

ПРИДНЕСТРОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИМ. Т.Г.ШЕВЧЕНКО

**Аграрно-технологический факультет**

*Кафедра технические системы и  
электрооборудование в АПК*

**КОНТРОЛЬНЫЕ РАБОТЫ  
ПО  
ТЕОРЕТИЧЕСКИМ ОСНОВАМ  
ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ**

*Методические указания*

Тирасполь 2016

**УДК621.3(072.8)**

**ББК 32р30**

**Т33**

**Составители:**

Ф.М. Ерхан, д.т.н. профессор

Т.Б. Кондратюк, преподаватель

**Рецензенты:**

Н.И. Корнейчук, к.т.н. доцент, кафедры «Эксплуатация и ремонт машинно-тракторного парка»

Ф.Ф. Гонченко, главный энергетик ЗАО Тираспольский хлебокомбинат

Контрольные работы по теоретическим основам электротехники: методические указания / сост. Ф.М. Ерхан, Т.Б. Кондратюк. Тирасполь, 2016. – 66 с.

*Методические указания предусмотрены для студентов 2 курса заочной формы обучения направления подготовки 35.03.06 «Агроинженерия», профиль «Электротехнологии и электрооборудование».*

*Рассмотрены рекомендации по выполнению и оформлению контрольной работы. Даны варианты контрольной работы.*

УДК 621.3(072.8)

ББК 32р30

Т33

Рекомендовано Научно-методическим советом ПГУ им. Т.Г. Шевченко

© ПГУ им. Т.Г.Шевченко, 2016

© Ф.М. Ерхан, Т.Б. Кондратюк  
составление, 2016

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	4
1. Требования к оформлению контрольной работы и общие рекомендации по изучению дисциплины.....	7
2. Задание для выполнения контрольной работы.....	9
Задание 1. Тема «Разветвленная цепь постоянного тока с одним источником энергии».....	9
Задание 2. Тема: «Сложная разветвленная цепь постоянного тока с несколькими источниками э.д.с.».....	11
Задание 3. Тема: «Неразветвленная цепь синусоидального переменного тока».....	14
Задание 4. Тема: «Разветвленная цепь синусоидального переменного тока».....	19
Задание 5. Тема: «Трехфазные цепи переменного тока» .....	25
Заключение.....	30
Приложения.....	31
Приложение 1. Вопросы к зачету.....	31
Приложение 2. Вопросы к экзамену.....	34
Приложение 3. Глоссарий (толковый словарь терминов) .....	37
Приложение 4. Тесты.....	46
Приложение 5. Единицы измерения электрических и магнитных величин в Международной системе единиц (СИ) .....	57
Приложение 6. Перечень основных обозначений величин и их единицы измерения.....	60
Список используемой литературы.....	65
Рекомендуемые учебники.....	65

## ВВЕДЕНИЕ

Количественный рост информации и необходимость повышения качества подготовки специалистов в области энергетики и в том числе в области электроснабжения сельского хозяйства, предъявляют новые, более повышенные требования к высшей школе.

В связи с большим потоком информации студент – заочник за ограниченное время обучения должен изучить и закрепить большое количество материала по каждому предмету.

Теоретические основы электротехники (ТОЭ), объединяя знания соответствующих разделов физики и математики, развивают их в направлении понимания сущности работы различных электротехнических устройств и методов их расчета. Поэтому курс ТОЭ является базой последующих специальных дисциплин студентов и основной грамотности инженеров специальностей электротехнического и электроэнергетического профиля.

Изучение курса ТОЭ студентами – заочниками в соответственной с предлагаемой методикой состоит из следующих этапов.

1. Самостоятельное изучение курса в соответствии с приведенной программой по одному из учебников, указанных в списке литературы. Значительное внимание в первой части курса ТОЭ уделяется характеристикам элементов и методам расчета линейных электрических цепей. Основная цель изучения методов заключается в совершенствовании навыков применения их для решения практических вопросов. При этом рекомендуется составлять конспект, записывая в нем основные законы, правила, определения, формулы, единицы измерения величин, типовые графики векторные диаграммы, рекомендованные методики, алгоритмы расчета и др. В этом же конспекте следует приводить решения типовых задач для самоконтроля, которые могут быть взяты либо из данных методических указаний, либо из учебников или задачников. Свой конспект, если он составлен правильно, является в дальнейшей работе основным средством, как при

выполнении контрольных заданий и лабораторного практикума, так и при подготовке к экзамену.

2. Разбор решений приведенных в методическом пособии типовых задач по отдельным темам программы курса ТОЭ.

3. Решения приведенных в методическом пособии контрольных задач. Решенные задачи необходимо оформить в виде контрольной работы.

При анализе решенных задач и при решении контрольных задач по теории цепей рекомендуется придерживаться следующих правил:

1. Ясно понять условия задачи: что дано и, что неизвестно.

2. Детально изучить электрическую схему цепи: сколько ветвей, узлов, контуров в схеме, как соединены между собой отдельные элементы. Подумать, нельзя ли изобразить схему проще, чтобы нагляднее были видны все соединения.

3. Проанализировать заданные параметры элементов, не приводит ли данное сочетание параметров к возникновению особых режимов (например, резонансов).

4. Продумать план решения, вспомнить, не была ли рекомендована в учебниках, в задачниках, на лекциях целесообразная методика решения подобных задач. Например, последовательность действия при составлении уравнений по законам Кирхгофа, по методу контурных токов, методу узловых потенциалов и др.

5. При описании электромагнитных процессов в цепях уравнениями придерживаться существующих правил знаков.

6. При преобразовании исходной схемы целесообразно новую схему нарисовать отдельно с указанием условных положительных направлений токов в ветвях и обозначением одинаковыми символами соответствующих узлов(точек). Иногда может оказаться полезным изменить начертание схемы для удобства ее анализа и наглядности способов соединения элементов.

7. В ходе решения задачи необходимо контролировать каждый шаг, анализировать его результат логически (может ли быть такое в данной цепи?), сопоставляя размерности

суммируемых величин, оценивать правдоподобность численных ответов.

8. Правильность численных результатов расчета можно проверить подстановкой их в исходные уравнения. При этом следует учитывать особенности того или иного метода расчета. В методе узловых потенциалов целесообразно делать проверку рассчитанных токов по первому закону Кирхгофа, а в методике контурных токов – по второму. Во всех случаях положительный эффект дает проверка по уравнениям баланса мощностей.

## **1. Требования к оформлению контрольной работы и общие рекомендации по изучению дисциплины**

Для подготовки инженеров высокой квалификации необходимо совершенствовать учебный процесс, методики обучения, создавая условия, при которых студент – заочник вынужден работать самостоятельно и систематически над изучением курса данной дисциплины.

Для полного и глубокого освоения курса «Теоретические основы электротехники» (ТОЭ) основной формой для студентов – заочников является самостоятельная работа.

Самостоятельная работа начинается с изучения теории соответствующего раздела по учебной литературе, с последующим анализом решения задач, приведенных в учебниках и задачниках. Решение задач помогает лучшему усвоению материала и закреплению основных теоретических положений, законов и соотношений.

В соответствии с учебным планом для студентов – заочников, обучающихся по направлению «Агроинженерия», профиль «Электротехнологии и электрооборудование» предусмотрена контрольная работа.

Выполнение контрольной работы является важным этапом самостоятельной работы студентами – заочниками и свидетельствует о том, что соответствующие разделы дисциплины проработаны и глубоко осмысленны.

Контрольная работа выполняется по индивидуальному варианту, который определяется по двум последним цифрам зачетной книжки, где по предпоследней цифре выбирается номер схемы, а по последней – номер варианта числовых значений.

Например, цифрами 35 соответствует схема 3 и 5<sup>й</sup> вариант числовых значений.

Требования предъявляемые к оформлению контрольной работы:

➤ Работа может выполняться в отдельной тетради, либо на формате А-4 с использованием ПК, на обложке или титульном

листе в обязательном порядке указываются фамилия, имя, отчество студента, шифр, группа,

- условие задачи формируется полно и четко,
- решение задачи должно иллюстрироваться схемами чертежами, векторными диаграммами, указанием положительного направления токов в электрических схемах,

- графическая часть работы выполняется аккуратно с соблюдением требований ЕСКД, а графики с обязательным соблюдением масштаба,

- при вычислениях рекомендуется порядок записей, когда сначала записывается формула в общем виде, затем подстановка числовых значений, входящих в формулу, в конце – результат с обязательным указанием единицы измерения,

- контрольная работа должна содержать список использованной литературы, дату выполнения и подпись студента,

- не зачтенная работа должна быть исправлена и представлена на повторную проверку, все исправления должны быть выполнены в этой же тетради, либо на листе формата А-4.



