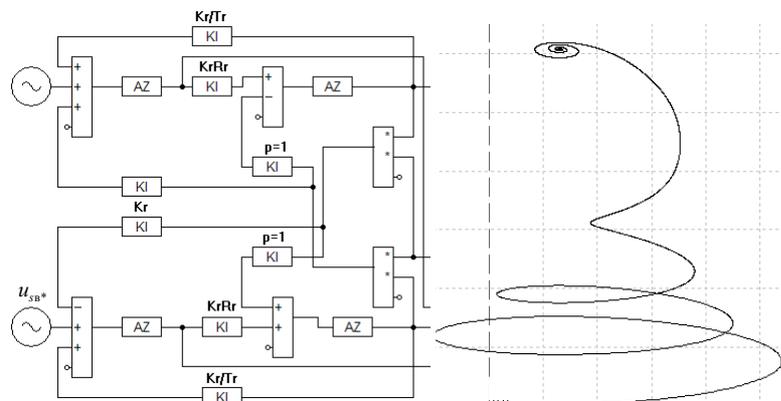


**ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ
УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ**

Т.Н. Зайченко

МЕТОДЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

**Методическое пособие по практическим занятиям и
организации самостоятельной работы
для магистров направления
210100 «Электроника и наноэлектроника»**



ТОМСК – 2011

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ
УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ» (ТУСУР)

Кафедра промышленной электроники (ПрЭ)

Т.Н. Зайченко

МЕТОДЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

**Методическое пособие по практическим занятиям и
организации самостоятельной работы
для магистров направления
210100 «Электроника и наноэлектроника»**

Рецензент: профессор кафедры промышленной электроники ТУ-СУРа, к-т техн. наук **В.Д. Семенов**

Т.Н. Зайченко

Методы математического моделирования: Методическое пособие по лабораторным занятиям и организации самостоятельной работы для магистров направления 210100 «Электроника и нанoeлектроника». – Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2011. – 59 с.

Приведены описания четырнадцати практических занятий и изложены вопросы организации самостоятельной работы по дисциплине «Методы математического моделирования».

Методическое пособие предназначено для магистров, обучающихся по направлению 210100 – «Электроника и нанoeлектроника» по ФГОС-3.

© Зайченко Т.Н., 2011

© ТУСУР, 2011

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	5
Практическое занятие № 1. Вводное занятие	8
Практическое занятие № 2. Исследование методов схемотехнического и структурного моделирования	9
Практическое занятие № 3. Реализация метода многовариантного анализа в Matlab/Simulink	13
Практическое занятие № 4. Разработка виртуальной лаборатории в Matlab/Simulink	17
Практические занятия № 5, 6. Миниконференция на тему «Методы математического модели- рования в электронике, микро- и наноэлектронике»	22
Практическое занятие № 7. Контрольная работа. Понятийно определительный аппарат в области моделирования устройств, систем и технологий электроники, микро- и наноэлектроники	24
Практическое занятие № 8. Защита И31	27
Практическое занятие № 9. Аналитическое моделирование электрических цепей	28
Практическое занятие № 10. Защита И32	32
Практическое занятие № 11. Методы решения экстремальных задач	33
Практическое занятие № 12. Методы планирования эксперимента и идентификации моделей	38

Практическое занятие № 13. Методы моделирования наноструктур	40
Практическое занятие № 14. Защита ИЗЗ	42
Индивидуальное задание № 1. Информационно-физическое моделирование устройств электротехники и электроники	43
Индивидуальное задание № 2. Аналитическое моделирование переходных процессов в электрической цепи	47
Индивидуальное задание № 3. Оптимизация удельно-экономических показателей магнитных элементов	56

ВВЕДЕНИЕ

В методическом пособии приведены описания четырнадцати практических занятий (ПЗ) и изложены вопросы организации самостоятельной работы по дисциплине «Методы математического моделирования» для магистров, обучающихся по направлению 210100 – «Электроника и наноэлектроника» по ФГОС-3.

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

– способность к самостоятельному обучению новым методам исследования, к изменению научного и научно-производственного профиля своей профессиональной деятельности (ОК-2);

– способность понимать основные проблемы в своей предметной области, выбирать методы и средства их решения (ПК-3);

– готовность формулировать цели и задачи научного исследования в соответствии с тенденциями и перспективами развития электроники и наноэлектроники, а также смежных областей науки и техники, способность обоснованно выбирать теоретические и экспериментальные методы и средства решения сформулированных задач (ПК-16);

– способность разрабатывать с использованием современных языков программирования и обеспечивать программную реализацию эффективных алгоритмов решения сформулированных задач (ПК-17).

– способность владеть современными методами расчета и проектирования устройств квантовой и оптической электроники по заданным техническим требованиям, способность к восприятию, разработке и критической оценке новых способов их проектирования (ПСК-2 для профиля 210105);

– способность самостоятельно разрабатывать модели исследуемых процессов, электронной компонентной базы, приборов и устройств электронной техники (ПСК-4 для профилей 210116, 20117).

Дисциплина изучается в 1-ом семестре и заканчивается сдачей экзамена.

Общая трудоемкость дисциплины «Методы математического моделирования» составляет 144 часа или 4 зачетных единицы трудоемкости. Виды и объем учебной работы представлены в таблице.

Вид учебной работы	Всего часов
Лекции	10
Лабораторные работы (ЛР)	16
Практические занятия (ПЗ)	28
Всего аудиторных занятий	54
Самостоятельная работа	54
Итоговая аттестация – экзамен	36
Общая трудоемкость час	144
Зачетные Единицы Трудоемкости	4

Продолжительность ПЗ – 2 часа; продолжительность ЛР – 4 часа.

Рабочей программой дисциплины предусмотрено выполнение домашних индивидуальных заданий (ИЗ), контрольной работы (КР), написание реферата и выступление с докладом. Программой дисциплины предусмотрены интерактивные формы обучения – «разминки», минилекции (выступление студента в роли обучающего), презентации с использованием слайдов с обсуждением на миконференции (ПЗ-5, ПЗ-6), дискуссия (ПЗ-13). Ниже приведена шкала рейтинга дисциплины.

Вид работы	Объем работы	Оценка единицы объема работы в баллах	Макс. количество баллов
КР	1	10	10
Реферат	1	10	10
Выполнение ЛР	4	5	20
Выполнение ИЗ	3	10	30
Активность на ПЗ			10
Экзамен		20	20
Итого			100

Отчеты по ИЗ и ЛР сдаются в установленный для защиты ИЗ срок. Отчеты составляются в соответствии с требованиями ЕСКД. В случае несвоевременной сдачи задания балльная оценка снижается на 20% за каждую неделю сдачи отчета после установленного срока.

В процессе выполнения ЛР магистры получают практические умения и навыки по организации вычислительного эксперимента и применению методов математического моделирования.

Для успешного выполнения заданий на ПЗ и ЛР необходимо заранее ознакомиться с их описанием, изучить порядок выполнения и необходимый теоретический материал.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 1

ВВОДНОЕ ЗАНЯТИЕ

Цель работы. Знакомство с вычислительной лабораторией, содержанием и формой проведения практических и лабораторных занятий, выдача вариантов ИЗ.

Порядок работы

1. Изучить правила техники безопасности в вычислительной лаборатории и расписаться в журнале по технике безопасности.

2. Ознакомиться с файловой системой персонального компьютера и расположением литературы по дисциплине.

3. Ознакомиться с содержанием лабораторных и практических занятий, с балльно-рейтинговой системой дисциплины.

4. Ознакомиться с содержанием ПЗ-5, ПЗ-6, которые проводятся в интерактивной форме в виде миниконференции. Ознакомиться с темами авторефератов и докладов на миниконференции.

Выбрать и согласовать с преподавателем на ПЗ-2 тему доклада.

5. Ознакомиться с содержанием ПЗ-7, на котором выполняется контрольная работа. Подготовка к контрольной работе осуществляется самостоятельно в рамках часов, отведенных на самостоятельную внеаудиторную работу студентов.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 2

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ СХЕМОТЕХНИЧЕСКОГО И ФУНКЦИОНАЛЬНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Цель работы. Получение навыков работы в системе моделирования Matlab/Simulink и решение задач схемотехнического и функционального (структурного) моделирования в Matlab/Simulink.

Форма проверки освоения материала: проверка ИЗ1, выполнение лабораторных работ.

Порядок работы

1. Изучить разделы литературы [1 – 4] по теме занятия, обращая внимание на порядок работы в системе Matlab/Simulink и численные методы, реализованные в системе Matlab/Simulink (вкладка «Simulation/ Configuration Parameters»).

2. Для получения практических навыков работы параллельно с изучением литературы решить две практические задачи.

3. Реализовать моделирование схемы из ИЗ1.

Задача 1

Методом **функционального** моделирования реализовать моделирование напряжения на выходе электронного устройства (табл. 2.1), работающего на активную нагрузку.

Привести график напряжения на временном интервале равном 10 периодам напряжения.

Оценить правильность полученных результатов.

Задача 2

Дан источник переменного напряжения E , работающий на активную нагрузку R_n . с параметрами, приведенными в табл. 2.2.

Методом **схемотехнического** моделирования в Matlab/Simulink рассчитать временные диаграммы тока и напряжения нагрузки на временном интервале равном 10 периодам питающего напряжения.

Оценить правильность полученных результатов.

Таблица 2.1

Исходные данные к задаче 1

	Параметры выходного напряжения						Тип устройства
	Форма напряжения			δ , %	E_m , В	f , Гц	
	Гармоническая	Прямоугольная	Треугольная				
№ варианта	1	6	11	5	10	50	В, 1ф, 1пп
	2	7	12	10	20	400	И, 1ф
	3	8	13	15	30	1000	В, 1ф, 0т
	4	9	14	20	40	5000	И, 3ф
	5	10	15	25	50	10000	В, 1ф, м

Примечание. В таблице приняты обозначения: δ – несимметрия положительного и отрицательного полупериодов по амплитуде; амплитудное значение напряжения E_m ; f – частота; В – выпрямитель; И – инвертор; 1ф – однофазный; 3ф – трехфазный; 1пп – однополупериодный; 0т – с нулевой точкой; м – мостовой.

Таблица 2.2

Исходные данные к задаче 2

	Параметры источника							R_n , Ом
	Форма напряжения			δ , %	E_d , В	$R_{вн}$, Ом	f , Гц	
	Гармоническая	Прямоугольная	Треугольная					
№ варианта	1	6	11	5	10	0,5	50	5
	2	7	12	10	20	0,1	400	4
	3	8	13	15	30	0,5	1000	3
	4	9	14	20	40	2	5000	20
	5	10	15	25	50	1	10000	10

Примечание. В таблице приняты обозначения: δ – несимметрия положительного и отрицательного полупериодов по амплитуде; E_d – действующее значение напряжения; $R_{вн}$ – внутреннее сопротивление; f – частота.

Краткие сведения из теории

Основными видами анализа при исследовании являются одновариантный и многовариантный анализ.

Одновариантный анализ – вид анализа, требующий для своего выполнения однократного обращения к математической модели объекта. Многовариантный анализ – вид анализа, сводящийся к многократному выполнению одновариантного анализа при варьировании значений параметров, как внутренних, так и внешних.

Схемотехническое моделирование – способ моделирования, при котором исходным формализованным представлением объекта для моделирования является принципиальная электрическая (кинематическая, гидравлическая и т.п.) схема.

Функциональное (структурное) моделирование – способ моделирования, при котором исходным формализованным представлением объекта для моделирования является функциональная (структурная) схема.

