

**МИНИСТЕРСТВО ЦИФРОВОГО РАЗВИТИЯ,
СВЯЗИ И МАССОВЫХ КОММУНИКАЦИЙ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Федеральное государственное бюджетное учреждение высшего образования
«Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики»
(СибГУТИ)

ХАБАРОВСКИЙ ИНСТИТУТ ИНФОКОММУНИКАЦИЙ (филиал)
(ХИИК СибГУТИ)

СРЕДНЕЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ

Стерлигова И.И.

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
по выполнению практических работ
по дисциплине
ТЕОРИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ
для специальности:
11.02.15 «Инфокоммуникационные сети и
системы связи»**

Хабаровск, 2023

УДК 621.3.011.7
ББК 32.97
С 797

Стерлигова И.И. Методические указания по выполнению практических работ по дисциплине «Теория электрических цепей» для специальности 11.02.15 «Инфокоммуникационные сети и системы связи» / И.И. Стерлигова. – Хабаровск: ХИИК (филиал) СибГУТИ, 2023. – 59с.

РЕЦЕНЗЕНТ

Шешера Н.Г. – доцент, кандидат технических наук, доцент кафедры «Информационные технологии» ХИИК (филиал) СибГУТИ (г. Хабаровск)

Учебное пособие предназначено для студентов дневного обучения среднего профессионального образования изучающих дисциплину «Теория электрических цепей» для специальности 11.02.15 «Инфокоммуникационные сети и системы связи»

Издаётся согласно Плана работы
ХИИК (филиал) ФГБОУ ВО СибГУТИ на 2023 год

© Стерлигова И.И., 2023.
© ХИИК (филиал) ФГБОУ ВО «СибГУТИ», 2023.

СОДЕРЖАНИЕ

1. Расчет электрических цепей со смешанным соединением конденсаторов.....	4
2. Расчет электрических цепей со смешанным соединением резисторов.....	10
3. Расчет сложной электрической цепи методом уравнений Кирхгофа.....	20
4. Расчет сложной электрической цепи методом контурных токов.....	25
5. Расчет сложной электрической цепи методом преобразования треугольника в звезду.....	30
6. Расчет электрических цепей символическим методом.....	33
7. Расчет параметров последовательного колебательного контура.....	33
8. Расчет параметров параллельного колебательного контура.....	40
9. Расчет электрической цепи с несинусоидальным напряжением.....	46
10. Расчет магнитной цепи.....	52
11. Расчет постоянной времени, построение кривых напряжения и тока во время переходного процесса.....	55

Практическая работа № 1

РАСЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ

СО СМЕШАННЫМ СОЕДИНЕНИЕМ КОНДЕНСАТОРОВ

1. Цель работы: Овладение практическими навыками и закрепление теоретических знаний по расчету эквивалентной емкости цепи, напряжений, зарядов на конденсаторах при различных соединениях.

2. Требования к знаниям, умениям и навыкам студента:

Студент должен знать:

- формулу, связывающую заряд, напряжение и емкость;
- свойства при последовательном и параллельном соединении конденсаторов;

уметь:

- рассчитывать эквивалентную емкость цепи;
- рассчитывать напряжения и заряды на конденсаторах при любых соединениях.

3. Литература:

3.1. Попов В. П. Основы теории цепей, 6-е издание, М.; Высшая школа, 2007

3.2. Бакалов В. П., Журавлева О. Б., Крук Б. И. Основы анализа цепей, Учебное пособие, М.; Горячая линия-Телеком, 2007

3.3. Соболев В.Н. Теория электрических цепей. Учебное пособие. /ЭВС ipbooks.ru/. М.: Горячая линия – Телеком, 2014

3.4. Тепляков Ю.И. Теория электрических цепей. Учебное пособие. М.; УМЦ СПО ФАС, 2010

4. Подготовка к работе:

4.1 Повторить теоретический материал по темам «Электрическое поле», «Электрическая емкость. Конденсаторы».

4.2 Подготовить бланк отчета.

5. Задание:

5.1. В электрической цепи, состоящей из смешанного соединения пяти конденсаторов. Определить:

- эквивалентную емкость $C_{\text{э}}$;
- напряжение на каждом конденсаторе и общее напряжение $U_{\text{э}}$;
- заряд, накопленный на каждом конденсаторе и общий заряд $Q_{\text{э}}$;
- энергию электрического поля конденсатора эквивалентной схемы $\Omega_{\text{экв}}$.

5.2 Исходные данные для расчётов даны в таблице 1.1 и в Приложении 1

5.5. Ответить на контрольные вопросы

6. Контрольные вопросы

6.1. Что называется электрической емкостью и конденсатором? Какая разница между этими понятиями? В каких единицах измеряется емкость?

6.2. Каким соотношением связаны между собой напряжение, заряд и емкость в конденсаторах?

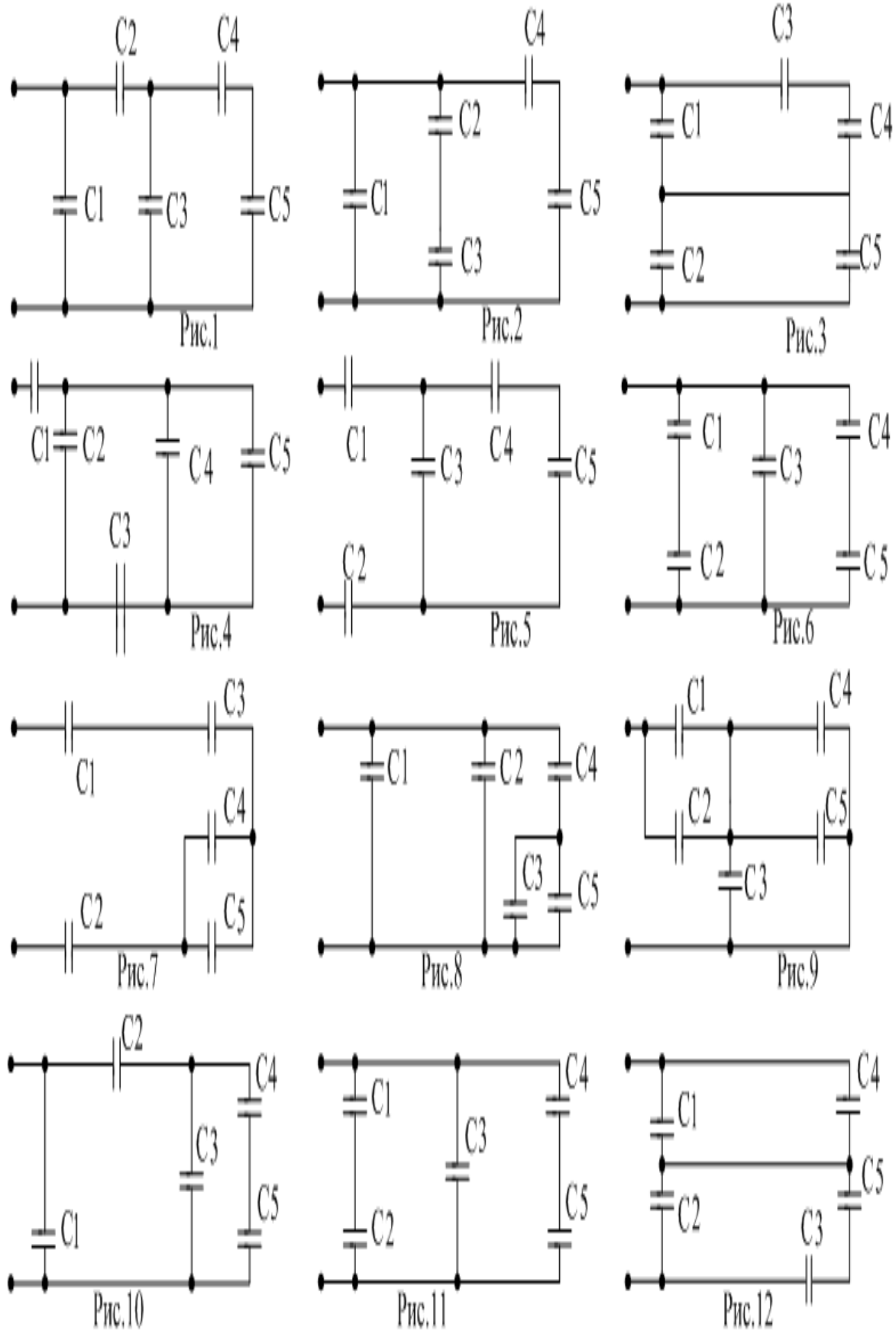
6.3. От каких физических величин зависит энергия электрического поля? Как рассчитать эту энергию?

6.4. Как рассчитать эквивалентную емкость конденсаторов, соединенных: а) параллельно; б) последовательно?

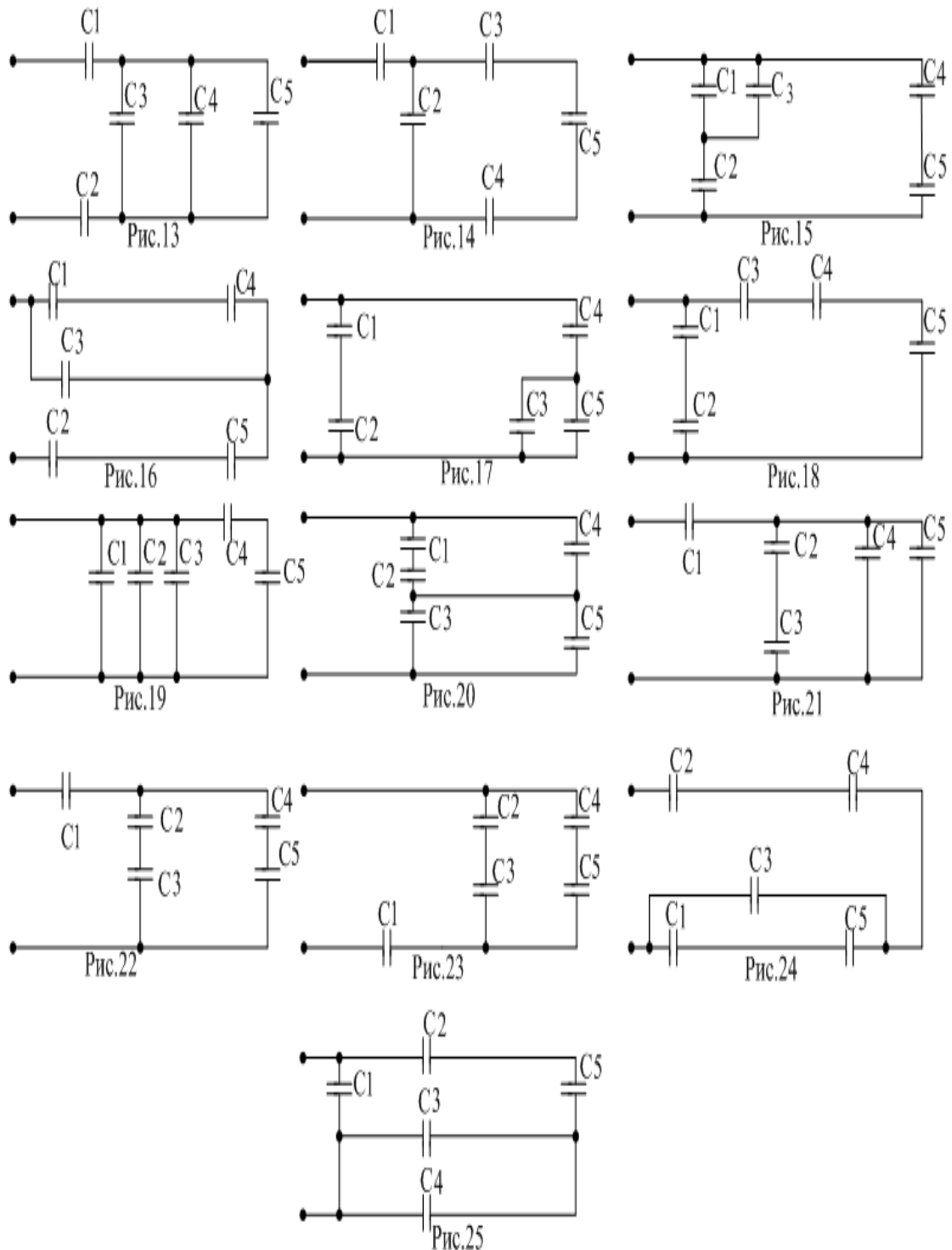
Таблица 1.1- Таблица вариантов

вариант	№ рисунка	Напряжение на входе	C ₁ мкФ	C ₂ мкФ	C ₃ мкФ	C ₄ мкФ	C ₅ мкФ
1	1	U = 40 В	12	20	15	10	5
2	2	U = 10 В	10	15	12	27	54
3	3	U = 20 В	12	24	4	4	8
4	4	U = 60 В	24	40	20	20	10
5	5	U = 5 В	2	0,5	0,5	2	6
6	6	U = 50 В	10	15	25	20	30
7	7	U = 120 В	45	40	20	15	5
8	8	U = 30 В	4	5	12	4	3
9	9	U = 25 В	10	2	4	5	12
10	10	U = 12 В	10	15	12	27	54
11	11	U = 18 В	12	24	4	4	8
12	12	U = 80 В	24	40	20	20	10
13	13	U = 25 В	2	0,5	0,5	2	6
14	14	U = 45 В	10	15	25	20	30
15	15	U = 35 В	45	40	20	15	5
16	16	U = 90 В	12	20	12,8	18	30
17	17	U = 110 В	9	18	20	30	10
18	18	U = 82 В	12	24	4	4	8
19	19	U = 65 В	24	40	20	20	10
20	20	U = 72 В	2	0,5	0,5	2	6
21	21	U = 52 В	10	15	25	20	30
22	22	U = 95 В	45	40	20	15	5
23	23	U = 22 В	4	5	12	4	3
24	24	U = 85 В	10	2	4	5	12
25	25	U = 40 В	40	12	15	20	10

Приложение 1 – Схемы



Продолжение приложения



1

Приложение 2

Краткий теоретический курс

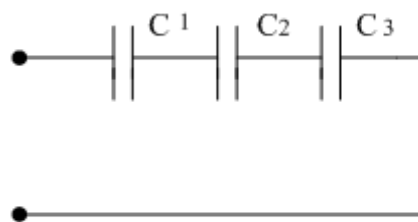
При расчёте цепей со смешанным соединением конденсаторов, необходимо знать свойства последовательного и параллельного соединения конденсаторов, которые заключаются в следующем:

- при последовательном соединении:

$$C_3 = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}}$$

$$Q_3 = Q_1 = Q_2 = Q_3$$

$$U_3 = U_1 + U_2 + U_3$$



Последовательное соединение конденсаторов применяется:

1. Для уменьшения емкости.

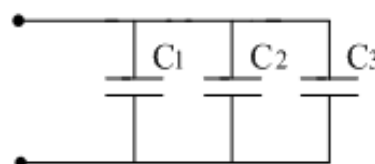
2. Для деления напряжения:

- при параллельном соединении:

$$C_3 = C_1 + C_2 + C_3$$

$$U_3 = U_1 = U_2 = U_3$$

$$Q_3 = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

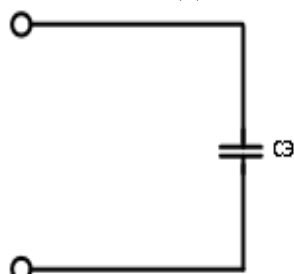


Параллельное соединение применяется:

1. Для увеличения емкости;

2. Для деления заряда.

При расчете цепей со смешанным соединением необходимо выделить участки с последовательными и параллельными соединениями: для этого нужно обозначить узлы буквами (узел – это точка электрической цепи, в которой соединены три и более ветви) и тогда будет видно количество ветвей (ветвь - участок цепи, находящийся между двумя узлами). В одной ветви элементы всегда соединены последовательно. После чего участок с последовательными конденсаторами заменяем одним конденсатором эквивалентным конденсаторам участка. Участок с параллельными конденсаторами заменяем одним конденсатором эквивалентным этим конденсаторам участка. И это действие повторяем до получения одного эквивалентного конденсатора.



При решении задач любого соединения, необходимо знать основные формулы, связывающие заряд (Q), напряжение (U), энергию (W) и емкость (C) конденсатора: $Q = C \cdot U$; $W = C \cdot U^2 / 2$.

Определение зарядов и напряжений на конденсаторах при известных эквивалентных величинах Q , U и Ω происходит в обратном направлении, то есть необходимо осуществлять постепенное разворачивание схемы. Если же известны электрические величины на участках, то анализ схемы начинается с тех участков схемы, где эти величины известны. Затем решение продолжаем в любом направлении, постепенно определяя заряды и напряжения, на всех элементах рассматриваемого участка, применяя свойства последовательного или параллельного соединения.

Пример.

Для схемы на рисунке 1.1 определить C_3 ; U_1 , U_2 , U_3 , U_4 , U_5 , Q э и Ω , если $C_1 = 75$ мкФ, $C_2 = 40$ мкФ, $C_3 = 30$ мкФ, $C_4 = 15$ мкФ, $C_5 = 45$ мкФ и $U = 100$ В.

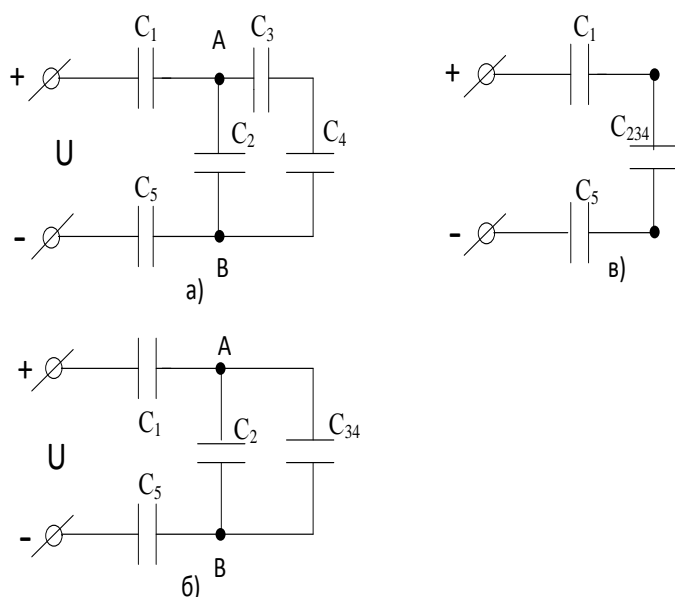


Рисунок 1.1

Порядок решения.

Обозначаем узлы А и В на схеме. Определяем, как соединены между собой конденсаторы на участках цепи, находим эквивалентные емкости участков и, постепенно упрощая схему, определяем эквивалентную емкость всей цепи.

Конденсаторы C_3 и C_4 соединены последовательно (между ними нет узлов), их эквивалентная емкость

$$C_{34} = \frac{C_3 C_4}{C_3 + C_4} = \frac{30 \cdot 15}{45} = 10 \text{ мкФ}.$$

Чертим (рисунок 1.1,б) эквивалентную упрощенную схему, заменяя C_3 и C_4 конденсатором C_{34} , и определяем по ней, что конденсаторы C_2 и C_{34} соединены параллельно (они включены между узлами А и В). Определяем эквивалентную емкость $C_{234} = C_2 + C_{34} = 40 + 10 = 50$ мкФ. Чертим (рисунок 1.1,в) эквивалентную упрощенную схему цепи, заменяя

C2 и C34 эквивалентным C234 . Конденсаторы C1, C234 и C5 соединены последовательно. Находим входную (эквивалентную) емкость всей цепи

$$1/C_{\Sigma} = 1/C1 + 1/C234 + 1/C5 = 1/75 + 1/45 + 1/50 = 1/18;$$

$$C_{\Sigma} = 18 \text{ мкФ.}$$

Определяем напряжения на конденсаторах, начиная с наиболее простой схемы (рисунок 1.1,в). Используя свойства последовательного соединения конденсаторов, определяем

$$Q1 = Q234 = Q5 = Q_{\Sigma} = C_{\Sigma} \cdot U = 18 \cdot 10^{-6} \cdot 100 = 1800 \cdot 10^{-6} \text{ Кл}$$

$$U1 = Q1/C1 = 1800 \cdot 10^{-6} / 75 \cdot 10^{-6} = 24 \text{ В}$$

$$U234 = Q234/C234 = 1800 \cdot 10^{-6} / 50 \cdot 10^{-6} = 36 \text{ В}$$

$$U5 = Q5/C5 = 1800 \cdot 10^{-6} / 45 \cdot 10^{-6} = 40 \text{ В}$$

Переходим к схеме рисунок 1.1,б и, используя свойства параллельного соединения конденсаторов, получаем $U2=U34=U234= 36 \text{ В}$. Напряжение U3 и U4 определяем из схемы рисунок 1.1,а, используя свойства последовательного соединения конденсаторов:

$$Q3 = Q4 = Q34 = C34 \cdot U34 = 10 \cdot 10^{-6} \cdot 36 = 360 \cdot 10^{-6} \text{ Кл}$$

$$U3 = Q3/C3 = 360 \cdot 10^{-6} / 30 \cdot 10^{-6} = 12 \text{ В}$$

$$U4 = Q4/C4 = 360 \cdot 10^{-6} / 15 \cdot 10^{-6} = 24 \text{ В}$$

Определяем энергию

$$\Omega = C_{\Sigma} U^2 / 2 = 18 \cdot 10^{-6} \cdot 100^2 / 2 = 9 \cdot 10^{-2} \text{ Дж.}$$

Практическая работа № 2

РАСЧЕТ ЦЕПИ СО СМЕШАНЫМ СОЕДИНЕНИЕМ РЕЗИСТОРОВ

1. Цель работы: приобрести практический навык по расчету электрических цепей при различных соединениях резисторов.

