораторной работы

4.1. Собрать стенд (рабочее место студента) согласно рисунку №4.1:

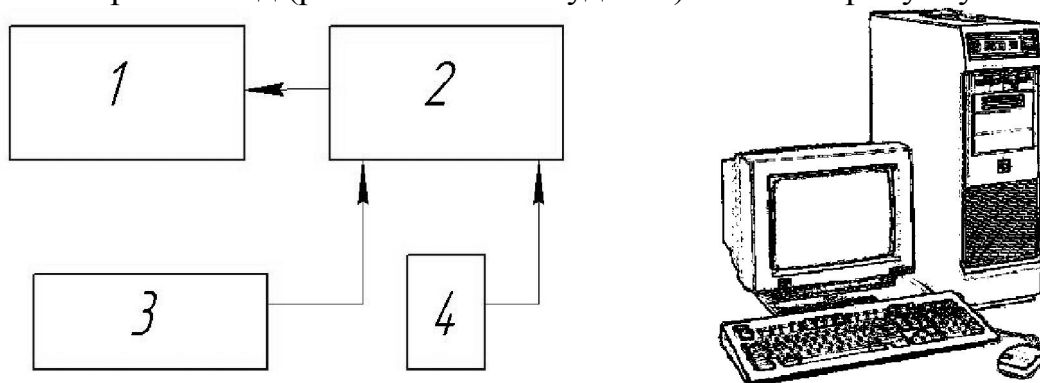


Рис.4.1. Рабочее место студента.

1 – монитор, 2 – системный блок, 3 – клавиатура, 4 – мышь

4.2. Расчёт и построение комплексного коэффициента передачи звена:

Подставляем в уравнение (2) $j\omega$ вместо p . В результате получаем

комплексный коэффициент передачи звена (ККП), который имеет следующий вид(3):

$$W(j\omega) = \frac{V(\omega) + M(j\omega)}{V_1(\omega) + M_1(j\omega)} \quad (3)$$

Согласно выражению (3) комплексный коэффициент передачи звена записывается в виде (4):

$$W(j\omega) = \frac{K}{(1 - T^2\omega^2) + j2K_D T\omega} \quad (4)$$

или

$$W(j\omega) = V(\omega) \pm jM(\omega) \quad (5)$$

Тогда комплексный коэффициент передачи звена (3) может быть представлен в виде (6):

$$W(j\omega) = \frac{K(1 - T^2\omega^2)}{(1 - T^2\omega^2)^2 + (2K_D T\omega)^2} - j \frac{2K_D K T\omega}{(1 - T^2\omega^2)^2 + (2K_D T\omega)^2} \quad (6),$$

где: а) Действительная часть:

$$V(\omega) = \frac{K(1 - T^2\omega^2)}{(1 - T^2\omega^2)^2 + (2K_D T\omega)^2} \quad (7)$$

б) Мнимая часть:

$$M(\omega) = \frac{-2K_D K T\omega}{(1 - T^2\omega^2)^2 + (2K_D T\omega)^2} \quad (8)$$

Коэффициент $T = K + N$, где

K – выбирается по варианту задания таблица № 4.1

K_D - зависит от варианта задания по таблице № 4.1

N - порядковый номер студента по журналу посещаемости

Таблица № 4.1

Варианты	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
K	1,2	2,2	3,2	4,2	5,2	1,3	2,3	3,3	4,3	5,3
K_D	1,2	1,25	1,3	1,35	1,4	1,3	1,4	1,5	1,55	1,6

Продолжение таблицы № 4.1

Варианты	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
K	1,4	2,4	3,4	4,4	5,4	1,5	2,5	3,5	4,5	5,5
K_D	1,45	1,55	1,6	1,65	1,7	1,15	1,25	1,35	1,4	1,55

Продолжение таблицы № 4.1

Варианты	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
K	1,6	2,6	3,6	4,6	5,6	1,7	2,7	3,7	4,7	5,7
K_D	1,16	1,26	1,36	1,46	1,56	1,17	1,27	1,37	1,47	1,57

Для графического построения (ККП) подставляем в формулы (7) и (8) ω от 0 до ∞ и результаты расчётов записываем в Таблицу № 4.2. По полученным расчётным данным (Таблица № 4.2) производим графическое построение (ККП).

