

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Брянский государственный аграрный университет»

Кафедра математики, физики и информатики

Бычкова Т.В.

Математическое моделирование элементов электротехнических систем

**Учебное пособие
для практических занятий и самостоятельной работы
магистров очной и заочной формы,
обучающихся по направлению подготовки
13.04.02 Электроэнергетика и электротехника**

Брянская область, 2018

УДК 519.7:621.3 (076)

ББК 22.18:31.2

Б 95

Бычкова, Т. В. Математическое моделирование элементов электротехнических систем: учебное пособие для практических занятий и самостоятельной работы магистров очной и заочной формы, обучающихся по направлению подготовки 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника / Т. В. Бычкова. - Брянск: Изд-во Брянский ГАУ, 2018. – 22 с.

Рецензенты:

Безик В.А., к.т.н., доцент, зав. кафедрой электроэнергетики и автоматики.

Рекомендовано к изданию учебно-методической комиссией института энергетики и природопользования, протокол № 6 от 10.04.2018 г.

© Брянский ГАУ, 2018

© Бычкова Т.В. 2018

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	4
Практическое задание №1. Имитационное моделирование для решения задач организационного управления	4
Практическое задание №2. Метод Монте-Карло	6
Практическое задание №3 Решение задач функционального (структурного) моделирования	12
Практическое задание №4 Решение задач схемотехнического моделирования	13
Практическое задание №5 Аналитическое моделирование электрических цепей.....	14
Практическое задание №6 Моделирования переходных процессов в электрических цепях.....	16
Практическое задание №7 Применение численных методов для решения задач анализа устройств и систем	19
Литература.....	20

Введение

В учебном пособии приведены задания для практических занятий по дисциплине «Математическое моделирование элементов электротехнических систем» для магистров, обучающихся по направлению 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника.

Дисциплина изучается в 3-м семестре и заканчивается сдачей дифференцированного зачета.

Общая трудоемкость дисциплины «Математическое моделирование элементов электротехнических систем» составляет 108 часов или 3 зачетных единицы трудоемкости. Виды и объем учебной работы представлены в таблице.

Вид занятий	Часы
Лекции	18
Практические занятия	18
Прием зачета	0,2
Контактная работа обучающихся с преподавателем	36,2
Самостоятельная работа	71,8
Итого	108

Рабочей программой дисциплины предусмотрено выполнение индивидуальных заданий, написание реферата и выступление с докладом. Программой дисциплины предусмотрены интерактивные формы обучения –презентации, обсуждением докладов на миниконференции, дискуссия.

Практическое задание №1 **Имитационное моделирование для решения задач** **организационного управления**

Рассмотрим простой пример вероятностной модели. Предположим, что в электрическую цепь подключены пять элементов, работающие независимо друг от друга. Вероятности выхода из строя каждого прибора приведены на схеме. Требуется с помощью имитационной модели определить вероятность выхода из строя всей системы.

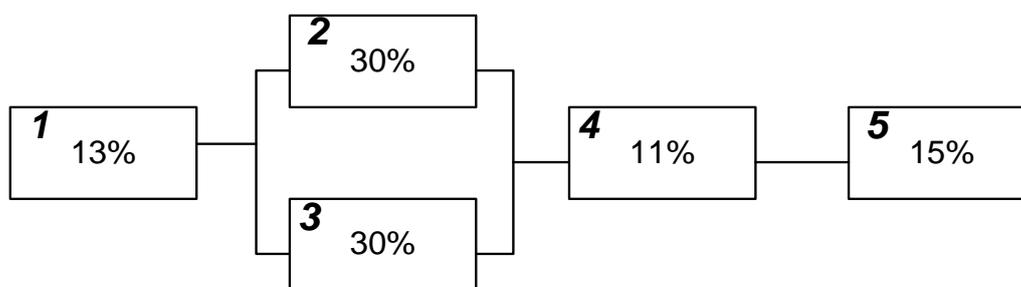


Рис.1 Схема подключения приборов

Очевидно, что система будет работать в том случае, когда работают приборы 1, 4, 5 и один из приборов 2 или 3.

При моделировании для каждого прибора необходимо предусмотреть случайные числа, равномерно распределенные в интервале от 0 до 99. При этом 13% этих чисел для 1-го прибора будут отображать 13%-ю вероятность выхода из строя 1-го прибора, 30% чисел – 30%-ю вероятность выхода из строя 2-го прибора и т.д. Таким образом, имея случайные числа в диапазоне от 1 до 100, экспериментальную таблицу можно представить следующим образом:

Таблица 1

Выход прибора из строя	1	2	3	4	5
Случайное число	0-13	0-30	0-30	0-11	0-15

Модель в среде табличного процессора Excel может выглядеть следующим образом:

Таблица 2

Случайные числа для прибора					Выход из строя прибора (1-вышел из строя)				Выход из строя системы
1	2	3	4	5	1	2 или 3	4	5	
65	21	13	54	86	0	1	0	0	1
11	33	23	22	26	1	0	0	0	1
72	27	36	88	14	0	0	0	1	1
83	25	71	81	68	0	0	0	0	0
27	74	56	44	69	0	0	0	0	0

Макет 1-3 строк данного листа Excel приведен ниже:

Случайные числа для прибора				
1	2	3	4	5
=СЛУЧМЕЖДУ(0;99)	=СЛУЧМЕЖДУ(0;99)	=СЛУЧМЕЖДУ(0;99)	=СЛУЧМЕЖДУ(0;99)	=СЛУЧМЕЖДУ(0;99)

Выход из строя прибора (1-вышел из строя)				Выход из строя системы
1	2 или 3	4	5	
=ЕСЛИ(A3>13;0;1)	=ЕСЛИ(И((B3<30);(C3<30));1;0)	=ЕСЛИ(D3>11;0;1)	=ЕСЛИ(E3>15;0;1)	=СУММ(F3:I3)

Выполнив определенное число экспериментов, можно с заданной точностью определить вероятность выхода из строя всей системы.

Практическое задание №2 Метод Монте-Карло

Пусть требуется определить площадь круга известного диаметра с помощью выборок из значений случайной величины. Впишем круг в квадрат; таким образом, стороны квадрата будут равны диаметру круга.

Пусть круг имеет радиус $r = 5$ см и его центр в точке $(0,0)$ (рис.2).

Уравнение окружности будет иметь вид

$$x^2 + y^2 = 25.$$

Описанный квадрат определяется его вершинами $(-5, 5)$, $(5, 5)$, $(5, -5)$ и $(-5, -5)$, которые получаются непосредственно из геометрических свойств фигуры.

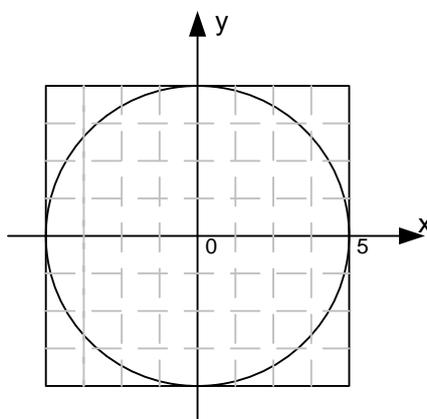


Рис. 2

Любая точка (x, y) внутри квадрата или на его границе должна удовлетворять неравенствам $-5 \leq x \leq 5$ и $-5 \leq y \leq 5$

Применение выборок при использовании метода Монте-Карло основано на предположении, что все точки в квадрате $-5 \leq x \leq 5$ и $-5 \leq y \leq 5$ могут появляться с одинаковой вероятностью, т. е. x и y распределены равномерно с плотностями вероятности

$$f(x) = \begin{cases} \frac{1}{10}, & -5 \leq x \leq 5 \\ 0, & \text{при остальных } x \end{cases}$$

$$f(y) = \begin{cases} \frac{1}{10}, & -5 \leq y \leq 5 \\ 0, & \text{при остальных } y \end{cases}$$

Определим теперь координаты точки (x, y) в соответствии с распределениями $f(x)$ и $f(y)$. Продолжая этот процесс, подсчитаем число точек, попавших внутрь круга или на окружность. Предположим, что выборка состоит из n наблюдений и m из n точек попали внутрь круга или на окружность. Тогда

$$\text{оценка площади круга} = m/n(\text{площадь квадрата}) = (m/n) \cdot (10 \cdot 10)$$

Подобный способ оценивания площади круга можно обосновать тем, что в процессе получения выборки любая точка (x, y) может с одинаковой вероятностью попасть в любое место квадрата. Поэтому отношение m/n представляет оценку площади круга относительно площади квадрата.

Использование Excel для постановки эксперимента

Для получения выборки случайных чисел с заданным распределением можно воспользоваться функцией «Генерация случайных чисел» из меню «Анализ данных» (рис.3).

