

Министерство образования и науки РФ

Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

### **Электротехника и электроника**

Методические указания для выполнения контрольной работы  
для студентов направления подготовки

19.03.04 Технология продукции и организация общественного питания  
профиль 19.03.04.30 Технология продукции и организация общественного  
питания  
заочной формы обучения

Красноярск 2022

Электротехника и электроника: методические указания по выполнению контрольных работ для студентов направления 19.03.04 Технология продукции и организация общественного питания, всех форм обучения / сост.: С.А. Худоногов, С.Г. Марченкова / ИТиСУ СФУ; – Красноярск, 2022 – 31 с.

© ФГАОУ ВО «Сибирский  
федеральный университет», 2022

## СОДЕРЖАНИЕ

ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К ВЫПОЛНЕНИЮ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ.....	4
ТЕМЫ РЕФЕРАТИВНЫХ ДОКЛАДОВ ПО ЭЛЕКТРОТЕХНИКЕ.....	5
1. КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ.....	6
1.1. Изображение электрических цепей.....	6
1.2. ЗАКОНЫ, ФОРМУЛЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ К ЗАДАЧАМ НА ПОСТОЯННЫЙ ТОК.....	9
ЗАДАНИЯ ДЛЯ КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ.....	14
Задача №1.....	14
Задача №2.....	16
Задача №3.....	18
1.3. ФОРМУЛЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ К ЗАДАЧАМ НА ПЕРЕМЕННЫЙ ТОК.....	20
ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ.....	26
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	31

## ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К ВЫПОЛНЕНИЮ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

1. Контрольная работа выполняется в отдельной тетради, страницы которой должны быть пронумерованы. Необходимо оставить поля для замечаний рецензента.

2. Решение каждой задачи начинается с новой страницы.

3. Контрольная работа должна быть написана чернилами, разборчивым почерком, без сокращения слов. Необходимые пояснения для решения задачи, рисунки или чертежи должны быть выполнены четко (карандашом), с нанесением на них обозначений.

4. На обложке тетради необходимо указать курс, факультет, группу, фамилию, имя, отчество выполнившего работу, название дисциплины, номера задач, точный домашний адрес.

5. Решение задач должно сопровождаться подробными пояснениями, раскрывающими смысл применяемых формул и всего хода решения, а также рисунками, схемами и чертежами в тех случаях, когда решение на них опирается. Буквенные обозначения должны быть расшифрованы (пояснены).

6. Задачи следует решать в единицах системы СИ в такой последовательности:

а) выписать в тетрадь условие задачи полностью;

б) записать условие задачи в сокращенном виде, пользуясь соответствующими буквенными обозначениями, рядом записать условие задачи в единицах системы СИ;

в) решить задачу в общем виде, то есть без подстановки числовых значений с учетом пункта 5;

г) проверить правильность решения путем нахождения размерностей по формулам, полученным при решении задачи в общем виде. Неравенство размерностей левой и правой части формулы — признак наличия ошибки;

д) убедившись в правильности общего решения, сделать подстановку в него числовых значений величин, выраженных в системе СИ, и произвести вычисления;

е) выписать ответ отдельно с указанием единиц измерения.

7. Контрольная работа должна быть выслана студентом на проверку в институт не позднее срока, указанного в учебном графике. После проверки преподавателем контрольная работа возвращается студенту с развернутыми замечаниями.

8. Необходимо выполнить работу над ошибками.

9. Контрольную работу защитить.

**Внимание! Контрольная работа, выполненная без соблюдения предъявляемых требований, к рецензированию не принимается.**

По согласованию с преподавателем контрольная работа может быть заменена реферативным докладом или научно-исследовательской работой.

### ТЕМЫ РЕФЕРАТИВНЫХ ДОКЛАДОВ ПО ЭЛЕКТРОТЕХНИКЕ

1. Методы улучшения коэффициента мощности электрических установок.
2. Успехи использования полупроводников в отечественной и зарубежной технике.
3. Цифровые электроизмерительные приборы.
4. Электрические измерения неэлектрических величин в торговой технике.
5. Методы расчета электроприводов.
6. Трансформаторы электрических установок крупных торговых предприятий.
7. Универсальные коллекторные двигатели и их применение.
8. Применение полупроводников в быстродействующих электронных цифровых вычислительных машинах.
9. Метод расчета нагревательных элементов бытовых водо-нагревательных устройств.
10. Электроизмерительные приборы массового назначения.
11. Микродвигатели и их применение в электробытовой технике.
12. Защитное заземление и зануление в электроустановках. Техника электробезопасности в торговле.
13. Электроснабжение предприятий торговли.
14. Электроника в ЭВМ и АСУ торговли.
15. Методы, расчета освещения.
16. Рекламное освещение в предприятиях торговли.
17. Электрооборудование предприятий торговли.
18. Волоконная оптика.

# 1. КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

## 1.1. Изображение электрических цепей

Электрической цепью называется совокупность устройств, предназначенных для прохождения электрического тока. Электрическая схема представляет собой графическое изображение электрической цепи. Электрические схемы являются языком электротехники, поэтому каждый студент в процессе выполнения лабораторного практикума и

контрольной работы должен научиться составлять электрические цепи, зарисовывать электросхемы и рассчитывать их параметры.

На рис. 1 представлено графическое изображение элементов электрических схем в цепях постоянного и переменного токов.

