

Министерство образования и науки Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

Кафедра автоматизированного электропривода,
электромеханики и электротехники

Н.Г.Семенова, Н.Ю.Ушакова, Л.В.Быковская

РАСЧЕТ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ И МАГНИТНЫХ ЦЕПЕЙ

Рекомендовано к изданию Редакционно-издательским советом федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Оренбургский государственный университет» в качестве методических указаний для студентов, обучающихся по программам высшего образования по направлению 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Оренбург

2016

УДК 621.3.01(07)
ББК 31.21я7
С 93

Рецензент - кандидат технических наук, доцент В.М. Вакулюк

С 93 **Семенова, Н.Г.**
Расчет и моделирование электрических и магнитных цепей:
методические указания / Н.Г. Семенова, Н.Ю.Ушакова,
Л.В.Быковская; Оренбургский гос. ун-т. – Оренбург: ОГУ, 2016. – 61
с.

Методические указания содержат задания к курсовой работе по дисциплине «Теоретические основы электротехники», краткие теоретические сведения.

Методические указания предназначены для студентов, обучающихся по направлению 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника, может быть использована студентами, обучающимися по другим направлениям подготовки и специальностям.

УДК 621.3.01(07)
ББК 31.21я7

© Семенова Н.Г.,
Ушакова Н.Ю.,
Быковская Л.В., 2016
© ОГУ, 2016

Содержание

Введение.....	4
1 Требования к оформлению курсовой работы.....	5
2 Задание № 1. Исследование магнитной цепи постоянного магнитного потока.....	7
3 Задание № 2. Исследование трехфазной цепи со статической нагрузкой	16
4 Задание № 3. Исследование аварийного режима в трехфазной цепи методом симметричных составляющих.....	22
5 Задание № 4. Исследование переходного процесса в линейной электрической цепи	26
6 Указания и примеры.....	36
6.1 Использование системы MathCad для расчета магнитных цепей.....	36
6.2 Основные формулы и алгоритмы, векторные диаграммы для трехфазных цепей.....	43
7 Моделирование электрических и электронных схем в инструментальной среде Electronics Workbench.....	46
Список использованных источников.....	60
Приложение А – Пример оформления задания на курсовую работу	61

Введение

Успешное изучение дисциплины «Теоретические основы электротехники» (ТОЭ), являющейся теоретической базой для изучения комплекса специальных электротехнических дисциплин, возможно только при активной самостоятельной работе студентов. Курсовая работа является важнейшим элементом самостоятельной работы по ТОЭ. Основной целью курсовой работы является создание и развитие навыков исследовательской работы, умения работать с научной литературой, делать на основе ее изучения выводы и обобщения, умения эффективно использовать вычислительную технику и современное программное обеспечение.

Курсовая работа направлена на формирование у студента следующих профессиональных компетенций:

- способность использовать методы анализа линейных электрических цепей;
- способность привлечь для решения профессиональных задач соответствующий физико-математический аппарат;
- способность и готовность использовать информационные технологии в своей предметной области;
- готовность понимать существо задач анализа объектов в технической среде.

Задание к курсовой работе включает задачи по наиболее важным для студентов направления «Электроэнергетика и электротехника» разделам ТОЭ.

1 Требования к оформлению курсовой работы

1.1 Курсовая работа выполняется на листах формата А4 (210x297 мм) в соответствии со стандартом ОГУ СТО 02069024. 101 – 2015 РАБОТЫ СТУДЕНЧЕСКИЕ. Общие требования и правила оформления. Она должна содержать следующие структурные элементы:

- титульный лист;
- задание;
- содержание;
- расчетная и графическая части;
- список использованных источников.

1.2 Титульный лист является первым листом курсовой работы. На титульном листе указывают классификационный код. Последние три цифры в классификационном коде соответствуют трем последним цифрам номера зачетной книжки. Переносы слов в надписях титульного листа не допускаются.

1.3 Бланк задания следует помещать после титульного листа. Задание должно содержать исходные данные и срок выполнения курсовой работы с подписями руководителя и исполнителя.

Пример оформления бланка задания приведен в приложении А.

1.4 Оформление расчетной и графической части

1.4.1 Курсовая работа может быть выполнена либо на компьютере с применением текстового редактора MS Word, либо в рукописном виде, при этом текстовая часть, формулы, графики, диаграммы выполняются чернилами черного цвета или тушью.

1.4.2 На каждой странице курсовой работы следует чертить рамку, ее размеры: слева - 20 мм; справа, снизу, сверху - 5 мм.

1.4.3 Страницы курсовой работы следует нумеровать арабскими цифрами, соблюдая сквозную нумерацию по всему тексту.

1.4.4 К оформлению пояснительной записки, выполненной на компьютере, предъявляются следующие требования:

- ориентация страниц - книжная;
- шрифт Times New Roman 14 pt с одинарным или полуторным межстрочным интервалом;
- отступ первой строки 1,25 см;
- автоматическая расстановка переносов;
- размеры шрифта для формул: обычный – 14 pt; индекс – 10 pt.

1.4.5 При выполнении расчетной и графической частей пояснительной записки необходимо выполнять следующие требования:

- полностью написать условия заданий;
- начертить электрическую схему в соответствии с ЕСКД;
- в ходе выполнения задания принятые направления токов, напряжений, обозначения узлов и элементов цепи изменять нельзя;
- выполнение задания следует кратко комментировать;
- при выполнении расчетов сначала приводится формула, затем в нее подставляются числовые значения без размерностей, затем приводится результат с указанием размерности;
- вычисления должны быть сделаны с точностью до трех значащих цифр после запятой;
- векторные, топографические диаграммы и графики необходимо строить в масштабе;
- расчеты в Mathcad приводить либо в приложениях, либо по тексту как рисунок;

1.4.6 Номера вариантов заданий курсовой работы задает ведущий преподаватель.

2 Задание № 1. Исследование магнитной цепи постоянного магнитного потока

По данным таблицы 2.2 выполнить следующее:

- 1) рассчитать магнитную цепь методом двух узлов и определить величины, указанные в последнем столбце таблицы 2.2;
- 2) провести математическое моделирование заданной магнитной цепи в системе Mathcad, сравнить полученные результаты с пунктом 1.

В таблице 2.2. приняты следующие обозначения:

l - длина средней магнитной линии одной ветви магнитной цепи;

l_{δ} - длина воздушного зазора ;

S – сечение участков магнитопровода;

W – число витков катушек;

I – величина постоянного тока в катушке;

Φ – величина магнитного потока.

Обозначения величин даются с индексами, которые указывают, к какой ветви магнитной цепи относится величина:

1 – левая ветвь магнитной цепи;

2 – средняя ветвь магнитной цепи;

3 – правая ветвь магнитной цепи.

Магнитные свойства стали, из которого изготовлены магнитопроводы, определяются кривой намагничивания, которая дана в таблице 2.1:

Таблица 2.1

H, А/м	20	40	60	80	120	200	400	600	800	1200
B, Тл	0,22	0,75	0,93	1,02	1,14	1,28	1,47	1,53	1,57	1,6

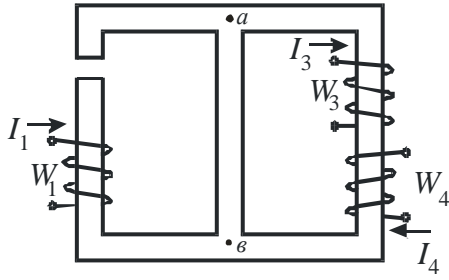


Рисунок 2.1

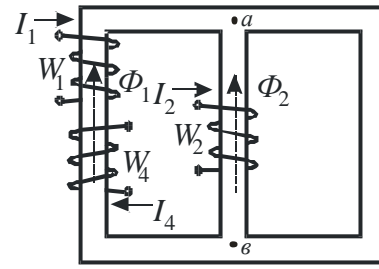


Рисунок 2.2

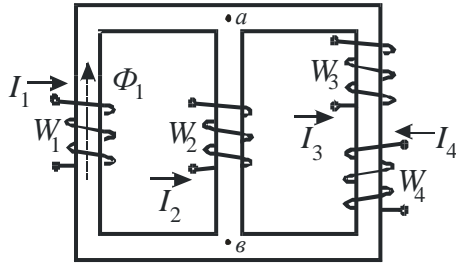


Рисунок 2.3

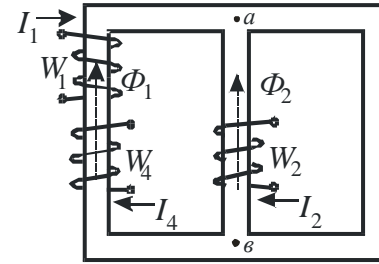


Рисунок 2.4

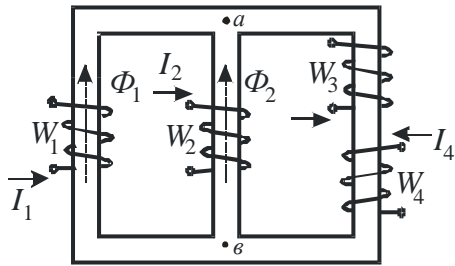


Рисунок 2.5

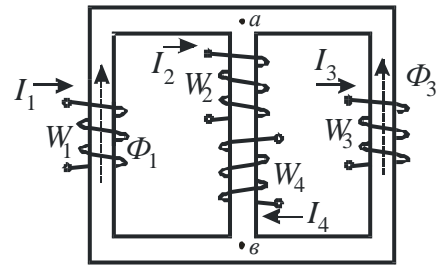


Рисунок 2.6

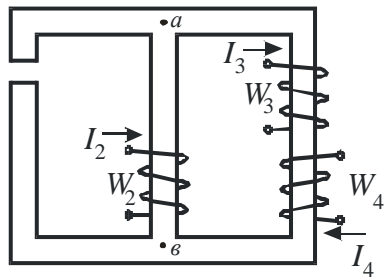


Рисунок 2.7

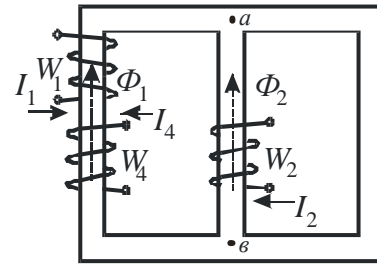


Рисунок 2.8

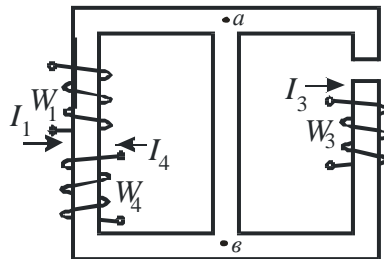


Рисунок 2.9

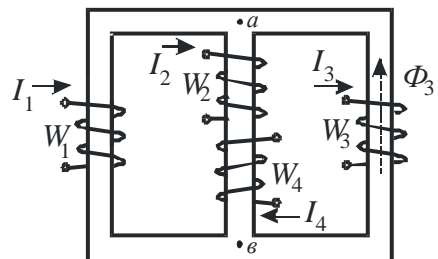


Рисунок 2.10

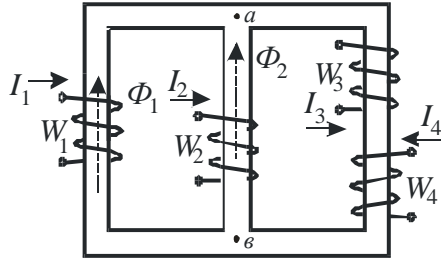


Рисунок 2.11

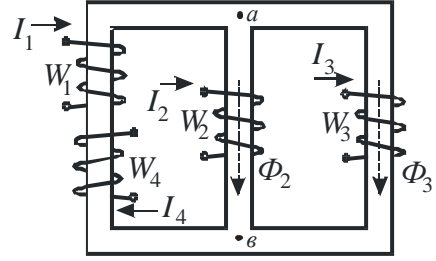


Рисунок 2.12

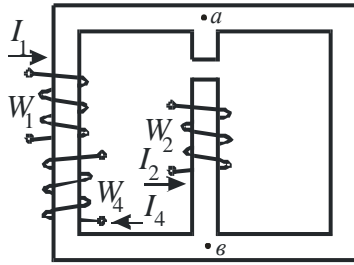


Рисунок 2.13

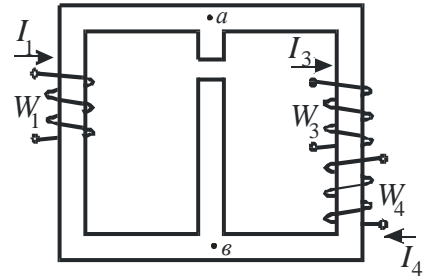


Рисунок 2.14

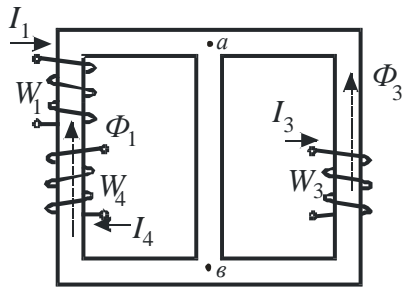


Рисунок 2.15

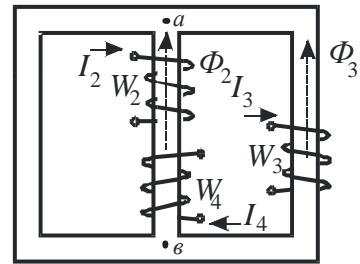


Рисунок 2.16

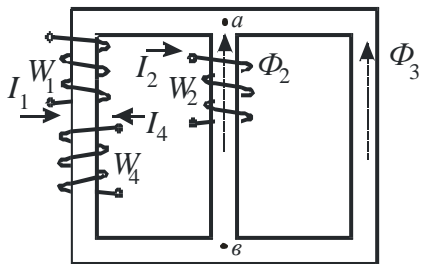


Рисунок 2.17

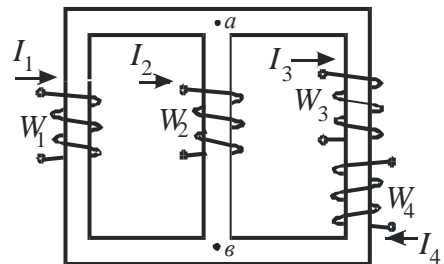


Рисунок 2.18

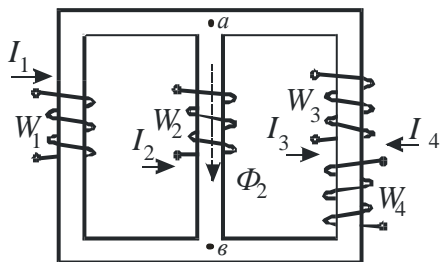


Рисунок 2.19

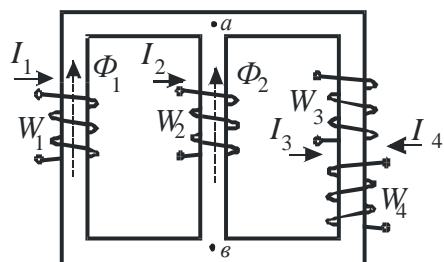


Рисунок 2.20

Таблица 2.2 – Исходные данные

Вариант	Рисунок	Дано															Дополнительные условия, $\Phi \cdot 10^{-5}, Вб$	Определить
		$l_1, см$	$S_{l_1}, см^2$	W_1	$I_1, А$	$l_2, см$	$S_{l_2}, см^2$	W_2	$I_2, А$	$l_3, см$	$S_{l_3}, см^2$	W_3	$I_3, А$	W_4	$I_4, А$	$l_\delta, мм$		
1	2.1	25	4	505	0,9	14	6,15	-	-	25	3,9	625	0,2	625	0,2	0,5	-	Φ_3, Φ_2
2	2.2	90	6	360	0,3	30	4	200	-	90	9,7	-	-	360	0,2	-	$\Phi_1 = \Phi_2$	Φ_3, I_2
3	2.5	25	4,15	150	0,2	8	4	300	-	35	5,95	70	0,525	30	0,525	-	$\Phi_2 = 0$	Φ_1, I_2
4	2.6	40	8	210	0,5	22,5	14	100	0,1	30	10	975	-	50	0,4	-	$\Phi_3 - \Phi_1 = 20$	Φ_3, I_3
5	2.9	40	15	400	0,5	20	10,3	-	-	40	15	800	0,25	100	1	1	-	Φ_3, Φ_1
6	2.12	16	7,8	105	0,3	5,5	4,9	300	0,07	23	4,2	150	-	50	0,6	-	$\Phi_2 - \Phi_3 = 20$	Φ_3, I_3
7	2.14	65	71	520	0,5	22	84	-	-	62	62	360	0,5	50	1	1,25	-	Φ_2, Φ_1
8	2.15	48	24,9	300	1	30	51,5	-	-	52	51,5	300	-	200	0,25	-	$\Phi_1 = \Phi_3$	Φ_2, I_3
9	2.3	13	2,05	60	-	3	0,94	1000	0,02	11	1,18	100	0,15	46	0,1	-	$\Phi_1 = 25$	Φ_3, I_1
10	2.4	45	3,1	100	0,3	14	5,3	390	-	35	7,8	-	-	200	0,15	-	$\Phi_2 - \Phi_1 = 20$	Φ_2, I_2
11	2.7	19,5	7,7	-	-	10	2,1	200	0,5	24,5	1,8	500	0,2	125	0,4	0,1	-	Φ_2, Φ_1
12	2.10	26	7,9	145	1	11	13,6	52	0,5	39	7,2	2000	-	50	0,5	-	$\Phi_3 = 98$	Φ_2, I_3
13	2.11	35	4,1	19	1	6	6,3	275	-	25	9,6	200	0,2	200	0,2	-	$\Phi_2 - \Phi_1 = 20$	Φ_3, I_2
14	2.13	100	104	125	2	28	182	125	2,8	95	200	-	-	100	0,5	0,48	-	Φ_3, Φ_1
15	2.16	40	11,8	-	-	13	11	60	2,2	50	9,3	520	-	80	1,1	-	$\Phi_2 = \Phi_3$	Φ_2, I_3
16	2.8	30	5,6	150	0,2	10	5	200	-	18	8,9	-	-	200	0,1	-	$\Phi_1 = \Phi_2$	Φ_3, I_2
17	2.5	15	3,8	60	0,5	13	2	300	-	20	4,8	100	0,3	300	0,075	-	$\Phi_2 = 0$	Φ_1, I_2