## 2. Задание для выполнения контрольной работы

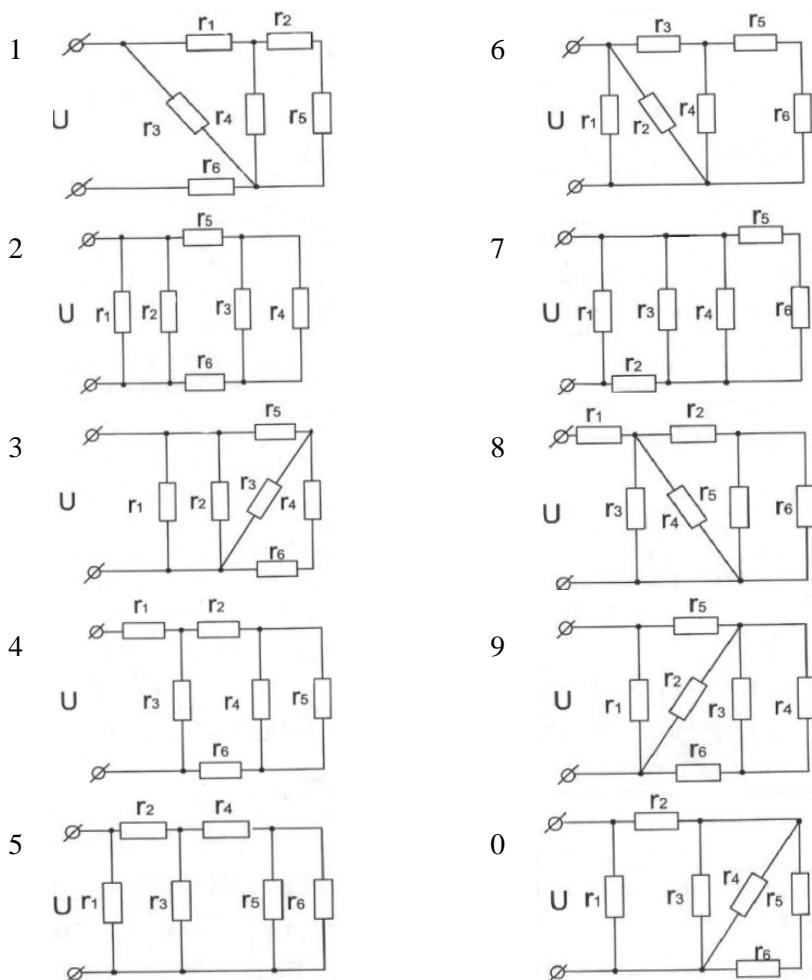
### Задание 1. Тема: «Разветвленная цепь постоянного тока с одним источником энергии»

*Условие задачи.* В электрической цепи, изображенной на рис. 2.1, определить токи в ветвях, напряжение на зажимах и составить баланс мощности. Исходные данные приведены в табл. 2.1.

Таблица 2.1

Исходные данные

Вариант	$I_2, \text{A}$	Сопротивление, Ом					
		$r_1$	$r_2$	$r_3$	$r_4$	$r_5$	$r_6$
1	6	16	12	11	9	18	14
2	10	11	13	19	14	8	9
3	12	8	7	9	7	6	15
4	9	16	12	10	15	14	8
5	3	10	9	11	12	16	7
6	7	8	7	6	8	12	13
7	5	10	15	16	17	9	7
8	8	12	7	8	10	18	14
9	4	9	17	18	14	15	16
0	8	15	11	14	13	7	12



**Рис. 2.1.** Варианты расчетных схем разветвленной цепи постоянного тока с одним источником энергии

*Общие методические указания.* Для решения задачи необходимо рассмотреть принципы последовательного, параллельного и смешанного соединения сопротивлений в электрических цепях постоянного тока. Использовать закон Ома, 1-й и 2-й законы Кирхгофа.

Первоначально необходимо определить общее сопротивление путем преобразования цепи к эквивалентной, выделяя отдельно последовательные и параллельные участки

схемы. После расчета эквивалентного сопротивления определяют токи на основе закона Ома для участка цепи, а нумерацию токов совмещаем с номером соответствующего сопротивления.

Затем определяют напряжение на зажимах, составить уравнение по второму закону Кирхгофа для эквивалентной цепи, и баланс мощности.

Теоретический материал по данной теме и примеры расчета приведены в [1, § 1.8.1–1.10.4], [2, § 2.6–2.7, 3.1–3.3].

### **Задание 2. Тема: «Сложная разветвленная цепь постоянного тока с несколькими источниками э.д.с.»**

*Условие задачи.* Для разветвленной электрической цепи, представленной на рис. 2.2, требуется:

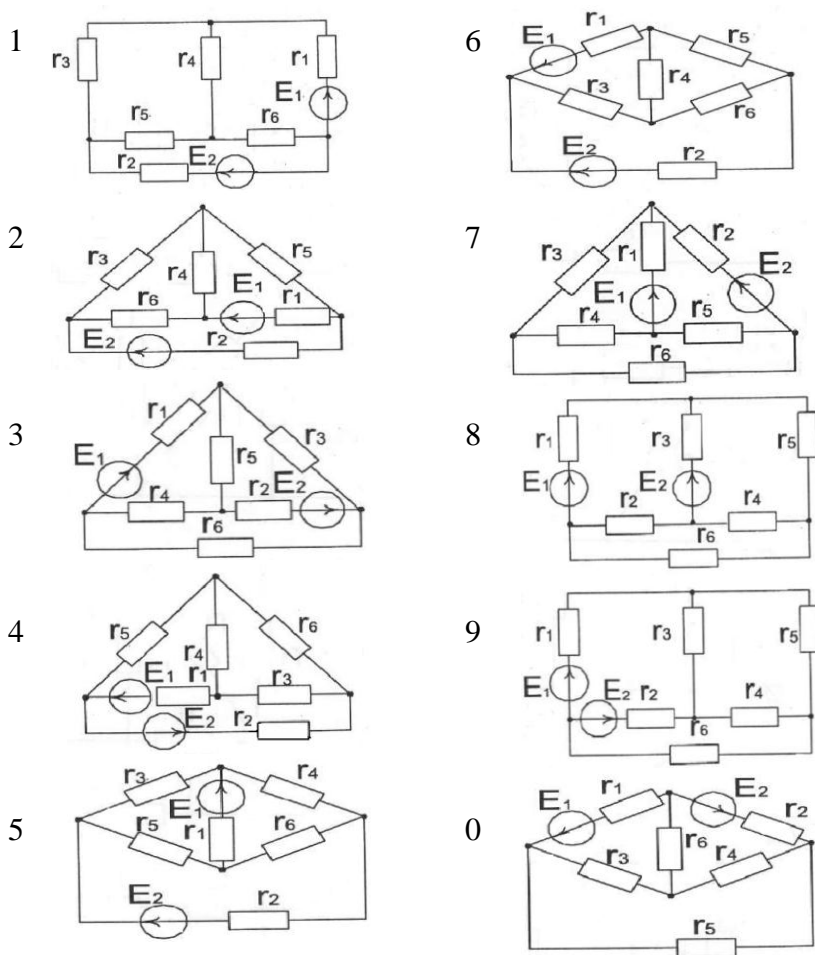
- на основе законов Кирхгофа составить уравнения для определения токов (решать систему уравнений не следует);
- определить режимы работы активных ветвей и составить баланс мощностей.

Исходные данные приведены в табл. 2.2.

*Таблица 2.2*

**Исходные данные**

Вариант	Величина							
	$E_1, \text{В}$	$E_2, \text{В}$	$r_1, \text{Ом}$	$r_2, \text{Ом}$	$r_3, \text{Ом}$	$r_4, \text{Ом}$	$r_5, \text{Ом}$	$r_6, \text{Ом}$
1	100	160	5	7	13	25	23	14
2	130	110	8	4	14	19	18	17
3	70	190	1	4	25	18	24	22
4	90	170	1	6	24	20	12	18
5	110	150	3	2	22	17	14	13
6	120	140	2	3	17	15	22	24
7	150	130	7	6	9	23	21	19
8	60	200	6	3	19	22	17	24
9	80	180	2	5	21	16	19	16
0	140	120	4	5	16	21	15	23



**Рис. 2.2.** Варианты расчетных схем разветвленной цепи постоянного тока с несколькими источниками энергии

*Общие методические указания.* При составлении уравнений путем непосредственного применения законов Кирхгофа необходимо предварительно задаться направлением токов во всех шести ветвях схемы, а также указать направления обхода контуров (по часовой стрелке либо против).