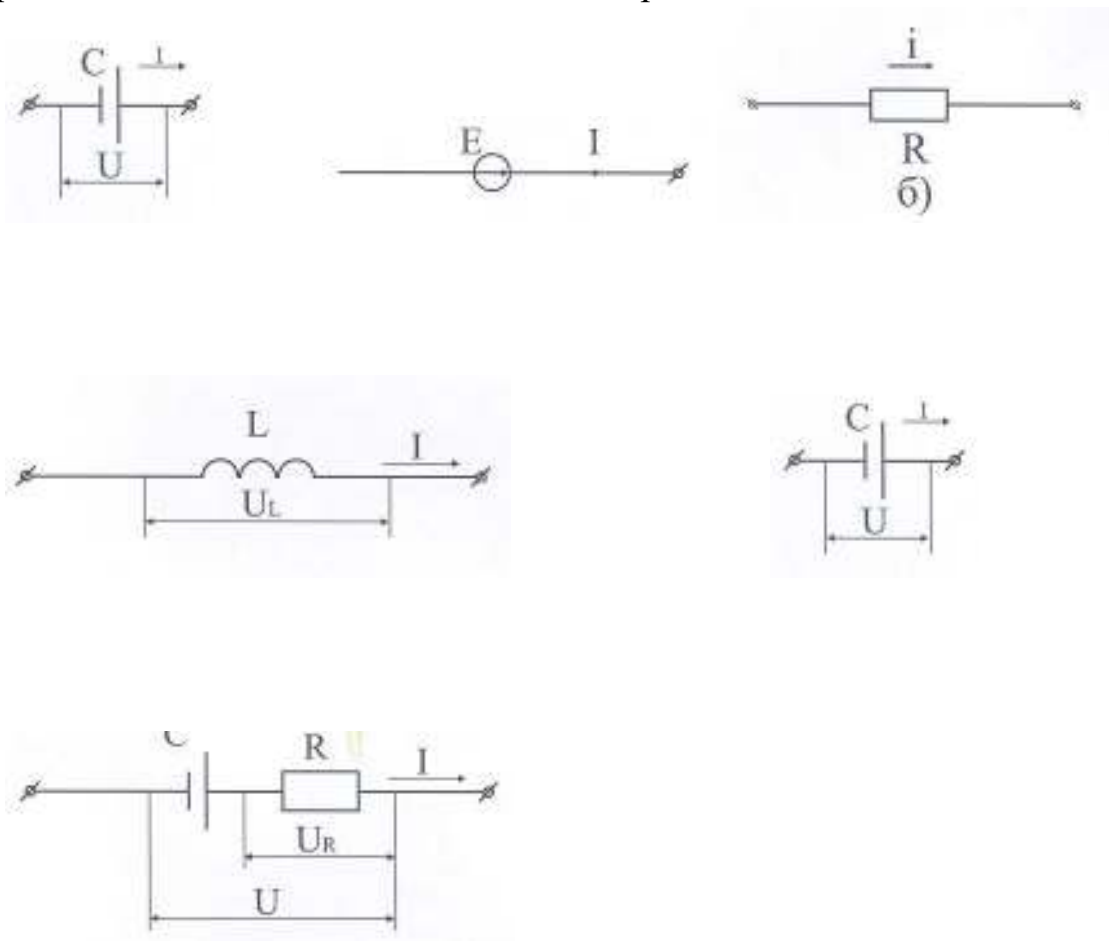


Рисунок 1

Ветвь (участок) электрической схемы образуется одним или несколькими последовательно соединенными элементами цепи (рис. 2).

При соединении элементов электрических цепей между собой образуются ветви (участки) (рис.2), узлы (рис. 3) и контуры (рис. 4).

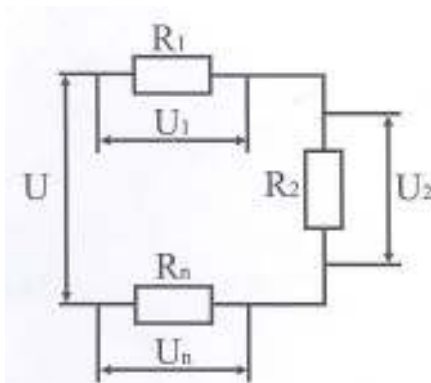


Рисунок 2

Узел — место соединения трех или большего числа ветвей (рис. 3). Линии, связывающие ветви в схеме, представляют собой соединения без сопротивления. Поэтому схемы (рис. 3, а и 3, б) содержат по одному узлу. Ветви, присоединенные к одной паре узлов (рис. 3, в), называются параллельными.

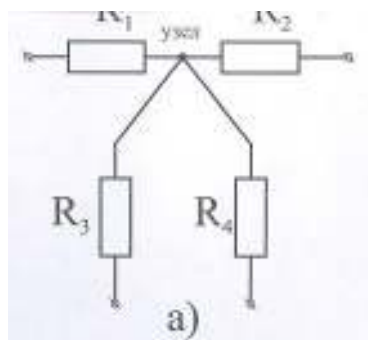


Рисунок 3

На рис. 4 изображена сложная (разветвленная) электрическая цепь, которая содержит два узла и четыре ветви.

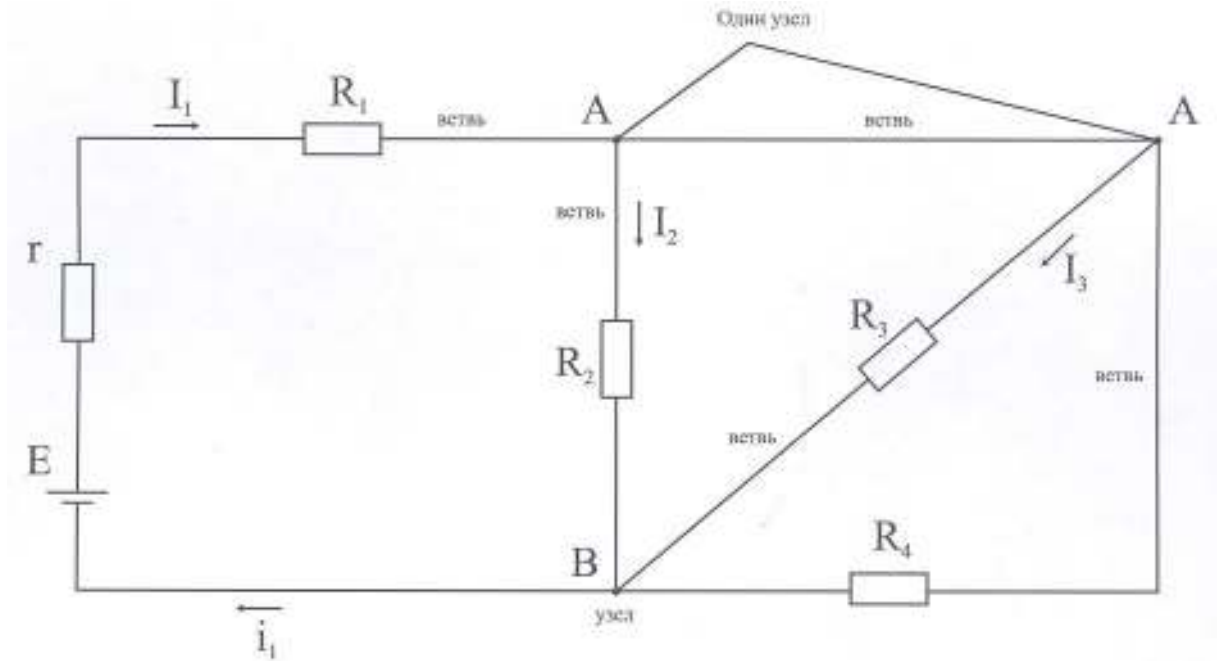


Рисунок 4

Любой замкнутый путь, проходящий по нескольким ветвям, называется контуром. Условимся считать положительным обходом контура обход по часовой стрелке. Разветвленная электрическая цепь может содержать несколько контуров, например, на рис. 4 контурами будут: ВКНАВ; ВСДКВ; ВСДКНАВ; ВСКНАВ.