Контрольные вопросы

1. Запуск системы Matlab и приложения Simulink.
2. Просмотр библиотек системы Matlab/Simulink.
3. Работа с подсистемой помощи Matlab/Simulink.
4. Состав библиотеки Simulink и назначение компонентов.
5. Состав библиотеки SimPowerSystems и назначение компонентов.
6. Способы визуализации результатов моделирования.
7. Определение максимальных, средних и действующих значений величин.
8. Работа с чертежом схемы, в том числе размещение элементов на поле чертежа, их масштабирование, параметризация, изменение ориентации, создание позиционного обозначения, запись/открытие файла схемы.
9. Параметризация элементов схемы.
10. Задание параметров моделирования и запуск схемы на расчет.
11. Какие численные методы используются при решении задач моделирования в системе Matlab/Simulink?

12. Перечислите основные параметры моделирования в Matlab/Simulink.

13. Поясните назначение параметров моделирования «Start time», «Stopt time».

14. Поясните назначение опций моделирования «Solver», «Type», «Max step size», «Min step size», «Initial step size», «Relative tolerance», «Absolute tolerance» и др.

15. Поясните назначение опций «Fixed-step», «Variable-step» и их влияние на процесс решения модели.

16. В чем отличие явных и неявных численных методов интегрирования?

17. Дайте характеристику метода интегрирования и приведите математическую модель схемы интегрирования.

Литература

1. MATLAB: Анализ, идентификация и моделирование систем: Специальный Справочник / В. Дьяконов, В. Круглов. – СПб. : Питер, 2002. – 448 с.

2. Дьяконов В. П. Simulink 5/6/7 : Самоучитель. – М. : ДМК-Пресс, 2008. – 781 с.

3. MATLAB 6/6.1/6.5 + Simulink 4/5 в математике и моделировании : полное руководство пользователя / В. П. Дьяконов. – М. : СОЛОН-Пресс, 2003. – 565 с.

4. Дьяконов В.П. Simulink 4. Специальный справочник. – СПб.: Питер, 2002. – 528 с.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 3

РЕАЛИЗАЦИЯ МЕТОДА МНОГОВАРИАНТНОГО АНАЛИЗА В MATLAB/SIMULINK

Цель работы. Получение навыков программирования в системе Matlab; решение задач многовариантного анализа в Matlab/Simulink; выполнение ИЗ1.

Форма проверки освоения материала: выполнение и защита ИЗ1, ЛР1, ЛР3.

Порядок работы

1. Изучить разделы литературы [1, 2] по теме занятия, обращая внимание на язык программирования системы Matlab/Simulink.

2. Для получения практических навыков работы параллельно с изучением литературы выполнить:

- простые математические вычисления с использованием командного режима работы (присваивание, вычисление функций);
- построение графиков функций.

3. Решить в системе Matlab задачу многовариантного анализа с использованием моделирования и программирования.

Задача 1. Построить график функции, указанной в табл. 3.1.

Задача 2. Произвести запуск Simulink-модели ИЗ1 из командной строки Matlab и из *m*-файла.

Задача 3

Для схемы ИЗ реализовать многовариантный анализ и расчет статических характеристик в Matlab/Simulink.

Исходные данные для задачи 1

Вариант	Функция
1	$f(x) = -x_1^2 - 4x_2^2 + 2x_1x_2 + x_1$
2	$f(x) = -x_1^2 + x_1\sqrt{x_2} - x_2 + 6x_1 + 10$
3	$f(x) = x_1^2 - 2x_2^2 - 2x_1x_2 + x_1$
4	$f(x) = x_1^4 + x_2^4 - 2(x_1 - x_2)^2$
5	$f(x) = x_1x_2 + \frac{20}{x_1} + \frac{50}{x_2}$
6	$f(x) = \exp(-x_1^2 + x_2^2 + 2x_1x_2 - x_2)$
7	$f(x) = \exp(-2x_1^2 - 5x_2^2 + x_1x_2)$
8	$f(x) = (4 - x_1)^2 + (x_1 - x_2)^2$
9	$f(x) = x_1^2 - x_2^2 + e^{-x_1^2}$
10	$f(x) = e^{-x_1^2 - x_2^2}$
11	$f(x) = \exp(x_1^2 + x_2^2 + 2x_1x_2 + 2)$
12	$f(x) = (x_1^3 - 1)^4 + (x_2 - 1)^2 - 2$
13	$f(x) = x_1x_2^2(1 - x_1 - x_2)$
14	$f(x) = (x_1 + x_2 - 1)\exp(-x_1^2 - x_1x_2 + x_2^2)$
15	$f(x) = (x_1 - 1)^3 + (x_2 - x_1)^2$
16	$f(x) = x_1^2 + 4x_2^3 - 2x_1x_2$

Краткие сведения из теории

Для повышения быстродействия и степени удобства вычислительного эксперимента процесс многовариантного анализа целесообразно автоматизировать. Для этого необходимо запрограммировать сценарий многовариантного вычислительного эксперимента. Следует отметить, что одновременно можно сделать более информативным представление результатов расчета (рис. 3.1).

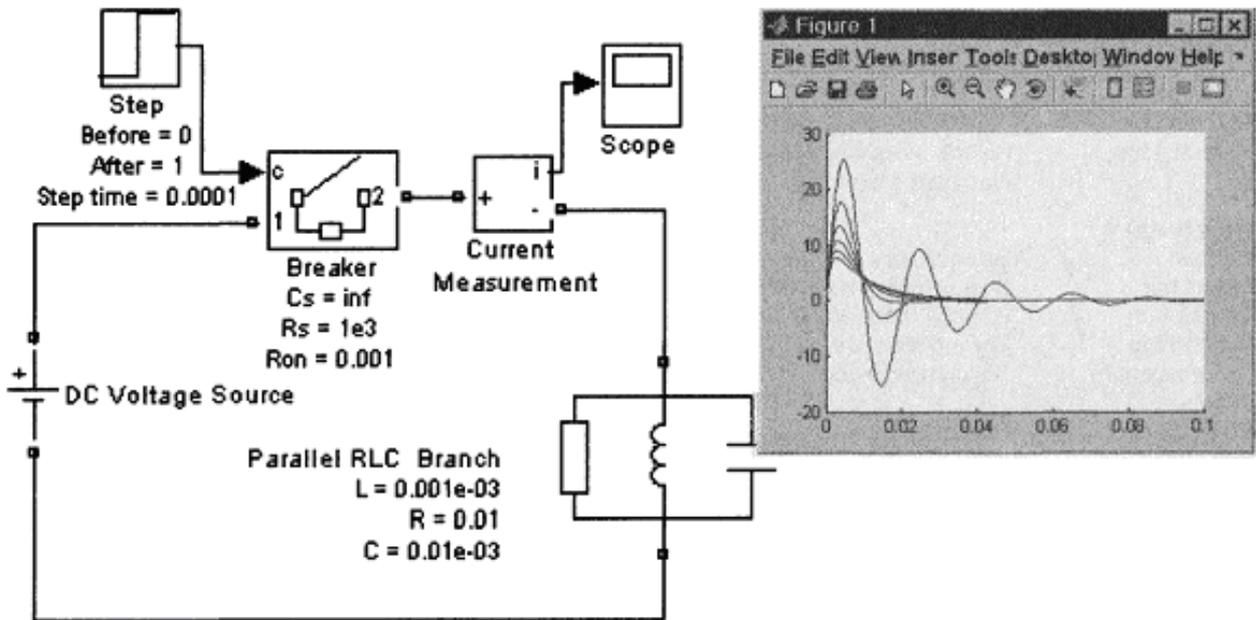


Рис. 3.1. График тока колебательного контура при изменении сопротивления

Для выполнения математических вычислений в системе Matlab предусмотрен командный режим работы, который осуществляется в окне «Window/Command Window». Для просмотра рабочей области служит окно «Window/Workspace».

Для сохранения программ пользователя служат файлы-сценарии (Script-файлы), или m-файлы. Они имеют расширение *.m.

Пример программы на языке системы Matlab, реализующей многовариантный анализ для случая варьирования сопротивления контура (см. рис. 3.1), представлен на рис. 3.2.

```
clear all; % Очистка Рабочей области
open('Series_RLC_Branch_2.mdl') % Открытие модели
% Series_RLC_Branch_2
figure; % Создание окна для графиков
for R = 1:2:11, % Цикл расчета
% Присвоение значения сопротивления:
set_param('Series_RLC_Branch_2/Series RLC Branch',
'Resistance', num2str(R));
sim('Series_RLC_Branch_2'); % Запуск модели
line(time, Current); % Построение графиков
end % Окончание цикла
```

Рис. 3.2. Программа на языке для многовариантного анализа

Аналогичным образом может быть запрограммирован расчет статических характеристик, поскольку он связан с выходом на установившийся режим работы и расчетом интегральных параметров электромагнитных величин.

Контрольные вопросы

1. Как записать и выполнить программу в системе Matlab?
2. Какая функция Matlab служит для запуска модели и каковы ее параметры?
3. Какая функция Matlab служит для присвоения значений параметрам элементов схемы?
4. Приведите синтаксис основных операторов – условного, цикла.
5. Какие функции Matlab служат для построения графиков?
6. Как осуществляется работа с файловой системой – папками и файлами?

Литература

1. Дьяконов В. П. MATLAB 7.*/R2006/R2007: Самоучитель. – М.: ДМК Пресс, 2008. – 768 с.
2. MATLAB 6/6.1/6.5 + Simulink 4/5 в математике и моделировании : полное руководство пользователя / В. П. Дьяконов. - М. : СОЛОН-Пресс, 2003. – 565 с.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 4

РАЗРАБОТКА ВИРТУАЛЬНОЙ ЛАБОРАТОРИИ В MATLAB/SIMULINK

Цель работы. Совершенствование навыков программирования и разработка виртуальных лабораторий для исследования электронных устройств в Matlab/Simulink.

Форма проверки освоения материала: Выполнение и защита ИЗ1, ЛР1, ЛР2.

Порядок работы

1. Изучить разделы литературы [1, 2] по теме занятия, обращая внимание на программирование графического интерфейса пользователя в системе Matlab/Simulink.

2. Для получения практических навыков работы параллельно с изучением литературы разработать графический интерфейс по ИЗ1, в котором реализовать задание параметров элементов, расчет динамических характеристик, многовариантный анализ, т.е. то, что было выполнялось ранее в диалоговом и командном режимах (см. ПЗ 2, 3).

Данный интерфейс может включать:

- область для визуализации схемы;
- область для задания значений варьируемого параметра при многовариантном анализе;
- область для графика результатов одновариантного анализа;
- область для графика результатов многовариантного анализа;
- область для графика статических характеристик;
- окна для задания параметров элементов схемы;
- кнопки выбора режима исследования и т.д.

Краткие сведения из теории

Реализация виртуальных лабораторных стендов позволяет существенно упростить работу в системе Matlab/Simulink, поскольку в данном случае можно исключить работу с англоязычным интерфейсом системы, упростить способы параметризации элементов, избежать необходимости задания режимов и параметров анализа. Разра-

ботка виртуальных стендов связана с созданием объектно-ориентированных графических интерфейсов пользователя (Graphic User Interface (GUI)).

Пример окна виртуальной лаборатории (виртуального стенда) для исследования преобразователей напряжения представлен на рис. 4.1.

