

ТЕХНОЛОГИЯ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ

◆ ИЗДАТЕЛЬСТВО ТГТУ ◆

Министерство образования и науки Российской Федерации
Тамбовский государственный технический университет

**ТЕХНОЛОГИЯ
РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ
СРЕДСТВ**

Лабораторные работы
для студентов 3 – 5 курсов дневной и заочной форм обучения
специальности 200800

Тамбов
◆ Издательство ТГТУ ◆
2004

УДК 621.396.6.002(075)
ББК 32844
Т38

Утверждено Редакционно-издательским советом университета

Р е ц е н з е н т

Доктор технических наук, профессор
М.М. Мордасов

С о с т а в и т е л и:

В.Н. Грошев, Д.Ю. Муромцев, Д.В. Горелкин

Технология радиоэлектронных средств: Лабораторные работы / Сост.: В.Н. Грошев, Д.Ю. Муромцев, Д.В. Горелкин. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2004. 24 с.

Рассматриваются этапы проектирования энерго-сберегающих систем управления в виде получения и исследования модели динамики объектов, использующихся в технологии производства РЭС.

В приложении дано подробное описание работы с программным модулем «Идентификация».

Предназначены для студентов 3 – 5 курсов дневной и заочной форм обучения специальности 200800.

УДК 621.396.6.002(075)

ББК 32844

© Тамбовский государственный
технический университет, 2004

Учебное издание

ТЕХНОЛОГИЯ
РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ
СРЕДСТВ

Лабораторные работы

С о с т а в и т е л и:

ГРОШЕВ Виктор Николаевич,
МУРОМЦЕВ Дмитрий Юрьевич,
ГОРЕЛКИН Денис Вячеславович

Редактор В.Н. Митрофанова
Инженер по компьютерному макетированию Т.А. Сынкova

Подписано к печати 24.05.2004

Формат 60 × 84 / 16. Бумага газетная. Печать офсетная
Гарнитура Times New Roman. Объем: 1,39 усл. печ. л.; 1,4 уч.-изд. л.
Тираж 100 экз. С. 401

Издательско-полиграфический центр
Тамбовского государственного технического университета
392000, Тамбов, Советская, 106, к. 14

ВВЕДЕНИЕ

При разработке новых и совершенствовании существующих технологических процессов разработки во многих случаях недостаточно уделяют внимания рациональному использованию энергии. По данным докладов Европейской комиссии ООН уровень полезного расходования энергоресурсов составляет 42 %, а конечного использования топлива – 16 %. В целом около 15 % всей потребляемой промышленностью мощности расходуется на цели электротермии, а 70 % общего объема потребляемой электроэнергии приходится на электродвигатели, которые используются в технологических процессах. Например, электроприводы транспортеров и конвейеров, подъемников, лифтов, электроприводы вытяжек и вентиляции и т.п.

Обострение энергетических проблем и вызванное этим сложное экономическое положение многих отечественных предприятий диктуют необходимость поиска новых путей решения задач рационального использования энергетических ресурсов. Поэтому в энергоемких отраслях промышленности остро стоят вопросы оптимизации производственных процессов и оптимального управления ими по энергетическим показателям.

Первый этап проектирования энергосберегающих систем управления – получение и исследование модели динамики объекта управления.

Лабораторная работа 1

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕГО УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕМ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Цель работы:

- 1 Провести эксперимент по снятию экспериментальных данных электродвигателя (ЭД) при заданной величине нагрузки и напряжения с целью получения массива исходных расчетных данных для решения задачи оптимального управления (ЗОУ).
- 2 Идентифицировать параметры математической модели электродвигателя.
- 3 При помощи «Экспертной системы» решить ЗОУ, для полученного массива реквизитов.
- 4 Реализовать полученное оптимальное управление на экспериментальном объекте при помощи программы port3.exe.
- 5 Вычислить экономию энергии.
- 6 Сделать вывод.

Приборы и принадлежности: объект управления (НСМД СМ 5400), ПК, программа для снятия экспериментальных данных (port3.exe), «экспертная система».

1 Варианты заданий

№ варианта	Напряжение U , В	Нагрузка	№ варианта	Напряжение U , В	Нагрузка
1	10	Нет	6	10	Есть
2	12	Нет	7	12	Есть
3	14	Нет	8	14	Есть
4	16	Нет	9	16	Есть
5	18	Нет	10	18	Есть

Методические указания

В задачах управления в векторе входов x выделяют два вида составляющих – управляющие воздействия или просто управления u и возмущающие воздействия v .

Управляющее устройство (УУ) целенаправленно изменяет управление u для обеспечения выхода объекта на требуемый режим, поддержания режимных параметров и т.п. Если управление выбирается таким, что минимизируется некоторая целевая функция, например, затраты энергии, то управление на-

зывается оптимальным и обозначается u^* , а устройство, вырабатывающее u^* устройством оптимального управления, просто управляющим устройством (УУ) или контроллером вырабатывается на основе исходных данных, необходимых для решения задачи. К этим данным относятся – модель объекта, ограничения на изменения управляющих воздействий, фазовых координат и т.д. Обозначим массив исходных данных (реквизитов), необходимых для решения задачи управления, через R .

Совокупность объекта управления и УУ называют системой оптимального управления (СОУ). Обобщенная схема СОУ представлена на рис. 1, на ней пунктиром указаны возможные дополнительные (в том числе обратные) связи, z и y – выходные параметры.

Задача оптимального управления

Применительно к проблеме энергосбережения ЗОУ наиболее часто формулируется следующим образом.