## 1.2. ЗАКОНЫ, ФОРМУЛЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ К ЗАДАЧАМ НА ПОСТОЯННЫЙ ТОК

**1. Постоянным электрическим током** называется такой ток, который с течением времени не изменяется ни по величине, ни по направлению.

**2. Закон Ома для участка цепи**, не содержащей э. д. с. Ток  $I$ , проходящий по участку цепи, пропорционален напряжению  $U$ , приложенному к участку цепи, и обратно пропорционален его сопротивлению  $R$  (рис. 1, в).

$$I = \frac{U}{R} \quad (1)$$

**3. Закон Ома для полной цепи.** Ток  $I$ , проходящий по цепи, пропорционален электродвижущей силе (э. д. с.)  $E$  источника напряжения и обратно пропорционален сопротивлению всей цепи (рис. 1е).

$$I = \frac{E}{R + r} \quad \text{или} \quad E = IR + Ir, \quad (2)$$

где  $R$  — сопротивление внешней цепи, Ом;  
 $r$  — внутреннее сопротивление источника эдс, Ом;  
 $I \cdot R$  — падение напряжения во внешней цепи, В;  
 $I \cdot r$  — падение напряжения внутри источника эдс, В.

**4. Электрическое сопротивление.** Сопротивление проводника пропорционально его длине, обратно пропорционально площади поперечного сечения и зависит от материала, из которого сделан проводник

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (3)$$

где  $\rho$  — удельное сопротивление, Ом-м;  
 $S$  — площадь поперечного сечения проводника, м<sup>2</sup>;  
 $l$  — длина проводника, м.

**5. Удельная проводимость** является обратной величиной удельного сопротивления

$$\gamma = \frac{1}{\rho} \quad (4)$$

**6. Электрическая проводимость** является обратной величиной сопротивления проводника (1/Ом или См)

$$g = \frac{1}{R} = \frac{I}{U} \quad (5)$$

**7. Работа (или энергия) электрического тока**

$$A = U \cdot I \cdot t, \quad (6)$$

где  $A$  — работа (или энергия), Дж, Вт·ч (1 Вт·ч = 3,6 кДж);  
 $U$  — напряжение на зажимах электроприемника, В;  
 $I$  — ток, А;  
 $t$  — продолжительность включения электроприемника, с, ч.

**8. Мощность  $P$**  — работа, производимая в единицу времени

$$P = \frac{A}{t} = U \cdot I \quad (7)$$

Наиболее широко применяемая единица мощности - 1 кВт=1000 Вт.

**9. Закон Ленца-Джоуля.** Количество тепла  $Q$ , выделяемое при прохождении электрического тока  $I$  через сопротивление  $R$ , пропорционально квадрату тока, сопротивлению и времени прохождения тока

$$Q = I^2 \cdot R \cdot t = U \cdot I \cdot t = \frac{U^2}{R} t \quad (8)$$

где  $Q$  — количество тепла, Дж;  
 $U$  — напряжение на зажимах сопротивления, В;  
 $I$  — ток, А;  
 $t$  — время, с.

**10. Тепловой эквивалент:** 1 кВт·ч=860 кКал.

**11. Последовательное соединение электроприемников (сопротивлений)**  
(рисунок 5)

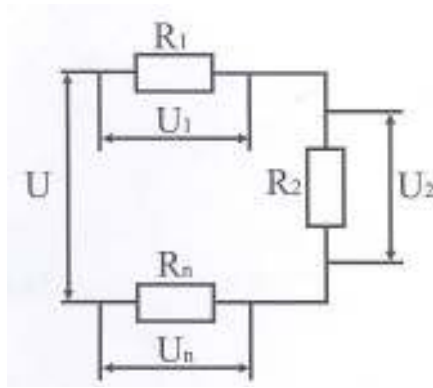


Рисунок 5

Для последовательного соединения имеем:

$$R=R_1+R_2 + \dots+R_n; \quad (9)$$

Ток  $I$  – одинаковый по величине на всех участках контура.

## 12. Параллельное соединение электроприемников (рис. 6).

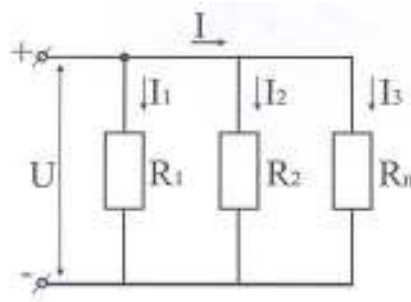


Рисунок 6

При параллельном соединении будет:

$$\begin{aligned} 1/R_{\text{эКВ}} &= 1/R_1 + 1/R_2 + \dots + 1/R_n, \\ g_{\text{эКВ}} &= g_1 + g_2 + \dots + g_n; \end{aligned}$$

где  $g_1, g_2, g_n$  - проводимости соответствующих цепей.

Эквивалентное сопротивление  $R_{\text{эКВ}}$ . Двух параллельно соединённых приёмников определяется по формуле

$$R_{\text{эКВ}} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} \quad (10)$$

**Примечание:** для меди  $\rho=1,7 \cdot 10^{-8} \text{ Ом}\cdot\text{м}$ ;  
 для алюминия  $\rho=2,53 \cdot 10^{-8} \text{ Ом}\cdot\text{м}$ ;  
 для стали  $\rho=10 \cdot 10^{-8} \text{ Ом}\cdot\text{м}$ ;  
 для нихрома  $\rho=100 \cdot 10^{-8} \text{ Ом}\cdot\text{м}$ .

