

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

Кафедра физики, электротехники и автоматики

Лабораторная работа 6

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ
ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК
ОБЪЕКТА РЕГУЛИРОВАНИЯ**

Методические указания к лабораторным работам
для студентов всех форм обучения по направлениям подготовки:
270800.62 «Строительство», 230400.62 «Информационные
системы и технологии», 280700.62 «Техносферная безопасность»

Казань
2015

УДК 621.3.078
ББК 32.965
С21

С21 Лабораторная работа 6. Экспериментальное определение динамических характеристик объекта регулирования: Методические указания к лабораторным работам для студентов всех форм обучения по направлениям подготовки: 270800.62 «Строительство», 230400.62 «Информационные системы и технологии», 280700.62 «Техносферная безопасность» / Сост.: Р.К. Сафиуллин, Р.Г. Яхин. – Казань: Изд-во Казанск. гос. архитектур.-строит. ун-та, 2015. – 11 с.

Печатается по решению Редакционно-издательского совета Казанского государственного архитектурно-строительного университета

Методические указания предназначены для выполнения лабораторной работы по разделу «Автоматическое регулирование». В работе студенты учатся применять амплитудно-частотные (АЧХ), фазо-частотные (ФЧХ) и амплитудно-фазочастотные (АФЧХ) характеристики, экспериментально получают динамическую характеристику объекта регулирования.

Методические указания предназначены для студентов всех форм обучения по направлениям подготовки: 270800.62 «Строительство», 230400.62 «Информационные системы и технологии», 280700.62 «Техносферная безопасность».

Табл. 3; ил. 5; библиогр. 2 наименов.

Рецензент

Доктор физико-математических наук, профессор,
зав. кафедрой общей физики КНИТУ-КАИ им. А.Н. Туполева
Б.А. Тимеркаев

УДК 621.3.078
ББК 32.965

© Казанский государственный
архитектурно-строительный
университет, 2015

© Сафиуллин Р.К., Яхин Р.Г.,
2015

Лабораторная работа № 6

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОБЪЕКТА РЕГУЛИРОВАНИЯ

I. Цель работы

1. Освоить методику экспериментального определения статических и динамических характеристик объектов.

2. Получить передаточную функцию и частотные характеристики объектов.

II. Основные положения

1. Виды и задачи автоматического регулирования и управления

Управлением в широком смысле слова называется организация какого-либо процесса, направленная на достижение поставленной цели. Основой управления является переработка информации о состоянии системы в соответствии с принятой целью. Системы, управление которыми осуществляется техническими устройствами без непосредственного участия человека, называются автоматическими (рис. 1а). Однако в ряде случаев человек должен непосредственно участвовать в управлении или контролировать и корректировать работу автоматики. В связи с этим он включается в основной или во вспомогательный контуры управления (рис. 1б). Если человек включается в основной контур, то техническая система называется полуавтоматической.

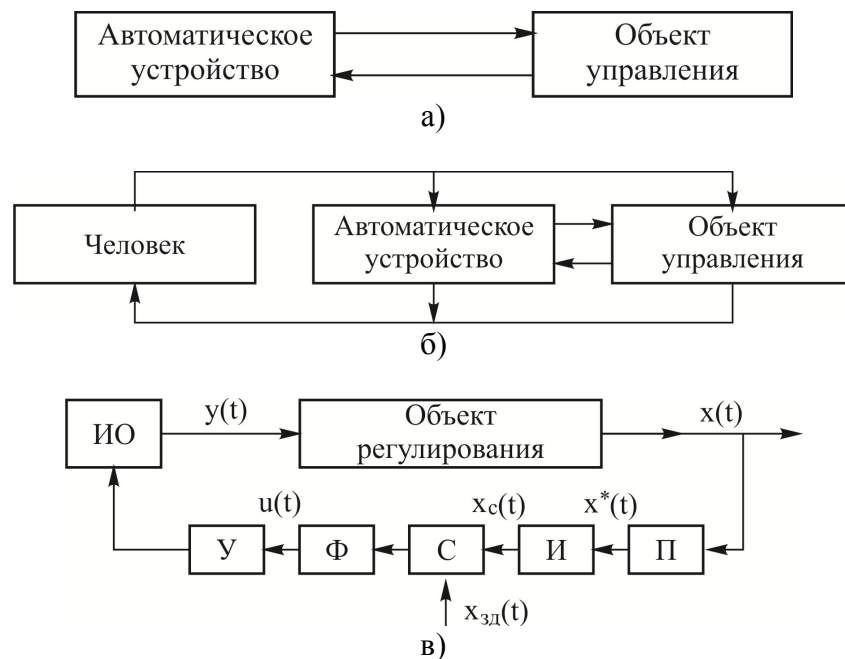


Рис. 1

Простейшая система автоматического регулирования (САР) образуется из объекта регулирования и регулирующего устройства, или просто регулятора (рис. 1в). Регулятор обычно включает в себя следующие элементы: преобразовательный – П, измерительный – И, сравнивающий – С, формирующий – Ф, усилительно-преобразовательный – У и исполнительный – ИО.