Объект, динамика которого описывается моделью

$$\dot{z} = f(z, u, t), \quad t \in [t_0, t_k],$$

необходимо за время $\Delta t = t_k - t_0$ перевести из начального состояния

$$z(t = t_0) = z^0$$

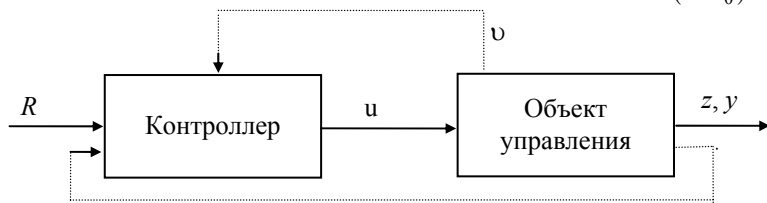


РИС. 1 ОБОБЩЕННАЯ СХЕМА СИСТЕМЫ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ

в конечное состояние

$$z(t = t_k) = z^k,$$

на управление наложены ограничения в каждый момент времени

$$\forall t \in [t_0, t_k], \quad u(t) \in [u_n, u_v],$$

и интегральные

$$\int_{t_0}^{t_k} f_0 u(t) dt \leq I_{\min}.$$

Требуется найти управление $u^*(t)$, $t \in [t_0, t_k]$, удовлетворяющее заданным условиям и ограничениям и минимизирующее функционал

$$I = \int_{t_0}^{t_k} f_0(u(t)) dt.$$

Здесь t_0, t_k – начало и конец временного интервала управления соответственно; z^0, z^k – начальное и конечное значения вектора z ; u_n, u_v – нижняя и верхняя границы изменения u ; u^* – оптимальное

управление; f – функция $z(t)$, $u(t)$, т.е. правая часть дифференциального уравнения; f_0 – функция $u(t)$, определяющая вид функционала.

Для решения ЗОУ требуется спланировать и провести эксперимент, по данным которого определить вид модели и рассчитать значения параметров, полученная модель должна иметь допустимую погрешность в диапазоне возможных изменений z и u , т.е. быть адекватной объекту и пригодной для решения ЗОУ.

Задача идентификации модели решается в такой последовательности:

- 1) формулируются требования к модели;
- 2) планируется эксперимент;
- 3) проводятся опыты эксперимента;
- 4) обрабатываются результаты эксперимента;
- 5) проверяется работоспособность модели и при необходимости производится ее коррекция.

В требованиях к модели необходимо перечислить и раскрыть значения переменных x , y , z , указать допустимую погрешность $\Delta u_{\text{доп}}$, диапазоны изменения переменных u , y или z , условия функционирования объекта, возможные виды модели. Будем считать, что двигатель постоянного тока достаточно адекватно описывается линейной стационарной моделью первого или второго порядка, т.е.

$$\dot{z} = Az(t) + Bu(t).$$

Исходными данными для оценки параметров a , b являются массивы регистрируемых в ходе опытов с временным шагом

$$(\hat{u}_i, \hat{y}_i; i = 0, 1, 2, \dots, N),$$

где

$$\hat{u}_0 = \hat{u}(t_0), \hat{u}_1 = \hat{u}(t_1 = t_0 + \Delta t), \dots, \hat{u}_i = \hat{u}(t_i = t_0 + i\Delta t), \dots;$$

$$\hat{y}_0 = \hat{y}(t_0), \hat{y}_1 = \hat{y}(t_1 = t_0 + \Delta t), \dots, \hat{y}_i = \hat{y}(t_i = t_0 + i\Delta t), \dots.$$

Описание автоматизированного рабочего места для проектирования оптимального управления электродвигателем постоянного тока

Автоматизированное рабочее место (АРМ) предназначено для проведения лабораторных и практических работ для проверки теории оптимального энергосберегающего разгона электродвигателя. АРМ состоит из элементов, показанных на рис. 2.

Функциональная схема АРМ (рис. 3):

- ЭД – объект управления;
- ДВИ (датчик входной информации) осуществляет преобразование сигналов в виде электрических напряжений, соответствующих углам поворота вала электродвигателя, в нормированные электрические сигналы;
- ИМ – (измерительный модуль) осуществляет предварительную фильтрацию сигналов, поступающих от датчиков входной информации и преобразование информации к стандартному для вычислительного устройства формату;
- УСО (устройство сопряжения с объектом) формирует управляющее воздействия на исполнительный механизм ЭД;
- ПК выполняет функции УУ в режиме проведения эксперимента, а также идентификацию параметров модели объекта, решение ЗОУ и реализацию ОУ на объекте.

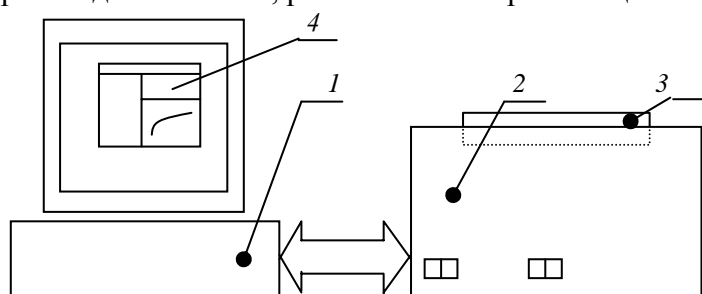


Рис. 2 Состав автоматизированного рабочего места:

1 – компьютер на базе Pentium (УУ); 2 – электродвигатель от дисковода

СМ5400 используемый в качестве экспериментального объекта;

3 – диск от дисковода СМ5400, в данном случае являющийся нагрузкой;

4 – программа для снятия экспериментальных данных

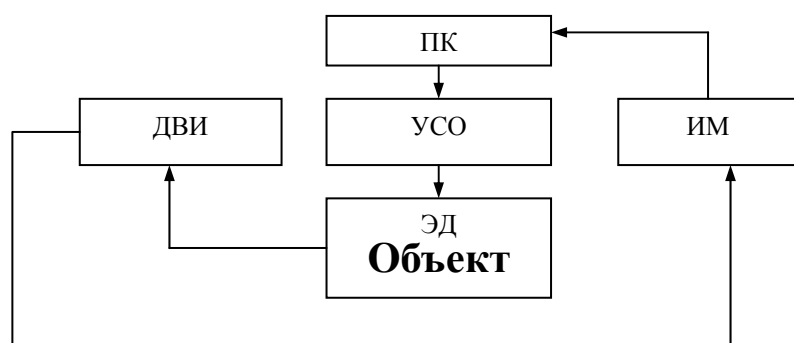


Рис. 3 Функциональная схема автоматизированного рабочего места

Компьютер – является основным элементом АРМ и служит для сбора систематизации и анализа полученных данных, а также для реализации программы управления. Иначе говоря, компьютер выполняет функции управления вспомогательными элементами АРМ (устройство сопряжения с объектом, устройство измерения скорости вращения) и осуществляет обмен информацией с этими устройствами.