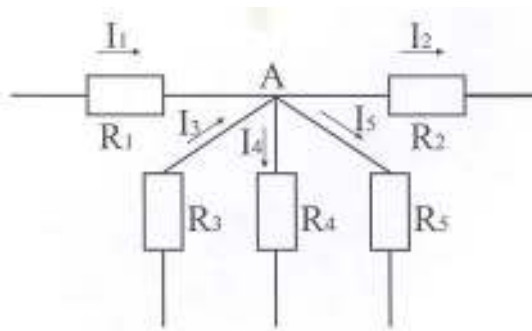
**13. Первый закон Кирхгофа.** Алгебраическая сумма токов в узле равна нулю

$$\Sigma I = 0 \quad (11)$$

Или сумма токов, входящих в узел, равна сумме токов, выходящих из узла

$$I_1 + I_3 = I_2 + I_4 + I_5$$

При этом токи, притекающие к узловой точке, считаются (условно) отрицательными, а утекающие — положительными (рис 7).



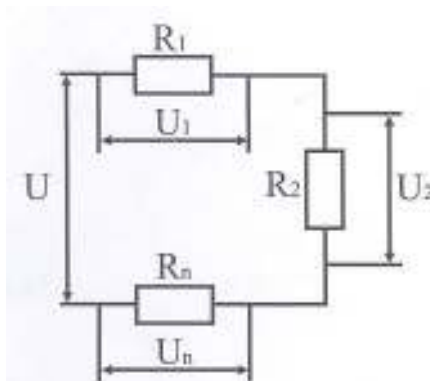
$$I_1 + I_3 - I_4 - I_5 - I_2 = 0$$

Рисунок 7

**14. Второй закон Кирхгофа.** Во всяком замкнутом контуре алгебраическая сумма эдс, действующих в отдельных участках контура, равна алгебраической сумме падений напряжений на сопротивлениях, входящих в этот контур, т.е.

$$\Sigma E = \Sigma I R \quad (12)$$

При этом эдс и токи, направленные по обходу (условно по часовой стрелке) контура, считаются положительными, а эдс и токи, направленные против обхода, отрицательными.



$$U = \Delta U_1 + \Delta U_2 + \dots + \Delta U_n$$

Рисунок 8

## ЗАДАНИЯ ДЛЯ КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ

**Задача №1.** К двухпроводной линии передачи энергии постоянного тока присоединён приёмник с изменяющимся сопротивлением  $R_H$  (рис. 9).

Напряжение в начале линии  $U_1$ . Общее сопротивление проводов в линии передачи  $R_{л}$ . Сопротивление приёмника изменяется в пределах от нуля до бесконечности. Определить: а) ток в линии  $I$ ; б) напряжение на зажимах приёмника  $U_2$ ; в) мощность, потребляемую приёмником,  $P_2$ . Построить в общей системе координат осей графики зависимостей:

$$U_2=f_1(I); P_1= f_2(I); P_2= f_3(I).$$

№ варианта	Данные к задаче №1		№ варианта	Данные к задаче №1	
	$U_1, В$	$R_{л}, Ом$		$U_1, В$	$R_{л}, Ом$
1	110	1	16	220	4,5
2	110	1,5	17	220	5,0
3	110	2	18	220	5,5
4	110	2,5	19	220	6,0
5	110	4,0	20	220	7,0
6	110	4,5	21	380	1
7	110	5,0	22	380	1,5
8	110	5,5	23	380	2
9	110	6,0	24	380	2,5
10	110	7,0	25	380	4,0
11	220	1	26	380	4,5
12	220	1,5	27	380	5,0
13	220	2	28	380	5,5
14	220	2,5	29	380	6,0
15	220	4,0	30	380	7,0

Указание. Вычисления произвести для следующих значений  $R_H$ :  
 $0; R_{л}; 2R_{л}; 5R_{л}; 10R_{л}; \infty$

Номер варианта выбирается по номеру студента в списке учебной группы.

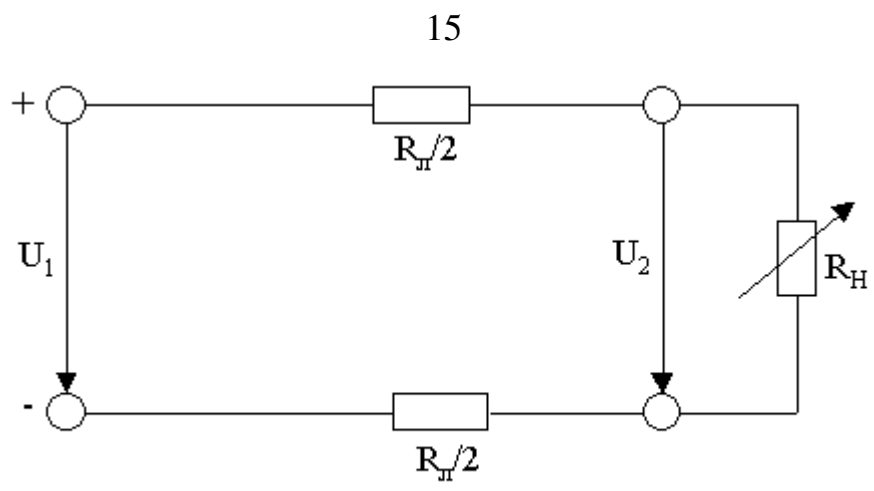


Рис.9.

**Задача № 2.** Электрический кипятильник, нагревает до кипячения воду в течение времени  $t$  мин. Напряжение сети  $U$ . К ПД кипятильника  $\eta$ . Начальная температура воды  $\rho$ .  $T_n = 16^\circ\text{C}$ .

Определить:

- 1), количество полезного тепла, идущего на нагрев;
- 2). количество затраченного тепла;
- 3). сопротивление нагревательного элемента кипятильника;
- 4). расход электроэнергии;
- 5). мощность, необходимую для кипячения воды.

Исходные данные приведены в таблице 2.