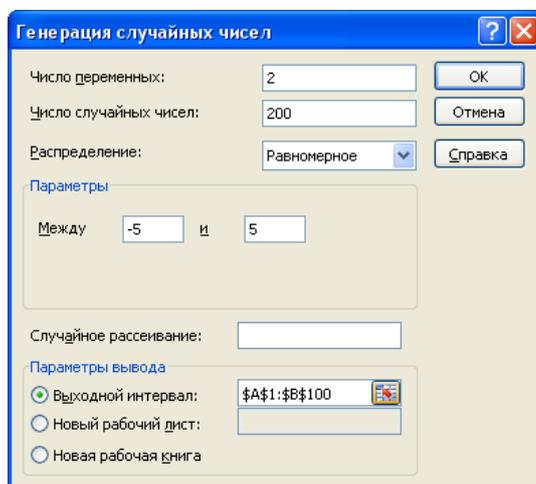


Рис. 3

	A	B	C
	- 2,69432660908841	-1,50318918424024	=ЕСЛИ(A1*A1+B1*B1<=25;1;0)
	0,6263924069948 42	-4,30265205847346	=ЕСЛИ(A2*A2+B2*B2<=25;1;0)
	- 4,60478530228584	-1,3075655384991	=ЕСЛИ(A3*A3+B3*B3<=25;1;0)
	- 4,74211859492782	0,307168797875912	=ЕСЛИ(A4*A4+B4*B4<=25;1;0)
	3,5735648670918 9	-4,41953794976653	=ЕСЛИ(A5*A5+B5*B5<=25;1;0)
...			
48	- 4,65086825159459	2,68517105624561	=ЕСЛИ(A148*A148+B148*B148<=25;1;0)
49	- 3,85921811578722	-4,19644764549699	=ЕСЛИ(A149*A149+B149*B149<=25;1;0)
50	2,4614703817865 5	3,33826715903195	=ЕСЛИ(A150*A150+B150*B150<=25;1;0)
51		число попаданий	=СУММ(C1:C150)
52		число наблюдений	=СЧЁТ(C1:C150)
53		площадь круга	=(C151/C152)*100

Рис. 4

Использование MathCad для постановки эксперимента

Для решения аналогичной задачи в системе MathCad можно воспользоваться программным модулем с использованием функции rnd(x), возвращающей случайное число в диапазоне от 0 до x. В данном модуле n – число наблюдений.

$$F(n) := \begin{cases} m \leftarrow 0 \\ \text{for } k \in 1..n \\ \quad \begin{cases} x \leftarrow \text{rnd}(10) \\ y \leftarrow \text{rnd}(10) \\ x \leftarrow x - 5 \\ y \leftarrow y - 5 \\ m \leftarrow m + 1 \text{ if } x^2 + y^2 \leq 25 \end{cases} \\ S \leftarrow \frac{m}{n} \cdot 100 \end{cases}$$

Использование Matlab для постановки эксперимента

Для решения данной задачи в системе Matlab можно воспользоваться следующей M-функцией:

```

function[s]=sum(n)
m=0;
for i=1:n
x=Random('unif',-5,5);
y=Random('unif',-5,5);
if x·x+y·y<=25
    m=m+1;
end;
end;
s=(m/n)·100;

```

Здесь параметр 'unif' функции Random позволяет получить равномерно распределенное случайное число.

Обработка результатов

Для изучения влияния статистической ошибки при моделировании задача решалась для различных значений n , равных 150, 200, 500, 1000, 2000, 5000 и 10 000. Кроме того, при каждом n было проведено 10 прогонов, в каждом из которых использовались различные последовательности случайных чисел из интервала $[-5, 5]$.

Табл. 3

Номер прогона	Оценки площади круга при данном числе испытаний n					
	150	200	500	1000	2000	5000
1	76	80,5	76	78,6	79,55	78,32
2	82	79,5	79,6	78,8	78,85	79,26
3	86	81,5	76,6	77,6	79,1	77,22
4	75	82	78,8	80	79,55	79,34
5	77	72	76,2	79,8	79,4	79,22
6	81	77,5	76,6	77,6	77,4	77,44
7	75	81,5	80,4	78,5	78,1	79,28
8	74	76,5	81,8	79,7	77,2	78,82
9	71	80,5	76,6	76,4	77,76	78,74
10	84	72	81,2	78	78,4	77,74
Среднее	78,1	78,35	78,38	78,5	78,531	78,538
Дисперсия	23,65556	14,28056	5,035111	1,306667	0,789499	0,658618

Расчетное значение

78,54

В таблице 2 приведены результаты эксперимента, исходя из которых можно сделать следующие заключения:

1. С ростом числа генерируемых точек (т. е. *продолжительности прогона модели*) оценки площади круга приближаются к точному значению (78,54 см²). На рис. 8 показаны оценки площади прогонов 1 и 2 в зависимости от продолжительности прогона n . Мы видим, что сначала оценки колеблются около точного значения, а затем стабилизируются. Это условие обычно достигается после повторения эксперимента достаточное количество раз. Наблюдаемое явление типично для результатов любой имитационной модели. Обычно в большинстве имитационных моделей нас интересуют результаты, полученные в стационарных условиях.