Функциональное назначение устройства сопряжения с объектом (УСО) состоит в передаче двигателю управляющего сигнала (в данном случае широтно-импульсная модуляция (ШИМ)). Управляющий сигнал генерируется компьютером программно.

Устройство измерения скорости вращения состоит из электромагнитного датчика и программно управляемого счетчика импульсов, поступающих с этого датчика.

Обмен информацией с этими устройствами и анализ полученной информации позволяет получить достаточное представление о состоянии экспериментального объекта.

Программа для снятия экспериментальных данных

Программа управления и снятия экспериментальных данных предназначена для управления электродвигателем, т.е. обеспечения на его обмотке заданного напряжения, а также для синхронизации момента пуска и начала считывания массива экспериментальных данных. Напряжение может изменяться в процессе управления или быть постоянно заданным значением. Во время проведения эксперимента каждые 0,2 с измеряется значение скорости вращения вала двигателя и записывается в массив, который впоследствии может быть сохранен на диске в текстовом файле.

При запуске программы на экране появляется главное окно, в котором находятся три вспомогательных окна – окно управления, окно считывания данных и окно обработки результатов (рис. 4).

Главное окно содержит меню и панель инструментов.

В начале проведения эксперимента по снятию экспериментальных данных задается конечное время разгона электродвигателя при постоянном напряжении (при функциональной зависимости напряжения от времени конечное время разгона берется из массива) и значение действующего напряжения, которое может варьироваться в пределах от 0 до 18 В.

При задании функциональной зависимости напряжения от времени можно открыть файл с расширением *dta*, который содержит массив зависимости напряжения от времени, либо задать этот массив вручную в окне «Планирование эксперимента». Чтобы задать массив управления вручную, необходимо указать напряжение в начальный момент, т.е. при 0 времени, и задать те точки, в которых напряжение изменяется скачкообразно. Последняя точка должна указывать конечный момент времени, в который напряжение равно нулю. Минимальная дискретность управления составляет 0,02 с.

После задания управления нажимается кнопка «начало эксперимента» и после этого появляется индикатор состояния опыта (прогресс-индикатор), который показывает в процентах состояние выполнения опыта. Измеренные значения скорости вращения вала электродвигателя записываются в окно данных. После проведения опыта данные можно сохранить в текстовом файле.

Частота вращения вала двигателя может измеряться в об/мин или рад/с. По умолчанию установлены единицы измерения рад/с, но эту установку можно изменить, нажав кнопку «параметры» и переключить флажок «единицы измерения».

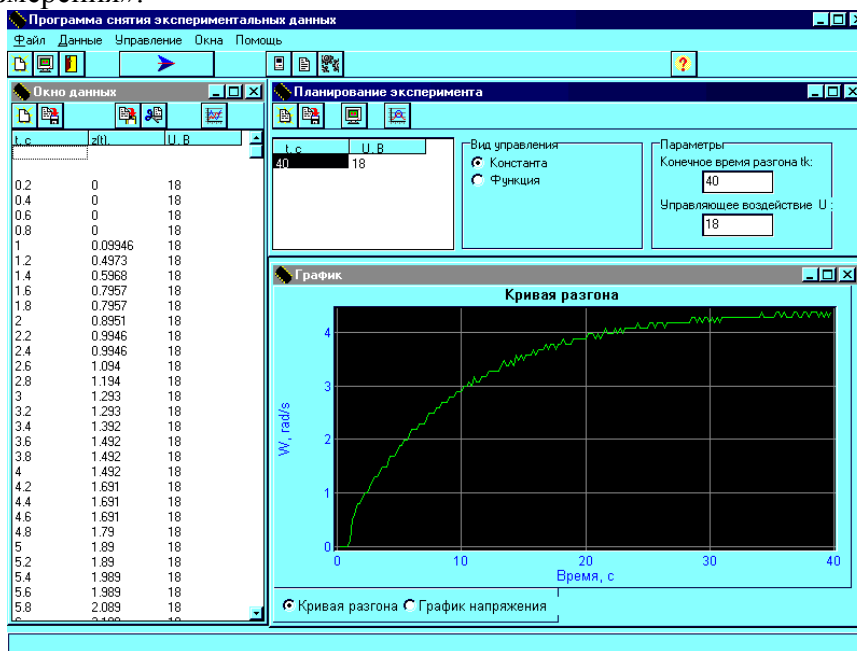


Рис. 4 Общий вид окна программы

Также в файл записывается время относительно нулевого момента и действующее в этот момент напряжение.

Включение АРМ и подготовка к работе

Для подготовки АРМ к работе необходимо:

- 1 Подсоединить LPT-шнур, идущий от дисковод к LPT порту компьютера.
- 2 Включить компьютер и загрузить Windows 98.
- 3 Включить дисковод CM5400 двумя выключателями, расположенными на передней панели.
- 4 Запустить программу Port3, расположенную на «рабочем столе» Windows 98.

Порядок выполнения работы

- 1 Подготовить АРМ к работе. Установить сменный диск, если это необходимо.
- 2 По указанию преподавателя из табл. 1 выбрать вариант, записать значение напряжения U_v .
- 3 Для данного значения напряжения провести несколько опытов по снятию кривой разгона ЭД.