№ варианта	Данные для расчёта			
	Количество воды, т кг	Время кипения t мин.	КПД $\eta$	Напряжение сети U, В
1	2	3	4	5
1	0,5	10	0,71	220
2	0,6	11	0,72	380
3	0,7	12	0,73	220
4	0,8	13	0,74	380
5	0,9	14	0,75	220
6	1,0	15	0,76	380
7	1,1	16	0,77	220
8	1,2	17	0,78	380
9	1,3	18	0,79	220
10	1,4	19	0,80	380
11	0,5	20	0,71	220
12	0,6	10	0,72	380
13	0,7	11	0,73	220
14	0,8	12	0,74	380
15	0,9	13	0,75	220
16	1,0	14	0,76	380
17	1,1	15	0,77	220
18	1,2	16	0,78	380
19	1,3	17	0,79	220
20	1,4	18	0,80	380
21	0,5	19	0,71	220
22	0,6	20	0,72	380
23	0,7	10	0,73	220
24	0,8	11	0,74	380
25	0,9	13	0,76	380
26	1,0	14	0,77	220
27	1,1	15	0,78	380
28	1,2	16	0,79	220
29	1,3	17	0,80	380
30	1,4	18	0,75	220

**Задача №3.** К зажимам цепи (рис.10) подведено синусоидальное напряжение, действующее значение которого  $U$ , частота  $f = 50$  Гц. Активное сопротивление  $R$ , индуктивная катушка  $L$  и емкость  $C$  соединены последовательно. По цепи протекает ток. Построить векторную диаграмму напряжений и треугольник мощностей.

№ варианта	$U_1$ , В	$R$ , Ом	$C$ , мкФ	$L$ , мГн
1	127	5,0	318,5	100
2	127	6,0	637,0	120
3	127	10,0	955,5	130
4	127	12,0	1274,0	140
5	127	15,0	1592,5	150
6	127	16,0	318,5	160
7	127	18,0	955,5	170
8	127	20,0	1274,0	180
9	127	22,0	637,0	200
10	127	24,0	318,5	220
11	220	5,0	1274,0	100
12	220	6,0	955,5	120
13	220	10,0	1592,5	130
14	220	12,0	1274,0	140
15	220	15,0	637,0	150
16	220	16,0	1592,5	160
17	220	18,0	955,5	170
18	220	20,0	1274,0	180
19	220	22,0	637,0	200
20	220	24,0	318,5	220
21	380	5,0	1592,5	100
22	380	6,0	1274,0	120
23	380	10,0	955,5	130
24	380	12,0	1592,5	140
25	380	15,0	318,5	150
26	380	16,0	637,0	160
27	380	18,0	1592,5	170
28	380	20,0	955,5	180
29	380	22,0	1274,0	200
30	380	24,0	318,5	220

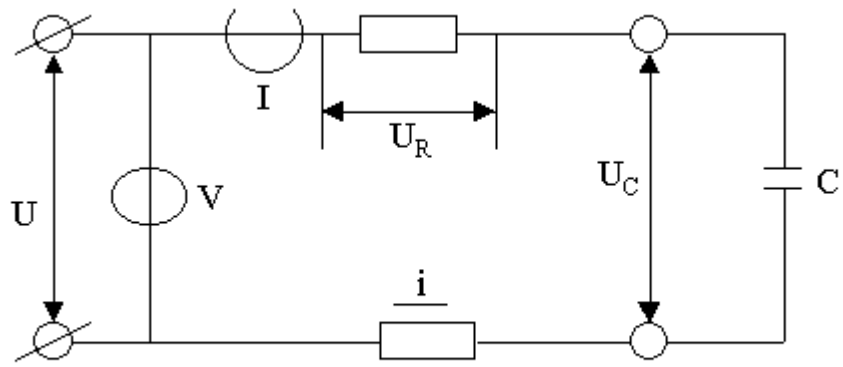


Рис. 10

### 1.3. ФОРМУЛЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ К ЗАДАЧАМ НА ПЕРЕМЕННЫЙ ТОК

1. Переменным электрическим током называется такой электрический ток, величина и направление которого с течением времени изменяются.

2. Периодом переменного тока (э. д. с. или напряжения) называется время, в течение которого ток (э. д. с. или напряжение) совершает полный цикл своего изменения. Период обозначается буквой  $T$  и измеряется в секундах.

3. Частотой переменного тока (э. д. с.) называют число периодов в одну секунду

$$f = \frac{1}{T} \quad (13)$$

Частота измеряется в герцах (Гц).

4. Угловая частота

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f \quad (14)$$

5. Величина тока в цепи переменного тока, содержащей активное сопротивление  $R$ , индуктивное сопротивление  $X_L$  и емкостное сопротивление  $X_C$  при последовательном соединении (рис. 8) определяется по формуле

$$I = \frac{U}{\sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}} \quad (15)$$

где  $X_L = \omega \cdot L = \varpi = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L$ , Ом;

$L$  — индуктивность, Гн;

$$X_C = \frac{1}{\omega \cdot C}, \text{ Ом};$$

$C$  — ёмкость, Ф.

Полное (кажущееся) сопротивление цепи (Ом) при последовательном соединении определяется

$$z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}. \quad (16)$$

Полное сопротивление при параллельном соединении активного сопротивления, индуктивности и емкости (рис. 8) определяется:

$$\frac{1}{Z} = \sqrt{\frac{1}{R^2} + \left(\frac{1}{X_L} - \frac{1}{X_C}\right)^2} \quad (17)$$

6. Активное сопротивление индуктивной катушки может быть определено

$$R = U_{\text{пост}} / I_{\text{пост}}$$

7. Полное кажущееся сопротивление индуктивной катушки может быть определено

$$Z = \frac{U_{\text{ПЕР}}}{I_{\text{ПЕР}}} \text{ Ом} \quad (18)$$

8. Мощности в цепях переменного тока определяются по следующим выражениям:

а). активная мощность, Вт:

$$P = U I \cos \varphi \quad (19)$$

б). реактивная мощность, вар:

$$Q = U I \sin \varphi \quad (20)$$

в). полная (кажущаяся) мощность, ВА:

$$S = UI. \quad (21)$$

9. Коэффициент мощности ( $\cos \varphi$ ) может быть определен через сопротивление

$$\cos \varphi = \frac{R}{Z}$$

10. Соотношения между линейными и фазными величинами  $U$  и  $I$  при соединении «звездой» и «треугольником». При соединении «звездой»:

$$U_{\text{л}} = \sqrt{3} \cdot U_{\text{ф}}; I_{\text{л}} = I_{\text{ф}} \quad (22)$$

При соединении «треугольником»:

$$U_{\text{л}} = U_{\text{ф}}; I = \sqrt{3} I_{\text{ф}} \quad (23)$$

11. Последовательное соединение активного сопротивления  $R$  и индуктивного  $X_L$  (катушка), построение векторной диаграммы.