Продолжение таблицы 2.2

Вариант	Рисунок	Дано															Дополнительные условия, $\Phi \cdot 10^{-5}, Вб$	Определить
		$l_1, см$	$S_{1,2}, см^2$	W_1	$I_1, А$	$l_2, см$	$S_{2,2}, см^2$	W_2	$I_2, А$	$l_3, см$	$S_{3,2}, см^2$	W_3	$I_3, А$	W_4	$I_4, А$	$l_\delta, мм$		
18	2.6	37,5	7,8	200	0,525	13	12,8	100	0,2	37,5	10,5	975	-	40	0,25	-	$\Phi_3 - \Phi_1=20$	I_3, Φ_2
19	2.9	35	14,6	600	0,3	18	10,2	-	-	40	15	1000	0,2	240	0,5	1	-	Φ_3, Φ_1
20	2.12	20	8,2	515	0,1	7	5,2	105	0,2	17	3,6	150	-	200	0,05	-	$\Phi_2 - \Phi_3=20$	Φ_1, I_3
21	2.14	58	58	200	1,3	19	84	-	-	55	55	375	0,4	100	0,8	1,25	-	Φ_2, Φ_1
22	2.15	45	24,7	500	0,5	27	50,4	-	-	48	47,5	300	-	100	1	-	$\Phi_1 = \Phi_3$	Φ_1, I_3
23	2.3	10	1,92	100	-	4,5	1,015	200	0,1	14	1,26	68	0,2	60	0,1	-	$\Phi_1=25$	Φ_2, I_1
24	2.4	38	2,97	300	0,15	11	4,9	390	-	43	8,25	-	-	50	0,3	-	$\Phi_2 - \Phi_1=20$	Φ_3, I_2
25	2.7	29,8	8,2	-	-	13	2,2	1000	0,1	25	1,82	100	0,75	50	1,5	0,1	-	Φ_3, Φ_2
26	2.8	32	6	75	0,4	10	5	200	-	20	9	-	-	100	0,2	-	$\Phi_1 = \Phi_2$	Φ_2, I_2
27	2.10	32	8,1	725	0,2	12,5	14,1	100	0,3	33	6,9	2000	-	140	0,15	-	$\Phi_3=98$	I_3, Φ_1
28	2.11	30	4	38	0,5	10	7	275	-	30	10	300	0,2	200	0,1	-	$\Phi_2 - \Phi_1=20$	Φ_2, I_2
29	2.13	110	105	400	0,5	27	177	175	2	100	240	-	-	100	1	0,46	-	Φ_1, Φ_2
30	2.16	48	12,1	-	-	16	12,9	120	1	43	8,8	520	-	200	0,5	-	$\Phi_2 = \Phi_3$	Φ_1, I_3
31	2.1	40	4,1	455	1	10	6	-	-	40	4,15	125	1	125	1	0,5	-	Φ_3, Φ_1
32	2.5	30	4,3	200	0,15	10	8	300	-	20	4,8	100	0,35	50	0,35	-	$\Phi_2=0$	Φ_1, I_2
33	2.6	40	8	420	0,25	15	13	125	0,2	30	10	975	-	50	0,1	-	$\Phi_3 - \Phi_1=20$	Φ_1, I_3
34	2.9	48	15,6	1000	0,2	20	10,3	-	-	40	15	800	0,25	250	0,04	1	-	Φ_3, Φ_2

Продолжение таблицы 2.2

Вариант	Рисунок	Дано															Дополнительные условия, $\Phi \cdot 10^{-5}, Вб$	Определить
		$l_1, см$	$S_{1,2}, см^2$	W_1	$I_1, А$	$l_2, см$	$S_{2,2}, см^2$	W_2	$I_2, А$	$l_3, см$	$S_{3,2}, см^2$	W_3	$I_3, А$	W_4	$I_4, А$	$l_\delta, мм$		
35	2.12	17	7,9	400	0,1	5	4,8	420	0,05	26	4,4	150	-	43	0,5	-	$\Phi_2 - \Phi_3=20$	I_3, Φ_2
36	2.14	60	60	400	0,65	20	84	-	-	60	60	300	0,575	50	1,15	1,25	-	Φ_2, Φ_1
37	2.15	50	25	400	0,7	28	51	-	-	50	50	300	-	200	0,35	-	$\Phi_1 = \Phi_3$	Φ_1, I_3
38	2.3	12	2	100	-	4	1	500	0,04	12	1,2	150	0,1	92	0,05	-	$\Phi_1=25$	Φ_3, I_1
39	2.4	40	3	200	0,2	12	5	390	-	40	8	-	-	200	0,1	-	$\Phi_2 - \Phi_1=20$	Φ_2, I_2
40	2.7	20	8	-	-	7	2	500	0,2	20	1,78	400	0,3	50	0,6	0,1	-	Φ_2, Φ_3
41	2.10	30	8	1450	0,1	12	14	104	0,25	35	7	2000	-	50	0,5	-	$\Phi_3=98$	Φ_3, I_3
42	2.11	25	3,8	76	0,25	12	7,6	275	-	32	10,1	100	0,5	120	0,25	-	$\Phi_2 - \Phi_1=20$	I_2, Φ_1
43	2.13	85	100	2000	0,1	33	200	500	0,7	85	100	-	-	500	0,2	0,52	-	Φ_1, Φ_2
44	2.16	45	12	-	-	15	12	350	0,4	45	9	520	-	400	0,2	-	$\Phi_2=\Phi_3$	I_3, Φ_3
45	2.1	30	4	300	1,52	10	6	-	-	30	4	50	2,5	50	2,5	0,5	-	Φ_2, Φ_1
46	2.2	100	6,15	300	0,3	33	4,2	200	-	100	10	-	-	300	0,3	-	$\Phi_2 = \Phi_1$	I_2, Φ_3
47	2.5	30	4,3	300	0,1	12	6	300	-	20	4,8	100	0,42	50	0,21	-	$\Phi_2=0$	Φ_3, I_2
48	2.6	30	7,3	105	1	11,5	12,3	50	0,3	22,5	10	975	-	100	0,15	-	$\Phi_3 - \Phi_1=20$	I_3, Φ_1
49	2.9	32	14,4	300	0,75	25	10,5	-	-	40	15	200	1	50	1,5	1	-	Φ_2, Φ_3
50	2.12	19	8,1	300	0,15	6,5	5,1	210	0,1	15	3,2	150	-	165	0,1	-	$\Phi_2 - \Phi_3=20$	Φ_1, I_3
51	2.14	55	55	260	1	18	84	-	-	57	57	200	1	60	0,5	1,25	-	Φ_3, Φ_2

Продолжение таблицы 2.2

Вариант	Рисунок	Дано															Дополнительные условия, $\Phi \cdot 10^{-5}, Вб$	Определить
		$l_1, см$	$S_{1,2}, см^2$	W_1	$I_1, А$	$l_2, см$	$S_{2,2}, см^2$	W_2	$I_2, А$	$l_3, см$	$S_{3,2}, см^2$	W_3	$I_3, А$	W_4	$I_4, А$	$l_\delta, мм$		
52	2.15	55	25,3	500	0,5	25	50	-	-	47	45,5	300	-	100	1	-	$\Phi_1 = \Phi_3$	I_3, Φ_3
53	2.12	18	8	205	0,2	6	5	210	0,1	20	4	150	-	410	0,05	-	$\Phi_2 - \Phi_3 = 20$	Φ_2, I_3
54	2.14	63	66,5	650	0,4	21	84	-	-	65	65	100	1,15	50	2,3	1,25	-	Φ_2, Φ_3
55	2.15	52	25,2	600	0,35	29	51	-	-	55	55,3	300	-	200	0,7	-	$\Phi_1 = \Phi_3$	Φ_2, I_3
56	2.3	14	2,07	100	-	5	1,03	100	0,2	10	1,14	300	0,05	46	0,1	-	$\Phi_1 = 25$	Φ_2, I_1
57	2.4	42	3,07	400	0,1	13	5,14	390	-	37	7,9	-	-	100	0,2	-	$\Phi_2 - \Phi_1 = 20$	I_2, Φ_3
58	2.7	42,5	9	-	-	20	2,4	50	2	40,5	2	100	1	250	0,2	0,1	-	Φ_1, Φ_3
59	2.10	34	8,3	290	0,5	13	14,2	155	0,2	31	6,8	2000	-	200	0,1	-	$\Phi_3 = 98$	I_3, Φ_2
60	2.11	32	4,06	76	0,25	14	8,3	275	-	35	10,4	500	0,1	150	0,2	-	$\Phi_2 - \Phi_1 = 20$	I_2, Φ_3
61	2.13	90	100	100	2	30	188	700	0,5	90	100	-	-	100	1	0,5	-	Φ_1, Φ_2
62	2.16	50	12,1	-	-	17	14	340	0,5	40	8,6	520	-	200	0,25	-	$\Phi_2 = \Phi_3$	Φ_2, I_3
63	2.1	20	4	413	1,1	12	6,06	-	-	38	4,05	200	1	50	1	0,5	-	Φ_2, Φ_1
64	2.2	80	5,7	200	0,5	25	3,9	200	-	80	9,5	-	-	40	2	-	$\Phi_2 = \Phi_1$	Φ_1, I_2
65	2.5	20	4	100	0,3	10	8	300	-	30	5,6	150	0,21	50	0,42	-	$\Phi_2 = 0$	I_2, Φ_3
66	2.6	33,5	7,6	500	0,21	12	12	400	0,05	45	11,3	975	-	20	0,5	-	$\Phi_3 - \Phi_1 = 20$	Φ_1, I_3
67	2.9	45	15,4	200	1	22	10,4	-	-	40	15	400	0,5	200	0,5	1	-	Φ_1, Φ_2
68	2.3	11	1,95	100	-	3,5	0,965	400	0,05	13	1,25	55	0,3	20	0,155	-	$\Phi_1 = 25$	I_1, Φ_2

Продолжение таблицы 2.2

Вариант	Рисунок	Дано															Дополнительные условия, $\Phi \cdot 10^{-5}, Вб$	Определить
		$l_1, см$	$S_{l_1}, см^2$	W_1	$I_1, А$	$l_2, см$	$S_{l_2}, см^2$	W_2	$I_2, А$	$l_3, см$	$S_{l_3}, см^2$	W_3	$I_3, А$	W_4	$I_4, А$	$l_\delta, мм$		
69	2.4	35	2,9	140	0,25	10	4,75	390	-	45	8,33	-	-	50	0,5	-	$\Phi_2 - \Phi_1 = 20$	I_2, Φ_1
70	2.7	13,5	7,5	-	-	4,32	1,9	100	1	19,8	1,75	200	0,5	200	0,25	0,1	-	Φ_1, Φ_3
71	2.10	28	7,95	290	0,5	11,5	13,8	26	1	37	7,1	2000	-	50	0,5	-	$\Phi_3 = 98$	Φ_2, I_3
72	2.11	28	3,9	38	0,5	8	6,8	275	-	28	9,9	220	0,25	200	0,125	-	$\Phi_2 - \Phi_1 = 20$	Φ_2, I_2
73	2.13	70	97	550	0,4	35	220	250	1,4	70	92	-	-	200	0,4	0,57	-	Φ_2, Φ_3
74	2.16	43	11,9	-	-	14	11,5	100	1,1	48	9,1	520	-	200	0,55	-	$\Phi_3 = \Phi_2$	I_3, Φ_1
75	2.17	35	40	100	1	10	13,7	-	0,3	30	14,2	-	-	25	2	-	$\Phi_2 = \Phi_3$	W_2, Φ_2
76	2.18	35	4,3	215	1	10	4,8	-	0,1	20	4,4	600	0,1	200	0,2	-	$\Phi_2 = 0$	W_2, Φ_1
77	2.8	18	4,9	100	0,25	10	5	-	0,2	25	9,5	-	-	100	0,25	-	$\Phi_2 = \Phi_1$	W_2, Φ_1
78	2.19	20	7,7	107	0,59	9	4,9	-	0,1	15	2,6	10	0,7	20	0,35	-	$\Phi_2 = 70$	W_2, Φ_3
79	2.20	34	9,5	175	0,1	12	8	-	0,2	28	15,6	40	2,5	14	1,25	-	$\Phi_2 - \Phi_1 = 30$	Φ_3, W_2
80	2.2	90	6	100	1,2	30	4	-	1,1	85	9,7	-	-	100	0,6	-	$\Phi_2 = \Phi_1$	W_2, Φ_2
81	2.17	30	38	500	0,25	17	14,7	-	0,3	45	15,4	-	-	50	0,5	-	$\Phi_2 = \Phi_3$	Φ_3, W_2
82	2.18	25	4	1075	0,2	10	4,8	-	0,1	29	4,8	1000	0,05	250	0,2	-	$\Phi_2 = 0$	W_2, Φ_3
83	2.19	30	8,4	89	0,73	12	5,2	-	0,1	26	3	20	0,4	30	0,2	-	$\Phi_2 = 70$	Φ_1, W_2
84	2.20	26	8,6	125	0,14	13	8,1	-	0,2	22	14,7	20	4,7	25	0,94	-	$\Phi_2 - \Phi_1 = 30$	Φ_1, W_2
85	2.2	85	5,9	150	1	25	3,9	-	1,1	95	9,9	-	-	60	0,5	-	$\Phi_1 = \Phi_2$	W_2, Φ_3

Продолжение таблицы 2.2

Вариант	Рисунок	Дано															Дополнительные условия, $\Phi \cdot 10^{-5}, Вб$	Определить
		$l_1, см$	$S_{l_1}, см^2$	W_1	$I_1, А$	$l_2, см$	$S_{l_2}, см^2$	W_2	$I_2, А$	$l_3, см$	$S_{l_3}, см^2$	W_3	$I_3, А$	W_4	$I_4, А$	$l_{\delta}, мм$		
86	2.17	45	44	100	0,5	15	14,2	-	0,3	35	13,7	-	-	100	1	-	$\Phi_2 = \Phi_3$	W_2, Φ_1
87	2.18	20	3,9	215	1	10	4,8	-	0,1	26	4,6	400	0,2	200	0,1	-	$\Phi_2 = 0$	W_2, Φ_3
88	2.8	25	5,3	80	0,5	10	5	-	0,2	32	10,2	-	-	40	0,25	-	$\Phi_1 = \Phi_2$	Φ_1, W_2
89	2.19	15	7,2	135	0,47	8	4,8	-	0,1	20	2,9	40	0,2	60	0,1	-	$\Phi_2 = 70$	Φ_1, W_2
90	2.20	30	9	350	0,05	10	7,8	-	0,2	25	15	675	0,1	250	0,2	-	$\Phi_2 - \Phi_1 = 30$	W_2, Φ_1
91	2.17	40	42	300	0,4	13	14	-	0,3	40	15	-	-	60	0,5	-	$\Phi_3 = \Phi_2$	W_2, Φ_3
92	2.18	30	4,2	430	0,5	10	4,8	-	0,1	32	4,9	100	0,5	50	1	-	$\Phi_2 = 0$	W_2, Φ_1
93	2.17	38	41	250	0,3	12	13,8	-	0,3	50	15,8	-	-	125	0,6	-	$\Phi_2 = \Phi_3$	W_2, Φ_1
94	2.18	18	3,8	860	0,25	10	4,8	-	0,1	23	4,5	70	1	60	0,5	-	$\Phi_2 = 0$	W_2, Φ_2
95	2.8	20	5	200	0,125	10	5	-	0,2	30	10	-	-	100	0,25	-	$\Phi_2 = \Phi_1$	W_2, Φ_1
96	2.19	22	7,8	635	0,1	15	5,5	-	0,1	28	3,1	22	0,5	12	0,25	-	$\Phi_2 = 70$	Φ_2, W_2
97	2.20	25	8,5	250	0,07	14	8,2	-	0,2	23	14,9	68	1,2	90	0,4	-	$\Phi_2 - \Phi_1 = 30$	W_2, Φ_2
98	2.19	25	8	635	0,1	10	5	-	0,1	25	3	50	0,2	40	0,1	-	$\Phi_2 = 70$	Φ_3, W_2
99	2.20	32	9,3	270	0,065	9	7,7	-	0,2	30	15,5	108	0,7	120	0,35	-	$\Phi_2 - \Phi_1 = 30$	W_2, Φ_2
100	2.20	30	8,4	89	1	12	5,2	100	0,2	26	3	20	0,5	30	0,2	0,2	-	Φ_3, Φ_2

3 Задание № 2. Исследование трехфазной цепи со статической нагрузкой

Для указанных в таблице 3.1 схем соединения и режимов работы трехфазной цепи с заданной симметричной системой напряжений на входе выполнить следующее:

- 1) рассчитать все токи;
- 2) проверить баланс активной, реактивной и полной комплексной мощностей;
- 3) построить векторную диаграмму токов и напряжений;
- 4) исследовать модель трехфазной цепи в системе Electronics Workbench. Измерить значения токов и сравнить их с действующими значениями токов, рассчитанными в пункте 1.

Обмотки генератора соединены звездой. Известны фазное напряжение генератора $U_{фг}$, сопротивления фаз нагрузки.

Параметры схемы выбираются из таблицы 3.2 по варианту, установленному преподавателем.