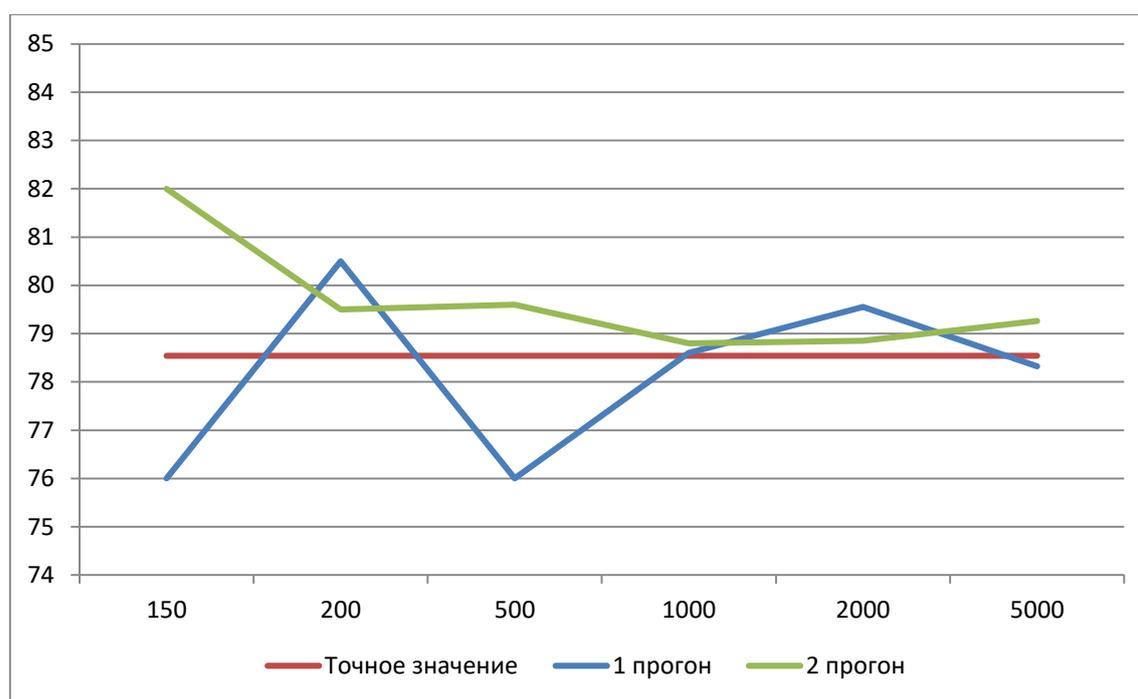


Рис. 8

2. Влияние переходных условий уменьшается, если *усреднить* результаты 10 серий. Это иллюстрирует рис. 5, на котором показана зависимость среднего от n . Кроме того, на рисунках видно, что для каждого n при достижении стационарных условий дисперсия убывает. При возрастании n от 150 до 200 дисперсия резко уменьшается с 23,66 до 14,25. За исключением этого интервала, столь резкого уменьшения дисперсии нигде больше не наблюдается. Последнее замечание указывает на то, что существует предел, за которым увеличение продолжительности прогона модели уже не дает существенного повышения *точности* результата, измеряемой дисперсией. Это замечание представляется чрезвычайно важным, поскольку затраты на эксплуатацию имитационной модели прямо пропорциональны продолжительности прогонов. Поэтому желательно найти компромисс между большой точностью (т. е. малой дисперсией) и небольшими затратами на процедуру получения результатов.