При последовательном соединении  $R$  и  $X_L$  (Рис. 10) напряжение в цепи будет геометрически складываться из активной составляющей напряжения (активного напряжения)  $U_R = I \cdot R$ , совпадающей по фазе с вектором тока  $I$ , и индуктивной составляющей напряжения (индуктивного напряжения)  $U_L = I X_L$ , опережающей вектор  $I$  на  $90^\circ$ .

Треугольник  $OAB$  называется треугольником напряжений или векторной диаграммой напряжений. Если все стороны треугольника напряжений разделить на величину тока  $I$ , то получим треугольник сопротивлений.

12. Последовательное соединение активного сопротивления  $R$  и емкостного  $X_c$  (емкость).

При последовательном соединении  $R$  и  $X_c$  напряжение в цепи будет геометрически складываться из активной составляющей (активного напряжения)  $U_R=IR$ , совпадающей по фазе с вектором  $I$  и емкостной составляющей (емкостного напряжения)

$U_c=I \cdot X_c$ , отстающей от вектора  $I$  на  $90^\circ$  (рис. 1, е), что следует учитывать при построении треугольника напряжений

$$U = \sqrt{U^2_R + U^2_c} \quad (18)$$

13. При решении задач на переменный ток при параллельном соединении элементов надо учитывать, что суммарный ток схемы определяется выражением

$$I = \sqrt{I^2_R + I^2_P} \quad (19)$$

где  $I_R$  и  $I_P$  - амплитуды переменного тока в активном и реактивном (емкостном или индуктивном) сопротивлениях, то есть этот ток является диагональю прямоугольника со сторонами  $I_R$  и  $I_P$ . Напряжение на всех элементах схемы одинаковое.

Принцип построения векторных диаграмм при различных соединениях  $R$ ,  $L$  и  $C$  рассмотрен в литературе [2], [3].

14. Трансформаторы:

а) трансформатором называется статический электромагнитный аппарат, в котором электрическая энергия переменного тока одного напряжения преобразуется в электрическую энергию переменного тока другого напряжения (частота при этом остается неизменной);

б) первичной обмоткой трансформатора называется та обмотка, к которой электрическая энергия подводится, а вторичной обмоткой называется та обмотка, от которой электрическая энергия отводится;

в) обмоткой высшего напряжения называется обмотка, подключаемая к сети более высокого напряжения, а обмотка, подключаемая к сети с меньшим напряжением, называется обмоткой низшего напряжения;

г) коэффициентом трансформации называется отношение номинальных напряжений, то есть отношение напряжений первичной и вторичной обмоток при холостом ходе трансформатора или отношение числа витков первичной и вторичной обмоток:

$$K=U_{1H}/U_{2H}=n_1/n_2;$$

д) коэффициентом полезного действия трансформатора при данной нагрузке называется отношение мощности во вторичной обмотке (получаемой потребителем) к мощности в первичной обмотке (потребляемой из сети)

$$\eta=P_2/P_1$$

### ПОЯСНЕНИЯ К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧ НА ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫЙ (рис. 7) И ПАРАЛЛЕЛЬНЫЙ (рис. 8) РЕЗОНАНСЫ

Решая задачи на последовательный резонанс (рис. 7), нужно помнить, что при резонансе реактивное сопротивление контура равно нулю, а все входное напряжение падает на активном сопротивлении. Ток в схеме при резонансе равен

$$I_p=U/R,$$

где  $U$  - напряжение, подводимое к схеме;

$R$  - активное сопротивление.

Тогда при резонансе падения напряжения на индуктивности и емкости будут

$$U_{pC}=U_{pL}; I_p X_C=I_p X_L; U X_C/R=U X_L/R;$$

и определяются только параметрами  $X_C$  и  $X_L$ . При этом  $U_p$  и  $U_{pL}$  могут быть существенно больше  $U$  (подобное явление в цепях переменного тока часто называют резонансом напряжений). Решая задачи на параллельный резонанс (рис. 8), нужно помнить, что при резонансе реактивное сопротивление бесконечно большое, а суммарный ток в схеме определяется по закону Ома

$$I_p=U/R,$$

где  $U$  - напряжение, подводимое к схеме;

$R$  — активное сопротивление контура.

Тогда при резонансе токи в индуктивности и емкости будут

$$I_{pC}=I_{pL} \quad U/X_C=U/X_L$$

и определяются только параметрами  $X_C$  к  $X_L$ . При этом  $I_{pC}$   $I_{pL}$  могут быть существенно больше  $I_p$  (подобное явление в цепях переменного тока часто называют резонансом токов).

## ПОЯСНЕНИЯ К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧ НА ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ И РАСШИРЕНИЕ ПРЕДЕЛОВ ИЗМЕРЕНИЙ ПРИБОРОВ (рис. 9—14)

При включении в схему амперметра (рис. 9) ток, протекающий по сопротивлению  $R$ , уменьшится вследствие того, что амперметр обладает собственным внутренним сопротивлением  $r_v$ . Напряжение на зажимах батарей будет отличаться от истинного значения  $E$ , так как

э. д. с. имеет собственное внутреннее сопротивление  $r_0$  (рис. 10).

Относительная ошибка самого прибора или приборная ошибка определяется выражением

$$\gamma = \gamma_k A_n / A$$

где  $\gamma_k$  — класс точности прибора в процентах;

$A_n$  — верхний предел измерения прибора;

$A$  — значение электрической величины, измеренное прибором.

При расчете шунта амперметра необходимо учитывать, что ток через прибор должен остаться прежним предельным, а остальной — ответвляется по сопротивлению шунта (рис. 13).

При расчете добавочного сопротивления к прибору для измерения напряжения необходимо учитывать, что напряжение на

приборе  $U_n$  должно остаться прежним предельным, а остальное должно “гаситься” на добавочном сопротивлении  $R_d$  (рис. 14).