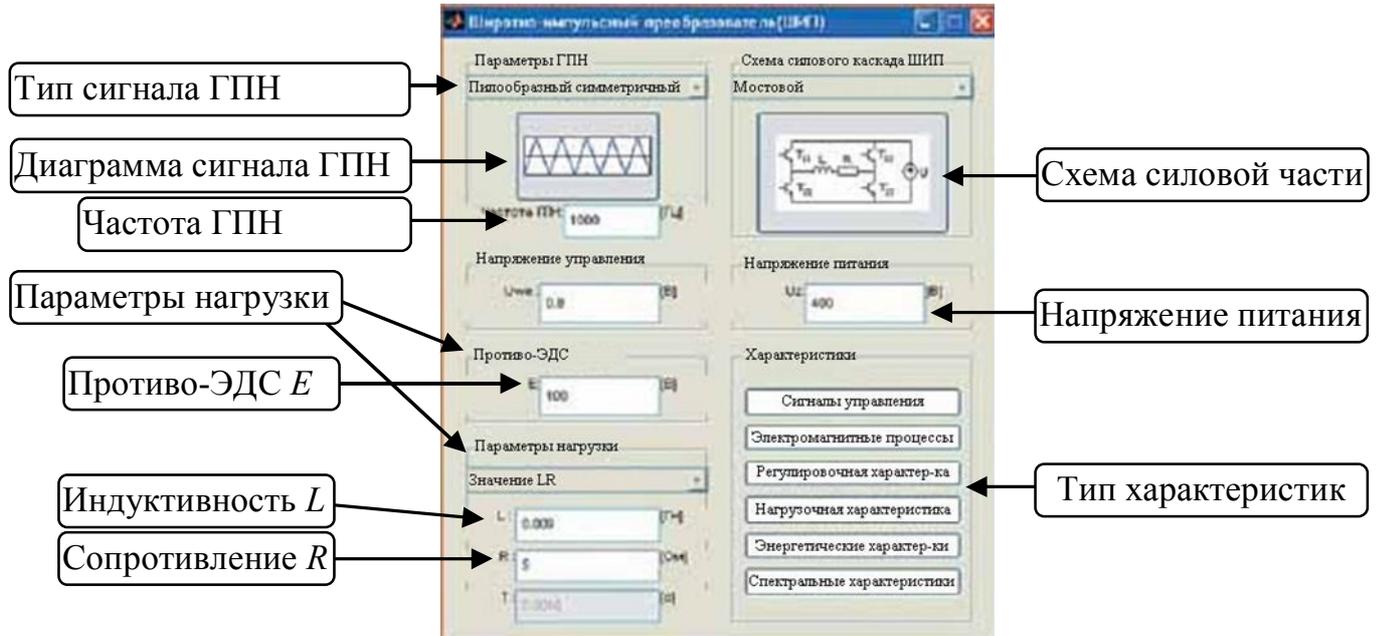


Рис. 4.1. Пример окна графического интерфейса пользователя

Интерфейс, представленный на рис. 4.1, включает:

- выпадающие списки для выбора типа силовой части преобразователя и типа генератора пилообразного напряжения;
- области для визуализации схем и сигналов управления;
- окна для задания параметров нагрузки;
- кнопки выбора характеристик преобразователя, подлежащих расчету.

Для создания интерфейса в системе Matlab имеются специальное инструментальное средство визуального моделирования – конструктор интерфейса GUIDE (GUI DEsigner).

С проектом интерфейса в системе Matlab связаны файлы:

*.fig – модель окна интерфейса с расположенными на нем объектами;

*.m – программа-обработчик событий.

Для получения навыков работы можно обратиться к прототипам (заготовкам примеров) и на их основании разработать собственное приложение [2].

Запуск конструктора GUIDE осуществляется:

- путем ввода команды «guide» в командном режиме (переход к командному окну осуществляется, например, последовательность команд меню «Window/ Command Window»);
- в режиме меню путем создания «File/ New/ GUI» или открытия существующего проекта «File/Open»;
- кнопкой «GUIDE» на панели инструментов.

В качестве прототипа интерфейса можно взять прототип «File/ New GUI/Create New GUI/ GUI with Axes and Menu».

Центральной задачей проектирования интерфейса является программирование обработчиков событий, определяющих реакцию среды на действия пользователя (выбор элементов интерфейса, нажатие кнопок и т.п.) и другие события. Основными действиями пользователя виртуального стенда являются ввод данных, нажатие кнопок, обработчики которых описываются в функциях типа Callback.

Разработка интерфейса производится в режиме его визуального моделирования путем размещения компонентов в окне будущей экранной формы. Основными визуальными компонентами являются (рис. 4.2):

- обычная кнопка (Push Button) 1;
- радиокнопка (Radio Button) 2;
- кнопка ввода и редактирования текста (Edit Text) 3;

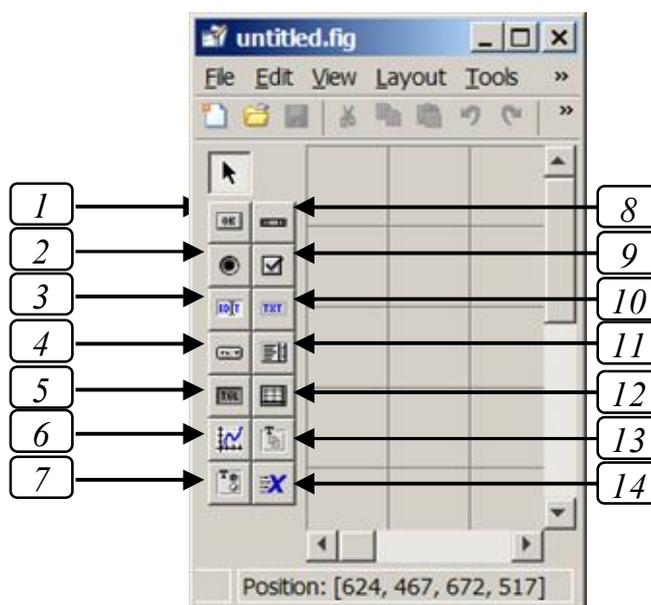
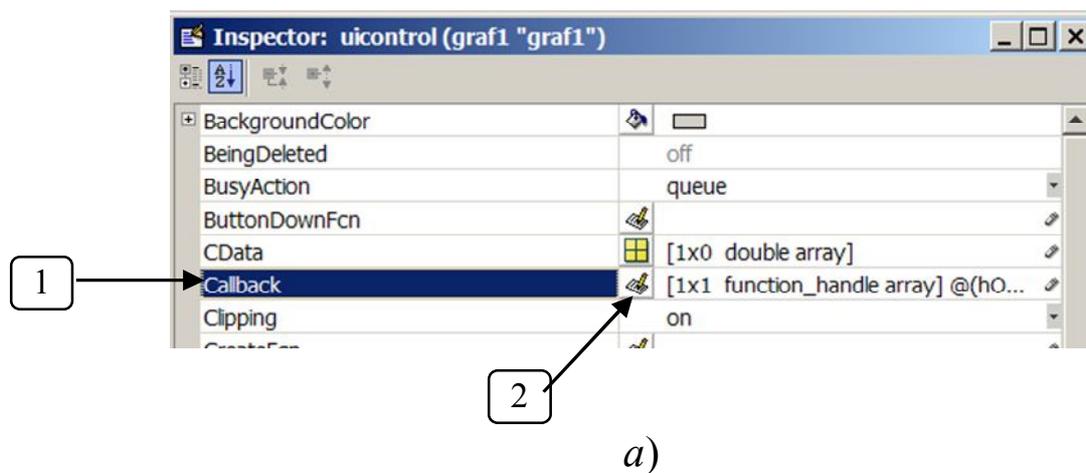


Рис. 4.2. Окно конструктора приложений GUIDE

- открывающийся список (Pop-up Menu) 4;
- кнопка-переключатель (Toggle Button) 5;
- график (Axes) 6;
- кнопка для группы объектов (Button Group) 7
- линейка прокрутки (слайдер) (Slider) 8;
- область задания опции (флаг) (Check Box) 9;
- область ввода текста (Static Text) 10;
- список (Listbox) 11;
- таблица (Table) 12;
- панель (Panel) 13;
- компонент ActiveX (ActiveX Component) 14.

После размещения визуальных компонентов на поле чертежа производится редактирование их свойств и программирование обработки событий. Вход в редактор свойств (инспектор объектов Property Inspector) осуществляется двойным нажатием в области компонента либо кнопкой Property Inspector.

На рис. 4.3 приведено окно свойств компонента с выделенным



```

File Edit Text Go Cell Tools Debug Desktop Window Help
--- Executes on button press in graf1.
function graf1_Callback(hObject, eventdata, handles)
    open_system('rect1f.mdl');
    h=findobj('Tag','axes1');
    A=10;
    set_param('rect1f/ES','Amplitude',num2str(A));
    sim('rect1f');
    axes(h)
    line(tout,Vout.signals.values);
  
```

b)

Рис. 4.3. Пример окна инспектора свойств элемента интерфейса (a) и обработчика событий (б)

обработчиком CallBack 1 и соответствующая подпрограмма. Для ее редактирования следует нажать кнопку 2 (см. рис. 4.3).

Контрольные вопросы

1. Как производится запуск конструктора интерфейса пользователя в системе Matlab?
2. Перечислите основные объекты интерфейса пользователя.
3. Назовите основные свойства объектов интерфейса пользователя.
4. Как создать область интерфейса для построения графиков?
5. Как создать область интерфейса для отображения рисунка?

Литература

1. MATLAB: Анализ, идентификация и моделирование систем: Специальный Справочник / В. Дьяконов, В. Круглов. - СПб. : Питер, 2002. – 448 с.
2. Дьяконов В. П. MATLAB 7.*/R2006/R2007: Самоучитель. – М.: ДМК Пресс, 2008. – 768 с.

ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ 5, 6

МИНИКОНФЕРЕНЦИЯ НА ТЕМУ «МЕТОДЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В ЭЛЕКТРОНИКЕ, МИКРО- И НАНОЭЛЕКТРОНИКЕ»

Цель работы. Заслушать и обсудить доклады.

Требования к докладу

1. Доклад должен содержать:
 - общую характеристику объекта моделирования;
 - перечень целей и задач моделирования;
 - описание методов моделирования;
 - описание программных средств моделирования;
 - пример моделирования.
2. Продолжительность доклада – 10 – 15 мин.

Ориентировочная тематика докладов

1. Функционально-логическое моделирование электронных схем.
2. Моделирование микропроцессорных устройств и систем.
3. Моделирование компьютерных систем
4. Моделирование компьютерных сетей
5. Информационно-физическое моделирование
6. Электромагнитное моделирование.
7. Промышленное моделирование.
8. Моделирование технологических процессов микроэлектроники.
9. Моделирование технологических процессов наноэлектроники.
10. Моделирование приборов оптоэлектроники (фотоники, голографии).
11. Моделирование приборов интегральной и волоконной оптики.
12. Моделирование наноструктур.

Формирование балльной оценки

№ п/п	Этап задания	Оценка, баллы
1	Реферат	5
2	Презентация и доклад	3
3	Ответы на вопросы	2
	Итого	10

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 7

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА. ПОНЯТИЙНО-ОПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫЙ АППАРАТ В ОБЛАСТИ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ УСТРОЙСТВ, СИСТЕМ И ТЕХНОЛОГИЙ ЭЛЕКТРОНИКИ, МИКРО- И НАНОЭЛЕКТРОНИКИ

Цель работы. Проверка знаний понятийно-определяющего аппарата в области математического моделирования устройств, систем и технологий электроники, микро- и наноэлектроники.

Содержание работы

1. Ответьте на 7 вопросов из списка теоретических вопросов в соответствии с вариантом, выданным преподавателем.

Номер варианта	Номер вопроса						
	1	2	3	4	5	6	7
1	1	6	11	16	21	26	31
2	2	7	12	17	22	27	32
3	3	8	13	18	23	28	33
4	4	9	14	19	24	29	34
5	5	10	15	20	25	30	35

2. Творческое задание. Дайте оценку научно-методической работы или ее фрагмента (с точки зрения корректности, полноты и новизны используемого понятийно-определяющего аппарата).