Для этого запустить программу port3.exe, ярлык которой находится на «рабочем столе». Установить параметры эксперимента U_v и t_k , время разгона t_k взять в пределах 30 – 40 с.

- 4 Результаты опытов сохранить в каталог G:\users\lab\, присвоив файлу уникальное имя, включающее в себя номер опыта и Вашу фамилию.

5 Запустить один из модулей «Экспертной системы» «Апериодическое звено» а.exe для идентификации параметров модели объекта по экспериментальным данным. Для всех опытов провести идентификацию параметров модели объекта. Сделать вывод о повторяемости результатов опыта.

6 По результатам опытов составить таблицу реквизитов ЗОУ (табл. 2).

2 РЕКВИЗИТЫ ЗОУ

Параметры		Управление, В		Фазовая координата z		Время, с	
a	b	U_0	U_B	z_H	z_K	t_0	t_K

7 Запустить модуль «Экспертной системы» «Синтез оптимального управления» OptEng.exe. Используя табл. 2, рассчитать функцию оптимального управления $U(t)$, минимизируя затраты энергии I . Записать вид функции оптимального управления, и ее параметры свести в табл. 3.

3 Параметры функции ОУ

a	U_H	U_B	U_0	d	t_0	t_K	t_{Π}

8 Сохранить полученное оптимальное управление в виде таблицы, изменив шаг квантования h , присвоив ему значение 0,2 с. Рассчитать и сохранить полученный массив.

9 Реализовать полученное ОУ на практике, для этого запустить программу port3.exe. В окне «планирование эксперимента» загрузить массив оптимального управления, рассчитанный программой «Синтез оптимального управления».

Содержание отчета

Отчет по лабораторной работе должен включать в себя:

- 1 Краткие методические указания.
- 2 Графики всех проведенных опытов по разгону ЭД постоянного тока (допускается построение графиков с шагом по времени 1 с) (рис. 4).
- 3 Постановка ЗОУ (табл. 2). Пример заполнения см. табл. 6.
- 4 График рассчитанного оптимального управления $U^*(t)$. Вид функции оптимального управления (см. рис. 5, табл. 7).
- 5 Графики $z(t)$ при реализации оптимального управления, расчетный и практический (см. рис. 6).
- 6 Вывод.

Пример выполнения

- 1 Семейство кривых для разных напряжений разгона.

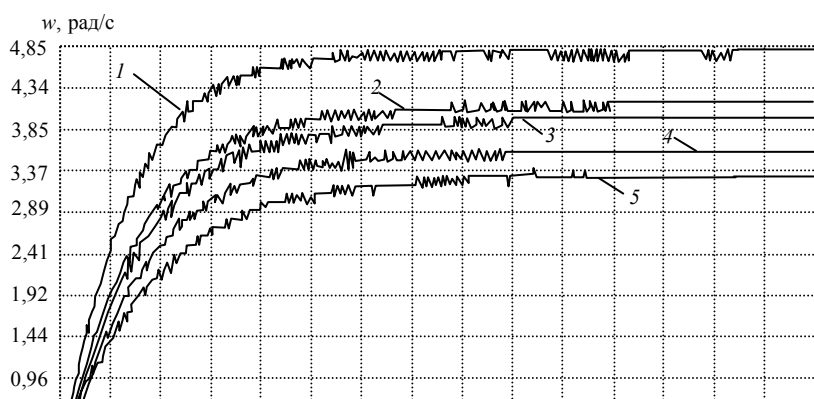


Рис. 4 Семейство кривых разгона ЭД при различных U_B :
 1 – $U_B = 18$ В; 2 – $U_B = 16$ В; 3 – $U_B = 14$ В; 4 – $U_B = 12$ В; 5 – $U_B = 10$ В

2 Таблица параметров модели ЭД с нагрузкой и без, при различных напряжениях U_B .

4 Значения коэффициентов a и b на холостом ходу

Напряже- ние, В	8	12	14	16	18
a и b	$a = -$ 0,074 $b =$ 0,0232	$a = -$ 0,091 $b =$ 0,0271	$a = -$ 0,096 $b = 0,027$	$a = -$ 0,099 $b = 0,029$	$a = -$ 0,098 $b = 0,026$

5 Значения коэффициентов a и b (опыт с нагрузкой)

Напряже- ние, В	8	10	12	14
a и b	$a = -$ 0,066 $b = 0,012$	$a = -$ 0,064 $b = 0,012$	$a = -$ 0,072 $b = 0,013$	$a = -$ 0,061 $b = 0,01$

3 Постановка ЗОУ для напряжения 18 В, на холостом ходу.

6 Реквизиты ЗОУ

Параметры		Управление, В		Фазовая координата z		Время, с	
a	b	U_H	U_B	z_H	z_K	t_0	t_K
-0,098	0,026	0	18	0	4,6	0	39

4 График и вид функции оптимального управления.

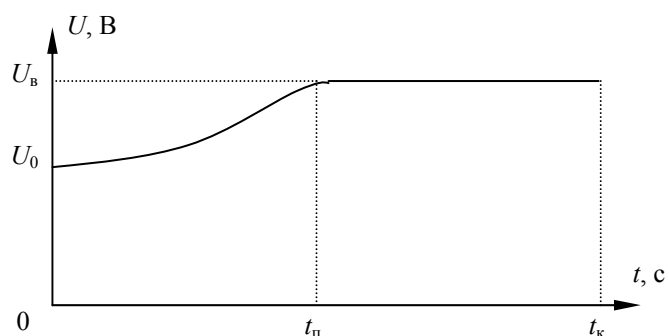


Рис. 5 Оптимальное управление

Вид функции оптимального управления:

$$u^*(t) = \begin{cases} de^{-a(t-t_0)} + u_0, & t \in [t_0, t_{\Pi}), \\ u_B, & t \in [t_{\Pi}, t_K]. \end{cases}$$

7 Параметры функции оптимального управления

a	U_H	U_B	U_0	d	t_0	t_K	t_{Π}
-0,098	0	18	9	2,00215	0	39	15,336

5 Результаты реализации ОУ.