Таблица 3.1 - Схемы соединения и режимы работы трехфазной цепи

№	Схема соединения нагрузки	Характеристика режима работы
1	Звезда с нулевым проводом	Полнофазный режим, сопротивления фаз нагрузки $\underline{z}_A, \underline{z}_B, \underline{z}_C$ (рисунок 3.1, а)
2	Звезда с нулевым проводом	Аварийный режим, обрыв линейного провода в указанной фазе
3	Звезда	Полнофазный режим, сопротивления фаз нагрузки $\underline{z}_A, \underline{z}_B, \underline{z}_C$ (рисунок 3.1, б)
4	Звезда	Аварийный режим, обрыв линейного провода в указанной фазе
5	Звезда	Аварийный режим, короткое замыкание в указанной фазе сопротивления нагрузки
6	Треугольник	Полнофазный режим, сопротивления фаз нагрузки $\underline{z}_{ab}, \underline{z}_{bc}, \underline{z}_{ca}$ (рисунок 3.1, в)
7	Треугольник	Аварийный режим, обрыв линейного провода в указанной фазе
8	Треугольник	Аварийный режим, обрыв указанной фазы нагрузки

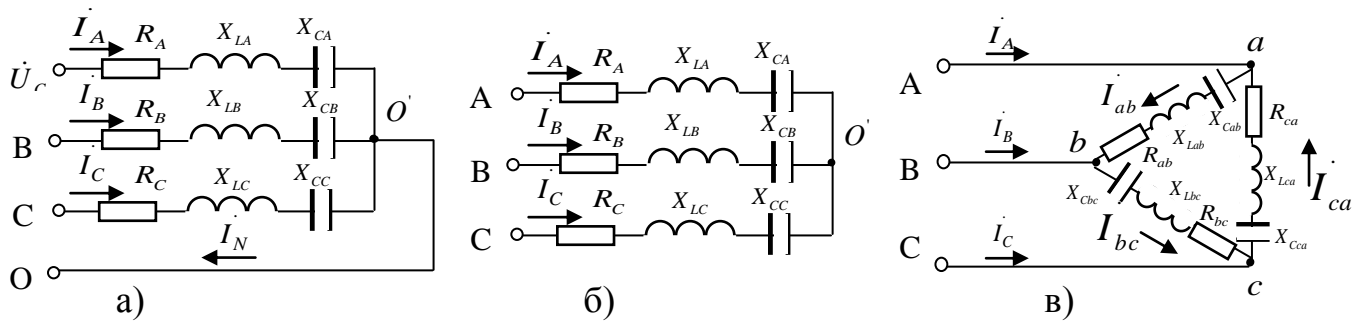


Рисунок 3.1

Таблица 3.2 – Параметры схем

Вариант	Фазное напряжение генератора $U_{\phi 2}$ В	Сопротивления фаз									Обрыв линейного провода (к.з. фазы)	Обрыв фазы нагрузки (для схемы треугольник)
		Фаза А (ав)			Фаза В (вс)			Фаза С (са)				
		R_A Ом	x_{LA} Ом	x_{CA} Ом	R_B Ом	x_{LB} Ом	x_{CB} Ом	R_C Ом	x_{LC} Ом	x_{CC} Ом		
1	127	25	10	-	30	20	-	10	-	5	Аа	ab
2	220	30	-	20	45	-	-	10	-	-	Вв	bc
3	380	-	30	-	50	50	10	25	-	5	Сс	са
4	127	55	40	-	60	-	-	25	5	20	Аа	са
5	220	40	-	50	55	60	-	20	-	-	Вв	ab
6	380	30	40	20	-	30	-	20	10	-	Сс	bc
7	127	25	-	-	30	-	40	10	15	30	Аа	bc
8	220	-	-	60	70	80	-	40	-	50	Вв	са
9	380	10	20	-	25	30	-	15	10	-	Сс	ab
10	127	25	5	20	30	-	20	-	-	25	Аа	ab
11	220	25	15	-	35	-	-	15	-	10	Вв	bc
12	380	55	45	-	45	55	25	20	-	20	Сс	са
13	127	20	-	10	30	20	-	10	30	10	Аа	са
14	220	30	-	-	40	30	-	15	-	20	Вв	ab
15	380	40	50	20	50	-	40	-	35	-	Сс	bc
16	127	70	-	85	55	65	-	75	-	-	Аа	bc
17	220	45	-	-	30	30	-	20	-	10	Вв	са
18	380	50	40	10	60	-	60	25	-	-	Сс	ab
19	127	60	-	-	-	50	-	25	10	-	Аа	ab
20	220	55	60	-	50	-	30	25	15	-	Вв	Вс

Продолжение таблицы 3.2

Вариант	Фазное напряжение генератора	Сопротивления фаз									Обрыв линейного провода (к.з. фазы)	Обрыв фазы нагрузки (для схемы треугольник)
		Фаза А (ав)			Фаза В (вс)			Фаза С (са)				
		R_A	x_{LA}	x_{CA}	R_B	x_{LB}	x_{CB}	R_C	x_{LC}	x_{CC}		
		Ом	Ом	Ом	Ом	Ом	Ом	Ом	Ом	Ом		
21	380	-	30	-	20	40	-	30	-	-	Сс	са
22	127	30	30	-	45	-	-	30	-	20	Аа	са
23	220	50	-	40	40	50	20	-	35	-	Вв	аб
24	380	70	50	-	30	-	45	35	-	-	Сс	bc
25	127	-	-	20	20	30	-	40	-	50	Аа	bc
26	220	35	-	-	50	-	40	40	30	10	Вв	са
27	380	45	55	20	30	-	50	50	40	-	Сс	аб
28	127	80	85	20	60	-	-	-	75	-	Аа	аб
29	220	40	30	-	45	-	25	-	-	45	Вв	bc
30	380	50	-	40	45	50	-	75	-	-	Сс	са
31	127	25	10	-	30	20	-	10	-	5	Аа	са
32	220	30	-	20	45	-	-		10	-	Вв	аб
33	380	-	30	-	50	50	10	25	-	5	Сс	bc
34	127	55	40	-	60	-	-	25	5	20	Аа	bc
35	220	40	-	50	55	60	-	45	-	-	Вв	са
36	380	30	40	20	-	30	-	45	10	-	Сс	аб
37	127	25	-	-	30	-	40	30	15	20	Аа	аб
38	220	-	-	60	70	80	-	45		20	Вв	bc
39	380	10	20	-	25	30		50	10	-	Сс	са
40	127	25	5	50	30	-	20	60	-	40	Аа	са
41	220	25	15	-	35	-	-	55		-	Вв	аб
42	380	55	45	60	45	55	25	20		20	Сс	bc
43	127	20	-	30	30	20		10	30	-	Аа	bc
44	220	30	-	-	40	30	-	15	-	-	Вв	са
45	380	40	50	80	50	-	40	-	35	50	Сс	аб
46	127	25	25	20	30	-	20	-	-	25	Аа	аб
47	220	25	25	-	35	-	-	15		10	Вв	bc
48	380	55	30	-	45	55	25	20		20	Сс	са
49	127	30	30	10	30	20	10	10	30	10	Аа	са

Продолжение таблицы 3.2

Вариант	Фазное напряжение генератора	Соппротивления фаз									Обрыв линейного провода (к.з. фазы)	Обрыв фазы нагрузки (для схемы треугольник)	
		Фаза А (ав)			Фаза В (вс)			Фаза С (са)					
		$U_{\text{фз}}$	R_A	x_{LA}	x_{CA}	R_B	x_{LB}	x_{CB}	R_C	x_{LC}			x_{CC}
		В	Ом	Ом	Ом	Ом	Ом	Ом	Ом	Ом			Ом
50	220	35	-	-	40	30	20	15	-	20	Bb	ab	
51	380	45	35	20	50	-	10	-	35	-	Cc	bc	
52	127	30	40	85	55	65	20	75	-	-	Aa	bc	
53	220	40	40	-	30	30	-	20	-	10	Bb	ca	
54	380	50	25	10	60	-	-	25	-	-	Cc	ab	
55	127	55	-	-	-	50	10	25	10	-	Aa	ab	
56	220	60	50	-	35	-	30	25	15	-	Bb	bc	
57	380	30	20	-	40	40	-	30	-	-	Cc	ca	
58	127	30	45	-	40	-	-	30	-	40	Aa	ca	
59	220	-	40	40	50	50	20	-	35	40	Bb	ab	
60	380	50	30	-	35	-	45	35	-	50	Cc	bc	
61	127	-	20	20	40	30	-	40	-	-	Aa	bc	
62	220	-	50	-	50	-	40	40	30	-	Bb	ca	
63	380	55	30	20	30	-	50	50	40	75	Cc	ab	
64	127	85	60	20	60	-	-	-	75	25	Aa	ab	
65	220	30	45	-	45	-	25	-	-	25	Bb	bc	
66	380	-	-	40	45	50	-	75	-	-	Cc	ca	
67	127	-	-	-	-	50	-	25	10	-	Aa	ca	
68	220	65	60	-	55	-	35	25	15	-	Bb	ab	
69	380	-	35	-	20	40	-	35	-	-	Cc	bc	
70	127	-	30	-	50	50	10	25	-	5	Aa	bc	
71	220	-	-	60	70	80	-	40		50	Bb	ca	
72	380	10	20	-	25	30		15	10	-	Cc	ab	
73	127	20	-	10	30	20		10	30	10	Aa	ab	
74	220	25	15	-	35	-	-	15		10	Bb	bc	
75	380	25	5	20	30	-	20	-	-	25	Cc	ca	
76	127	25	-	-	30	-	40	10	15	30	Aa	ca	
77	220	50	40	10	60	-	60	25	-	-	Bb	ab	
78	380	55	40	-	60	-	-	25	5	20	Cc	bc	
79	127	40	-	50	55	60	-	20	-	-	Aa	bc	
80	220	70	-	85	55	65	-	75	-	-	Bb	ca	
81	380	40	50	20	50	-	40	-	35	-	Cc	ab	
82	127	30	-	20	45	-	-		10	-	Aa	ab	
83	220	55	45	-	45	55	25	20		20	Bb	bc	
84	380	30	-	-	40	30	-	15	-	20	Cc	ca	
85	127	29	20	-	35	27	-	10	-	15	Aa	ca	
86	220	45	-	-	30	30	-	20	-	10	Bb	ab	
87	380	30	40	20	-	30	-	20	10	-	Cc	bc	

Продолжение таблицы 3.2

Вариант	Фазное напряжение генератора	Сопrotивления фаз									Обрыв линейного провода (к.з. фазы)	Обрыв фазы нагрузки (для схемы треугольник)
		Фаза А (ав)			Фаза В (вс)			Фаза С (са)				
		R_A	x_{LA}	x_{CA}	R_B	x_{LB}	x_{CB}	R_C	x_{LC}	x_{CC}		
		Ом	Ом	Ом	Ом	Ом	Ом	Ом	Ом	Ом		
88	127	60	-	-	-	50	-	25	10	-	Aa	bc
89	220	25	30	-	20	-	30	-	20	-	Bb	ca
90	380	30	30	-	50	-	30	-	50	-	Cc	ab
91	127	30	-	20	20	-	-	20	20	-	Aa	ab
92	220	30	-	60	70	-	-	60	70	-	Bb	bc
93	380	10	20	-	25	10	20	-	25	10	Cc	ca
94	127	-	10	-	30	25	10	-	30	25	Aa	ca
95	220	25	5	50	30	25	5	50	30	25	Bb	ab
96	380	-	-	-	30	25	-	-	30	25	Cc	bc
97	127	30	40	20	-	30	40	20	-	30	Aa	bc
98	220	-	30	-	45	30	30	-	45	30	Bb	ca
99	380	30	-	20	45	30	-	20	45	30	Cc	ab
100	127	35	-	-	50	35	-	-	50	35	Aa	ab
101	220	40	30	-	45	40	30	-	45	40	Bb	bc
102	380	40	-	50	55	40	-	50	55	40	Cc	ca
103	127	45	55	20	30	45	55	20	30	45	Aa	ca
104	220	50	-	40	40	50	-	40	40	50	Bb	ab
105	380	50	-	40	45	50	-	40	45	50	Cc	bc
106	127	55	60	-	50	55	60	-	50	55	Aa	bc
107	220	55	40	-	60	55	40	-	60	55	Bb	ca
108	380	70	50	-	30	70	50	-	30	70	Cc	ab
109	127	20	60	20	60	80	85	20	60	80	Aa	ab
110	220	-	35	-	35	-	-	60	50	60	Bb	bc
111	380	60	45	60	45	55	25	30	20	30	Cc	ca
112	127	30	30	30	30	20		30	45	30	Aa	ca
113	220	-	40	-	40	30	-	-	40	-	Bb	ab
114	380	80	50	80	50	-	40	50	30	50	Cc	bc
115	127	20	30	20	30	-	20	-	20	-	Aa	bc
116	220	-	35	-	35	-	-	-	50	-	Bb	ca
117	380	-	45	-	45	55	25	55	30	55	Cc	ab
118	127	10	30	10	30	20	10	85	60	85	Aa	ab
119	220	-	40	-	40	30	20	30	45	30	Bb	bc
120	380	20	50	20	50	-	10	-	-	-	Cc	ca
121	127	85	55	85	55	65	20	75	-	-	Aa	ca
122	220	-	30	-	30	30	-	20	-	10	Bb	ab
123	380	10	60	10	60	-	-	25	-	-	Cc	bc
124	127	-	-	-	-	50	10	25	10	-	Aa	bc
125	220	60	50	-	35	-	30	25	15	-	Bb	ca

Продолжение таблицы 3.2

Вариант	Фазное напряжение генератора	Сопротивления фаз									Обрыв линейного провода (к.з. фазы)	Обрыв фазы нагрузки (для схемы треугольник)
		Фаза А (ав)			Фаза В (вс)			Фаза С (са)				
	$U_{\text{фз}}$	R_A	x_{LA}	x_{CA}	R_B	x_{LB}	x_{CB}	R_C	x_{LC}	x_{CC}		
	В	Ом	Ом	Ом	Ом	Ом	Ом	Ом	Ом	Ом		
126	380	-	20	20	40	30	-	40	-	-	Сс	ab
127	127	30	20	-	40	40	-	30	-	-	Аа	ab
128	220	50	30	-	35	-	45	35	-	50	Вв	bc
129	380	-	40	40	50	50	20	-	35	40	Сс	са
130	127	30	45	-	40	-	-	30	-	40	Аа	са
131	220	-	50	-	50	-	40	40	30	-	Вв	ab
132	380	55	30	20	30	-	50	50	40	75	Сс	bc
133	127	85	60	20	60	-	-	-	75	25	Аа	bc
134	220	30	45	-	45	-	25	-	-	25	Вв	са
135	380	-	-	40	45	50	-	75	-	-	Сс	ab
136	127	-	-	-	-	50	-	25	10	-	Аа	ab
137	220	65	60	-	55	-	35	25	15	-	Вв	bc
138	380	-	35	-	20	40	-	35	-	-	Сс	са
139	55	30	55	-	40	-	-	30	-	40	Аа	bc
140	85	60	85	-	50	-	40	40	30	-	Вв	са

4 Задание № 3. Исследование аварийного режима в трехфазной цепи методом симметричных составляющих

Симметричная трехфазная цепь питается от трехфазного генератора с симметричной системой ЭДС, фазные обмотки которого соединены в звезду.

В результате одного из указанных в таблице 4.1 повреждений линии, соединяющей генератор и нагрузку, в цепи возникает поперечный или продольный несимметричный участок (рисунок 4.1).

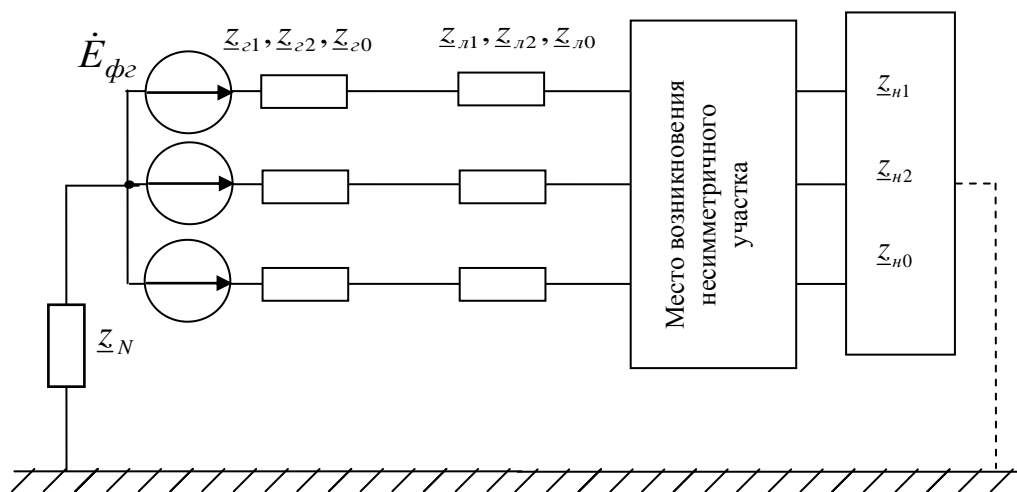


Рисунок 4.1

Методом симметричных составляющих:

- 1) определить фазные токи $\dot{I}_A, \dot{I}_B, \dot{I}_C$ и фазные напряжения $\dot{U}_A, \dot{U}_B, \dot{U}_C$ несимметричного участка;
- 2) построить векторные диаграммы найденных фазных токов и напряжений и их симметричных составляющих.


Вид повреждения линии, схема соединения нагрузки, а также фазные сопротивления прямой, обратной и нулевой последовательностей для генератора, линии и нагрузки выбираются из таблицы 4.1 по номеру студента в списке группы. Фазная ЭДС генератора E_{ϕ_2} и сопротивление нейтрального провода z_N выбираются из таблицы 4.2 по номеру группы, который устанавливает преподаватель.

При выполнении задания составить трехфазную схему, в которой указать конкретные схему несимметричного участка и схему соединения приемника, соответствующие заданному варианту.