Формирование балльной оценки

№ п/п	Этап задания	Оценка, баллы
1	Теоретический вопрос 1 балл/вопрос * 7 вопросов	7
2	Творческое задание	3
	Итого	10

Примечание: Пользоваться можно только собственным конспектом. При обращении к первоисточникам оценка снижается в 2 раза.

Список теоретических вопросов

1. Дайте определение понятиям «модель» и «моделирование», «математическая модель», «математическое моделирование», «система».
2. Дайте определение понятиям «математическая модель» и «математическое моделирование», «система».
3. Поясните термин «система».
4. Поясните что такое системный подход в научных исследованиях.
5. К какому классу методов познания относится математическое моделирование?

6. Перечислите и кратко поясните основные классы задач моделирования.
7. Назовите основные этапы процесса математического моделирования, дайте их общую характеристику.
8. Перечислите требования, предъявляемые к моделям.
9. Поясните термин «адекватность модели».
10. Поясните термин «робастность модели».

11. Что такое «знаковое моделирование». Дайте его общую характеристику и приведите пример знаковой модели.
12. Поясните термин «имитационное моделирование»
13. Поясните термин «численное моделирование»
14. Поясните термин «аналитическое моделирование»
15. Поясните термин «натурное моделирование»

16. Поясните термин «физическое моделирование»
17. Поясните термин «схемотехническое моделирование»
18. Поясните термин «функциональное моделирование»
19. Поясните термин «функционально-логическое моделирование».
20. Поясните термин «физико-технологическое моделирование».

21. Приведите схему классификации мысленного моделирования. Поясните отличия между классами.
22. Приведите схему классификации реального моделирования. Поясните отличия между классами.

23. Приведите схему классификации математического моделирования. Поясните отличия между классами.

24. Приведите схему классификации символьного моделирования. Поясните отличия между классами.

25. Поясните термин «физико-топологическая модель».

26. Поясните термин «аналоговое моделирование».

27. Поясните в чем отличие детерминированного и стохастического моделирования.

28. Дайте определения познавательной модели и прагматической модели. Поясните в чем их отличие.

29. Дайте определения модели состава и модели структуры. Поясните в чем их отличие.

30. Что такое топологическая модель электронной схемы? К какому классу моделей она может быть отнесена.

31. Приведите и поясните классификацию математических моделей по характеру уравнений модели. Приведите примеры моделей данных классов.

32. Приведите и поясните классификацию математических моделей по признаку учета инерционности. Приведите примеры моделей данных классов.

33. Приведите и поясните классификацию математических моделей по форме представления модели. Приведите примеры таких моделей.

34. Приведите и поясните классификацию математических моделей по степени детализации (уровню абстрагирования). Приведите примеры таких моделей.

35. Поясните что такое непрерывные и дискретные математические модели.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №8

ЗАЩИТА ИЗ1

Цель работы. Проверка знаний, умений и навыков в области схемного моделирования устройств электротехники и электроники, навыков программирования на языке высокого уровня в Matlab.

Содержание работы

1. Сдать отчет по ИЗ1 преподавателю.
2. Продемонстрировать и пояснить этапы выполнения ИЗ2, в том числе модификацию модели устройства, режима и параметров одновариантного анализа и интерфейса пользователя.
3. Ответить на дополнительные вопросы из списка контрольных вопросов к ПЗ-2, ПЗ-3 и ПЗ-4.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №9

АНАЛИТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ

Цель работы. Изучение методов формирования и решения аналитических моделей электронных схем. Получение навыков моделирования переходных процессов в электрических цепях аналитическим методом с использованием символьных преобразований в системе математических вычислений MathCAD.

Форма проверки освоения материала: выполнение и защита ИЗ2.

Порядок работы

1. Изучить учебное пособие [1].
2. Решить задачу расчета переходного процесса для тестового примера, представленного в пособии [с. 59-72].

Содержание задачи. Рассчитать аналитически реакцию цепи, представленной на рис. 1, на включение единичного источника ЭДС. Здесь:

$$\begin{aligned} R1 &= 10 \text{ Ом}, R2 = 400 \text{ Ом}, \\ R3 &= 5 \text{ Ом}, R4 = 800 \text{ Ом}, \\ L &= 25 \text{ мГн}, C = 1 \text{ мкФ}. \end{aligned}$$

Результаты представить в виде временных диаграмм тока индуктивности и напряжения на конденсаторе.

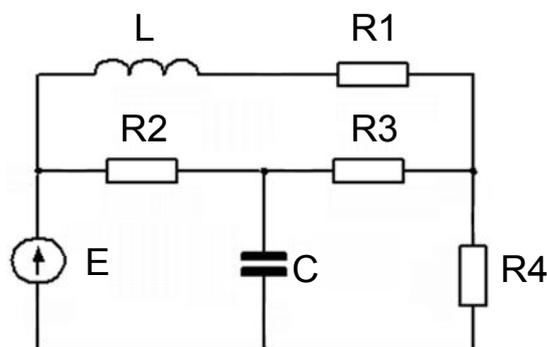


Рис. 1. Схема цепи

- 2.1. Изучить схему, выбор переменных состояний, направлений токов и напряжений.
- 2.2. Записать систему уравнений Кирхгофа в матричной форме $\mathbf{XD} = 0$, где \mathbf{X} – вектор-столбец **независимых** переменных, включающий:

- токи индуктивностей, напряжения на конденсаторах и их производные;
- ЭДС источника;
- токи ветвей, сходящихся в узлах для всех узлов за исключением базового (если они отличны от токов индуктивностей и не могут быть рассчитаны через напряжения на конденсаторах).

2.3. Получить аналитическое решение задачи расчета переходного процесса.

2.3.1. Преобразовать исходную модель цепи $\mathbf{XD} = 0$ к виду $\mathbf{D0} \cdot \mathbf{X}' = \mathbf{D1} \cdot \mathbf{x}'$ и к модели цепи в пространстве состояний:

$$\frac{d\mathbf{x}}{dt} = \mathbf{Ax} + \mathbf{bE}(t),$$

где

\mathbf{x} – вектор переменных состояния, включающий токи индуктивностей и напряжения на конденсаторах;

\mathbf{x}' – вектор, включающий токи индуктивностей, напряжения конденсаторов и напряжение источника ЭДС, т.е. отличается от \mathbf{x} наличием напряжения источника ЭДС;

\mathbf{X}' – вектор-столбец, включающий производные токов индуктивностей и напряжений конденсаторов, токи контуров, т.е. отличается от \mathbf{X} отсутствием переменных состояния и напряжения источника ЭДС;

$E(t)$ – ЭДС источника.

2.3.2. Сформировать функции для расчета матричной экспоненты, в том числе:

- скалярную функцию «физически реализуемой» экспоненты;
- функцию расчета собственных чисел и векторов;
- функции «физически реализуемой» матричной экспоненты в собственном базисе матрицы \mathbf{A} ;
- функции «физически реализуемой» матричной экспоненты в исходном базисе.

2.3.3. Определить функции расчета реакции цепи на включение источника ЭДС, в том числе:

- функцию скачка ЭДС;
- функцию для расчета установившегося значения вектора переменных состояния;

– функцию для расчета значений вектора переменных состояния в отклике на включение источника ЭДС.

2.4. Задать численные значения параметров элементов схемы.

2.5. Построить графики переменных состояния при включении источника ЭДС.

Контрольные вопросы

1. Запишите компонентные уравнения для резистора, индуктивности, конденсатора, источника ЭДС и тока.

2. Поясните порядок составления исходной математической модели цепи на основании законов Кирхгофа.

3. Поясните переход от исходных уравнений к матричной форме модели цепи.

4. Как проверить правильность составления матричной модели цепи?

5. Поясните вид модели цепи в пространстве состояний. Назовите достоинство данной модели.

6. Что такое «наблюдаемые переменные» и «уравнения «наблюдения»?»

7. Поясните что такое матричная экспонента и «физически реализуемая матричная экспонента».

8. Что такое собственные числа матрицы, с какой целью они определяются? Какая функция MathCAD используется для их расчета?

9. Что такое собственные векторы матрицы, с какой целью они определяются? Какая функция MathCAD используется для их расчета?

10. Поясните операторы MathCAD:

$$b(L, C, R1, R2, R3, R4) := \text{submatrix}(G(L, C, R1, R2, R3, R4), 0, 1, 2, 2)$$

$$\Lambda(L, C, R1, R2, R3, R4) := \text{eigenvals}(A(L, C, R1, R2, R3, R4))$$

$$T(L, C, R1, R2, R3, R4) := \text{eigenvecs}(A(L, C, R1, R2, R3, R4))$$

$$\text{EXP}(L, C, R1, R2, R3, R4, t) := \text{diag}\left(\overrightarrow{\text{EX}(\Lambda(L, C, R1, R2, R3, R4), t)}\right)$$

$$K1(L, C, R1, R2, R3, R4) := R4 \cdot \left[\left(G(L, C, R1, R2, R3, R4)^T \right)^{\langle 5 \rangle} \right]^T$$

$$D0(L, C, R1, R2, R3, R4) := \left\{ \begin{array}{l} S \leftarrow D(L, C, R1, R2, R3, R4) \\ n \leftarrow \text{rows}(S) \\ \text{return submatrix}(S, 0, n - 1, 0, n - 1) \end{array} \right.$$

Литература

1. Егоров И.М. Программирование: Учебное методическое пособие. — Томск: Томский межвузовский центр дистанционного образования, 2006. — 79 с.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №10

ЗАЩИТА ИЗ2

Цель работы. Проверка знаний, умений и навыков в области методов аналитического моделирования электрической цепи.

Содержание работы

1. Сдать отчет по ИЗ2 преподавателю.
2. Продемонстрировать и пояснить этапы выполнения ИЗ2.
3. Ответить на дополнительные вопросы из списка контрольных вопросов к ПЗ-9.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №11

МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ЗАДАЧ

Цель работы. Получение навыков решения задач и представления результатов безусловной оптимизации аналитическим методом с использованием системы математических вычислений MathCAD.

Форма проверки освоения материала: выполнение и защита ИЗЗ.

Порядок работы

1. Изучить разделы литературы [1, 2] по теме занятия.
2. Для получения практических навыков работы параллельно с изучением литературы решить задачи.

Требования к решению задачи и оформлению результатов:

- записать математическую формулировку экстремальной задачи;
- задачи решить аналитическим методом с использованием системы математических вычислений MathCAD для символьного вычисления производных, символьного решения уравнений, символьного преобразования производных;
- для проверки результата использовать встроенные функции MathCAD: поиска минимума Minimize и максимума Maximize;
- для визуализации результатов построить графики функций, указать на них экстремальные точки.

Задача 1. Безусловная одномерная оптимизация. Дан источник постоянного напряжения E с внутренним сопротивлением r , работающий на активную нагрузку R .

Определить:

- при каком сопротивлении нагрузки R будет происходить максимальная отдача мощности в нагрузку;
- каков при этом будет коэффициент полезного действия.

Задача 2. Условная двумерная оптимизация. Определить, при каких размерах a х b печатной платы прямоугольной формы при той же площади $S = \text{const}$ ее периметр P будет минимальным?

Задача 3. Исследовать на экстремум функцию, заданную в табл. 11.1, согласно варианту, выданному преподавателем. Найти точки локальных экстремумов. Построить график функции. Указать на нем точки экстремума.