Преобразовательный элемент служит для преобразования регулируемой величины $x(t)$ в однозначно соответствующую ей величину $x^*(t)$, удобную для передачи и дальнейшего использования в регуляторе.

Измерительный элемент на основе сигнала $x^*(t)$ вырабатывает сигнал $x_c(t)$, который поступает на элемент сравнения С, вырабатывающий сигнал рассогласования $x_{зо}(t) - x_c(t)$, где $x_{зо}(t)$ характеризует заданное значение регулируемой величины. Сигнал рассогласования поступает на вход устройства Ф формирования управляющего сигнала $u(t)$. Если мощность сигнала $u(t)$ недостаточна для эффективного воздействия на исполнительный элемент системы, то в цепь сигнала вводится усилительно-преобразовательный элемент – У, например, гидравлический, электромашинный или электронный усилитель мощности.

Качество автоматического регулирования определяется свойствами системы в целом. Для получения требуемого качества регулирования необходимо, чтобы система регулирования отвечала определенным требованиям. Поскольку объект обычно неизменная часть системы, то добиться необходимых свойств регулирования для всей системы можно только выбором автоматического регулятора, отвечающего требованиям к системе в целом.

Таким образом, построение системы автоматического регулирования (синтез системы) включает две задачи:

- 1) исследование свойств объекта регулирования;
- 2) расчет автоматического регулятора, который совместно с объектом регулирования обеспечивал бы системе требуемое качество регулирования.

Исследовать свойства объекта регулирования и получить статические и динамические характеристики объекта можно аналитическими и экспериментальными методами, В данной работе рассматривается экспериментальный метод исследования свойств объекта регулирования.

2. Теоретические сведения

Статическая характеристика и соответствующее ей уравнение статики отражают связь между входными и выходными величинами системы (элемента) в равновесном режиме: $X_{вых,уст} = f(X_{вх,уст})$.

Эта зависимость может быть линейной или нелинейной. Большинство реальных статических характеристик нелинейно. Однако относительно небольшие участки характеристик в нелинейных элементах можно принимать в качестве линейных, т.е. линеаризовать статическую

характеристику. В качестве примера на рис. 2 приведена схема и статическая характеристика термопары, входной величиной которой является измеряемая температура, а выходной – термо-ЭДС E .

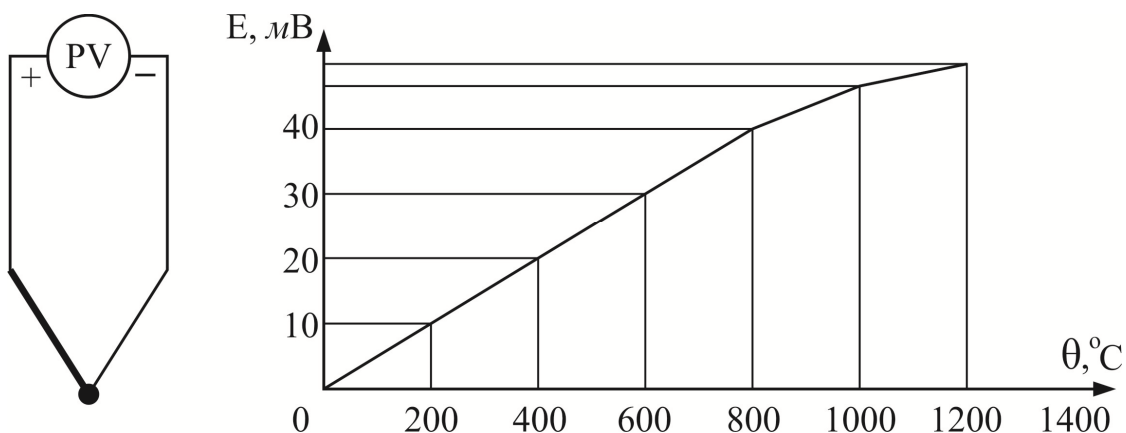


Рис. 2

Применительно к объектам регулирования статическая характеристика представляет зависимость регулируемого параметра $X_{вых}$ от изменения положения регулирующего органа $X_{вх}$. Пусть в качестве объекта регулирования рассматривается нагревательная печь, в которой необходимо поддерживать заданное значение температуры путем изменения напряжения питания нагревательного элемента.