Таблица 4.1

№ варианта	Вид повреждения линии	Схема соединения нагрузки	Генератор			Линия			Нагрузка		
			Z_{z1} , Ом	Z_{z2} , Ом	Z_{z0} , Ом	$Z_{л1}$, Ом	$Z_{л2}$, Ом	$Z_{л0}$, Ом	$Z_{н1}$, Ом	$Z_{н2}$, Ом	$Z_{н0}$, Ом
1	к.з. фазы В на землю		$j20$	$j15$	$j5$	$5+j3$	$3+j2$	$1+j1$	$25+j10$	$30+j20$	$10+j5$
2	к.з. фазы С на землю		$j22$	$j17$	$j7$	$7+j3$	$5+j2$	$2+j1$	$30+j20$	$45+j30$	$15+j10$
3	к.з. фаз А и В на землю		$j24$	$j19$	$j9$	$5+j5$	$3+j4$	$1+j3$	$40+j30$	$50+j40$	$25+j5$
4	к.з. фаз В и С на землю		$j26$	$j21$	$j11$	$7+j6$	$5+j4$	$3+j3$	$55+j40$	$60+j50$	$25+j20$
5	к.з. фаз А и С на землю		$j28$	$j23$	$j13$	$9+j6$	$7+j4$	$5+j3$	$40+j50$	$55+j60$	$20+j25$
6	к.з. фаз А и В		$j30$	$j25$	$j15$	$7+j8$	$5+j6$	$3+j5$	$30+j20$	$40+j30$	$20+j10$
7	к.з. фаз В и С		$j32$	$j27$	$j17$	$3+j3$	$2+j2$	$1+j1$	$25+j30$	$30+j40$	$10+j15$
8	к.з. фаз А и С		$j34$	$j29$	$j19$	$4+j3$	$3+j2$	$2+j1$	$10+j20$	$25+j30$	$5+j10$
9	обрыв фазы А		$j36$	$j31$	$j21$	$3+j4$	$2+j3$	$1+j2$	$60+j60$	$70+j80$	$15+j10$
10	обрыв фазы С		$j38$	$j33$	$j23$	$6+j3$	$4+j2$	$3+j1$	$70+j75$	$90+j80$	$15+j15$
11	обрыв фаз А и В		$j40$	$j35$	$j25$	$7+j3$	$5+j2$	$4+j1$	$25+j15$	$35+j30$	$15+j10$
12	обрыв фаз В и С		$j42$	$j37$	$j27$	$6+j4$	$4+j3$	$3+j2$	$35+j25$	$45+j35$	$20+j20$

Продолжение таблицы 4.1

№ варианта	Вид повреждения линии	Схема соединения нагрузки	Генератор			Линия			Нагрузка		
			Z_{z1} , Ом	Z_{z2} , Ом	Z_{z0} , Ом	$Z_{л1}$, Ом	$Z_{л2}$, Ом	$Z_{л0}$, Ом	$Z_{н1}$, Ом	$Z_{н2}$, Ом	$Z_{н0}$, Ом
13	обрыв фаз А и С		$j44$	$j41$	$j31$	$5+j3$	$3+j2$	$1+j1$	$20+j10$	$30+j20$	$10+j5$
14	к.з. фазы А на землю		$j46$	$j43$	$j33$	$7+j3$	$5+j2$	$2+j1$	$30+j20$	$40+j30$	$15+j10$
15	к.з. фазы В на землю		$j48$	$j45$	$j35$	$5+j5$	$3+j4$	$1+j3$	$40+j30$	$50+j40$	$20+j5$
16	к.з. фазы С на землю		$j50$	$j47$	$j37$	$7+j6$	$5+j4$	$3+j3$	$50+j40$	$60+j50$	$25+j20$
17	к.з. фаз А и В на землю		$j52$	$j49$	$j39$	$9+j6$	$7+j4$	$5+j3$	$40+j50$	$50+j60$	$20+j25$
18	к.з. фаз В и С на землю		$j54$	$j51$	$j41$	$7+j8$	$5+j6$	$3+j5$	$30+j20$	$40+j30$	$15+j10$
19	к.з. фаз А и С на землю		$j56$	$j53$	$j43$	$3+j3$	$2+j2$	$1+j1$	$20+j30$	$30+j40$	$10+j15$
20	к.з. фаз А и В		$j58$	$j55$	$j45$	$4+j3$	$3+j2$	$2+j1$	$10+j20$	$20+j30$	$5+j10$
21	к.з. фаз В и С		$j60$	$j57$	$j47$	$3+j4$	$2+j3$	$1+j2$	$60+j60$	$70+j80$	$10+j10$
22	к.з. фаз А и С		$j62$	$j59$	$j49$	$6+j3$	$4+j2$	$3+j1$	$70+j70$	$90+j80$	$15+j15$
23	обрыв фазы А		$j64$	$j61$	$j51$	$7+j3$	$5+j2$	$4+j1$	$25+j15$	$35+j25$	$15+j10$
24	обрыв фазы В		$j66$	$j63$	$j53$	$6+j4$	$4+j3$	$3+j2$	$35+j25$	$45+j35$	$20+j15$
25	обрыв фазы С		$j68$	$j65$	$j55$	$5+j3$	$3+j2$	$1+j1$	$45+j35$	$55+j45$	$25+j10$

Продолжение таблицы 4.1

№ варианта	Вид повреждения линии	Схема соединения нагрузки	Генератор			Линия			Нагрузка		
			$\underline{Z}_{z1},$ Ом	$\underline{Z}_{z2},$ Ом	$\underline{Z}_{z0},$ Ом	$\underline{Z}_{л1},$ Ом	$\underline{Z}_{л2},$ Ом	$\underline{Z}_{л0},$ Ом	$\underline{Z}_{н1},$ Ом	$\underline{Z}_{н2},$ Ом	$\underline{Z}_{н0},$ Ом
26	к.з. фазы А на землю	\triangle	$j70$	$j67$	$j57$	$5+j3$	$3+j2$	$1+j1$	$40+j20$	$50+j30$	$25+j10$
27	к.з. фазы В на землю	\triangle	$j72$	$j69$	$j59$	$7+j3$	$5+j2$	$2+j1$	$20+j40$	$30+j50$	$10+j25$
28	к.з. фазы С на землю	\triangle	$j74$	$j71$	$j61$	$5+j5$	$3+j4$	$1+j3$	$20+j20$	$30+j30$	$15+j10$
29	к.з. фаз А и В на землю	\triangle	$j76$	$j73$	$j63$	$7+j6$	$5+j4$	$3+j3$	$60+j70$	$70+j90$	$10+j20$
30	к.з. фаз В и С на землю	\triangle	$j78$	$j75$	$j65$	$9+j6$	$7+j4$	$5+j3$	$80+j70$	$90+j80$	$25+j15$

Таблица 4.2

	1 группа	2 группа	3 группа	4 группа	5 группа	6 группа	7 группа	8 группа	9 группа	10 группа
$E_{фz}, В$	127	220	380	660	127	220	380	660	220	380
$\underline{Z}_N = R_N, Ом$	5	7	9	10	12	14	15	16	18	20

5 Задание № 4. Анализ переходных процессов в линейных электрических цепях с сосредоточенными параметрами

Для возникающего переходного процесса в электрической цепи, изображенной на рисунках 5.1 - 5.30, с постоянным (синусоидальным) источником ЭДС $e_1(t) = E$ ($e_1(t) = E_m \sin(\omega t + \psi_e)$) или источником тока $j(t) = J$ ($j(t) = J_m \sin(\omega t + \psi_i)$) требуется выполнить следующее:

1. Рассчитать переходные токи во всех ветвях и переходные напряжения на катушке индуктивности и конденсаторе:

- а) классическим методом;
- б) операторным методом.

2. Сравнить рассчитанные значения токов и напряжений классическим и операторным методами.

3. Построить кривые переходных тока и напряжения на индуктивности и на конденсаторе.

4. Исследовать переходной процесс в заданной электрической цепи с помощью моделирующей программы Electronics Workbench. Сделать скриншоты кривых переходного процесса и сравнить их с кривыми, построенными в п.3.

Параметры электрической цепи представлены в таблице 5.1.