Таблица 11.1

Исходные данные для задачи 3

Вариант	Функция
1	$f(x) = -x_1^2 - 4x_2^2 + 2x_1x_2 + x_1$
2	$f(x) = -x_1^2 + x_1\sqrt{x_2} - x_2 + 6x_1 + 10$
3	$f(x) = x_1^2 - 2x_2^2 - 2x_1x_2 + x_1$
4	$f(x) = x_1^4 + x_2^4 - 2(x_1 - x_2)^2$
5	$f(x) = x_1x_2 + \frac{20}{x_1} + \frac{50}{x_2}$
6	$f(x) = \exp(-x_1^2 + x_2^2 + 2x_1x_2 - x_2)$
7	$f(x) = \exp(-2x_1^2 - 5x_2^2 + x_1x_2)$
8	$f(x) = (4 - x_1)^2 + (x_1 - x_2)^2$
9	$f(x) = x_1^2 - x_2^2 + e^{-x_1^2}$
10	$f(x) = e^{-x_1^2 - x_2^2}$
11	$f(x) = \exp(x_1^2 + x_2^2 + 2x_1x_2 + 2)$
12	$f(x) = (x_1^3 - 1)^4 + (x_2 - 1)^2 - 2$
13	$f(x) = x_1x_2^2(1 - x_1 - x_2)$
14	$f(x) = (x_1 + x_2 - 1)\exp(-x_1^2 - x_1x_2 + x_2^2)$
15	$f(x) = (x_1 - 1)^3 + (x_2 - x_1)^2$
16	$f(x) = x_1^2 + 4x_2^3 - 2x_1x_2$

Краткие сведения из теории

Математическая запись задачи на поиск экстремума функции $f(\mathbf{x}) = f(x_1, \dots, x_n)$ имеет вид:

$$f(\mathbf{x}) \rightarrow \text{extr},$$

для задач поиска минимума и максимума используется запись:

$$f(\mathbf{x}) \rightarrow \min \quad \text{и} \quad f(\mathbf{x}) \rightarrow \max.$$

Для детализации области поиска экстремума указывается принадлежность \mathbf{x} множеству X , например:

$$f(\mathbf{x}) \rightarrow \min; \mathbf{x} \in X$$

или

$$f(\mathbf{x}) \rightarrow \min_{\mathbf{x} \in X}.$$

Решением экстремальных задач является множество точек экстремума x_0 :

$$x_0 = \arg \text{extr } f(\mathbf{x}); \quad x_0 = \arg \min f(\mathbf{x}); \quad x_0 = \arg \max f(\mathbf{x}).$$

Результаты решения экстремальных задач удобно представлять в графическом виде (рис. 11.1).

Чтобы подчеркнуть локальность, например точки минимума, используется запись:

$$x_0 = \arg \text{loc } \min f(\mathbf{x});$$

Различают задачи на условный и безусловный экстремум. В случае условно-экстремальных за-

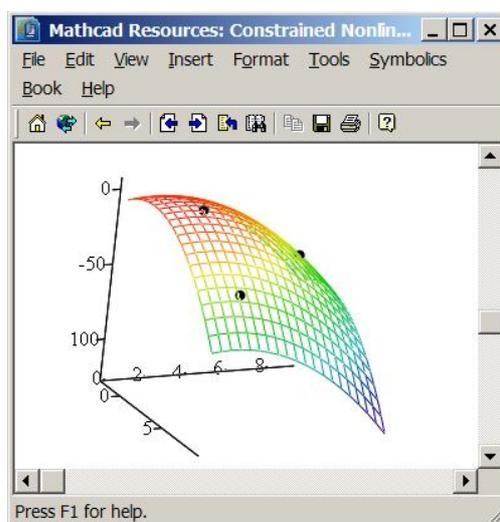


Рис. 11.1. График функции двух переменных и экстремальные точки

дач требуется найти экстремум при дополнительном ограничении, например в виде равенства $g(x) = 0$. В случае безусловных экстремальных задач такие ограничения отсутствуют.

Аналитический метод решения задач на безусловный экстремум опирается на теорему Ферма для функции одной переменной, которая формулируется следующим образом.

Теорема Ферма. Пусть функция $f(x)$ определена в некотором промежутке $[a, b]$ и во внутренней точке x_0 достигает наибольшего (наименьшего) значения. Если существует двусторонняя конечная производная $f'(x_0)$ в этой точке, то она равна нулю: $f'(x_0) = 0$.

Точки, в которых производная функции равна нулю, называются стационарными (критическими, подозрительными на экстремум).

Если задана функция нескольких переменных $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$, то ее стационарные точки находятся из уравнений:

$$\begin{aligned} df / dx_1 &= 0; \\ df / dx_2 &= 0; \\ \dots\dots\dots \\ df / dx_n &= 0 \end{aligned} \quad (1)$$

или

$$\text{grad } f(\mathbf{x}) = 0 \text{ или } \nabla f(\mathbf{x}) = 0.$$

В соответствии с теоремой Ферма поиск экстремума функции одной или нескольких переменных следует производить на множестве стационарных точек этой функции. Данное условие является необходимым. После отыскания корней системы уравнений (1) нужно проверить достаточные условия экстремума.

Если задана область изменения переменных, то необходимо проверить граничные точки.

Практическая реализация метода Ферма требует выполнения следующих математических операций:

- вычисление частных производных от функции многих переменных;
- решение получаемой системы уравнений;
- преобразование и упрощение полученных аналитических выражений.

Данные операции могут быть выполнены вручную либо с использованием систем компьютерной алгебры (Computer Algebra Systems), таких как Maple, Mathematica, MathCAD, Macsyma и др.

Контрольные вопросы

1. Сформулируйте теорему Ферма.
2. Какие точки в теории оптимизации называются стационарными?
3. Перечислите необходимые и достаточные условия экстремума.
4. В чем отличие задач на условный и безусловный экстремум?
5. Поясните методику поиска экстремума.

Литература

1. Черепанов О.И. Методы оптимизации: Учебное пособие. – Томск: ТУСУР, 2007. – 203 с.
2. Мицель А.А., Шелестов А.А. Методы оптимизации: Учебное пособие. – Томск : ТУСУР, 2004. – 255 с.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №12

МЕТОДЫ ПЛАНИРОВАНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА И ИДЕНТИФИКАЦИИ МОДЕЛЕЙ

Цель работы. Формирование знаний, умений и навыков в области теории планирования эксперимента и идентификации моделей.

Форма проверки освоения материала: защита отчета по ЛР4.

Содержание работы: дискуссия по теме организация и планирование эксперимента.

Вопросы для дискуссии.

1. В чем заключается сложность экспериментальных исследований?
2. Есть ли смысл организовывать и планировать эксперимент?
3. Как сократить время проведения эксперимента?

Контрольные вопросы

1. Поясните сущность и цели планирования эксперимента.
2. Назовите основные типы экспериментов.
3. Перечислите и охарактеризуйте основные этапы планирования эксперимента.
4. Назовите и дайте общую характеристику математических методов, применяющихся на этапах планирования эксперимента.
5. Что такое реакция или отклик системы?
6. Поясните что такое фактор, факторное пространство и уровни факторов и приведите примеры.
7. Что такое симметричный факторный эксперимент?
8. Что такое полный факторный эксперимент (ПФЭ)?
9. Что такое информационная точка в ПФЭ?
10. Как определяется количество информационных точек в ПФЭ и симметричном эксперименте?
11. Назовите способы снижения количества реализаций (прогнозов) при проведении эксперимента.
12. Запишите математические выражения для полиномиальных моделей 1-го, 2-го и k -го порядков.
13. Поясните что такое матрица плана эксперимента.

14. Планируется провести компьютерный эксперимент, в котором на отклик модели влияют три фактора. Для каждого фактора установлены три уровня. Требования по точности и достоверности требуют 6000 прогонов модели на каждом уровне (для каждого наблюдения). Время одного прогона модели равно 2 с.

Как оценить затраты времени на проведение компьютерного эксперимента.

15. На вход модели объекта действуют четыре трехуровневых фактора ($k = 4$; $q = 3$). В каждом наблюдении предполагаются восемь прогонов модели ($p = 8$).

Требуется:

– оценить количество прогонов и наблюдений при полном факторном эксперименте;

– определить, какой из аргументов k , q , p следует уменьшить, чтобы достичь наиболее существенного уменьшения числа реализаций.

16. Что такое идентификация модели?

17. Как определить параметры статической модели?

18. Как определить параметры динамической модели?

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №13

МЕТОДЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ НАНОСТРУКТУР

Цель работы. Получение навыков моделирования и визуализации наноструктур в системе Matlab.

Форма проверки освоения материала: решение задач.

Порядок работы

1. Изучить литературу [1] и интернет-источники по теме занятия.
2. Для получения практических навыков работы параллельно с изучением литературы решить задачу визуализации молекул двумя способами:
 - с использованием программных средств пакета MatLab/Bioinformatic ToolBox;
 - путем программирования в MatLab.

Контрольные вопросы

1. Назовите три основных класса задач современной наноэлектроники.
2. Дайте характеристику метода молекулярной динамики.
3. Дайте общую характеристику программа визуализации молекул RasMol.
4. Дайте общую характеристику программ: ANSYS, Femlab, SciLab, GNUOctava и их применения при решении задач наноэлектроники.
5. Приведите и поясните основные форматы научных химических данных: PDB, MOL (MDL), SDF, XYZ, SMOL, JVXL, CIF/mmCIF
6. Приведите алгоритм программы визуализации молекул на примере pdb-формата в MatLab.
7. Перечислите форматы для записи выходных данных при визуализации молекул.
8. Перечислите основные функции пакета Bioinformatic ToolBox системы MatLab.

Литература

1. Матюшкин И.В. Моделирование и визуализация средствами MATLAB физики наноструктур: Учебное пособие для вузов. –М.: Техносфера, 2011. – 168 с.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №14

ЗАЩИТА ИЗЗ

Цель работы. Проверка знаний, умений и навыков в области решения экстремальных задач.

Содержание работы

1. Сдать отчет по ИЗЗ преподавателю.
2. Продемонстрировать и пояснить этапы выполнения ИЗЗ.
3. Ответить на дополнительные вопросы из списка контрольных вопросов к ПЗ-11.

ИНДИВИДУАЛЬНОЕ ЗАДАНИЕ № 1

ИНФОРМАЦИОННО-ФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ УСТРОЙСТВ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ И ЭЛЕКТРОНИКИ

Цель работы. Изучение языка программирования, численных методов и методов визуального моделирования, применяющихся в современных средствах моделирования для решения задач анализа устройств и систем.

Исходные данные: объект исследования – электронное устройство согласно варианту И31 (табл. 15.1).

Необходимо:

1. Сформировать техническое задание на исследование объекта с использованием методов математического моделирования с указанием цели исследования, входных и выходных данных, формы представления результатов.

Задание должно включать решение задач одновариантного и многовариантного анализа, выбора метода и параметров моделирования, разработки пользовательского интерфейса.

2. С использованием системы Matlab/Simulink:

- решить задачи одновариантного анализа;
- выполнить анализ и дать рекомендации по выбору метода и параметров моделирования;
- решить задачу многовариантного анализа при варьировании параметра элемента схемы;
- рассчитать статические характеристики устройства;
- создать графический интерфейс виртуальной лаборатории.

3. Представить отчет о проделанной работе, отражающий решение поставленных задач и этапы моделирования (согласно общепринятому перечню этапов моделирования), сформулировать выводы о проделанной работе и результатах моделирования.

4. Отчет представить в бумажном и электронном (файлы Matlab/Simulink, doc-файл) виде.