Тогда регулируемым параметром $X_{вых}$ будет температура в печи, а регулирующим воздействием – изменение напряжения питания электронагревателя за счет перемещения движка лабораторного автотрансформатора $X_{вх}$.

При экспериментальном определении статической характеристики объекта или элемента последовательно задают несколько дискретных фиксированных значений положения регулирующего органа $X_{вх}$ и каждый раз по истечении промежутка времени, необходимого для установления равновесного состояния, измеряют регулируемую величину $X_{вых}$. По полученным значениям входной и выходной величины объекта строится график, на оси абсцисс откладываются значения $X_{вх}$ (выраженные в именованных или в относительных единицах, либо в процентах), а по оси ординат – значение регулируемой величины объекта $X_{вых}$, выраженное в единицах регулируемой величины.

Динамическая характеристика и соответствующее ей уравнение динамики описывают поведение системы автоматического регулирования (или ее отдельных элементов) во времени, т.е. в переходных режимах, при подаче возмущающего воздействия на вход системы. Поведение системы в переходных режимах описывается дифференциальным уравнением,

которое составляется на основании физических законов, определяющих переходный процесс в системе (объекте регулирования, любом элементе системы). Определение динамических характеристик объектов аналитическим путем с помощью дифференциальных уравнений может быть успешно выполнено только для сравнительно простых объектов. Поэтому на практике широкое применение нашли экспериментально снятые динамические характеристики объектов. Для этого на входе системы или элемента наносится возмущающее воздействие и регистрируется реакция системы на это воздействие, т.е. изменение выходной величины во времени.

В практике экспериментального определения динамических характеристик промышленных объектов регулирования обычно используют три вида возмущений:

а) однократное (единичное) скачкообразное возмущение входной величины (рис. 3а). Ему соответствует переходный процесс, который принято называть кривой разгона;

б) однократное импульсное возмущение. Ему соответствует переходный процесс, называемый импульсной характеристикой (рис. 3б);

в) периодические возмущения в виде гармонических колебаний или прямоугольных импульсов (частотные характеристики, рис. 3в).

Величина возмущения должна оставаться постоянной в течение всего эксперимента. Регистрация изменения выходной величины во времени производится до тех пор, пока не закончится переходный процесс и установится новое состояние равновесия. По полученным данным строят кривую разгона $X_{вых}=f(t)$. Для получения надежных данных динамическую характеристику следует снимать не менее двух раз, так как при эксперименте возможны неточности.

