

Министерство образования и науки Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования

ИРКУТСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

Физико-технический институт

Кафедра радиоэлектроники и телекоммуникационных систем

## **ОСНОВЫ ТЕОРИИ ЦЕПЕЙ**

**Методические указания и задания на курсовую работу**

для студентов, обучающихся по

направлению подготовки: 210400 Радиотехнические средства  
передачи и приема информации  
профиль подготовки: 210402 Радиотехника  
квалификация (степень) бакалавр

Иркутск

2015 г.

“Основы теории цепей” программа, задание на курсовую работу и методические указания по выполнению расчетов для студентов специальности “Радиотехника”. Составила ст. преподаватель И.Г.Насникова.

Представлены методические указания к выполнению курсовой работы по дисциплине «Основы теории цепей» и задания на курсовую работу **"Исследование сигналов, проходящих через линейную электрическую цепь"**. На конкретных примерах рассмотрена методика расчета цепей постоянного и синусоидального тока в установившемся режиме и методика расчета переходных процессов в цепях постоянного тока.

## 1. Цель и задачи изучения дисциплины «Основы теории цепей».

Целью дисциплины "Основы теории цепей" является изучение законов электромагнетизма, единых для исследования как электротехнических, так и радиоэлектронных устройств, а также методов анализа и синтеза различных электротехнических и радиотехнических цепей, основанных на замене реальных технических устройств упрощенными моделями, процессы в которых описываются скалярными величинами – током и напряжением.

В процессе изучения дисциплины перед студентом ставятся следующие задачи: а) Физическая трактовка процессов, протекающих в электрических и радиотехнических цепях. б) Освоение инженерных методик анализа и синтеза цепей, позволяющих проводить исследование электротехнических и радиоэлектронных устройств.

Данная дисциплина образует фундамент, на котором базируется вся профессиональная творческая деятельность радиоинженера, и для ее изучения требуются знания законов физики, математики, дифференциального и интегрального исчисления.

В результате изучения дисциплины студент должен

**знать:**

- историю развития науки и техники в области электротехники и радиоэлектроники; основные законы электромагнетизма; методы расчета установившихся и переходных процессов в цепях постоянного и переменного тока с сосредоточенными и распределенными параметрами; условия возникновения резонансного режима работы цепи при различных включениях  $L, C$  – элементов; теоретические основы синтеза различных типов электрических фильтров; специфику расчета нелинейных цепей.

**уметь:**

- собрать по предложенной схеме из предоставленных комплектующих элементов электрическую или радиотехническую цепь и провести экспериментальные исследования, либо провести математическое моделирование заданной электрической цепи на персональной ЭВМ IBM PC; применять практически изученные методики расчета цепей для анализа или синтеза электротехнического или радиоэлектронного устройства любой сложности; математически описать в виде алгебраических или интегро-дифференциальных уравнений схему любой электротехнической или радиотехнической цепи.

Знание теории цепей и умение их использовать на практике совершенно необходимо для успешного усвоения студентами всех последующих общеинженерных и специальных дисциплин учебного плана специальности "Радиотехника".

## 2. Задания на курсовую работу

Целью курсовой работы является получение практических навыков анализа электрических цепей. При выполнении работы предусматривается изучение следующих тем: расчет электрических цепей при постоянном воздействии, расчет электрических цепей при гармоническом воздействии; расчет переходных процессов при подключении цепи к источнику постоянного напряжения.

**Вариант задания определяется в соответствии со списочным составом группы.**

Оформление курсовой работы должно соответствовать стандарту ИРНИТУ СТО 005–2015 СИСТЕМА МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА Учебно-методическая деятельность. Оформление курсовых проектов (работ) и выпускных квалификационных работ технических специальностей.

### 1. Расчет электрической цепи при постоянном воздействии

При выполнении этой части работы студент должен освоить основные методы расчета сложных электрических цепей постоянного тока: метод непосредственного применения законов Кирхгофа, метод контурных токов, метод узловых потенциалов, метод эквивалентного генератора.

Задана электрическая схема рис. 1. Исходные данные для схемы приведены в таблице 1.

#### Требуется:

1. Составить систему уравнений для расчета токов в ветвях на основании законов Кирхгофа.
2. Определить токи во всех ветвях схемы с помощью метода контурных токов.
3. Определить токи во всех ветвях схемы с помощью метода узловых потенциалов.
4. Составить баланс мощностей, вычислив суммарную мощность источников и суммарную мощность нагрузок (сопротивлений).
5. Определить ток в первой ветви, используя метод эквивалентного генератора.
6. Построить потенциальную диаграмму для любого замкнутого контура, включающего в себя несколько ЭДС.

#### Порядок расчета:

1. Метод непосредственного применения законов Кирхгофа.
  - определяем число уравнений составляемых по первому закону Кирхгофа по формуле  $n-1$  и по второму закону Кирхгофа по формуле  $m-(n-1)$ , здесь и далее  $n$  – число узлов,  $m$  – число ветвей;
  - выбираем направление токов в ветвях схемы (произвольно) и составляем систему уравнений по первому и второму законам Кирхгофа.
2. Метод контурных токов.

- определяем число уравнений составляемых по второму закон Кирхгофа по формуле  $m-(n-1)$ ;
- выбираем в схеме направление контурных токов (произвольно) и записываем систему из уравнений, составленных по второму закону Кирхгофа относительно контурных токов.
- решаем полученную систему уравнений относительно контурных токов;
- определяем токи в ветвях, выражая их через найденные контурные токи;
- правильность расчёта проверяем по балансу мощностей.