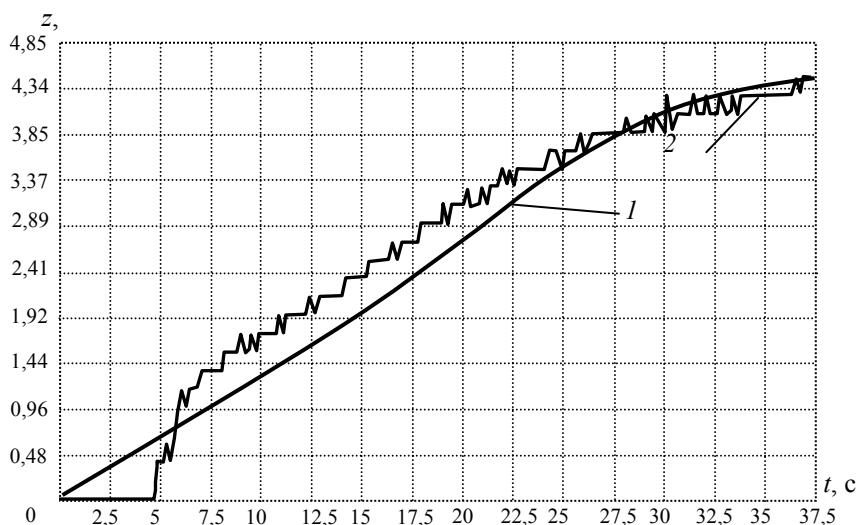


Рис. 6 Теоретическая (1) и практическая (2) зависимости $z(t)$ при реализации ОУ

Вывод. В результате анализа ОУ на множестве состояний функционирования показывают, что при оптимальном управлении затраты энергии, затрачиваемой на разгон ЭД снижаются на 4 – 5 %.

Лабораторная работа 2

**РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ
ТЕПЛОВЫМ ОБЪЕКТОМ**

Цель работы. Получить знания и навыки проектирования алгоритмического обеспечения для микропроцессорной системы оптимального управления. Научиться решать задачи анализа и синтеза оптимального управления с использованием информационных технологий.

Задание. Исходными данными для выполнения настоящей работы являются результаты экспериментов, получаемые на физической модели теплового аппарата в виде электроводонагревателя.

В ходе работы необходимо:

- 1) математически сформулировать задачу оптимального управления нагревом теплового аппарата;
- 2) освоить работу с лабораторной установкой по оптимальному управлению электроводонагревателем;

3) выполнить работы по идентификации модели динамики и анализу оптимального управления (ОУ) (определить параметры модели динамики объекта, виды функций оптимального управления, рассчитать их параметры, оценить эффект энергосбережения) в соответствии с вариантом задания (табл. 8);

4) разработать алгоритмическое обеспечение для системы оптимального управления (СОУ).

Лабораторная работа выполняется с использованием экспертной системы «Энергосберегающее управление динамическими объектами», АРМ проектировщика энергосберегающей системы управления (ЭСУ), пакетов прикладных программных средств.

8 Варианты заданий

№ варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Объем нагреваемой воды, л	7	8	9	7	8	9	7	8	9	7
Конечная температура z^k , °C	75	70	68	75	70	68	75	70	68	75
Время нагрева, $t_k - t_0$, мин	17	18	21	17	18	21	17	18	21	17

Порядок выполнения лабораторной работы

1 Спланировать и провести эксперимент по нагреву воды и определить модель динамики электроводонагревателя, пригодную для оптимального управления.

2 С использованием полученной модели динамики записать математическую постановку задачи оптимального управления (ЗОУ). Представить модель ЗОУ четверкой $\langle M, F, S, O \rangle$, здесь M – вид модели объекта управления; F – минимизируемый функционал; S – стратегия реализации ОУ; O – ограничения и условия.

3 Записать массив исходных данных R ЗОУ, включающий: параметры модели объекта, границы изменения управления, начальное и конечное значения фазовых координат, временной интервал управления.

4 С помощью экспертной системы «Энергосберегающее управление динамическими объектами» определить вид функции оптимального управления (ОУ) нагревом жидкости или синтезирующей функции, рассчитать параметры ОУ и оценить процент снижения энергозатрат при оптимальном нагреве.

5 Разработать алгоритм функционирования ЭСУ, использующей программную или позиционную стратегию.

6 Испытать алгоритм с использованием микропроцессорного управляющего устройства.

7 Результаты работы занести в итоговую табл. 9. Оформить отчет по работе.

Рекомендации к этапам выполнения работы с использованием информационных технологий приведены в приложении.

Содержание отчета

1 Название и цель лабораторной работы.

2 Результаты идентификации модели динамики.

3 Математическая постановка задачи оптимального управления и ее модель в виде четверки $\langle M, F, S, O \rangle$.

4 Исходные данные для численного решения ЗОУ в виде массива реквизитов

$$R = (a, b, u_n, u_b, z^0, z^k, t_0, t_k),$$

где a, b – параметры модели объекта; u_n, u_b – границы для управления; z^0, z^k – начальное и конечное значение фазовой координаты; t_0, t_k – границы временного интервала управления.

- 5 Результаты анализа и синтеза ОУ (табл. 9).
- 6 Алгоритм функционирования ЭСУ.
- 7 Выводы по использованию энергосберегающего управления.