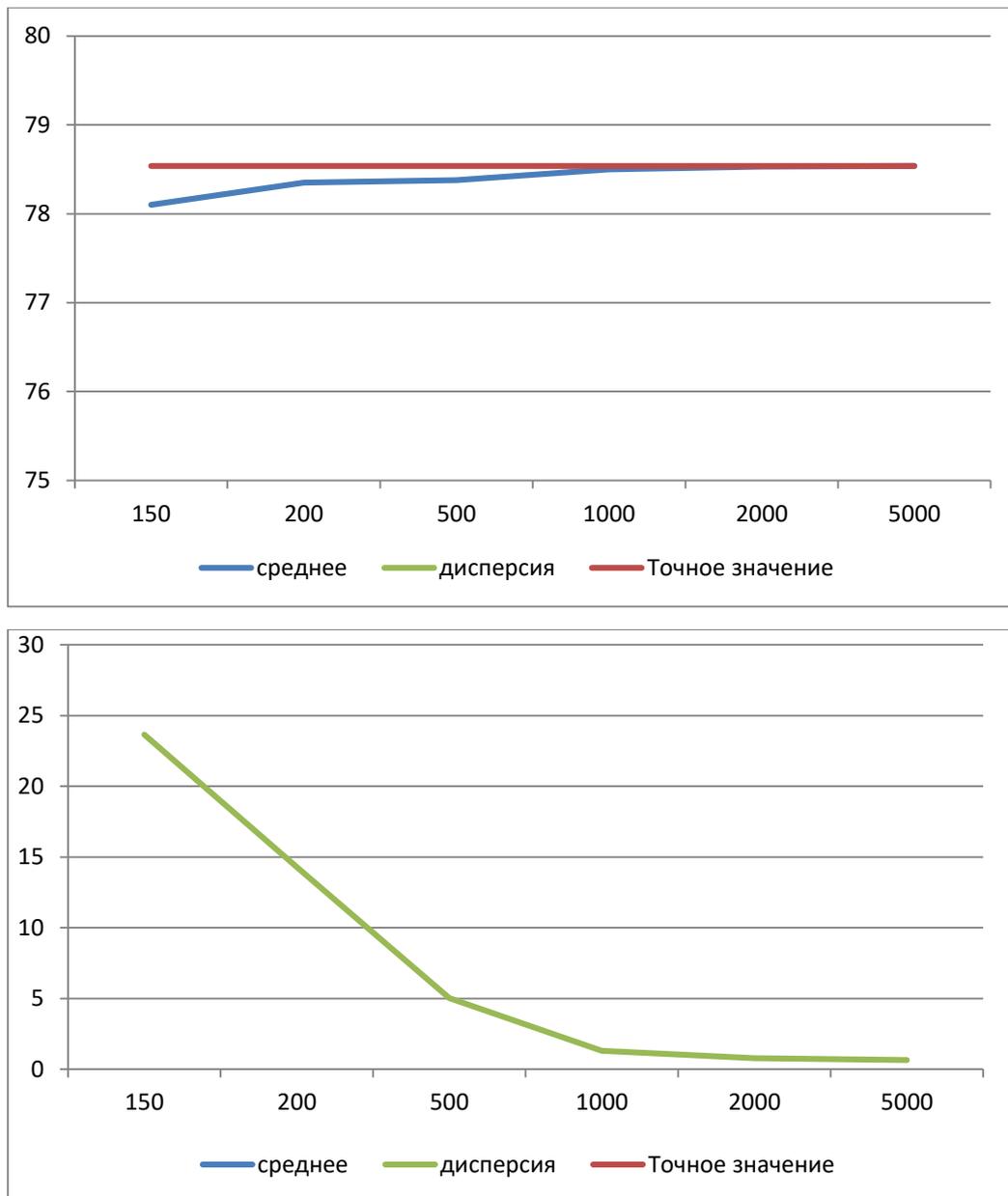


Рис. 9

3. Ввиду того что оценки площади имеют разброс, важно, чтобы результаты эксперимента, связанного с моделированием, были выражены в виде *доверительных интервалов*, показывающих величину отклонения от точного значений. В рассматриваемом примере, если A представляет собой точное значение площади, а \bar{A} и s^2 — среднее и дисперсию N наблюдений, то 100 $(1-\alpha)\%$ -ный доверительный интервал для A задается как

$$\bar{A} - \left(\frac{s}{\sqrt{N}}\right) t_{\frac{\alpha}{2}, N-1} \leq A \leq \bar{A} + \left(\frac{s}{\sqrt{N}}\right) t_{\frac{\alpha}{2}, N-1}$$

Практическое задание №3

Решение задач функционального (структурного) моделирования

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

Методом функционального моделирования реализовать моделирование напряжения на выходе электронного устройства, работающего на активную нагрузку. Привести график напряжения на временном интервале равном 10 периодам напряжения. Оценить правильность полученных результатов.

Вариант	Форма напряжения	Несимметрия полупериодов по амплитуде, %	Действующее напряжение E, В	Частота, Гц	Тип устройства
1.	Гармоническая	5	10	50	Выпрямитель однофазный однополупериодный
2.		10	20	400	Инвертор однофазный
3.		15	30	1000	Выпрямитель однофазный с нулевой точкой
4.		20	40	5000	Инвертор трехфазный
5.		25	50	10000	Выпрямитель однофазный мостовой
6.	Прямоугольная	5	10	50	Выпрямитель однофазный однополупериодный
7.		10	20	400	Инвертор однофазный
8.		15	30	1000	Выпрямитель однофазный с нулевой точкой
9.		20	40	5000	Инвертор трехфазный
10.		25	50	10000	Выпрямитель однофазный мостовой
11.	Треугольная	5	10	50	Выпрямитель однофазный однополупериодный
12.		10	20	400	Инвертор однофазный
13.		15	30	1000	Выпрямитель однофазный с нулевой точкой
14.		20	40	5000	Инвертор трехфазный
15.		25	50	10000	Выпрямитель однофазный мостовой