### 3. Метод узловых потенциалов.

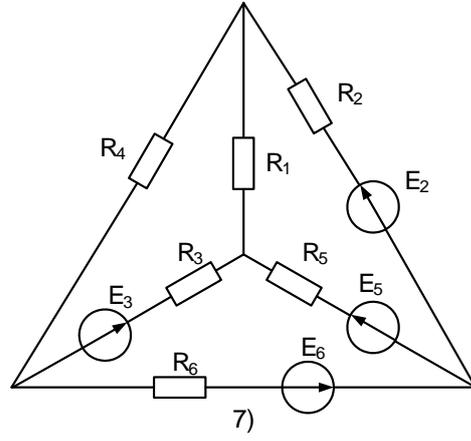
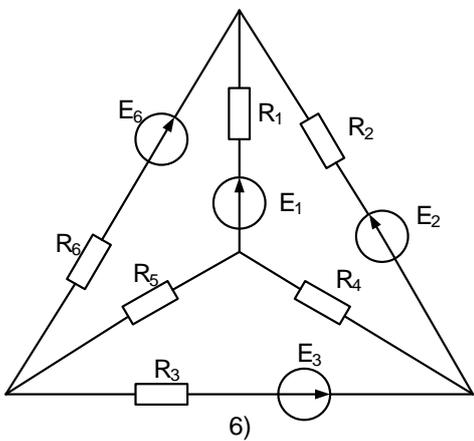
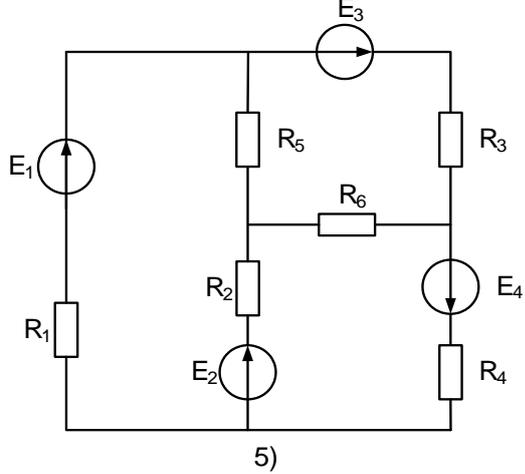
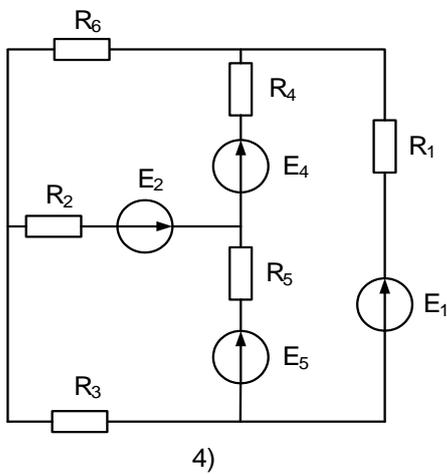
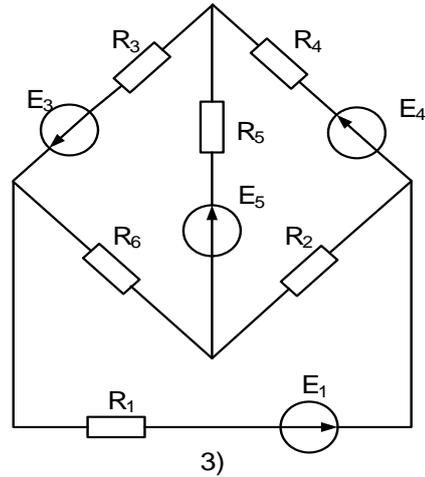
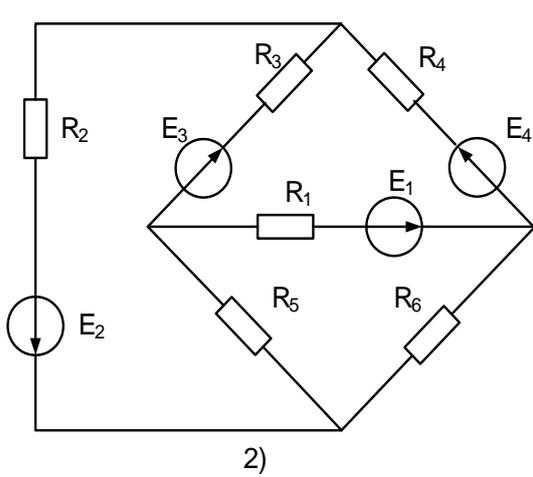
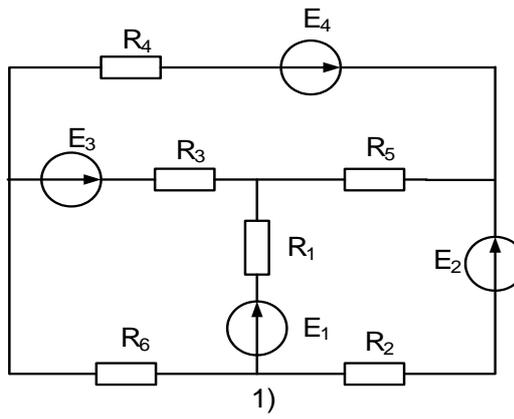
- на схеме делаем нумерацию узлов (произвольно), заземляем последний узел, потенциал которого принимаем равным нулю;
- определяем число уравнений, составляемых относительно потенциалов узлов по формуле  $n-1$ ;
- составляем систему уравнений относительно  $n-1$  неизвестных потенциалов узлов;
- решаем полученную систему уравнений относительно потенциалов;
- используя обобщённый закон Ома находим токи в ветвях схемы;
- правильность расчёта проверяем по балансу мощностей.

