

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

**Л.К. Бурулько**

# **МЕТОДЫ И СРЕДСТВА АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ**

**Пособие к выполнению индивидуальных заданий**

*Рекомендовано в качестве учебного пособия  
Редакционно-издательским советом  
Томского политехнического университета*

Издательство  
Томского политехнического университета  
2015

## Индивидуальное задание

Основная цель индивидуального задания – это приобретение навыков студентами при его выполнении к творческой самостоятельной работе с использованием прикладных программных пакетов. В настоящем индивидуальном задании необходимо выполнить расчеты электрических цепей постоянного и исследовать резонансные явления в электрических цепях переменного тока.

Все расчеты и исследования необходимо провести с использованием программы схемотехнического моделирования *Electronics Workbench* и системы *MathCAD*.

### Расчет электрических цепей постоянного тока

При расчете электрических цепей постоянного тока необходимо разработать пользовательскую программу в *MathCAD*:

- для расчета эквивалентных сопротивлений при последовательном, параллельном соединении резисторов;
- для расчета эквивалентных сопротивлений при преобразовании соединения резисторов звездой в треугольник и наоборот;
- для расчета электрических схем, с использованием законов Кирхгофа и метода контурных токов.

Для подтверждения полученных при расчете результатов использую элементную базу пакета *Electronics Workbench* провести измерения эквивалентных сопротивлений и собрать виртуальную лабораторию для измерения токов и напряжений в рассчитанных схемах. При этом используя результаты измерений провести проверку законов Кирхгофа.

#### Задача 1 Расчет и определение сопротивления цепи постоянного тока

Необходимо рассчитать суммарное сопротивление простой электрической цепи, состоящей из 8 резисторов. При расчете используются выражения для последовательного:

$$R_{\Sigma} = R_1 + R_2, \quad (1)$$

и параллельного:

$$\frac{1}{R_{\Sigma}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}, \quad (2)$$

соединения сопротивлений. Результат расчета проверяется в программе EWB, подключением к исследуемой схеме мультиметра в режиме измерения сопротивления.

### Варианты заданий

Принципиальные схемы для расчета приведены в таблице 1, варианты заданий и номинальные значения сопротивлений в таблице 2.

Таблица 1.

#### Принципиальные схемы

№ схемы	Рисунок	№ схемы	Рисунок
1		6	
2		7	
3		8	
4		9	
5		10	

Таблица 2.

#### Номинальные значения сопротивлений, Ом

Вариант	Схема	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8
1	1	5	5	10	15	25	10	10	7
2	2	50	7	5	5	1000	500	10	10
3	3	1000	1000	7	7	100	10	5	5
4	4	7	70	170	15	5	5	5	8
5	5	1500	1000	20	250	20	50	75	1000
6	6	75	75	75	150	5	10	5	8
7	7	600	750	150	10	5	5	8	8
8	8	200	200	400	5	1500	10	1500	100
9	9	10	8	75	75	10	8	50	10
10	10	200	200	400	5	1500	10	1500	100

11	3	1500	1000	20	250	20	50	75	1000
12	4	20	30	5	7	8	50	50	100
13	5	5	5	10	15	25	10	10	7
14	6	50	7	5	5	1000	500	10	10
15	7	1000	1000	7	7	100	10	5	5
16	8	20	20	120	100	50	75	75	75
17	9	100	1000	300	30	30	5	15	8
18	10	10	7	7	5	15	100	10	10
19	1	50	7	5	5	1000	500	10	10
20	2	10	8	75	75	10	8	50	10
21	5	600	750	150	10	5	5	8	8
22	6	300	30	30	100	100	120	10	120
23	7	7	10	30	30	120	150	5	5
24	8	5	10	10	70	50	10	5	7
25	1	300	30	30	100	100	120	10	120
26	2	150	10	10	15	150	500	50	10
27	3	500	100	200	250	50	50	75	100
28	4	100	50	15	10	5	5	100	20
29	5	5	7	7	10	10	50	15	10
30	6	2000	500	300	1500	250	1500	500	300

### ***Ход выполнения работы***

1. Определить исходные данные для расчета схемы соединений, номиналы резисторов;
2. Выполнить расчет с использованием формул преобразования, правильно определяя вид соединения (параллельное или последовательное). Критерием определения вида соединения служит не параллельное или последовательное расположение резисторов, а наличие или отсутствие разветвлений при протекании тока;
3. Собрать исследуемую схему в программе EWB, задав необходимые параметры входящим в схему резисторам.
4. Добавить на рабочее поле мультиметр, перевести его в режим измерения сопротивлений, убедиться, что мультиметр установлен в режим постоянного тока, выполнить измерение сопротивления;
5. Занести результаты расчета и измерений в таблицу 3.