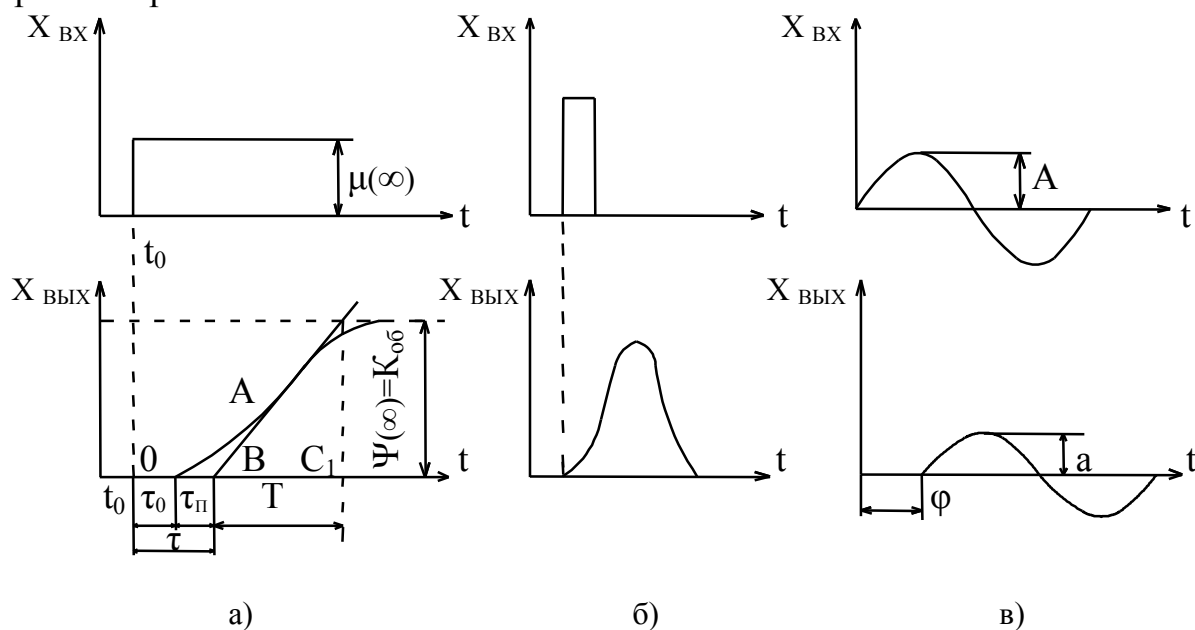


Рис. 3

Кривой разгона называют кривую изменения во времени выходной величины после однократного скачкообразного изменения входной величины. Величину возмущения обычно выбирают в пределах 5-15 % от номинального значения входной величины. Перед нанесением возмущения необходимо добиться установившегося режима при выбранных значениях входной и выходной величины объекта. Затем наносят скачкообразное возмущение резким перемещением регулирующего органа.

Экспериментальное определение переходной характеристики удобно проводить трем студентам.

Первый наносит ступенчатое входное воздействие и по секундомеру отсчитывает время через определенные интервалы времени (вначале через 5 секунд, затем с уменьшением скорости изменения выходной величины – через несколько минут).

Второй студент по шкале прибора отсчитывает величину выходного параметра и сообщает ее значение в соответствующие моменты времени.

Третий заполняет таблицу эксперимента. Получить кривую разгона можно также путем записи на диаграммной ленте электронного автоматического потенциометра.

Для приближенной оценки динамических свойств объекта по кривой разгона необходимо определить динамические параметры T , $K_{об}$, входящие в дифференциальное уравнение объекта:

$$T \frac{dX_{вых}(t)}{dt} + X_{вых}(t) = K_{об} \cdot X_{вх}(t). \quad (1)$$

Для этого в точке с максимальной скоростью изменения выходной величины $X_{вых}$ (точка перегиба А) проводят касательную.

Суммарное запаздывание τ будет характеризоваться отрезком на оси от момента нанесения возмущения t_0 до точки пересечения касательной с осью времени (отрезок ОВ). Оно складывается из чистого (транспортного) запаздывания t_0 и емкостного (переходного) запаздывания τ_n .

Проекция ВС на ось абсцисс отрезка касательной, заключенного между осью абсцисс и прямой, проходящей через новое установившееся значение выходной величины, характеризует постоянную времени объекта T (отрезок ВС). Коэффициент усиления объекта (коэффициент передачи) определяется из выражения:

$$K_{об} = \frac{X_{вых}(\infty)}{X_{вх}(\infty)}. \quad (2)$$

Подобным же образом находят динамические характеристики для объектов, описываемых другими уравнениями.

3. Определение передаточной функции и частотных характеристик

Преобразование Лапласа, будучи применено к дифференциальному уравнению (1), превращает его в алгебраическое уравнение.

Прямое преобразование Лапласа задается в виде:

$$F(p) = \int_0^{\infty} f(t)e^{-pt} dt, \quad (3)$$

где p – комплексное переменное ($p = d/dt$), $f(t)$ – функция-оригинал, $F(p)$ – изображение функции $f(t)$ по Лапласу. Уравнение (1) в операторной форме записи при нулевых начальных условиях будет иметь вид:

$$TpX_{вых}(p) + X_{вых}(p) = K_{об}X_{вх}(p), \quad (4)$$

или

$$(Tp + 1)X_{вых}(p) = K_{об}X_{вх}(p). \quad (5)$$

Передаточной функцией $W(p)$ называется отношение выходной величины, преобразованной по Лапласу, к входной величине, преобразованной по Лапласу, при нулевых начальных условиях:

$$W(p) = \frac{X_{вых}(p)}{X_{вх}(p)} = \frac{K_{об}}{Tp + 1}. \quad (6)$$

Для определения частотных характеристик необходимо в уравнении (6) сделать замену $p = j\omega$, где ω – угловая частота, значение которой можно изменять в пределах от $-\infty$ до $+\infty$, а j – мнимая единица. Тогда получим для частотной характеристики выражение:

$$W(j\omega) = \frac{K_{об}}{1 + T^2\omega^2} - j \frac{K_{об}T\omega}{1 + T^2\omega^2} = \text{Re}W(j\omega) + jI_mW \cdot (j\omega), \quad (7)$$

где $\text{Re}W(j\omega)$ – вещественная часть частотной характеристики объекта, а $I_mW \cdot (j\omega)$ – мнимая часть частотной характеристики.