В основе метода контурных токов лежит использование понятия контурного тока, под которым понимают условный ток,

замыкающийся только по своему контуру. При этом рассматривают только независимые контура. Что позволяет сократить число неизвестных токов до числа независимых контуров, определяемых по формуле:

$$n = p - q + 1, \quad (1)$$

где  $p$  – число ветвей в схеме;  $q$  – число узлов в схеме.

Для каждого контура записывается уравнение по второму закону Кирхгофа, совокупность этих уравнений образует систему линейных алгебраических уравнений, решением которой являются значения контурных токов.

Действительные токи в ветвях находят путем сложения всех контурных токов, протекающих в данной ветви. Если ветвь входит только в один независимый контур и по ней протекает один контурный ток, то действительный ток в этой ветви равен контурному току.

При составлении уравнений по второму закону Кирхгофа задаются условно положительным направлением контурных токов. Направление обхода контура выбирают всегда совпадающим с направлением контурного тока. При этом учитывают ЭДС всех ветвей, входящих в данный контур, и падения напряжения, создаваемые как контурными токами данного контура на элементах всех его ветвей, так и другими контурными токами на элементах ветвей, входящих одновременно в несколько контуров. Если положительное направление контурного тока соседнего контура в общей ветви совпадает с положительным направлением контурного тока данного контура, то создаваемое им напряжение имеет знак плюс и наоборот.

Для составления баланса мощности в левой части равенства записывается алгебраическая сумма мощностей, развиваемых активными элементами, со знаком «плюс», если направления действия ЭДС и тока в этом элементе совпадают. В правой части равенства записывается сумма мощностей, рассеиваемых на резисторах схемы.

*Пример.* Определить число независимых контуров и составить систему линейных алгебраических уравнений для схемы номер 1, представленной на рис. 2.2.

В данной схеме число ветвей  $p = 6$ , число узлов  $q = 4$ , а число независимых контуров

$$n = 6 - 4 + 1 = 3.$$

Выбираем три контура, в каждом из которых протекают контурные токи  $I_I$ ,  $I_{II}$ ,  $I_{III}$ , направленные по часовой стрелке. Для каждого из этих контуров составляем уравнения по второму закону Кирхгофа, предварительно указав направление обхода, например, по часовой стрелке. Тогда система линейных алгебраических уравнений будет иметь вид:

$$\text{контур I} - I_I (r_1 + r_4 + r_3) - I_{II}r_4 - I_{III}r_3 = -E_1;$$

$$\text{контур II} - I_I r_4 + I_{II} (r_4 + r_5 + r_6) - I_{III}r_6 = 0;$$

$$\text{контур III} - I_I r_3 - I_{II}r_6 + I_{III} (r_3 + r_6 + r_2) = E_2.$$

Теоретический материал и примеры расчета приведены [1, §1.11–1.12], [2, § 3.5 – 3.6].

### **Задание 3. Тема: «Неразветвленная цепь синусоидального переменного тока»**

*Условие задачи.* Напряжение на зажимах цепи, представленной на рис. 2.3, изменяется по синусоидальному закону и определяется выражением

$$u = U_m \sin \cdot (\omega t + \psi_U) \quad (2)$$

Исходные данные приведены в табл. 2.3.

Требуется определить:

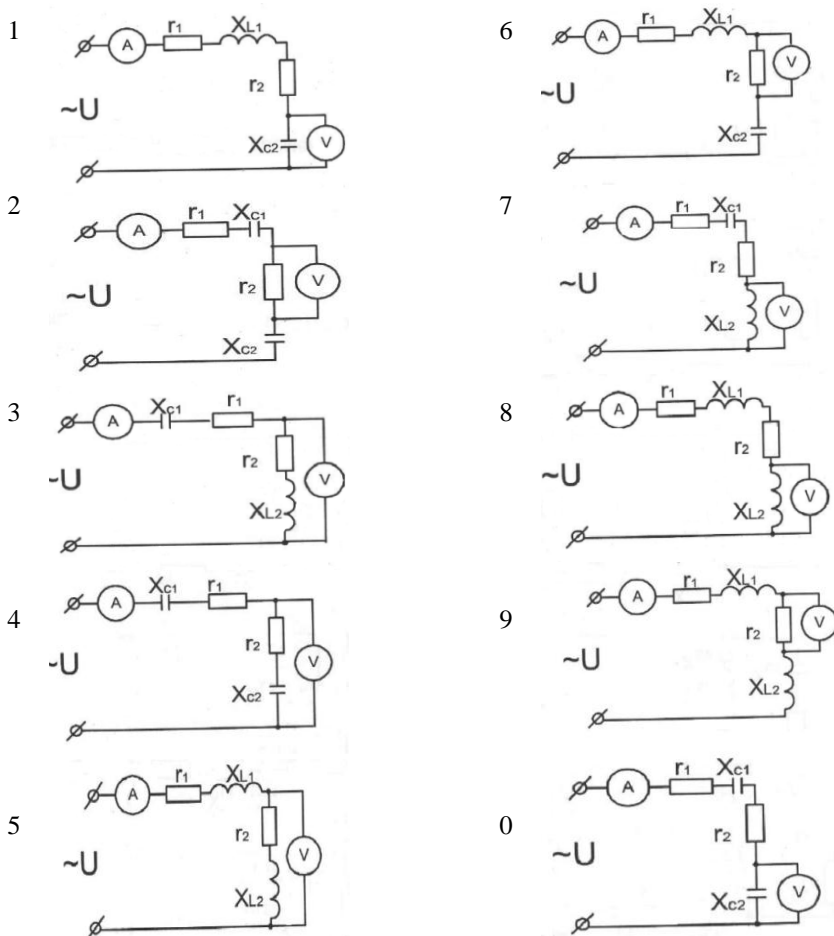
- 1) полное сопротивление в цепи;
- 2) показания приборов, указанных на схеме;
- 3) закон изменения тока в цепи;
- 4) закон изменения напряжения между точками, к которым подключен вольтметр;
- 5) активную, реактивную и полную мощность, потребляемую цепью из сети;
- 6) построить векторную диаграмму.

Таблица 2.3

## Исходные данные

Величина	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$U_m, В$	380	240	23	160	260	400	280	127	200	23
$\psi_U, \text{град}$	60	-45	15	-15	-75	75	-60	45	-30	15
$r_1, \text{Ом}$	7	11	2	4	4	9	7	6	12	2
$x_{L1}, \text{Ом}$	12	6	9	8	7	8	9	6	10	9
$x_{C1}, \text{Ом}$	6	7	4	9	8	12	11	9	4	4
$r_2, \text{Ом}$	12	6	9	14	4	8	5	6	11	9
$x_{L2}, \text{Ом}$	9	4	2	9	6	8	8	2	11	2
$x_{C2}, \text{Ом}$	12	9	2	7	9	8	12	9	6	2

*Общие методические указания.* При решении задачи рекомендуется рассмотреть теорию электрических цепей синусоидального переменного тока с последовательным соединением активных, индуктивных и емкостных сопротивлений, а также надо познакомиться с принципом построения векторных диаграмм.



**Рис. 2.3.** Варианты расчетных схем неразветвленной цепи синусоидального переменного тока

Показание амперметра определяют на основе закона Ома после вычисления полного сопротивления цепи

$$z = \sqrt{r^2 + x^2} \quad (3)$$

$$U = U_m / \sqrt{2} \quad (4)$$

$$I = U / z \quad (5)$$

где  $r$  – активное сопротивление цепи, Ом;

$x$  – реактивное сопротивление цепи, Ом;

$z$  – полное сопротивление цепи, Ом.