Таблица № 4.2

ω	$V(\omega)$	$M(\omega)$

Построить график: $jM(\omega)=f[V(\omega)]$

4.3. Расчёт и построение амплитудно-частотной (АЧХ) характеристики апериодического звена второго порядка колебательного звена:

АЧХ в общем виде определяется по формуле (9)

$$A(\omega) = \sqrt{\frac{[V(\omega)]^2 + [M(\omega)]^2}{[V_1(\omega)]^2 + [M_1(\omega)]^2}} \quad (9)$$

В результате для апериодического звена второго порядка на основании формулы(9) АЧХ звена рассчитывается по формуле (10)

$$A(\omega) = \frac{K}{\sqrt{(1-T^2\omega^2)^2 + (2K_D T\omega)^2}} \quad (10) \text{ и}$$

расчётные данные заносятся в таблицу № 4.3, № 4.3а

Таблица № 4.3

ω	$A(\omega)$

Таблица № 4.3а

$\text{Log } (\omega)$	$A(\omega)$

Построить графики: $A(\omega)=f(\omega)$ и $A(\omega)=f[\log(\omega)]$

4.4.Расчёт и построение фазо-частотной (ФЧХ) характеристики апериодического звена второго порядка:

ФЧХ в общем виде определяется по формуле: (12)

$$\varphi(\omega) = \text{arctg} \frac{M(\omega)}{V(\omega)} - \text{arctg} \frac{M_1(\omega)}{V_1(\omega)} \quad (11)$$

Формула (11) для ФЧХ имеет вид при ω от 0 до $\omega_{рез}$, где $\omega_{рез}$ находится из формулы (9,10):

$$\left[V_1(\omega) \right]^2 = (1 - T^2\omega^2)^2 = 0 \quad (12)$$

Итак, из формулы (12): $\omega_{рез} = \sqrt{\frac{1}{T^2}}$

С учётом формул (3,4,11) получаем:

$$\varphi(\omega) = -\text{arctg} \frac{2K_D T\omega}{1 - T^2\omega^2} \quad (13),$$

а при ω от $\omega_{рез}$ до ∞ по формуле (14):

$$\varphi(\omega) = \left(-\operatorname{arctg} \frac{2K_D T \omega}{1 - T^2 \omega^2} \right) - 3,14 \quad (14)$$

После подстановки цифрового значения T и K_D в формулу (13,14) расчётные данные заносятся в таблицу № 4.4 ,№ 4.4а

Таблица № 4.4

ω	$\varphi(\omega)$

Таблица № 4.4а

$\operatorname{Log}(\omega)$	$\varphi(\omega)$

Построить графики: $\varphi(\omega) = f(\omega)$ и $\varphi(\omega) = f[\log(\omega)]$

4.5. Расчёт и построение переходной характеристики $h(t)$ аperiodического звена второго порядка:

Переходная характеристика $h(t)$ аperiodического звена второго порядка определяется в общем виде по формуле (15):

$$h(t) = \frac{B(0)}{A(0)} + \sum_{i=1}^n \frac{B(Z_i) e^{Z_i t}}{Z_i * A'(Z_i)} \quad (15),$$

где $B(0) = B(p)$: при $p=0$, т.е. $B(0) = K$; $A(0) = A(p)$: при $p=0$, т.е. $A(0) = 1$;

Z_i - корни характеристического уравнения $A(p) = T^2 p^2 + 2K_D T p + 1$ -

знаменателя передаточной функции звена (2), а $A'(z_i)$ - это $\frac{dA(p)}{d(p)}$.

В результате

$$A'(z_i) = 2T^2 z_i + 2K_D T \quad (16)$$

Так как $A(p)$ квадратное уравнение, то будет два корня.

Итак:

$$Z_{1,2} = \frac{-2 \cdot K_D \cdot T \pm \sqrt{(-2 \cdot K_D \cdot T)^2 - 4 \cdot T^2}}{2T^2} \quad (17)$$

С учётом формул (15-17) выражение для переходной характеристики $h(t)$ имеет следующий вид:

$$h(t) = \frac{B(0)}{A(0)} + \frac{K \cdot e^{z_1 t}}{z_1(2T^2 z_1 + 2K_D T)} + \frac{K \cdot e^{z_2 t}}{z_2(2T^2 z_2 + 2K_D T)} \quad (18)$$

После подстановки цифровых значений в формулу (18) расчётные данные заносятся в таблицу № 4.5

Таблица № 4.5

t	h(t)

По полученным расчётным данным (Таблица № 4.5) строится график переходной характеристики $h(t)$: апериодического звена второго порядка:

Построить график $h(t) = f(t)$

4.6. Расчёт и построение импульсной $w(t)$ характеристики апериодического звена второго порядка:

Импульсная характеристика – это реакция системы на импульсное типовое воздействие. Для расчёта импульсной характеристики $w(t)$ апериодического звена второго порядка необходимо взять первую производную от переходной характеристики. В результате формула для расчёта импульсной характеристики $w(t)$ апериодического второго порядка имеет следующий вид:

$$W(t) = Z1 * \frac{K \cdot e^{z_1 t}}{z_1(2T^2 z_1 + 2K_D T)} + Z2 * \frac{K \cdot e^{z_2 t}}{z_2(2T^2 z_2 + 2K_D T)} \quad (19)$$

После подстановки цифровых значений в формулу (19) расчётные данные заносятся в таблицу № 4.6

Таблица № 4.6

t	w(t)

По полученным расчётным данным (Таблица № 4.6) строится график импульсной характеристики **w(t)**

Построить график **w(t) = f(t)**

5.Выводы

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5

1. Цель работы

Освоение методов анализа и изучение основных характеристик типового колебательного звена устройств автоматизации литейного производства

2. Задание

Расчёт, построение и анализ характеристик колебательного звена

3. Введение

Колебательное звено – это звено, у которого при подаче на вход ступенчатого воздействия на выходе величина совершает затухающие колебания.

Примером колебательного звена являются четырехполюсник, состоящий из резистора, катушки индуктивности и конденсатора, маятник, груз, подвешенный на пружине, электродвигатель постоянного тока с независимым возбуждением.

Дифференциальное уравнение колебательного звена имеет вид:

$$T^2 \frac{d^2 y}{dt^2} + 2K_D T \frac{dy}{dt} + y(t) = Kx(t), \quad (1)$$

Где K_D - коэффициент затухания (демпфирования); T – постоянная времени.

Из дифференциального уравнения с помощью преобразования Лапласа при нулевых начальных условиях на входе получается следующая передаточная функция (2):

$$W(j\omega) = \frac{K}{T^2 p^2 + 2K_D T p + 1} = \frac{B(p)}{A(p)} \quad (2)$$

4. Порядок выполнения лабораторной работы

4.1. Собрать стенд (рабочее место студента) согласно рисунку №4.1:

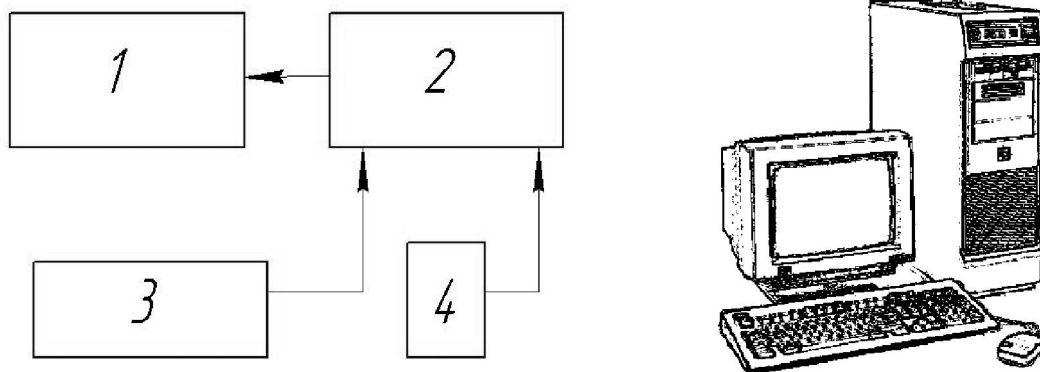


Рис.4.1. Рабочее место студента.

1 – монитор, 2 – системный блок, 3 – клавиатура, 4 – мышь

4.2.Расчёт и построение комплексного коэффициента передачи звена:

Подставляем в уравнение(2) $j\omega$ вместо p . В результате получаем комплексный коэффициент передачи звена (ККП), который имеет следующий вид(3):

$$W(j\omega) = \frac{V(\omega) + M(j\omega)}{V_1(\omega) + M_1(j\omega)} \quad (3)$$

Согласно выражению (3) комплексный коэффициент передачи звена записывается в виде (4):

$$W(j\omega) = \frac{K}{(1 - T^2\omega^2) + j2K_D T\omega} \quad (4) \text{ или}$$

$$W(j\omega) = V(\omega) \pm jM(\omega) \quad (5)$$

Тогда комплексный коэффициент передачи звена (3) может быть представлен в виде (6):

$$W(j\omega) = \frac{K(1 - T^2\omega^2)}{(1 - T^2\omega^2)^2 + (2K_D T\omega)^2} - j \frac{2K_D K T\omega}{(1 - T^2\omega^2)^2 + (2K_D T\omega)^2} \quad (6),$$