9 Результаты работы

Наименование показателя	Значение
Вариант задания	
Массив исходных данных ЗОУ	$a =$ $b =$ $u_n =$ $u_B =$ $z^0 =$ $z^k =$ $\Delta t = t_k - t_0 =$
Вид синтезирующей функции	$\varphi =$
Реальные значения: время конечная температура затраты энергии	$\Delta t =$ $z^k =$ $J_3 =$

Методические указания

Разработку системы управления следует рассматривать как проект с его этапами жизненного цикла – формирование концепции, планирование, проектирование, изготовление, ввод в эксплуатацию (инсталляция) и завершение. На этих этапах выполняются следующие работы.

- 1 Концепция: определение возможностей или потребностей разрабатываемой системы, краткое технико-экономическое обоснование.
- 2 Определение: подготовка предложения по новой системе управления, план ее создания, определение необходимости исследовательских работ.
- 3 Проектирование: выбор стратегии управления и проектирование алгоритмического обеспечения.
- 4 Разработка/производство: проектирование прототипа системы, изготовление опытного образца.
- 5 Внедрение/установка: проверка системы на реальном объекте, оценка ее эффективности.
- 6 Завершение: создание концепций новых проектов для совершенствования системы управления.

При проектировании систем управления и программных продуктов наибольшее распространение получила каскадная модель выполнения проектов (рис. 7). Наиболее эффективно использование компьютерных технологий на этапах 2, 3, 4.

Рассмотрим математическую постановку ЗОУ в предположении, что модель динамики объекта в диапазоне изменения фазовых координат имеет вид дифференциального уравнения первого порядка, т.е.

$$\dot{z} = az(t) + bu(t), \quad z \in [z^0, z^k], \quad (1)$$

здесь z – фазовая координата (температура); z^0, z^k – начальное и конечное значения z ; u – управление; a, b – параметры модели объекта.

В этом случае ЗОУ формулируется следующим образом.

Объект с моделью (1) за фиксированный интервал времени $[t_0, t_k]$ должен быть переведен из заданного начального состояния z^0 в конечное z^k , т.е.

$$z(t_0) = z^0, \quad z(t_k) = z^k. \quad (2)$$

На управление наложено ограничение

$$\forall t \in [t_0, t_k]: u(t) \in [u_H, u_B], \quad (3)$$

минимизируется энергетический функционал – затраты энергии, т.е.

$$J_3 = \int_{t_0}^{t_k} u^2(t) dt. \quad (4)$$

Требуется найти вид и параметры ОУ в виде программы

$$u^*(\cdot) = (u^*(t), t \in [t_0, t_k]) \quad (5)$$

или синтезирующей функции

$$u^*(t) = \varphi(z, t_k - t / R), \quad (6)$$

обеспечивающей решение задачи (1) – (4) для задаваемого массива исходных данных R .

Задаче (1) – (5) соответствует ее модель $\langle A, \mathcal{E}, \text{Пр}, O \rangle$, а задаче (1) – (4), (6) – $\langle A, \mathcal{E}, \text{Пз}, O \rangle$.

Схема системы управления водонагревателем приведена на рис. 8. Нагрев воды осуществляется двумя элементами – ТЭНами до температуры 60 – 75 °С (в соответствии с заданием).

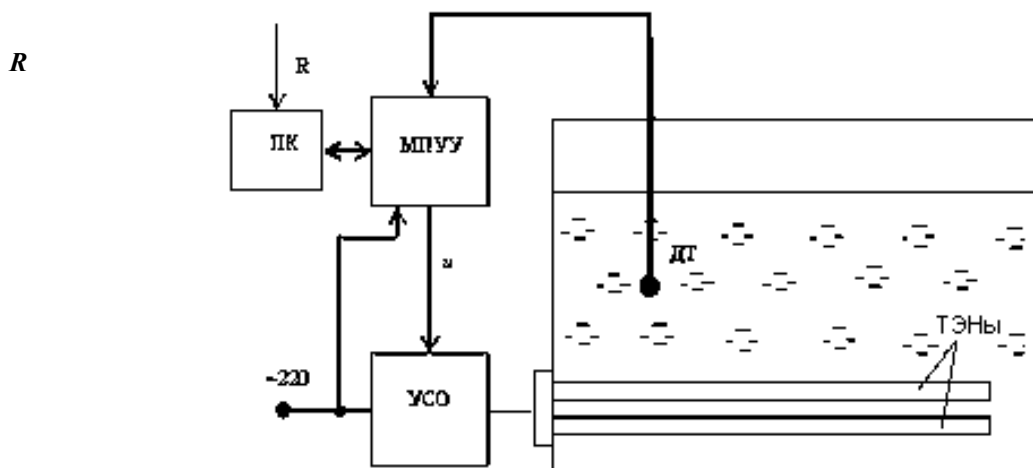


Рис. 8 Схема системы управления водонагревателем:
МПУУ – микропроцессорное управляющее устройство;
УСО – устройство сопряжения с объектом; **ДТ** – датчик температуры

Определение параметров a, b модели (1) производится по экспериментально снятой термограмме $z(t), t \in [t_0, t_k]$ при управлении $u(t), t \in [t_0, t_k]$. Приблизительно значения параметров a и b можно оценить следующим образом. Сначала по тройкам значений температуры $z(t_{i-1}), z(t_i), z(t_{i+1})$ через равные промежутки времени δt и управлений $u(t_i), u(t_{i-1})$ рассчитываются вспомогательные величины $c(i)$ и $d(i), i = \overline{1, n}$

$$c(i) = \frac{z(t_i)u(t_i) - z(t_{i+1})u(t_{i-1})}{\Delta_i}, \quad d(i) = \frac{z(t_{i+1})z(t_{i-1}) - z^2(t_i)}{\Delta_i}, \quad (6)$$

$$\Delta_i = z(t_{i-1})u(t_i) - z(t_i)u(t_{i-1}).$$

Затем эти значения усредняются

$$\hat{c} = \frac{1}{n-2} \sum_{i=2}^{n-1} c(i), \quad \hat{d} = \frac{1}{n-2} \sum_{i=2}^{n-1} d(i)$$

и вычисляются параметры модели по формулам

$$\hat{a} = \frac{1}{\delta t} \ln \hat{c}, \quad \hat{b} = \frac{d \hat{a}}{\hat{c} - 1}. \quad (7)$$

Полученные значения \hat{a}, \hat{b} используются для определения пределов поиска точных значений с использованием программного модуля «Идентификация экспертной системы».