Активное и реактивное (число индуктивное, либо число емкостное) сопротивления определяются арифметической суммой соответствующих сопротивлений, а если включены индуктивное и емкостное сопротивления, то разностью этих сопротивлений:

$$r = r_1 + r_2 \quad (6)$$

$$x = x_{L1} + x_{L2} \quad (7)$$

$$x = x_{c1} + x_{c2} \quad (8)$$

$$x = |x_L - x_c| \quad (9)$$

Показание вольтметра определяется произведением тока на сопротивление данного участка цепи. Для участка содержащего активное и реактивное сопротивления, необходимо предварительно вычислить полное сопротивление данного участка.

Закон изменения тока определяется законом изменения напряжения и при активно-емкостной нагрузке ток опережает вектор напряжения на угол  $\varphi$ :

$$i = I_m \sin(\omega t + \psi_U + \varphi) \quad (10)$$

а при активно-индуктивной нагрузке отстает от вектора напряжения на угол  $\varphi$ :

$$i = I_m \sin(\omega t + \psi_U - \varphi) \quad (11)$$

где  $I_m = \sqrt{2} \cdot I$  – амплитуда тока, А;

$\varphi = \arctg(x/r)$  – угол между вектором тока и напряжения, град.

Закон изменения напряжения между точками, к которым подключен вольтметр определяется законом изменения тока. Амплитуда напряжения определяется произведением амплитуды тока на соответствующее сопротивление, а фаза напряжения зависит от характера сопротивления данного участка и определяется следующими выражениями:  $\varphi_U = \varphi_i - 90^\circ$  при емкостном сопротивлении,  $\varphi_U = \varphi_i + 90^\circ$  при индуктивном сопротивлении,  $\varphi_U = \varphi_i$  при активном сопротивлении,  $\varphi_U = \varphi_i - \varphi_2$  при активно-емкостном сопротивлении,  $\varphi_U = \varphi_i + \varphi_2$  при активно-индуктивном сопротивлении. Начальная фаза тока  $\varphi_i$  и угол между током и напряжением на участке цепи определяются выражениями:

$$\varphi_i = \psi_U \pm \varphi; \varphi_2 = \arctg(x_2/r_2).$$

Следовательно, закон изменения напряжения между точками, к которым подключен вольтметр, можно представить в виде уравнения:

$$u = U_m \sin(\omega t + \varphi_U) \quad (12)$$

При вычислении мощности, потребляемой цепью из сети, используют формулы:

$$S = U I = I^2 z, \text{ ВА} \quad (13)$$

$$P = U I \cos \varphi = I^2 r, \text{ Вт} \quad (14)$$

$$Q = U I \sin \varphi = I^2 x, \text{ вар} \quad (15)$$

Построение векторной диаграммы для расчетной схемы проводится на основе уравнения, составленного по второму закону Кирхгофа. Выбрав масштаб тока и напряжения, откладываем в произвольном направлении вектор тока и далее – соответствующие вектора напряжений на участках цепи, учитывая, что на активном сопротивлении вектор тока и напряжения совпадают по фазе, на индуктивном – вектор напряжения опережает ток на  $90^\circ$ , а на емкостном – отстает от вектора тока на  $90^\circ$ . Результирующий вектор – это напряжение на зажимах цепи, а угол между вектором тока и напряжения должен быть равен углу  $\varphi$ .

*Пример.* В цепь переменного тока на рис. 2.4 последовательно включены активное сопротивление  $r = 8 \text{ Ом}$ , индуктивное сопротивление  $x_L = 4 \text{ Ом}$  и емкостное сопротивление  $x_C = 5 \text{ Ом}$ . Показание амперметра  $10 \text{ А}$ . Определить напряжения на участках цепи и построить векторную диаграмму.

*Решение.* Определяем напряжение на каждом из сопротивлений как произведение тока на соответствующее сопротивление, В:

$$U_L = I x_L = 10 \cdot 4 = 40;$$

$$U_C = I x_C = 10 \cdot 5 = 50;$$

$$U_r = I r = 10 \cdot 8 = 80.$$

Для заданной схемы составим уравнение по второму закону Кирхгофа:

$$\bar{U} = \bar{U}_L + \bar{U}_C + \bar{U}_r.$$

Выбрав масштаб тока и напряжения, откладываем соответствующие вектора и получаем векторную диаграмму, представленную в общем виде на рис. 2.5.

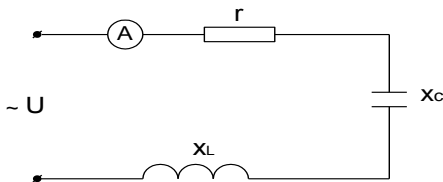


Рис. 2.4. Расчетная схема

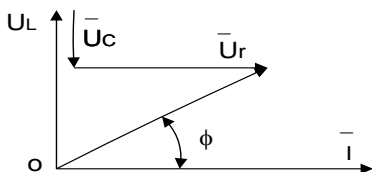


Рис. 2.5. Векторная диаграмма

Теоретический материал и примеры расчета приводятся в [1, § 2.1–2.6, 2.10]; [2, § 4.1–4.12, 5.1–5.8]; [4, § 2.1–2.12, 2.16–2.20].

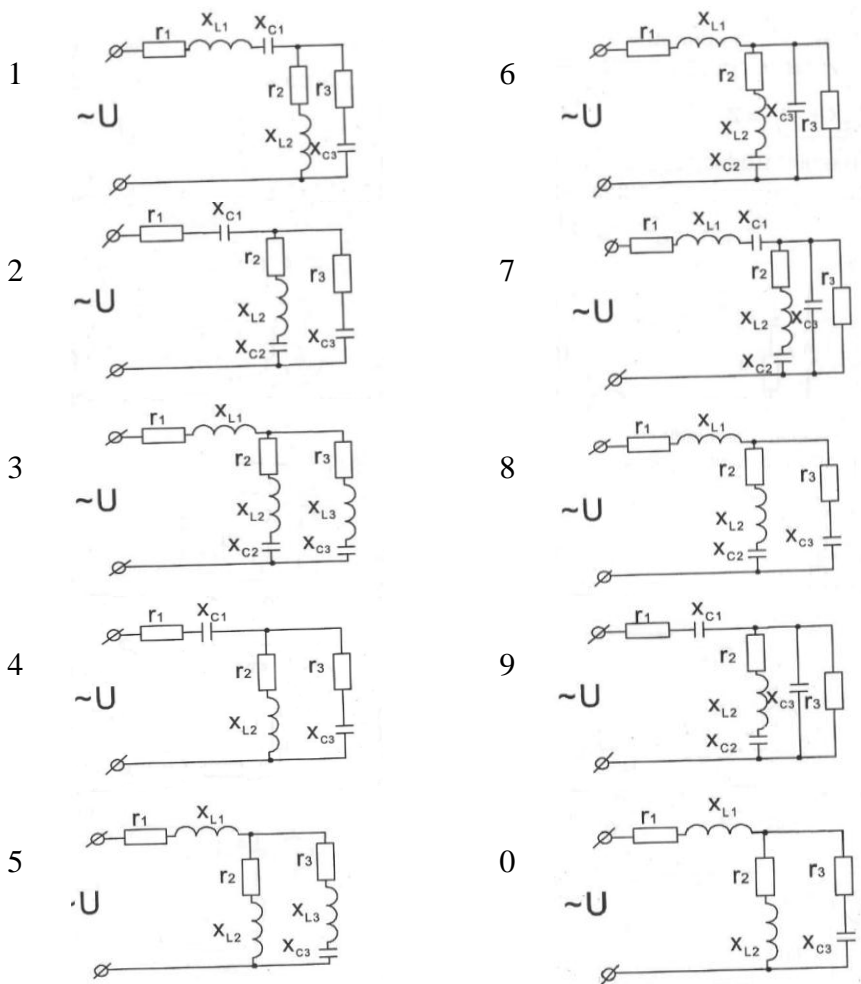
#### Задание 4. Тема: «Разветвленная цепь синусоидального переменного тока»

*Условие задачи.* В цепи переменного тока, представленной на рис. 2.6, заданы параметры включенных в нее элементов, действующее значение и начальная фаза  $\psi_U$  напряжения, а также частота питающего напряжения  $f = 50$  Гц (табл. 2.4).