Варианты объектов для моделирования в ИЗ1

№ варианта	Объект моделирования
1	Трехфазный генератор с внутренним сопротивлением и несимметрией фаз
2	Однофазный трансформатор
3	Однофазный трансформатор с нулевой точкой
4	Трехфазный трансформатор
5	Однофазный выпрямитель со сглаживающим фильтром
6	Однофазный нулевой выпрямитель со сглаживающим фильтром
7	Однофазный мостовой выпрямитель со сглаживающим фильтром
8	Управляемый однофазный мостовой выпрямитель
9	Управляемый однофазный выпрямитель с нулевой точкой
10	Трехфазный нулевой выпрямитель
11	Трехфазный мостовой выпрямитель
12	Шестифазная схема выпрямления
10	Однофазный инвертор напряжения
13	Трехфазный инвертор напряжения
14	Понижающий импульсный преобразователь непосредственного типа
15	Повышающий импульсный преобразователь непосредственного типа
16	Полярноинвертирующий импульсный преобразователь непосредственного типа
17	Электрический двигатель постоянного тока
18	Асинхронный двигатель
19	Электромашинный генератор постоянного тока
20	Электромашинный синхронный генератор

Методические указания к формированию технического задания

При формировании технического задания на моделирование объекта учесть общепринятые режимы анализа и типовые характерные диаграммы, характеризующие процесс его функционирования.

Например, моделирование выпрямителя напряжения реализуется с целью изучения характера протекающих в нем электромагнитных процессов, исследования режимов работы его элементов, получения его динамических и статических характеристик.

Соответственно работа схемы выпрямления характеризуется временными диаграммами следующих электромагнитных величин:

- входное напряжение;
- ток первичной и вторичной обмоток трансформатора;
- ток и напряжение диода;
- выходное напряжение на нагрузке и ток нагрузки,

а также внешней характеристикой, представляющей собой зависимость выходного напряжения от тока нагрузки (получается при различных значениях сопротивления нагрузки).

Режимы работы схемы и элементов характеризуются следующими величинами:

- среднее значение напряжения и тока нагрузки, коэффициент пульсаций;
- действующее напряжение и ток обмоток трансформатора;
- максимальное напряжение на диоде, максимальный ток диода, угол отсечки и др.

Формирование балльной оценки

№ п/п	Этап задания	Оценка, баллы
1	Техническое задание	1
2	Решение задачи одновариантного анализа	2
3	Анализ численных методов решения модели и рекомендации по выбору метода и параметров моделирования	1
4	Решение задачи многовариантного анализа при варьировании параметра исследуемого устройства	2
5	Расчет статических характеристик устройства	2
6	Графический интерфейс виртуальной лаборатории	2
	Итого	10

Литература

1. MATLAB: Анализ, идентификация и моделирование систем: Специальный справочник / В. Дьяконов, В. Круглов. – СПб.: Питер, 2002. – 448 с.
2. Дьяконов В. П. Simulink 5/6/7: Самоучитель. – М.: ДМК-Пресс, 2008. – 781 с.
3. MATLAB 6/6.1/6.5 + Simulink 4/5 в математике и моделировании : полное руководство пользователя / В.П. Дьяконов. – М.: СОЛОН-Пресс, 2003. – 565 с.
4. Дьяконов В.П. Simulink 4. Специальный справочник. – СПб.: Питер, 2002. – 528 с.

ИНДИВИДУАЛЬНОЕ ЗАДАНИЕ № 2

АНАЛИТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ

Цель работы. Закрепление навыков моделирования переходных процессов в электрических цепях аналитическим методом с использованием символьных преобразований в системе математических вычислений MathCAD.

Форма проверки освоения материала: защита ИЗ2.

Содержание задания

1. Рассчитать аналитически реакцию цепи, настроенной на колебательный характер переходного процесса, на включение единичного источника ЭДС. Результаты представить в виде временных диаграмм наблюдаемых переменных. Для всех вариантов принять:

$$L = 25 \text{ мГн}, C = 1 \text{ мкФ}.$$

2. Выполнить схемотехническое моделирование электрической цепи для расчета реакции цепи на включение единичного источника ЭДС.

Порядок работы

1. Получить у преподавателя вариант задания, ознакомиться с исходными данными.

2. Изучить порядок модификации расчета переходного процесса для тестового примера (см. ПЗ10) [1, с. 59-72] для предложенной схемы.

3. Реализовать в MathCAD расчет переходного процесса.

4. Выполнить схемотехническое моделирование этой же цепи, например в системе MatLab.

5. Оформить отчет о проделанной работе, сделать вывод по полученным результатам.

Отчет должен содержать:

1. Задание.

2. Результаты аналитического моделирования

3. Результаты схемотехнического моделирования

4. Выводы с анализом результатов моделирования и оценкой адекватности моделей.

Таблица 16.1
Варианты индивидуального задания №2

Вариант	Номер схемы на рис. 17.1	наблюдаемые переменные		Вариант	схема	наблюдаемые переменные	
		Y_0	Y_1			Y_0	Y_1
1	1	U_1	i_C	26	7	i_C	U_2
2	1	U_L	i_4	27	7	U_L	U_1
3	1	U_3	i_E	28	7	i_3	i_L
4	1	U_2	i_4	29	8	U_1	i_2
5	2	U_4	U_L	30	8	U_2	i_C
6	2	U_3	i_5	31	8	U_3	U_4
7	2	U_2	i_C	32	8	U_L	i_3
8	2	U_5	i_3	33	9	U_1	i_C
9	3	i_C	U_3	34	9	U_2	i_4
10	3	U_2	U_L	35	9	U_3	i_1
11	3	i_E	U_4	36	9	U_5	U_L
12	3	U_1	R_2	37	10	U_2	i_C
13	4	i_1	U_3	38	10	U_3	i_E
14	4	i_C	U_5	39	10	U_1	U_L
15	4	U_L	U_2	40	10	U_4	i_3
16	4	U_4	i_5	41	11	U_1	i_C
17	5	i_1	U_4	42	11	U_2	i_5
18	5	i_C	U_3	43	11	U_3	U_L
19	5	U_L	U_2	44	11	U_4	i_1
20	5	U_5	i_3	45	12	U_1	i_3
21	6	U_L	U_4	46	12	U_2	i_1
22	6	U_2	i_3	47	12	U_3	i_C
23	6	i_C	U_1	48	12	U_4	U_L
24	6	U_3	U_4	49	13	U_1	i_2
25	7	U_1	i_2	50	13	U_2	i_E

Продолжение таблицы 17.1

Вариант	Номер схемы на рис. 17.1	наблюдаемые переменные		Вариант	схема	наблюдаемые переменные	
		Y_0	Y_1			Y_0	Y_1
51	13	U_3	i_C	76	19	U_4	U_5
52	13	U_4	U_L	77	20	U_1	U_L
53	14	U_1	i_3	78	20	U_2	i_C
54	14	U_2	i_C	79	20	U_3	i_1
55	14	U_3	i_2	80	20	U_4	i_2
56	14	U_4	U_L	81	21	U_1	i_3
57	15	U_1	i_E	82	21	U_2	i_C
58	15	U_2	i_C	83	21	U_3	i_5
59	15	U_3	i_4	84	21	U_4	U_L
60	15	U_4	U_L	85	22	U_1	i_3
61	16	U_1	i_3	86	22	U_2	i_4
62	16	U_2	i_4	87	22	U_3	i_C
63	16	U_3	i_5	88	22	U_4	i_5
64	16	U_4	U_L	89	23	U_1	i_2
65	17	U_L	i_2	90	23	U_2	i_C
66	17	U_1	i_3	91	23	U_3	i_5
67	17	U_2	i_C	92	23	U_4	U_L
68	17	U_3	i_E	93	24	U_1	i_C
69	18	U_L	i_2	94	24	U_2	i_5
70	18	U_1	i_C	95	24	U_3	U_L
71	18	U_2	i_3	96	24	U_4	i_1
72	18	U_3	i_4	97	25	U_1	i_C
73	19	U_1	i_5	98	25	U_2	i_E
74	19	U_2	U_L	99	25	U_3	i_1
75	19	U_3	i_C	100	25	U_L	i_2