РЕКОМЕНДАЦИИ К ЭТАПАМ ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ 2


1 Для выполнения первого этапа требуется налить заданное количество воды в емкость. Выполнить необходимое подключение микропроцессорного устройства ZILA с компьютером и устройством сопряжения с объектом. Включить нагревательные элементы и зарегистрировать в моменты времени t_i значения температуры $z(t_i)$ и управление $u(t_i)$, нагрев производить до температуры, указанной в задании варианта. После достижения требуемой температуры выключить нагрев.

Запустить программу Far manager, создать текстовый файл и в нем набить экспериментальные данные t_i , $z(t_i)$, $u(t_i)$ (рис. 9), время t (первый столбец) указывается в минутах.

Включить экспертную систему, модуль Идентификация, объект А (объект первого порядка – аperiodическое звено). Ввести экспериментальные данные, для этого: открыть меню «Файл», вызвать команду «Открыть», найти файл с экспериментальными данными и загрузить его. Установить пределы поиска по рассчитываемым параметрам модели a и b , а также величину шага поиска (рис. 10). Рекомендуется величину шага поиска брать не более 0,001.

Time (t)	Temperature (z)	Control (u)
0	12.3	233
1	12.7	233
2	18.4	233
3	24.8	233
4	29.7	233
5	35.8	233
6	41.3	233
7	46.4	233
8	51.1	233
9	55.6	233
10	58.4	233
11	62.4	233
12	66.3	233
13	69.6	233
14	72.7	233
15	75.4	233

Рис. 9 Экспериментальные данные

Используя кнопку «расчет параметров» , определить численные значения a и b , а также максимальное значение погрешности. Для данных, приведенных на рис. 9, 10, получена модель динамики объекта (рис. 11).

$$\dot{z} = -0,023 z(t) + 0,023 u(t).$$

N	T	Z	U
0	0	12.3	233
1	1	12.7	233
2	2	18.4	233
3	3	24.8	233
4	4	29.7	233
5	5	35.8	233
6	6	41.3	233
7	7	46.4	233
8	8	51.1	233
9	9	55.6	233
10	10	58.4	233
11	11	62.4	233

Рис. 10 Окно программы «Апериодическое звено» с экспериментальными данными

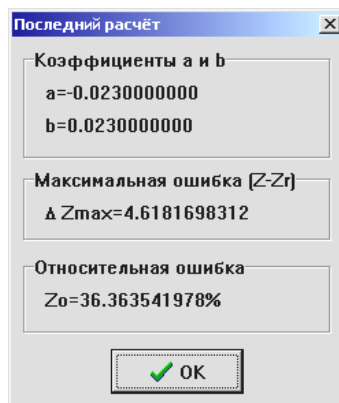


Рис. 11 Результаты расчета параметров a и b

2 Для выполнения этапов 2, 3, 4, 5 (см. раздел порядок выполнения работы) в экспертной системе включить модуль «анализ и синтез оптимального управления», выбрать четверку <А, Э, Пр, О> или <А, Э, Пз, О>, ввести полученные значения a , b и другие реквизиты задачи в соответствии с вариантом задания (рис. 12). Определить вид функции оптимального управления по положению курсора. В случае, показанном на рис. 13, этому виду соответствует следующая синтезирующая функция:

$$\varphi_2(z, \tau, R) = u_0 + \frac{\Delta u}{2} \left[(A(\tau)L(\tau) + 1)e^{-2A(\tau)} \pm \sqrt{(A(\tau)L(\tau) + 1)^2 e^{-4A(\tau)} - 1} \right];$$

$$\Delta u = u_B - u_H, \quad \Delta = \frac{u_B + u_H}{u_B - u_H}; \quad A(\tau) = \frac{\tau}{2} a;$$

$$L(\tau) = 4 \frac{z^k - e^{a\tau} z(t)}{b\Delta u \tau} - \frac{2\Delta}{a\tau} (e^{a\tau} - 1), \quad \tau = t_k - t.$$

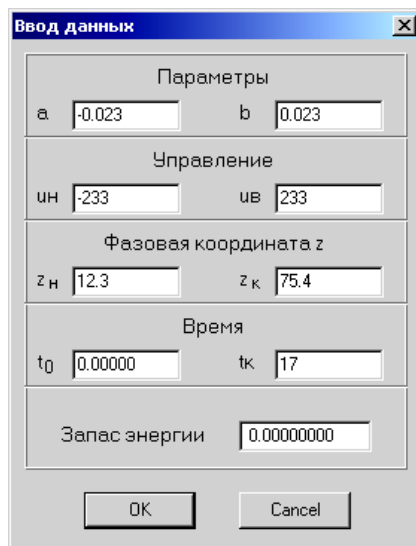


Рис. 12 Окно «Ввод данных»

3 Перед выполнением этапа 6 порядка выполнения работы заменить воду в емкости. С помощью микропроцессорного устройства реализовать оптимальное управление нагревом, полученные результаты (конечная температура, затраты энергии) занести в итоговую таблицу (см. табл. 9). Пример заполнения дан в табл. 10.

