

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ
Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Купцов А.М.

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

**контрольные задания
с методическими указаниями и примерами**

для студентов направлений 220100 и 221000
ИНСТИТУТА КИБЕРНЕТИКИ

Томск 2011

УДК 621.3.011.1
ББК 31.2я73
К92

Купцов А.М.

К92 Теоретическая электротехника. Контрольные задания с методическими указаниями и примерами для студентов направлений 220100 и 210000: учебное пособие / А.М. Купцов; Томский политехнический университет. - Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. -76 с.

Представлены контрольные задания, охватывающие основной материал курса «Теоретическая электротехника» и соответствующие требованиям ГОС ВПО третьего поколения подготовки студентов по направлениям 220700 «Автоматизация технологических процессов и производств (в нефтегазовой отрасли)» и 221000 «Мехатроника и робототехника».

Чтобы облегчить самостоятельную работу студентов по выполнению контрольных заданий в пособии приведены пояснения и примеры расчета. Кроме того, в пособии приведены полезные справочные материалы, в том числе по моделированию электрических цепей в системах Electronics Workbench и MathCAD.

Рецензенты

Доктор физико-математических наук

© ГОУ ВПО НИ ТПУ, 2011
© Купцов А.М.
© Обложка. Издательство Томского
Политехнического университета, 2011

ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ ОТЧЕТА ПО КОНТРОЛЬНОМУ ЗАДАНИЮ

Выполнение домашних контрольных работы - наиболее важный вид занятий по электротехнике. Цель заданий – освоение расчета и анализа цепей современными методами, приобретение навыков краткого изложения сущности производимых расчетов и анализа полученных результатов.

К представленным на проверку отчетам, выполненным на бумаге формата А4 в печатном или рукописном варианте, *предъявляются следующие требования:*

1. На первой странице (после титульного листа, образец которого прилагается) записывается условие задания, затем схема и табличные данные. Записи выполняются на одной стороне.

2. Основные этапы решения должны быть выделены и иметь достаточно подробные пояснения. Рисунки, графики, вспомогательные схемы должны располагаться по тексту после соответствующих ссылок и выполняться в удобочитаемом масштабе, желательно на миллиметровке. Каждая кривая и рисунки в целом должны быть подписаны.

3. Численные результаты величин записываются после округления с четырьмя значащими цифрами. Допускается и с тремя, если первая не 1 или 2. Например, 38,3; 0,01125; 95400.

4. Представленный на проверку отчет (работа) должен быть датирован и подписан студентом.

5. После проверки преподавателем замечания должны быть исправлены, а работа сдана на повторную проверку вместе с первоначальным вариантом и замечаниями преподавателя. При исправлении части работы она не переписывается: исправленный текст пишется вблизи первоначального текста с указанием, что это исправление ошибок.

6. Задание зачитывается после защиты, если оно удовлетворяет перечисленным требованиям и не содержит принципиальных ошибок.

Дополнительные требования:

1. Все буквенные символы необходимо пояснять словами или обозначать на схемах. Числовому решению должно предшествовать буквенное решение или формула. После формулы нельзя сразу писать числовой результат: в нее нужно подставить числовые значения и только затем записывать числовой результат с указанием единиц измерения.

2. Не следует изменять однажды принятые направления токов, наименования узлов, сопротивлений и т.д. В разных методах одну и ту же величину следует обозначать одним и тем же символом. Конечные результаты необходимо четко выделять.

3. Масштаб кривых и диаграмм следует выбирать таким, чтобы в одном сантиметре укладывалось целое число единиц физической величины. Градуировку осей выполнять, начиная с нуля, равномерно через один или два сантиметра, указывая численные значения величин слева от вертикальной оси и под горизонтальной осью. **Обозначения величин и их единицы измерения указывать обязательно.** Весь график в целом и отдельные кривые на нем должны иметь названия.

Для векторных диаграмм оси не градуируются, масштаб указывается в верхнем правом углу, например, $m_u = 10 \text{ В/см}$. При использовании системы MathCAD полученные графики или векторные диаграммы дополнительно *редактируются с учетом требований ЕСКД.*

ЗАДАНИЕ №1. Расчёт линейной электрической цепи с постоянными напряжениями и токами.

По номеру варианта составить граф схемы, содержащий узлы *a, b, c, d, e* и ветви с номерами 1-8 (рис.1).

Ветвь с номером 8 представлена двумя вариантами:

вариант *a* - для нечетных номеров; *б* – для четных.

Положительным направлением ветвей (1-8) считается направление *слева-направо*. При составлении графа ветви с источниками направляются от узла, указанного первым, к узлу, указанному вторым. Направления пассивных ветвей можно выбирать произвольно.

Учитывая структуру ветвей, изобразить схему цепи (элементы цепи изображать согласно требованиям ЕСКД).

Полагая источники ЭДС и тока в полученной схеме постоянными во времени, т.е. $e_1(t) = E_1$, $e_2(t) = E_2$, $J(t) = J$, изобразить схему, достаточную для расчёта токов ветвей и напряжения на источнике тока (схему обосновать). Сопротивления резисторов ветвей, кроме ветви с номером 6 (R_6), взять из табл.1.1.а.

Для полученной схемы:

1. Моделированием в системе *Electronics Workbench* определить сопротивление пассивной цепи относительно узлов присоединения ветви с R_6 (ветвь с R_6 отсутствует). Величину сопротивления R_6 по согласованию с преподавателем принять равной 0,4-0,8 от величины измеренного сопротивления.

2. Не преобразовывая схемы, составить систему уравнений по законам Кирхгофа для расчёта токов всех ветвей схемы и напряжения на источнике тока и рассчитать их.

3. Преобразовать схему до трех контуров и для преобразованной схемы определить:

3.1. Токи ветвей схемы методом контурных токов.

3.2. Токи ветвей схемы методом узловых потенциалов.

3.3. Записать уравнение баланса мощностей и подсчитать мощности источников энергии и нагрузок.

3.4. Определить напряжение на источнике тока методом наложения.

3.5. Представить схему относительно ветви с источником тока активным двухполюсником (эквивалентным источником), определить его параметры и найти напряжение на источнике тока.

3.6. Моделированием в системе *Electronics Workbench* убедиться в правильности определения параметров эквивалентного источника (R_T и E_T) и напряжения на источнике тока.

4. Для внешнего контура исходной (не преобразованной) схемы рассчитать и построить потенциальную диаграмму. Если в контур попадает источник тока, его следует обойти по ближайшим к нему ветвям.

5. По результатам расчётов составить таблицу и дать краткую характеристику использованным методам.

Дополнительное задание (согласовывается с преподавателем)

6. В исходной схеме (с постоянными во времени источниками ЭДС и тока) произвести расщепление источника тока и для обобщенных ветвей изобразить граф, сохранив прежнюю нумерацию ветвей и их направления. Записать матрицы графа: узловую (**A**), контурную (**B**), параметров ветвей (**R**), (**E**), (**J**) и произвести численный расчёт контурных токов и потенциалов узлов в системе MathCAD.

7. Моделированием в системе *Electronics Workbench* в схеме с расщепленным источником тока определить токи ветвей и потенциалы узлов и сравнить их с токами, найденными в п.6.