Практическое задание №4

Решение задач схемотехнического моделирования

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

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

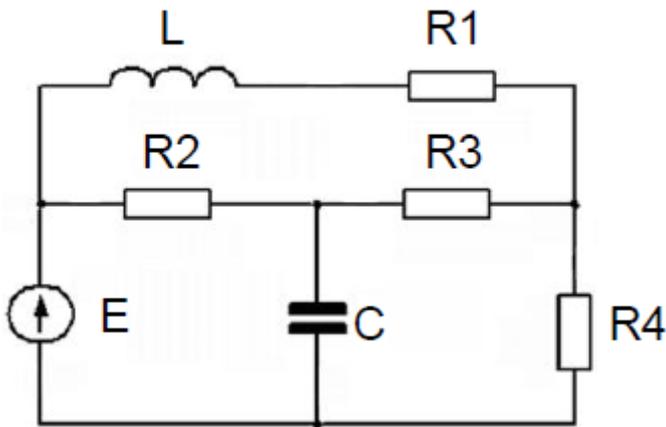
Вариант	Форма напряжения	Несимметрия Полупериодов по амплитуде, %	Действующее напряжение E , В	Внутреннее со- противление, Ом	Частота, Гц	Сопротивление нагрузки R_n , Ом
16.	Гармоническая	5	10	0,5	50	5
17.		10	20	0,2	400	4
18.		15	30	0,1	1000	3
19.		20	40	2	5000	20
20.		25	50	1	10000	10
21.	Прямоугольная	5	10	0,5	50	5
22.		10	20	0,2	400	4
23.		15	30	0,1	1000	3
24.		20	40	2	5000	20
25.		25	50	1	10000	10
26.	Треугольная	5	10	0,5	50	5
27.		10	20	0,2	400	4
28.		15	30	0,1	1000	3
29.		20	40	2	5000	20
30.		25	50	1	10000	10

Практическое задание №5

Аналитическое моделирование электрических цепей

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.

Расчитать аналитически реакцию цепи, представленной на рис. 1, на включение единичного источника ЭДС.



$$R1 = 10 \text{ Ом}, R2 = 400 \text{ Ом},$$

$$R3 = 5 \text{ Ом}, R4 = 800 \text{ Ом},$$

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

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

Изучить схему, выбор переменных состояний, направлений токов и напряжений.

Записать систему уравнений Кирхгофа в матричной форме $XD=0$, где 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).

Получить аналитическое решение задачи расчета переходного процесса.

Преобразовать исходную модель цепи $XD=0$, к виду $D0 \cdot X' = D1 \cdot x'$ и к модели цепи в пространстве состояний:

$$\frac{dx}{dt} = Ax + bE(t),$$

где

x – вектор переменных состояния, включающий токи индуктивностей и напряжения на конденсаторах;

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

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

$E(t)$ – ЭДС источника.

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 A ;
- функции «физически реализуемой» матричной экспоненты в исходном базисе.

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.

Задать численные значения параметров элементов схемы.

Построить графики переменных состояния при включении источника ЭДС.

Практическое задание №6

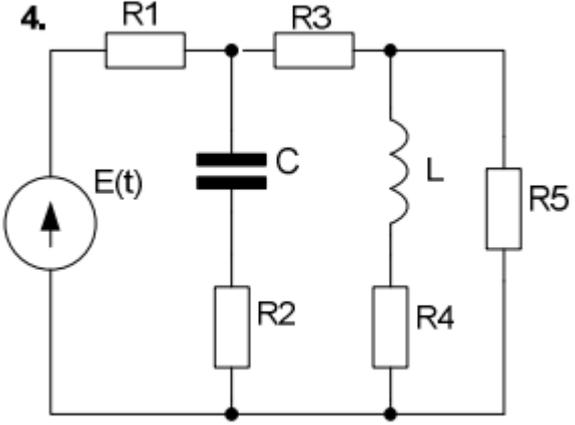
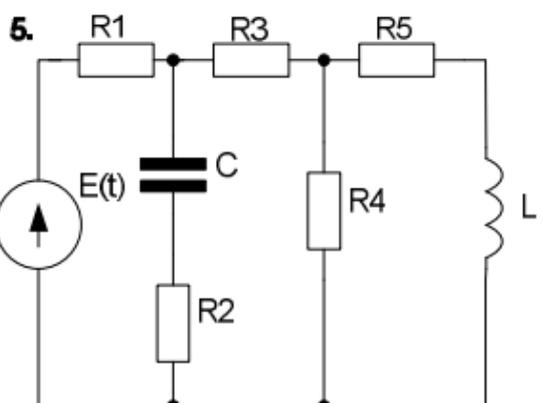
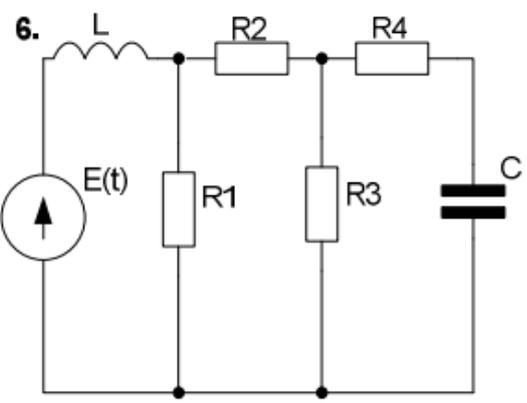
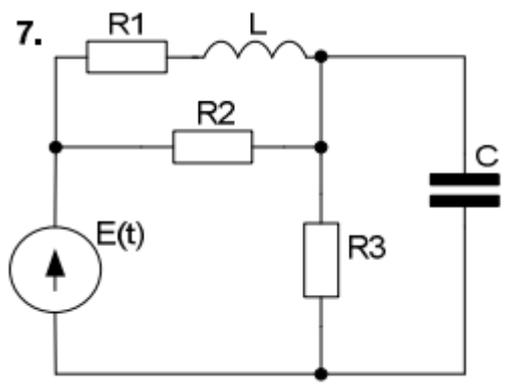
Моделирования переходных процессов в электрических цепях