Таблица 2.4

Исходные данные

Величина	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
U, В	220	220	127	380	127	220	380	127	127	220
$\psi_U$ , град	-75	75	60	-15	-45	-30	15	45	-60	30
$r_1$ , Ом	3	4	6	9	11	5	8	7	7	4
$X_{L1}$ , Ом	3	2	5	3	5	5	8	6	4	2
$X_{C1}$ , Ом	16	5	3	8	2	4	16	4	13	4
$r_2$ , Ом	9	12	6	5	7	6	12	7	8	6
$X_{L2}$ , Ом	5	4	3	4	6	15	10	5	5	5
$X_{C2}$ , Ом	3	13	6	6	4	4	16	8	3	10
$r_3$ , Ом	7	9	8	10	4	6	5	7	8	6
$X_{L3}$ , Ом	5	3	7	4	3	4	4	6	3	5
$X_{C3}$ , Ом	3	8	10	6	7	6	13	16	5	9



**Рис. 2.6.** Варианты расчетных схем разветвленной цепи переменного тока

Требуется:

- 1) записать сопротивления ветвей цепи в комплексной форме;
- 2) определить действующее значение тока в ветвях и в неразветвленной части цепи комплексным методом;

3) записать выражения для мгновенных значений напряжения на участке цепи с параллельным соединением и токов в ветвях;

4) построить векторную диаграмму;

5) определить активную, реактивную и полную мощности, потребляемые цепью из сети; 6) составить баланс мощности.

*Общие методические указания.* При решении данной задачи необходимо рассмотреть расчет синусоидальных цепей с использованием комплексных чисел. Используя комплексные числа, полное сопротивление каждого участка цепи переменного тока можно записать в алгебраической и показательной формах:

$$\underline{z} = r + jx = ze^{j\varphi} \quad (16)$$

где  $x = x_L$  – реактивное сопротивление участка цепи с индуктивностью, Ом;

$x = -x_c$  – реактивное сопротивление участка цепи с емкостью, Ом;

$x = x_L - x_c$  – реактивное сопротивление участка с индуктивным и емкостным сопротивлениями;

$z, \varphi$  – модуль и фаза полного сопротивления участка.

$$z = \sqrt{r^2 + x^2} \quad (17)$$

$$\varphi = \arctg(x/r) \quad (18)$$

Комплексное значение полного сопротивления параллельных ветвей и общее сопротивление всей цепи:

$$1/\underline{z}_{\Pi} = \sum_{k=2}^n 1/\underline{z}_k \quad (19)$$

$$\underline{z}_{об} = \underline{z}_1 + \underline{z}_{\Pi} \quad (20)$$

где  $\underline{z}_{\Pi}$  – полное сопротивление участка цепи с параллельным соединением, Ом;

$\underline{z}_k$  – полное сопротивление  $k$ -й параллельной ветви, Ом;

$k, n$  – номер и количество параллельных ветвей;

$\underline{z}_{об}$  – полное сопротивление всей цепи, Ом.

Ток в неразветвленной части цепи и в параллельных ветвях определяется на основании закона Ома по формулам:

$$I_1 = \dot{U} / \underline{z}_{об} \quad (21)$$

$$\dot{U}_{\Pi} = I_1 \underline{z}_{\Pi} \quad (22)$$

$$\dot{I}_k = \dot{U}_n / Z_k \quad (23)$$

где  $\dot{I}_I$  – ток в неразветвленной части цепи, А;

$\dot{U} = Ue^{j\psi_u}$  – напряжение источника в комплексной форме, В;

$\dot{U}_n$  – напряжение на участке с параллельным соединением ветвей, В;

$\dot{I}_k$  – ток в к-й параллельной ветви, А.

Мгновенные значения напряжения и токов на участке с параллельным соединением рассчитывается по формуле:

$$u_n = U_{mn} \sin(\omega t + \varphi_{Un}) \quad (24)$$

$$i_k = I_{km} \sin(\omega t + \varphi_{ik}) \quad (25)$$

где  $U_{mn} = U_n \sqrt{2}$  – амплитуда напряжения на участке с параллельным соединением, В;

$\varphi_{Un}$ ,  $\varphi_{ik}$  – начальная фаза напряжения и тока на участке с параллельным соединением, значение которых определяются расчетом.

Для построения векторной диаграммы расчетные значения токов и напряжений изображают на комплексной плоскости в следующей последовательности:

- 1) построить в выбранном масштабе вектор напряжения на участке цепи с параллельным соединением элементов;
- 2) в масштабе токов построить векторы токов в ветвях;
- 3) на основании первого закона Кирхгофа построить вектор тока в неразветвленной части цепи;
- 4) построить векторы напряжений на элементах  $r$ ,  $L$ ,  $C$ , включенных в неразветвленную часть цепи, и, сложив их с вектором напряжения на участке цепи с параллельным соединением, получить вектор напряжения на зажимах цепи.

Если взаимное расположение векторов токов и напряжений на отдельных участках цепи соответствует характеру нагрузки и треугольники токов и напряжений получаются замкнутыми, значит, расчет построение векторной диаграммы выполнены правильно.

Активную, реактивную и полную мощности, потребляемые из сети, определяют выражениями для комплексных значений полной мощности:

$$\underline{S} = \dot{U} I^* = S \cos \varphi \pm j S \sin \varphi = P \pm jQ \quad (26)$$

где  $I^*$  – сопряженное комплексное значение тока, отличающееся от  $I$  знаком перед мнимой частью, А;

$S = UI$  – полная мощность, ВА;

$S \cos \varphi$  – активная мощность, Вт;

$S \sin \varphi$  – реактивная мощность, вар.

При активно-индуктивном характере нагрузки знак перед  $jQ$  положительный, а при активно-емкостном – отрицательный.

При составлении баланса мощностей используем следующее выражение:

$$\underline{S} = \sum_{k=1}^n \dot{U}_k I_k^* = \sum_{k=1}^n P_k + j \sum_{k=1}^n Q_k \quad (27)$$

где  $\dot{U}_k$  – комплекс напряжения на  $k$ -ом участке цепи, В;

$I_k^*$  – сопряженный комплекс тока на данном участке, А;

$P_k = I_k^2 r_k$  – активная мощность на  $k$ -м участке цепи, Вт;

$Q_k = I_k^2 x_k$  – реактивная мощность на данном участке цепи, вар.

*Пример.* Для схемы 5 на рис. 2.6 заданы параметры цепи, Ом:  $r_1 = x_{L1} = 2$  Ом;  $r_2 = 4$  Ом;  $x_{L2} = 8$  Ом;  $r_3 = 8$  Ом;  $x_{C3} = 4$  Ом. Напряжение сети  $U = 100$  В, начальная фаза напряжения  $\psi_U = 20^\circ$ . Определить токи и мощности на всех участках цепи. Построить векторные диаграммы.

*Решение.* Комплексные значения полных сопротивлений участков цепи в алгебраической и показательной формах запишутся в виде, Ом:

$$\underline{Z}_1 = 2 + j 2 = 2.83 e^{j 45^\circ};$$

$$\underline{Z}_2 = 4 + j 8 = 8.94 e^{j 63^\circ};$$

$$\underline{Z}_3 = 8 - j 4 = 8.94 e^{-j 26^\circ}.$$

Комплексное значение полного сопротивления на участке с параллельным соединением рассчитываем по формулам:

$$\frac{1}{Z_{\Pi}} = \frac{1}{Z_2} + \frac{1}{Z_3};$$

$$Z_{\Pi} = \frac{Z_2 \cdot Z_3}{Z_2 + Z_3}$$

При делении и умножении используем показательную форму комплексного числа, а при сложении и вычитании – алгебраическую.

$$Z_{\Pi} = \frac{8,94j^{63} \cdot 8,94e^{j26}}{4+j8+8+j4} = 5,94 + j 2,05 = 6,32e^{j19}, \text{ Ом}$$

Общее сопротивление всей цепи определится:

$$Z_{\text{об}} = Z_1 + Z_{\Pi} = 2 + j 2 + 5,94 + j 2,05 = 8,9 e^{j 26}, \text{ Ом.}$$

Комплексное, а также мгновенное значение тока в неразветвленной части цепи и напряжение на участке с параллельным соединением вычисляем по формулам:

$$\dot{I}_1 = \frac{\dot{U}}{Z_{\text{об}}} = \frac{100 e^{j20}}{8,9 e^{j20}} = 11,23 e^{-j6}, \text{ А;}$$

$$i_1 = \sqrt{2} \cdot 11,23 \sin(\omega t - 6^\circ) = 15,83 \sin(\omega t - 6^\circ), \text{ А;}$$

$$\dot{U}_{\Pi} = \dot{I}_1 Z_{\Pi} = 11,23 e^{-j6} \cdot 6,32 e^{j19} = 71 e^{j13}, \text{ В.}$$