Таблица 1.1

№ варианта	Номера ветвей							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1, 24	<i>de</i>	<i>ab</i>	<i>bc</i>	<i>ad</i>	<i>cd</i>	<i>be</i>	<i>ce</i>	<i>ae</i>
2, 25	<i>ab</i>	<i>de</i>	<i>dc</i>	<i>ae</i>	<i>bc</i>	<i>be</i>	<i>ce</i>	<i>ad</i>
3, 26	<i>bc</i>	<i>da</i>	<i>ca</i>	<i>ab</i>	<i>be</i>	<i>ce</i>	<i>de</i>	<i>cd</i>
4, 27	<i>bc</i>	<i>da</i>	<i>ce</i>	<i>be</i>	<i>ab</i>	<i>ae</i>	<i>dc</i>	<i>de</i>
5, 28	<i>cd</i>	<i>ab</i>	<i>ed</i>	<i>ae</i>	<i>ce</i>	<i>da</i>	<i>be</i>	<i>bc</i>
6, 29	<i>da</i>	<i>bc</i>	<i>be</i>	<i>ab</i>	<i>ca</i>	<i>de</i>	<i>ce</i>	<i>dc</i>

7, 30	<i>ae</i>	<i>cd</i>	<i>be</i>	<i>bc</i>	<i>ab</i>	<i>ec</i>	<i>de</i>	<i>da</i>
8, 31	<i>be</i>	<i>da</i>	<i>cd</i>	<i>de</i>	<i>ce</i>	<i>ab</i>	<i>bc</i>	<i>ae</i>
9, 32	<i>bd</i>	<i>ac</i>	<i>ad</i>	<i>de</i>	<i>cd</i>	<i>ce</i>	<i>ab</i>	<i>be</i>
10, 33	<i>ac</i>	<i>be</i>	<i>da</i>	<i>ce</i>	<i>ab</i>	<i>cd</i>	<i>cb</i>	<i>de</i>
11, 34	<i>ed</i>	<i>bc</i>	<i>ac</i>	<i>ab</i>	<i>cd</i>	<i>da</i>	<i>be</i>	<i>ae</i>
12, 35	<i>bc</i>	<i>de</i>	<i>ab</i>	<i>ea</i>	<i>bd</i>	<i>cd</i>	<i>be</i>	<i>ca</i>
13, 36,	<i>ac</i>	<i>ec</i>	<i>cd</i>	<i>cb</i>	<i>ab</i>	<i>ea</i>	<i>bd</i>	<i>de</i>
14, 37	<i>db</i>	<i>ed</i>	<i>ae</i>	<i>cb</i>	<i>ba</i>	<i>ce</i>	<i>da</i>	<i>dc</i>
15, 38	<i>cd</i>	<i>da</i>	<i>be</i>	<i>ae</i>	<i>ed</i>	<i>bc</i>	<i>ac</i>	<i>ab</i>
16, 39	<i>cb</i>	<i>de</i>	<i>ac</i>	<i>be</i>	<i>ab</i>	<i>ce</i>	<i>da</i>	<i>cd</i>
17, 40	<i>be</i>	<i>ce</i>	<i>ae</i>	<i>de</i>	<i>ab</i>	<i>cd</i>	<i>ad</i>	<i>bc</i>
18, 41	<i>ad</i>	<i>ab</i>	<i>de</i>	<i>dc</i>	<i>ae</i>	<i>bc</i>	<i>be</i>	<i>ce</i>
19, 42	<i>de</i>	<i>ce</i>	<i>dc</i>	<i>bc</i>	<i>da</i>	<i>ce</i>	<i>be</i>	<i>ab</i>
20, 43	<i>da</i>	<i>be</i>	<i>bc</i>	<i>cd</i>	<i>ab</i>	<i>ed</i>	<i>ae</i>	<i>ce</i>
21, 44	<i>de</i>	<i>bc</i>	<i>dc</i>	<i>da</i>	<i>ce</i>	<i>be</i>	<i>ab</i>	<i>ca</i>
22, 45	<i>ec</i>	<i>de</i>	<i>da</i>	<i>ae</i>	<i>cd</i>	<i>be</i>	<i>bc</i>	<i>ab</i>
23, 46	<i>cd</i>	<i>be</i>	<i>ca</i>	<i>bc</i>	<i>de</i>	<i>ab</i>	<i>ea</i>	<i>bd</i>
24, 47	<i>bd</i>	<i>ab</i>	<i>ac</i>	<i>ec</i>	<i>cd</i>	<i>cb</i>	<i>de</i>	<i>ea</i>
25, 48	<i>ba</i>	<i>ce</i>	<i>da</i>	<i>dc</i>	<i>db</i>	<i>ed</i>	<i>ae</i>	<i>cb</i>

Структура ветвей

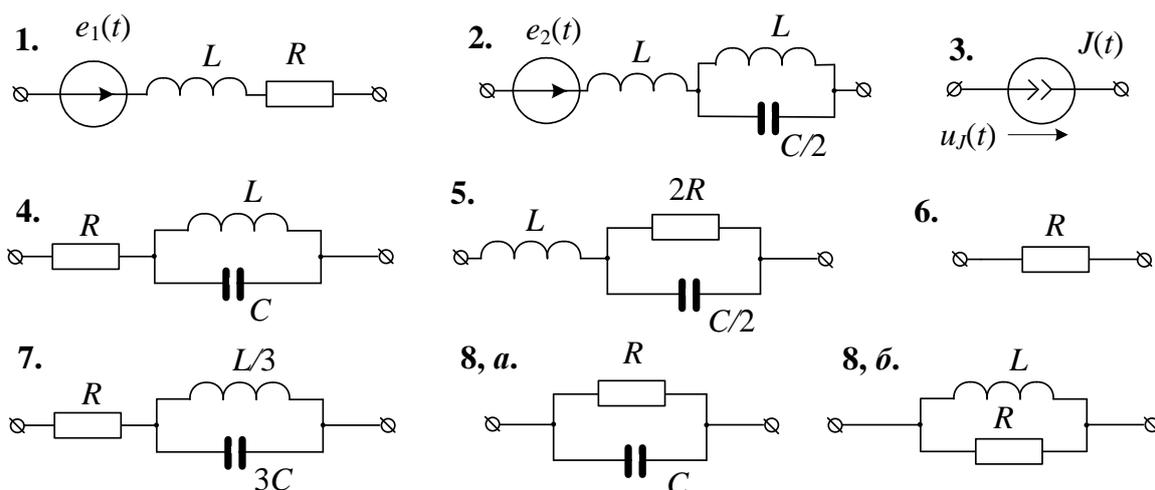


Рис. 1

Таблица 1.2

Варианты	R , Ом	L , мГн	C , мкФ	E_1 , В	E_2 , В	J , А	α , °	ω , рад/с
1, 24	10	5	50	12	18	1	30	2000
2, 25	20	20	50	30	57	0,6	30	1000
3, 26	10	20	200	15	24	0,6	0	500
4, 27	10	10	100	24	36	0,8	30	1000
5, 28	20	10	50	36	24	0,8	120	2000
6, 29	25	12,5	20	24	18	1	-90	2000
7, 30	25	25	40	12	20	1,6	30	1000
8, 31	15	15	66,6	48	42	0,6	30	1000
9, 32	40	20	12,5	42	36	1,2	30	2000
10, 33	40	80	50	45	30	0,8	30	500
11, 34	25	10	16	24	2	1,25	-30	2500
12, 35	15	7,5	33,3	18	10	0,8	0	2000
13, 36	20	10	25	12	24	1,2	30	2000
14, 37	24	24	41,66	18	20	1,4	180	1000
15, 38	16	20	78,125	20	24	0,9	-45	800
16, 39	50	62,5	25	12	18	0,6	0	800
17, 40	10	12,5	125	20	24	1,2	-30	800
18, 41	12	10	69,44	18	18	0,8	-150	1200
19, 42	10	10	100	15	24	1,6	0	1000
20, 43	15	10	44,44	18	14	1,2	30	1500
21, 44	8	4	125	22	18	1,4	0	2000
22, 45	12	15	104,17	18	24	1,25	30	800
23, 46	18	10	30,86	12	16	1,2	120	1800
24, 47	24	12	34,7	18	18	1,25	0	1200
25, 48	12	8	55,55	22	24	0,8	120	1500

ЗАДАНИЕ №2. Расчёт линейной электрической цепи с гармоническими напряжениями и токами.