Таблица. 3

### Результаты исследований

Результаты расчета сопротивления цепи	Результаты измерения сопротивления цепи

## Задача 2. Преобразование треугольника в звезду и звезды в треугольник

В ряде случаев соединения сопротивлений не подчиняются правилу параллельного соединения или последовательного и имеют вид следующих схем рис. 1. и 2. Где на рис.1а сопротивления соединены в схему треугольник, а на рис.1б соединены схемой звезда. На рис. 2 а сопротивления соединены в схему звезда и осуществляется преобразование ее в треугольник рис. 2 б.

В таких случаях могут быть полезными правила преобразования треугольника в эквивалентную звезду или наоборот, звезды в треугольник. При таких преобразованиях общая схема соединения элементов приобретает более простой вид, что существенно упрощает расчет новой преобразованной схемы.

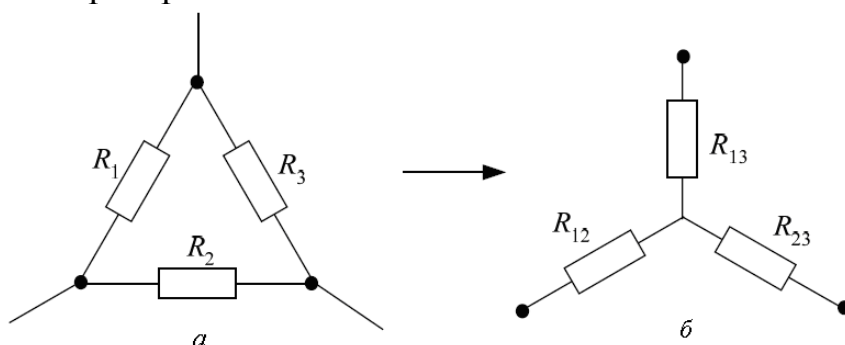


Рис.1. Преобразования треугольника в звезду.

Преобразование соединения треугольника в соединении звездой осуществляется по следующим формулам.

$$R_{12} = \frac{R_1 \cdot R_2}{\Sigma R_i}; \quad R_{13} = \frac{R_1 \cdot R_3}{\Sigma R_i}; \quad R_{23} = \frac{R_2 \cdot R_3}{\Sigma R_i},$$

где  $\Sigma R_i = R_1 + R_2 + R_3$  – сумма сопротивлений сторон треугольника, а  $R_{12} R_{13} R_{23}$  – рассчитанные сопротивления лучей эквивалентной звезды.

Преобразование соединения звездой рис. 2а в соединении треугольник рис. 2б осуществляется по следующим формулам.

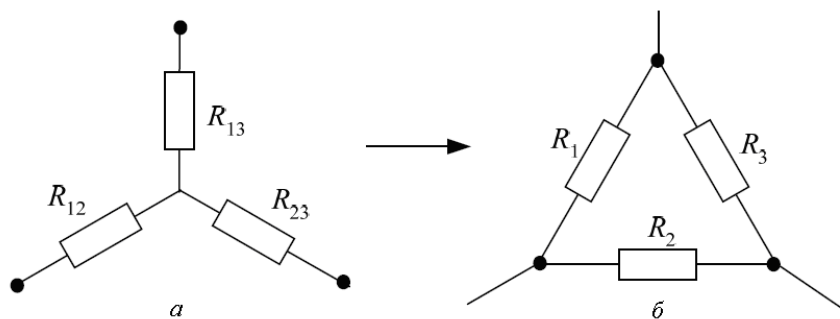


Рис.2. Преобразования звезды в треугольник

$$R_1 = R_{12} + R_{13} + \frac{R_{12} \cdot R_{13}}{R_{23}}; \quad R_2 = R_{12} + R_{23} + \frac{R_{12} \cdot R_{23}}{R_{13}}; \quad R_3 = R_{13} + R_{23} + \frac{R_{23} \cdot R_{13}}{R_{12}},$$

где  $R_{12}, R_{13}, R_{23}$  – сопротивления лучей звезды,  $R_1, R_2, R_3$  – рассчитанные сопротивления сторон эквивалентного треугольника.

**Ход выполнения работы**

1. Определить исходные данные для расчета схем соединений звездой и треугольником, номиналы резисторов;
2. Выполнить расчет с использованием формул преобразования, для эквивалентной звезды и эквивалентного треугольника;
3. Собрать исследуемые схемы в программе EWB, задав необходимые параметры входящим в схему резисторам.

Таблица 4.