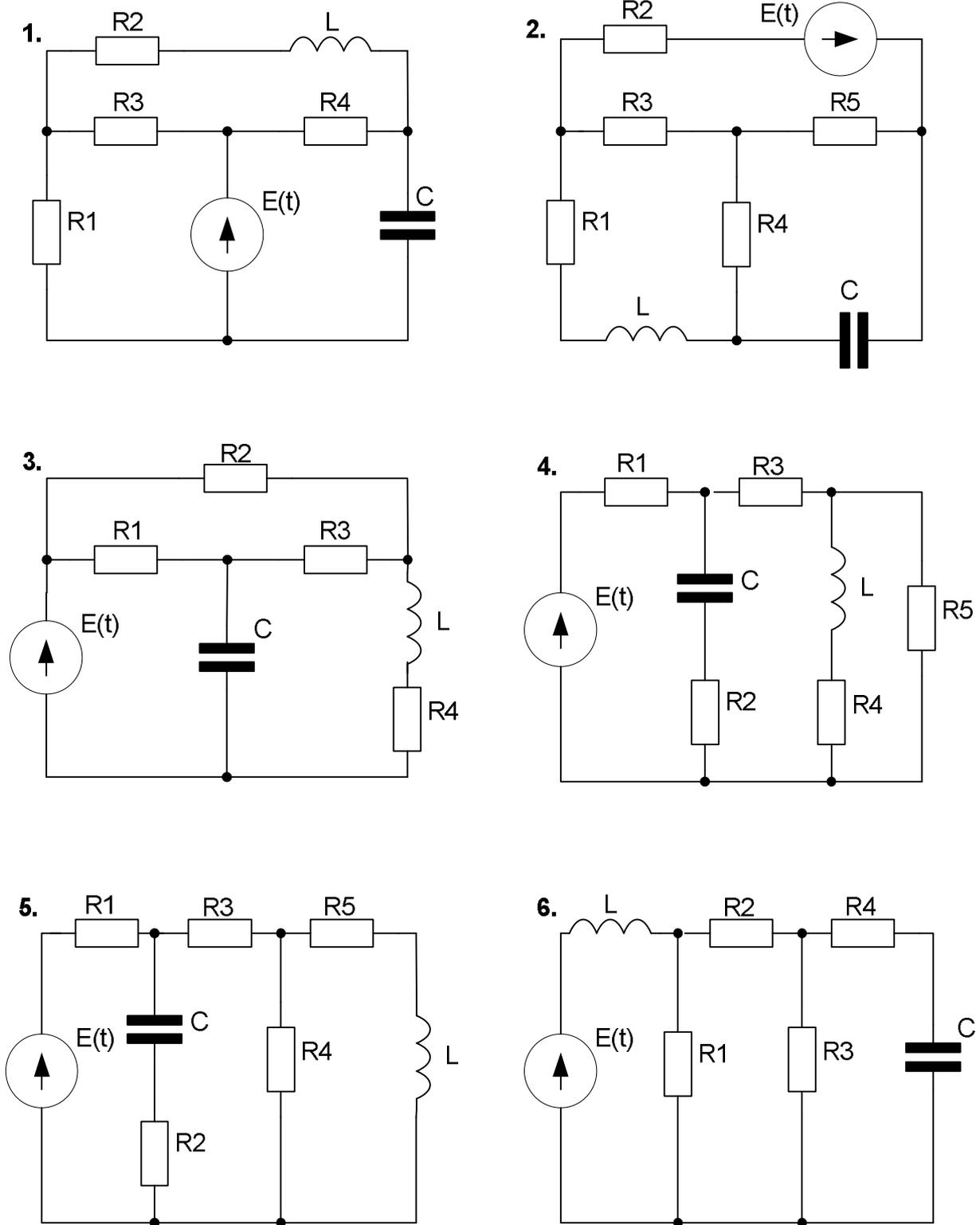
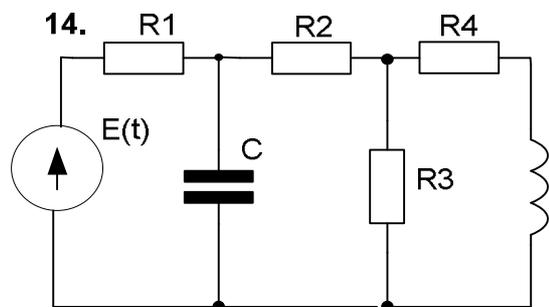
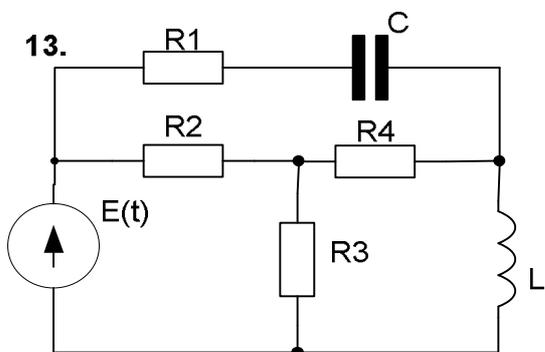
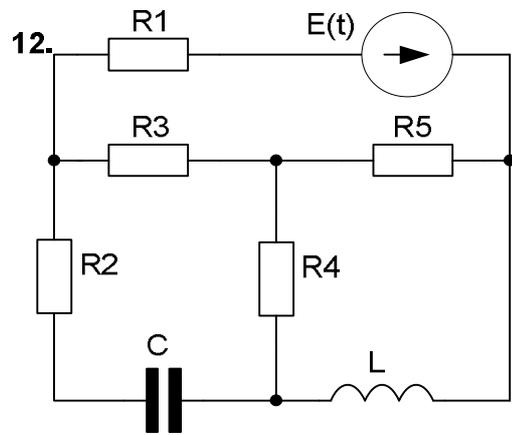
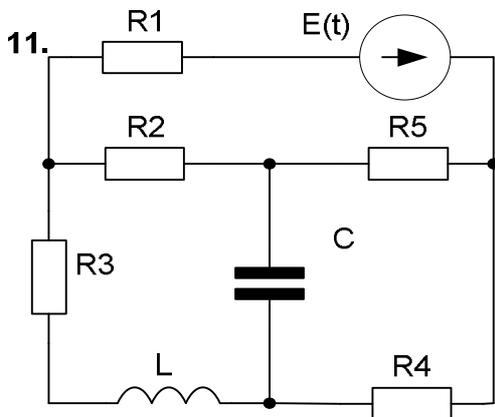
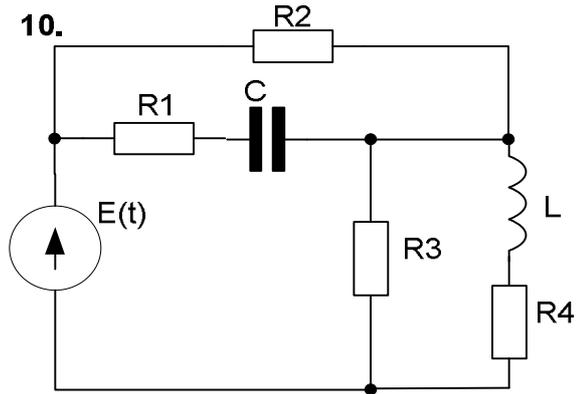
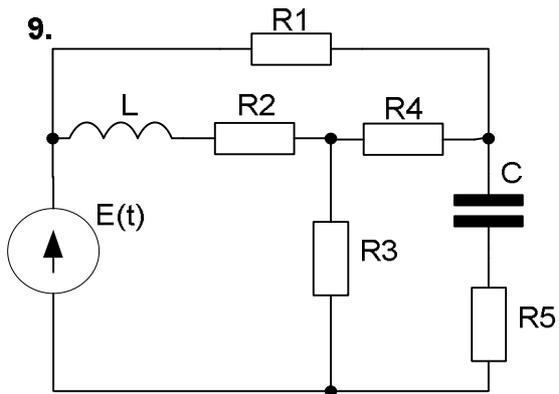
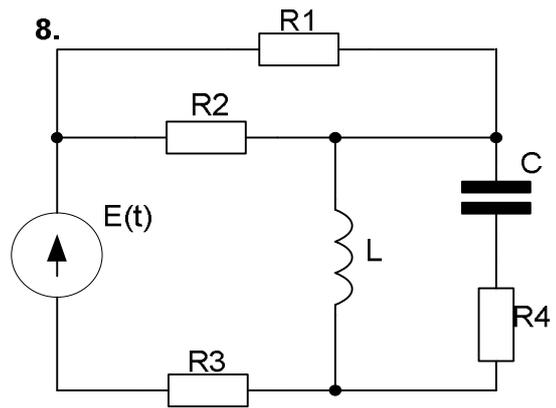
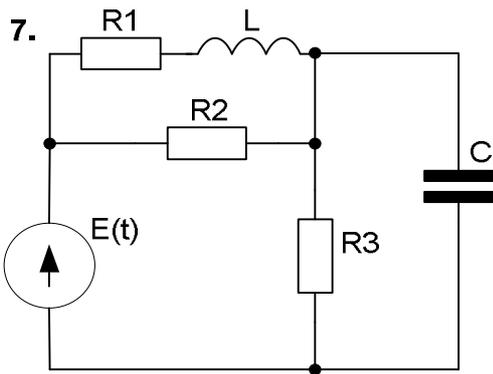
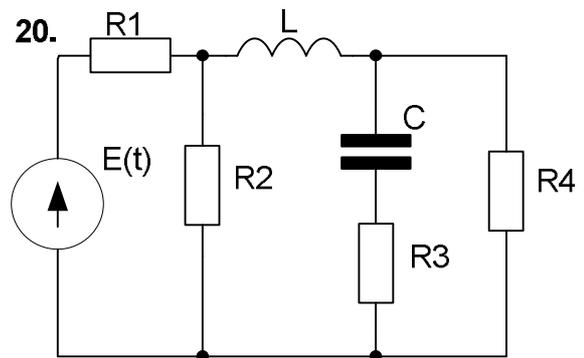
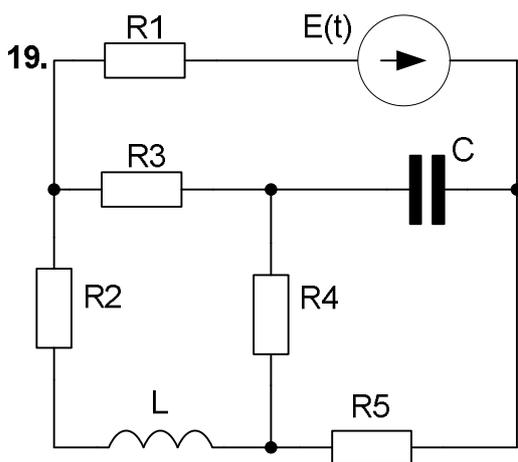
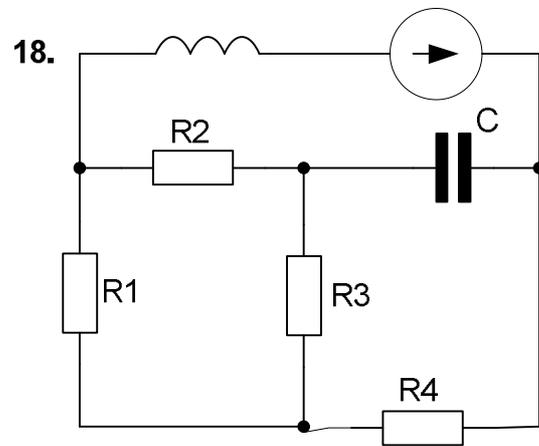
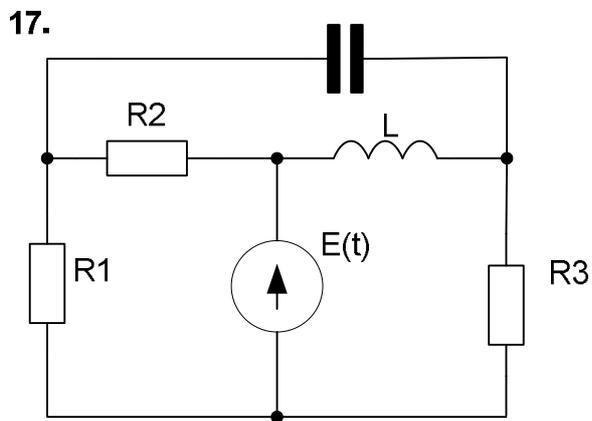
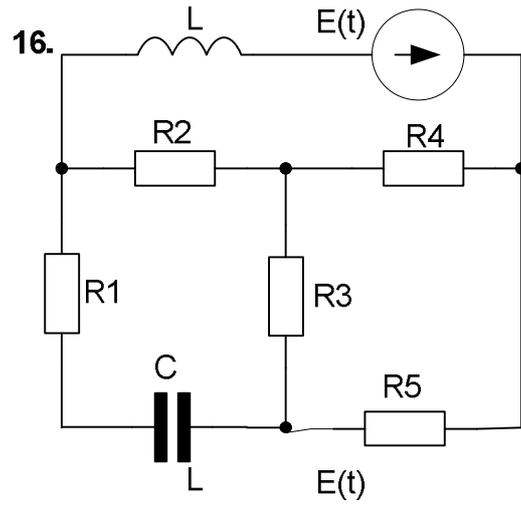
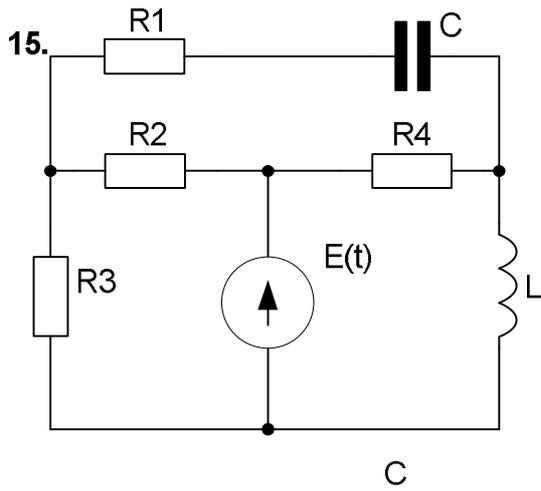