Для исходной схемы задания №1, принимая источники ЭДС и тока изменяющимися во времени по синусоидальному закону,

$$e_1(t) = \sqrt{2}E_1 \sin(\omega t); e_2(t) = \sqrt{2}E_2 \sin(\omega t + 90^\circ); J(t) = \sqrt{2} J \sin(\omega t + \alpha)$$

с параметрами элементов, указанными в табл. 1.2, а также с учетом взаимной индуктивности $M=L/2$ катушек ветвей с номерами 1 и 5, выполнить следующее:

1. По законам Кирхгофа записать в общем виде системы уравнений токов и напряжений для их мгновенных значений. Номера и направления токов ветвей из задания №1 рекомендуется сохранить прежними.

2. Подсчитать комплексные сопротивления ветвей, соединяющих узлы, и изобразить схему с комплексными сопротивлениями, исключив ветви с бесконечно большими сопротивлениями. При необходимости преобразовать схему до трех контуров.

Следующие пункты задания выполнить для полученной схемы.

2.1. Не исключая индуктивной связи, рассчитать комплексы действующих значений токов всех ветвей и напряжения на источнике тока и записать их мгновенные значения.

2.2. Проверить балансы активной и реактивной мощностей цепи.

2.3. Построить лучевую диаграмму токов для узлов схемы и топографическую диаграмму напряжений для внешнего контура.

3. Развязать индуктивные связи и для развязанной схемы

3.1. Рассчитать комплексы действующих значений токов в ветвях схемы другим, по сравнению с п. 2.1, методом;

3.2. Представить цепь относительно ветви *с номером восемь* активным двухполюсником (эквивалентным источником). Рассчитать его параметры \dot{E}_Γ и \underline{Z}_Γ , а затем ток ветви и активную мощность, выделяемую в ветви.

3.3. Моделированием в системе **Electronics Workbench** проверить правильность определения параметров \dot{E}_Γ и \underline{Z}_Γ .

4. Составить таблицу результатов расчёта и прокомментировать полученные результаты.

Результаты расчетов сохранить для выполнения задания № 3.

Дополнительное задание (согласовывается с преподавателем)

5. Выполнить моделирование схемы с развязанными индуктивными связями в системе **Electronics Workbench** и сравнить полученные результаты с расчетными.

ЗАДАНИЕ №3. Расчёт линейной электрической цепи с периодическими негармоническими напряжениями и токами

В исходной *схеме задания №1* ветвь с номером 8 (восемь) заменить ветвью 8, *a* с управляемым источником, как показано на рис. 2:

для нечетных номеров – ветвью с *источником тока*, управляемого током третьей гармоники ветви с номером *шесть* $J_3(t) = k \cdot i_6^{(3)}$;

для четных номеров – ветвью с *источником ЭДС*, управляемого напряжением третьей гармоники ветви с номером *шесть* $e_3(t) = k \cdot u_6^{(3)}$;

где k_i - коэффициент управления, численно равный 0,5.

В полученной схеме с независимыми источниками периодических ЭДС $e_1(t) = E_1 + \sqrt{2}E_1 \sin(\omega t)$; $e_2(t) = E_2 + \sqrt{2}E_2 \sin(\omega t + 90^\circ)$ (табл. 1.2) и тока $J(t)$, представленного таблично (табл. 1.3), **выполнить следующее:**

1. Разложить ток источника $J(t)$ в ряд Фурье, ограничиваясь тремя наиболее значимыми гармониками, после чего в одной системе координат **построить кривую заданного тока $J(t)$, его гармонические составляющие** и **кривую суммы** гармонических составляющих в функции времени.

2. Рассчитать токи ветвей и напряжение на источнике тока $J(t)$ любым методом. Правильность расчетов проверить подсчетом баланса мощностей.

3. Записать закон изменения напряжения на источнике тока $J(t)$ в виде ряда Фурье и определить его действующее значение.

4. Определить активную, реактивную и полную мощности источника тока.

5. Определить показания амперметров магнитоэлектрической и электромагнитной систем, если их включить в ветвь с ЭДС $e_1(t)$.

6. Построить в одной системе координат графики несинусоидального напряжения источника тока и его эквивалентной синусоиды в функции времени.

7. Определить коэффициенты искажения, амплитуды и высших гармоник для кривой напряжения на источнике тока.

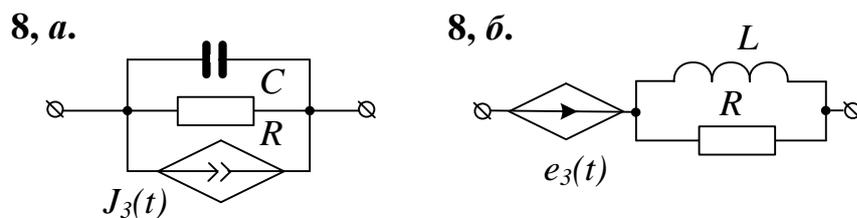


Рис. 2

Зависимость тока источника $J(t)$ во времени (в амперах)

Таблица 1.3

Вариант	Угловая координата ωt – в градусах											
	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330
1, 24	1,11	2,23	3,01	2,23	1,11	1	0,89	-0,23	-1,01	-0,23	0,89	1
2, 25	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	0,6	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	0,6
3, 26	0,6	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	0,6	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1
4, 27	1,78	1,61	1,78	1,63	0,8	-0,09	-0,18	0,01	-0,18	-0,09	0,8	1,69
5, 28	1,73	1,73	0,8	-0,13	-0,13	-0,13	-0,13	-0,13	0,8	1,73	1,73	1,73
6, 29	-0,16	0,42	1	1,58	2,16	2,74	2,16	1,58	1	0,42	-0,16	-0,74
7, 30	3,37	3,56	3,22	3,56	3,37	1,6	-0,171	-0,36	-0,023	-0,36	-0,171	1,6
8, 31	0,95	1,3	1,64	1,3	0,95	0,6	0,25	-0,1	-0,44	-0,1	-0,25	0,6
9, 32	1,2	2,65	2,67	2,3	2,67	2,65	1,2	-0,25	-0,27	-0,1	-0,27	-0,25
10, 33	1,69	1,78	1,61	1,78	1,63	0,8	-0,09	-0,18	0,01	-0,18	-0,09	0,8
11, 34	-0,26	1,25	2,76	2,78	2,39	2,78	2,76	1,25	-0,26	-0,28	0,11	-0,28
12, 35	1,89	2,58	3,28	2,58	1,89	1,2	0,51	-0,18	-0,88	-0,18	0,51	1,2
13, 36	2,59	2,59	2,59	2,59	1,2	-0,19	-0,19	-0,19	-0,19	-0,19	1,2	2,59
14, 37	1,4	0,59	-0,22	-1,02	-0,22	0,59	1,4	2,21	3,02	3,82	3,02	2,21
15, 38	-0,26	0,32	1,48	2,06	1,88	1,88	2,06	1,48	0,32	-0,26	-0,08	-0,08
16, 39	0,6	0,95	1,3	1,64	1,3	0,95	0,6	0,25	-0,1	-0,44	-0,1	-0,25
17, 40	-0,25	1,2	2,65	2,67	2,3	2,67	2,65	1,2	-0,25	-0,27	-0,1	-0,27
18, 41	-0,13	-0,13	-0,13	-0,13	-0,13	0,8	1,73	1,73	1,73	1,73	1,73	0,8
19, 42	1,6	3,37	3,56	3,22	3,56	3,37	1,6	-0,171	-0,36	-0,023	-0,36	-0,171
20, 43	2,59	2,59	2,59	2,59	2,59	1,2	-0,19	-0,19	-0,19	-0,19	-0,19	1,2
21, 44	1,4	2,21	3,02	3,82	3,02	2,21	1,4	0,59	-0,22	-1,02	-0,22	0,59
22, 45	2,76	2,78	2,39	2,78	2,76	1,25	-0,26	-0,28	0,11	-0,28	-0,26	1,25
23, 46	2,67	2,65	1,2	-0,25	-0,27	-0,1	-0,27	-0,25	1,2	2,65	2,67	2,3
24, 47	1,25	2,76	2,78	2,39	2,78	2,76	1,25	-0,26	-0,28	0,11	-0,28	-0,26
25, 48	1,78	1,2	0,8	0,39	-0,18	-0,49	-0,19	0,39	0,8	1,2	1,78	2,1