Мгновенное значение напряжения на этом участке цепи определяется выражением:

$$u_{\Pi} = \sqrt{2} \cdot 71 \sin(\omega t + 13^\circ) = 100,41 \sin(\omega t + 13^\circ), \text{ В.}$$

Комплексные и мгновенные значения токов в параллельных ветвях, А:

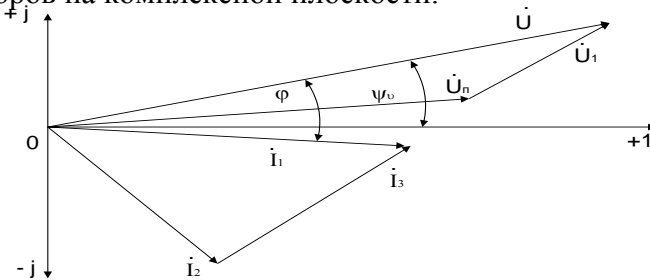
$$\dot{I}_2 = \frac{\dot{U}_{\Pi}}{Z_2} = \frac{71 e^{j13}}{8,94 e^{j63}} = 7,94 e^{-j50};$$

$$\dot{I}_3 = \frac{\dot{U}_{\Pi}}{Z_3} = \frac{71 e^{j13}}{8,94 e^{-j63}} = 7,94 e^{j39}$$

$$i_2 = \sqrt{2} \cdot 7,94 \sin(\omega t - 50^\circ) = 11,23 \sin(\omega t - 50^\circ);$$

$$i_3 = \sqrt{2} \cdot 7,94 \sin(\omega t + 39^\circ) = 11,23 \sin(\omega t + 39^\circ).$$

Построение векторной диаграммы проводится по расчетным значениям токов и напряжений, представленных на рис. 2.7 в виде векторов на комплексной плоскости.



**Рис. 2.7.** Векторная диаграмма токов и напряжений



Векторная диаграмма напряжений строится на основе уравнений, составленных по второму закону Кирхгофа

$$\dot{U} = \dot{U}_\Pi + \dot{U}_1,$$

где  $\dot{U}_1 = I_1 Z_1 = 31,78 e^{j39}$  – падение напряжения на первом участке цепи, а векторная диаграмма токов строится на основе уравнения, составленного по первому закону Кирхгофа:

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_2 + \dot{I}_3.$$

Полная мощность источника определяется выражением:

$$\underline{S} = \dot{U}^* I = P + jQ = 100 e^{j20} \cdot 11,23 e^{j6} = 1008,8 \text{ Вт} + j 504,4 \text{ вар}.$$

Активная мощность всех участков цепи равна действительной части комплексного значения полной мощности источника и определяется

$$P = I_1^2 r_1 + I_2^2 r_2 + I_3^2 r_3 = 11,23^2 \cdot 2 + 7,94^2 \cdot 4 + 7,94^2 \cdot 8 = 1008,8 \text{ Вт}.$$

Реактивная мощность всех участков цепи равна мнимой части комплексного значения полной мощности источника определяется выражением:

$$Q = I_1^2 X_{L1} + I_2^2 X_{L2} - I_3^2 X_{C3} = 11,23^2 \cdot 2 + 7,94^2 \cdot 8 - 7,94^2 \cdot 4 = 504,4 \text{ вар}.$$

Вывод задача решена правильно.

Теоретический материал и примеры расчета приведены в [1, § 2.1–2.10; 2, § 4.1–4.12, 5.1–5.9].

### **Задание 5. Тема: «Трехфазные цепи переменного тока»**

*Условие задачи.* К трехфазному источнику с симметричной системой фазных напряжений подключены сопротивления, распределение которых по фазам приводится в табл. 2.6. Значения линейного напряжения  $U_\Pi$ , активных  $r$ , индуктивных  $x_L$  и емкостных  $x_C$  сопротивлений приемников даны в табл. 2.7. При расчете цепи необходимо пренебречь сопротивлением линейных и нейтрального проводов.

Таблица 2.6

## Характер нагрузки по фазам

Вариант	Сопротивления в фазах приемника		
	Фаза А	Фаза В	Фаза С
1	$r_1, X_{L1}$	$r_2, X_{C2}$	$X_{C3}$
2	$r_1, X_{L1}$	$X_{L2}$	$r_3$
3	$r_1, X_{C1}$	$r_2$	$r_3, X_{C3}$
4	$r_1, X_{L1}$	$r_2, X_{L2}$	$X_{C3}$
5	$r_1$	$r_2, X_{L2}$	$r_3, X_{C3}$
6	$r_1, X_{C1}$	$r_2, X_{C2}$	$X_{L3}$
7	$r_1$	$r_2$	$r_3, X_{L3}$
8	$X_{C1}$	$X_{C2}$	$r_3, X_{L3}$
9	$r_1$	$X_{C2}$	$r_3$
0	$X_{L1}$	$X_{L2}$	$r_3, X_{C3}$

Требуется:

- 1) нарисовать схему соединения приемников в звезду с нулевым проводом;
- 2) определить токи в линейных и нейтральном проводах;
- 3) определить активную и реактивную мощности, потребляемые цепью;
- 4) построить векторную диаграмму;
- 5) включить эти же элементы приемника по схеме треугольника, определить фазные и линейные токи.

Таблица 2.7

## Исходные данные

Величина	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$U_{л}, В$	220	220	220	380	220	380	220	380	380	380
$r_1, Ом$	8	10	11	12	10	6	4	8	10	11
$X_{L1}, Ом$	8	7	6	4	8	4	3	5	9	10
$X_{C1}, Ом$	8	8	8	16	8	5	10	6	10	12
$r_2, Ом$	5	8	9	10	11	6	8	4	10	10
$X_{L2}, Ом$	11	5	5	8	4	6	2	11	12	6
$X_{C2}, Ом$	6	12	7	12	14	9	8	8	10	11
$r_3, Ом$	6	8	8	7	9	3	5	4	10	6
$X_{L3}, Ом$	10	11	6	7	8	5	3	4	5	9
$X_{C3}, Ом$	7	4	7	11	8	5	9	8	10	6

*Общин методические указания.* При решении задачи требуется рассмотреть трехфазные цепи переменного тока и основные схемы соединения потребителей.

Расчет токов необходимо проводить с применением символического метода расчета на основе закона Ома, представить фазные напряжения и сопротивления каждой фазы приемника в виде комплексного числа, где действительной частью является активное сопротивление, а мнимой частью – реактивное сопротивление:

$$\dot{U}_a = U_a \cdot e^{j0}; \quad \dot{U}_b = U_b \cdot e^{-j120}; \quad \dot{U}_c = U_c \cdot e^{j120} \quad (28)$$

$$\underline{Z} = r \pm jx = Z e^{\pm j\varphi} \quad (29)$$

$$Z = \sqrt{r^2 + x^2} \quad (30)$$

$$\varphi = \arctg(x/r) \quad (31)$$

$$I_a = \dot{U}_a / \underline{Z}_a; \quad I_b = \dot{U}_b / \underline{Z}_b; \quad I_c = \dot{U}_c / \underline{Z}_c \quad (32)$$

где  $U_a = U_b = U_c = U_{\text{л}} / \sqrt{3}$  – фазные напряжения на потребителе, В;

$r, x$  – активное и реактивное сопротивления в фазе, Ом;

$Z, \varphi$  – модуль и фаза сопротивления нагрузки.

Ток в нейтральном проводе определяется на основе первого закона Кирхгофа по формуле:

$$I_N = I_a + I_b + I_c \quad (33)$$

Активная и реактивная мощности трехфазной цепи определяются как сумма соответствующих мощностей каждой из фаз. Если в фазе включено емкостное сопротивление, то реактивная мощность берется со знаком «–», а при индуктивном сопротивлении – со знаком «+»

$$P = P_a + P_b + P_c = I_a^2 r_a + I_b^2 r_b + I_c^2 r_c \quad (34)$$

$$Q = Q_a + Q_b + Q_c = I_a^2 x_a + I_b^2 x_b + I_c^2 x_c \quad (35)$$

где  $P_a, P_b, P_c$  – активные мощности соответствующих фаз приемника, Вт;

$Q_a, Q_b, Q_c$  – реактивные мощности соответствующих фаз приемника, вар.