2. Требования к знаниям, умениям и навыкам студента:

Студент должен знать:

- закон Ома для участка и полной цепи;
- свойства цепи при последовательном соединении резисторов;
- свойства цепи при параллельном соединении резисторов.

Уметь:

- распределять напряжения по участкам цепи;
- рассчитывать токи, протекающие в ветвях.

3. Литература:

3.1. Попов В. П. Основы теории цепей, 6-е изд.. М.; Высшая школа, 2007.

3.2. Бакалов В. П., Журавлева О. Б., Крук Б. И. Основы анализа цепей, Учебное пособие, М.; Горячая линия-Телеком, 2007.

3.3. Соболев В.Н. Теория электрических цепей. Учебное пособие. /ЭБС ipbooks.ru/. М.: Горячая линия – Телеком, 2014.

3.4. Тепляков Ю.И. Теория электрических цепей. Учебное пособие. М.; УМЦ СПО ФАС, 2010

4. Подготовка к работе

4.1. Изучить материал по указанной литературе в разделе «Резистивные цепи»;

4.2. Подготовить бланк отчета.

5. Задание

5.1. Исходные данные для расчета в таблице 2.1. и в приложении 1.

5.2. Определить:

- Эквивалентное сопротивление R_{Σ} ;
- Токи, протекающие через каждый резистор (I_n);
- Напряжения, приложенные к каждому резистору (U_n);

5.3. Правильность расчета проверить составлением баланса мощности.

5.4. Ответить на контрольные вопросы.

6. Контрольные вопросы

6.1. Какое соединение элементов называется последовательным?

6.2. В чем сущность закона Ома?

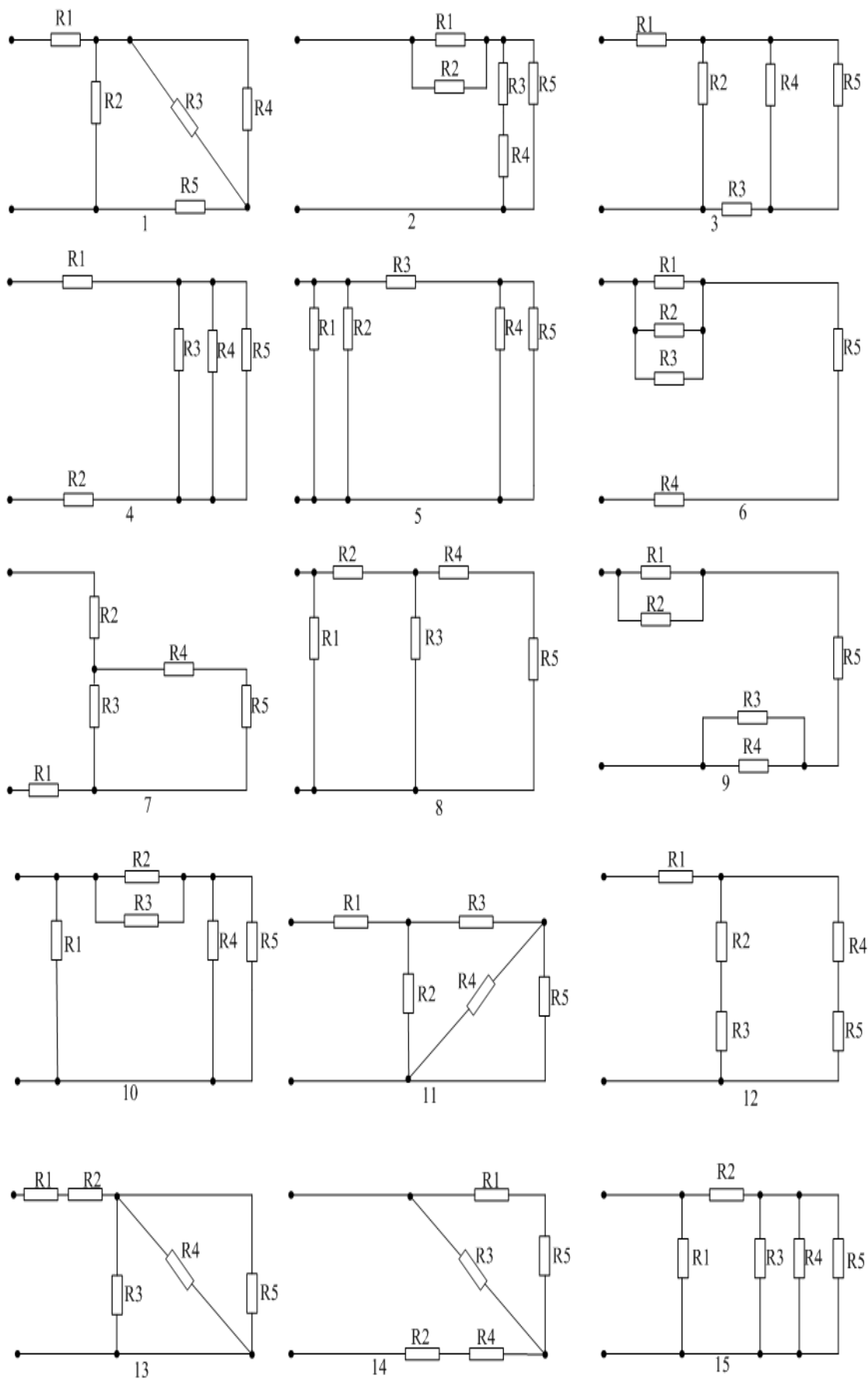
6.3. Какие цепи называются разветвленными?

6.4. Как рассчитать токи в двух параллельных ветвях?

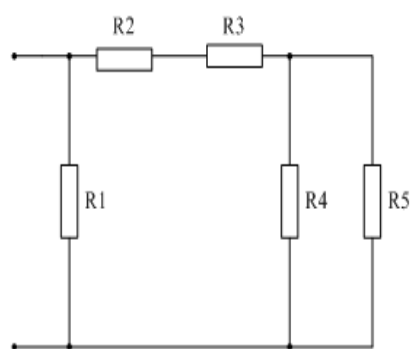
Таблица 2.1

№ варианта	№ рис.	R_1 , кОм	R_2 , кОм	R_3 , кОм	R_4 , кОм	R_5 , кОм	U, В
1	2	3	4	5	6	7	8
1	1	9	30	60	40	46	42
2	2	60	20	80	20	60	36
3	3	8	20	9	70	30	12
4	4	10	12	80	20	16	120
5	5	20	80	16	40	60	30
6	6	9	7	3	13	7	100
7	7	14	40	20	50	30	180
8	8	5	25	50	20	30	160
9	9	36	18	12	32	16	15
10	10	10	20	80	40	60	16
11	11	50	20	12	10	40	12
12	12	4	2	10	32	16	10
13	13	10	30	18	36	24	96
14	14	1,2	2,25	10	10	3,8	40
15	15	1	0,55	1,2	3,6	0,9	60
16	16	12,4	2	8	6	4	70
17	17	4	3,6	12	10	2	27,2
18	18	0,6	1	2	0,6	2,6	58
19	19	18	12	12	8	10	60
20	20	18	22	16	40	60	100
21	21	15	2,5	1,8	16	4	100
22	22	3	1,2	10	1	4	60
23	23	24	12	24	10	6	176
24	24	4	2	15	10	2	10,8
25	25	1	5	12	4	2	34

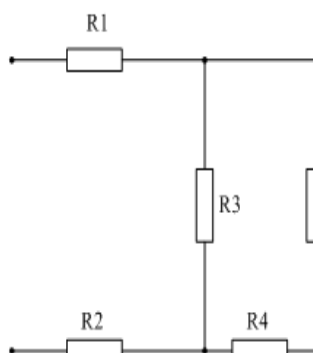
Приложение 1



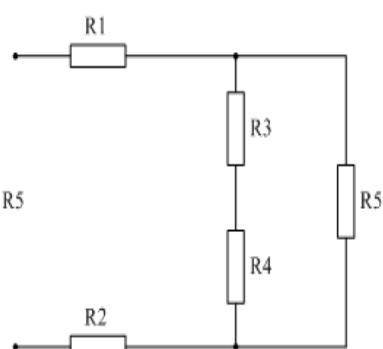
Продолжение приложения 1



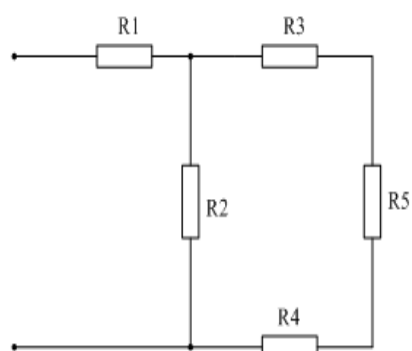
16



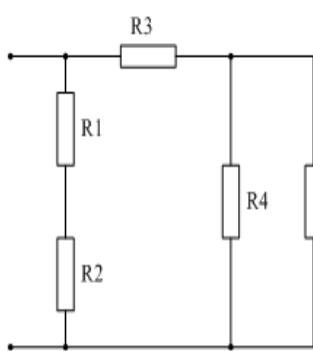
17



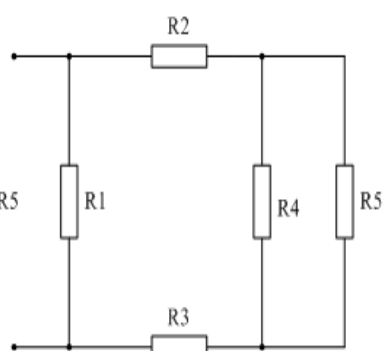
18



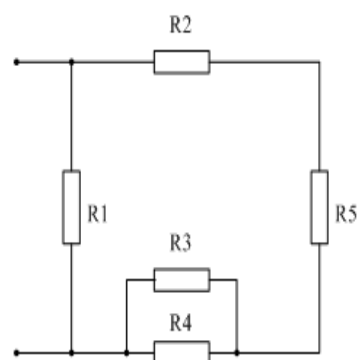
19



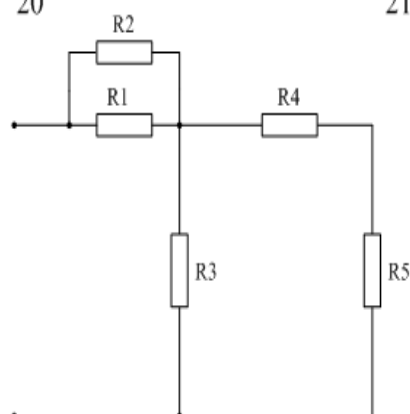
20



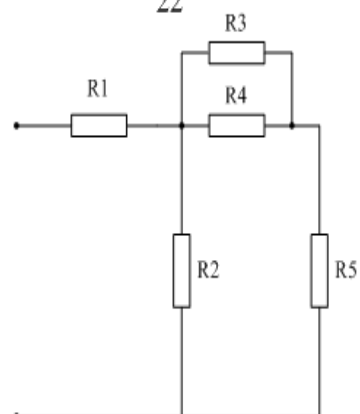
21



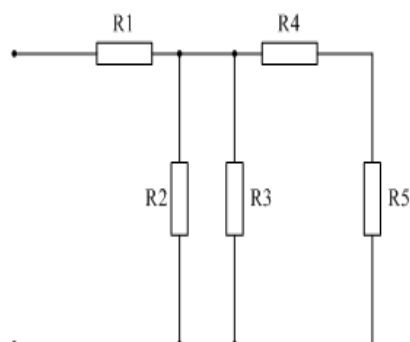
22



23



24



25

Приложение 2

Краткий теоретический курс.

При выполнении данной практической работы, необходимо знать:

- знак (+) на схеме стоит у точки с наибольшим электрическим потенциалом;
- направление тока в электрической ветви показывают стрелкой от узла с большим потенциалом к узлу с меньшим потенциалом.

При решении задачи необходимо:

- показать узлы, обозначив их буквами или цифрами;
- показать токи стрелками, расположенными параллельно ветвям, присвоив каждому току свой номер.

При выполнении работы сначала выделяются участки с последовательным и параллельным соединением резисторов. После чего, применяя свойства последовательного и параллельного соединения, строится эквивалентная схема, имеющая один резистор с эквивалентным сопротивлением.

Свойства при последовательном соединении (рисунок 2.1.):

1. $R_{\Sigma} = R_1 + R_2 + \dots + R_n$
2. $U_{\Sigma} = U_1 + U_2 + \dots + U_n$
3. Ток по всем элементам течёт один $I_{\Sigma} = I$;

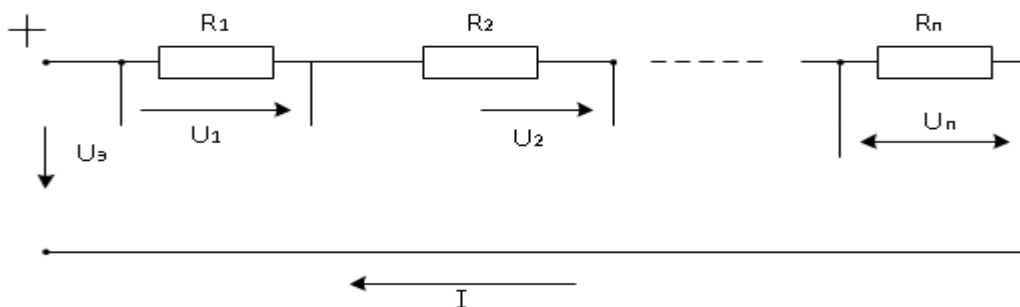


Рисунок 2.1

Последовательное соединении резисторов применяется:

1. Для увеличения сопротивления цепи.
2. Для распределения напряжения на элементах цепи.

Свойства при параллельном соединении резисторов (рисунок 2.2.):

1. $R_{\Sigma} = 1 / (1/R_1 + 1/R_2 + \dots + 1/R_n)$,

а) в случае соединения двух резисторов используем формулу

$$R_{12} = R_1 \cdot R_2 / (R_1 + R_2),$$

б) если сопротивления всех резисторов одинаковые по величине, то эквивалентное сопротивление:

$$R_{\Sigma} = R_1 / n$$

2. $I_{\Sigma} = I_1 + I_2 + \dots + I_n$;

3. Все элементы находятся под одним напряжением:

$$U_{\Sigma} = U_1 = U_2 = \dots = U_n$$

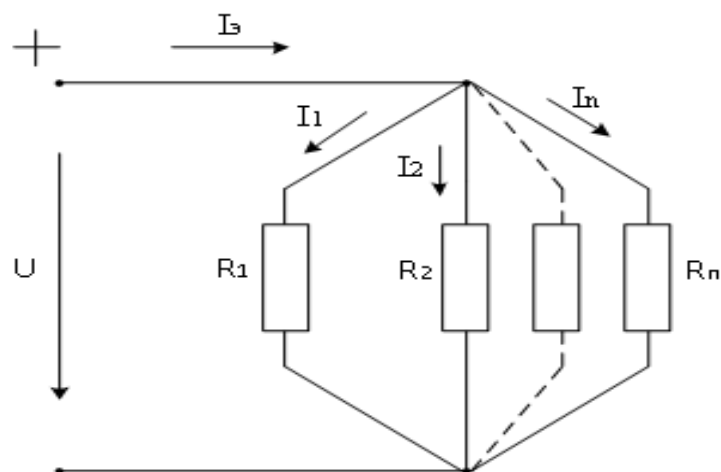


Рисунок 2.2.

Параллельное соединение применяется:

1. Для уменьшения сопротивления в цепи;
2. Для распределения тока по ветвям цепи.

При решении задач любого соединения, необходимо знать основные соотношения между током (I), напряжением (U) и мощностью (P). Эти соотношения следующие:

$$I = U/R; \quad U = I \cdot R; \quad R = U/I; \quad P = I^2 \cdot R = U^2 / R = U \cdot I.$$

Примеры решения:

Пример 1. Для определения эквивалентного сопротивления схему постепенно сворачиваем, пока не получим эквивалентное сопротивление. Покажем это на примере схемы на рисунке 2.3.

Покажем узлы А, В, С, Е.

Покажем токи: I_3 течет от узла А до В, I_1 течет от узла В к А через R_1 , I_3 течет от узла В к узлу С через R_3 и так далее как показано на схеме.

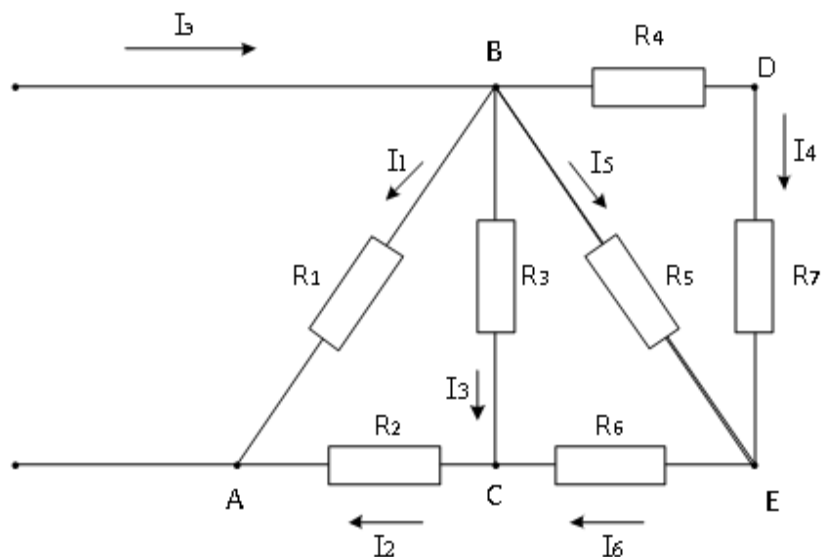


Рисунок 2.3

При анализе схемы на рисунке 2.3 мы видим, что только в одной ветви между узлами В и Е резисторы R_4 и R_7 включены последовательно.

Во всех остальных ветвях по одному резистору. Поэтому, применим свойство последовательного соединения к резисторам R_4 и R_7 , заменив их эквивалентным резистором участка - $R_{4,7}$:

$$R_{4,7} = R_4 + R_7$$

Покажем схему замещения (рисунок 2.4).

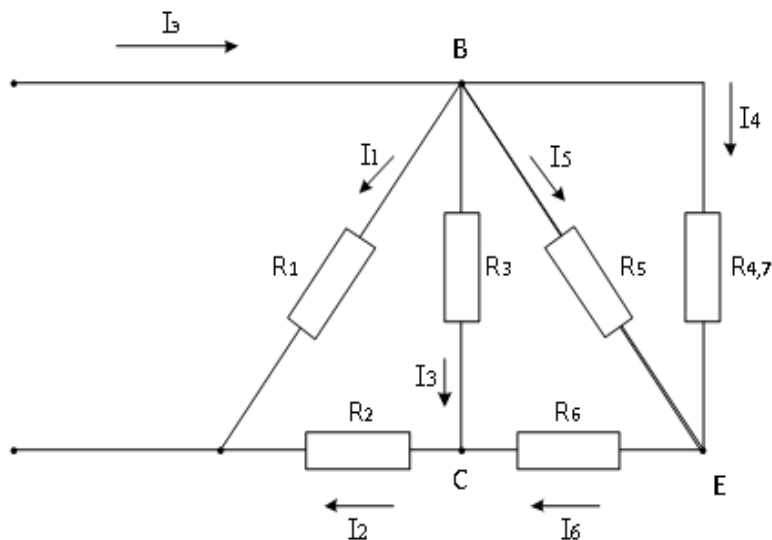


Рисунок 2.4

Из рисунка 2.4 видим, что два резистора R_5 и $R_{4,7}$ включены параллельно, применив свойство параллельного соединения к ним, получим эквивалентный резистор участка $R_{4,5,7}$. Покажем схему замещения (рисунок 2.5). На схеме рисунка 2.5 исчезли токи I_4 и I_5 , так как ветви, в которых они протекали, исчезли.