### 4. Метод эквивалентного генератора.

- удаляем резистор первой ветви, а всю оставшуюся схему относительно разомкнутых зажимов принимаем за эквивалентный генератор;
- определяем входное сопротивление оставшейся схемы относительно разомкнутых зажимов, которое принимаем за сопротивление эквивалентного генератора;
- находим напряжение на разомкнутых зажимах оставшейся схемы, которое равно ЭДС эквивалентного генератора;
- рисуем схему эквивалентного генератора и подключаем к ней удалённый резистор;
- по закону Ома находим ток первой ветви.

### 7. Потенциальная диаграмма.

- на схеме выбираем контур, после каждого элемента контура обозначаем точки (если они не обозначены);
- заземляем любую точку контура, потенциал которой принимаем равным нулю, определяем потенциалы остальных точек контура относительно заземлённой по мере его обхода;
- для построения диаграммы на плоскости рисуем оси координат, где по оси ординат откладываем значения потенциалов точек, а по оси абсцисс сопротивления контура по мере его обхода, затем соединяем обозначенные точки потенциалов прямыми линиями.



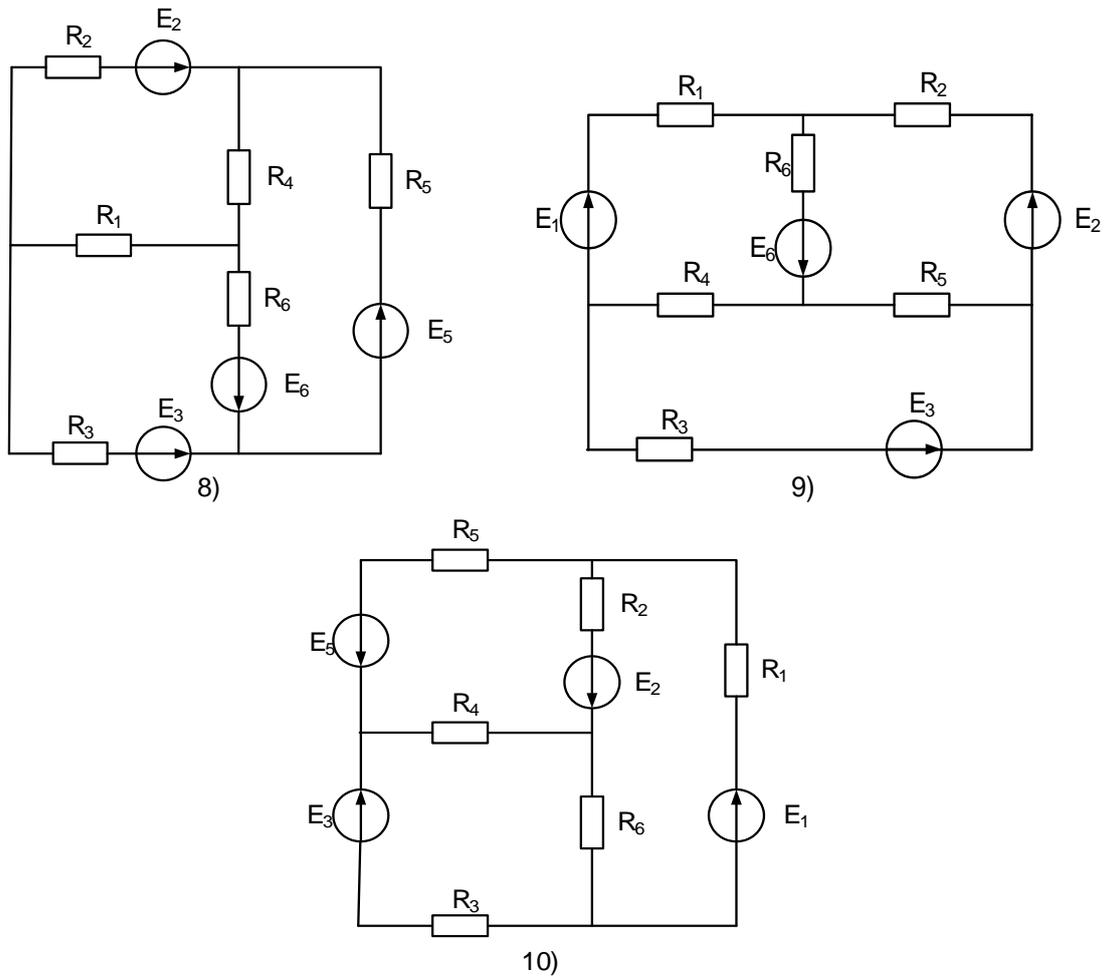


Рис. 1. Десять схем соответствуют номеру варианта схемы в таблице 1.

Таблица 1

№ варианта	№ варианта схемы на рис.1	$E_1$	$E_2$	$E_3$	$E_4$	$E_5$	$E_6$	$R_1$	$R_2$	$R_3$	$R_4$	$R_5$	$R_6$
		В	В	В	В	В	В	Ом	Ом	Ом	Ом	Ом	Ом
1	1	100	140	150	90	—	—	8	18	16	24	10	22
2	2	120	160	80	120	—	—	12	26	20	10	24	18
3	3	140	—	100	100	160	—	16	8	24	20	10	18
4	4	160	130	—	130	100	—	20	12	8	22	16	26
5	5	180	100	140	80	—	—	24	16	12	18	20	14
6	6	150	120	90	—	—	160	10	20	18	8	24	20
7	7	—	100	140	—	160	130	14	24	26	12	18	20
8	8	—	160	90	—	140	80	18	14	20	16	8	10
9	9	140	80	180	—	—	130	26	18	10	20	12	8