где

$$\text{Действительная часть: } V(\omega) = \frac{K(1 - T^2\omega^2)}{(1 - T^2\omega^2)^2 + (2K_D T\omega)^2} \quad (7)$$

$$\text{Мнимая часть: } M(\omega) = \frac{-2K_D K T\omega}{(1 - T^2\omega^2)^2 + (2K_D T\omega)^2} \quad (8)$$

Коэффициент $T = K + N$, где

K – выбирается по варианту задания таблица № 4.1

K_D - зависит от варианта задания по таблице № 4.1

N - порядковый номер студента по журналу посещаемости

Таблица № 4.1

Варианты	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
К	1,2	2,2	3,2	4,2	5,2	1,3	2,3	3,3	4,3	5,3
К _д	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,3	0,4	0,5	0,55	0,6

Продолжение таблицы № 4.1

Варианты	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
К	1,4	2,4	3,4	4,4	5,4	1,5	2,5	3,5	4,5	5,5
К _д	0,45	0,55	0,6	0,65	0,7	0,15	0,25	0,35	0,4	0,55

Продолжение таблицы № 4.1

Варианты	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
К	1,6	2,6	3,6	4,6	5,6	1,7	2,7	3,7	4,7	5,7
К _д	0,16	0,26	0,36	0,46	0,56	0,17	0,27	0,37	0,47	0,57

Для графического построения (ККП) подставляем в формулы (7) и (8) ω от 0 до ∞ и результаты расчётов записываем в Таблицу № 4.2. По полученным расчётным данным (Таблица № 4.2) производим графическое построение (ККП).

Таблица № 4.2

ω	$V(\omega)$	$M(\omega)$

Построить график: $jM(\omega)=f[V(\omega)]$

4.3. Расчёт и построение амплитудно-частотной (АЧХ) характеристики колебательного звена:

АЧХ в общем виде определяется по формуле (9)

$$A(\omega) = \frac{\sqrt{[V(\omega)]^2 + [M(\omega)]^2}}{\sqrt{[V_1(\omega)]^2 + [M_1(\omega)]^2}} \quad (9)$$

В результате для колебательного звена на основании формулы (9) АЧХ звена рассчитывается по формуле: (10):

$$A(\omega) = \frac{K}{\sqrt{(1-T^2\omega^2)^2 + (2K_D T\omega)^2}} \quad (10)$$

и расчётные данные заносятся в таблицу № 4.3, № 4.3а.

Таблица № 4.3

Таблица № 4.3а

ω	$A(\omega)$

$\text{Log}(\omega)$	$A(\omega)$

Построить графики: $A(\omega)=f(\omega)$ и $A(\omega)=f[\log(\omega)]$

4.4. Расчёт и построение фазо-частотной (ФЧХ) характеристики колебательного звена:

ФЧХ в общем виде определяется по формуле (11)

$$\varphi(\omega) = \text{arctg} \frac{M(\omega)}{V(\omega)} - \text{arctg} \frac{M_1(\omega)}{V_1(\omega)} \quad (11)$$

Формула (11) для ФЧХ имеет вид при ω от 0 до $\omega_{рез}$, где $\omega_{рез}$ находится из формулы (9,10):

$$\left[V_1(\omega) \right]^2 = (1 - T^2 \omega^2)^2 = 0 \quad (12)$$

Итак, из формулы (12): $\omega_{рез} = \sqrt{\frac{1}{T^2}}$

С учётом формул (3,4,11) получаем:

$$\varphi(\omega) = -\text{arctg} \frac{2K_D T \omega}{1 - T^2 \omega^2} \quad (13),$$

а при ω от $\omega_{рез}$ до ∞ по формуле (14):

$$\varphi(\omega) = \left(-\text{arctg} \frac{2K_D T \omega}{1 - T^2 \omega^2} \right) - 3,14 \quad (14)$$

После подстановки цифрового значения T и K_D в формулу (13,14) расчётные данные заносятся в таблицу № 4.4, № 4.4а.

Таблица № 4.4

ω	$\varphi(\omega)$

Таблица № 4.4а

$\text{Log}(\omega)$	$\varphi(\omega)$

По полученным расчётным данным (Таблица № 4.3, № 4.3а) строятся графики фазо- частотной характеристики $\varphi(\omega)$ - ФЧХ.