варианты	схема	параметры		
		R1	R2	R3
1		5	5	5
2		10	15	25
3		4	4	7
4		4	4	4
5		10	10	10
6		5	15	7
7		7	7	7
8		4	10	7
9		5	5	10
10		6	6	6
11		7	7	7
12		8	8	8
13		9	9	9
14		10	10	10
15		11	11	11
16		12	12	12
17		13	13	13
18		14	14	14
19		15	15	15
20		16	16	16
вариант	схема	R12	R13	R23
1		5	5	5
2		10	15	25
3		4	4	7
4		4	4	4
5		10	10	10
6		5	15	7
7		7	7	7
8		4	10	7
9		5	5	10
10		6	6	6
11		7	7	7
12		8	8	8

13		9	9	9
14		10	10	10
15		11	11	11
16		12	12	12
17		13	13	13
18		14	14	14
19		15	15	15
20		16	16	16

- Добавить на рабочее поле мультиметр, перевести его в режим измерения сопротивлений, убедиться, что мультиметр установлен в режим постоянного тока, выполнить измерение сопротивлений эквивалентной звезды и эквивалентного треугольника;
- Занести результаты расчета и измерений в таблицу 5.

Таблица 5

### Результаты исследований

Исследуемые схемы	Результаты расчета эквивалентных сопротивлений	Результаты измерения сопротивлений

### Задача 3. Исследование и расчет разветвленной электрической цепи

Рассчитать и исследовать разветвленную электрическую цепь постоянного тока с использованием первого и второго законов Кирхгофа и методом контурных токов.

Для расчета разветвленной электрической цепи существенное значение имеет число ветвей и узлов в цепи.

**Ветвью** электрической цепи называется участок, состоящий только из последовательно соединенных элементов.

Вдоль ветви протекает неизменный ток, ветвь соединяет два узла.

**Узлом** электрической цепи называется точка соединения нескольких ветвей, в которой происходит разветвление тока.

В программе EWB понятие «узел» имеет другой смысл, – это любая точка схемы, имеющая потенциал, отличный от нуля и от потенциала других узлов. Так, одна ветвь в соответствии с теорией электрических цепей не имеет узлов, тогда как в программе EWB на одной ветви может быть несколько узлов рис.3.

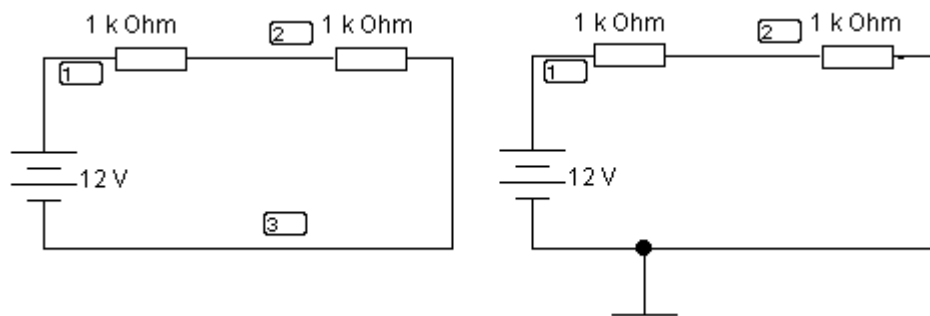


Рис. 3. Пример понятия «узел» в программе EWB.

На (рис.3) слева показано, что в незаземленной цепи программа определяет три узла с разными потенциалами, заземленный участок узлом не считается, – (рис.1) справа. С точки зрения теории электрических цепей узел в приведенной схеме существует как раз на (рис.1) справа, в точке подключения заземления.

При обходе по соединенным в узлах ветвям можно получить замкнутый контур.

*Замкнутый контур* представляет собой замкнутый путь, проходящий по нескольким ветвям, при этом каждый узел в рассматриваемом контуре встречается не более одного раза.

**Первый закон Кирхгофа** применяется к узлам и формулируется следующим образом:

*Алгебраическая сумма токов в узле равна нулю*

$$\sum I = 0. \quad (3)$$

Алгебраической суммой называется потому, что должно быть учтено направление тока по отношению к узлу. Все токи, направленные к узлу входят в сумму с одним знаком, а направленные от узла – с противоположным. Первый закон Кирхгофа может быть сформулирован иначе:

*Сумма токов, втекающих в узел, равна сумме токов вытекающих из узла:*

$$\sum I_{\text{вх}} = \sum I_{\text{вых}}. \quad (4)$$

Физический смысл первого закона Кирхгофа заключается в том, что в узлах электрической цепи не может происходить накопление заряда.