Из рисунка 2.5 мы видим, что резисторы $R_{4,5,7}$ и R_6 включены последовательно. Применив к ним свойство последовательного соединения заменим их эквивалентным резистором участка R_{4-7} :

$$R_{4,7} = R_{4,5,7} + R_6$$

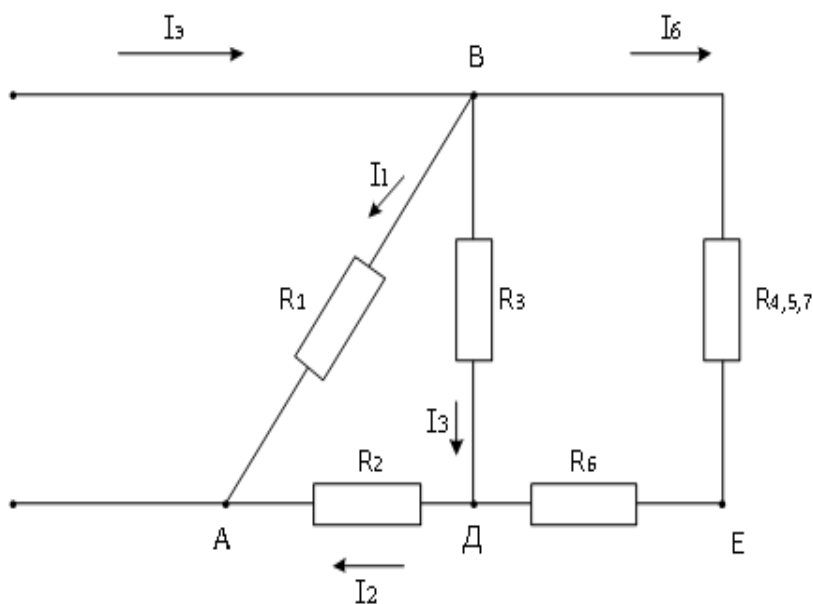


Рисунок 2.5

Покажем схему замещения (рисунок 2.6).

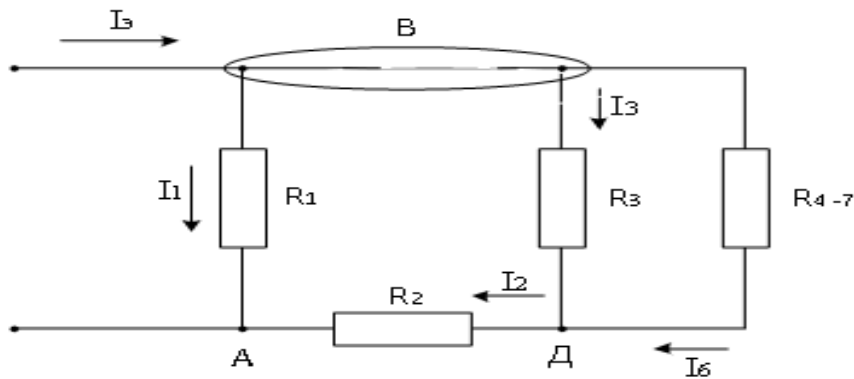


Рисунок 2.6

Теперь видим, что R_3 и R_{4-7} параллельны соответственно эквивалентное сопротивление заменяющее их будет определяться:

$$R_{3-7} = \frac{R_3 \cdot R_{4-7}}{R_3 + R_{4-7}}$$

Схема замещения соответственно (рисунок 2.7)

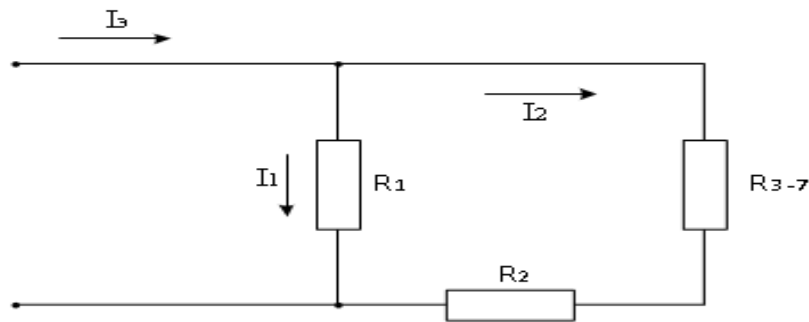


Рисунок 2.7

В схеме на рисунок 2.7 число токов уменьшилось до трёх. Теперь мы видим, что R_2 и R_{3-7} включены последовательно. Применив к ним свойство последовательного соединения, заменим их эквивалентным резистором участка R_{2-7} : $R_{2-7} = R_2 + R_{3-7}$.

Схема замещения соответственно (рисунок 2.8)

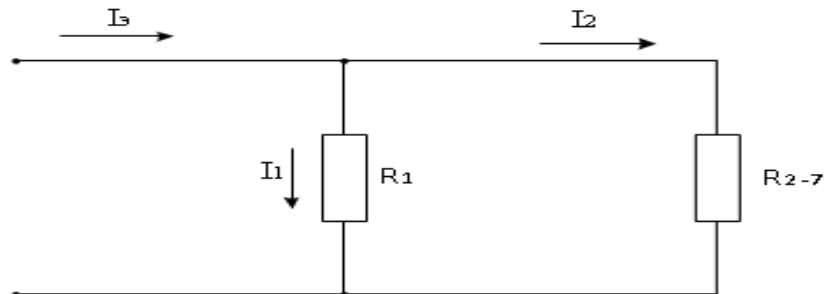


Рисунок 2.8

Теперь видим, что R_1 и R_{2-7} параллельны соответственно эквивалентное сопротивление заменяющее их будет определяться:

$$R_9 = \frac{R_1 \cdot R_{2-7}}{R_1 + R_{2-7}}$$

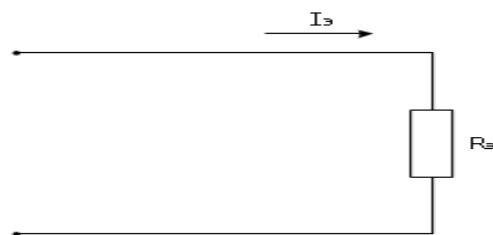


Рисунок 2.9

Схема замещения соответственно (рисунок 2.9) состоит из одного резистора, который объединяет свойства всех резисторов.

Последовательность этих действий можно определить как свёртывание схемы для постепенного определения R_{Σ} . Определение токов и напряжений будет происходить в обратном направлении, то есть при постепенном развёртывании схемы: если известны эквивалентные величины: I , U , P .

Если же известны величины на участках, то анализ схемы начинаем с тех участков схемы, где эти величины известны, затем движемся в любую сторону, постепенно определяя токи и напряжения на всех элементах применяя свойства последовательного и параллельного соединения к анализируемому участку и прилегающим к нему участкам. При решении задач любого соединения, необходимо знать основные соотношения между током (I), напряжением (U) и мощностью (P). Эти соотношения следующие: $I=U/R$; $P=I^2 \cdot R$.

При решении необходимо помнить свойства последовательного и параллельного соединений. И при любом соединении соотношения между I , U , R и P следующие: $I= U/R$; $P= I^2 \cdot R$. Для определения эквивалентного сопротивления схему постепенно сворачиваем, пока не получим эквивалентное сопротивление.

Пример 2. В цепи (рисунок 2.10) со смешанным соединением резисторов

$r_1=25$ Ом, $r_2=40$ Ом, $r_3=100$ Ом, $r_4=150$ Ом, $U=100$ В. Определить r , I , $I_1 \dots I_4$. Составить баланс мощностей.

Решение. Обозначаем на схеме узлы А, В, С. Определяем, как соединены между собой резисторы, указываем направления токов и обозначаем каждый ток на схеме. Определяем эквивалентные сопротивления каждого участка цепи и, постепенно упрощая схему, определяем эквивалентное сопротивление всей цепи. Резисторы r_3 и r_4 соединены параллельно (между узлами В и С), их эквивалентное сопротивление

$$r_{34} = \frac{r_3 r_4}{r_3 + r_4} = \frac{100 \cdot 150}{100 + 150} = 60 \text{ Ом.}$$

Чертим эквивалентную упрощенную схему (рисунок 2.10,б), заменяя r_3 и r_4 эквивалентным сопротивлением r_{34} . Из этой схемы видно, что резисторы r_2 и r_{34} соединены последовательно (между ними нет узлов), поэтому через них протекает ток I_2 . Определяем эквивалентное сопротивление резисторов r_2 и r_{34} : $r_{2-4} = r_2 + r_{34} = 40 + 60 = 100$ Ом.

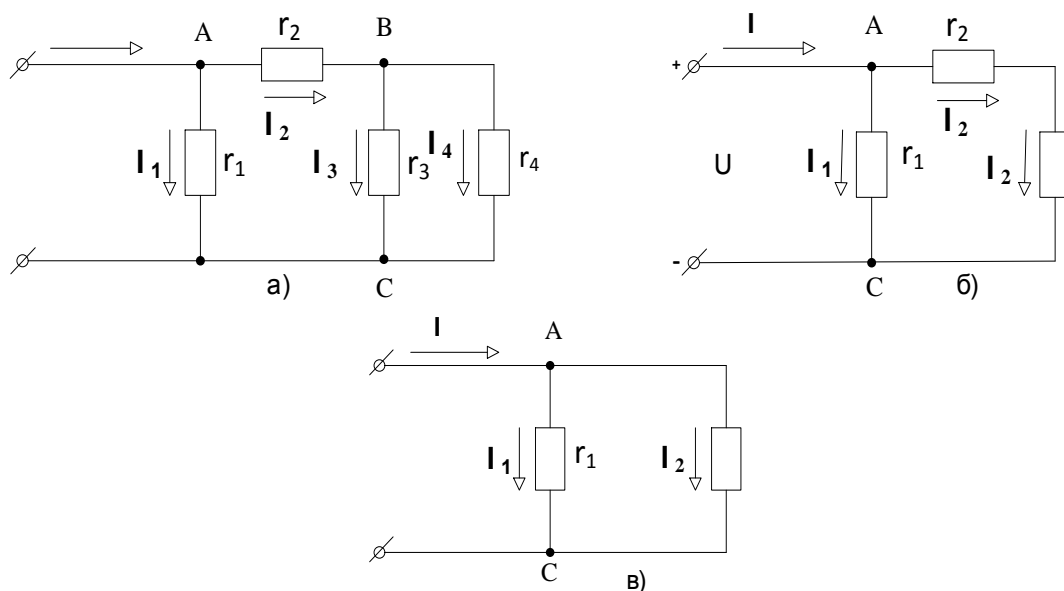


Рисунок 2.10

Чертим упрощенную схему цепи (рисунок 2.10,в), заменяя r_2 и r_{34} эквивалентным сопротивлением r_{2-4} , по которому протекает тот же ток I_2 . Из схемы видно, что резисторы r_1 и r_{2-4} соединены параллельно(между узлами A и C) и подключены к зажимам источника. Определяем эквивалентное сопротивление всей цепи

$$r = \frac{r_1 r_{2-4}}{r_1 + r_{2-4}} = \frac{25 \cdot 100}{25 + 100} = 20 \text{ Ом.}$$

Определяем токи, начиная с самой простой схемы (см. рисунок 2.10,в), из которой видно, что в цепь и каждая из параллельных ветвей с сопротивлениями r_1 и r_{2-4} включены на одинаковое напряжение, равное напряжению источника. Поэтому $I = U/r = 100/20 = 5 \text{ A}$;

$$I_1 = U/r_1 = 100/25 = 4 \text{ A};$$

$$I_2 = U/r_{2-4} = 100/100 = 1 \text{ A.}$$

Для проверки правильности решения общий ток I можно определить по первому закону Кирхгофа $I = I_1 + I_2 = 4 + 1 = 5 \text{ A}$. Чтобы определить токи I_3 и I_4 (см. рисунок 2.10,а), нужно знать напряжение U_{34} на параллельно соединенных резисторах r_3 и r_4 . Это напряжение можно узнать из схемы, изображённой на рис.2.10,б, где резисторы r_3 и r_4 заменены эквивалентным r_{34} , по которому течёт ток I_2 .

$$\text{Таким образом, } U_{34} = I_2 r_{34} = 1 \cdot 60 = 60 \text{ В};$$

$$I_3 = U_{34}/r_3 = 60/100 = 0,6 \text{ A};$$

$$I_4 = U_{34}/r_4 = 60/150 = 0,4 \text{ A},$$

$$\text{или } I_4 = I_2 - I_3 = 1 - 0,6 = 0,4 \text{ A.}$$

Составляем баланс мощностей:

$$P = P_1 + P_2 + P_3 + P_4; \quad UI = I_1^2 r_1 + I_2^2 r_2 + I_3^2 r_3 + I_4^2 r_4;$$

$$100 \cdot 5 = 4^2 \cdot 25 + 1^2 \cdot 40 + 0,6^2 \cdot 100 + 0,4^2 \cdot 150; \quad 500 = 400 + 40 + 36 + 24;$$

$$500 \text{ Вт} = 500 \text{ Вт.}$$

Практическая работа № 3

РАСЧЕТ СЛОЖНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ

МЕТОДОМ УРАВНЕНИЙ КИРХГОФА

1.Цель работы: приобрести практический навык по расчёту сложных электрических цепей с помощью законов Кирхгофа

2.Требования к знаниям, умениям и навыкам студента:

Студент должен **знать:**

- Первый и второй законы Кирхгофа;
- Закон Ома;

Уметь:

- Пользоваться законами Кирхгофа и Ома при расчёте электрических цепях.

3. Литература:

3.1. Попов В. П. Основы теории цепей, 6-е издание, М.; Высшая школа, 2007

3.2. Бакалов В. П., Журавлева О. Б., Крук Б. И. Основы анализа цепей, Учебное пособие, М.; Горячая линия-Телеком, 2007

3.3. Соболев В.Н. Теория электрических цепей. Учебное пособие. /ЭВС ipbooks.ru/. М.: Горячая линия – Телеком, 2014

3.4. Тепляков Ю.И. Теория электрических цепей. Учебное пособие. М.; УМЦ СПО ФАС, 2010

4.Подготовка к работе:

4.1.Изучить материал по теме «Методы расчетов электрических цепей»

4.2.Подготовить бланк отчета.

5.Задание

5.1. Дана сложная цепь постоянного тока. В таблице 3.1., в строке, соответствующей номеру вашего варианта, задан номер рисунка, исходные данные.

5.2. Определите токи, протекающие в этой цепи. Укажите режимы работы источников, поясните свой выбор.

5.3. Ответить на контрольные вопросы

6. Контрольные вопросы

6.1. В чем сущность первого закона Кирхгофа?

6.2. Приведите формулировку второго закона Кирхгофа?

6.3. В каких случаях источник работает в режиме генератора, а в каких случаях в режиме потребителя?

6.4. Как выбираются направления токов в ветвях и направления обхода контура?

Таблица 3.1

Вар- нт	№ рис.	$E_1,$ В	$E_2,$ В	$E_3,$ В	R_{i1} Ом	R_{i2} Ом	$R_{i3},$ Ом	$R_1,$ Ом	$R_2,$ Ом	$R_3,$ Ом
2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1	90	82	-	2	3	-	18	27	88
2	2	120	55	-	1	2	-	19	28	10
3	3	36	96	86	1	2	1	14	22	9
4	4	45	41	-	2	2	-	30	15	44
5	5	125	-	110	2	-	3	23	10	27
6	6	60	30	100	1	1	1	9	19	39
7	7	106	-	18	2	-	1	24	14	45
8	8	40	-	52	2	-	2	38	10	-
9	9	96	36	60	1	1	1	9	29	39
10	10	-	60	130	-	2	4	20	38	56
11	11	-	30	65	-	2	4	40	78	76
12	12	45	25	60	2	1	2	18	19	28
13	13	-	80	28	-	2	1	10	18	39
14	14	-	40	56	-	2	1	20	38	29
15	15	45	132	75	1	2	1	14	38	9
16	1	108	72	-	2	1	-	22	23	12
17	2	60	25	-	2	1	-	18	29	20
18	3	72	48	43	1	2	1	24	22	19
19	4	54	36	-	2	1	-	22	23	12
20	5	250	-	220	2	-	3	23	20	27
21	6	60	15	50	1	1	1	9	29	45
22	7	53	-	9	2	-	1	24	14	45
23	8	80	-	104	2	-	2	76	20	-
24	9	90	30	110	2	3	2	18	27	38
25	10	-	30	45	-	1	2	60	19	28
26	11	-	50	80	-	2	3	40	18	27
27	12	25	45	50	1	1	3	19	39	17
28	13	-	120	60	-	1	3	60	19	27
29	14	-	55	45	-	1	1	20	29	39
30	15	90	132	150	1	2	1	24	28	19

Приложение 1 Схемы

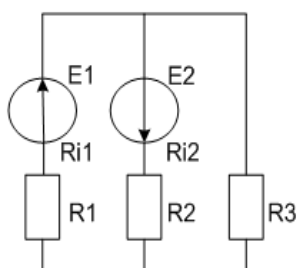


Рис.1

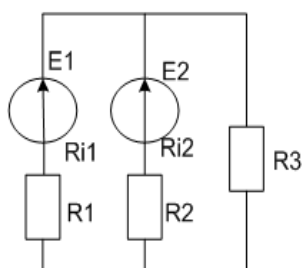


Рис.2

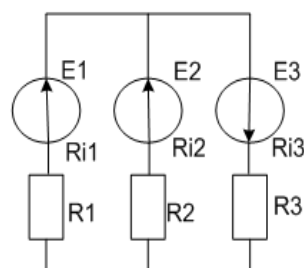


Рис.3

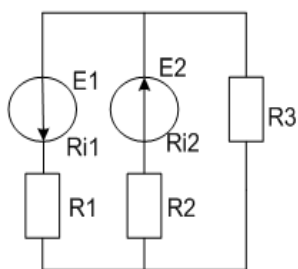


Рис.4

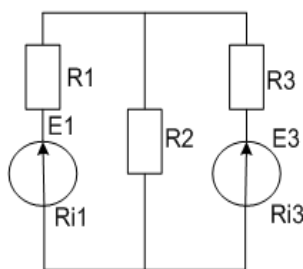


Рис.5

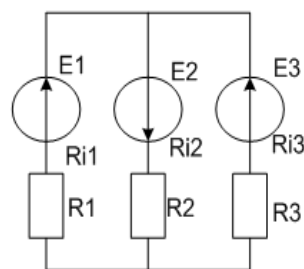


Рис.6

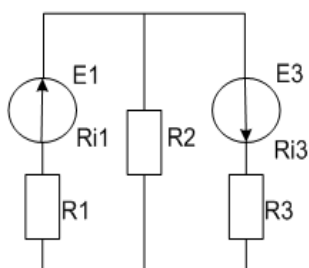


Рис.7

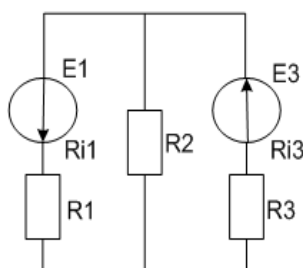


Рис.8

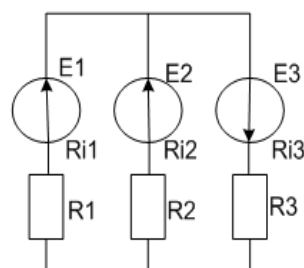


Рис.9

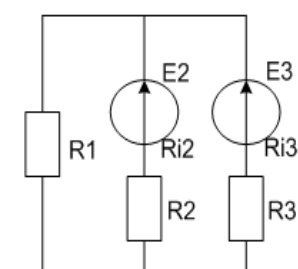


Рис.10

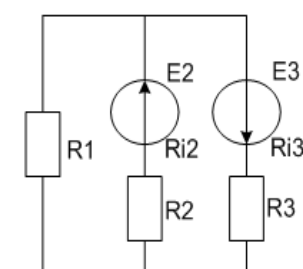


Рис.11

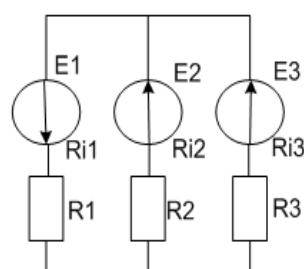


Рис.12

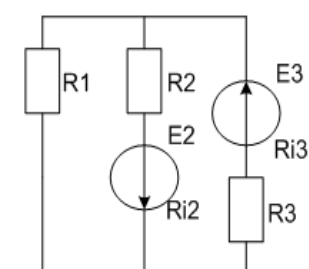


Рис.13

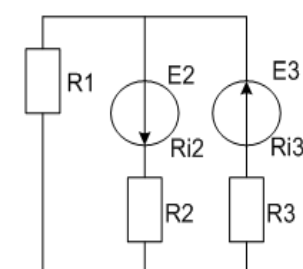


Рис.14

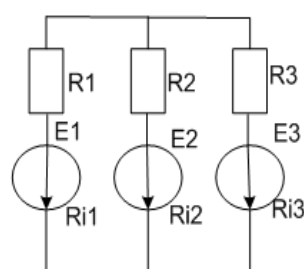


Рис.15

Приложение 2

Краткий теоретический курс

При расчете сложной цепи необходимо выполнить следующие действия:

1. Выбрать направления тока в ветвях и направления обходов контуров (НОК)

2. Составить столько уравнений, сколько неизвестных токов (три уравнения). Из них:

а) по 1 закону Кирхгофа – на 1 меньше числа узлов в схеме;

б) остальные уравнения – по 2 закону Кирхгофа.