Продолжение таблицы 1

№ варианта	№ варианта схемы на рис. 1	E <sub>1</sub>	E <sub>2</sub>	E <sub>3</sub>	E <sub>4</sub>	E <sub>5</sub>	E <sub>6</sub>	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>4</sub>	R <sub>5</sub>	R <sub>6</sub>
		В	В	В	В	В	В	Ом	Ом	Ом	Ом	Ом	Ом
10	10	90	120	130	—	140	—	22	20	18	24	10	12
11	1	180	130	160	80	—	—	8	18	16	24	24	20
12	2	100	100	100	150	—	—	12	26	20	10	18	20
13	3	120	—	120	80	130	—	16	8	24	20	8	10
14	4	140	180	—	100	100	—	20	12	8	22	12	8
15	5	160	130	90	120	—	—	24	16	12	18	10	12
16	6	180	100	120	—	—	140	10	20	8	18	16	24
17	7	—	120	100	—	130	160	14	24	12	26	20	10
18	8	—	100	130	—	100	180	18	14	16	8	24	20
19	9	140	160	80	—	—	150	26	18	20	12	8	22
20	10	160	80	140	—	100	—	22	20	24	16	12	18
21	1	160	90	180	120	—	—	8	18	16	24	18	8
22	2	150	130	180	150	—	—	12	26	20	10	26	12
23	3	100	—	150	80	130	—	16	8	24	20	20	16
24	4	120	130	—	100	100	—	20	12	8	22	10	20
25	5	140	100	120	90	—	—	24	16	12	18	18	24
26	6	160	120	90	—	—	140	10	20	16	24	10	22
27	7	—	100	120	—	130	160	14	24	20	10	24	18
28	8	—	120	100	—	100	180	18	14	24	20	10	18
29	9	90	100	130	—	—	150	26	18	8	22	16	26
30	10	120	160	80	—	140	—	22	20	12	18	20	14

**2. Расчет электрической цепи при гармоническом воздействии.**

При выполнении этой части работы студент должен освоить символический метод расчета электрических цепей при гармоническом внешнем воздействии, получить навыки перехода от одной формы записи комплексного числа к другой, понять физическую сущность каждой из этих форм применительно к параметрам и характеристикам электрической цепи.

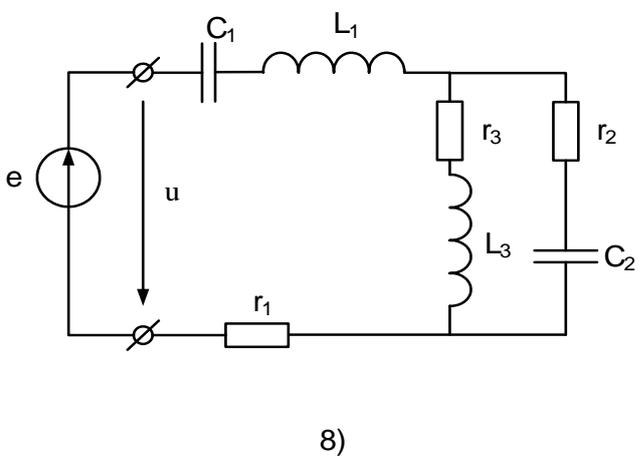
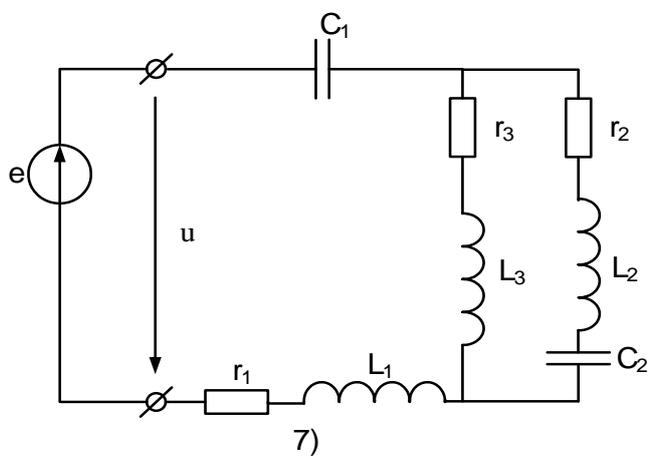
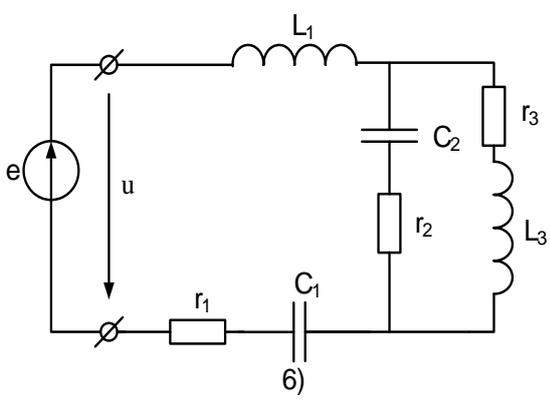
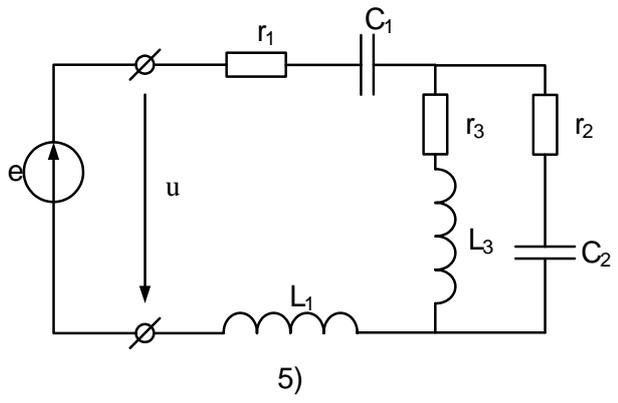
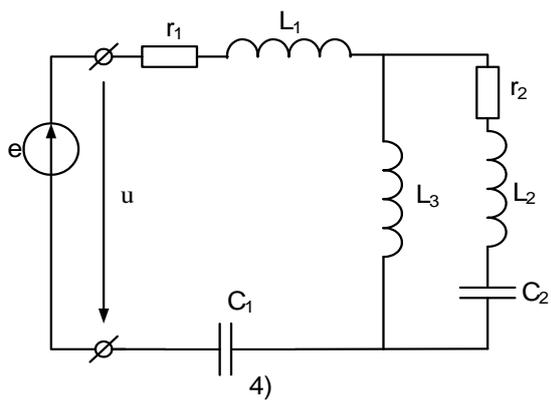
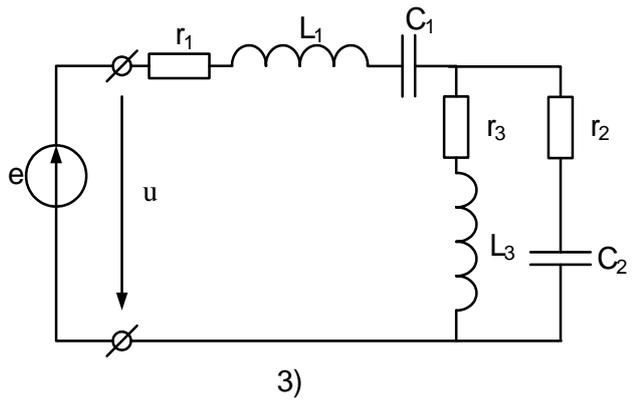
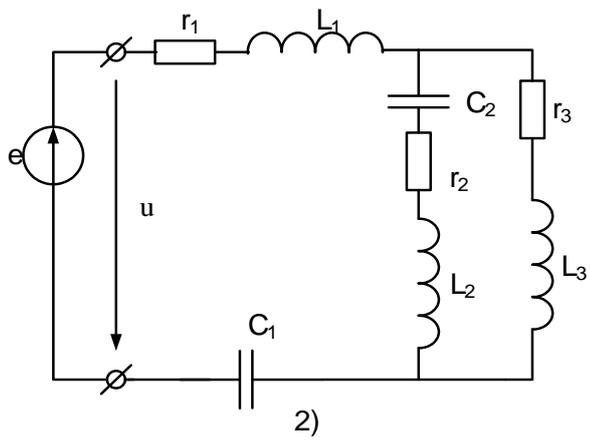
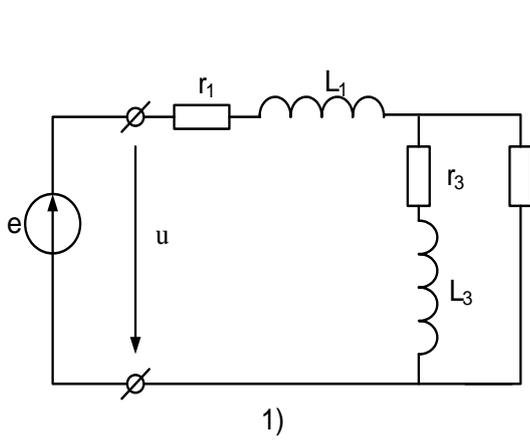
Задана электрическая схема рис. 2. Исходные данные для схемы приведены в таблице 2. Входное напряжение  $u(t)$  равно ЭДС  $e(t)$  изменяется по синусоидальному закону  $u = U_m \sin(\omega t + \varphi)$ .