**Второй закон Кирхгофа** применяется к замкнутым контурам электрической цепи и формулируется следующим образом:



В любом замкнутом контуре алгебраическая сумма напряжений на элементах контура равна сумме ЭДС в этом контуре

$$\sum U = \sum E \quad (5)$$

В данном определении также подчеркивается, что сумма должна быть алгебраическая, это значит необходимо учесть знаки входящих в сумму напряжений и ЭДС. В замкнутом контуре ток может протекать только в одном направлении, поэтому должно быть выбрано направление протекания тока. После этого выполняется обход контура в выбранном направлении и падение напряжения на элементе или ЭДС источника считаются положительными, если ток через элемент или ЭДС совпадает с направлением обхода. В противном случае соответствующие напряжения и ЭДС суммируются с обратным знаком. На основании законов Кирхгофа составляются уравнения для неизвестных токов в ветвях. Система полученных уравнений линейна, ее решение позволяет найти неизвестные токи в ветвях цепи. Результат расчета может быть проверен в программе EWB, подключением амперметров в разрыв соответствующих ветвей.

### Варианты заданий

Принципиальные схемы для расчета приведены в таблице 4, варианты заданий и номинальные значения сопротивлений и ЭДС источников в таблице 5.

Таблица 4.

Принципиальные схемы

№	схема	№	схема
1		6	

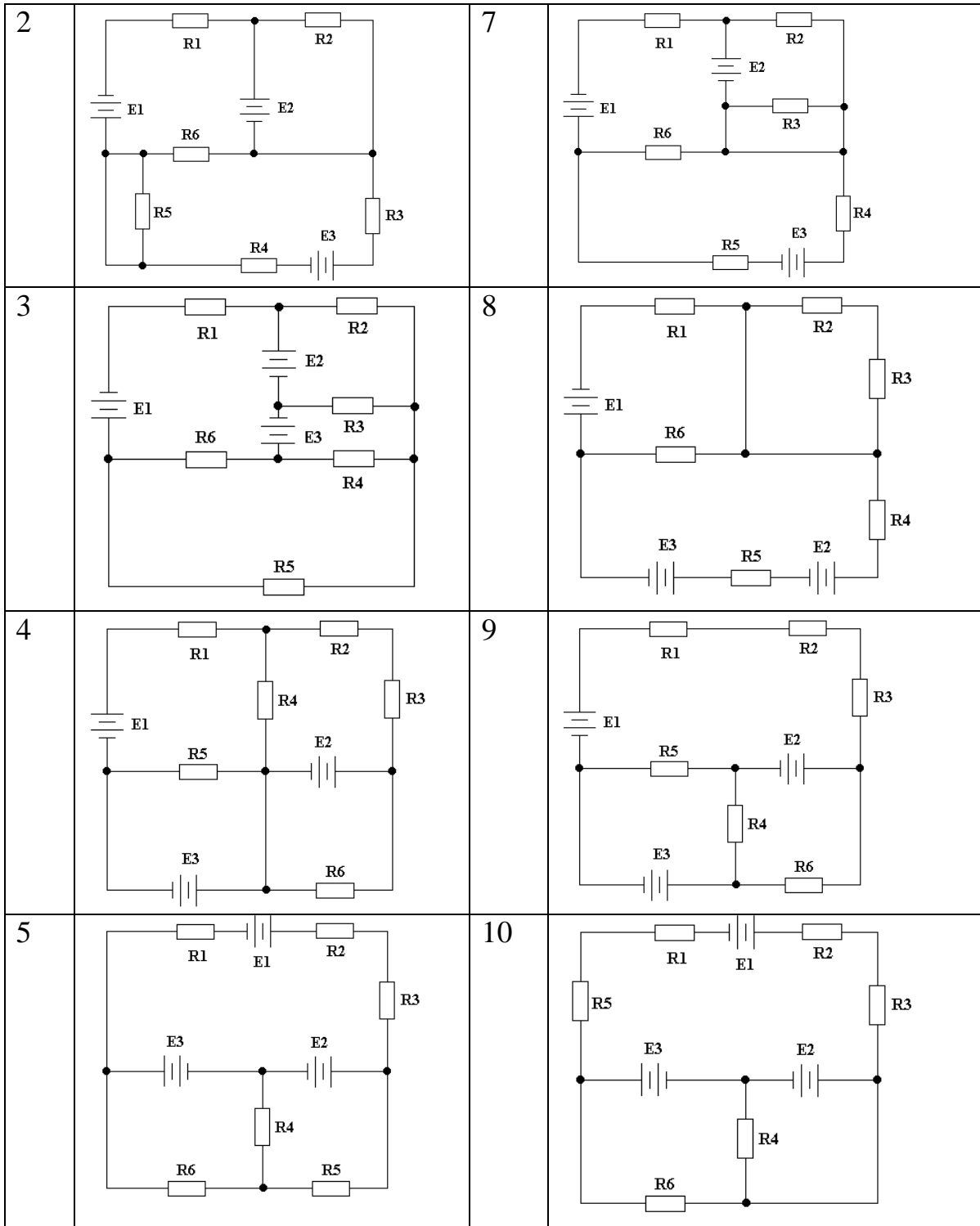


Таблица 5.