Изменяя частоту от 0 до $+\infty$, можно рассчитать значения $\text{Re}W(j\omega)$ и $jI_mW(j\omega)$, а по ним построить годограф амплитудно-фазочастотной характеристики АФЧХ (рис. 4). При изменении частоты ω от $-\infty$ до 0 получим зеркальное изображение годографа.

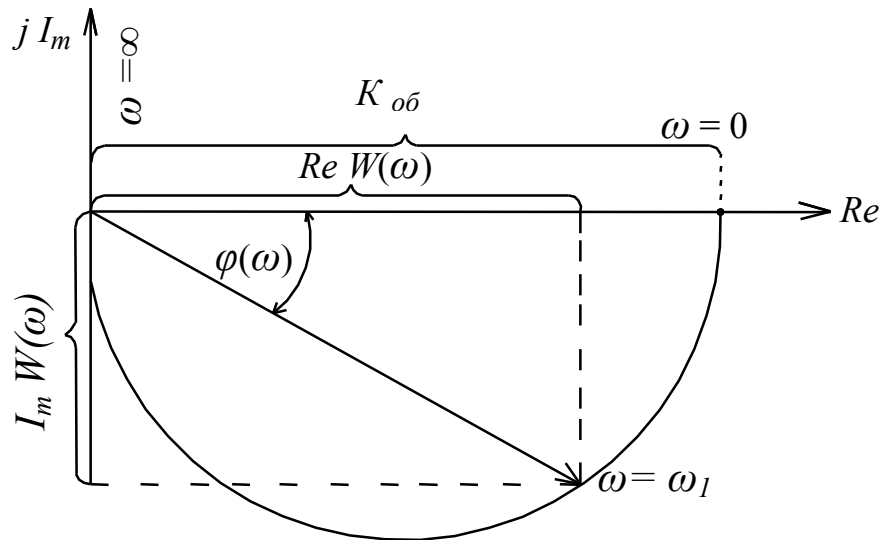


Рис. 4. Амплитудно-фазочастотная характеристика (АФЧХ) объекта

Частотную характеристику можно записать и в показательной форме:

$$W(j\omega) = M(\omega)e^{j\varphi(\omega)}, \quad (8)$$

где $M(\omega)$ – модуль АФЧХ объекта регулирования:

$$M(\omega) = \sqrt{\text{Re}^2 W(j\omega) + \text{Im}^2 W(j\omega)} = \frac{K_{об}}{\sqrt{1 + T^2 \omega^2}}. \quad (9)$$

Фаза $\varphi(\omega)$ равна:

$$\varphi(\omega) = \text{arctg} \frac{\text{Im} W(j\omega)}{\text{Re} W(j\omega)} = -\text{arctg} \omega T. \quad (10)$$

При наличии запаздывания τ выражение (10) примет вид:

$$\varphi(\omega) = -\text{arctg}(\omega T + \omega \tau). \quad (11)$$

Строят АФЧХ объекта регулирования следующим образом. Для заданной произвольно самим студентом частоты ω_1 по формуле (9) вычисляется модуль, а по формуле (10) – фаза частотной характеристики объекта. На графике (рис. 4) транспортиром откладывается угол $\varphi(\omega_1)$ в градусах, по линейке в заданном направлении откладывается в выбранном масштабе величина модуля $M(\omega_1)$. Затем строится следующая точка АФЧХ для частоты ω_2 и т.д.

Знание АФЧХ позволяет определить необходимый закон регулирования для системы автоматического регулирования (САР), выбрать тип регулятора, исследовать устойчивость САР и рассчитать параметры оптимальной настройки регулятора.

Краткое описание установки

В качестве исследуемого объекта регулирования использована нагревательная печь с электронагревательным элементом R_n (номинальное напряжение 220 В, рис. 5). Возмущения (по каналу управляющего воздействия) вносят посредством перестановки вручную движка лабораторного автотрансформатора (ЛАТР).

Для регистрации напряжения, подаваемого на нагревательный элемент, в схеме предусмотрен вольтметр PV. Датчиками температуры служат две термопары TE (поз. 1-1 и 2-1), помещенные внутри электронагревательного элемента.