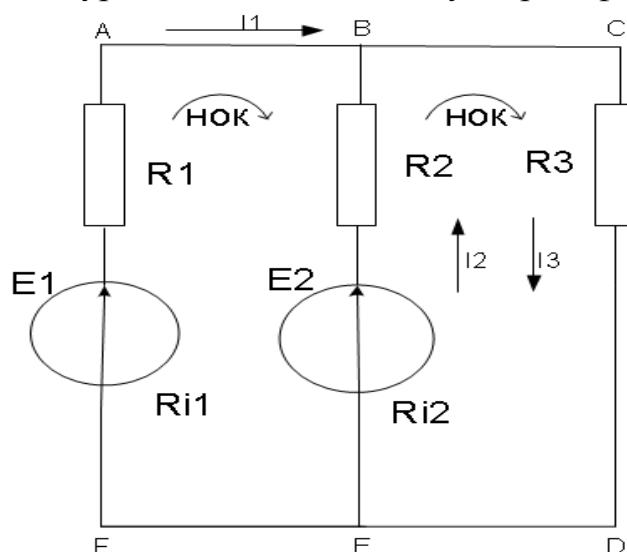


Рисунок 3.1.

Рассмотрим пример составления уравнений для схемы на рисунке 3.1

- для узла «В» по первому закону Кирхгофа: $I_1 + I_2 - I_3 = 0$

- Для контура ABEFA: $E_1 - E_2 = I_1 (R_1 + R_{i1}) - I_2 (R_2 + R_{i2})$;

- Для контура BCDEB: $E_2 = I_2 (R_2 + R_{i2}) + I_3 R_3$.

При составлении уравнения по 2 закону Кирхгофа надо учитывать, что со знаком (+) записываются те ЭДС и токи, направления которых совпадают с направлением обхода по контуру (НОК), со знаком (–) – не совпадающие с НОК.

4. Подставим известные величины и решим полученную систему уравнений относительно неизвестных токов.

5. Если в результате расчёта, какой-либо ток будет со знаком минус, значит его действительное положительное направление противоположно указанному току на схеме. Положительные направления тока покажем стрелкой на ветви.

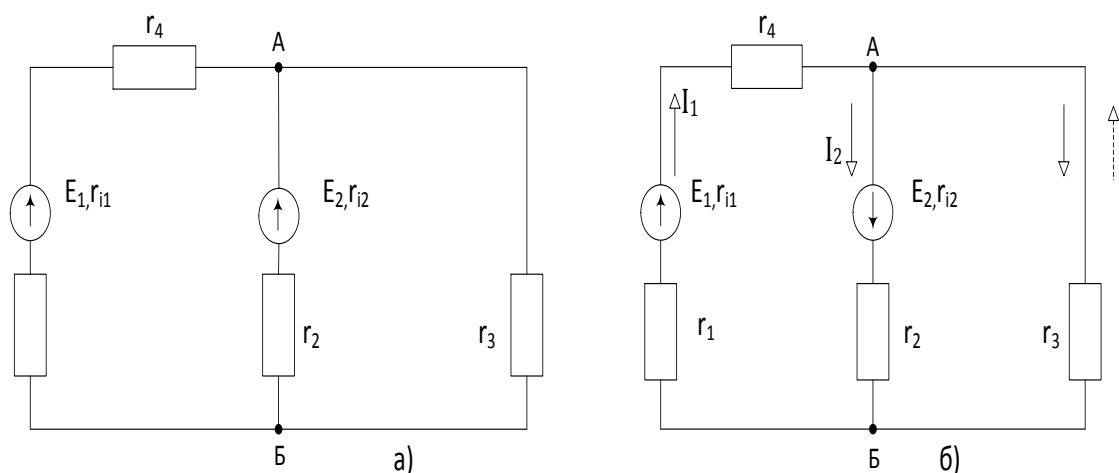
6. Если направления источника E_n противоположно действительному направлению тока, протекающему через источник, то R_u

$= E \cdot I < 0$, то есть считаем её отрицательной. И в этом случае источник работает в режиме потребителя.

Если направления источника E_n совпадает с действительным положительным направлению тока, протекающему через источник, то $P_u > 0$, то есть считаем её положительной. И в этом случае источник работает в режиме генератора.

Пример решения

В цепи на рисунке 3.2 $E_1=10\text{ В}$, $r_{i1}=1\text{ Ом}$, $E_2=30\text{ В}$, $r_{i2}=2\text{ Ом}$, $r_1=11\text{ Ом}$, $r_2=18\text{ Ом}$, $r_3=10\text{ Ом}$, $r_4=8\text{ Ом}$. Определить токи ветвей. Составить баланс мощностей.



Рису

нок 3.2

Определяем число узлов цепи $n=2$ и обозначаем их через А и Б. Определяем число ветвей цепи $m=3$. Произвольно выбираем направления токов в ветвях и указываем их на схеме (рисунок 3.2,б). Число токов в цепи равно числу ветвей. Для определения токов в ветвях составляем систему трех уравнений, так как $m=3$. По первому закону Кирхгофа составляем $n-1=1$ уравнение, например, для узла А. И1

Остальные $m-(n-1)=2$ уравнения составляем по второму закону Кирхгофа, например, для контура, состоящего из первой и второй ветвей и контура, состоящего из второй и третьей ветвей. Направление обхода каждого контура выбираем произвольно, например, по часовой стрелке. Записываем уравнения

$$\begin{aligned} - I_1(r_1+r_{i1}+r_4)+I_2(r_{i2}+r_2) &= E_1+E_2; \\ - I_2(r_2+r_{i2})+ I_3r_3 &= - E_2. \end{aligned}$$

Подставляя числовые значения сопротивлений и ЭДС, получаем

$$I_1-I_2-I_3=0;$$

$$20 I_1+20 I_2=40;$$

$$20 I_2+10 I_3=-30.$$

Упрощая последние уравнения, получаем систему уравнений

$$I_1-I_2-I_3=0;$$

$$I_1+I_2=2$$

$$-2 I_2+I_3=-3$$

Для решения системы выразим значения I_1 и I_3 :

$$I_1 = 2 - I_2; I_3 = 2I_2 - 3.$$

Подставим эти значения в первое уравнение определим ток I_2 :

$$2 - I_2 - I_2 - 2I_2 + 3 = 0; 5 - 4I_2 = 0; I_2 = 1,25 \text{ А.}$$

Токи I_1 и I_3 определим, подставив в уравнения значение I_2 :

$$I_1 = 2 - 1,25 = 0,75 \text{ А}; I_3 = 2 \cdot 1,25 - 3 = -0,5 \text{ А.}$$

Знак «минус» перед значением I_3 показывает, что действительное направление тока противоположно произвольно выбранному. Указываем действительное направление тока I_3 штриховой стрелкой (3.2,б). Значения токов I_1 и I_2 получены со знаком «плюс», следовательно, их действительные направления совпадают с произвольно выбранными.

Составляем баланс мощностей. Оба источника цепи являются генераторами, так как направления их ЭДС совпадают с направлениями токов тех ветвей, которые они включены. Поэтому мощности источников

$$P_{I1} + P_{I2} = P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_{i1} + P_{i2};$$

$$E_1 I_1 + E_2 I_2 = I_2^2 r_1 + I_2^2 r_2 + I_3^2 r_3 + I_1^2 r_4 + I_1^2 r_{i1} + I_2^2 r_{i2};$$

$$10 \cdot 0,75 + 30 \cdot 1,25$$

=

$$0,75^2 \cdot 11 + 1,25^2 \cdot 18 + 0,5^2 \cdot 10 + 0,75^2 \cdot 8 + 0,75^2 \cdot 1 + 1,25^2 \cdot 2;$$

$$7,5 + 37,5 = 6,1875 + 28,125 + 2,5 + 4,5 + 0,5625 + 3,125;$$

$$45 \text{ Вт} = 45 \text{ Вт.}$$

Практическая работа № 4 РАСЧЁТ СЛОЖНОЙ ЦЕПИ МЕТОДОМ КОНТУРНЫХ ТОКОВ

1. Цель работы: приобрести практический навык по расчёту сложных электрических цепей с помощью законов Кирхгофа

2. Требования к знаниям, умениям и навыкам студента:

Студент должен **знать:**

- Первый и второй законы Кирхгофа;
- Закон Ома;

Уметь:

- Пользоваться законами Кирхгофа и Ома при расчёте электрических цепях.

3. Литература:

3.1. Попов В. П. Основы теории цепей, 6-е издание, М.: Высшая школа, 2007.

3.2. Бакалов В. П., Журавлева О. Б., Крук Б. И. Основы анализа цепей, Учебное пособие, М.: Горячая линия-Телеком, 2007.

3.3. Соболев В.Н. Теория электрических цепей. Учебное пособие. /ЭБС ipbooks.ru/. М.: Горячая линия – Телеком, 2014.

3.4. Тепляков Ю.И. Теория электрических цепей. Учебное пособие. М.: УМЦ СПО ФАС, 2010.

4. Подготовка к работе:

4.1. Изучить материал по теме «Методы расчетов электрических цепей»

4.2. Подготовить бланк отчета.

5.Задание

5.1. Дана сложная цепь постоянного тока. В таблице 4.1., в строке, соответствующей номеру вашего варианта, задан номер рисунка, исходные данные.

5.2. Определите токи, протекающие в этой цепи, методом контурных токов.

5.3. Составьте баланс мощности.

5.4. Дайте ответы на контрольные вопросы.

6. Контрольные вопросы.

6.1. Как выбираются направления контурных токов?

6.2. Как устанавливается величина и направление действительного тока в ветвях электрической цепи?

Таблица 4.1- Исходные данные

Вар-нт	№ рис.	E_1 , В	E_2 , В	E_3 , В	R_{i1} , Ом	R_{i2} , Ом	R_{i3} , Ом	R_1 , Ом	R_2 , Ом	R_3 , Ом
2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1	90	82	-	2	3	-	18	27	88
2	2	120	55	-	1	2	-	19	28	10
3	3	36	96	86	1	2	1	14	22	9
4	4	45	41	-	2	2	-	30	15	44
5	5	125	-	110	2	-	3	23	10	27
6	6	60	30	100	1	1	1	9	19	39
7	7	106	-	18	2	-	1	24	14	45
8	8	40	-	52	2	-	2	38	10	-
9	9	96	36	60	1	1	1	9	29	39
10	10	-	60	130	-	2	4	20	38	56
11	11	-	30	65	-	2	4	40	78	76
12	12	45	25	60	2	1	2	18	19	28
13	13	-	80	28	-	2	1	10	18	39
14	14	-	40	56	-	2	1	20	38	29
15	15	45	132	75	1	2	1	14	38	9
16	1	108	72	-	2	1	-	22	23	12
17	2	60	25	-	2	1	-	18	29	20
18	3	72	48	43	1	2	1	24	22	19
19	4	54	36	-	2	1	-	22	23	12
20	5	250	-	220	2	-	3	23	20	27
21	6	60	15	50	1	1	1	9	29	45
22	7	53	-	9	2	-	1	24	14	45
23	8	80	-	104	2	-	2	76	20	-
24	9	90	30	110	2	3	2	18	27	38
25	10	-	30	45	-	1	2	60	19	28
26	11	-	50	80	-	2	3	40	18	27
27	12	25	45	50	1	1	3	19	39	17
28	13	-	120	60	-	1	3	60	19	27
29	14	-	55	45	-	1	1	20	29	39

30	15	90	132	150	1	2	1	24	28	19
----	----	----	-----	-----	---	---	---	----	----	----

Приложение 1 Схемы

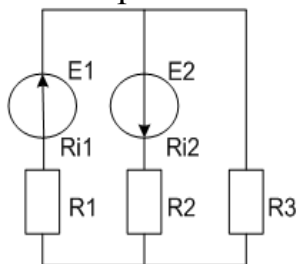


Рис.1

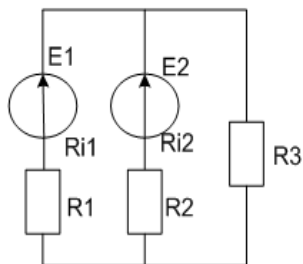


Рис.2

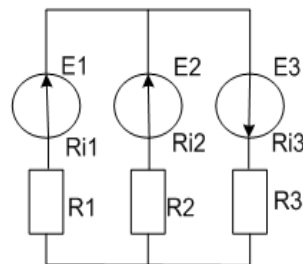


Рис.3

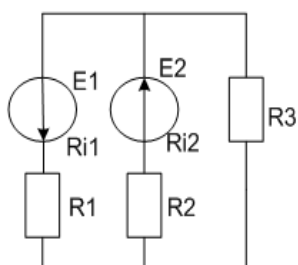


Рис.4

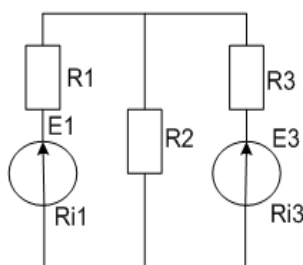


Рис.5

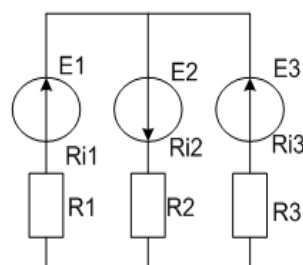


Рис.6

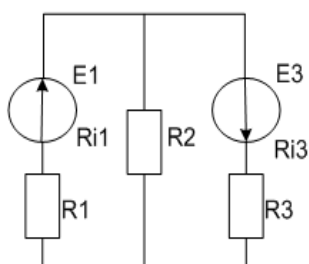


Рис.7

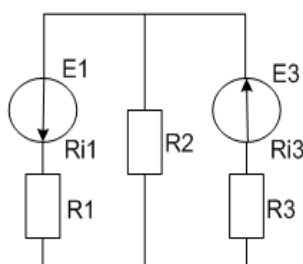


Рис.8

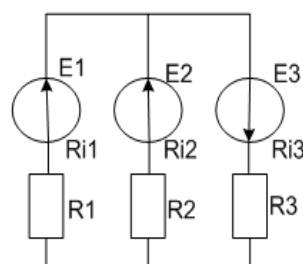


Рис.9

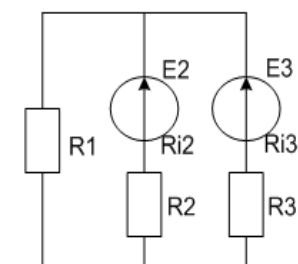


Рис.10

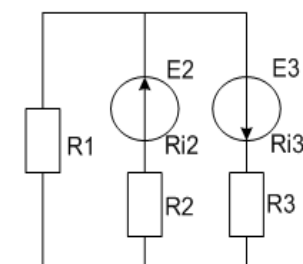


Рис.11

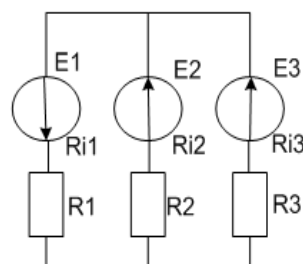


Рис.12

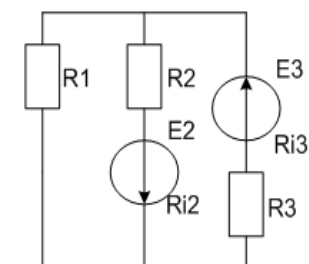


Рис.13

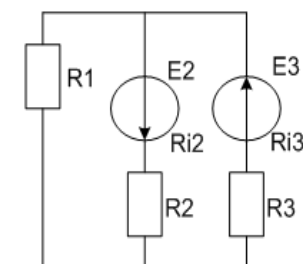


Рис.14

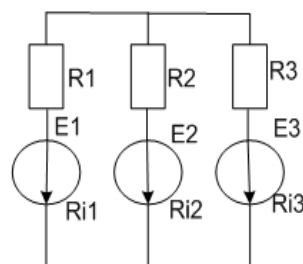


Рис.15

Приложение 2

Краткий теоретический курс.

Контурный ток это условный ток, который течёт по всем элементам контура. Показываем его на схеме дугообразной кривой. Нумеруем римскими цифрами или буквами (на схеме рисунок 3.2 контурный ток показан – буквами).

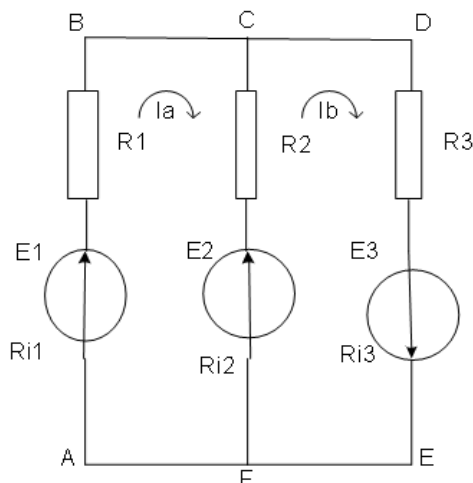


Рисунок 4.1.

Расчет начинаем со следующего:

1. Произвольно выбираем направления контурных токов (I_a и I_b) в каждом простом контуре. При этом направления обхода по контуру считаем совпадающим с контурным током.

2. Составляем для каждого контурного тока уравнение по 2 закону Кирхгофа.

- для тока I_a в контуре ABCFA:

$$E_1 - E_2 = I_a * (R_1 + R_{i1} + R_2 + R_{i2}) - I_b * (R_2 + R_{i2})$$

- для тока I_b в контуре FCDEF:

$$E_2 + E_3 = I_b * (R_2 + R_{i2} + R_3 + R_{i3}) - I_a * (R_2 + R_{i2})$$

3. Подставляем числовые значения и решаем систему уравнений относительно неизвестных контурных токов (I_a , I_b).

Если контурный ток получился отрицательный, то его направление изменим, показав на схеме пунктирной линией рядом с показанной сплошной линией.

Действительный положительный ток в ветвях определяется алгебраической суммой контурных токов протекающих в ветви.

В данной схеме только в одной ветви (во второй) течёт два контурных тока, поэтому

$$I_2 = I_a + I_b \text{ - если контурные токи протекают в одном направлении.}$$

Если же направления противоположны, то из большего вычитаем меньшее и берём направление большего.

В ветвях, где течёт один контурный ток – действительный ток равен ему и совпадает с его направлением.

Пример расчета сложной цепи.

В цепи $E_1=10$ В , $r_{i1}=1$ Ом , $E_2=30$ В , $r_{i2}=2$ Ом , $r_1=11$ Ом, $r_2=18$ Ом, $r_3=10$ Ом, $r_4=8$ Ом. Определить токи ветвей. Составить баланс мощностей.