ЗАДАНИЕ №4. Переходные процессы в линейных электрических цепях с сосредоточенными параметрами

В схеме, соответствующей номеру задания, с параметрами, указанными в табл. 4.1, при нулевых начальных условиях с момента времени $t=0$ действует источник, ЭДС $e(t)$ или ток $J(t)$ которого изменяется во времени по закону:

$$e(t) = Et / t_0 \quad \text{или} \quad J(t) = Jt / t_0 \quad - \text{ для нечетных номеров;}$$

$$e(t) = Ee^{-1,5t/t_0} \quad \text{или} \quad J(t) = Je^{-1,5t/t_0} \quad - \text{ для четных номеров,}$$

где t_0 - время срабатывания ключа K , равное $3\tau_0$;

τ_0 – постоянная времени цепи до срабатывания ключа.

После срабатывания ключа K в момент времени $t = t_0$ ЭДС источника или ток источника тока принимают постоянные значения: $e(t) = -E$ или $J(t) = -J$, указанные в табл. 4.1.

Требуется:

1. На интервале времени $0 \leq t \leq t_0$ определить закон изменения тока в катушке индуктивности (схема RL) или напряжения на конденсаторе (схема RC) классическим методом и методом интеграла Дюамеля.

2. На интервале времени $t_0 \leq t < \infty$ определить закон изменения той же величины, что и в п. 1, классическим и операторным методами.

3. Составить уравнения состояния цепи после срабатывания ключа K , затем численно решить их в системе **MathCAD**. Результат представить в виде графиков $i_L(t)$ и $u_C(t)$.

4. Построить в одних осях график изменения искомого тока или напряжения на интервалах времени $0 \leq t \leq t_0$ и $t_0 \leq t = 5\tau$, где τ - постоянная времени цепи после коммутации (если их две, берется большая по величине).

5. Проверить правильность выполненных расчетов до и после коммутации (п.1 и п.3) моделированием в системе **Electronics Workbench** и сделать выводы по работе.

Таблица 4.1

Вариант	№ схемы	E , В	J , А	L , мГн	C , мкФ	R_1 , Ом	R_2 , Ом	R_3 , Ом
1	3	12	-	2	0,05	100	200	100
2	1	10	-	40	400	4	6	1
3	4		0,02	2	0,15	80	120	120

4	2	-	0,5	2	10	20	20	10
5	9	10	-	1,8	50	80	160	80
6	5	-	0,5	200	100	20	40	10
7	10	-	0,05	1	0,1	60	120	100
8	6	50	-	20	50	6	12	24
9	12	12	-	2	0,15	80	120	120
10	7	-	0,8	500	50	50	50	100
11	15		0,1	2	0,05	100	200	100
12	8	100	-	100	20	40	60	60
13	16	-	0,2	1	0,07	100	100	100
14	11	-	0,5	100	10	40	60	100
15	13	10	-	2	0,15	80	120	120
16	14	-	1	100	50	100	40	10
17	17	10	-	200	50	100	50	40
18	18	10	-	20	400	12	6	4
19	20	25	-	1,8	0,5	80	160	80
20	19	40	-	150	10	200	50	50
21	21	10	-	200	10	100	40	100
22	22	-	0,1	50	10	100	50	50
23	23	-	1	50	10	100	25	25
24	24	10	-	50	100	50	25	50
25	23	-	0,5	50	10	100	25	25
26	3	12	-	2	0,05	100	200	100
27	1	10	-	40	400	4	6	1
28	4		0,2	2	0,15	80	120	120
29	2	-	0,5	2	10	20	20	10
30	9	10	-	1,8	50	80	160	80
31	5	-	0,5	200	100	20	40	10

32	10	-	0,05	1	0,1	60	120	100
33	6	50	-	20	50	6	12	40
34	12	12	-	2	0,15	80	120	120
35	7	-	0,8	500	50	50	50	100
36	15		0,1	2	0,05	100	200	100
37	8	100	-	100	20	40	60	60
38	16	-	0,2	1	0,07	100	100	100
39	11	-	0,1	100	10	40	60	100
40	13	10	-	2	0,15	80	120	120
41	14	-	0,1	100	50	100	40	10
42	17	10	-	200	50	100	50	40
43	18	10	-	20	400	12	6	4
44	20	25	-	1,8	0,05	80	160	80
45	19	40	-	150	10	200	50	50
46	21	10	-	200	10	100	40	100
47	22	-	0,2	50	10	100	50	50
48	24	10	-	50	100	50	25	50

Примечание. Если корни характеристического уравнения цепи второго порядка не комплексно сопряженные, значения емкостей (по согласованию с преподавателем) можно изменить в пять-десять раз.

Дополнительное задание.

6. Полагая, что с момента времени $t \geq 2t_0$ в цепи действует источник ЭДС или источник тока периодического сигнала $e(t) = E \cos \omega t$ или $J(t) = J \cos \omega t$, где $\omega = 2\pi / t_0$, рассчитать смешанным операторно-классическим методом и построить график изменения тока в индуктивном и напряжения на емкостном элементах.

7. По условиям п. 6 дополнительного задания рассчитать указанные величины методом переменных состояния и дать сравнительный анализ методов расчета переходных режимов в электрических цепях.