Для построения векторной диаграммы выбираем масштаб и строим равносторонний треугольник линейных напряжений.

Соединив центр треугольника с его вершинами, получим векторы фазных напряжений. Выбрав масштаб токов, строим векторы линейных токов, ориентируя их соответствующим образом относительно векторов фазных напряжений.

При соединении этих же элементов по схеме в треугольник фазные напряжения увеличиваются до линейных. Для определения фазных напряжений за начало отсчета принимаем вектор напряжения в фазе А.

$$\dot{U}_{ав} = U_{л} e^{j30}; \dot{U}_{вс} = U_{л} e^{-j90}; \dot{U}_{са} = U_{л} e^{j150} \quad (36)$$

Токи в линейных проводах определяются как геометрическая разность двух фазных токов

$$\dot{I}_A = \dot{I}_{ав} - \dot{I}_{са}; \quad \dot{I}_B = \dot{I}_{вс} - \dot{I}_{аб}; \quad \dot{I}_C = \dot{I}_{са} - \dot{I}_{вб}. \quad (37)$$

*Пример.* В трехфазной цепи на рис. 2.8 задано линейное напряжение

$U_{л} = 220$  В и значения сопротивлений приемника:  $r_1 = 40$  Ом,  $x_{L1} = 20$  Ом,  $r_2 = 30$  Ом,  $x_{C2} = 30$  Ом,  $r_3 = 80$  Ом.

Требуется:

1) определить линейные токи и ток в нулевом проводе;

2) построить векторную диаграмму при подключении нагрузки по схеме звезда;

3) определить фазные и линейные токи при подключении потребителей по схеме в треугольник.

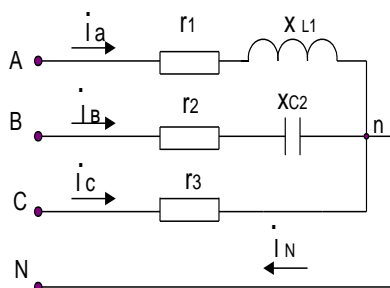
*Решение.* Запишем напряжения в фазах приемника в комплексной форме:

$$U_{\phi} = U_{л} / \sqrt{3} = 220 / \sqrt{3} = 127 \text{ В},$$

$$\dot{U}_a = 127 e^{j0}, \text{ В}; \quad \dot{U}_b = 127 e^{-j120}, \text{ В}; \quad \dot{U}_c = 127 e^{j120}, \text{ В}.$$

Модуль и фаза сопротивления приемника в фазе А определяются выражениями

$$Z_a = \sqrt{r_1^2 + x_{L1}^2} = \sqrt{40^2 + 20^2} = 44,72 \text{ Ом};$$



**Рис. 2.8.** Расчетная схема

$$\varphi_a = \arctg(20/40) = 26,6^0,$$

$$\underline{Z}_a = z_a e^{j\varphi_a} = 44,72 e^{j26,6}, \text{ Ом.}$$

Модуль и фаза сопротивления приемника в фазе В

$$Z_B = \sqrt{r_2^2 + x_{c2}^2} = \sqrt{30^2 + 30^2} = 42,42 \text{ Ом};$$

$$\varphi_B = \arctg(-30/30) = -45^0,$$

$$\underline{Z}_B = z_B e^{j\varphi_B} = 42,42 e^{-j45}, \text{ Ом.}$$

Модуль и фаза сопротивления приемника в фазе С

$$Z_c = \sqrt{r_3^2 + x_3^2} = \sqrt{80^2 + 0^2} = 80 \text{ Ом};$$

$$\varphi_c = \arctg(0/80) = 0^0,$$

$$\underline{Z}_c = z_c e^{j\varphi_c} = 80 e^{j0}, \text{ Ом.}$$

При соединении приемника в звезду токи линейные равны токам фазным и определяются по закону Ома формулами, А:

$$\dot{I}_a = \frac{\dot{U}_a}{\underline{Z}_a} = \frac{127 e^{j0}}{44,72 e^{j26,6}} = 2,84 e^{-j26,6} = 2,53 - j 1,27;$$

$$\dot{I}_B = \frac{\dot{U}_B}{\underline{Z}_B} = \frac{127 e^{-j120}}{44,72 e^{-j45}} = 2,99 e^{-j75} = 0,78 - j 2,88;$$

$$\dot{I}_c = \frac{\dot{U}_c}{\underline{Z}_c} = \frac{127 e^{j120}}{80 e^{j0}} = 1,58 e^{j120} = -0,77 + j 1,35.$$

Ток в нулевом проводе определяется на основе первого закона Кирхгофа для узла n

$$\dot{I}_N = \dot{I}_a + \dot{I}_B + \dot{I}_c = 2,53 - j 1,27 + 0,78 - j 2,88 - 0,77 + j 1,35 = 3,78 e^{-j47,8}, \text{ А.}$$

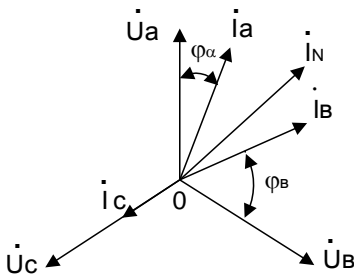


Рис. 2.9. Векторная диаграмма

Векторная диаграмма для заданных параметров схемы приводится на рис. 2.9, где вектор тока в нейтральном проводе равен геометрической сумме линейных токов.

При соединении нагрузки в треугольник фазные напряжения определяются формулами, В:

$$\dot{U}_{ab} = 220 e^{j30}; \quad \dot{U}_{bc} = 220 e^{-j90};$$

$$\dot{U}_{ca} = 220 e^{j150}, \text{ В.}$$

Токи в фазах приемника определяются на основе закона Ома формулами, А:

$$\dot{I}_a = \frac{\dot{U}_a}{\underline{Z}_a} = \frac{220 e^{j30}}{44.72 e^{j26.6}} = 4,92 e^{j3.4} = 4.91 + j 0,065;$$

$$\dot{I}_b = \frac{\dot{U}_b}{\underline{Z}_b} = \frac{220 e^{-j90}}{42.42 e^{-j45}} = 5,18 e^{-j45} = 3,66 - j 3,66 ;$$

$$\dot{I}_c = \frac{\dot{U}_c}{\underline{Z}_c} = \frac{220 e^{j150}}{80 e^{j0}} = 2,75 e^{j150} = -2,38 + j 1,38.$$

Токи в линейных проводах рассчитываются по формулам, А:

$$\dot{I}_A = \dot{I}_{ab} - \dot{I}_{ca} = 4,91 + j 0,065 + 2,38 - j 1,38 = 7,29 - j 1,315 = 7.32 e^{-j10};$$

$$\dot{I}_B = \dot{I}_{bc} - \dot{I}_{ab} = 3,66 - j 3,66 - 4,91 - j 0,065 = -1,25 - j 3,725 = 3.8 e^{j111};$$

$$\dot{I}_C = \dot{I}_{ca} - \dot{I}_{bc} = -2,38 + j 1,38 - 3,66 + j 3,66 = -6,04 + j 5,04 = 7,85 e^{j159}.$$

Сравнительный анализ линейных токов в расчетной трехфазной цепи для различных схем соединения при заданных сопротивлениях в фазах приемника приводится в табл. 2.8.

Таблица 2.8

Анализ линейных токов

Схема соединения приемника	Токи в линейных проводах , в А		
	$I_A$	$I_B$	$I_C$
Звезда	2.84	2.99	1.58
Треугольник	7.14	3.8	6.46

### Заключение

Данное пособие дает возможность студенту заочнику самостоятельно выполнить контрольную работу в соответствии с индивидуальным вариантом, используя методические рекомендации и примеры решения наиболее сложных задач.

Правильно выполненная контрольная работа указывает не только на изучение теоретического материала данной дисциплины, но и на умение применить теорию к решению и анализу практических инженерных задач.