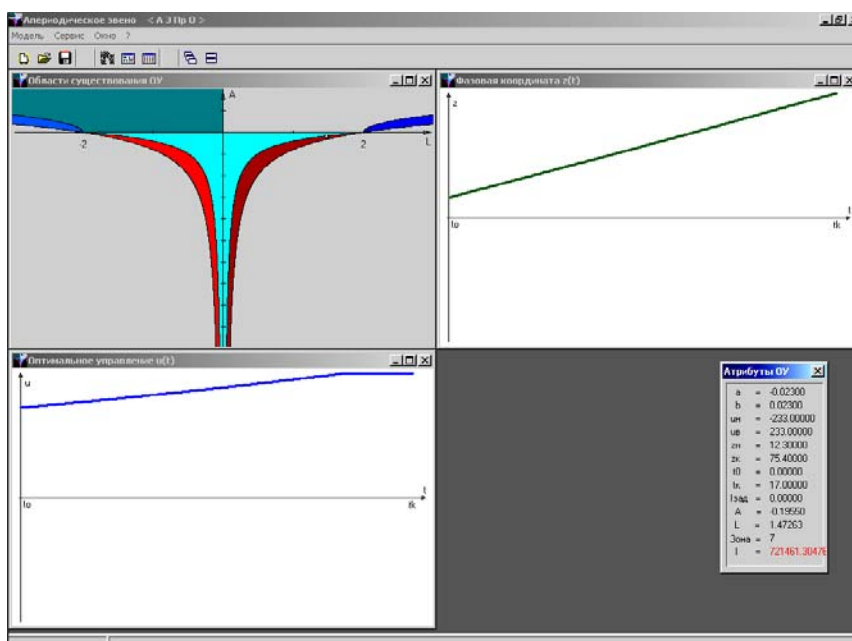


Рис. 13 Результаты анализа и синтеза оптимального управления

10 Пример заполнения

Наименование показателя	Значение
Вариант задания	
Массив исходных данных ЗОУ	$a = -0,023$ $b = 0,023$ $u_n = -233$ $u_v = 233$ $z^0 = 12,3$ $z^k = 75,4$ $\Delta t = t_k - t_0 = 17$

Вид синтезирующей функции	$\varphi = \varphi_2$
Реальные значения:	
время	$\Delta t = 21$ (для $z^0 = 10,7$)
конечная температура	$z^k = 75,7$
затраты энергии	$J_3 = 936000$

На примере данных табл. 10 можно сделать следующие выводы. По сравнению с задаваемым временным интервалом управления $\Delta t = 17$ мин фактическое время нагрева до температуры 75°C составило 21 мин. Это объясняется тем, что начальное значение температуры воды было ниже задаваемого значения – задаваемое – 12,3, фактическое – 10,7. Кроме того, управляющее устройство реализовывало оптимальное управление в виде ступенчатой функции с временным интервалом квантования 1 мин. По этим же причинам фактическое значение функционала равно 936 000, что выше теоретического – 721 461.

ВОПРОСЫ ДЛЯ КОНТРОЛЯ

- 1 Чем отличается позиционная стратегия от программной?
- 2 Что включает в себя массив реквизитов R ?
- 3 Нарисовать структурную схему замкнутой СОУ с позиционной стратегией.
- 4 Как подсчитать значение минимизируемого функционала при ступенчатой функции управления?
- 5 В чем различие видов функций ОУ?
- 6 Какое ограничение накладывается на управление $u(t)$?
- 7 Как можно приближенно реализовать оптимальное управление при двух нагревательных элементах без изменения напряжения питания?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Информационные технологии при решении задач моделирования и управления: Метод. указ. / Сост.: В.Н. Орлов, С.В. Артемова, Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2000. Ч. 1. 35 с.
- 2 Муромцев Ю.Л., Орлова Л.П. Информационные технологии в проектировании энергосберегающих систем управления динамическими режимами: Учебное пособие. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2000. 84 с.
- 3 Муромцев Ю.Л., Орлова Л.П., Муромцев Д.Ю. Идентификация моделей, учитывающих изменение состояния функционирования // Обработка сигналов и полей. 2000. № 3. С. 45 – 48.
- 4 Муромцев Ю.Л., Ляпин Л.Н., Сатина Е.В. Метод синтезирующих переменных при оптимальном управлении линейными объектами // Изв. вузов. Приборостроение. 1993. № 11 – 12. С. 19 – 25.

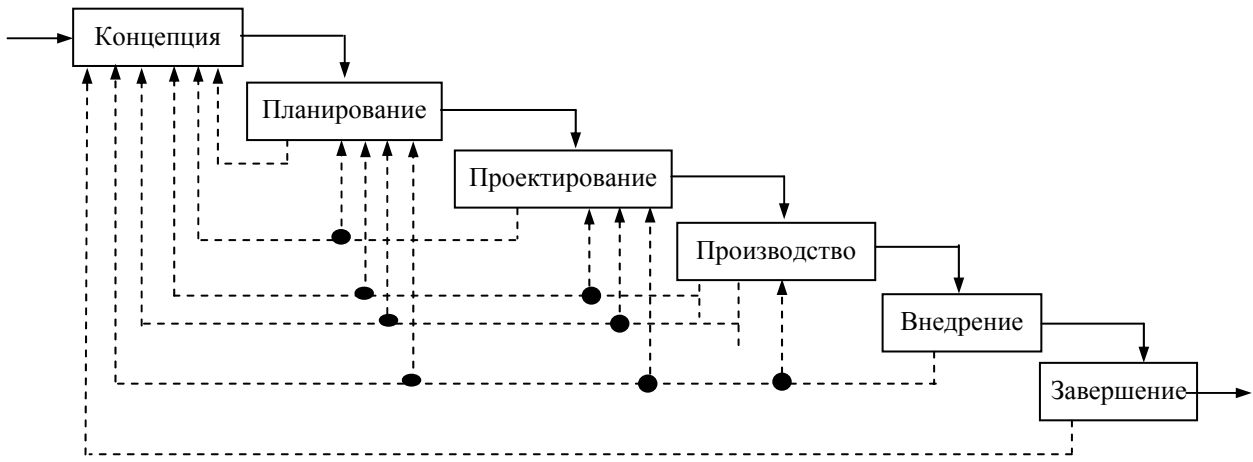


Рис. 7 Каскадная модель выполнения проекта