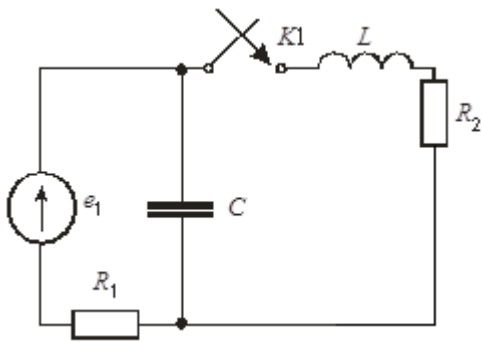


Рисунок 5.1

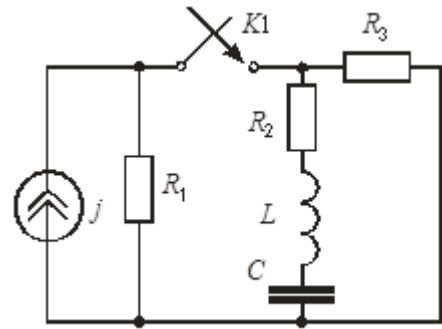


Рисунок 5.4

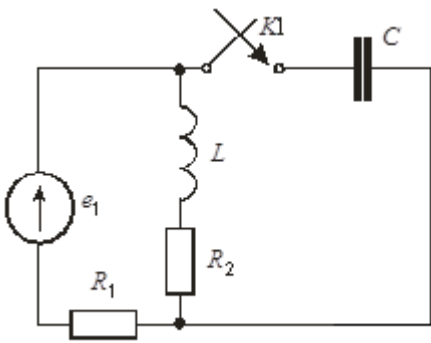


Рисунок 5.2

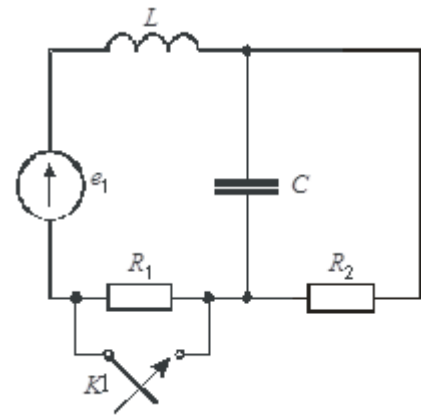


Рисунок 5.5

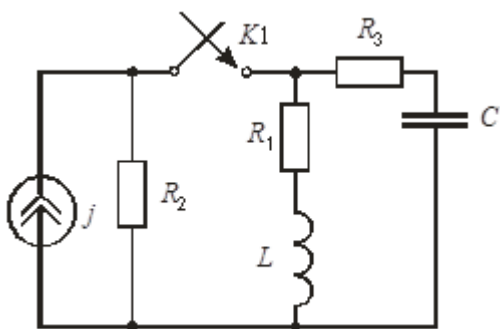


Рисунок 5.3

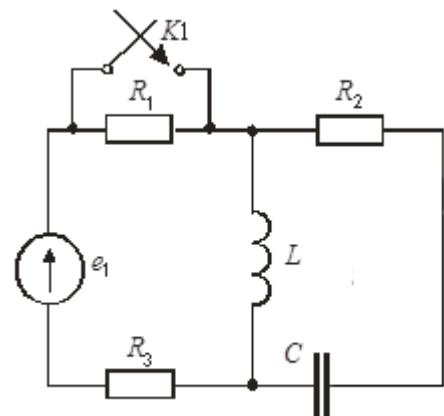


Рисунок 5.6

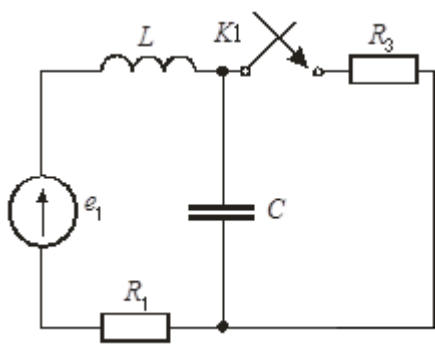


Рисунок 5.7

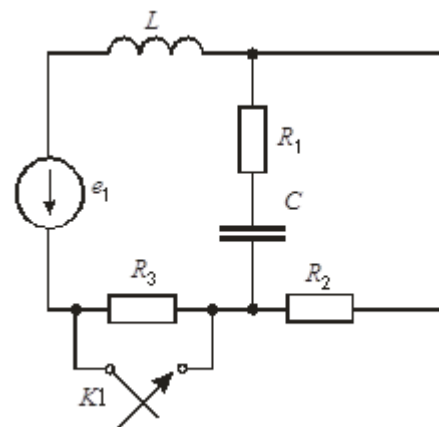


Рисунок 5.10

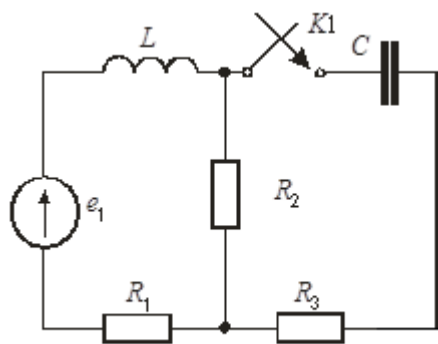


Рисунок 5.8

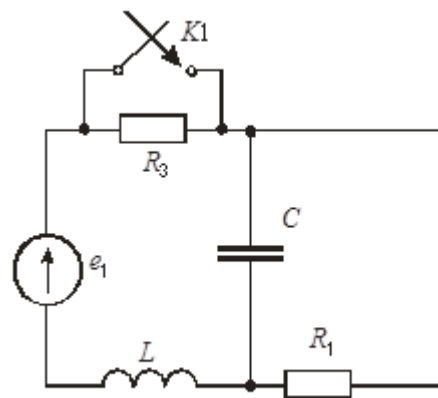


Рисунок 5.11

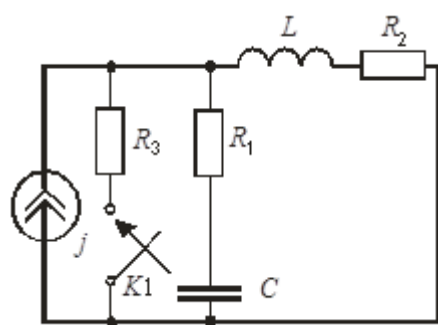


Рисунок 5.9

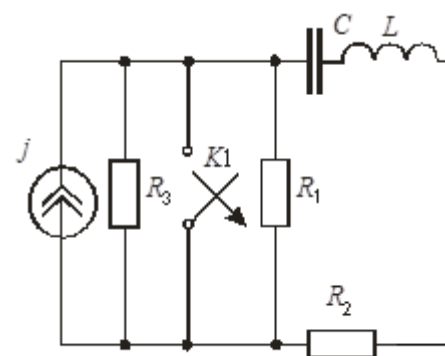


Рисунок 5.12

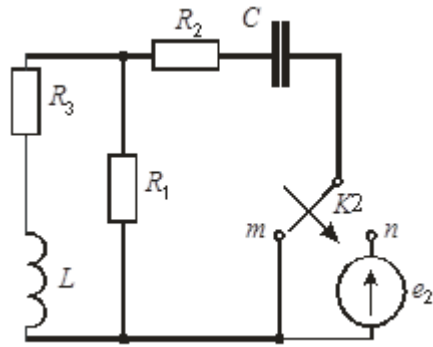


Рисунок 5.13

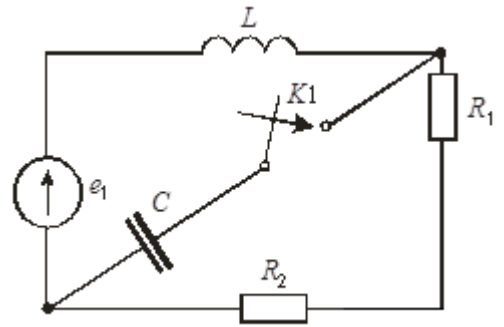


Рисунок 5.16

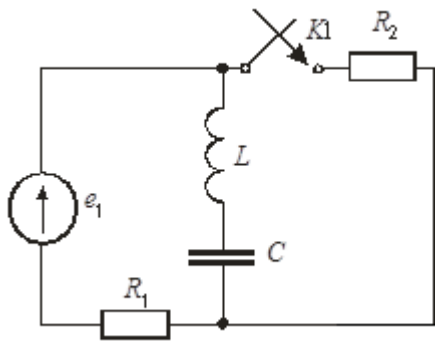


Рисунок 5.14

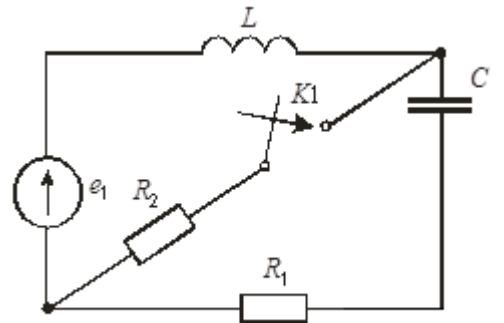


Рисунок 5.17

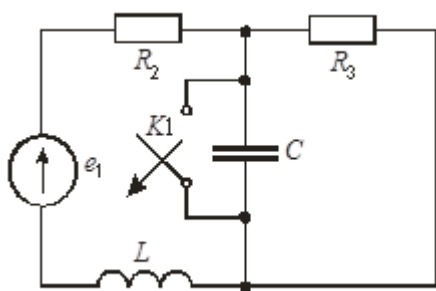


Рисунок 5.15

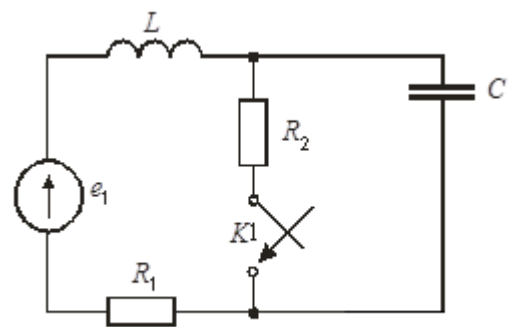


Рисунок 5.18

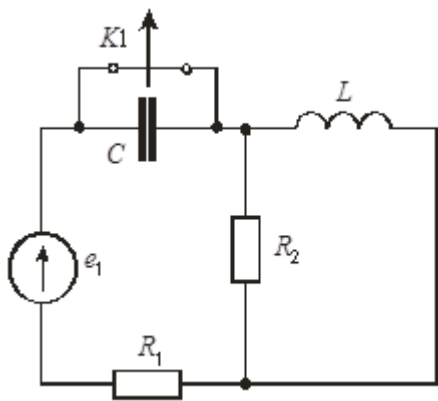


Рисунок 5.19

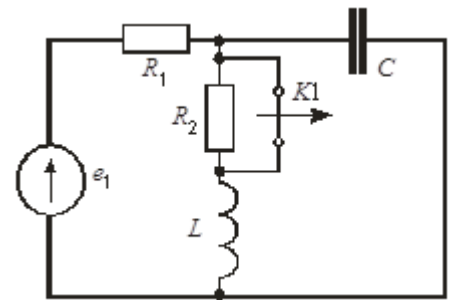


Рисунок 5.22

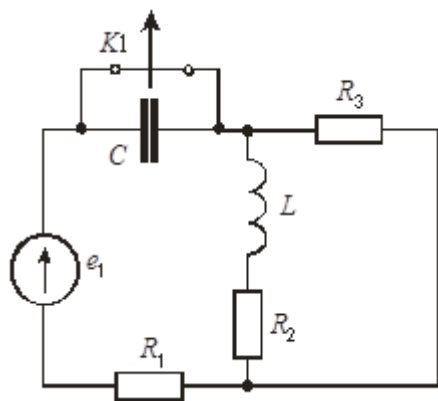


Рисунок 5.20

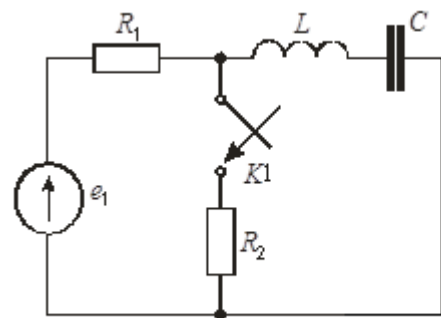


Рисунок 5.23

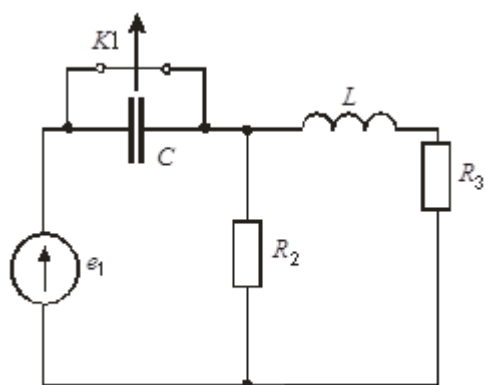


Рисунок 5.21

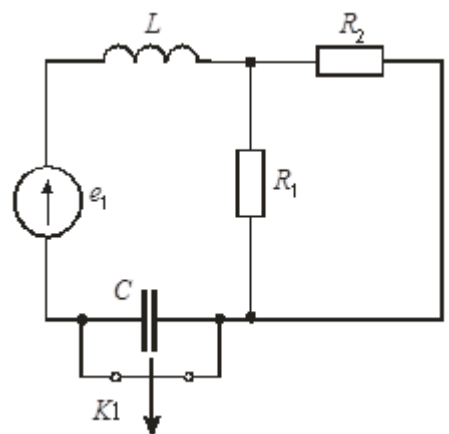


Рисунок 5.24

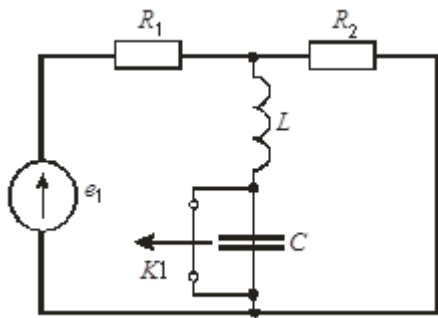


Рисунок 5.25

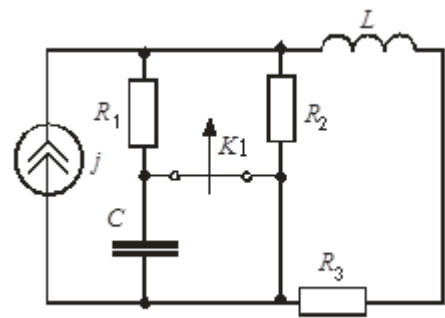


Рисунок 5.28

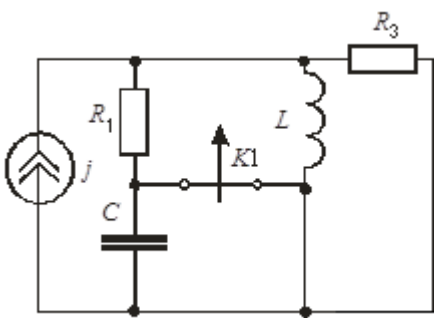


Рисунок 5.26

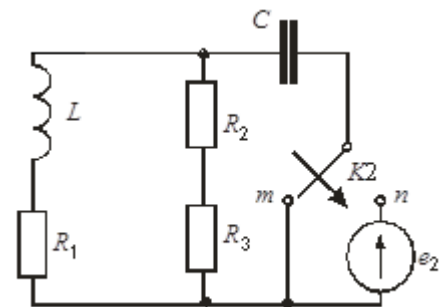


Рисунок 5.29

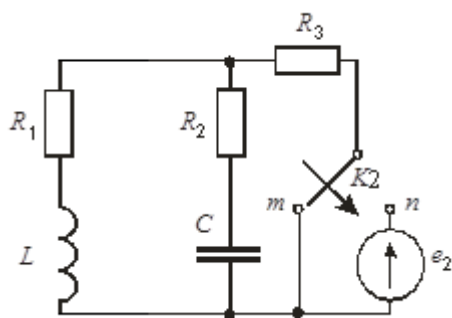


Рисунок 5.27

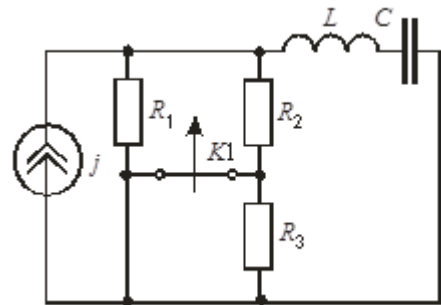


Рисунок 5.30

Таблица 5.1 - Параметры элементов цепи

Вариант	Номер схемы	$R_1, \text{Ом}$	$R_2, \text{Ом}$	$R_3, \text{Ом}$	$L, \text{Гн}$	$C, \text{мкФ}$	$E, \text{В}$	ψ_e	$J, \text{А}$	ψ_i	$\omega, \text{рад/сек}$
1	5.1	20	50	130	0,2	100	100	0	-	-	314
2	5.2	50	80	100	0,8	40	120	15	-	-	314
3	5.3	80	180	70	0,7	60	-	-	1,5	45	314
4	5.4	110	240	70	1,2	100	-	-	2,0	60	314
5	5.5	95	210	100	1,5	160	130	60	-	-	314
6	5.6	65	150	130	0,9	110	110	75	-	-	314
7	5.7	35	110	80	0,6	100	100	90	-	-	314
8	5.8	90	200	60	0,9	70	80	80	-	-	314
9	5.9	100	220	50	1,0	90	-	-	0,5	30	314
10	5.10	110	240	70	1,2	100	50	50	-	-	314
11	5.11	120	250	80	1,3	120	100	40	-	-	314
12	5.12	130	230	90	1,4	140	-	-	1,0	15	314
13	5.13	95	210	100	1,5	160	150	25	-	-	314
14	5.14	85	190	110	1,2	140	170	15	-	-	314
15	5.15	75	170	120	1,0	130	200	0	-	-	314
16	5.16	65	150	130	0,9	110	180	15	-	-	314
17	5.17	55	140	100	0,8	80	175	30	-	-	314
18	5.18	45	130	90	0,7	90	160	45	-	-	314
19	5.19	35	110	80	0,6	100	150	60	-	-	314
20	5.20	25	100	70	0,5	110	125	75	-	-	314
21	5.21	40	120	200	1,0	260	100	90	-	-	314
22	5.22	100	150	180	1,6	80	120	80	-	-	314
23	5.23	160	350	130	1,7	110	130	70	-	-	314
24	5.24	200	400	140	2,2	200	150	50	-	-	314
25	5.25	190	410	200	2,5	320	100	40	-	-	314

Продолжение таблицы 5.1

Вариант	Номер схемы	$R_1, \text{Ом}$	$R_2, \text{Ом}$	$R_3, \text{Ом}$	$L, \text{Гн}$	$C, \text{мкФ}$	$E, \text{В}$	ψ_e	$J, \text{А}$	ψ_i	$\omega, \text{рад/сек}$
26	5.26	130	300	260	1,9	220	-	-	0,5	45	314
27	5.27	70	220	160	1,2	200	125	25	-	-	314
28	5.28	180	380	120	1,8	140	-	-	1,5	60	314
29	5.29	200	420	100	2,0	180	170	45	-	-	314
30	5.30	220	400	140	2,2	200	-	-	1,0	30	314
31	5.1	30	75	180	0,3	150	200	15	-	-	314
32	5.2	75	120	150	1,2	60	250	45	-	-	314
33	5.3	120	260	100	1,0	90	-	-	0,5	45	314
34	5.4	160	300	90	1,8	140	-	-	1,5	60	314
35	5.5	135	310	140	2,2	240	210	75	-	-	314
36	5.6	95	220	190	1,4	160	200	90	-	-	314
37	5.7	50	160	120	0,9	150	110	80	-	-	314
38	5.8	140	280	100	1,5	100	100	70	-	-	314
39	5.9	150	310	75	1,5	135	-	-	1,0	45	314
40	5.10	200	360	100	1,8	145	75	40	-	-	314
41	5.11	240	500	160	2,5	240	100	80	-	-	314
42	5.12	250	450	180	2,4	260	-	-	1,5	25	314
43	5.13	190	410	200	3,0	320	150	50	-	-	314
44	5.14	170	380	220	2,4	280	170	30	-	-	314
45	5.15	150	340	240	2,0	250	200	0	-	-	314
46	5.16	130	300	250	1,8	200	180	15	-	-	314
47	5.17	110	250	200	1,8	160	175	30	-	-	314
48	5.18	90	260	180	1,4	180	160	45	-	-	314
49	5.19	70	220	160	1,2	200	150	60	-	-	314
50	5.20	50	200	140	1,0	220	125	75	-	-	314

Продолжение таблицы 5.1

Вариант	Номер схемы	$R_1, \text{Ом}$	$R_2, \text{Ом}$	$R_3, \text{Ом}$	$L, \text{Гн}$	$C, \text{мкФ}$	$E, \text{В}$	ψ_e	$J, \text{А}$	ψ_i	$\omega, \text{рад/сек}$
51	5.21	110	240	70	1,2	100	50	50	-	-	314
52	5.22	120	250	80	1,3	120	100	40	-	-	314
53	5.23	130	230	90	1,4	140	120	0	-	-	314
54	5.24	95	210	100	1,5	160	150	25	-	-	314
55	5.35	85	190	110	1,2	140	170	15	-	-	314
56	5.26	75	170	120	1,0	130	-	-	1,0	0	314
57	5.27	65	150	130	0,9	110	180	15	-	-	314
58	5.28	55	140	100	0,8	80	-	-	1,5	30	314
59	5.29	45	130	90	0,7	90	160	45	-	-	314
60	5.30	35	110	80	0,6	100	-	-	0,5	45	314
61	5.1	40	100	250	0,5	200	100	0	-	-	314
62	5.2	100	160	200	1,6	80	120	15	-	-	314
63	5.3	160	360	140	1,4	120	-	-	1,5	45	314
64	5.4	220	450	150	2,2	200	-	-	2,0	60	314
65	5.5	190	410	200	3,0	320	130	60	-	-	314
66	5.6	130	300	230	1,8	220	110	75	-	-	314
67	5.7	70	200	160	1,2	200	100	90	-	-	314
68	5.8	180	350	120	1,8	140	80	80	-	-	314
69	5.9	200	430	100	2,0	180	-	-	0,5	30	314
70	5.10	220	480	140	2,4	200	50	50	-	-	314
71	5.11	240	500	160	2,5	240	100	40	-	-	314
72	5.12	250	450	180	2,8	260	-	-	1,0	15	314
73	5.13	180	400	200	3,0	320	150	25	-	-	314
74	5.14	170	380	220	2,2	250	170	15	-	-	314
75	5.15	150	340	240	2,0	260	200	0	-	-	314

Продолжение таблицы 5.1

Вариант	Номер схемы	$R_1, \text{Ом}$	$R_2, \text{Ом}$	$R_3, \text{Ом}$	$L, \text{Гн}$	$C, \text{мкФ}$	$E, \text{В}$	ψ_e	$J, \text{А}$	ψ_i	$\omega, \text{рад/сек}$
76	5.16	135	350	260	1,7	200	180	15	-	-	314
77	5.17	110	240	200	1,6	160	175	30	-	-	314
78	5.18	90	260	180	1,4	180	160	90	-	-	314
79	5.19	70	220	160	1,2	200	150	120	-	-	314
80	5.20	50	200	140	1,0	220	125	150	-	-	314
81	5.21	240	500	160	2,5	240	100	80	-	-	314
82	5.22	250	450	180	2,4	260	100	0	-	-	314
83	5.23	190	410	200	3,0	320	150	50	-	-	314
84	5.24	170	380	220	2,4	280	170	30	-	-	314
85	5.25	150	340	240	2,0	250	200	0	-	-	314
86	5.26	130	300	250	1,8	200	-	-	1,5	30	314
87	5.27	110	250	200	1,8	160	175	30	-	-	314
88	5.28	90	260	180	1,4	180	-	-	1,0	60	314
89	5.29	70	220	160	1,2	200	150	60	-	-	314
90	5.30	50	200	140	1,0	220	-	-	0,5	0	314
91	5.1	50	120	350	0,5	250	100	0	-	-	314
92	5.2	120	200	250	2,0	100	120	15	-	-	314
93	5.3	200	450	170	1,7	150	-	-	1,5	45	314
94	5.4	260	520	180	3,0	250	-	-	2,0	60	314
95	5.5	240	500	250	3,5	400	130	60	-	-	314
96	5.6	160	370	320	2,3	280	110	75	-	-	314
97	5.7	85	270	200	1,6	250	100	90	-	-	314
98	5.8	220	450	150	2,5	170	80	80	-	-	314
99	5.9	250	500	125	2,2	220	-	-	0,5	30	314
100	5.10	300	540	170	2,5	250	50	50	-	-	314

6 Указания и примеры

6.1 Использование системы MathCad для расчета магнитных цепей

Расчет нелинейных и магнитных цепей можно значительно упростить, если использовать возможности и средства системы MathCad. Расчет можно проводить как аналитическим, так и графическим способом. При этом, очень часто, изначально необходимо аппроксимировать заданную таблично нелинейную функцию. Рассмотрим выполнение операции аппроксимации в системе MathCad с помощью функции **interp**, на примере построения вольт-амперной характеристики полупроводникового диода

*Пример 1: Построение нелинейной функции посредством функции интерполяции **interp**.*

Используем следующий алгоритм:

1) Создайте векторы, содержащие заданные координаты точек нелинейной функции, рисунок 6.1. Элементы должны располагаться **строго** в порядке возрастания. На рисунке 6.1 эти вектора обозначены как ***U*** и ***I***.

2) Вычислите вектор **lspline(U, I)**. В примере 1 на рисунке 6.1 это вектор ***UI***.

3) Определите интерполируемые значения в заданных точках, используя функцию **interp(UI, U, I, x)**.

4) Постройте аппроксимирующую функцию ***Iapp(x)***.

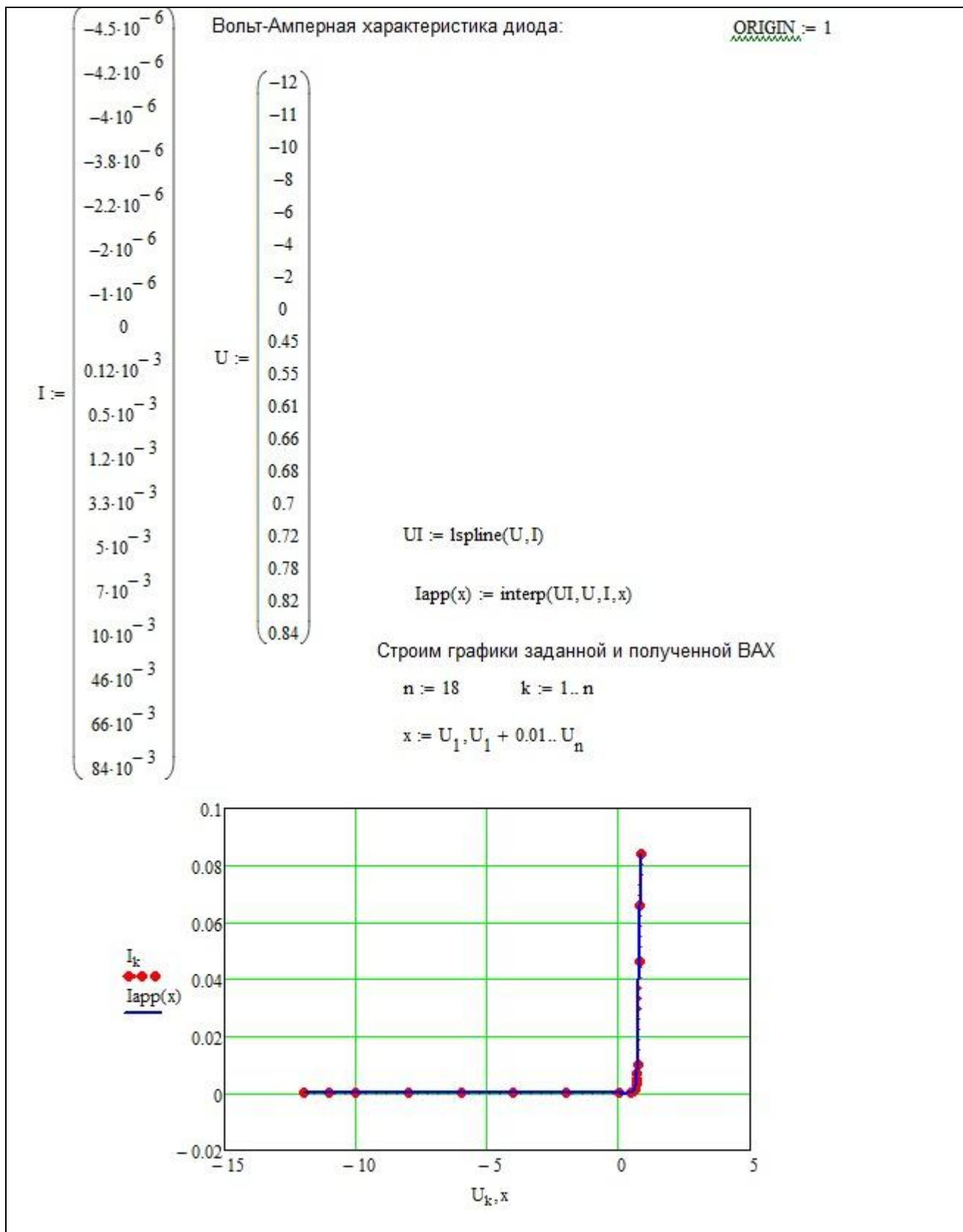


Рисунок 6.1 – Аппроксимация заданной таблично вольт-амперной характеристики полупроводникового диода в системе MatCad

Пример 2: Аналитическое решение системы нелинейных уравнений в системе MathCad

Задана магнитная цепь постоянного тока, рисунок 6.2. Известны геометрические размеры магнитопровода и кривая намагничивания стали. Требуется при известных токах в обмотках определить магнитные потоки Φ_1 , Φ_2 , Φ_3 .