*Параметры элементов схемы*

Ва-ри-ант	Схема	Значения сопротивлений, Ом						ЭДС источников, В		
		R1	R2	R3	R4	R5	R6	E1	E2	E3
1	1	6	5	10	15	25	10	15	10	7
2	2	5	7	5	5	10	3	5	10	10

3	3	10	2	3	5	10	10	12	5	5
4	4	10	7	5	15	3	5	8	5	8
5	5	15	8	2	5	3	7	10	12	10
6	6	7	7	5	15	5	10	5	5	8
7	7	6	3	5	10	2	3	12	8	8
8	8	10	5	7	5	15	10	8	15	10
9	9	10	8	5	7	10	8	15	5	10
10	10	3	10	4	5	6	10	10	10	10
11	1	6	3	2	10	5	5	5	7	10
12	2	8	3	5	7	8	5	10	5	10
13	3	5	5	10	6	4	10	12	12	7
14	4	5	7	8	5	10	5	15	8	10
15	5	10	10	7	7	3	5	9	13	5
16	6	5	6	3	10	5	7	10	9	7
17	7	6	9	2	3	3	5	5	15	8
18	8	10	7	7	5	15	10	12	10	10
19	9	5	7	5	5	10	4	15	7	10
20	10	10	8	7	7	10	8	20	9	10
21	1	6	7	15	10	5	3	14	8	8
22	2	3	8	3	10	6	5	12	10	12
23	3	10	3	3	12	15	4	9	5	5
24	4	8	4	10	7	5	10	13	5	7
25	5	3	9	5	10	7	12	15	10	12
26	6	15	4	7	15	15	7	20	5	10
27	7	5	10	2	8	5	5	5	7	10
28	8	10	5	3	7	6	9	12	10	20
29	9	5	7	3	10	8	5	15	15	10
30	10	2	5	9	15	10	15	13	5	8

### ***Ход выполнения работы***

1. Во вводной части сформулировать используемые теоретические закономерности;
2. Определить исходные данные для расчета: схему соединений, номиналы резисторов и ЭДС источников;
3. Ввести в схему условные обозначения узлов, контуров. Задать направление протекания токов и обхода контуров по часовой стрелки, начертить схему с указанными обозначениями;
4. Составить систему уравнений по первому и второму законам Кирхгофа;
5. Составить систему уравнений для контурных токов и уравнения для определения токов в ветвях;
5. Привести системы уравнений к стандартному виду, включив в каждое уравнение все неизвестные;

6. Выбрать способ решения системы уравнений, выполнить решение, руководствуясь выбранным способом, ход решения со всеми ключевыми преобразованиями и пояснениями привести в отчете;
7. Если для некоторых токов получены отрицательные значения, начертить новую схему с исправленными направлениями токов;
8. Выполнить проверку решения подстановкой найденных неизвестных в исходные уравнения, в случае невыполнения условий проверки, повторить расчет и найти ошибку;
9. Собрать схему цепи в EWB. Измерить искомые токи с помощью включения амперметров в каждую ветвь исследуемой цепи и падения напряжений на всех сопротивлениях схемы;
10. Занести результаты расчета и измерений в отчет в виде таблицы 6;

Таблица 6.

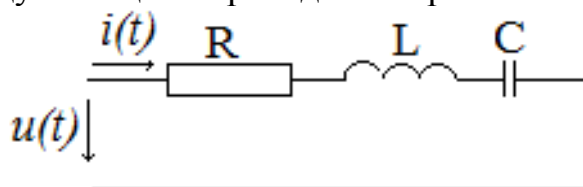
*Результаты расчетов исследований*

Метод расчета токов	Результаты расчета токов и напряжений в ветвях цепи.	Результаты измерения токов и напряжений в ветвях цепи.
Расчет токов и напряжений, с использованием 1 и 2 законов Кирхгофа		
Расчет токов и напряжений, с использованием метода контурных токов		

**Задача 4. Исследование и расчет электрических цепей переменного тока**

Рассчитать и исследовать электрическую цепь переменного тока с последовательным соединением R, L и C элементов.

Схема исследуемой цепи приведена на рис. 4.



*Рис.4. Схема электрической цепи переменного тока*

Варианты заданий и номинальные значения сопротивлений и напряжения источников приведены в таблице 7. При этом номинальная частота источника питания  $f_H = 50$  Гц. Начальная фаза питающего напряжения  $\varphi_H$  приведена в градусах.