**Требуется:**

1. С помощью символического метода расчёта найти комплексы действующих значений токов в ветвях схемы.
2. Построить топографическую диаграмму, совмещённую с векторной диаграммой токов.
3. Написать закон изменения мгновенного значения тока первой ветви.

**Порядок расчёта**

1. Символический метод расчёта.
  - нарисовать символическую схему замещения исходной схемы, определить для неё комплекс действующего значения входного напряжения и полные комплексные сопротивления элементов схемы;
  - используя любой из методов расчёта линейных электрических цепей, найти требуемые значения комплексов действующих значений токов;
  - правильность расчёта проверить по балансу полных комплексных мощностей.
2. Топографическая диаграмма.
  - после каждого элемента символической схемы замещения расставить точки и обозначить их;
  - на схеме замещения заземлить любую точку, принять её комплексный потенциал за нулевой, определить комплексные потенциалы остальных точек схемы относительно заземлённой;
  - нарисовать комплексную плоскость, масштаб по осям координат выбрать одинаковым, нанести комплексные потенциалы на плоскость;
  - соединить точки прямыми линиями между собой, придать отрезкам направления таким образом, чтобы полученные векторы падения напряжения соответствовали падениям напряжения на элементах схемы замещения; при этом надо учесть, что каждый вектор падения напряжения на схеме между двумя точками имеет прямо противоположное направление на топографической диаграмме между этими же точками.
3. Баланс полных комплексных мощностей.
  - определить полную комплексную мощность источника, записать её в алгебраической форме записи:  $S_{\text{И}} = P_{\text{И}} + j Q_{\text{И}}$ ;
  - найти полную комплексную мощность нагрузок, записать её в алгебраической форме записи:  $S_{\text{Н}} = P_{\text{Н}} + j Q_{\text{Н}}$  ;
  - найти относительные ошибки для активной и реактивной мощностям, ошибки не должны превышать пяти процентов.