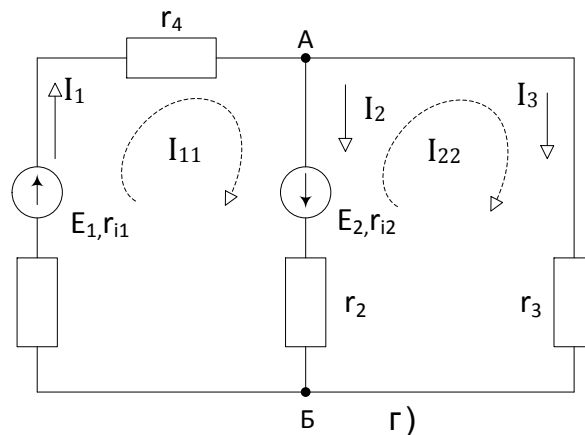


Рисунок 4.2

Определяем число узлов цепи $n=2$ и обозначаем их через А и Б (рисунок 4.2). Определяем число ветвей цепи $m=3$. Число неизвестных контурных токов $K=3-(2-1)=2$. Произвольно выбираем контуры и указываем произвольные направления контурных токов I_{11} и I_{22} . Для каждого контура составляем уравнение по второму закону Кирхгофа, причем направления обхода контуров совмещаем с направлениями контурных токов. Получаем систему уравнений

$$\begin{aligned} I_{11}(r_1+r_{i1}+r_4+r_2)-I_{22}(r_2+r_{i2}) &= E_1+E_2; \\ I_{22}(r_2+r_{i2}+r_3)-I_{11}(r_2+r_{i2}) &= -E_2. \end{aligned}$$

Для определения контурных токов подставляем числовые значения сопротивлений и ЭДС.

$$\begin{aligned} 40I_{11}-20I_{22} &= 40; \\ -20I_{11}+30I_{22} &= -30. \end{aligned}$$

Упрощая уравнения, получаем

$$\begin{aligned} 2I_{11}-I_{22} &= 2; \\ -2I_{11}+3I_{22} &= -3. \end{aligned}$$

Сложим уравнения и определим I_{22} :

$$2I_{22} = -1; \quad I_{22} = -0,5 \text{ А.}$$

Подставим значение I_{22} в одно из уравнений, например, в первое:

$$I_{11} = \frac{2+I_{22}}{2} = \frac{2-0,5}{2} = 0,75 \text{ А.}$$

Определяем токи ветвей. По первой ветви течет только ток первого контура I_{11} , поэтому $I_1=I_{11}=0,75$ А. По второй ветви протекают оба контурных тока в противоположных направлениях, причем $I_{11} > I_{22}$, поэтому $I_2=I_{11}-I_{22}=0,75+0,5=1,25$ А и направлен в сторону большего тока I_3 будет противоположно выбранному направлению I_{22} . При этом $I_3=I_{22}=0,5$ А. Направления токов показываем на схеме (рисунок 4.2).

Практическая работа №5
РАСЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ МЕТОДОМ
ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ТРЕУГОЛЬНИКА
В ЭКВИВАЛЕНТНУЮ ЗВЕЗДУ

1. Цель работы: приобрести практический навык по расчету электрических цепей при различных соединениях резисторов.

2. Требования к знаниям, умениям и навыкам студента:

Студент должен **знать:**

- закон Ома для участка и полной цепи;
- свойства цепи при последовательном соединении резисторов;
- свойства цепи при параллельном соединении резисторов.

Уметь:

- распределять напряжения по участкам цепи;
- рассчитывать токи, протекающие в ветвях.

3. Литература:

3.1. Попов В. П. Основы теории цепей, 6-е издание, М.; Высшая школа, 2007

3.2. Бакалов В. П., Журавлева О. Б., Крук Б. И. Основы анализа цепей, Учебное пособие, М.; Горячая линия-Телеком, 2007

3.3. Соболев В.Н. Теория электрических цепей. Учебное пособие. /ЭБС ipbooks.ru/. М.: Горячая линия – Телеком, 2014

3.4. Тепляков Ю.И. Теория электрических цепей. Учебное пособие. М.; УМЦ СПО ФАС, 2010

4. Подготовка к работе

4.1. Изучить материал по указанной литературе в разделе «Резистивные цепи»;

4.2. Подготовить бланк отчета.

5. Задание

5.1. Исходные данные по вариантам даны для расчета в таблице 5.1. для схемы 5.1

5.2. Определить:

- Токи, протекающие через каждый резистор (I_n);
- Напряжения, приложенные к каждому резистору (U_n);

5.3. Правильность расчета проверить, составлением баланса мощности.

5.4. Ответить на контрольные вопросы.

6. Контрольные вопросы

6.1. Напишите выражения, с помощью которых пассивные сопротивления, соединенные треугольником, пересчитывают в пассивные сопротивления, соединенные звездой, и наоборот.

6.2. Каким образом рассчитываются токи в цепях с помощью законов Кирхгофа?

Таблица 5.1

Номер варианта	U, В	r_1 , Ом	r_2 , Ом	r_3 , Ом	r_4 , Ом	r_5 , Ом	r_6 , Ом
1	150	5	4	20	50	30	9
2	45	10	10	30	6	18	5
3	100	1	3	30	30	40	2
4	42	40	10	50	4	7	2
5	65	6	7	20	10	20	3
6	80	120	20	60	24	34	4
7	60	20	30	50	10	5	14
8	69	12	54	60	30	10	0
9	120	10	8	10	25	20	2
10	84	20	5	20	5	10	4

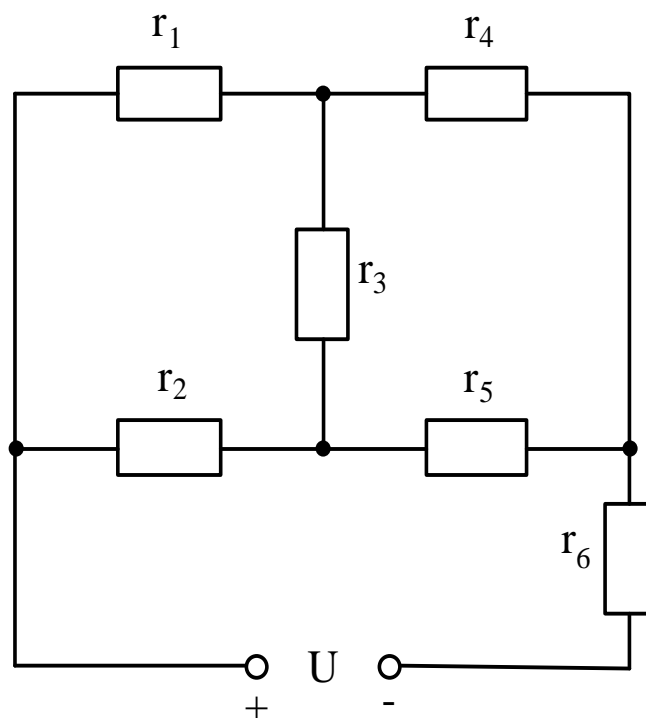
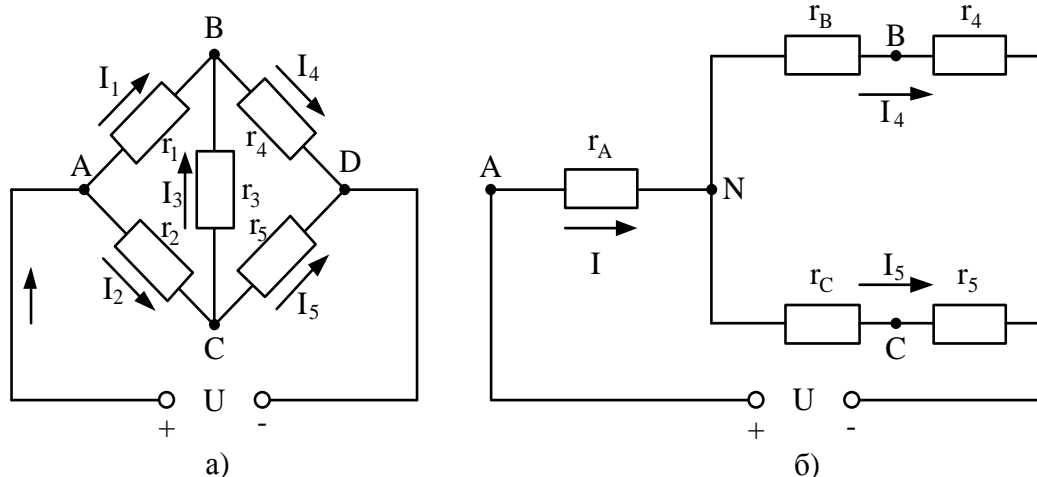


Рисунок 5.1

Пример решения.

В цепи на рисунке 5.2 $r_1=40$ Ом, $r_2=r_3=30$ Ом, $r_4=28$ Ом, $r_5=51$ Ом, $U=180$ В. Определить токи всех ветвей методом преобразования треугольника в эквивалентную звезду.

Указываем на схеме (рисунок 5.2,а) направления токов в ветвях. Направление I_3 выбираем произвольно. Узлы схемы обозначаем А, В, С и D. Преобразуем треугольник ABC, состоящий из резисторов r_1, r_2 , и r_3 в эквивалентную звезду, состоящую из резисторов r_A, r_B и r_C . На преобразованной схеме (рисунок 5.2,б) показываем токи



Рисун

ок 5.2

Сопротивления эквивалентной «звезды»:

$$r_A = \frac{r_1 r_2}{r_1 + r_2 + r_3} = \frac{40 \cdot 30}{40 + 30 + 30} = 13 \text{ Ом}$$

$$r_B = \frac{r_1 r_2}{r_1 + r_2 + r_3} = \frac{40 \cdot 30}{40 + 30 + 30} = 12 \text{ Ом}$$

$$r_C = \frac{r_1 r_2}{r_1 + r_2 + r_3} = \frac{30 \cdot 30}{40 + 30 + 30} = 9 \text{ Ом}$$

Рассчитываем преобразованную схему (рисунок 5.2,б).

Эквивалентное сопротивление участка ND

$$r_{ND} = \frac{(r_B + r_4)(r_C + r_5)}{r_B + r_4 + r_C + r_5} = \frac{(12 + 28)(9 + 51)}{12 + 28 + 9 + 51} = 24 \text{ Ом}$$

Эквивалентной сопротивление цепи

$$r = r_A + r_{ND} = 12 + 24 = 36 \text{ Ом.}$$

Общий ток цепи $I = U/r = 180/36 = 5 \text{ А}$.

Напряжение на участке ND $U_{ND} = I r_{ND} = 5 \cdot 24 = 120 \text{ В}$.

$$\text{Токи } I_4 = \frac{U_{ND}}{(r_B + r_4)} = \frac{120}{(12 + 28)} = 3 \text{ А}; \quad I_5 = \frac{U_{ND}}{(r_C + r_5)} = \frac{120}{(9 + 51)} = 2 \text{ А}.$$

Возвращаемся к исходной схеме и рассчитываем остальные токи. Для определения I_3 составляем уравнение по второму закону Кирхгофа для контура BDCB:

$$I_4 r_4 - I_5 r_5 + I_3 r_3 = 0,$$

откуда

$$I_3 = \frac{I_5 r_5 - I_4 r_4}{r_3} = \frac{2 \cdot 51 - 3 \cdot 28}{30} = 0,6 \text{ А}.$$

Знак «плюс» перед значением I_3 показывает, что действительно направление I_3 совпадает с произвольно выбранным.

Токи I_1 и I_2 определяем по первому закону Кирхгофа. Для узла В записываем $I_1 + I_3 - I_4 = 0$. Отсюда $I_1 = I_4 - I_3 = 3 - 0,6 = 2,4 \text{ А}$. Для узла А получаем $I - I_1 - I_2 = 0$. Откуда $I_2 = I - I_1 = 5 - 2,4 = 2,6 \text{ А}$. Для проверки правильности решения задачи составляем баланс мощностей:

$$P = P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5;$$

$$UI = I^2_1 r_1 + I^2_2 r_2 + I^2_3 r_3 + I^2_4 r_4 + I^2_5 r_5;$$

$$180 \cdot 5 = 2,4^2 \cdot 40 + 2,6^2 \cdot 30 + 0,6^2 \cdot 30 + 3^2 \cdot 28 + 2^2 \cdot 51;$$

$$900 = 230,4 + 202,8 + 10,8 + 252 + 204;$$

$$900 \text{ Вт} = 900 \text{ Вт}.$$

Практическая работа №6 РАСЧЕТ ЦЕПИ СИМВОЛИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

1. Цель работы: Закрепление практических знаний при расчёте сложных электрических цепей символическим методом.

2. Требования к знаниям, умениям и навыкам студента:

Студент должен **знать:**

- закон Ома в символической форме;
- законы Кирхгофа в символической форме.

Уметь:

- рассчитывать полное комплексное сопротивление цепи;
- строить векторные диаграммы напряжения, сопротивлений и мощности для цепей переменного тока.

3. Литература:

3.1. Попов В. П. Основы теории цепей, 6-е издание, М.: Высшая школа, 2007

3.2. Бакалов В. П., Журавлева О. Б., Крук Б. И. Основы анализа цепей, Учебное пособие, М.: Горячая линия-Телеком, 2007

3.3. Соболев В.Н. Теория электрических цепей. Учебное пособие. /ЭБС ipbooks.ru/. М.: Горячая линия – Телеком, 2014

3.4. Тепляков Ю.И. Теория электрических цепей. Учебное пособие. М.: УМЦ СПО ФАС, 2010

4. Подготовка к работе

4.1. Изучить материал по теме «Применение символического метода для расчёта цепей синусоидального тока».

4.2. Подготовить бланк отчета.

5. Задание

5.1. В соответствии с номером вашего варианта (таблица 6.1.) и числовыми значениями элементов построить схему (рисунок 6.1.) только с теми элементами, которые заданы для вашего варианта.

5.2. Определить:

- индуктивные и емкостные сопротивления (X_{cn} и X_{Ln});
- полное комплексное сопротивление цепи (\underline{Z}_Σ) и записать его (в алгебраической и показательной форме);
- напряжения на всех элементах цепи (\underline{U}_Σ), и эквивалентное напряжение цепи (\underline{U}_Σ), если оно не задано.
- ток в цепи (\underline{I}), если он не задан.

-потребляемую мощность (P), реактивную мощность (P_Q) и полную мощность (P_S).

5.2. Построить в масштабе векторную диаграмму напряжений, сопротивлений;

5.3. Изобразить схему замещения цепи и определить числовые значения её элементов: R_3 , L_3 , C_3 .

6. Контрольные вопросы

6.1. Какие напряжения (токи) называют гармоническими?

6.2. Сформулируйте закон Ома и законы Кирхгофа в комплексном виде.

Таблица 6.1 – Исходные данные

Вар-т	R_1 Ом	R_2 Ом	R_3 Ом	L_1 мГн	L_2 мГн	L_3 мГн	C_1 мкФ	C_2 мкФ	C_3 мкФ	U_0 В	I_0 А	f Гц
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	8	4	4	-	15,9	-	265,3	-	530,5	-	1,2	60
2	6	5	8	57,3	-	25,5	-	318,3	-	-	1,5	50
3	4	5	7	-	47,8	-	-	-	397,9	44	-	50
4	-	6	9	-	-	39,8	120,6	110,5	-	-	0,65	180
5	45	-	60	33,15	-	46,4	-	36,8	-	40	-	120
6	17	-	8	-	30,2	-	53	-	78,9	-	0,15	300
7	45	25	60	23,2	-	-	,	36,8	-	200	-	240
8	32	48	-	-	28,3	-	18,42	-	36,84	-	0,85	270
9	44	14	-	25,4	-	31,8	-	79,6	-	110	-	200
10	-	9	25	63,7	-	49,5	-	353,7	-	-	2,2	45
11	44	14	22	-	31,83	-	22,52	-	79,6	180	-	200
12	7	6	13	14,8	-	31,8	-	176,8	-	-	0,85	150
13	10	5	15	-	159,2	-	-	-	442,1	100	-	150
14	-	16	30	-	-	86,8	111,3	120,6	-	-	0,45	110
15	24	-	36	31,8	-	34,1	-	35	-	180	-	70
16	36	-	28	-	222,8	-	127,3	-	212,2	-	0,95	50
17	30	12	18	35,4	-	-	-	44,2	-	120	-	90
18	23	12	-	-	45,5	-	25,26	-	37,9	-	1,15	210
19	9	6	-	58,8	-	31,8	-	153	-	60	-	65
20	-	26	32	18,9	-	39,8	-	19,9	-	-	0,6	160

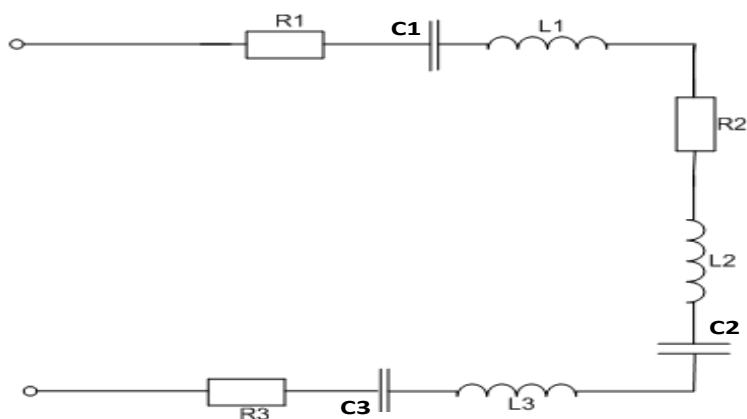


Рисунок 6.1.

Приложение 1

Краткий теоретический курс

Решение задачи требует знания основных понятий и физических процессов, происходящих в неразветвленных и разветвленных цепях при гармоническом воздействии.

К основным параметрам гармонического воздействия относятся:

- период (T) и частота (f) переменного тока (напряжения);
- угловая частота (ω);
- мгновенная фаза $\theta(t) = \omega \cdot t + \varphi_0$, где (φ_0 - начальная фаза);
- максимальное или амплитудное (I_m , U_m) значения тока и напряжения, мгновенное (i , u) и действующее (I , U) значения тока и напряжения;
- потребляемая (P), реактивная (P_Q) и полная комплексная (P_s) мощности;
- резистивное (R), реактивные: индуктивное (X_L) и ёмкостное (X_C) сопротивления.

Применение символического метода при расчёте цепей переменного тока позволяет пользоваться всеми законами и методами, которые применялись при расчете цепей постоянного тока.

Существует три формы записи комплексных чисел: алгебраическая, тригонометрическая и показательная. Например, для сопротивления:

$\underline{Z} = R \pm j X$ – алгебраическая форма;

$\underline{Z} = Z \cos \varphi \pm j Z \sin \varphi$ – тригонометрическая форма;

$\underline{Z} = Z e^{\pm j\varphi}$ – показательная форма;

где R - резистивное сопротивление;

X – реактивное сопротивление;

Z – модуль комплексного сопротивления;

φ -аргумент комплексного сопротивления.

Аналогично для напряжения, тока и других электрических величин, а именно:

$\underline{U_m} = U_m \cos \varphi \pm j U_m \sin \varphi$; $\underline{I_m} = I_m \cos \varphi \pm j I_m \sin \varphi$ – в тригонометрической форме.

$\underline{U_m} = U_m e^{\pm j\varphi}$; $\underline{I_m} = I_m e^{\pm j\varphi}$ – в показательной форме;

Сложение и вычитание комплексных чисел выполняется в алгебраической форме, умножение и деление выполняется в показательной форме.

Надо уметь быстро и точно производить переход от алгебраической формы комплексного числа в показательную форму и обратный переход от показательной формы комплексного числа в алгебраическую форму.

Пример 1.

Задана цепь (рисунок 6.2.) с исходными данными:

$R_1 = 6, \text{ Ом}$; $C_1 = 318,3, \text{ мкФ}$; $R_2 = 6, \text{ Ом}$; $L_2 = 19,1, \text{ мГн}$;

$C_3 = 397,9, \text{ мкФ}$; $U = 51, \text{ В}$; $f = 50, \text{ Гц}$.

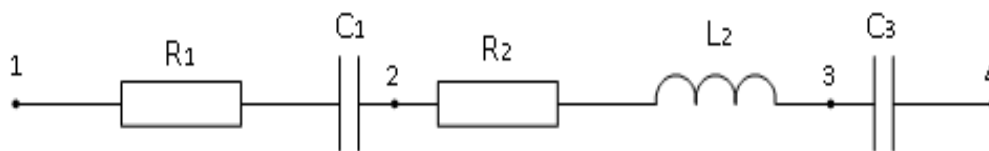


Рисунок 6.2.

Определим: X_{C1} , X_{L2} , X_{C3} , \underline{Z} , \underline{U}_{R1} , \underline{U}_{R2} , \underline{U}_{C1} , \underline{U}_{L2} , \underline{U}_{C3} , \underline{I} , P , P_Q , P_S , R_{Σ} , L_{Σ} , C_{Σ} .