Таблица 7

*Параметры элементов схемы*

Вариант	$R$ (Ом)	$L$ (мГн)	$C$ (мкФ)	$U$ (В)	$\varphi_u$ (град)
1	1	2	300	300	-10
2	2	3	300	250	-20
3	3	4	300	200	-30
4	1	5	300	150	20
5	2	6	300	100	30
6	3	7	300	150	10
7	1	8	300	200	0
8	2	9	300	250	90
9	3	10	300	300	45
10	1	2	200	100	20
11	2	3	200	80	10
12	3	4	200	70	-10
13	1	5	200	60	-30
14	2	6	200	100	-40
15	3	7	200	160	20
16	1	8	200	200	30
17	2	9	200	100	40
18	3	10	200	90	20
19	1	10	100	120	10
20	2	9	100	200	0
21	3	8	100	150	-20
22	1	7	100	120	-30
23	2	11	100	100	-10
24	3	12	100	250	10
25	4	13	100	300	20

***Ход выполнения работы***

Во вводной части сформулировать используемые теоретические закономерности для расчета реактивных сопротивлений электрической цепи, действующих значений падений напряжений на элементах схемы, коэффициента мощности ( $\cos\varphi$ ), активной мощности и резонансной частоты.

***Внимание:*** необходимость расчета резонансной частоты в первую очередь обусловлена тем, что зная ее определяется диапазон изменения частот в до резонансной области и в после резонансной области.

Резонансная частота  $\omega_{\text{рез}}$  в электрических цепях определяется значениями параметров реактивных накопителей энергии, а именно: величиной индуктивности  $L$  и величиной емкости  $C$  [2].

$$\omega_{\text{рез}} = \frac{1}{\sqrt{L \cdot C}}$$

1. Определить исходные данные для расчета в MathCAD зависимостей  $X_L = f(\omega)$ ,  $X_C = f(\omega)$ ,  $Z = f(\omega)$ ;
2. Рассчитать и построить графики этих зависимостей;
3. Определить исходные данные для расчета в MathCAD зависимостей  $I = f(\omega)$ ,  $U_L = f(\omega)$ ,  $U_C = f(\omega)$ ,  $U = f(\omega)$ ,  $U_R = f(\omega)$ ;
4. Рассчитать и построить графики этих зависимостей и привести расчетные данные в виде таблицы;
5. Определить исходные данные для расчета в MathCAD временных зависимостей  $u(t)$ ,  $i(t)$  при номинальной частоте;
6. Рассчитать и построить графики этих зависимостей и определить фазовый сдвиг между напряжением и током;
7. Собрать схему цепи в EWB рис.5.;
8. Изменяя частоту источника питания сформировать таблицу для построения зависимостей с использованием Excel  
 $I = f(\omega)$ ,  $U_L = f(\omega)$ ,  $U_C = f(\omega)$ ,  $U = f(\omega)$ ,  $U_R = f(\omega)$ ;
9. Снять осциллограммы напряжения источника питания  $u(t)$  и тока  $i(t)$  при номинальной частоте и по ним определить фазовый сдвиг.
10. Провести сравнительный анализ результатов исследований в EWB и MathCAD.

## Требования к оформлению индивидуального задания

При выполнении индивидуального задания необходимо ответить на следующие вопросы:

1. Какие величины могут быть измерены мультиметром в программе EWB.
2. Как выполнить поворот элемента в программе EWB.
3. Сколько соединений в программе EWB можно подвести к одному соединяющему узлу.
4. Каким образом изменяется номинальное значение сопротивления резистора, какие еще параметры резистора могут быть заданы.
5. Можно ли указать на схеме обозначения резисторов R1, R2, .. и т.д., как это сделать.
6. Как влияют характеристики прибора на результат измерения.

7. При измерении сопротивления мультиметром в цепи создается некоторый ток, влияет ли величина этого тока на результат измерения.
8. Можно ли измерить внутреннее сопротивление источника питания, как это сделать.
9. Чем определяется количество точек в электрической цепи, имеющих потенциал, отличный от потенциала других точек.
10. Привести в отчете список использованной в ходе работы дополнительной литературы, если такой литературой пользовались.