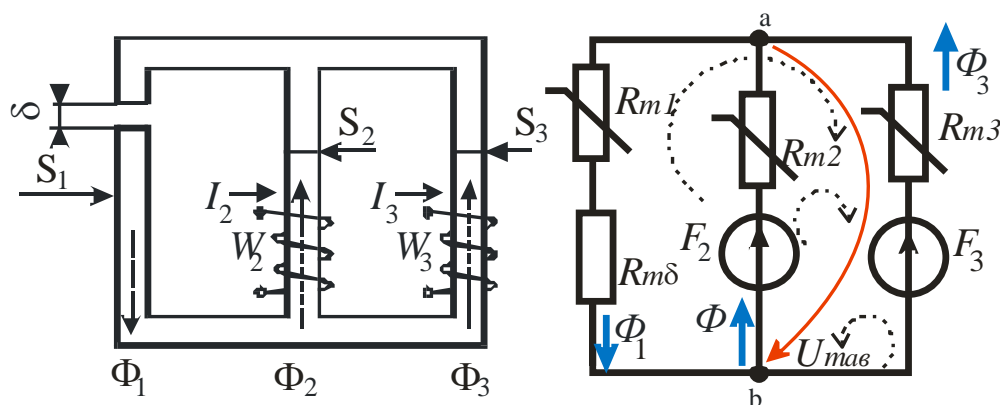


Рисунок 6.2 – Магнитная цепь и схема замещения

Решение:

1) Зададим с помощью оператора присваивания числовые значения параметров и геометрические размеры магнитопровода.

2) Проведем аппроксимацию кривой намагничивания $\mathbf{B(H)}$, аналогично примеру 1.

3) Составим систему нелинейных уравнений по законам Кирхгофа для магнитной схемы замещения.

4) Используя блок **Given Find** решаем составленную систему нелинейных уравнений итерационным методом, предварительно задав начальные значения Φ_1 , Φ_2 , Φ_3 , U_{mas} .

Численное решение системы нелинейных уравнений в системе Mathcad представлено на рисунке 6.3.

Вводим функцию, вычисляющую значение напряженности магнитного поля в зависимости от значения магнитного потока и площади сечения:

$$H_m(\Phi, S) := \text{if}\left(\Phi \geq 0, \text{interp}\left(\text{ВН}, \text{В}, \text{Н}, \frac{|\Phi|}{S}\right), -\text{interp}\left(\text{ВН}, \text{В}, \text{Н}, \frac{|\Phi|}{S}\right)\right)$$

Решаем систему уравнений

$$\Phi_1 := 0.001 \quad \Phi_2 := -0.001 \quad U_{\text{mab}} := 0 \quad \Phi_3 := 0.001$$

Given

$$-\Phi_1 + \Phi_2 + \Phi_3 = 0$$

$$-H_m(\Phi_1, S_1) \cdot L_1 + U_{\text{mab}} - Rm\delta \cdot \Phi_1 = 0$$

$$H_m(\Phi_2, S_2) \cdot L_2 + U_{\text{mab}} = F_2$$

$$H_m(\Phi_3, S_3) \cdot L_3 + U_{\text{mab}} = F_3$$

$$\text{rezult} := \text{Find}(\Phi_1, \Phi_2, \Phi_3, U_{\text{mab}})$$

$$\text{rezult} = \begin{pmatrix} 2.735 \times 10^{-3} \\ -7.508 \times 10^{-4} \\ 3.485 \times 10^{-3} \\ 509.383 \end{pmatrix}$$

Рисунок 6.3 – Численное решение системы нелинейных уравнений в Mathcad

Следует отметить, что точность и продолжительность вычислений зависят от начальных (нулевых) приближений искомых величин Φ_1, Φ_2, Φ_3 .

Пример 3: Графическое решение системы нелинейных уравнений в системе MathCad

Рассмотрим ту же самую магнитную цепь, что и в примере 2. Требуется определить, как и в примере 2, магнитные потоки Φ_1, Φ_2, Φ_3 .

Решение:

1) Объединим заданные и промежуточные расчетные значения в виде векторов-строк с помощью функции **stack** в таблицу, рисунок 6.4. Необходимо отметить, что вектор-строки размещаются в том порядке, в котором представлен список аргументов функции **stack**, то есть в первой строке указаны значения магнитной индукции **B**, во второй – напряженности магнитного поля **H**, в третьей – магнитное напряжение U_{mII} и так далее по списку.

2) Постройте аппроксимирующие кривые $\Phi_1(U_{mab})$, $\Phi_2(U_{mab})$, $\Phi_3(U_{mab})$ с помощью функции **linterp** (U_m , Φ , U_{mab}). Следует отметить, что при использовании функции **linterp** необходимо, чтобы элементы вектора аргумента функции $\Phi(U_{mab})$ располагались в порядке возрастания. Если по результатам расчета они убывают, то применяют функцию **reverse**, которая выводит новый вектор с обратным расположением элементов.

Аргументы U_m функций **linterp** определяются правыми частями уравнений, составленных по второму закону Кирхгофа.

3) Определение точки пересечения аппроксимированных кривых определяется, согласно уравнению, составленному по первому закону Кирхгофа:

$$\Phi_1(U_{mab}) = \Phi_2(U_{mab}) + \Phi_3(U_{mab}).$$

Графическое решение системы нелинейных уравнений в системе Mathcad представлено на рисунке 6.5.


```

ORIGIN := 1
F2 := 500 F3 := 900 L1 := 0.97 L2 := 0.34 L3 := 0.969 δ := 0.5 · 10-3
S1 := 0.00 S2 := 0.0032 S3 := 0.00
n := 12 k := 1..n
μ0 := 4 · π · 10-7
B := (0 0.73 0.99 1.16 1.29 1.44 1.59 1.69 1.76 1.81 1.86 1.9)
Umδ :=  $\frac{B \cdot \delta}{\mu_0}$ 
H := (0 100 200 400 700 1500 4000 9000 15000 21000 28000 35000)
Φ1 := B · S1 Φ2 := B · S2 Φ3 := B · S3
Um1 := H · L1 Um2 := H · L2 Um3 := H · L3
Um11 := Um1 + Umδ Um22 := F2 - Um2 Um33 := F3 - Um3
St := stack(B, H, Um11, Φ1, Um22, Φ2, Um33, Φ3)

```

St =

	1	2	3	4	5	6
1	0	0.73	0.99	1.16	1.29	1.44
2	0	100	200	400	700	1.5 · 10 ³
3	0	387.458	587.908	849.549	1.192 · 10 ³	2.028 · 10 ³
4	0	2.19 · 10 ⁻³	2.97 · 10 ⁻³	3.48 · 10 ⁻³	3.87 · 10 ⁻³	4.32 · 10 ⁻³
5	500	466	432	364	262	-10
6	0	2.373 · 10 ⁻³	3.217 · 10 ⁻³	3.77 · 10 ⁻³	4.192 · 10 ⁻³	4.68 · 10 ⁻³
7	900	803.05	706.1	512.2	221.35	-554.25
8	0	2.19 · 10 ⁻³	2.97 · 10 ⁻³	3.48 · 10 ⁻³	3.87 · 10 ⁻³	...

St =

	7	8	9	10	11	12
1	1.59	1.69	1.76	1.81	1.86	1.9
2	4 · 10 ³	9 · 10 ³	1.5 · 10 ⁴	2.1 · 10 ⁴	2.8 · 10 ⁴	3.5 · 10 ⁴
3	4.513 · 10 ³	9.402 · 10 ³	1.525 · 10 ⁴	2.109 · 10 ⁴	2.79 · 10 ⁴	3.471 · 10 ⁴
4	4.77 · 10 ⁻³	5.07 · 10 ⁻³	5.28 · 10 ⁻³	5.43 · 10 ⁻³	5.58 · 10 ⁻³	5.7 · 10 ⁻³
5	-860	-2.56 · 10 ³	-4.6 · 10 ³	-6.64 · 10 ³	-9.02 · 10 ³	-1.14 · 10 ⁴
6	5.168 · 10 ⁻³	5.492 · 10 ⁻³	5.72 · 10 ⁻³	5.882 · 10 ⁻³	6.045 · 10 ⁻³	6.175 · 10 ⁻³
7	-2.978 · 10 ³	-7.825 · 10 ³	-1.364 · 10 ⁴	-1.946 · 10 ⁴	-2.625 · 10 ⁴	-3.303 · 10 ⁴
8	4.77 · 10 ⁻³	5.07 · 10 ⁻³	5.28 · 10 ⁻³	5.43 · 10 ⁻³	5.58 · 10 ⁻³	...

Рисунок 6.4 – Исходные данные и результаты расчетов

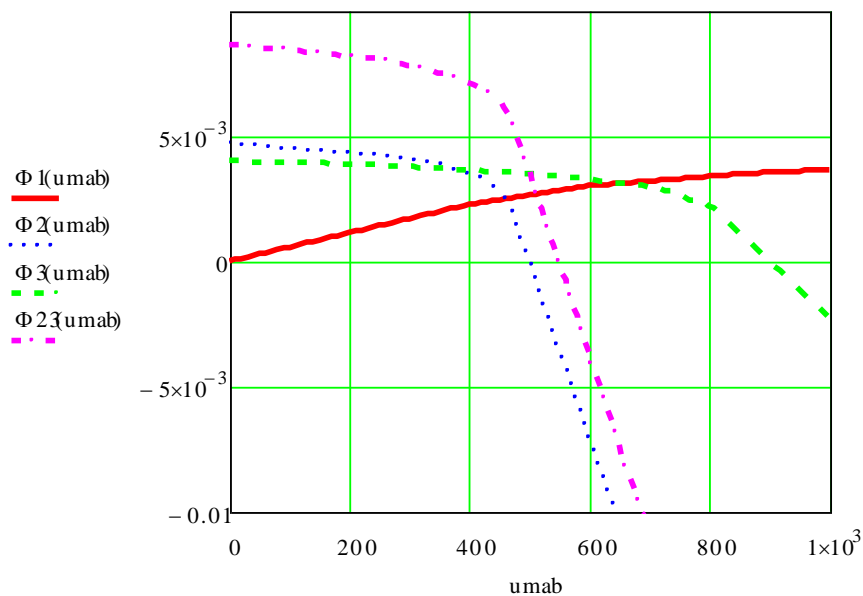
```

Um11 := Um11T   Um22 := reverse(Um22T)   Um33 := reverse(Um33T)
Φ1 := Φ1T       Φ2 := reverse(Φ2T)       Φ3 := reverse(Φ3T)
Φ1(umab) := linterp(Um11, Φ1, umab)
Φ2(umab) := linterp(Um22, Φ2, umab)
Φ3(umab) := linterp(Um33, Φ3, umab)

Φ23(umab) := Φ2(umab) + Φ3(umab)

umab := 0, 10.. 1000

```



На основании графического решения определяем точку пересечения:

$$umab := 512 \quad \Phi_1(umab) = 2.675 \times 10^{-3} \quad \Phi_2(umab) = -8.374 \times 10^{-4}$$

$$\Phi_3(umab) = 3.48 \times 10^{-3}$$

$$\text{Проверка: } \Phi_2(umab) + \Phi_3(umab) = 2.643 \times 10^{-3}$$

Рисунок 6.5 – Графическое решение системы нелинейных уравнений в системе Mathcad

Различие в результатах численного и графического решения системы нелинейных уравнений магнитной цепи получено на уровне допустимой погрешности.

6.2 Основные формулы и алгоритмы, векторные диаграммы для трехфазных цепей

Таблица 6.1 - Расчетные соотношения для трехфазной цепи при соединении нагрузки звездой и звездой с нулевым проводом



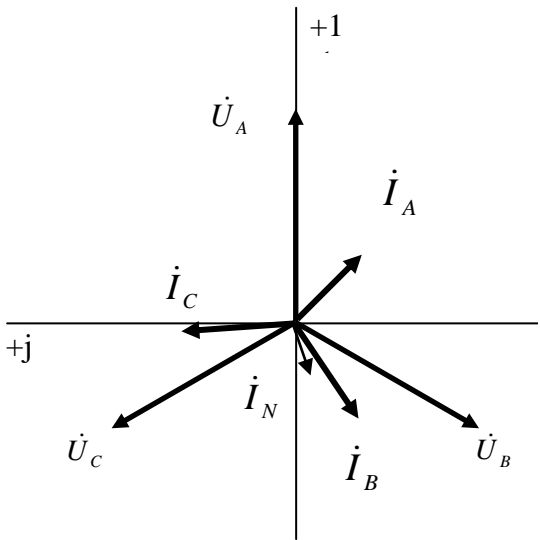
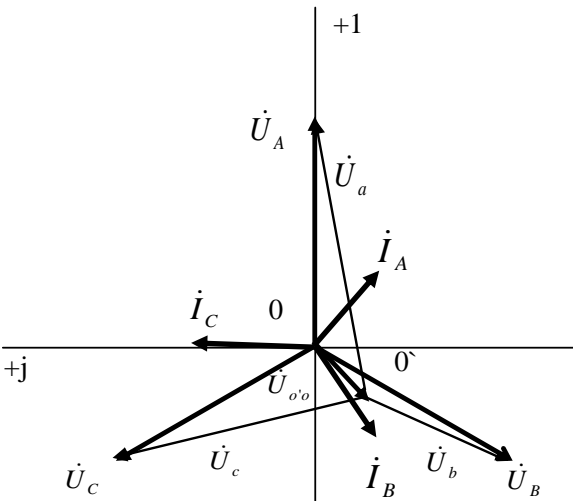
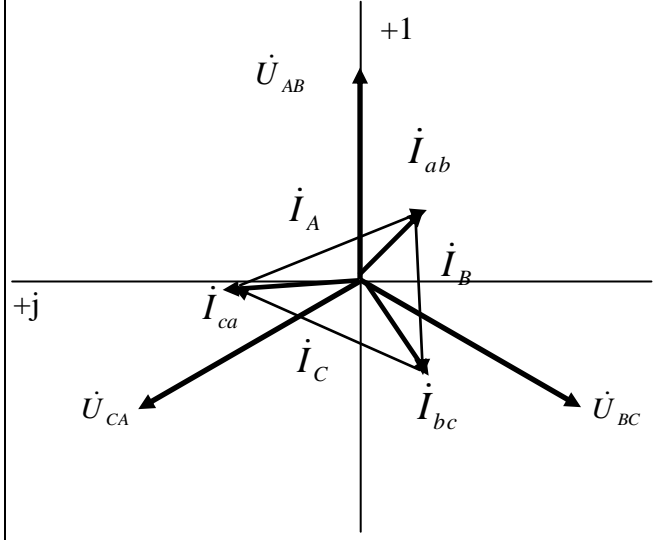
Схема соединения нагрузки	Характеристика схемы	Режим работы схемы	Смещение нейтрали	Фазный и линейный токи	Ток нулевого провода
Звезда 	-	симметричный	$\dot{U}_{O'O} = 0$	$\dot{I}_\phi = \dot{I}_\lambda = \frac{\dot{U}_{\phi z}}{Z_\phi},$ $Z_\phi = Z_{\phi z} + Z_\lambda + Z_{\phi n}$	-
	-	несимметричный	$\dot{U}_{O'O} = \frac{\dot{U}_A \cdot \underline{Y}_A + \dot{U}_B \cdot \underline{Y}_B + \dot{U}_C \cdot \underline{Y}_C}{\underline{Y}_A + \underline{Y}_B + \underline{Y}_C}$	$\dot{I}_\phi = \dot{I}_\lambda = \frac{\dot{U}_{\phi z} - \dot{U}_{O'O}}{Z_\phi}$	-
Звезда с нулевым проводом 	$Z_N = 0$	симметричный	$\dot{U}_{O'O} = 0$	$\dot{I}_\phi = \dot{I}_\lambda = \frac{\dot{U}_{\phi z}}{Z_\phi}$	$\dot{I}_N = 0$
		несимметричный			$\dot{I}_N = \dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C$
	$Z_N \neq 0$	симметричный	$\dot{U}_{O'O} = 0$	$\dot{I}_\phi = \dot{I}_\lambda = \frac{\dot{U}_{\phi z}}{Z_\phi}$	$\dot{I}_N = 0$
		несимметричный	$\dot{U}_{O'O} = \frac{\dot{U}_A \cdot \underline{Y}_A + \dot{U}_B \cdot \underline{Y}_B + \dot{U}_C \cdot \underline{Y}_C}{\underline{Y}_A + \underline{Y}_B + \underline{Y}_C + \underline{Y}_N}$		$\dot{I}_\phi = \dot{I}_\lambda = \frac{\dot{U}_{\phi z} - \dot{U}_{O'O}}{Z_\phi}$

Таблица 6.2 - Расчетные соотношения для трехфазной цепи при соединении нагрузки треугольником