Решение:

1. Определяем реактивные сопротивления:

$$X_{C1} = 1 / \omega \cdot C_1 = 1 / (2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 318,3 \cdot 10^{-6}) = 10 \text{ Ом}$$

$$X_{C3} = 1 / \omega \cdot C_3 = 1 / (2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 397,9 \cdot 10^{-6}) = 8 \text{ Ом}$$

$$X_{L2} = \omega \cdot L_2 = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 19,1 \cdot 10^{-6} = 6 \text{ Ом}$$

2. Определяем полное комплексное сопротивление цепи и одновременно показываем схему замещения с определением её элементов:

$$\underline{Z} = R_1 - jX_{C1} + R_2 + jX_{L2} - jX_{C3} = 6 - j10 + 6 + j6 - j8 = 12 - j12 = 17 e^{j45^\circ}, \text{ Ом}$$

Из полученного выражения, представленного в алгебраической форме,

$\underline{Z} = 12 - j12$, видим, что первое слагаемое (12) - действительное число, значит оно отражает резистивное сопротивление, то есть $R_{\Sigma} = 12$, Ом,

Второе слагаемое ($-j12$) - мнимое число со знаком (-). Значит, второе слагаемое представляет собой реактивное сопротивление и имеет емкостной характер, отсюда схема замещения:

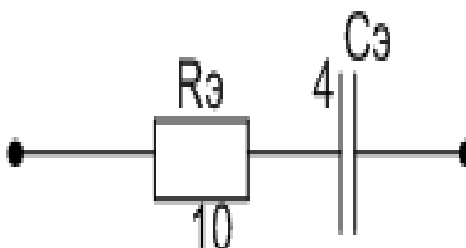


Рисунок 6.3.

Для определения емкости в схеме замещения воспользуемся формулой: $X_{C\Sigma} = 1 / \omega \cdot C_{\Sigma}$, отсюда $C_{\Sigma} = 1 / \omega \cdot X_{C\Sigma}$

Если бы второе слагаемое имело знак (+), то реактивное сопротивление носило бы индуктивный характер и тогда в схеме замещения вместо конденсатора поставили бы индуктивность и её величину определили по формуле: $X_{L\Sigma} = \omega \cdot L_{\Sigma}$, отсюда $L_{\Sigma} = X_{L\Sigma} / \omega$

Все остальные электрические величины мы определяем, используя формулы

$$\underline{I} = \underline{U} / \underline{Z}, \text{ А}$$

$$\underline{U}_1 = \underline{I} \cdot \underline{Z}_1; \quad \underline{U}_2 = \underline{I} \cdot \underline{Z}_2; \quad \underline{U}_3 = \underline{I} \cdot \underline{Z}_3; \quad \underline{U}_4 = \underline{I} \cdot \underline{Z}_4; \quad \underline{U}_5 = \underline{I} \cdot \underline{Z}_5,$$

где \underline{Z}_1 , \underline{Z}_2 , \underline{Z}_3 , \underline{Z}_4 , \underline{Z}_5 - это сопротивления элементов, выраженные в показательной форме.

$$P = I^2 \cdot R_{\Sigma}, \text{ Вт}; \quad P_Q = I^2 \cdot X_{\Sigma}, \text{ Вт}; \quad P_S = \underline{U} \cdot \underline{I}, \text{ В} \cdot \text{А}.$$

При расчёте полной мощности ток берём с противоположным знаком - (сопряжённым).

Пример 2.

Катушка индуктивности с параметрами $L = 0,045$ Гн и $r = 60$ Ом соединена последовательно с конденсатором $C = 8$ мкФ. Напряжение на зажимах цепи $U=20$ В, угловая частота $\omega=1000$ с⁻¹. Определить ток, активную, реактивную и полную мощности цепи, угол сдвига фаз. Построить векторную диаграмму. Записать уравнения мгновенных значений тока и напряжения. Записать полное сопротивление цепи комплексным числом.

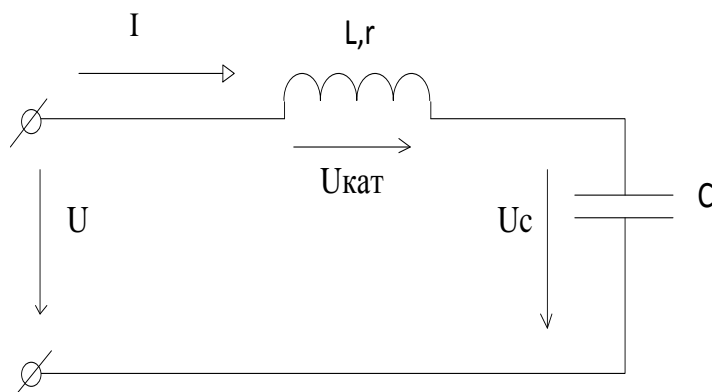


Рисунок 6.4

Определяем сопротивления цепи:

индуктивное $X_L = \omega L = 1000 \cdot 0,045 = 45$ Ом;

емкостное $X_C = \frac{1}{10^3 \cdot 8 \cdot 10^{-6}} = 125$ Ом;

полное $Z = \sqrt{r^2 + (X_L - X_C)^2} = \sqrt{60^2 + (45 - 125)^2} = 100$ Ом.

Так как $X_C > X_L$, характер цепи активно-емкостной.

Ток $I = U/Z = 20/100 = 0,2$ А.

Мощность цепи:

активная $P = I^2 r = 0,22 \cdot 60 = 2,4$ Вт;

реактивная $Q = I^2(X_L - X_C) = 0,22(45 - 125) = -3,2$ ВАр (знак «минус» указывает на емкостной характер реактивной мощности);

полная $S = UI = 20 \cdot 0,2 = 4$ ВА.

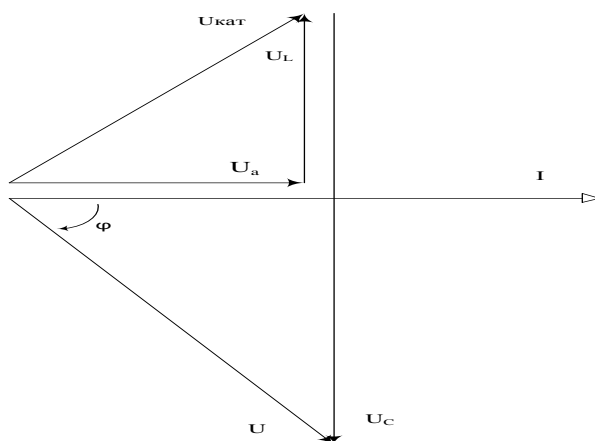


Рисунок 6.5

Угол сдвига фаз в цепи

$$\varphi = \arctg \frac{X_L - X_C}{r} = \arctg \frac{45 - 125}{60} = -53,13^\circ.$$

Для построения векторной диаграммы определяем напряжения на сопротивлениях цепи:

- активная составляющая напряжения катушки $U_a = I_r = 0,2 \cdot 60 = 12 \text{ В};$
- индуктивная составляющая напряжения катушки $U_L = IX_L = 0,2 \cdot 45 = 9 \text{ В}.$ Напряжение катушки $U_{\text{кат}} = I \cdot Z_{\text{кат}} = I \sqrt{r^2 + XL^2} = 0,2 \sqrt{60^2 + 45^2} = 0,2 \cdot 75 = 15 \text{ В}.$

Напряжение конденсатора $U_C = IX_C = 0,2 \cdot 125 = 25 \text{ В}.$

Выбираем масштабы $M_I = 0,05 \text{ А/см}$ и $M_U = 6 \text{ В/см}$ и строим векторную диаграмму.

Записываем уравнения мгновенных значений тока и напряжения, принимая начальную фазу тока $\psi_i = 0$:

$$i = I_m \sin(\omega t + \varphi_i) = \sqrt{2} \cdot 0,2 \sin 1000t = 0,282 \sin 1000t \text{ А};$$

$$u = U_m \sin(\omega t + \psi_{i+\varphi}) = \sqrt{2} \cdot 20 \sin(1000t - 23,13^\circ) = 28,2 \sin(1000t - 53,13^\circ) \text{ В}.$$

Полное сопротивление цепи комплексным числом

$$\underline{Z} = r + jX_L - jX_C = 60 + j45 - j125 = 60 - j80 = 100e^{-j53,13^\circ} \text{ Ом}.$$

Пример 3.

Цепь состоит из последовательно соединенных катушек индуктивности с сопротивлениями $r = 9 \text{ Ом}$, $X_{L1} = 12 \text{ Ом}$, $r_3 = 8 \text{ Ом}$, $X_{L3} = 6 \text{ Ом}$, конденсатора с потерями с сопротивлениями $r_2 = 7 \text{ Ом}$, $X_{C2} = 10 \text{ Ом}$ и конденсатора без потерь с сопротивлением $X_{C4} = 40 \text{ Ом}$. Определить эквивалентные активное и реактивное сопротивления и характер цепи, напряжения на зажимах и участках цепи, активную, реактивную и полную мощность, записать уравнение мгновенного значения напряжения. Построить векторную диаграмму, если $i = 0,1 \sqrt{2} \sin(\omega t + 20^\circ) \text{ А}.$

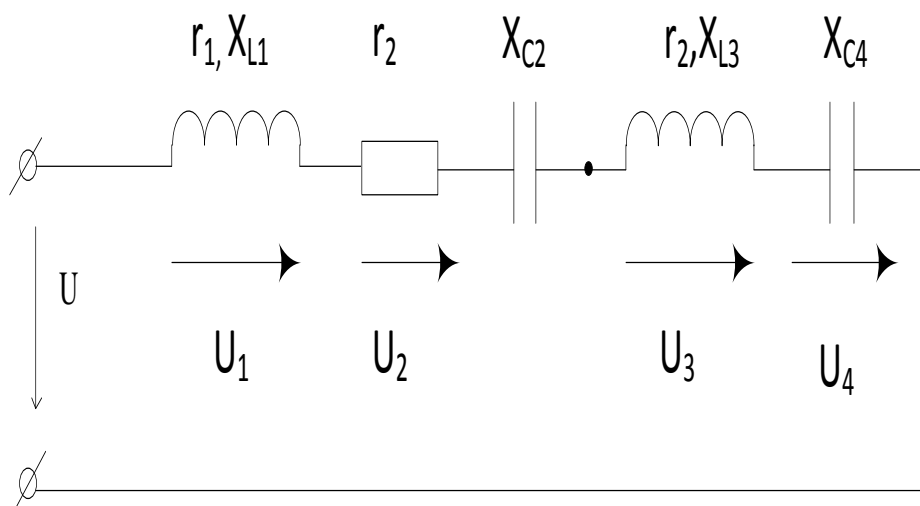


Рисунок 6.6

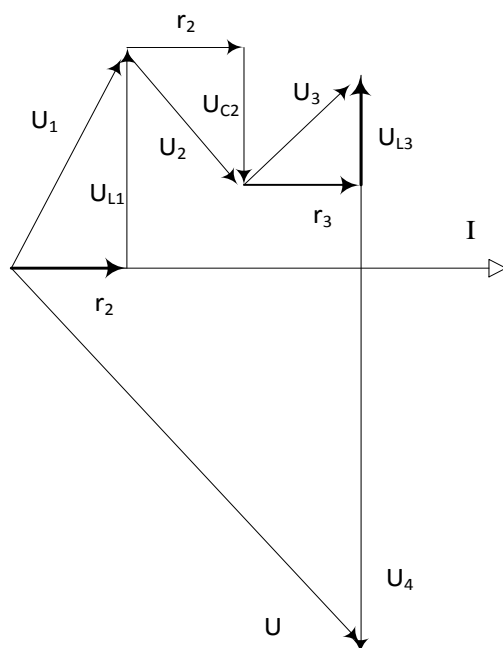


Рисунок 6.7

Решение.

Активное эквивалентное сопротивление цепи

$$r_{\Sigma} = r_1 + r_2 + r_3 = 9 + 7 + 8 = 24 \text{ Ом};$$

реактивное эквивалентное сопротивление цепи

$$X_{\Sigma} = X_{L1} + X_{L3} - X_{C2} - Z_{C4} = 12 + 6 - 10 - 40 = -32 \text{ Ом}.$$

Знак «минус» показывает, что эквивалентное реактивное сопротивление будет емкостным и вся цепь имеет активно-емкостной характер.

$$\text{Полное сопротивление цепи } Z = \sqrt{r_{\Sigma}^2 + X_{\Sigma}^2} = \sqrt{24^2 + (-32)^2} \text{ Ом} = 40 \text{ Ом}$$

$$\text{Напряжение на зажимах цепи } U = IZ = 0,1 \cdot 40 = 4 \text{ В},$$

$$\text{так как } I = I_m / \sqrt{2} = 0,1 \sqrt{2} / \sqrt{2} = 0,1 \text{ А}.$$

Напряжение на участках цепи:

на первой катушке (первый участок)

$$U_1 = IZ_1 = I \sqrt{r_1^2 + X_{L1}^2} = 0,1 \sqrt{9^2 + 12^2} = 0,1 \cdot 15 = 1,5 \text{ В};$$

на конденсаторе с потерями (второй участок)

$$U_2 = IZ_2 = I \sqrt{r_2^2 + X_{C2}^2} = 0,1 \sqrt{7^2 + 10^2} = 0,1 \cdot 12,2 = 1,22 \text{ В};$$

на второй катушке (третий участок)

$$U_3 = IZ_3 = I \sqrt{r_3^2 + X_{L3}^2} = 0,1 \sqrt{8^2 + 6^2} = 0,1 \cdot 10 = 1 \text{ В};$$

$$\text{на конденсаторе без потерь (четвертый участок) } U_4 = I X_{C4} = 0,1 \cdot 40 = 4$$

В.

Для построения векторной диаграммы определим напряжения на всех сопротивлениях цепи:

$$U_{a1} = I \cdot r_1 = 0,1 \cdot 9 = 0,9 \text{ В}; \quad U_{L1} = I \cdot X_{L1} = 0,1 \cdot 12 = 1,2 \text{ В};$$

$$U_{a2} = I \cdot r_2 = 0,1 \cdot 7 = 0,7 \text{ В}; \quad U_{C2} = I \cdot Z_{C2} = 0,1 \cdot 10 = 1 \text{ В};$$

$$U_{a3} = I \cdot r_3 = 0,1 \cdot 8 = 0,8 \text{ В}; \quad U_{L3} = I \cdot X_{L3} = 0,1 \cdot 6 = 0,6 \text{ В};$$

$$U_{C4} = I \cdot X_{C4} = 0,1 \cdot 40 = 4 \text{ В}.$$

Выбираем масштабы $MI=0,025\text{A/см}$ и $MU=1\text{В/см}$ и строим векторную диаграмму.

Активная, реактивная и полная мощности цепи:

$P=I^2R_a=0,12 \cdot 24=0,24\text{ Вт}$; $Q=I^2X_{\Sigma}=0,12 \cdot (-32)=-0,32\text{ вар}$; $S=I^2Z=0,12 \cdot 40=0,4\text{ В} \cdot \text{А}$.

Уравнение мгновенного значения напряжения
 $u=U_m \sin(\omega t + \psi_i + \varphi) = \sqrt{2} \cdot 4 \sin(\omega t + 20^\circ - 53,13^\circ) = \sqrt{2} \cdot 4 \sin(\omega t - 33,13^\circ)\text{ В}$, где
 $\varphi = \arctg \frac{X_{\Sigma}}{R_{\Sigma}} = \arctg \frac{-32}{24} = -53,13^\circ$.

Практическая работа №7 РАСЧЕТ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО КОЛЕБАТЕЛЬНОГО КОНТУРА

1. Цель работы: приобрести практический навык по расчету параметров последовательного колебательного контура.

2. Требования к знаниям, умениям и навыкам студента:

Студент должен **знать:**

- параметры последовательного колебательного контура;
- свойства цепи при последовательном соединении элементов;
- входные и выходные характеристики последовательного колебательного контура.

Уметь:

- рассчитывать параметры последовательного колебательного контура;
- рассчитывать ток и напряжения на элементах контура.

3. Литература:

3.1. Попов В. П. Основы теории цепей, 6-е издание. М.; Высшая школа, 2007

3.2. Бакалов В. П., Журавлева О. Б., Крук Б. И. Основы анализа цепей, Учебное пособие, М.; Горячая линия-Телеком, 2007

3.3. Соболев В.Н. Теория электрических цепей. Учебное пособие. /ЭВС ipbooks.ru/. М.: Горячая линия – Телеком, 2014

3.4. Тепляков Ю.И. Теория электрических цепей. Учебное пособие. М.; УМЦ СПО ФАС, 2010

4. Подготовка к работе

4.1. Изучить материал по указанной литературе в разделе «Колебательные контура»;

4.2. Подготовить бланк отчета.

5. Задание

5.1. Исходные данные для расчета параметров колебательного контура (схема 7.1) даны в таблице 7.1.

5.2. Определить: резонансные частоты f_0 и ω_0 , характеристическое сопротивление ρ , добротность Q , затухание d .

5.3. Рассчитать и построить частотные характеристики колебательного контура:

$$I = f(\xi), U_c = f(\xi), \varphi_{\text{вх}} = f(\xi), Z_{\text{вх}} = f(\xi), U_L = f(\xi)$$

для значений обобщенной расстройки $\xi=0, \pm 1, \pm 2, \pm 3$. Показать на графике полосу пропускания контура.

Таблица 7.1

№ варианта	L, мкГн	C, пФ	R, Ом	U, В
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				

Краткий теоретический курс.

Для решения задачи необходимо усвоить понятия и физические процессы, происходящие в последовательном колебательном контуре (рисунок 7.1).

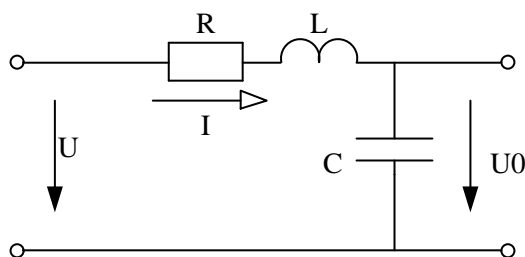


Рисунок 7.1

Важнейшими параметрами колебательного контура являются: резонансные частоты f_0 и ω_0 , характеристические сопротивления ρ , добротность Q, затухание d.

Резонанс - это явление в электрической цепи, содержащей участки, имеющие индуктивный и емкостный характер, при котором разность фаз напряжения и тока на входе цепи равна нулю. Входное комплексное сопротивление последовательного колебательного контура:

$$Z_{\text{вх}} = R \pm jX = R + j\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)$$

при резонансе становится чисто активным $Z_{\text{вх}0} = R$, из-за равенства нулю реактивной составляющей X, т.е. $\left(\omega_0 L - \frac{1}{\omega_0 C}\right) = 0$.

Это условие выполняется для единственного значения угловой частоты $\omega_0 = 2\pi f_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$, которая называется резонансной.

Для частот, отличных от резонансной, входное сопротивление контура имеет индуктивный характер и при $\omega > \omega_0$ ($X > 0$) или емкостной при $\omega < \omega_0$ ($X < 0$)

Величина любого из реактивных сопротивлений при резонансе равна характеристическому сопротивлению контура:

$$\rho = \omega_0 L = \frac{1}{\omega_0 C} = \sqrt{\frac{L}{C}},$$

а отношение его к активному сопротивлению $Q = \rho / R$ называют добротностью. Затухание колебательного контура определяют как $d = 1 / Q$

Резонанс в последовательном контуре называют резонансом напряжений, так как напряжение на индуктивности равно напряжению на емкости и в Q раз больше, чем на входе:

$$U_{L0} = U_{C0} = I_0 * \rho = U * Q = U / d.$$

$$\text{Ток в контуре при резонансе } I_0 = \frac{U}{R}, \text{ мощность } P_0 = I_0^2 * R.$$

Частотными характеристиками колебательного контура называются зависимости параметров контура от частоты: $X_L = f(\omega)$, $X_C = f(\omega)$, $X = f(\omega)$ и, соответственно, $Z_{вх} = f(\omega)$.

Зависимость тока и напряжения на элементах контура от частоты $I = f(\omega)$, $U = f(\omega)$ называются резонансными кривыми. Частотные характеристики и резонансные кривые могут быть построены в функции частоты либо в функциях расстройек. Следует различать понятия абсолютной $\Delta\omega = \omega - \omega_0$, относительной $\Delta\omega / \omega_0$ и обобщенной ξ расстройек, а так же знать формулу, связывающие эти понятия:

$$\xi = Q \left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega} \right) \simeq 2 * Q * \frac{\Delta\omega}{\omega}.$$

Использование понятий обобщенной расстройки значительно упрощает уравнение и облегчает расчет характеристик. Представим ток в последовательном контуре в функции обобщенной расстройки:

$$I = \frac{U}{Z_{кз}} = \frac{U}{\sqrt{R^2 + X^2}} = \frac{U}{R * \sqrt{1 + X^2 / R^2}} = \frac{I_0}{\sqrt{1 + \xi^2}},$$

где I_0 - ток при резонансе, $I_0 = U / R$; I - ток при расстройке;

$$\xi = X / R.$$

Напряжение на емкости при небольших расстройках;

$$U_C \simeq U_L = \frac{U * R}{\sqrt{1 + \xi^2}}.$$

Передачная АЧХ определяется из выражения:

$$K = \frac{U_2}{U_4} = \frac{U_C}{U} = \frac{Q}{\frac{\omega}{\omega_0} \sqrt{1 + \xi^2}},$$

а при малых расстройках:

$$K = \frac{Q}{\sqrt{1 + \xi^2}}.$$

Очевидно, что на резонансной частоте, при $\xi = 0$,

$$K_0 = Q.$$

Кривая $K=f(\omega)$ при больших добротностях мало отличается от кривой $I=f(\omega)$, они практически тождественны. Таким образом, под понятием “резонансная кривая” понимают зависимость:

$$I = f(\omega), K=f(\omega), U_2 = U_c = f(\omega), U_c \simeq U_L = f(\omega).$$

Эти кривые практически отличаются только масштабами. Для определения диапазона частот, пропускаемого контуром, введено понятие “полосы пропускания контура”.