# Приложение 1

## Схемы и пользовательская программа для исследования явления резонанса

### 1. Пользовательская программа MathCAD

#### Исходные данные

$$\begin{aligned}
 R &:= 1 & L &:= 10 & C &:= 100 & f_n &:= 50 & \omega_n &:= 2 \cdot \pi \cdot f_n & \omega_n &= 314.159 \\
 X_L &:= 2 \cdot \pi \cdot f_n \cdot L \cdot 10^{-3} & X_L &= 3.142 & U_m &:= 142 & U &:= \frac{U_m}{\sqrt{2}} & U &= 100.409 \\
 X_C &:= \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f_n \cdot C \cdot 10^{-6}} & X_C &= 31.831 & X &:= X_L - X_C
 \end{aligned}$$

Временная зависимость (осциллограмма) напряжения источника питания

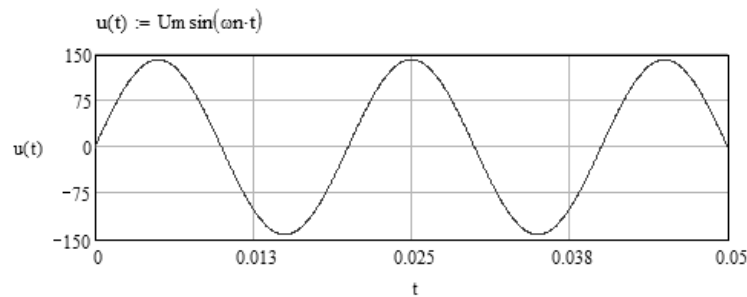


Рис. 5. Напряжение источника питания

Ток, протекающий по цепи.

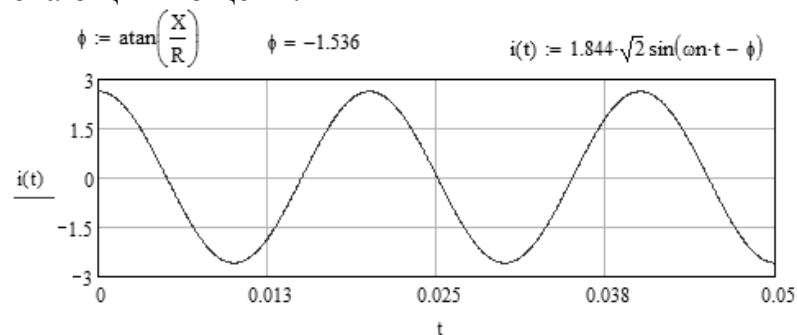


Рис. 6. Временная зависимость тока в цепи

Диапазон изменения частоты источника питания

$$\omega(f) := 2 \cdot \pi \cdot f \quad f := 50, 5 \dots 100$$

Действующее значение тока

$$I := \frac{U}{\sqrt{R^2 + X^2}}$$

Зависимости параметров от частоты

$$X_L(f) := 2 \cdot \pi \cdot L \cdot 10^{-3} \cdot f \quad X_C(f) := \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C \cdot 10^{-6}} \quad Z(f) := \sqrt{R^2 + (X_L(f) - X_C(f))^2}$$



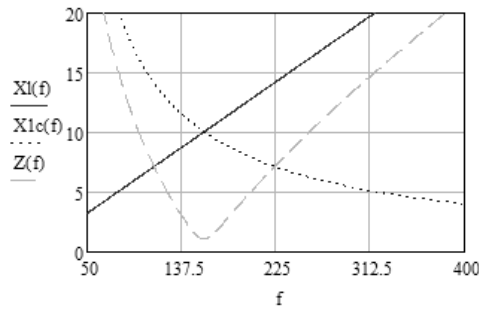


Рис. 7. Зависимости параметров от частоты

Зависимости тока, напряжений, активной мощности и  $\cos \varphi$  от частоты.

$$I(f) := \frac{U}{\sqrt{R^2 + (Xl(f) - X1c(f))^2}} \quad U_l(f) := I(f) \cdot Xl(f) \quad U_c(f) := I(f) \cdot X1c(f) \quad \cos(\varphi) := \frac{R}{\sqrt{R^2 + (Xl(f) - X1c(f))^2}}$$