## ПОЯСНЕНИЯ К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧ НА ТРЕХФАЗНЫЙ ТОК

В задачах на трехфазный ток подразумевается, что симметричная нагрузка, соединяемая “звездой” или “треугольником”, при ее включении в питающую сеть подключается к одному и тому же линейному напряжению (рис. 15). Ток, протекающий по линейным проводам, называется линейным током. Падения напряжения на сопротивлениях нагрузки называют фазным напряжением. Между фазным напряжением, током и сопротивлением нагрузки при любом их соединении выполняется соотношение

$$U_\phi = I_\phi R.$$



### ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

**Задача №1.** Э. д. с.  $E_1 = 15$  В с последовательно подключенным сопротивлением  $R_1 = 160$  Ом и э. д. с.  $E_2 = 165$  В соединены на сопротивление  $R$  (рис. 2). Внутренние сопротивления источников э. д. с. равны 9 Ом и 11 Ом соответственно. Определить ток, протекающий по сопротивлению  $R$ , если падение напряжения на

сопротивлении  $r_2$  равно 11 В. Направления токов указаны на рисунке. Дано:

$$\begin{aligned} E_1 &= 15 \text{ В;} \\ E_2 &= 165 \text{ В;} \\ r_1 &= 9 \text{ Ом;} \\ r_2 &= 11 \text{ Ом;} \\ U_2 &= 11 \text{ В.} \end{aligned}$$

Определить  $I$ .

#### РЕШЕНИЕ

Нарисовать схему (рис. 2).

**Ход решения:** применяя второй закон Кирхгофа для контура  $E_1 R_1 E_2 r_2 r_1$  найдем  $I_1$ , затем, применяя первый закон Кирхгофа для верхнего узла, рассчитаем  $I$ .

По второму закону Кирхгофа для замкнутого контура  $E_1 R_1 E_2 r_2 r_1$  имеем

$$E_1 + E_2 = I_1 r_1 + I_1 R_1 + U_2;$$

где  $I_1$  — ток, протекающий по сопротивлениям  $r_1$  и  $R_1$ , тогда

$$I_1 = (E_1 + E_2 - U_2) / (r_1 + R_1).$$

По закону Ома ток, протекающий по сопротивлению  $r_2$  равен

$$I_2 = U_2 / R_2$$

По первому закону Кирхгофа

$$I_1 = I_2 + I, \text{ откуда } I = I_1 - I_2.$$

Подставим найденные выражения для  $I_1$  и  $I_2$

$$I = (E_1 + E_2 - U_2) / (r_1 + R_1) - U_2 / R_2.$$

Проверяем размерность

$$[I]=V/\text{Ом}=A.$$

Подставим исходные данные

$$I=(265 + 15 - 11) / (9+160) - 11/11= 1 -1 =0 A$$

**Ответ:** по сопротивлению  $R$  ток не течет (равен нулю).

**Задача №2.** Активное сопротивление  $R= 10$  Ом и индуктивность  $L=42,5$  мГ, соединены последовательно (рис. 3). При изменении входного напряжения в 2 раза ток изменился на 1 А. Построить треугольник напряжений, если частота тока равна 50 Гц,

Дано:

$$R=10 \text{ Ом}$$

$$L=42,5\text{мГ}=4625 \cdot 10^{-2} \text{ Г};$$

$$U/U_1=2;$$

$$I - I_1= 1A;$$

$$f=50\text{Гц}.$$

Определить:  $U_R$ ,  $U_L$ , и  $U$ .

Построить треугольник напряжений.

#### РЕШЕНИЕ

Нарисовать схему (рис. 3).

**Ход решения:** определим ток в цепи, затем рассчитаем напряжения на элементах схемы  $U_R$ ,  $U_L$  и входное  $U$ .

При изменении напряжения в 2 раза ток изменится в 2 раза (по закону Ома), следовательно, ток в цепи равен 2 А, то есть  $I= 2$  А.

Индуктивное сопротивление определяется по зависимости

$$X_L=\omega L=2 \pi f L,$$

где  $\omega=2 \pi f$ ;

$f$  - частота переменного тока;

$L$  - индуктивность.

Полное сопротивление определяется выражением

$$Z=\sqrt{R^2+X_L^2}.$$

Напряжение на элементах схемы

$$U_R=I R,$$

$$U_L=I X_L=I 2 \pi f L$$

Проверяем размерность

$$[U_L]= A \text{ Гц Г}=A \cdot 1/\text{с} \cdot \text{В}/A=\text{ВС}/C=\text{В}.$$

Входное напряжение можно определить двумя способами

$$U=\sqrt{U_R^2+U_L^2}$$

или

$$U=I Z=I \sqrt{R^2+Z^2}.$$

Подставим исходные данные

$$U_R = 2 \cdot 10 = 20 \text{ В};$$

$$U_L = 2 \cdot 2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 4,25 \cdot 10^{-2} = 26,6 \text{ В};$$

$$U = \sqrt{20^2 + 26,6^2} = 33,3 \text{ В}.$$

11). Треугольник напряжений (строится с указанием масштаба) (см. рис. 11).

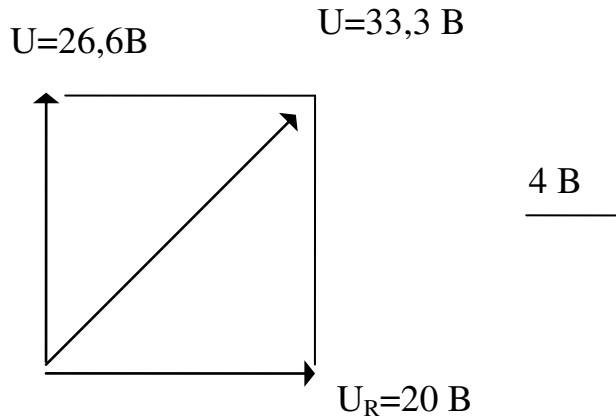


Рис. 11

Напряжение на активном сопротивлении совпадает по фазе с током, а напряжение на индуктивности опережает ток на  $90^\circ$ .

**Задача № 3.** Активное сопротивление  $R = 7,5 \text{ Ом}$  и емкость  $C = 318,5 \text{ мкФ}$  соединены параллельно (рис. 6). По активному сопротивлению протекает переменный ток с амплитудой  $I_R = 3,2 \text{ А}$  и частотой  $f = 50 \text{ Гц}$ . Построить треугольник токов.