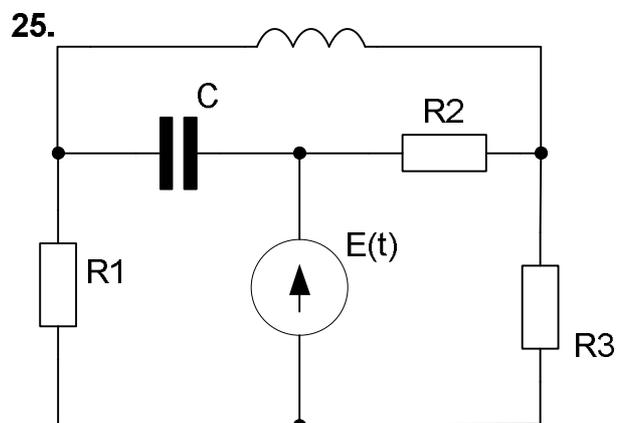
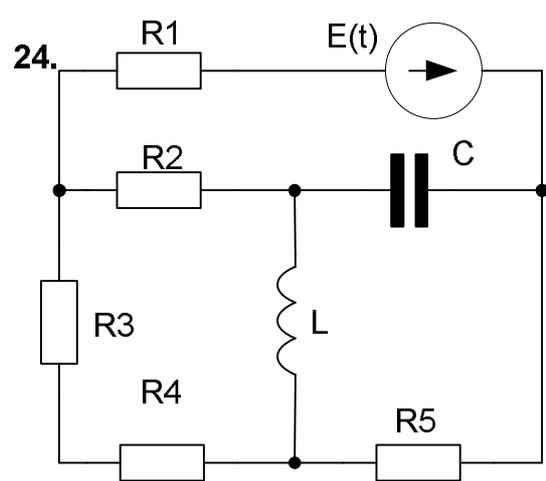
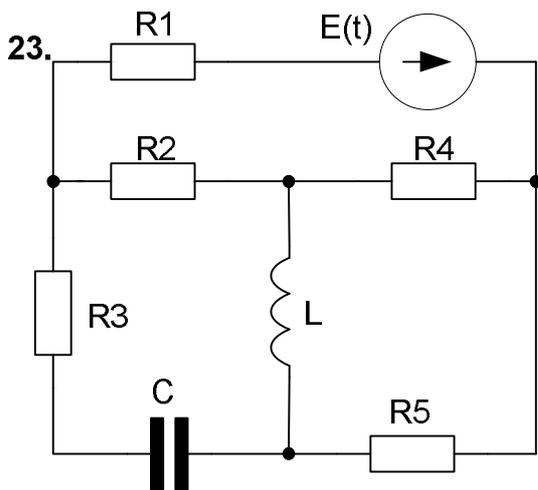
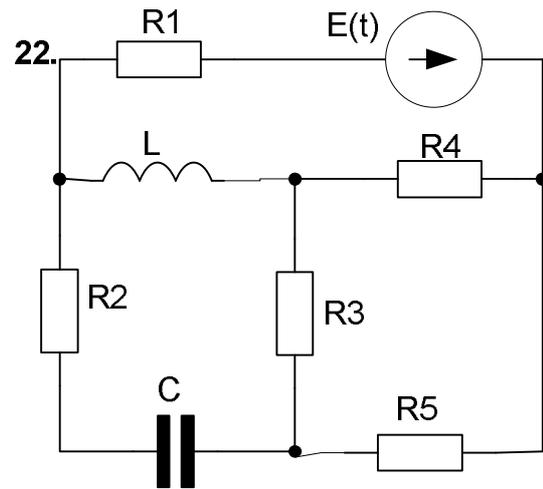
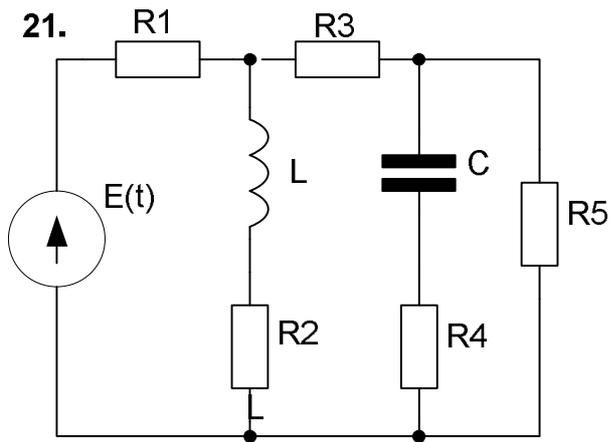
Рис. 17.1. Схемы для вариантов индивидуального задания №2



Продолжение рис. 17.1. Схемы для вариантов индивидуального задания №2



Продолжение рис. 17.1. Схемы для вариантов индивидуального задания №2



Продолжение рис. 17.1. Схемы для вариантов индивидуального задания №2

Контрольные вопросы

1. Запишите компонентные уравнения для резистора, индуктивности, конденсатора, источника ЭДС и тока.
2. Поясните порядок составления исходной математической модели цепи на основании законов Кирхгофа.
3. Поясните переход от исходных уравнений к матричной форме модели цепи.
4. Как проверить правильность составления матричной модели цепи?
5. Поясните вид модели цепи в пространстве состояний. Назовите достоинство данной модели.
6. Что такое «наблюдаемые переменные» и «уравнения «наблюдения»»?
7. Поясните что такое матричная экспонента и «физически реализуемая матричная экспонента».
8. Что такое собственные числа матрицы, с какой целью они определяются? Какая функция MathCAD используется для их расчета?
9. Что такое собственные векторы матрицы, с какой целью они определяются? Какая функция MathCAD используется для их расчета?
10. Поясните операторы MathCAD:

$$b(L, C, R1, R2, R3, R4) := \text{submatrix}(G(L, C, R1, R2, R3, R4), 0, 1, 2, 2)$$

$$\Lambda(L, C, R1, R2, R3, R4) := \text{eigenvals}(A(L, C, R1, R2, R3, R4))$$

$$T(L, C, R1, R2, R3, R4) := \text{eigenvecs}(A(L, C, R1, R2, R3, R4))$$

$$\text{EXP}(L, C, R1, R2, R3, R4, t) := \text{diag}\left(\overrightarrow{\text{EX}(\Lambda(L, C, R1, R2, R3, R4), t)}\right)$$

$$K1(L, C, R1, R2, R3, R4) := R4 \cdot \left[\left(G(L, C, R1, R2, R3, R4)^T \right)^{\langle 5 \rangle} \right]^T$$

$$D0(L, C, R1, R2, R3, R4) := \begin{cases} S \leftarrow D(L, C, R1, R2, R3, R4) \\ n \leftarrow \text{rows}(S) \\ \text{return submatrix}(S, 0, n - 1, 0, n - 1) \end{cases}$$

Литература

1. Егоров И.М. Программирование: Учебное методическое пособие. — Томск: Томский межвузовский центр дистанционного образования, 2006. — 79 с.

ИНДИВИДУАЛЬНОЕ ЗАДАНИЕ № 3

ОПТИМИЗАЦИЯ УДЕЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ МАГНИТНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Цель работы. Получение навыков применения методов оптимизации для решения практических задач оптимального проектирования на примере проектирования магнитных элементов (МЭ).

Исходные данные:

– объект проектирования – МЭ заданного конструктивного исполнения;

– критерий оптимального проектирования.

Исходные данные выбираются согласно таблице (табл. 1) в соответствии с номером варианта, выданного преподавателем.

Необходимо:

Определить числовые значения показателей оптимальной геометрии МЭ, а именно значения:

$$x = c / a, y = b / a, z = h / a, K_s,$$

где a, b – ширина и толщина магнитопровода; c, h – ширина и высота окна магнитопровода; K_s – относительное значение соотношения площадей сечений окна и магнитопровода, обеспечивающие оптимальные удельно-экономические показатели (УЭП) МЭ согласно заданному критерию оптимальности.

Порядок выполнения работы

1. Изучить способы решения задач поиска экстремума функции [1, 2].

Записать аналитические выражения для целевой функции, т.е. УЭП, выделить геометрический безразмерный показатель независимой геометрии v , сформулировать условие экстремума [3 -5].

2. Нарисовать эскиз МЭ и записать аналитические выражения для нижеперечисленных абсолютных и безразмерных геометрических показателей МЭ [3 - 6]:

V_c, V_k – объемы сердечника и катушки;

L_k – средняя длина витка катушки;

L_c – средняя длина магнитопровода L_c ;

l_c, l_k – безразмерные средние длины магнитопровода и витка катушки (безразмерная средняя длина).

Выражения для L_c, L_k записать:

– для линейных размеров a, b, c, h ;

– для относительных размеров x, y, z .

Выражения для l_c, l_k преобразовать к общему виду, произведя замену числовых значений коэффициентов при относительных размерах переменными m, n, q, m', q', p .

– переменных K_b, K_c, K_h и коэффициентов m, n, q, m', q', p .

Здесь:

$$K_b = \sqrt{y} = \sqrt{S_c} / a; K_c = x / \sqrt{y}; K_h = z / \sqrt{y}, \quad (1.1)$$

где S_c – площадь сечения магнитопровода.

3. Получить аналитическое выражение для целевой функции [3 - 5].

Записать систему уравнений для поиска экстремума функции $v(K_s, K_b, K_c, K_h)$ или $v(K_s, x, y, z)$.

Записать аналитические выражения для функции v :

– $v(K_s, l_c, l_k)$;

– $v(K_s, x, y, z)$;

– с учетом (1.1) перейти к функции $v(K_s, K_b, K_c, K_h)$.

4. Решить систему уравнений в аналитическом виде. Найти и записать аналитические выражения для K_{b0}, K_{c0}, K_{h0} .

5. Выполнив подстановку K_{b0}, K_{c0}, K_{h0} в выражение $v(K_s, K_b, K_c, K_h)$ получить функцию $v(K_s)$ [3 - 5].

6. Решить задачу поиска минимума K_{s0} функции $v(K_s)$. Определить числовое значение K_{s0} . Построить график функции проверить правильность полученного решения.

7. Рассчитать числовые значения коэффициентов K_{b0}, K_{c0}, K_{h0} и относительных размеров x_0, y_0, z_0 согласно (1.2) [3 - 5]:

$$y_0 = K_{b0}^2; x_0 = K_{b0}K_{c0}; z_0 = K_{h0}K_{b0}.$$

8. Проанализировать полученные значения показателей оптимальной геометрии K_{s0}, x_0, y_0, z_0 , сравнив их с данными, приведенными в работах [3 - 6].

9. Оформить отчет о проделанной работе.

Таблица исходных данных для оптимального проектирования МЭ

Вариант	Тип магнитного элемента				Критерий проектирования
	Броневой	Стержневой	Тороидальный	Чашечный	
1	5	9	13	Минимум объема	
2	6	10	14	Минимум массы	
3	7	11	15	Минимум цены	
4	8	12	16	Компромиссная	

Примечание. Во всех вариантах материал обмоток – медь.

Формирование оценки балльной

№ п/п	Этап задания	Оценка, баллы
1	Запись аналитических выражений для целевой функции и условий экстремума в общем виде	0,5
2	Выполнение эскиза МЭ и запись аналитических выражений для геометрических показателей	0,5
3	Запись системы уравнений для поиска экстремума $v(K_s, x, y, z)$ или $v(K_s, K_b, K_c, K_h)$	1
4	Решение системы уравнений и нахождение экстремума в аналитическом виде	2
5	Получение аналитического выражения для функции $v(K_s)$	1
6	Поиск экстремума функции $v(K_s)$	2
7	Расчет числовых значения показателей оптимальной геометрии	1
8	Анализ результатов и выводы	2
	Итого	10

Литература

1. Черепанов О.И. Методы оптимизации: Учебное пособие. – Томск: ТУСУР, 2007. – 203 с.
2. Мицель А.А., Шелестов А.А. Методы оптимизации: Учебное пособие. – Томск : ТУСУР, 2004. – 255 с.

3. Обрусник В.П., Бальян Р.Х. Оптимальное проектирование силовых высокочастотных ферромагнитных устройств. — Томск: Изд-во Том. ун-та, 1987. — 168 с

4. Обрусник В.П. Теоретические положения оптимизации удельно-экономических показателей магнитных элементов: Монография. — Томск: ТУСУР, 2009. — 55 с.

5. Обрусник В.П. Теория и практика оптимального расчета магнитных элементов: Монография. — Томск: ТУСУР, 2008. — 152 с.

6. Обрусник В.П. Магнитные элементы электронных устройств.: Учебное пособие. — Томск: Томс. гос. ун-т систем упр. и радиоэлектроники, 2007. — 125 с.