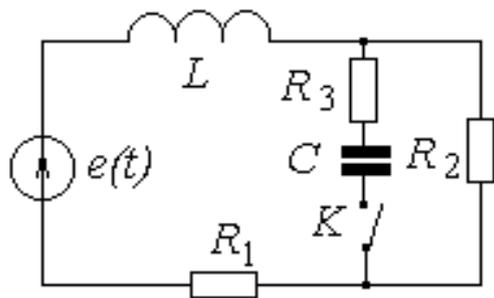


Схема 1

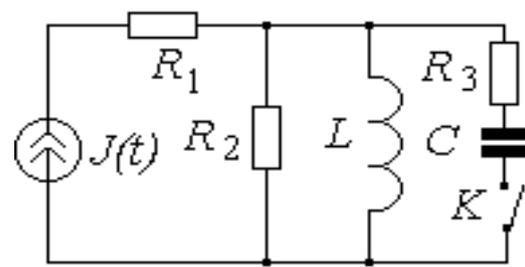


Схема 2

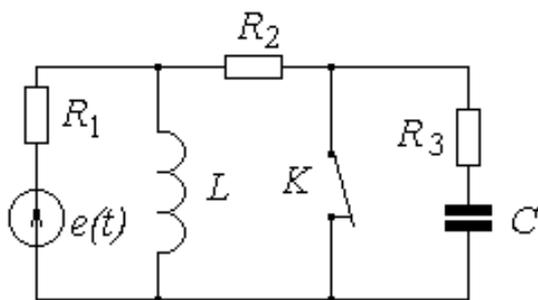


Схема 3

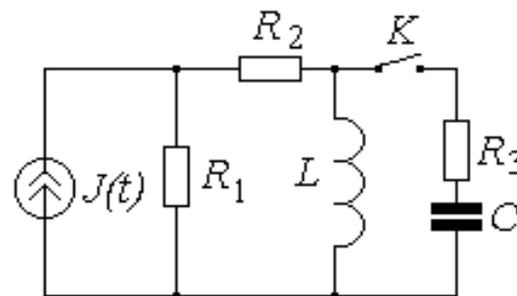


Схема 4

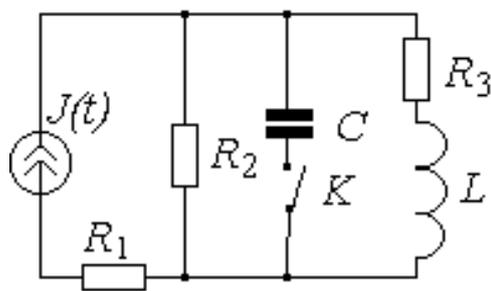


Схема 5

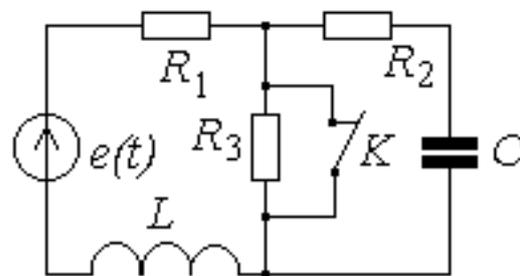


Схема 6

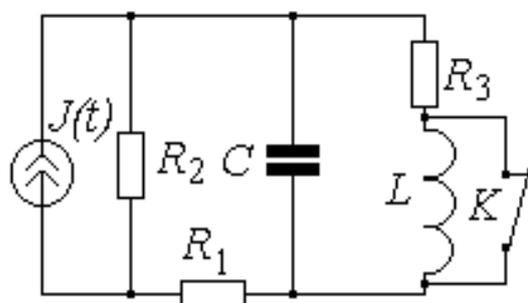


Схема 7

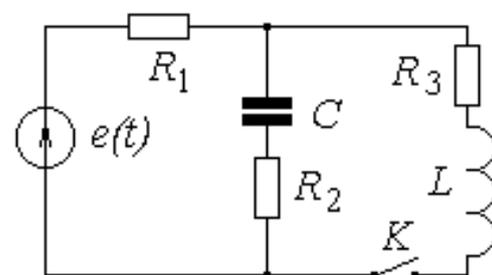
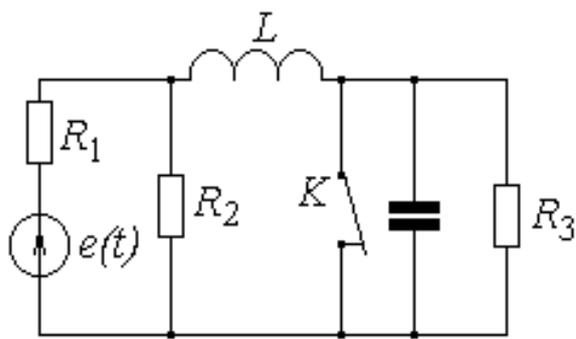
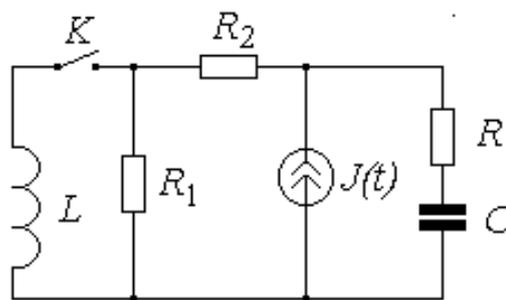