Схема соединения нагрузки	Характеристика схемы	Фазный ток	Линейные токи
Треуголь- ник △	$\underline{z}_л = 0$	$\dot{I}_{\phi н} = \frac{\dot{U}_{лз}}{\underline{z}_{\phi н}}$	$\dot{I}_A = \dot{I}_{ab} - \dot{I}_{ca}; \quad \dot{I}_B = \dot{I}_{bc} - \dot{I}_{ab}; \quad \dot{I}_C = \dot{I}_{ca} - \dot{I}_{bc}.$ <p>При симметричном режиме работы $I_л = \sqrt{3} \cdot I_{\phi}$</p>
	$\underline{z}_л \neq 0$	<p>При наличии сопротивления линии традиционно применяют следующий алгоритм расчёта:</p> <p>1) Преобразуют треугольник сопротивлений нагрузки в эквивалентную звезду</p> $\underline{z}_a = \frac{\underline{z}_{ab} \underline{z}_{ca}}{\underline{z}_{ab} + \underline{z}_{bc} + \underline{z}_{ca}}, \quad \underline{z}_b = \frac{\underline{z}_{bc} \underline{z}_{ab}}{\underline{z}_{ab} + \underline{z}_{bc} + \underline{z}_{ca}}, \quad \underline{z}_c = \frac{\underline{z}_{ca} \underline{z}_{bc}}{\underline{z}_{ab} + \underline{z}_{bc} + \underline{z}_{ca}}.$ <p>Для симметричной нагрузки $\underline{z}_Y = \frac{z_{\Delta}}{3}$.</p> <p>2) В преобразованной схеме с нагрузкой, соединённой звездой, рассчитывают фазные (линейные) токи \dot{I}_A, \dot{I}_B, \dot{I}_C (см. расчётные формулы в таблице 6.1);</p> <p>3) Определяют комплексные потенциалы $\dot{\phi}_a$, $\dot{\phi}_b$, $\dot{\phi}_c$ точек a, b, c, к которым присоединен треугольник сопротивлений нагрузки $\dot{\phi}_a = \dot{U}_A - \dot{I}_A \underline{z}_л$, $\dot{\phi}_b = \dot{U}_B - \dot{I}_B \underline{z}_л$, $\dot{\phi}_c = \dot{U}_C - \dot{I}_C \underline{z}_л$.</p> <p>Рассчитывают фазные токи в нагрузке $\dot{I}_{ab} = \frac{\dot{\phi}_a - \dot{\phi}_b}{\underline{z}_{ab}}$; $\dot{I}_{bc} = \frac{\dot{\phi}_b - \dot{\phi}_c}{\underline{z}_{bc}}$; $\dot{I}_{ca} = \frac{\dot{\phi}_c - \dot{\phi}_a}{\underline{z}_{ca}}$.</p> <p>Для симметричной нагрузки $I_{\phi н} = \frac{I_л}{\sqrt{3}}$</p>	

Таблица 6.3 – Векторные диаграммы

Схема соединения нагрузки		
Звезда с нулевым проводом	Звезда	Треугольник
<p>Порядок построения векторной диаграммы :</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) фазные напряжения генератора $\dot{U}_A, \dot{U}_B, \dot{U}_C$; 2) фазные токи $\dot{I}_A, \dot{I}_B, \dot{I}_C$; 3) ток нулевого провода (строится как сумма фазных токов) $\dot{I}_N = \dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C$. 	<p>Порядок построения векторной диаграммы (для несимметричного режима):</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) фазные напряжения генератора $\dot{U}_A, \dot{U}_B, \dot{U}_C$; 2) смещение нейтрали $\dot{U}_{O'O}$; 3) фазные напряжения нагрузки $\dot{U}_a = \dot{U}_A - \dot{U}_{O'O}$; $\dot{U}_b = \dot{U}_B - \dot{U}_{O'O}$; $\dot{U}_c = \dot{U}_C - \dot{U}_{O'O}$. 4) фазные токи $\dot{I}_A, \dot{I}_B, \dot{I}_C$; 	<p>Порядок построения векторной диаграммы (при $z_L = 0$):</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) линейные напряжения генератора $\dot{U}_{AB}, \dot{U}_{BC}, \dot{U}_{CA}$; 2) фазные токи нагрузки $\dot{I}_{ab}, \dot{I}_{bc}, \dot{I}_{ca}$; 3) линейные токи (как разность соответствующих фазных токов) $\dot{I}_A = \dot{I}_{ab} - \dot{I}_{ca}$; ; $\dot{I}_B = \dot{I}_{bc} - \dot{I}_{ab}$ $\dot{I}_C = \dot{I}_{ca} - \dot{I}_{bc}$. 

7 Моделирование электрических и электронных схем в инструментальной среде Electronics Workbench

Экспериментальное исследование электрических схем в системе моделирования и анализа Electronics Workbench (далее просто «в программе Electronics Workbench, или EWB») во многом подобно исследованию схем на лабораторном столе любой аналоговой лаборатории. При этом роль лабораторного стола, на котором собирается электрическая цепь, выполняет рабочее поле в окне программы Electronics Workbench, рисунок 7.1.

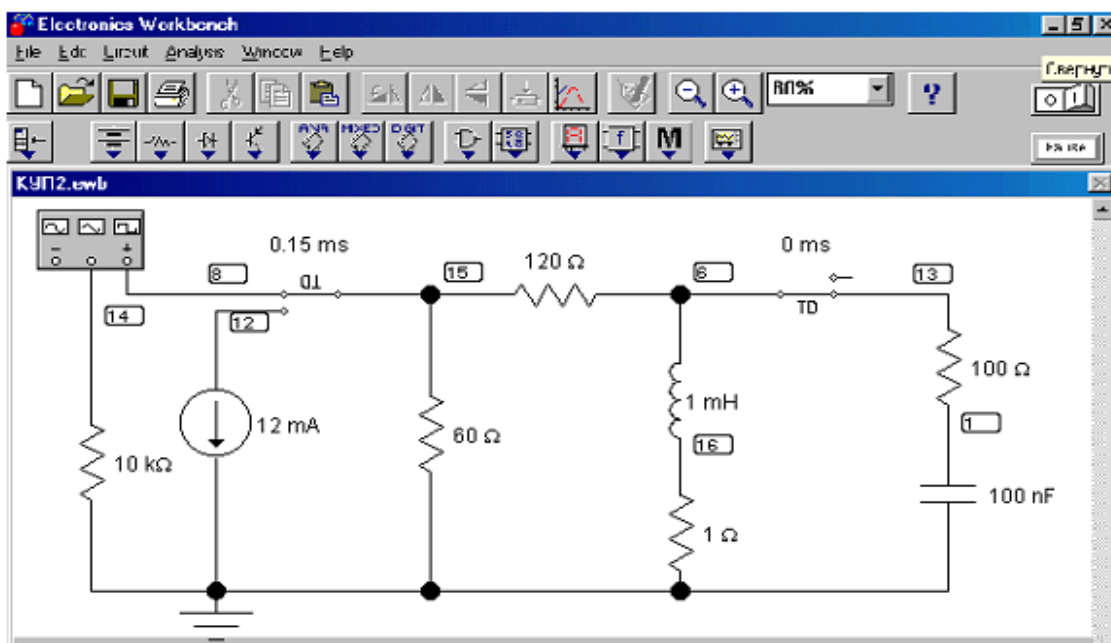


Рисунок 7.1 - Рабочее окно программы Electronics Workbench.

Моделирование выполняется, как в реальном эксперименте, в привычной последовательности операций: сборка схемы, подключение к ней измерительных приборов, выбор параметров элементов цепи и источников входных воздействий, установка режимов работы измерительных приборов. Результаты измерений считываются при моделировании в привычной форме с панелей знакомых приборов, таких, как амперметр, вольтметр, мультиметр, генератор, осциллограф, делая процесс исследования наиболее естественным и понятным.


7.1 Рабочее окно программы

Рабочее окно программы, рисунок 7.1 начинается с командной строки, содержащей разделы: *File, Edit, Circuit, Analysis, Window, Help*.

Раздел *File* содержит команды загрузки и записи файлов, получения твердой копии, а также импорта / экспорта файлов в формате *Spice*; раздел *Edit* - команды редактирования; *Circuit* – команды подготовки схем и задания параметров элементов; *Analysis* – команды, определяющие вид и параметры моделирования (анализа); *Window* – команды перезаписи экрана и упорядочивания информации в рабочем окне программы. *Help*, как и в других программах, содержит сведения о программе, а также о командах, библиотечных компонентах и измерительных приборах.

Вторая строка рабочего окна с помощью понятных пиктограмм (символов) на кнопках дублирует основные команды первой строки, а также дополняет их командами раздела *Analysis*.

Две пиктограммы рабочего окна нуждаются в пояснениях:

 - *Display Graphs* - открывает диалоговое окно с результатами анализа в графической форме, рисунок 7.2. В верхней части окна имеются кнопки, позволяющие дополнительно обрабатывать полученные результаты.

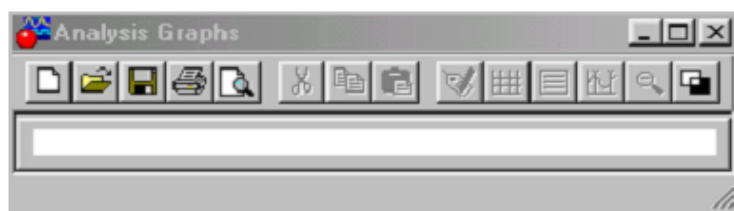


Рисунок 7.2 – Диалоговое окно.

Первые восемь кнопок – стандартные, девятая кнопка (*Properties*) предусмотрена для настройки параметров графического изображения. При ее нажатии открывается диалоговое окно с вкладками *General, Left Axis, Bottom Axis, Right Axis, Top Axis, Traces*, позволяющие редактировать названия графиков, наличие сетки, обозначение осей, цвет графиков и т. д.



- (*Component Properties*) -открывает диалоговое окно настройки параметров библиотечных компонентов. Для примера на рисунке 7.3 показано окно настройки параметров резистора.

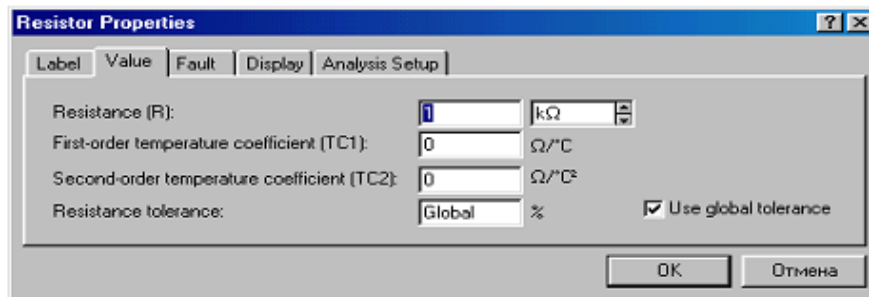


Рисунок 7.3 - Окно настройки параметров резистора.

Третья строка рабочего окна представляет собой библиотеку компонентов электрических и электронных цепей.

Библиотека компонентов программы Electronics Workbench 5.12 содержит следующие разделы (см. пиктограммы рабочего окна).

1. *Favorites* (вспомогательные компоненты) – раздел, в котором помещаются подсхемы, если они имеются в данной схеме и схемы, импортируемые из других программ. После окончания работы раздел стирается.

2. *Sources* (источники сигналов) – раздел, объединяющий группу активных элементов: идеальные источники постоянных и синусоидальных ЭДС и тока, а также источники с полиномиальной и нелинейной зависимостями напряжения во времени и источник ЭДС, информация о котором записана в файле данных, включая источники ЭДС и тока, управляемые напряжением и током, рисунок 7.4. В этом же разделе помещен компонент “заземление”.



Рисунок 7.4 – Раздел активных элементов.

3. *Basic* – раздел, рисунок 7.5, в котором собраны все пассивные компоненты: соединяющий узел, резисторы, конденсаторы, катушки индуктивности, линейный

и нелинейный трансформаторы с редактируемым коэффициентом трансформации, а также коммутационные устройства: реле, выключатели, переключатели автоматические и управляемые клавишей, временем, напряжением и током.



Рисунок 7.5 – Раздел пассивных элементов.

4. **Diodes** – раздел, объединяющий семейство диодов, рисунок 7.6.

5. **Transistors** – раздел биполярных и полевых транзисторов, рисунок 7.7.



Рисунок 7.6.



Рисунок 7.7.

6. **Analog ICs** раздел, содержащий линейный и нелинейные операционные усилители, компаратор и микросхему для систем автоподстройки частоты, рисунок 7.8. Следующие четыре пиктограммы открывают окна с наиболее распространенными микросхемами, логическими элементами и цифровыми устройствами и здесь не рассматриваются.



Рисунок 7.8 - Раздел линейных и нелинейных операционных усилителей.

7. **Indicators** – раздел, содержащий цифровые вольтметр и амперметр, лампу накаливания, свето- и звукоиндикаторы, рисунок 7.9.



Рисунок 7.9 – Раздел цифровых приборов.

8. *Miscellaneous* – раздел с компонентами смешанного типа, рисунок 7.10. В разделе имеются: плавкий предохранитель, набор подсхем в формате Spice, линии связи с распределенными параметрами с потерями и без потерь, кварцевый генератор, коллекторный электродвигатель постоянного тока, электровакуумный триод, фильтры-накопители на переключаемых индуктивностях.



Рисунок 7.10 - Раздел компонентов смешанного типа.

9. *Instruments* - группа контрольно-измерительных приборов.

По внешнему виду, органам управления и своим характеристикам приборы, рисунок 7.11, приближены к реальным промышленным аналогам.



Рисунок 7.11 – Раздел контрольно-измерительных приборов

7.2 Контрольно-измерительные приборы

При анализе цепей используются следующие приборы:

1. *Multimeter* – прибор, рисунок 7.12, предназначенный для измерения тока I , напряжения V , сопротивления Ω и затухания dB .



Рисунок 7.12 – Мультиметр.

Прибор можно использовать при измерении постоянного и переменного напряжения и тока (-, ~). Выбор режима работы прибора определяется с помощью

клавиш на его передней панели. При измерениях переменного напряжения и тока прибор показывает действующие значения. Параметры самого мультиметра можно изменять в режиме *Settings*. При этом можно задать его паразитные параметры: внутреннее сопротивление амперметра *Ammeter resistance*; внутреннее сопротивление вольтметра *Voltmeter resistance*; измерительный ток омметра *Ohmmeter Current*; эталонное напряжение при измерении затухания *Decibel Standard*.

2. *Function Generator* - функциональный генератор, рисунок 7.13, представляет собой идеальный источник напряжения, способный создавать выходные напряжения синусоидальной, треугольной и прямоугольной формы.

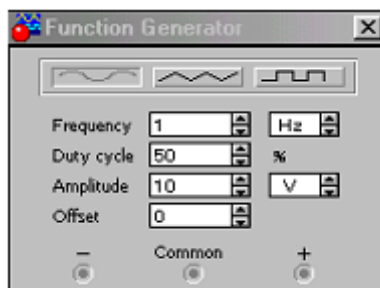


Рисунок 7.13 - Функциональный генератор.

С помощью клавиш на передней панели прибора можно установить частоту *Frequency* в Гц (Hz); коэффициент заполнения (скважность) *Duty cycle* в %; амплитуду *Amplitude* в В (V) и постоянную составляющую (смещение нулевого уровня) *Offset* выходного напряжения в В (V).

Генератор имеет два выхода + и -, с помощью которых можно получить два выходных сигнала, сдвинутых на 180°. При заземленном общем выводе COM можно получить парафазный сигнал.

3. *Oscilloscope* – осциллограф, рисунок 7.14, подобно реальному прибору, имеет два канала (Channel) A и B с отдельными регулировками чувствительности в диапазоне от 10 мкВ/дел ($\mu\text{V}/\text{Div}$) до 5 кВ/дел (kV/Div) и смещения по вертикали (Y Pos), а также три режима по входу: AC, DC и 0.



Рисунок 7.14 – Осциллограф.

Режим AC (закрытый вход) предназначен для наблюдения переменных сигналов, без постоянной составляющей. В режиме DC (открытый вход) на вход осциллографа пропускается и постоянная составляющая сигнала. В режиме 0 вход заземляется.

Развертка осциллографа может работать в трех режимах: временном Y/T и функциональном B/A или A/B. При работе во временном режиме коэффициент развертки *Time base* выбирается в пределах от 0,1 нс/дел (ns/Div) до 1 с/дел (s/Div). Смещение по горизонтали регулируется клавишей *X Position*. Запуск развертки может быть автоматическим *Auto* или ждущим *Trigger*. В ждущем режиме запуск развертки может выполняться по переднему или заднему фронту синхроимпульса (кнопки *Edge*). Уровень сигнала синхронизации регулируется с помощью клавиши *Level (Amplitude)*. Вид сигнала синхронизации выбирается с помощью клавиш *A, B, Ext*. Внешний сигнал синхронизации *Ext* подается на вход *Trigger*.

При синхронизации от внутренних сигналов используются каналы *A* или *B*. Общий вывод осциллографа *Ground* должен быть заземлен. Осциллограф может работать в режиме масштабирования, который вызывается кнопкой *Expand (Zoom)* на передней панели прибора. В этом режиме изменяется передняя панель прибора: увеличивается размер экрана, создается возможность прокрутки изображения по вертикали и горизонтали или сканирования его с помощью разноцветных вертикальных, визирных линий, которые можно перемещать по

экрану. При этом под экраном выводятся цифровые значения временных положений $T1$, $T2$ визирных линий и их разность $T2 - T1$, а также приводятся мгновенные значения напряжений, соответствующих положениям визирных линий: $VA1$, $VB1$, $VA2$, $VB2$ и их разности.

Изображение на экране можно инвертировать нажатием кнопки **Reverse** и запоминать в памяти нажатием кнопки **Save**. Возврат к обычному режиму работы осциллографа выполняется по команде **Reduce**, подаваемой с передней панели прибора. Остальные органы управления осциллографом в режиме **Zoom** не изменяют своих функций, но перемещаются в нижнюю часть передней панели прибора.

4. **Bode Plotter** - анализатор частотных характеристик, рисунок 7.15, предназначен для измерения амплитудно-частотных в режиме **Magnitude** и фазо-частотных в режиме **Phase** характеристик цепей. Он измеряет отношение амплитуд и разность начальных фаз двух сигналов, подаваемых на входы **In** и **Out**. При этом частоты входного и выходного сигналов имеют одинаковые значения и задаются внутренним генератором, который входит в состав прибора **Bode Plotter**. Левые зажимы входа и выхода подключают к исследуемой цепи, а правые зажимы соединяют с общей точкой **Ground**. Кроме этого, к входу цепи должен быть подключен какой-либо источник переменного напряжения, при этом каких-либо настроек в этом источнике производить не нужно.