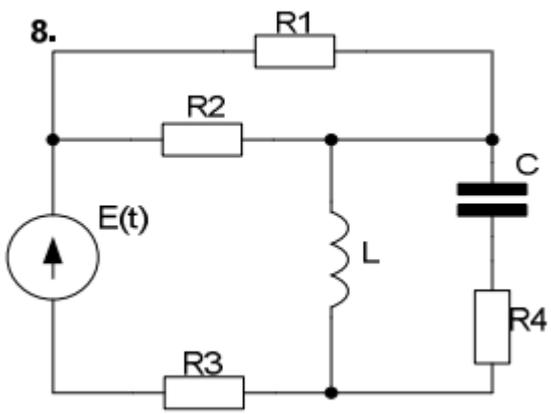
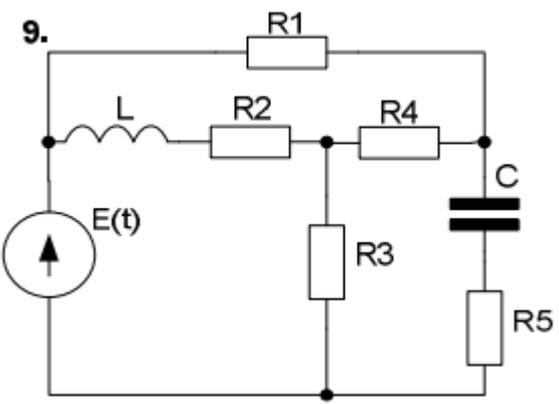
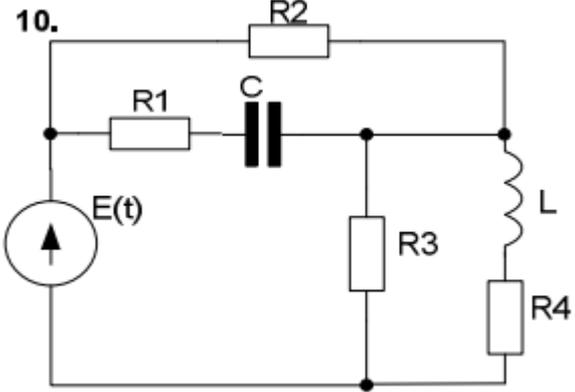
Индивидуальное задание

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: $L = 25$ мГн, $C = 1$ мкФ. Расчеты произвести в Excel, Matcad или Matlab.

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

Номер варианта и схема	Наблюдаемые переменные	
	Y_0	Y_1
<p>1.</p>	U_1	i_C
	U_2	i_4
	U_3	i_E
	U_L	i_4
<p>2.</p>	U_4	U_L
	U_3	i_5
	U_2	i_C
	U_5	i_3
<p>3.</p>	i_C	U_3
	U_2	U_L
	i_E	U_4
	U_1	R_2

<p>4.</p> 	i_1 i_C U_L U_4	U_3 U_5 U_2 i_5
<p>5.</p> 	i_1 i_C U_5 U_L	U_4 U_3 i_3 U_2
<p>6.</p> 	i_C U_2 i_E U_1	U_3 U_L U_4 U_2
<p>7.</p> 	U_1 U_2 U_3 U_L	i_C i_4 i_E i_4

<p>8.</p> 	U_1	i_C
	U_2	i_4
	U_3	i_E
	U_L	i_4
<p>9.</p> 	U_4	U_L
	U_3	i_5
	U_2	i_C
	U_5	i_3
<p>10.</p> 	i_C	U_3
	U_2	U_L
	i_E	U_4
	U_1	R_2

Практическое задание №7

Применение численных методов для решения задач анализа устройств и систем

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.

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

С использованием системы Matlab:

- 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.