$$P(f) := I(f)^2 \cdot R$$

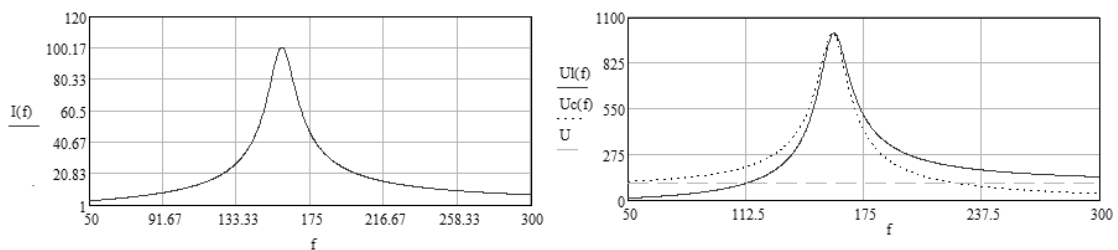


Рис. 8. Зависимости тока и напряжений от частоты

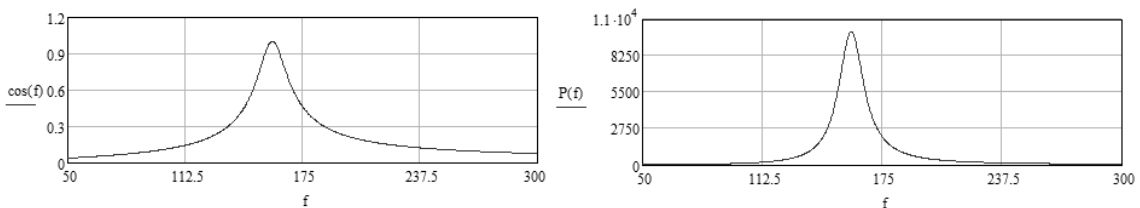


Рис. 9. Зависимости  $\cos \varphi$  и активной мощности от частоты

## 2. Схемы для исследования резонанса тока

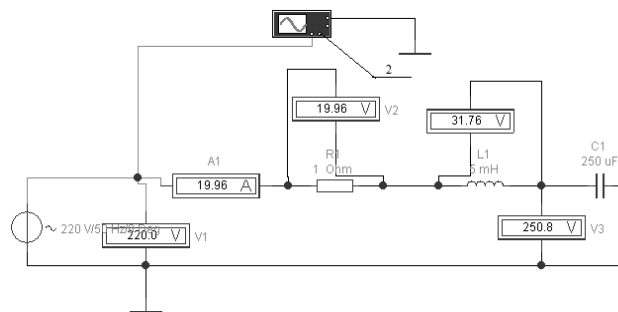
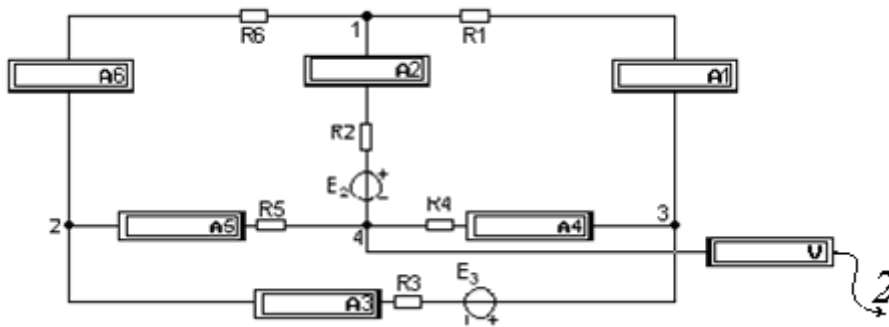


Рис. 10. Схема для исследования явления резонанса

Для снятия осциллограмм для напряжений  $u_R(t)$ ,  $u_L(t)$ ,  $u_C(t)$  вторым щупом 2 осциллографа подключатся поочередно к точкам за резистивным элементом  $R$  и индуктивностью  $L$ .

3. Пример схемы в EWB для исследования процессов в разветвленной электрической цепи постоянного тока.



*Рис. 11. Схема для исследования разветвленных электрических цепей в EWB*

С помощью щупа 2 определить потенциалы в узлах 1, 2 и 3 по отношению к узлу 4 схемы рис.11.

## Список литературы

1. Аристов А.В., Бурулько Л.К., Паюк Л.А. Математическое моделирование в электромеханике: учеб. пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2006. – 145 с.
2. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники: Электрические цепи. Учебник для студентов электротехнических, энергетических и приборостроительных специальностей вузов. – М.: Высшая школа, 1978. – 528 с.
3. Глазырин А.С. Методы и средства автоматизации профессиональной деятельности. Ч.1: учебное пособие /А.С. Глазырин, Д.Ю. Ляпунов, И.В. Слащев, С.В. Ляпушкин; под общ. Ред. А.С. Глазырина.– Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2007. – 199 с.
4. Глазырин А.С. Методы и средства автоматизации профессиональной деятельности. Ч.2: учебное пособие /А.С. Глазырин, Д.Ю. Ляпунов, И.В. Слащев, С.В. Ляпушкин; под общ. Ред. А.С. Глазырина.– Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2007. – 173 с.
5. Дьяконов В.П. *MathCAD 2000: учебный курс* – СПб.: Питер, 2001. – 592 с.
6. Чернышов Н.Г., Чернышова Т.И. Моделирование и анализ схем в Electronics Workbench: Учеб.-метод. пособие. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2005. 52 с.