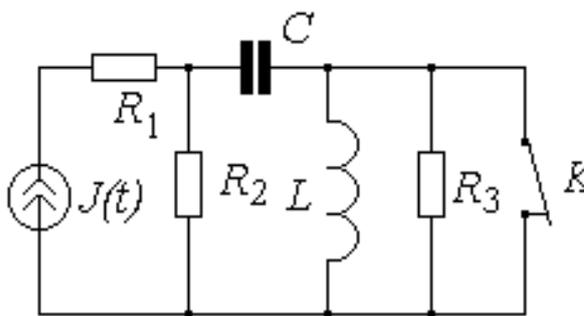
Схема 8



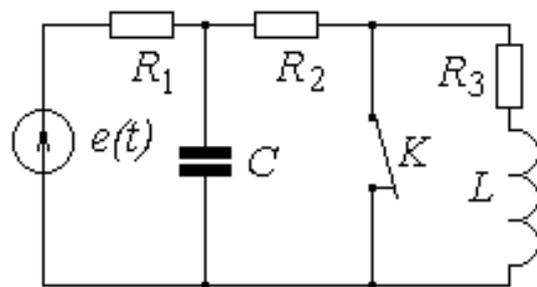
Cxema 9



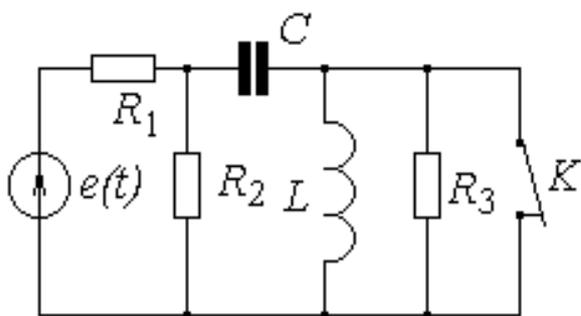
Cxema 10



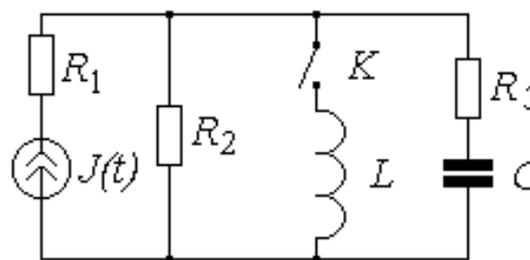
Cxema 11



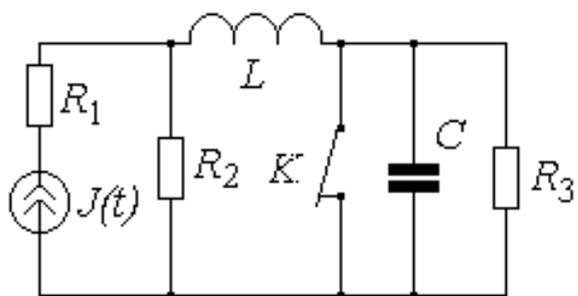
Cxema 12



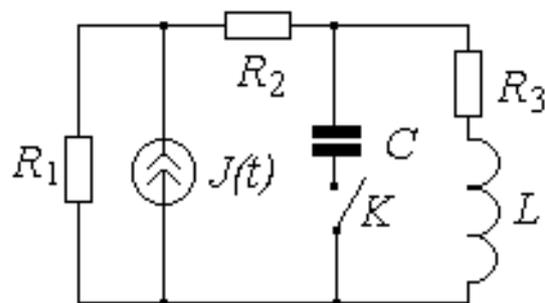
Cxema 13



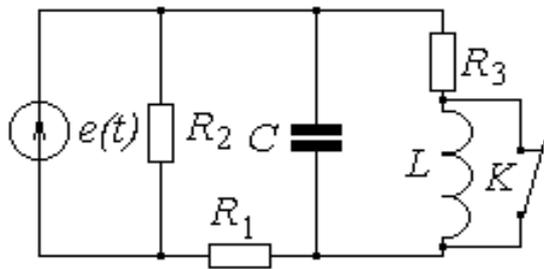
Cxema 14



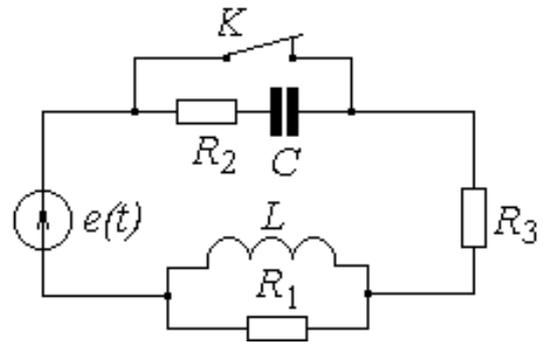
Cxema 15



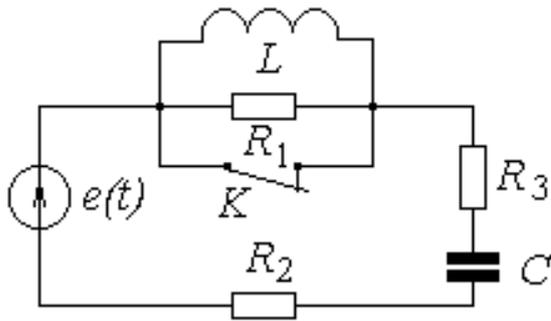
Cxema 16



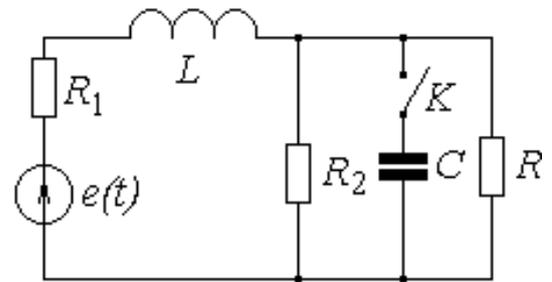
Cxema 17



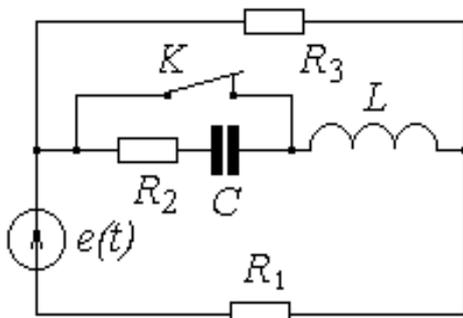
Cxema 18



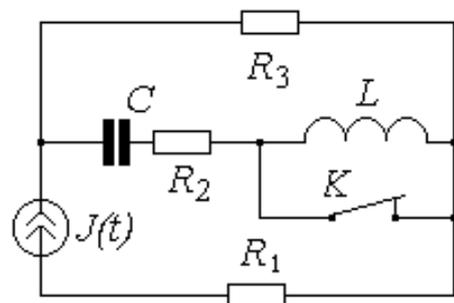
Cxema 19



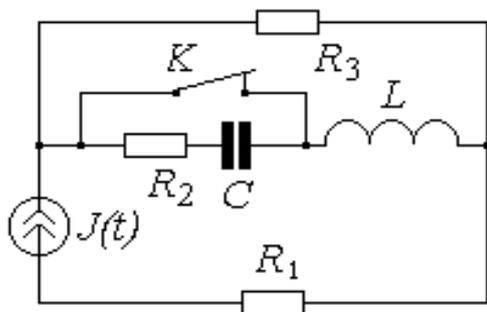
Cxema 20



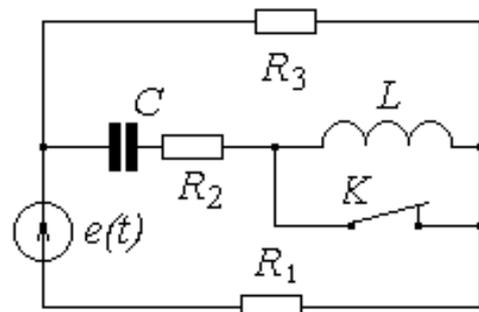
Cxema 21



Cxema 22



Cxema 23



Cxema 24

Задание 5. Расчет установившегося и переходного режимов в нелинейной электрической цепи

Электрическая цепь с линейными резисторами, источником постоянных во времени ЭДС E или тока J , параметры которых указаны в табл. 5.1, а также с линейными индуктивностью $L = 50$ мГн или емкостью $C = 0,1$ мкФ, содержит нелинейные элементы:

лампу накаливания с вольтамперной характеристикой (ВАХ)

$$u_1(i_1) = m i_1^3 \text{ (для нечетных номеров вариантов задания);}$$

варистор с ВАХ $i_1(u_1) = m u_1^2$ (для четных номеров);

полупроводниковый диод с ВАХ $i_2(u_2) = I_0(e^{u_2/U_0} - 1)$ (для всех схем); m, I_0, U_0 - постоянные коэффициенты (табл. 5.1).

Для заданной схемы необходимо

1. Рассчитать установившиеся значения токов и напряжений на нелинейных элементах в схеме до срабатывания ключа K :

а) графическим методом пересечения характеристик (характеристики ветвей и их преобразование выполнять в системе *MathCAD*; линейную часть цепи заменять эквивалентной);

б) численным методом последовательных приближений (в системе *MathCAD*).

2. Записать уравнение баланса мощностей и, определив недостающие данные, проверить его численно.

3. Численно (в системе *MathCAD*) рассчитать установившиеся значения токов и напряжений после срабатывания ключа K .

4. Используя результаты расчетов п.п.1 и 3, методом условной линеаризации рассчитать закон изменения тока индуктивного или напряжения емкостного элементов в функции времени.

5. Построить график изменения тока индуктивного или напряжения емкостного элементов в функции времени.

Дополнительное задание

6. Аппроксимировать ВАХ нелинейных элементов схемы после срабатывания ключа K двумя линейными отрезками и произвести замену нелинейных элементов схемы линейными (резисторами и источниками). Расчетом линейной схемы определить токи ветвей с нелинейными элементами.

7. Моделированием в системе *Electronics Workbench* проверить правильность расчетов п.6.