Полосой пропускания называется диапазон частот, в котором коэффициент передачи уменьшается не более чем $\sqrt{2}$ раз по сравнению с резонансным (максимальным).

Абсолютная полоса пропускания:

$\Pi = 2\Delta f_{гр} = f_2 - f_1 = f_0/Q$, где f_1 и f_2 – нижняя и верхняя граничные частоты, на которых коэффициент передачи составляет $I/\sqrt{2}=0,707$ от резонансного значения.

$$f_1 = f_0 - \Pi/2 = f_0 - f_0/(2 * Q),$$

$$f_2 = f_0 + \frac{\Pi}{2} = f_0 + f_0/(2 * Q).$$

Значение ξ_1 и ξ_2 , соответствующие границам полосы пропускания, соответственно равны $\xi_{1,2} = \pm I$. На рисунке 7.2 полоса пропускания выделена штриховкой.

$$S_0 = \frac{\Pi}{f_0} = \frac{f_2 - f_1}{f_0} = \frac{2\Delta f_{гр}}{f_0} = \frac{1}{Q} = d.$$

Избирательностью называется способность контура усиливать напряжение на различных частотах в неодинаковое число раз, она при заданной расстройке указывается в децибелах:

$$B = 20 \lg \sqrt{1 + \xi^2}, \text{ на граничных частотах она составляет 3 дБ.}$$

Для успешного выполнения задачи рекомендуется изучить литературу, разобрать пример, приведенный ниже.

Пример.

Электрическая цепь состоит из последовательно соединенных резисторов $R=15$ Ом, катушки индуктивности $L=636$ мкГн и конденсатора $C=600$ пФ (рисунок.42). Определить резонансную частоту ω_0 , характеристическое сопротивление ρ , добротность Q , затухание d . Чему равны ток I_0 , расходуемая в цепи мощность P_0 , напряжение на индуктивности U_{L0} и емкости U_{C0} , если контур включен на напряжение $U=1,8$ В? Какую избирательность обеспечивает данный контур при расстройке на $\Delta\omega = 30 * 10^3 \text{ с}^{-1}$?

Рассчитать и построить зависимости:

$$I = f(\xi), U_c = f(\xi), \varphi_{вх} = f(\xi), Z_{вх} = f(\xi), U_l = f(\xi)$$

для значений обобщенной расстройки $\xi=0, \pm 1, \pm 2, \pm 3$. Показать на графике полосу пропускания контура.

Решение

$$\omega_0 = \frac{I}{\sqrt{LC}} = \frac{I}{\sqrt{636 \cdot 10^{-6} \cdot 600 \cdot 10^{-12}}} = 1,62 \cdot 10^6 \text{ с}^{-1},$$

$$\rho = \sqrt{\frac{L}{C}} = \sqrt{\frac{636 \cdot 10^{-6}}{600 \cdot 10^{-12}}} = 1029,5 \text{ Ом},$$

$$\rho = X_{L0} = X_{C0} = 1029,5 \text{ Ом},$$

$$Q = \frac{\rho}{R} = \frac{1029,5}{15} = 68,63,$$

$$d = \frac{1}{Q} = \frac{1}{68,63} = 0,0146,$$

$$I_0 = \frac{U}{R} = \frac{1,8}{15} = 0,12 \text{ А},$$

$$P_0 = I_0^2 \cdot R = 0,12 \cdot 15 = 0,216 \text{ Вт},$$

$$U_{l0} = U_{c0} = U \cdot Q = 1,8 \cdot 68,63 = 123,53 \text{ В},$$

$$\xi = 2Q \frac{\Delta\omega}{\omega_0} = 2 \cdot 68,63 \frac{30 \cdot 10^3}{1,62 \cdot 10^6} = 2,54,$$

$$B = 20 \lg \sqrt{1 + \xi^2} = 20 \lg \sqrt{1 + 2,54^2} = 8,72 \text{ дБ}.$$

Рассчитаем и построим заданные зависимости:

$$I = \frac{I_0}{\sqrt{1 + \xi^2}} = \frac{\frac{U}{R}}{\sqrt{1 + \xi^2}} = \frac{0,12}{\sqrt{1 + \xi^2}},$$

$$I = f(\xi)$$

$$\xi = 0; \quad I_0 = 0,12 \text{ А};$$

$$\xi = \pm 1; \quad I = 0,085 \text{ А};$$

$$\xi = \pm 2; \quad I = 0,054 \text{ А};$$

$$\xi = \pm 3; \quad I = 0,038 \text{ А}.$$

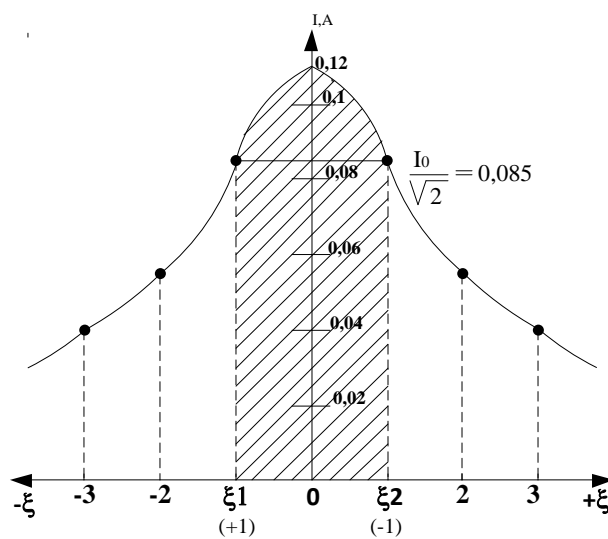


Рисунок 7.2

$$2.U_c = \frac{U \cdot Q}{\sqrt{1 + \xi^2}} = \frac{124,53}{\sqrt{1 + \xi^2}};$$

$$U_C = f(\xi).$$

$$\xi = 0;$$

$$U_C = 123,53 \text{ В};$$

$$\xi = \pm 1;$$

$$U_C = 87,4 \text{ В};$$

$$\xi = \pm 2;$$

$$U_C = 55,3 \text{ В};$$

$$\xi = \pm 3;$$

$$U_C = 39,1 \text{ В}.$$

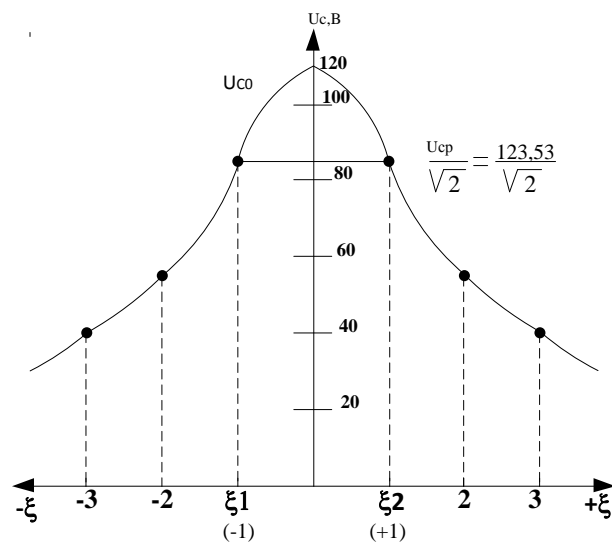


Рисунок 7.3

$$3. Z_{BX} = R \sqrt{1 + \xi^2} = 15 \sqrt{1 + \xi^2};$$

$$Z_{BX} = f(\xi).$$

$$\xi = 0;$$

$$Z_{BX} = 15 \text{ Ом};$$

$$\xi = \pm 1;$$

$$Z_{BX} = 21,15 \text{ Ом};$$

$$\xi = \pm 2;$$

$$Z_{BX} = 33,5 \text{ Ом};$$

$$\xi = \pm 3;$$

$$Z_{BX} = 47,4 \text{ Ом}.$$

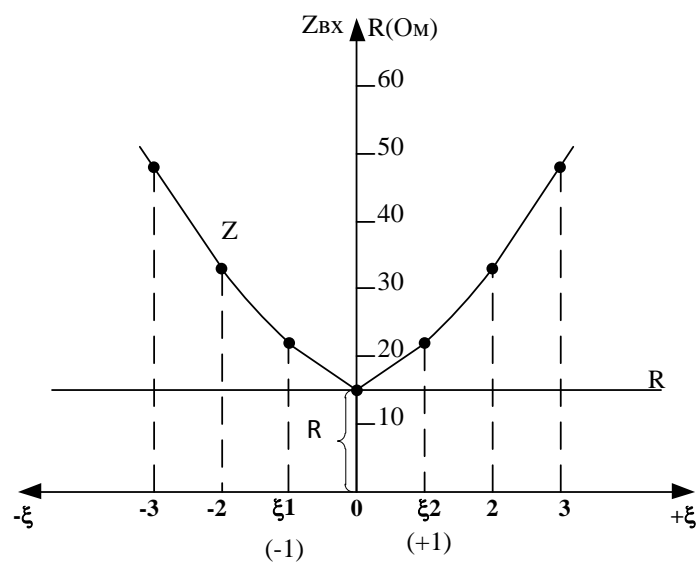


Рисунок 7.4

4. $\varphi_{zBX} = \arctg \xi$;

$\varphi_{zBX} = f(\xi)$.

$\xi = 0$;

$\varphi_{zBX} = 0^\circ$;

$\xi = \pm 1$;

$\varphi_{zBX} = \pm 45^\circ$;

$\xi = \pm 2$;

$\varphi_{zBX} = \pm 63,43^\circ$;

$\xi = \pm 3$;

$\varphi_{zBX} = \pm 71,56^\circ$.

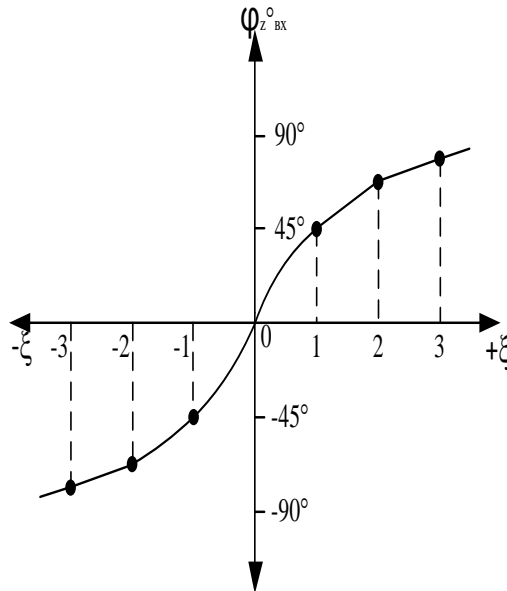


Рисунок 7.5

5.

$$U_L = \frac{U * Q}{\sqrt{1 + \xi^2}}$$

;

$U_L = f(\xi)$.

см. $U_C = f(\xi)$, рисунок 7.3

Практическая работа №8

РАСЧЕТ

ПАРАЛЛЕЛЬНОГО КОЛЕБАТЕЛЬНОГО КОНТУРА

1. Цель работы: приобрести практический навык по расчету параметров параллельного колебательного контура

2. Требования к знаниям, умениям и навыкам студента:

Студент должен **знать:**

- параметры параллельного колебательного контура;
- свойства цепи при параллельном соединении элементов;
- частотные характеристики параллельного колебательного контура.

Уметь:

- рассчитывать параметры параллельного колебательного контура;

- рассчитывать ток и напряжения на элементах контура.

3. Литература:

3.1. Попов В. П. Основы теории цепей, 6-е издание, М.; Высшая школа, 2007

3.2. Бакалов В. П., Журавлева О. Б., Крук Б. И. Основы анализа цепей, Учебное пособие, М.; Горячая линия-Телеком, 2007

3.3. Соболев В.Н. Теория электрических цепей. Учебное пособие. /ЭБС ipbooks.ru/. М.: Горячая линия – Телеком, 2014

3.4. Тепляков Ю.И. Теория электрических цепей. Учебное пособие. М.; УМЦ СПО ФАС, 2010

4. Подготовка к работе

4.1. Изучить материал по указанной литературе в разделе «Колебательные контура»;

4.2. Подготовить бланк отчета.

5. Задание

5.1. Исходные данные для расчета параметров колебательного контура (схема 8.1) даны в таблице 8.1.

5.2. Рассчитать неизвестные параметры по заданным

5.3. Ответить на контрольные вопросы

Таблица 8.1

№ варианта				
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				

Приложение1

Краткий теоретический курс

Для решения задачи необходимо усвоить понятие и физические процессы, происходящие в параллельном колебательном контуре (рисунок 8.1).

Резонанс в параллельном колебательном контуре наступает в том случае, когда входная реактивная проводимость его равна нулю, т.е. $B_1 + B_2 = 0$ или $|B_1| = |B_2|$.

Реактивные составляющие токов ветвей в режиме резонанса по абсолютной величине одинаковы:

$$|I_{01}| = U * |B_1|; |I_{02}| = U * |B_2|; |I_{01}| = |I_{02}|,$$

а напряжение и ток во входной цепи совпадает по фазе. Подобный резонанс называют резонансом токов.

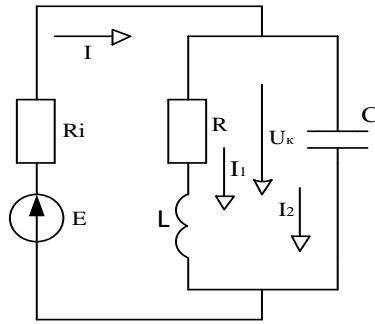


Рисунок 8.1

Резонансная частота пассивного колебательного контура определяется выражением:

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{L \cdot C}} * \sqrt{1 - \frac{1}{Q^2}},$$

а при добротности $Q \gg 3$ она практически равна резонансной частоте последовательного контура, собранного из тех же элементов, т.е.

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{L \cdot C}},$$

Добротность и характеристическое сопротивление параллельного колебательного контура определяется по тем же формулам, что и для последовательного:

$$\rho = \sqrt{\frac{L}{C}}, \quad Q = \frac{\rho}{R}.$$

Входное сопротивление при резонансе имеет чисто резистивный характер, так как напряжение и ток по входной цепи совпадают по фазе и в Q раз больше резистивного сопротивления контура:

$$Z_{\text{вх}0} = Q^2 * \rho = Q * \rho = \rho^2 / R = \frac{L}{R \cdot C}.$$

Действующее значение тока в неразветвленной цепи:

$$I_0 = \frac{E}{Z_{\text{вх}0}}, \text{ а токи в ветвях:}$$

$$I_{01} = \frac{U}{\sqrt{R^2 + (\omega_0 L)^2}}, \quad I_{02} = \frac{U}{1/(\omega_0 \cdot C)}.$$

Токи I_{01} и I_{02} при резонансе приблизительно одинаковы и каждый из них больше тока во входной цепи в Q раз:

$$I_{01} \simeq I_{02} = I_0 * Q.$$

Чтобы параллельный контур обладал избирательностью по напряжению, необходимо практически одинаковые значения тока во входной цепи при изменении частоты. Для этого последовательно с источником напряжения включают большое сопротивление $R_i \gg Z_{\text{вх}0}$, которое изменяет добротность цепи:

$$Q_{\text{ц}} = \frac{Q}{1 + Z_{\text{вх}0}/R_i}, \quad \text{тогда ток во входной цепи}$$

определяется по формуле:

$$I_0 = \frac{E}{Z_{\text{вх}0} + R_i}.$$

Модуль коэффициента передачи по напряжению равен:

$$K_u = \frac{\rho * Q_u}{R_i \sqrt{1 + \xi^2}}, \text{ а напряжение на контуре: } U_k = K_u * E.$$

Абсолютная и относительная полосы пропускания, как и в последовательном контуре, соответственно равны:

$$\Pi = \frac{f_0}{Q}, \quad S_0 = \frac{\Pi}{f_0} = \frac{1}{Q} = d.$$

Для успешного выполнения задачи 3 рекомендуется изучить литературы, разобрать пример, приведенный ниже.

Пример.

К параллельному колебательному контуру присоединён синусоидальный источник с $E=100$ В и внутренним сопротивлением $R_i=25$ кОм. Индуктивность контура $L=250$ мкГн, сопротивление $R=20$ Ом, характеристическое сопротивление $\rho=1000$ Ом, добротность $Q=50$ (рисунок 8.1).

Рассчитать емкость и резонансное входное сопротивление контура, эквивалентную добротность, входной ток и токи параллельных ветвей контура. Определить резонансную частоту контура, модуль коэффициента передачи по напряжению при обобщенной расстройке $\xi=2$ и напряжение на контуре при этой расстройке.

Как изменится эквивалентная добротность контура, если внутреннее сопротивление источника увеличить в 2 раза?

$$\rho = \sqrt{\frac{L}{C}} \rightarrow C = \frac{L}{\rho^2} = \frac{250 * 10^{-6}}{1000^2} = 250 * 10^{-12} \text{ ф} = 250 \text{ пФ}$$

$$Z_{\text{вх}0} = Q * \rho = 1000 * 50 = 50 \text{ кОм}$$

$$Q_{\text{ц}} = \frac{Q}{1 + Z_{\text{вх}0}/R_i} = \frac{50}{1 + 50 * 10^3 / (25 * 10^3)} = 16,67$$

$$I_0 = \frac{E}{Z_{\text{вх}0} + R_i} = \frac{100}{50 * 10^3 + 25 * 10^3} = 1,33 \text{ мА}$$

$$I_{01} = I_{02} = I_0 * Q = 1,33 * 10^{-3} * 50 = 66,67 \text{ мА}$$

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{L * C}} = \frac{1}{\sqrt{250 * 10^{-6} * 250 * 10^{-12}}} = 4 * 10^6 \text{ с}^{-1}$$

$$f_0 = \frac{\omega_0}{2\pi} = \frac{4 * 10^6}{2 * 3,14} = 636,94 \text{ кГц}$$

$$K_u = \frac{\rho * Q_{\text{ц}}}{R_i \sqrt{1 + \xi^2}} = \frac{1000 * 16,67}{25 * 10^3 \sqrt{1 + 2^2}} = 0,298$$

$$U_k = K_u * E = 0,298 * 100 = 29,8 \text{ В}$$

Определим $Q'_{\text{ц}}$ для $R'_i = 25 * 10^3 * 2 = 50$ кОм:

$$Q'_{\text{ц}} = \frac{Q}{1 + Z_{\text{вх}0}/R'_i} = \frac{50}{1 + 50 * 10^3 / (50 * 10^3)} = 25.$$

Из определения $Q'_{\text{ц}}$ видно, что с увеличением внутреннего сопротивления источника $Q'_{\text{ц}}$ тоже увеличивается, а, следовательно, полоса пропускания контура будет уменьшаться.

Практическая работа № 9

РАСЧЁТ ЦЕПИ С НЕСИНУСОИДАЛЬНЫМ НАПРЯЖЕНИЕМ

1. Цель работы: Закрепление теоретических знаний по представлению негармонических сигналов в виде ряда Фурье и построению негармонического сигнала.

2. Требования к знаниям, умениям и навыкам студента:
Студент должен **знать:**

- Метод расчета цепи при негармоническом воздействии;

Уметь:

- Рассчитывать полные сопротивления гармоник;
- Определять амплитудные значения токов и напряжений каждой гармоники;
- Записывать уравнения мгновенного значения тока каждой гармоники в отдельности и всего сигнала.

3. Литература:

3.1. Попов В. П. Основы теории цепей, 6-е издание, М.; Высшая школа, 2007.

3.2. Бакалов В. П., Журавлева О. Б., Крук Б. И. Основы анализа цепей, Учебное пособие, М.; Горячая линия-Телеком, 2007.

3.3. Соболев В.Н. Теория электрических цепей. Учебное пособие. /ЭВС ipbooks.ru/. М.: Горячая линия – Телеком, 2014.