Построить графики: $\varphi(\omega) = f(\omega)$ и $\varphi(\omega) = f[\log(\omega)]$

4.5. Расчёт и построение переходной характеристики $h(t)$ колебательного звена:

Для расчёта переходной характеристики $h(t)$ колебательного звена находим корни ($Z_{1,2} = -\alpha \pm j\omega_s$) из характеристического уравнения:

$H(p) = A(p) = T^2 p^2 + 2K_D T p + 1$ - знаменателя передаточной функции звена (2).

$$Z_{1,2} = \frac{-2 \cdot K_D \cdot T \pm \sqrt{(-2 \cdot K_D \cdot T)^2 - 4 \cdot T^2}}{2T^2} \quad (15)$$

Переходная характеристика $h(t)$ определяется по формуле:

$$h(t) = C_1 - C_2 * e^{\alpha t} \cos(\omega_s * t). \quad (16)$$

$$C_1 = C_2 = \frac{B(0)}{A(0)}; \text{ при } p=0: a) B(0) = B(p) = K,$$

$$б) A(0) = A(p) = 1; \text{ и так } C_1 = C_2 = K; \quad \alpha = -\frac{K_D}{T};$$

$$\omega_s = \frac{\sqrt{4T^2 - (-2K_D T)^2}}{2T^2}$$

После подстановки цифровых значений в формулу (16) расчётные данные заносятся в таблицу № 4.5

Таблица № 4.5

t	h(t)

По полученным расчётным данным (Таблица № 3.5) строится график переходной характеристики **h(t)**

Построить график **h(t) = f(t)**:

4.6. Расчёт и построение импульсной **w(t)** характеристики колебательного звена:

Импульсная характеристика – это реакция системы на импульсное типовое воздействие. Для расчёта импульсной характеристики **w(t)** колебательного звена необходимо взять первую производную от переходной характеристики.

Формула для расчёта импульсной характеристики **w(t)** колебательного звена имеет следующий вид:

$$W(t) = C_2 \left(\alpha * e^{\alpha t} \cos(Wst) + Ws * e^{\alpha t} \sin(Wst) \right) \quad (18)$$

$$\text{где } C_2 = K; \quad \alpha = -\frac{K_D}{T}; \quad Ws = \frac{\sqrt{4T^2 - (-2K_D T)^2}}{2T^2}$$

После подстановки цифровых значений в формулу (18) расчётные данные заносятся в таблицу № 4.6

Таблица № 4.6

t	w(t)

По полученным расчётным данным (Таблица № 4.6) строится график импульсной характеристики **w(t)**

Построить график **w(t) = f(t)**

5. Выводы

8. Контрольные вопросы

1. Назвать примеры элементов систем автоматизации литейного производства, характеризующие звенья, рассмотренные в лабораторных работах
2. Что такое передаточная функция линейного звена вообще?
3. Написать выражения для передаточной и переходной функций реального дифференцирующего звена
4. Написать выражения для передаточной и переходной функций колебательного звена
5. Написать выражения для передаточной и переходной функций апериодического звена
6. Написать выражения для передаточной и переходной функций инерционного и колебательного звеньев.
7. Каким образом колебательное звено превращается в апериодическое звено?

Литература

1. Новиков В.П. Автоматизация литейного производства. Часть 1. Управление литейными процессами: Учебное пособие. М.: МГИУ, 2008. - 292 с.
2. Кукуй, Д.М. Автоматизация литейного производства: учеб. пособие / Д.М. Кукуй, В.Ф. Одиночно. — Минск : Новое знание, 2008. — 240 с.

Приложение № 1

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ

Московский государственный технический университет
«МАМИ»

Кафедра «Машины и технологии литейного производства»
имени П.Н.Аксёнова

ОТЧЁТ
по лабораторной работе №

Исследование

по дисциплине

Оформил студент: _____ / _____ / Группа:

Оценка по результатам сдачи
лабораторной работы: _____ « » 201...г.

Преподаватель: _____ /...../

Москва – 201...

Методические указания

Ефимов Михаил Иванович

Методические указания к лабораторным работам по дисциплине «Автоматизация литейного производства» для студентов магистратуры, обучающихся по направлению «Машиностроение» 150700.68, профиль-«Машины и технологии литейного производства»

Под редакцией автора

Оригинал-макет подготовлен редакционно-издательским отделом МГТУ
«МАМИ»

По тематическому плану внутривузовских изданий учебной литературы
на 2012 г.

Подписано в печать 21.04.12. Формат 60x90 1/16. Бумага 80 г/м²
Гарнитура «Таймс». Ризография. Усл. печ. л. 2,4

Тираж 50 экз. Заказ 60-12