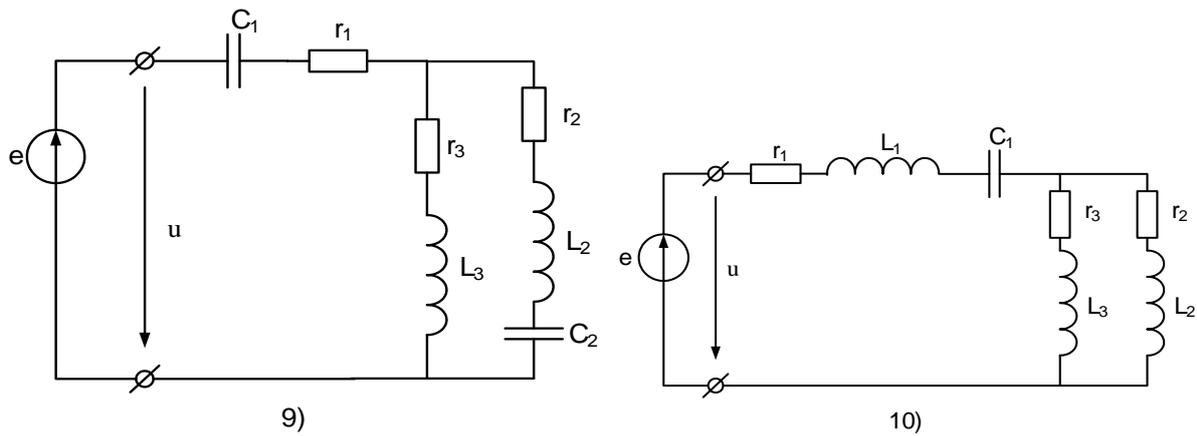


Рис.2. Десять схем соответствуют номеру варианта схемы в таблице 2.

Таблица 2

№ варианта	№ варианта схемы на рис.2	$r_1$	$r_2$	$r_3$	$L_1$	$L_2$	$L_3$	$C_1$	$C_2$	$f$	$U_m$	$\varphi$
-	-	Ом	Ом	Ом	Гн	Гн	Гн	мкФ	мкФ	Гц	В	Град.
1	1	40	35	20	0,15	0,1	0,08	30	100	50	380	30
2	2	30	25	25	0,07	0,15	0,1	40	80	50	220	40
3	3	45	35	32	0,14	0,2	0,06	20	60	50	220	60
4	4	60	50	40	0,12	0,1	0,05	120	75	50	380	80
5	5	50	25	25	0,13	0,05	0,1	70	45	50	380	100
6	6	15	10	8	0,06	0,08	0,1	60	30	50	220	-40
7	7	35	30	25	0,05	0,1	0,06	80	20	50	127	-60
8	8	20	18	15	0,08	0,12	0,1	150	40	50	220	-80
9	9	25	20	18	0,1	0,08	0,05	100	50	50	220	-100
10	10	10	15	12	0,04	0,06	0,12	50	25	50	220	-30
11	1	40	20	10	0,15	0,08	0,08	100	50	50	127	100
12	2	30	25	30	0,07	0,1	0,1	30	45	50	380	40
13	3	45	32	18	0,14	0,06	0,12	80	30	50	380	80
14	4	60	40	20	0,12	0,05	0,08	40	70	50	220	-30
15	5	50	25	15	0,13	0,1	0,06	60	20	50	380	-80
16	6	35	15	8	0,1	0,06	0,1	20	30	50	127	100
17	7	25	35	25	0,15	0,05	0,06	75	150	50	380	40

Продолжение таблицы 2

№ варианта	№ варианта схемы на рис.2	$r_1$	$r_2$	$r_3$	$L_1$	$L_2$	$L_3$	$C_1$	$C_2$	$f$	$U_m$	$\varphi$
-	-	Ом	Ом	Ом	Гн	Гн	Гн	мкФ	мкФ	Гц	В	Град.
18	8	35	20	15	0,2	0,08	0,1	120	75	50	380	80
19	9	50	25	18	0,1	0,1	0,05	45	100	50	380	-100
20	10	25	10	12	0,05	0,04	0,12	70	60	50	380	-60
21	1	45	35	20	0,08	0,1	0,1	30	75	50	220	60
22	2	60	25	25	0,15	0,15	0,06	60	50	50	380	60
23	3	50	30	25	0,07	0,2	0,05	20	75	50	220	80
24	4	15	18	15	0,14	0,1	0,1	80	80	50	220	100
25	5	35	20	18	0,12	0,05	0,1	40	20	50	127	-30
26	6	32	40	35	0,13	0,08	0,06	150	100	50	127	-60
27	7	40	30	50	0,06	0,1	0,1	50	45	50	380	-40
28	8	25	35	25	0,05	0,12	0,05	100	25	50	220	30
29	9	8	20	10	0,08	0,08	0,12	25	30	50	127	40
30	10	25	25	30	0,1	0,06	0,04	50	75	50	380	60

**3. Расчет переходных процессов при подключении цепи к источнику постоянного напряжения.**

При выполнении этой части работы студенты должны уяснить порядок расчета электрической цепи в переходном режиме классическим и операторным методами; научиться определять начальные условия и принужденные составляющие токов и напряжений, при расчете операторным методом освоить применение формул разложения.

На рисунке 3 представлены десять вариантов схем линейных электрических цепей постоянного тока, в которых происходит замыкание или размыкание ключа (коммутация). Числовые данные для схем приведены в таблице 3. Необходимо определить переходные токи или переходное падение напряжения на ёмкости в зависимости от варианта.

**Требуется:**

Рассчитать переходный процесс с помощью:

1. Классического метода расчёта.
2. Операторного метода расчёта.
3. Построить график переходного процесса.