3.4. Тепляков Ю.И. Теория электрических цепей. Учебное пособие. М.; УМЦ СПО ФАС, 2010

4. Подготовка к работе

4.1. Изучить материал по теме «Линейные цепи при негармонических воздействиях»

4.2. Подготовить бланк отчета

5. Задание

5.1. К цепи (рисунок 9.1.), состоящей из последовательно соединённых элементов: резистора, катушки индуктивности и емкости подключено напряжение, изменяющееся по закону, приведенному в таблице 9.1.

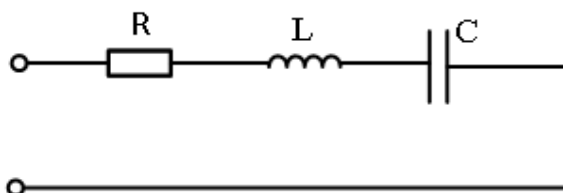


Рисунок 9.1

5.2. Рассчитать:

- полное сопротивление, угол сдвига фаз и амплитуды каждой гармоники тока;
- действующие значения тока и напряжения;
- потребляемую и полную мощности цепи.

- записать уравнения каждой гармоники тока;
- записать выражение мгновенного значения тока в цепи.

5.3. На основании уравнения тока построить гармоники тока на временной диаграмме и сложив их, получить общую кривую тока.

Таблица 9.1.

№ в- та	R, Ом	L, мГн	C, мкФ	$i(t)$, В
1	30	40	16,7	$i=30+72 \sin(1000t-30^\circ)+36 \sin 2000t$
2	50	50	18	$i=20+104 \sin 500t+52 \sin(1500t+30^\circ)$
3	65	60	20	$i=15+24 \sin 314t+12 \sin(942t-45^\circ)$
4	10	15	70	$i=50+100 \sin 1000t+50 \sin(2000t+30^\circ)$
5	80	120	105	$i=100+168 \sin(400t+50^\circ)+84 \sin 1200t$
6	200	500	2,22	$i=80+103 \sin 1000t+64 \sin(2000t+36^\circ)$
7	180	45	3,44	$i=8+45 \sin 2000t+22,5 \sin(6000t+40^\circ)$
8	50	40	1,42	$i=16+24 \sin(600t-20^\circ)+12 \sin 1200t$
9	26	10	1,5	$i=44+84 \sin 1000t+42 \sin(3000t-30^\circ)$
10	25	35	42,6	$i=20+55 \sin(314t-45^\circ)+22,5 \sin 942t$
11	200	300	12,4	$i=10+41 \sin 600t+21 \sin(1200t+40^\circ)$
12	15	40	10,65	$i=25+33 \sin 1000t+16,5 \sin(2000t-15^\circ)$
13	10	25	11,8	$i=14+25,2 \sin 200t+12,6 \sin(600t+45^\circ)$
14	140	105	3,42	$i=34+57 \sin(1000t+50^\circ)+28,5 \sin 3000t$
15	80	100	9,6	$i=50+128 \sin(800t-48^\circ)+64 \sin 1600t$
16	40	80	60	$i=30+42 \sin(300t-30^\circ)+16 \sin 900t$
17	60	12	14	$i=20+52 \sin(942t-30^\circ)+36 \sin 1884t$
18	70	400	165	$i=40+62 \sin(100t-30^\circ)+43 \sin 300t$
19	20	65	12,65	$i=18+22 \sin(1200t-30^\circ)+16 \sin 2400t$
20	30	35	4,5	$i=10+22 \sin(3600t-30^\circ)+12 \sin 7200t$
21	120	30	18,5	$i=26+52 \sin(1800t-30^\circ)+16 \sin 5400t$
22	150	36	16,5	$i=45+82 \sin(4000t-30^\circ)+46 \sin 8000t$
23	140	140	38,2	$i=8+12 \sin(1256t-30^\circ)+6 \sin 3768t$
24	90	75	15,8	$i=80+102 \sin(1000t-30^\circ)+46 \sin 2000t$
25	100	20	1,55	$i=50+92 \sin(3400t-30^\circ)+28 \sin 10200t$

Приложение 1

Краткий теоритический материал

В электросвязи практически все периодические величины могут быть разложены в ряд Фурье, поэтому, если дана некоторая несинусоидальная периодическая функция (в данном случае, напряжение), то её всегда можно разложить на гармонические составляющие, периоды которых отличаются в целом число раз. Слагаемые синусоиды называются гармониками. Гармоники могут иметь различные амплитуды и начальные

фазы. Кроме гармонических составляющих, может присутствовать постоянная составляющая (нулевая гармоника). Ток негармонической формы в общем случае выражается уравнением:

$$i = I_0 + I_{m1} \sin \omega \cdot t + \dots + I_{mn} \cdot \sin (n \cdot \omega \cdot t + n \cdot \varphi_0),$$

где: n – номер гармоники.

Расчет цепи сводится к расчету гармоник. Резистивное сопротивление R для всех гармоник величина постоянная.

С ростом частоты (номера гармоники) индуктивное сопротивление цепи

$X_L = n \cdot \omega \cdot L$ - возрастает в n раз,

емкостное сопротивление цепи

$X_{Cn} = 1/n \cdot \omega \cdot C_1$ уменьшается в n раз.

Полное сопротивление цепи с параметрами R, L, C для каждой гармоники определяем:

$$Z_n = R + j(X_{Ln} - X_{Cn})$$

Закон Ома для амплитудных значений гармоник: $I_{mn} = U_{mn}/Z_n$

В комплексной форме: $\underline{I}_{mn} = \underline{U}_{mn}/\underline{Z}_n$.

В цепях с конденсатором нулевая гармоника тока равна нулю $I_0 = 0$, так как сопротивление конденсатора для постоянного тока стремится к бесконечности:

$$X_C = 1/\omega \cdot C \text{ при } \Omega = 0, X_C \rightarrow \infty$$

Действующие значения тока и напряжения:

$$I = \sqrt{I_0^2 + \frac{I_{m2}^2 + I_{m3}^2 + \dots + I_{mn}^2}{2}}, \text{ A}$$

$$U = \sqrt{U_0^2 + \frac{U_{m2}^2 + U_{m3}^2 + \dots + U_{mn}^2}{2}}, \text{ B}$$

Потребляемая мощность цепи: $P = I^2 \cdot R$, Вт

Полная мощность цепи: $P_s = U \cdot I$, ВА.

Практическая работа №10 РАСЧЁТ МАГНИТНОЙ ЦЕПИ

1. Цель работы: приобрести практический навык по расчету магнитных цепей.

2. Требования к знаниям, умениям и навыкам студента:

Студент должен **знать**:

- Свойства магнитного поля.

Уметь:

- Рассчитывать параметры магнитного поля.

3. Литература:

3.1. Попов В.П. Основы теории цепей, 6-е издание. М.; Высшая школа, 2007

3.2. Бакалов В. П., Журавлева О. Б., Крук Б. И. Основы анализа цепей, Учебное пособие. М.; Горячая линия-Телеком, 2007.

3.3. Соболев В.Н. Теория электрических цепей. Учебное пособие. /ЭВС ipbooks.ru/. М.: Горячая линия – Телеком, 2014.

3.4. Тепляков Ю.И. Теория электрических цепей. Учебное пособие. М.; УМЦ СПО ФАС, 2010.

4. Подготовка к работе:

4.1. Изучить материал по теме «Катушки с магнитными сердечниками»

4.2. Подготовить бланк расчета.

5. Задание

5.1. Исходные данные приведены в таблице 10.1.

Таблица 10.1.

№ варианта	L_1 мГн	L_2 мГн	ℓ_0 м	B Т	I А
1	0,1	0,02	$0,4 \cdot 10^{-3}$	0,75	2
2	0,2	0,04	$0,8 \cdot 10^{-3}$	0,85	4
3	0,3	0,06	$1,2 \cdot 10^{-3}$	0,6	6
4	0,4	0,08	$1,6 \cdot 10^{-3}$	0,8	8
5	0,5	0,1	$2 \cdot 10^{-3}$	1	10
6	0,6	0,12	$2,4 \cdot 10^{-3}$	1,2	12
7	0,7	0,14	$2,8 \cdot 10^{-3}$	1,4	14
8	0,8	0,16	$3,2 \cdot 10^{-3}$	1,5	16
9	0,9	0,18	$3,6 \cdot 10^{-3}$	1,45	18
10	1,0	0,2	$4 \cdot 10^{-3}$	1,35	20
11	0,15	0,03	$0,6 \cdot 10^{-3}$	0,65	3
12	0,25	0,05	$1 \cdot 10^{-3}$	0,85	5
13	0,35	0,07	$1,4 \cdot 10^{-3}$	0,7	7
14	0,45	0,09	$1,8 \cdot 10^{-3}$	0,9	9
15	0,65	0,11	$2,2 \cdot 10^{-3}$	1,1	11

5.2. Определите:

- Число витков (N), которое необходимо намотать на сердечник из электротехнической стали марки Э330 для получения магнитной индукции (B) в воздушном зазоре.

- Индуктивность катушки (L).

Приложение 1

Краткий теоретический курс

Пример расчета:

1. При расчете напряжённости (H) магнитного поля, используем график зависимости $\beta = f(H)$, представленный на рисунке 10.1. Например: на рисунке 10.1. для $B = 1$, Т; $H = 230$, А/м.

2. Напряжение на участке ℓ_1 .

$$U_{m1} = H \cdot L_1$$

3. Магнитное напряжение на участке ℓ_2 (конструкция П - образного сердечника показана на рисунке 10.2.).

$$U_m = H \cdot L_2$$

4. Напряженность магнитного поля в воздушном зазоре.

$$H_0 = B / \mu_0, \text{ где } \mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м}$$

5. Магнитное напряжение в магнитном зазоре.

$$U_{m0} = H_0 \cdot 2\ell_0$$

6. Намагничивающая сила всей магнитной цепи.

$$F_m = U_{m1} + U_{m2} + U_{m0}$$

7. Необходимое число витков обмотки.

$$N = F_m / I$$

8. Определяем среднюю длину сердечника.

$$\ell_{CP} = \ell_1 + \ell_2 + \ell_0$$

9. Индуктивность катушки.

$$L = \mu_a \cdot N^2 \cdot S / \ell_{CP}, \text{ где } S = 12 \text{ мм}^2$$

Приложение 2

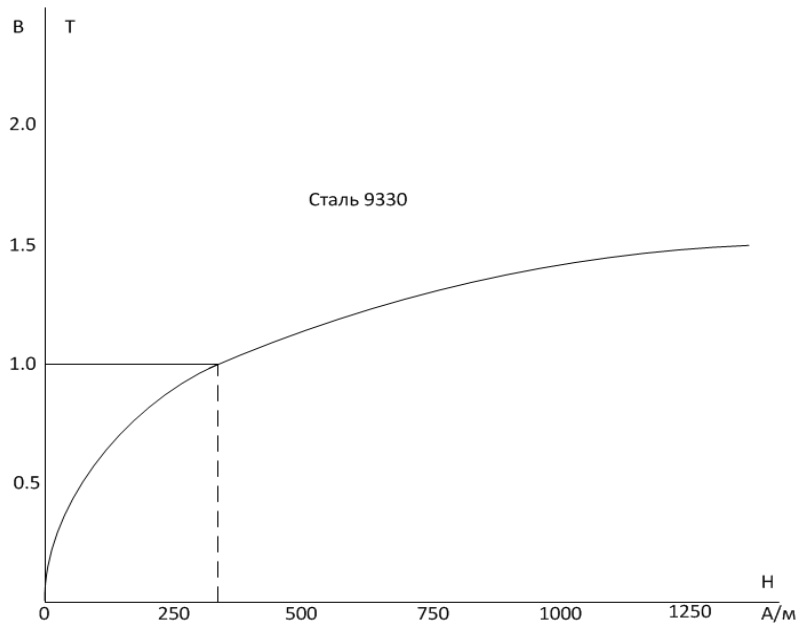


Рисунок 10.1

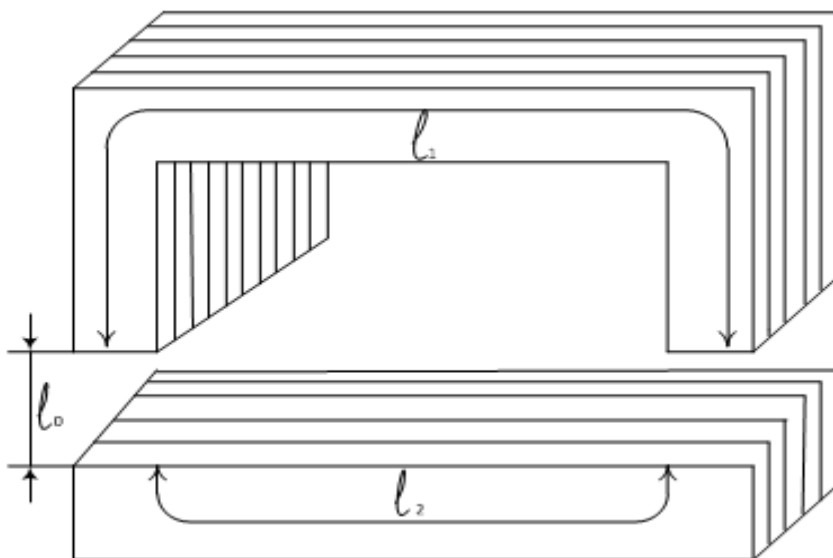


Рисунок 10.2

Практическая работа № 11

РАСЧЁТ ПОСТОЯННОЙ ВРЕМЕНИ, ПОСТРОЕНИЕ КРИВЫХ НАПРЯЖЕНИЙ И ТОКА

1. Цель работы: приобрести практический навык по расчёту постоянной времени цепи, напряжения, тока в цепях RL и RC во время переходного процесса.

2. Требования к знаниям, умениям и навыкам студента:

Студент должен **знать:**

- Законы коммутации;
- Смысл постоянной времени цепи;

Уметь:

- Пользоваться законом коммутации при расчёте цепи;
- Рассчитывать изменение напряжения и тока во время переходного процесса.

3. Литература:

3.1. Попов В. П. Основы теории цепей, 6-е издание, М.; Высшая школа, 2007

3.2. Бакалов В. П., Журавлева О. Б., Крук Б. И. Основы анализа цепей, Учебное пособие, М.; Горячая линия-Телеком, 2007

3.3. Соболев В.Н. Теория электрических цепей. Учебное пособие. /ЭБС ipbooks.ru/. М.: Горячая линия – Телеком, 2014

3.4. Тепляков Ю.И. Теория электрических цепей. Учебное пособие. М.; УМЦ СПО ФАС, 2010

4. Подготовка к работе

4.1.. Изучить материал по указанной литературе в разделе «Переходные процессы в цепях первого порядка»

4.2. Подготовить бланк отчета.

5. Задание

5.1. Рассчитать электрическую схему (приложение 1), состоящую из LR или CR и ключа, в соответствии со своим вариантом (таблица 7.1);

5.2. Определить:

- постоянную времени цепи,
- напряжение на элементах цепи (LR или RC),
- ток в цепи при соответствующей коммутации, показанной на вашей схеме.

5.3. Построить графики рассчитанных величин.

5.5 Ответить на контрольные вопросы.

6. Контрольные вопросы

6.1. Какой режим работы цепи называется переходным?

6.2. Сформулируйте законы коммутации.

6.3. Какие электрические величины в конденсаторе могут изменяться скачком, а какие не могут? Почему?

Таблица 11.1.

№ варианта	№ рис.	L, мГн	C, мкФ	R, кОм	U, В
1	2	3	4	5	6
1	1	200	-	20	60
2	2	-	3	10	110
3	3	100	-	50	200
4	4	-	9	6	120
5	1	50	-	2	80
6	2	-	15	3	90
7	3	300	-	15	150
8	4	-	12	20	100
9	1	60	-	5	70
10	2	-	6	8	160
11	3	90	-	30	180
12	4	-	20	40	200
13	1	40	-	5	60
14	2	-	10	40	120
15	3	30	-	6	180
16	4	-	18	10	90
17	1	120	-	20	80
18	2	-	4	15	120
19	3	50	-	10	200
20	4	-	5	20	120
21	1	20	-	4	80
22	2	-	8	7	70
23	3	16	-	5	80
24	4	-	25	6	90
25	1	80	-	10	100

Приложение 1

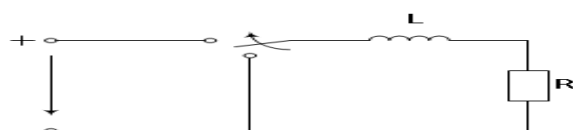


Рис. 1.

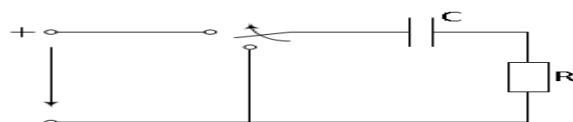


Рис. 2.

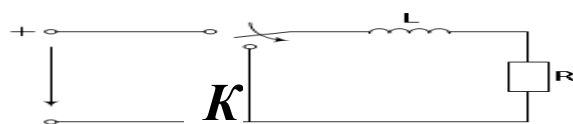


Рис. 3.

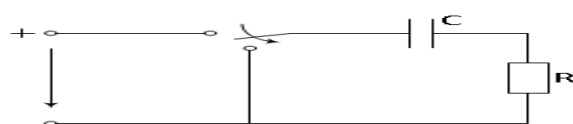


Рис. 4

Приложение 2

Краткий теоритический курс

Покажем пример расчёта цепи первого порядка во время переходного процесса.

Порядок выполнения работы:

1. Определяем постоянную времени для:

цепи RL: $\tau = L/R$, C цепи RC: $\tau = R \cdot C$, C

2. Определяем установившееся значение тока, используя закон Ома.

$I = U/R$, A для любой цепи.

3. Используя законы изменения тока и напряжения при включении катушки на постоянное напряжение, определяем ток, напряжение на катушке индуктивности и резисторе, изменяя время переходного режима.

- Переходной ток в цепи с L: $i = I(1 - e^{-t/\tau})$, A

- Переходное напряжение на индуктивности: $u_L = U e^{-t/\tau}$, B

- Переходное напряжение на R: $u_R = U(1 - e^{-t/\tau})$, B

4. Используя законы изменения тока и напряжения при включении конденсатора на постоянное напряжение, определяем ток и напряжения на конденсаторе и резисторе, изменяя время переходного режима.

- Переходной ток в цепи с C: $i = I e^{-t/\tau}$, A

- Переходное напряжение на C: $u_C = U(1 - e^{-t/\tau})$, B

- Переходное напряжение на R: $u_R = U e^{-t/\tau}$, B

5. Все рассчитанные величины внести в таблицу 7.2. или в 7.3.

Таблица 11.2.

t рассч. Величины	0	τ	2τ	3τ	4τ	5τ
i						
u_R						
u_L						

Таблица 11.3.

t рассч. величины	0	τ	2τ	3τ	4τ	5τ
i						
u_R						
u_C						

По полученным данным строим графики зависимости, полученных величин от времени.

6. Используя законы изменения тока и напряжения при отключении L от постоянного напряжения, определяем ток и напряжения

на катушке индуктивности и резисторе, изменения время переходного режима.

- Переходной ток в цепи с L.: $i = I e^{-t/\tau}$, А
- Переходное напряжение на L: $u_L = - U e^{-t/\tau}$, В
- Переходное напряжение на R: $u_R = U e^{-t/\tau}$, В

7.3. Зная законы изменения тока и напряжения при отключении конденсатора от постоянного напряжения, определим ток и напряжения на конденсаторе и резисторе, изменяя время переходного режима

- Переходной ток в цепи с C: $i = - I e^{-t/\tau}$,
- Переходное напряжение на C: $u_C = U e^{-t/\tau}$, В
- Переходное напряжение на R: $u_R = - U e^{-t/\tau}$, В

8. По полученным данным строим графики зависимости, полученных величин от времени, занесенных в таблицы 7.2 или в 7.3

Учебное издание

Стерлигова И.И.

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
по выполнению практических работ
по дисциплине
ТЕОРИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ
для специальности:
11.02.15 «Инфокоммуникационные сети и
системы связи»**

Подписано в печать _____._____.2023г.

Сдано в печать _____._____.2023г.

Бумага для множительных аппаратов.

Формат 60x84/16. Тираж 60 экз. Усл. печ. л. 3,4

Редакционно-издательская группа
Хабаровский институт инфокоммуникаций (филиал) ФГОБУ ВО
«Сибирский государственный университет
телекоммуникаций и информатики»
ХИИК СибГУТИ
680000, г. Хабаровск, ул. Ленина 73.