Вариант	Объект моделирования
1.	Однофазный трансформатор
2.	Трехфазный трансформатор
3.	Однофазный выпрямитель со сглаживающим фильтром
4.	Однофазный нулевой выпрямитель со сглаживающим фильтром
5.	Однофазный трансформатор с нулевой точкой
6.	Трехфазный нулевой выпрямитель
7.	Трехфазный мостовой выпрямитель
8.	Однофазный инвертор напряжения
9.	Трехфазный инвертор напряжения
10.	Управляемый однофазный мостовой выпрямитель
11.	Электронный двигатель постоянного тока
12.	Асинхронный двигатель
13.	Трехфазный генератор с внутренним сопротивлением и не симметрией фаз
14.	Однофазный мостовой выпрямитель со сглаживающим фильтром
15.	Управляемый однофазный выпрямитель с нулевой точкой

Рекомендуемая литература

№	Авторы, составители	Заглавие	Издательство	Кол-во
Основная литература				
Л1.1	Лыкин А.В.	Математическое моделирование электрических систем и их элементов http://www.studmed.ru/lykin-av-matematicheskoe-modelirovanie-elektricheskikh-sistem-i-ih-elementov_3951940ff2f.html#	Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2009. 228 с.	ЭБС
Л1.2	Трусов П.В., Ашихмин В.Н.	Введение в математическое моделирование https://rucont.ru/efd/178033	М.: Логос, 2007. 439 с.	ЭБС
Л1.3	Букреев В.Г., Зайцев А.П., Богданов А.А.	Моделирование в электроприводе (Часть 1) https://ru.b-ok.cc/book/3152955/50f5e8	Томск: Изд-во Том. политех. ун-та, 2002. 114 с.	ЭБС
Л1.4	Кубланов М.С.	Математическое моделирование. Методология и методы разработки математических моделей механических систем и процессов. Ч. I. Моделирование систем и процессов. http://bourabai.ru/library/Kublanov2004.pdf	М.: МГТУ ГА, 2004. 108 с.	ЭБС
Л1.5	Фурсов В.Б.	Моделирование электропривода https://e.lanbook.com/reader/book/121467/#1	СПб: Лань, 2019. 220 с.	ЭБС
Дополнительная литература				
	Авторы, составители	Заглавие	Издательство	Кол-во
Л2.1	Тарасик В.П.	Математическое моделирование технических систем. https://e.lanbook.com/book/4324 .	Минск: Новое знание, 2013. 584 с.	ЭБС
Л2.2	Голубева Н.В.	Математическое моделирование систем и процессов. https://e.lanbook.com/book/76825	СПб: Лань, 2016. 192 с.	ЭБС
Л2.3	Шилин А.Н., Крутякова О.А.	ЦИФРОВОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ И ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ https://monographies.ru/en/book/view?id=265	Академия Естественных наук, 2013.	ЭБС
Л2.4	Чикуров Н.Г.	Моделирование систем и процессов: учеб. пособие для вузов	М.: РИОР; Инфра-М, 2013. 398 с.	10

Л2.5	Васильков Ю.В.	Компьютерные технологии вычислений в математическом моделировании: учеб. пособие для вузов	М.: Финансы и статистика, 2004. 256 с.	30
Л2.6	Мелихова Е.В.	Применение комплексов программ Mathcad для решения задач математического моделирования: учеб. пособие. https://e.lanbook.com/book/100828 .	Волгоград: Волгоградский ГАУ, 2016. 140 с.	ЭБС
Л2.7	Терехин В.Б.	Моделирование систем электропривода в Simulink (Matlab 7.0.1) https://ru.b-ok.cc/book/3352456/aa7faa	Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008. 320 с.	ЭБС
Методические пособия				
	Авторы, составители	Заглавие	Издательство, год издания	Кол-во
Л3.1	Петракова Н.В.	Основы математического моделирования. Модели. Методы. Примеры	Брянск: Изд-во Брянская ГСХА, 2011. 162 с.	10
Л3.2	Петракова Н.В., Везубова Н.А., Безик Д.А., Жиряков А.В.	Решение прикладных задач средствами табличного процессора: электронное учебно-методическое пособие http://www.bgsha.com/upload/iblock/8ae/petra kova-eup.pdf	Государственная академия наук Российская академия образования Институт научной информации и мониторинга, объединенный фонд электронных ресурсов «Наука и образование», № 18171. 27.04.12. 241 с.	ЭБС

Учебное издание

Бычкова Татьяна Викторовна

Математическое моделирование элементов электротехнических систем

**Учебное пособие
для практических занятий и самостоятельной работы
магистров очной и заочной формы,
обучающихся по направлению подготовки
13.04.02 Электроэнергетика и электротехника**

Редактор Павлютина И.П.

Подписано к печати 08.11.2019 г. Формат 60x84. 1/16.
Бумага офсетная. Усл. п. л. 1,27. Тираж 25 экз. Изд. № 6535.

Издательство Брянского государственного аграрного университета
243365, Брянская обл., Выгоничский район, с. Кокино, Брянский ГАУ