**Порядок расчёта**

1. Классический метод расчёта:

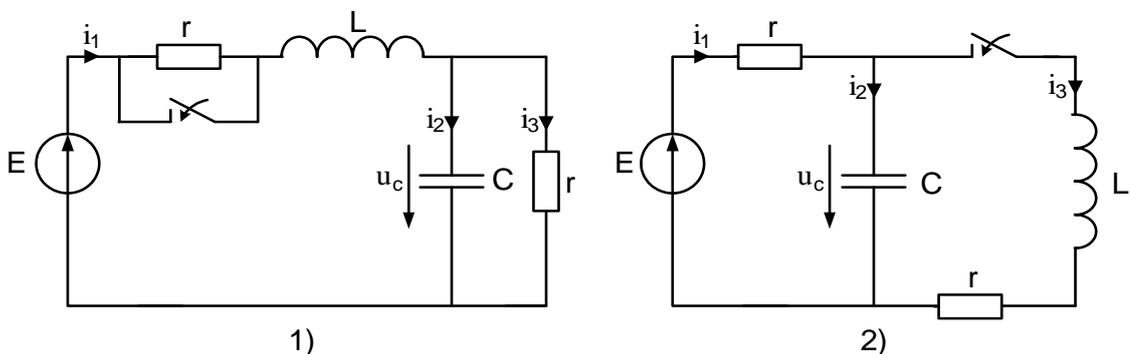
- для после коммутационной схемы по законам Кирхгофа составить систему уравнений для мгновенных значений токов и напряжений;
- найти принуждённое значение тока или падения напряжения;
- по методу входного сопротивления составить характеристическое уравнение и найти его корни;
- по виду корней характеристического уравнения определить вид свободной составляющей тока или падения напряжения;
- записать общее решение в виде суммы принуждённой и свободной составляющих тока или падения напряжения;
- определить постоянные интегрирования, используя независимые и зависимые начальные условия;
- записать общее решение, подставив в него найденные постоянные интегрирования.

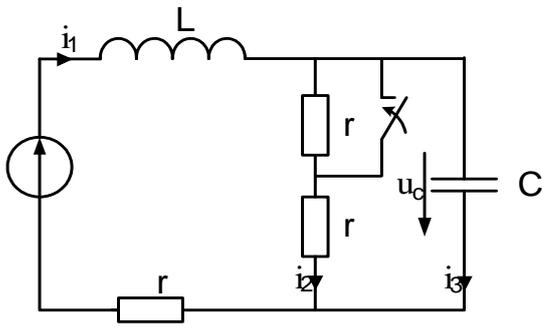
## 2. Операторный метод расчёта:

- составить операторную схему замещения;
- используя любой из методов расчёта установившихся режимов в линейных электрических цепях, найти требуемое изображение тока или падения напряжения;
- по формуле разложения найти оригинал тока или падения напряжения.

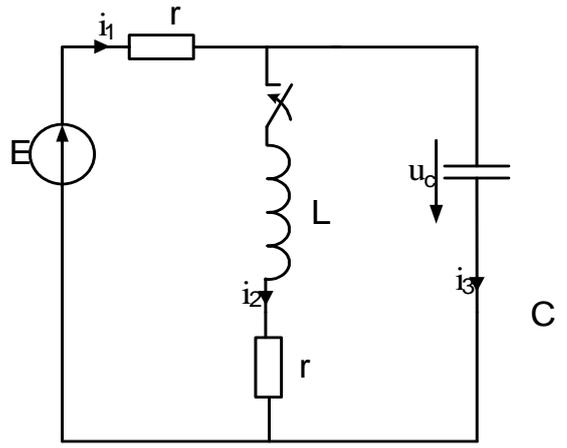
## 3. Построение графика переходного процесса:

- определить постоянные времени переходного процесса;
- определить время переходного процесса, используя постоянные времени переходного процесса;
- нарисовать результирующий график как сумму графика принуждённой составляющей и графика (-ов) свободной составляющей тока или падения напряжения.

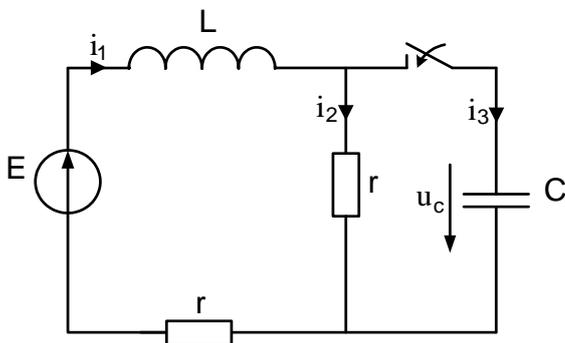




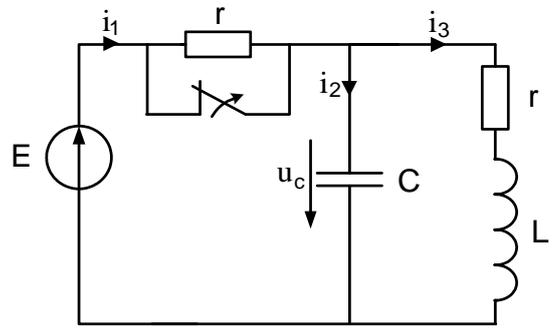
3)



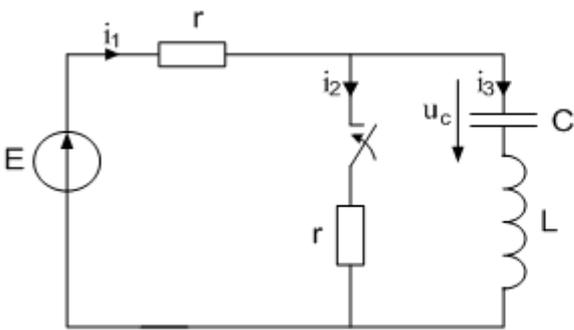
4)