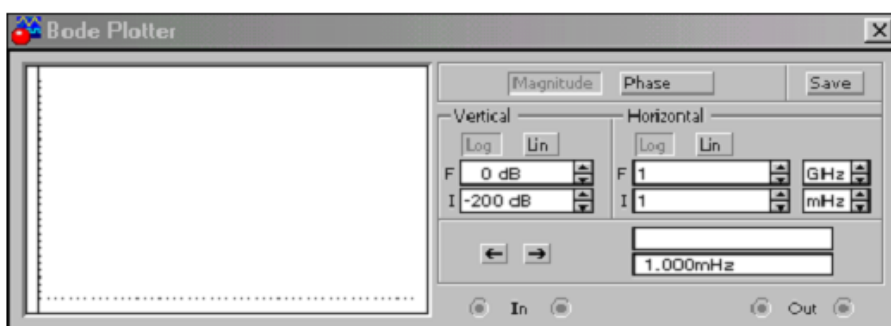


Рисунок 7.15 - Анализатор частотных характеристик.

В режиме АЧХ левая панель управления **Vertical** задает: начальное I - *initial* и конечное F - *Final* значения параметров, откладываемых по вертикальной оси, в

относительных единицах в линейном режиме - *Lin* или в децибелах - в логарифмическом режиме - *Log*.

При измерении фазо-частотных характеристик *Phase* по вертикальной оси откладывают значения угла сдвига фаз в градусах, как в линейном, так и в логарифмическом режимах работы. При этом указывают минимальное *I- Initial* и максимальное *F - Final* значения шкалы прибора.

По горизонтальной оси прибора (*Horizontal*) также указывают минимальное *I* и максимальное *F* значения частоты в Гц, как в линейном *Lin*, так и в логарифмическом *Log* режимах работы. С помощью вертикальной визирной линии, которую можно перемещать по экрану посредством мыши, определяют численное значение частоты и выходной величины в месте положения визирной линии. Эти значения в цифровой форме выводятся в нижней части передней панели прибора и могут быть записаны в текстовый файл при помощи команды, подаваемой клавишей *Save*.

7.3 Построение схем

Как и в обычной лаборатории, перед построением схемы целесообразно подготовить ее эскиз на бумаге с расположением элементов (компонентов) схемы и их обозначением. Затем, пользуясь пиктограммами третьей строки рабочего окна, выбрать необходимый раздел библиотеки компонентов и открыть его (один щелчок левой кнопкой мыши). Выбранные компоненты (их пиктограммы) переносятся на рабочее поле с помощью мыши при нажатой левой кнопке. После размещения компонента в требуемом месте левая кнопка мыши отпускается и выполняется двойной щелчок этой же кнопкой для фиксации выбранного компонента на рабочем поле. При этом открывается диалоговое окно *Component Properties* (его можно открыть кнопкой с соответствующей пиктограммой во второй строке рабочего окна), с помощью которого устанавливаются требуемые параметры компонента. Подтверждение выбранных параметров производится нажатием клавиш *Accept* или *Enter*.

Для изменения параметров компонента необходимо два раза щелкнуть левой кнопкой мыши по символу компонента и в открытом диалоговом окне произвести необходимые изменения. Если требуется повернуть выбранный компонент на угол, кратный 90° , нужно его выделить, а затем выбрать команду **Rotate** из меню **Circuit** или нажать клавиши Ctrl+R.

После размещения компонентов схемы на рабочем поле их следует соединить с помощью проводников. Для подключения проводника курсор с помощью мыши подводится к выводу компонента, и после появления на выводе компонента большой черной точки (или красного цвета) нужно нажать левую кнопку мыши. При этом проводник протягивается к выводу другого компонента до появления на нем такой же точки. После выполнения соединения левую кнопку мыши следует отпустить.

При соединении компонентов к их выводам подключается только один проводник. Если количество проводников, подключаемых к компоненту, больше одного, то в библиотеке компонентов выбирается пиктограмма соединяющего узла (точки) и переносится на ранее установленный проводник. Для фиксации точки соединения необходимо отвести курсор на свободное место и щелкнуть левой кнопкой мыши. К полученному соединению можно подключить еще два проводника.

Подключение измерительных приборов выполняется аналогично подключению компонентов схемы. При этом можно использовать цветные проводники, которые выделяют подключенный прибор и окрашивают в соответствующий цвет выводимые графики. Для изменения цвета проводника следует дважды щелкнуть левой кнопкой мыши на изображении проводника и в открывшемся окне **Wire Properties** выбрать требуемый цвет.

7.4 Моделирование схемы

После построения схемы выполняется ее расчет - моделирование. Запуск программы моделирования осуществляется нажатием выключателя в правом верхнем углу или по команде **Activate** (Ctrl+G), которая подается из меню **Analysis**. Результаты моделирования при наличии в схеме измерительных приборов

выводятся непосредственно на табло приборов, см. рисунок 7.1. Если необходим анализ цепи, вид анализа выбирается с помощью команд, которые подаются из меню команд *Analysis*.

Например, *Analysis > DC Operating Point* - расчет режима по постоянному току. При этом в окне *Analysis Graphs* появится таблица с перечнем узлов схемы и их потенциалами. Чтобы ориентироваться в полученной информации, необходимо заранее установить их нумерацию.

Для этого открывается диалоговое окно *Schematic Options* (меню команд *Circuit*) и в закладке *Show/Hide* делается отметка в позиции *Show nodes*. После щелчка кнопкой мыши по кнопке ОК на схеме появляется нумерация узлов.

Для настройки параметров моделирования открывается диалоговое окно *Analysis Options*, рисунок 7.16.

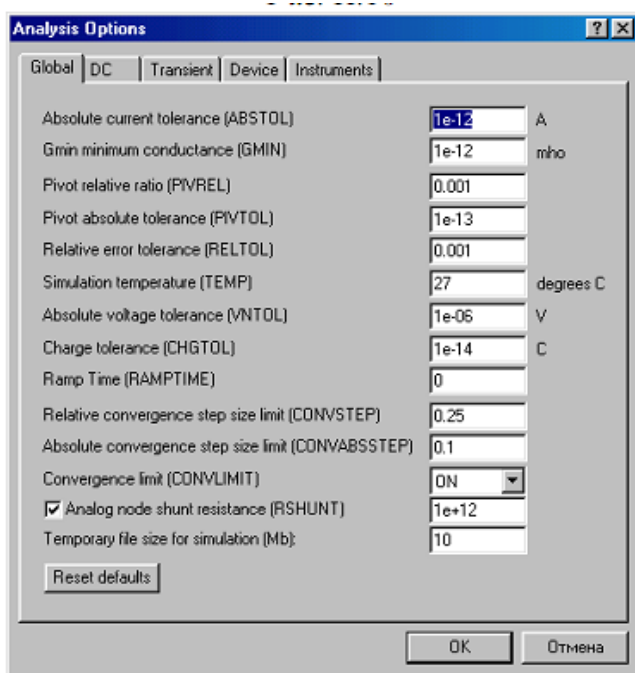


Рисунок 7.16 - Диалоговое окно настройки параметров моделирования.

Анализ переходного режима осуществляется командой *Analysis > Transient*. При этом в составе схемы могут находиться один или несколько коммутаторов – ключей. В программе имеются четыре типа ключей:

- 1) ключ, управляемый клавишей (по умолчанию - клавишей *Space*);
- 2) ключ, управляемый временем (TD);

3) ключ, управляемый напряжением;

4) ключ, управляемый током.

Для коммутации схемы можно использовать любой из этих ключей. Параметры ключей устанавливаются по команде **Circuit > Component Properties**. В открытом окне **Time-Delay Switch Properties** с помощью меню **Label** устанавливается условное обозначение ключа на схеме, например, **SI**, а с помощью меню **Value** задается соответствующий параметр: управляющая клавиша, интервалы времени срабатывания или управляющее напряжение (ток). Для ключа, управляемого временем (**TD**), устанавливаются два интервала времени: **Time on (Ton)** и **Time off (Toff)**. Ключ, работающий на замыкание, реализуется выбором интервалов **Ton »Toff**. В течение интервала **Ton** ключ замкнут вплоть до момента времени, равного (**Ton -- Toff**). Если время **Toff** достаточно мало, то можно считать, что ключ находится в замкнутом состоянии в течение времени **Ton**. Для реализации ключа, работающего на размыкание, необходимо выбирать **Toff>>Ton**. При этом интервал времени **Ton** создает задержку срабатывания ключа на размыкание.

Аналогично, при достаточно малом значении времени **Ton**, можно считать, что ключ будет разомкнутым в течение времени **Toff**. Если переходный процесс возникает в результате подключения цепи к источнику, то ключ не нужен.

Рекомендуемая последовательность действий при моделировании переходного режима такова: установить нумерацию узлов схемы - сделать отметку в позиции **Show nodes** в закладке **Show/Hide** окна **Schematic Options**; раскрыть диалоговое окно **Transient Analysis**, рисунок 7.17, команды **Analysis > Transient** и установить параметры моделирования; запустить программу моделирования, щелкнув кнопкой мыши на кнопке **Simulate**.

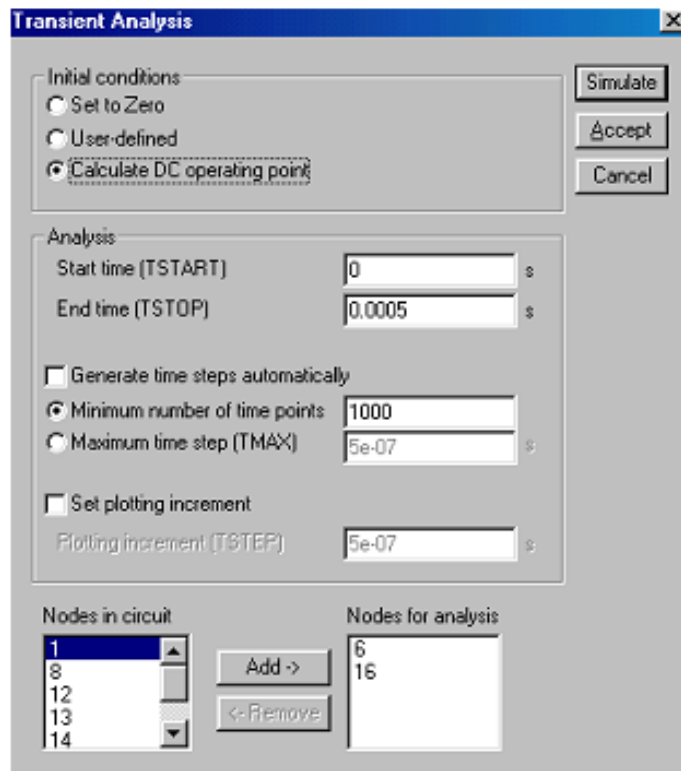


Рисунок 7.17 - Диалоговое окно *Transient Analysis*.

В качестве примера на рисунке 7.17 приведены установочные параметры моделирования цепи, представленной на рисунке 7.1, а на рисунке 7.18 – результаты моделирования, которые выведены в окне *Analysis Graph*. Как видно в окне *Transient Analysis*, рисунок 7.17, анализ проводится для двух узлов (6 и 16), начиная с момента времени $TSTART=0$ и заканчивая временем $TSTOP=0,0005s$. В течение указанного интервала времени переходный процесс практически затухает и узловые напряжения (узлов 6 и 16 по отношению к заземленному узлу) приближаются к установившимся значениям.

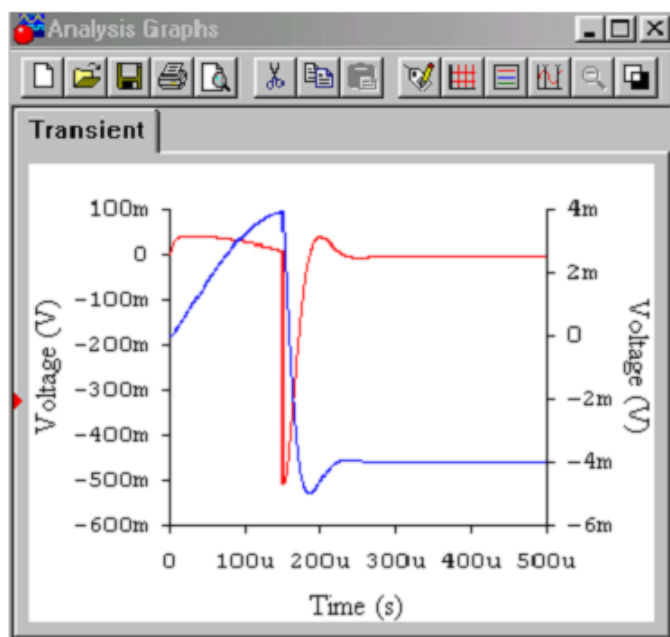


Рисунок 7.18 – Результаты моделирования

Установившиеся значения напряжений для узлов 6 и 16 (соответственно 0 и -4 мВ) легко проверить непосредственно по схеме рисунок 7.1, учитывая, что при воздействиях, постоянных во времени (после коммутации), сопротивление конденсатора бесконечно велико, а катушки индуктивности - бесконечно мало. Напряжение узла 6 (на шунтовом резисторе $R=1$ Ом) численно равно току катушки индуктивности.

Программу моделирования можно в любой момент времени остановить по команде **Stop** (Ctrl+T) или прервать по команде **Pause** (F9).

Список использованных источников

1 **Бессонов, Л.А.** Теоретические основы электротехники: Методические указания и контрольные задания для студентов технических специальностей вузов/ Л. А. Бессонов, И. Г. Демидова, М. Е. Заруди и др.— 3-е изд., испр. —М.: Высш. шк., 2003.— 159 с.

2 **Быковская, Л.В.** Трёхфазные цепи: учебное пособие / Л.В.Быковская, Н.Ю.Ушакова; Оренбургский гос. ун-т. – Оренбург: ОГУ, 2015. – 111 с.

3 **Ушакова, Н. Ю.** Метод симметричных составляющих: метод. указания к самостоят. изучению раздела курса ТОЭ и к выполнению расчет.-граф. задания / Н. Ю. Ушакова, Л. В. Быковская. - Оренбург : ГОУ ОГУ, 2010. - 60 с. : ил. - Прил.: с. 37-58. - Библиогр.: с. 59.

4 **Исаев, Ю. Н.** Практика использования системы MathCad в расчетах электрических и магнитных цепей. Учебное пособие / Ю. Н. Исаев, А. М. Купцов, - М.: СОЛОН-ПРЕСС, 2013. - 180 с. ISBN 978-5-91359-123-4.

Приложение А

Пример оформления бланка задания на курсовую работу

Министерство образования и науки Российской Федерации

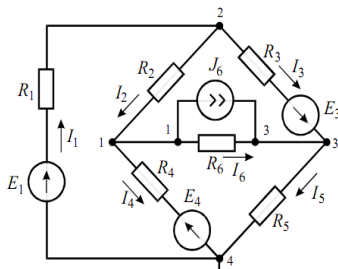
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ОРЕНБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Электроэнергетический факультет
**Кафедра автоматизированного электропривода, электромеханики и
электротехники**

Задание на курсовую работу

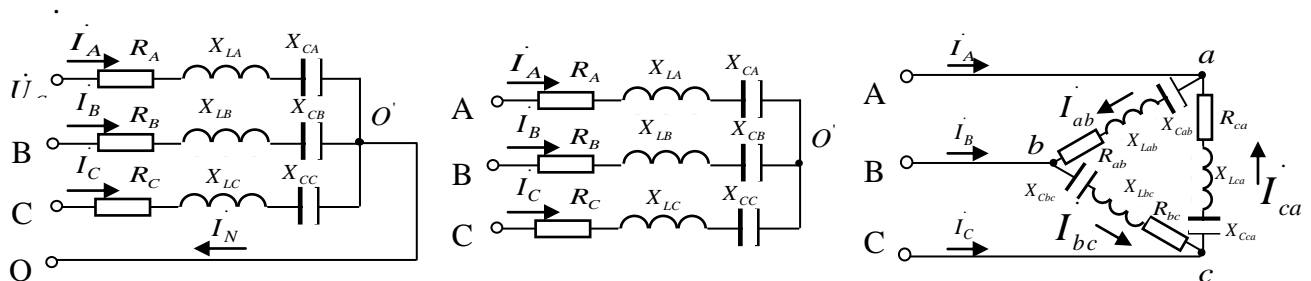
Расчет и моделирование электрических и магнитных цепей

1. Исходные данные задания 1.



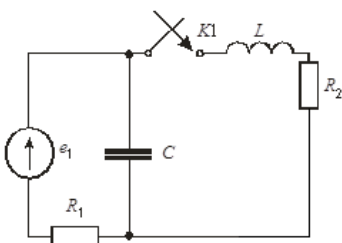
$E_1 = 100 \text{ В}; E_3 = 80 \text{ В}; E_4 = 120 \text{ В}; J_6 = 1 \text{ А}$
 $R_1 = 25 \text{ Ом}; R_2 = 15 \text{ Ом}; R_3 = 20 \text{ Ом};$
 $R_4 = 35 \text{ Ом}; R_5 = 25 \text{ Ом}; R_6 = 45 \text{ Ом}.$

2. Исходные данные задания 2, 3



$U_{\phi 2} = 127 \text{ В}; R_A = 25 \text{ Ом}; x_{LA} = 10 \text{ Ом}; R_B = 30 \text{ Ом}; x_{LB} = 20 \text{ Ом}; R_C = 10 \text{ Ом}; x_{CC} = 5 \text{ Ом}.$

4. Исходные данные задания 4.



$E_1 = 200 \text{ В};$
 $L = 30 \text{ мГн}; C = 30 \text{ мкФ}.$
 $R_1 = 25 \text{ Ом}; R_2 = 15 \text{ Ом}.$

Дата выдачи задания

«__» _____ 20__ г.

Срок защиты курсовой работы

«__» _____ 20__ г.

Руководитель работы

кандидат технических наук, доцент

_____ С.Н. Бравичев

Исполнитель

студент группы 12 ЭЭ(б) – 3

_____ В.И. Иванов