Температуру на выходе объекта измеряют автоматическим электронным потенциометром TIR (поз. 1-2) и милливольтметром TI (поз. 2-2).

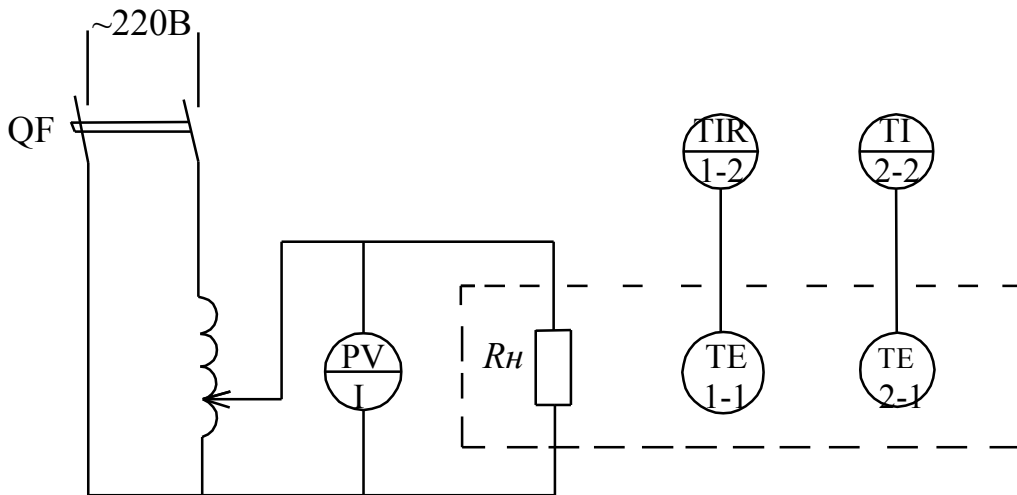


Рис. 5. Объект регулирования

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с объектом исследования и применяемой измерительной аппаратурой.

2. Снять статическую характеристику объекта, для чего входное напряжение ТГ изменять ступенями, согласно табл. 1. Результаты эксперимента записывать в табл. 1 через 15 минут после внесения возмущения.

Таблица 1

Напряжение, В	0	60	120	180
Температура, °С				

3. Снять динамическую характеристику. Для этого скачком изменить напряжение от 120 В до 180 В на входе объекта перемещением движка ЛАТРа. Результаты измерений занести в табл. 2.

Таблица 2

t, с	0	10	20	30	40	50	...	180
°C								

4. По полученным данным построить график переходного процесса, для чего на оси абсцисс отложить время, а по оси ординат – температуру на выходе объекта. Масштаб по оси времени выбрать таким, чтобы начальная часть кривой переходного процесса была так же хорошо видна, как и вся характеристика. Определить постоянные объекта $K_{об}$ и T .

5. Записать дифференциальное уравнение объекта и передаточную функцию.

6. По формулам (9, 10) построить АФЧХ.

Результаты вычислений свести в табл. 3.

Таблица 3

Частота, с ⁻¹	0		1/T			∞
$M(\omega)$						
$\varphi(\omega)$						

Указания по оформлению отчета

Отчет должен содержать следующее.

1. Принципиальную схему установки;
2. Результаты проведения опытов по определению статической и динамической характеристик объекта регулирования, сведенные в табл. 1 и 2.
3. График экспериментальной динамической характеристики;
4. АФЧХ объекта, построенную по данным табл. 3.

Контрольные вопросы

1. Для какой цели экспериментально определяют статическую характеристику, и какова ее желательная форма?
2. Что называется динамической характеристикой, и какими параметрами она определяется?
3. Как получить передаточную функцию?
4. Как получить амплитудно-частотную характеристику?
5. Как получить фазочастотную характеристику?
6. Как построить АФЧХ и для какой цели она используется?

Литература

1. Сафиуллин Р.К. Основы автоматики и автоматизация процессов: учебное пособие. – Казань: КГАСУ, 2013. – 188 с.
2. Власов К.П. Теория автоматического управления. – Харьков: Гуманитарный центр, 2007. – 524 с.

Лабораторная работа 6

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОБЪЕКТА РЕГУЛИРОВАНИЯ

Методические указания к лабораторным работам
для студентов всех форм обучения по направлениям подготовки:
270800.62 «Строительство», 230400.62 «Информационные
системы и технологии», 280700.62 «Техносферная безопасность»

Составители: Сафиуллин Р.К., Яхин Р.Г.

Корректурa авторов