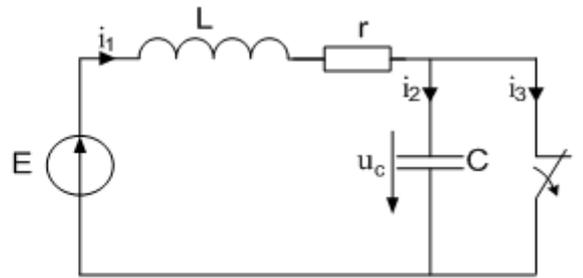
5)



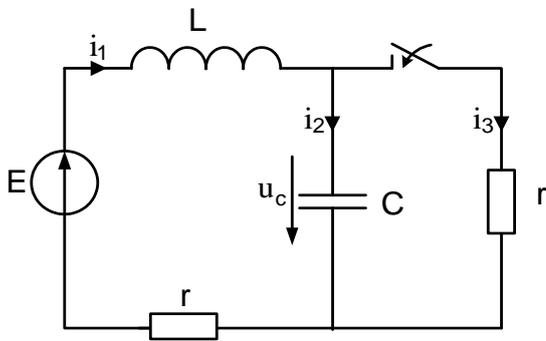
6)



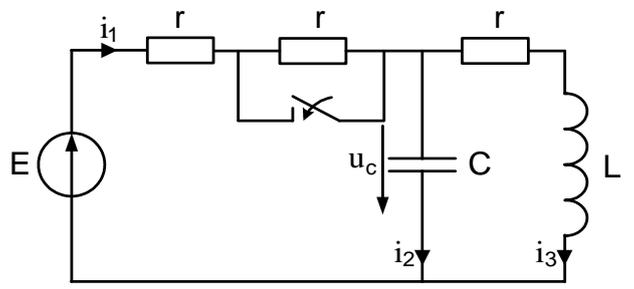
7)



8)



9)



10)

Рис. 3. Десять вариантов схем таблицы 3.

Таблица 3

№ варианта	№ варианта схемы на рис. 6	$r$	$L$	$C$	$E$	Определить закон изменения
-	-	Ом	Гн	мкФ	В	-
1	1	10	0,1	100	100	$u_c(t)$
2	2	8	0,02	31,3	150	$i_1(t)$
3	3	6	0,06	83,3	200	$i_2(t)$
4	4	15	0,025	80	110	$i_3(t)$
5	5	48	0,06	200	120	$i_1(t)$
6	6	8	0,05	100	130	$i_2(t)$
7	7	5	0,1	120	140	$i_3(t)$
8	8	10	0,08	100	50	$u_c(t)$
9	9	15	0,1	40	60	$i_1(t)$
10	10	10	0,05	50	70	$i_2(t)$
11	1	10	0,06	50	80	$i_3(t)$
12	2	6	0,025	100	90	$u_c(t)$
13	3	8	0,1	83,3	100	$i_1(t)$
14	4	10	0,05	80	125	$i_2(t)$
15	5	15	0,08	120	130	$i_3(t)$
16	6	8	0,025	100	135	$u_c(t)$
17	7	5	0,1	80	140	$i_1(t)$
18	8	6	0,05	31,3	145	$i_2(t)$
19	9	48	0,06	100	150	$i_3(t)$
20	10	6	0,08	40	145	$u_c(t)$
21	1	8	0,1	120	175	$u_c(t)$
22	2	5	0,05	50	200	$i_1(t)$
23	3	10	0,025	80	100	$i_2(t)$
24	4	10	0,1	100	150	$u_c(t)$
25	5	48	0,08	31,3	200	$i_1(t)$
26	6	15	0,1	83,3	110	$i_2(t)$
27	7	8	0,05	100	120	$i_3(t)$
28	8	10	0,025	40	130	$u_c(t)$
29	9	15	0,1	80	140	$i_1(t)$
30	10	10	0,06	50	50	$i_2(t)$

#### 4. Структура пояснительной записки

Пояснительная записка должна включать в себя следующие структурные части в указанной последовательности:

- а) титульный лист;
- б) задание;
- в) содержание;
- г) введение;
- д) основную (проектную) часть;
- е) заключение;

ж) перечень условных обозначений, символов, единиц и терминов (при необходимости);

з) список использованных источников; и) приложения (при необходимости).

Основная часть курсовой работы состоит из двух частей:

1. Теоретическая часть, в которой отражены теоретические сведения, относящиеся к конкретной задаче (например, для первого задания необходимо рассмотреть методы решения сложных электрических цепей)

2. Расчетная часть, в которой приводится непосредственно решение задачи.

## **5. Требования к защите курсовой работы.**

При защите работы студент должен уметь грамотно объяснить последовательность выполнения расчетов, рассказать, какими правилами и законами электрических цепей он воспользовался на каждом этапе расчетов, обосновать правомерность их применения, и уметь демонстрировать их на других примерах.

Оценка за курсовую работу ставится по итогам защиты.

## **6. Список рекомендуемой литературы .**

*Атабеков Г.И.* Теоретические основы электротехники. Линейные электрические цепи / Г.И.Атабеков. – М. : Лань, 2008.

*Демирчян К.С.* Теоретические основы электротехники / К.С.Демирчян, Н.В.Коровкин, Л.Р.Нейман,. – С-Пб. : Питер, 2009.

*Запасный А.И.* Основы теории цепей / А.И.Запасный, М. : РИОР, 2006.

*Ружников В.А.* Основы теории цепей / В.А.Ружников, А.А.Лессинг, Н.В.Должикова. – Иркутск : Изд-во ИрГТУ, 2005.

Интернет-ресурсы:

1. <http://www.college.ru/enportal/physics/content>

2. <http://elib.ispu.ru/library/electro1/index.htm>