Дано:

$$R = 7,5 \text{ Ом};$$

$$C = 318,5 \text{ мкФ} = 3,185 \cdot 10^{-4} \text{ Ф};$$

$$I_R = 3,2 \text{ А};$$

$$f = 50 \text{ Гц}.$$

Определить:  $I_C, I$ .

Построить треугольник токов.

#### РЕШЕНИЕ

Нарисовать схему (рис. 6).

**Ход решения:** определяем напряжение  $U$ , общее для  $R$  и  $C$ ; по нему рассчитываем ток  $I_C$ , вычисляем  $I$ .

Так как элементы схемы соединены параллельно, то напряжение на емкости и активном сопротивлении одинаковое.

По закону Ома это напряжение будет

$$U = I_R R,$$

Емкостное сопротивление

$$X_C = 1/\omega C = 1/2 \pi f C,$$

Тогда ток в ёмкости будет

$$I_C = U/X_C = U / (2 \pi f C) = I_R R / (2 \pi f C),$$

Проверка размерности

$$[I_C] = \text{А Ом Гц} \Phi = \text{В} / \text{С К}_\mu\text{/В} = \text{А}.$$

Полный ток определяется выражением

$$I = \sqrt{I_R^2 + I_C^2}$$

или

$$I = U/Z,$$

где

$$Z = R X_C / \sqrt{R^2 + X_C^2}$$

Подставляем исходные данные:

$$I_C = 3,2 \cdot 7,5 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 3,185 \cdot 10^{-4} = 2,4 \text{ А},$$

$$I = \sqrt{3,2^2 + 2,4^2} = 4 \text{ А}$$

Треугольник токов (строится с указанием масштаба) (рис 12).

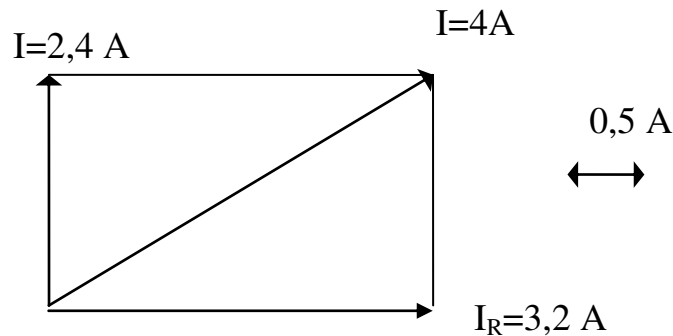


Рис. 12

Напряжение и ток на сопротивлении и напряжение на ёмкости совпадают по фазе, а ток на ёмкости опережает напряжение на  $90^\circ$ .

**Задача № 4.** Определить внутреннее сопротивление вольтметра  $R_v$  с током полного отклонения  $I = 10 \text{ мА}$ , если добавочное сопротивление  $R_d = 9980 \text{ Ом}$  и при измерении напряжения  $U_1 = 50 \text{ В}$  стрелка прибора отклонилась до половины шкалы.

Дано:

$$I = 10 \text{ мА} = 10^{-2} \text{ А};$$

$$R_d = 9980 \text{ Ом};$$

$$U_1 = 50 \text{ В};$$

$$I_1 = I/2.$$

Определить  $R_v$ .

## РЕШЕНИЕ

Нарисовать схему.

**Ход решения:** определить напряжение, измеряемое вольтметром  $U$  и по закону Ома с учетом, что  $R_v$  и  $R_d$  соединены последовательно, определить  $R$ .

Напряжение, при котором произойдет полное отклонение стрелки прибора

$$U = 2U_1$$

так как при напряжении  $U_1$  стрелка отклонилась до половины шкалы прибора. Это напряжение складывается из напряжения на приборе  $U_1$  и напряжения на добавочном сопротивлении  $U_d$ .

$$U = U_{\text{п}} + U_d.$$

Так как добавочное сопротивление и сопротивление прибора включены последовательно, то по ним течет ток полного отклонения

$$2U_1 = I(R_{\text{п}} + R_d).$$

где  $R_{\text{п}}$  и  $R_d$  — сопротивления прибора и добавочное, тогда

$$R_{\text{п}} = (2U_1 - I R_d) / I.$$

Проверка размерности:

$$[R_{\text{п}}] = \text{В/А} = \text{Ом}.$$

Подставим исходные данные:

$$R_{\text{п}} = (2 \cdot 50 - 10^{-2} \cdot 9980) / 10^{-2} = 20 \text{ Ом}.$$

Ответ: сопротивление прибора равно  $R = 20 \text{ Ом}$ .

**Задача № 5.** Токи в сопротивлениях нагрузки, соединенных “звездой” в цепи трехфазного тока, равны 1 А. Определить линейные токи при соединении нагрузок “треугольником”, если сопротивление уменьшить в 2 раза.

Дано:

$$I_{\text{ф1зв}} = 1 \text{ А};$$

$$R_2 = R_1 / 2$$

Определить  $I_{\text{л2тр}}$ .

#### РЕШЕНИЕ

Нарисовать схемы соединения нагрузок «звездой» и «треугольником» (рис. 15), проставить индексы условных обозначений.

**Ход решения:** определяем фазное напряжение при соединении “звездой”, а затем и линейное. По линейному напряжению определяем линейные токи при соединении “треугольником” нагрузок  $R_2$ .

Фазные напряжения при соединении симметричной нагрузки “звездой” определяются выражением

$$U_{\phi 13\text{в}} = I_{\phi 13\text{в}} R_1.$$

Тогда линейные напряжения определяются

При соединении нагрузок «треугольником»

тогда фазные токи будут

Линейные токи при соединении нагрузок «треугольником»

Подставим исходные данные, получим

**Ответ:** линейные токи при соединении нагрузок “треугольником” будут равны 6 А.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Электротехника и электроника [Электронный ресурс] / П.В. Ермуратский, Г.П. Лычкина, Ю.Б. Минкин - М. : ДМК Пресс, 2013. – 416с.  
Режим доступа:  
<http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785940746881.html>
2. Элементарная электротехника [Электронный ресурс] / Кузнецов А.В. - М. : ДМК Пресс, 2014 – 700с.  
Режим доступа:  
<http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785970602928.html>
3. Общая электротехника [Электронный ресурс] : учебное пособие / Н.А. Кривоногов и др.; под ред. Л.А. Потапова. - Ростов н/Д : Феникс, 2016. - 222 с.  
Режим доступа:  
<http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785222257203.html>