Таблица 5.1

Вариант	№ схемы	$E, В;$ или $J, МА$	$U_0,$ В	$I_0,$ МА	$m, В/МА^3$ или $МА/В^2$	$R_1,$	$R_2,$	$R_3,$
						кОм		
1	1	15	8	8	0,008	1	0,6	0,4
2	2	24	5	10	0.12	1,2	0,6	0,4
3	3	18	8	10	0,016	1	0,4	0,4
4	4	32	9	6	0,01	0,6	0,6	0,4
5	5	50	5	2	0,005	0,1	0,8	0,8
6	6	40	4	3	0,008	0,1	0,2	1
7	7	38	8	8	0,008	0,8	0,5	0,4
8	8	25	2	2	0,005	0,1	0,1	1
9	9	45	6	2	0,008	0,5	0,25	0,8
10	10	20	9	6	0,01	1	0,6	0,6
11	11	60	5	2	0,008	1	0,2	1
12	12	40	9	6	0,01	1	0,6	0,6
13	13	32	8	10	0,016	0,6	0,5	0,5
14	14	20	20	10	0,008	0,4	0,1	0,4
15	15	15	9	6	0,01	1	0,8	0,8
16	16	24	10	8	0,009	1,2	0,6	0,8
17	17	40	10	10	0,008	0,6	0,4	0,6
18	18	16	14	14	0,008	0,4	0,4	0,1
19	19	24	10	10	0,015	0,4	0,8	0,8
20	20	36	6	10	0,014	0,2	0,4	0,4
21	21	18	9	6	0,01	0,2	0,2	0,4
22	22	12	10	10	0,08	0,5	0,2	0,5
23	23	60	12	10	0,006	0,4	0,4	0,6
24	24	50	4	3	0,005	0,1	0,1	0,5
25	4	36	9	6	0,008	0,4	0,4	0,2
26	3	24	8	10	0,012	0,5	0,6	0,4
27	10	16	12	10	0,007	0,8	0,5	0,8
28	23	40	10	8	0,004	0,6	0,6	0,3
29	2	36	10	10	0,06	1,2	0,6	0,4
30	9	40	4	3	0,001	0,6	0,1	1
31	12	34	9	6	0,01	0,8	0,4	0,4
32	5	60	6	4	0,005	0,2	0,8	0,8
33	6	50	6	3	0,008	0,1	0,2	0,8
34	1	40	10	10	0,006	0,8	0,4	0,4

35	16	32	10	8	0,008	1	0,6	0,6
36	15	24	10	8	0,01	0,4	0,4	0,8
37	8	30	4	2	0,006	0,1	0,4	2
38	11	60	6	2	0,008	1,4	0,1	1,4
39	24	40	6	3	0,005	0,1	0,1	1
40	13	28	8	8	0,012	0,6	0,4	0,4
41	14	30	20	10	0,008	0,6	0,4	0,6
42	17	24	8	8	0,008	0,4	0,2	0,4
43	18	12	10	10	0,08	0,5	0,5	0,2
44	7	32	10	8	0,006	0,3	0,4	0,3
45	20	16	6	10	0,014	0,4	0,6	0,6
46	21	24	9	6	0,01	0,4	0,2	0,4
47	22	16	14	12	0,004	1	0,3	1
48	19	14	10	10	0,015	0,2	0,4	0,4

Примечание. Если в системе MathCAD при заданных в таблице коэффициентах U_0 , I_0 , t численного решения получить не удастся, по согласованию с преподавателем их можно изменить до получения устойчивого решения.

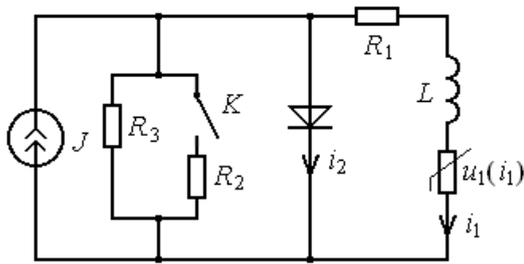


Схема 1

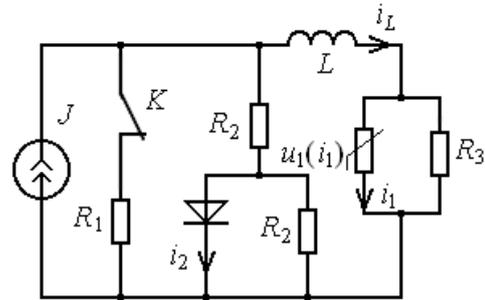


Схема 2

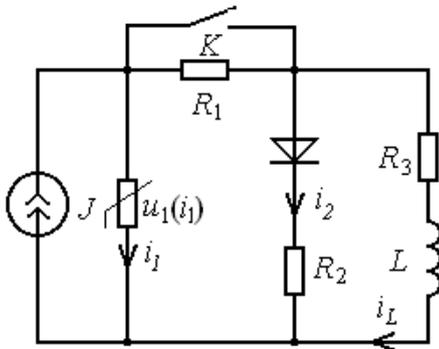


Схема 3

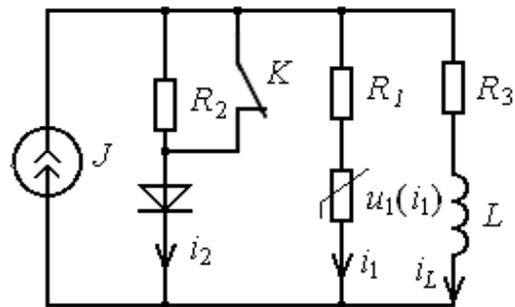


Схема 4

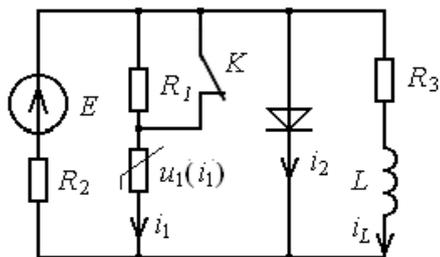


Схема 5

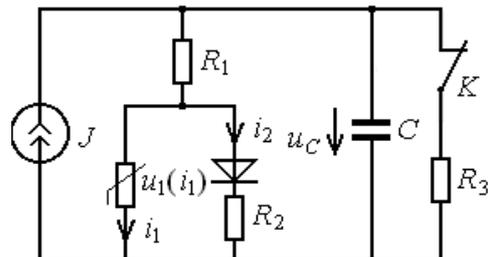


Схема 6

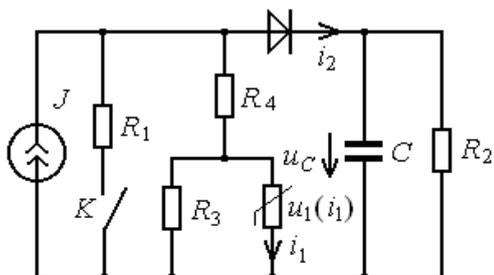


Схема 7

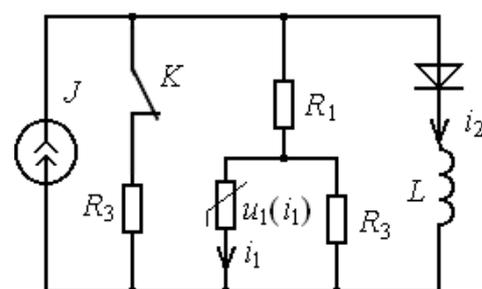


Схема 8

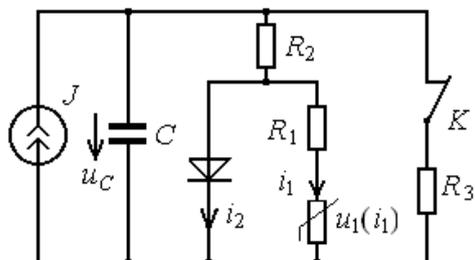


Схема 9

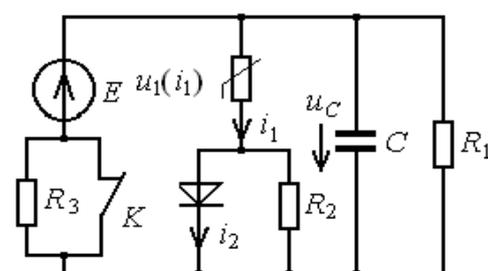


Схема 10

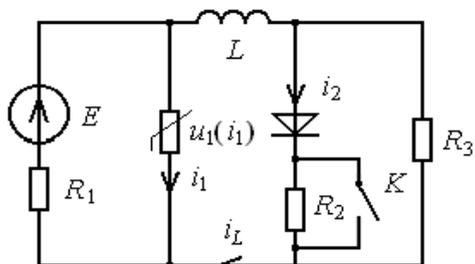


Схема 11

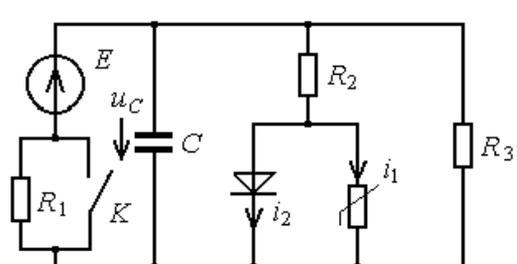


Схема 12

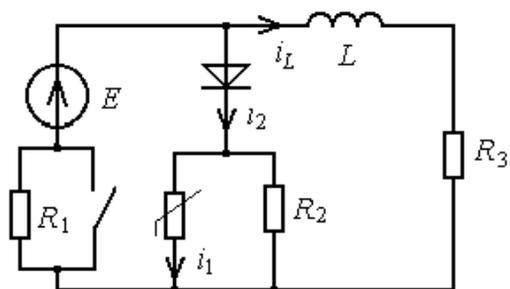


Схема 13

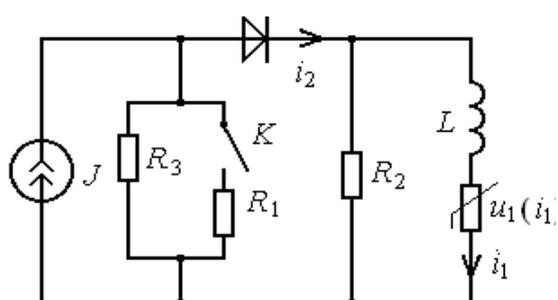


Схема 14

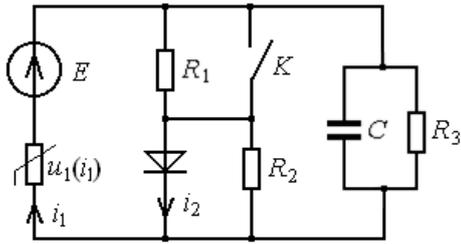


Схема 15

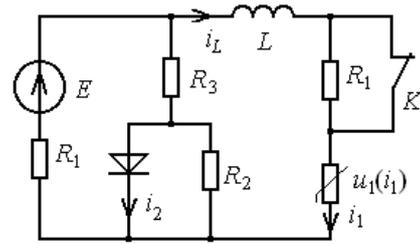


Схема 16

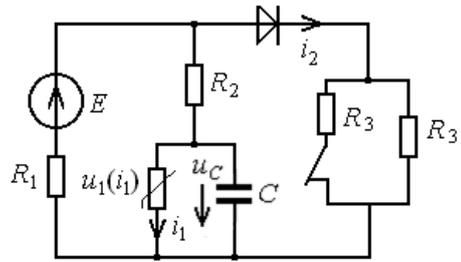


Схема 17

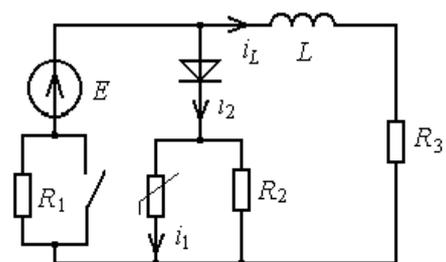


Схема 18

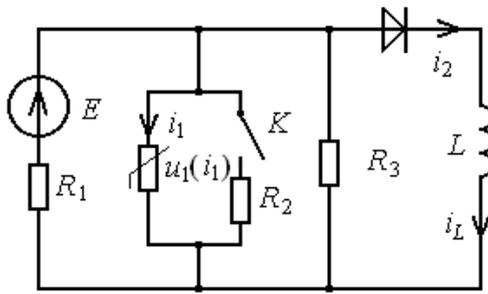


Схема 19

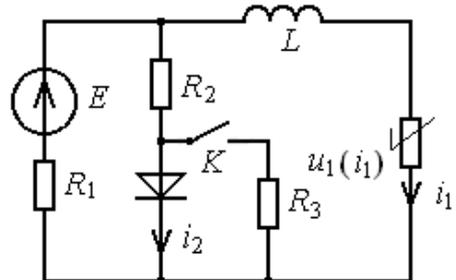


Схема 20

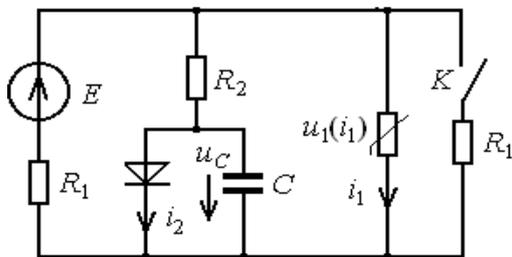


Схема 21

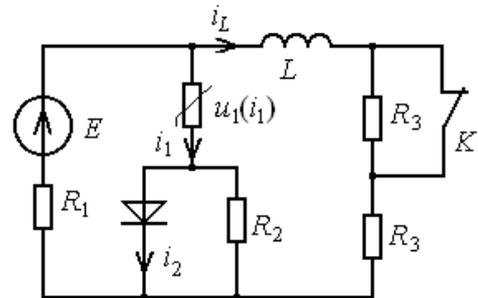


Схема 22

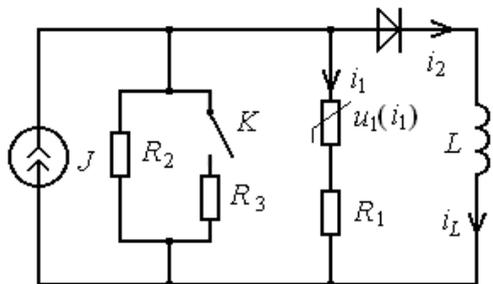


Схема 23

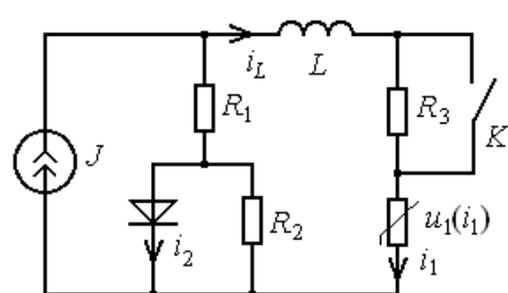


Схема 24