**Вопросы к зачету:**

1. Понятие о полном токе.
2. Механизм электропроводности веществ.
3. Электрический ток, его направление. Сила тока, единицы ее измерения. Плотность тока.
4. Последовательное и параллельное соединение. Определение эквивалентного сопротивления смешанного соединения.
5. Напряжение на участке цепи. Закон Ома для участка цепи не содержащего ЭДС.
6. Закон Ома для участка цепи содержащего ЭДС.
7. Неразветвленные и разветвленные линейные цепи постоянного тока. Ветвь, узел, контур.
8. I закон Кирхгофа.
9. II закон Кирхгофа
10. Баланс мощностей в электрических цепях.
11. Преобразование треугольника сопротивлений в эквивалентную звезду.
12. Преобразование звезды сопротивлений в эквивалентный треугольник .
13. Расчет линейных электрических цепей постоянного тока с одним источником ЭДС методом преобразования.
14. Метод пропорциональных величин.
15. Заземление одной точки схемы.
16. Потенциальная диаграмма.
17. Метод наложения токов.
18. Метод узловых и контурных уравнений.
19. Метод контурных токов.
20. Метод узловых потенциалов.
21. Теорема взаимности.
22. Теорема компенсации.
23. Метод 2-х узлов.
24. Активный и пассивный двухполюсник.
25. Метод эквивалентного генератора.

26. Передача энергии от активного двухполюсника нагрузке.
27. ВАХ линейного элемента
28. ВАХ нелинейных элементов.
29. Графический метод расчета нелинейных цепей постоянного тока при последовательном соединении элементов.
30. Графический метод расчета нелинейных цепей постоянного тока при параллельном соединении элементов
31. Графический метод расчета нелинейных цепей постоянного тока при смешанном соединении элементов.
32. Однофазный синусоидальный ток, получение, достоинства.
33. Параметры однофазного синусоидального тока: амплитуда, частота, начальная фаза, сдвиг по фазе.
34. Действующее и среднее значение синусоидального тока.
35. Правила построения векторной диаграммы.
36. Активное сопротивление.
37. Цепь синусоидального тока с активным сопротивлением.
38. Индуктивное сопротивление.
39. Цепь синусоидального тока с активным сопротивлением.
40. Емкостное сопротивление.
41. Цепь синусоидального тока с емкостным сопротивлением.
42. Цепь синусоидального тока с реальной катушкой индуктивности.
43. Цепь синусоидального тока с реальным конденсатором.
44. Цепь синусоидального тока с последовательным сопротивлением активного, индуктивного, емкостного сопротивлений.



45. Цепь синусоидального тока с параллельным соединением активного, индуктивного и емкостного сопротивлений
46. Цепь синусоидального тока со смешанным соединением активного, индуктивного и емкостного сопротивлений.
47. Основные понятия при расчете цепей синусоидального тока символическим методом.
48. Символическое изображение тока и напряжения в цепи с активным, индуктивным и емкостным сопротивлением.
49. Комплексное сопротивление, комплексная проводимость. Закон Ома в символической форме записи.
50. Изображение мощности в символической форме. Законы Кирхгофа в символической форме.

**Вопросы к экзамену:**

1. Основные магнитные величины, связь между ними.
2. Основные характеристики магнитного поля.
3. Закон полного тока.
4. Классификация магнитных материалов.
5. Явление гистерезиса. Петля гистерезиса.
6. Магнитомягкие и магнитотвердые материалы.
7. I-й Закон Кирхгофа для магнитной цепи.
8. II-й Закон Кирхгофа для магнитной цепи.
9. Закон Ома для магнитной цепи.
10. Магнитное сопротивление, схема замещение магнитной цепи.
11. Аналогия между магнитными и электрическими цепями.
12. Вебер- амперная характеристика, правила ее построения.
13. Вебер- амперная характеристика, влияние воздушного зазора на ее вид.
14. Алгоритмы решения прямой задачи для расчета однородной неразветвленной магнитной цепи.
15. Алгоритм решения обратной задачи для расчета однородной неразветвленной магнитной цепи.
16. Трехфазная система э.д.с.
17. Соединение звездой. Фазные и линейные напряжения. Соотношения между ними.
18. Соединение треугольником Фазные и линейные напряжения. Соотношения между ними.
19. Соединение звезда- звезда с нулевым проводом. Симметричная и несимметричная нагрузка.
20. Оператор трехфазной системы.
21. Соединение звезда- звезда без нулевого провода.
22. Активная, реактивная, полная мощность трехфазной цепи.
23. Несинусоидальные периодические напряжения и токи, их изображение с помощью ряда Фурье.

24. Коэффициенты ряда Фурье, Способы их определения.
25. Действующие значения несинусоидальных токов и напряжений.
26. Активная, реактивная и полная мощность в цепи несинусоидального тока.
27.  $R$ ,  $L$ ,  $C$  –сопротивление в цепи несинусоидального тока.
28. Основные понятия о четырехполоснике.
29. Основные уравнения четырехполосника, комплексные коэффициенты.
30. Опыт х.х. и к.з., и определение из них параметров четырехполосника.
31. Входное сопротивление четырехполосника при произвольной нагрузке.
32. Характеристическое сопротивление четырехполосника.
33. Постоянная передача четырехполосника.
34. Т- образная схема замещения четырехполосника. Определение ее сопротивлений через коэффициенты  $A$ ,  $C$ ,  $D$ .
35. П- образная схема замещения четырехполосника. Определение ее сопротивлений через коэффициенты  $A$ ,  $B$ ,  $D$ .
36. Что такое цепи с распределенными параметрами.
37. Какие линии относятся к линиям с распределенными параметрами.
38. Схема замещения линии с распределенными параметрами.
39. Однородные линии с распределенным параметрами.
40. Дифференциальные уравнения линии с распределенными параметрами.
41. Решение д. у. линий с распределенными параметрами.
42. Первичные параметры.
43. Вторичные параметры.
44. Падающие волны.
45. Отраженные волны.
46. Стоячие волны.
47. Коэффициенты отражения по напряжению и току.

48. Начальные и граничные условия
49. Фазовая скорость.
50. Длина волны.
51. Линия без потерь.
52. Линия без искажений.
53. Аналогия между уравнениями линии с распределенными параметрами и уравнениями четырехполюсника.
54. Всегда ли возможна замена линии с распределенными параметрами четырехполюсником и наоборот. Объяснить оба случая.
55. Что такое переходные процессы.
56. Приведение задачи о п.п. к решению д.у. с постоянными коэффициентами.
57. Полный ток при п.п.
58. Свободная составляющая тока при п.п.
59. Принужденная составляющая тока при п.п.
60. I закон коммутации
61. II закон коммутации
62. Нулевые и ненулевые начальные условия.
63. Какие методы применяются в энергетике для расчета п.п.

**Глоссарий (толковый словарь терминов)****А**

**Активные элементы электрических цепей** – элементы цепи, которые отдают энергию в цепь, т.е. источники энергии. Существуют независимые и зависимые источники.

**Ампер** – (Ampere) Андре Мари (1775-1836). Член Петербургской Академии наук. Один из основоположников электродинамики. Открыл механическое взаимодействие токов. Создал первую теорию магнетизма.

**Амперметр** – прибор для измерения силы тока в амперах. Шкалу амперметров градуируют в микроамперах, миллиамперах, амперах или килоамперах в соответствии с пределами измерения прибора.

**В**

**Вебер** – (Weber) Вильгельм Эдуард (1804-1891). Член Петербургской Академии наук. Автор ряда трудов по электричеству и магнетизму. Совместно с Гауссом разработал систему электрических и магнитных единиц.

**Вебер-амперная характеристика** – зависимость потокосцепления элемента или участка электрической цепи от электрического тока в этом или другом элементе или участке электрической цепи

**Векторная диаграмма** – совокупность векторов на комплексной плоскости, изображающих синусоидально изменяющиеся функции времени одной и той же частоты и построенных с соблюдением правильной ориентации их относительно друг друга по фазе.

**Вольт** – (Volta) Алессандро (1745-1827). Один из основоположников учения об электричестве. Создал первый химический источник тока. Открыл контактную разность потенциалов.

**Вольтамперные характеристики (ВАХ)** – характеристики, изображающие связь между током, протекающим через какой либо элемент электрической цепи, и падением напряжения на нем в статическом режиме.

**Второй закон Кирхгофа** – алгебраическая сумма падений магнитного напряжения вдоль любого замкнутого контура равна алгебраической сумме МДС (магнитодвижущая сила) вдоль того же контура:  $\sum U_m = \sum I_w$

### Г

**Генри** – (Henry) Джозеф (1797-1878). Построил мощные электромагниты и электрический двигатель. Независимо от Фарадея открыл явление самоиндукции. Установил колебательный характер разряда конденсатора.

### Д

**Джоуль** – (Joule) Джеймс Прескотт (1818-1889). Экспериментально обосновал закон сохранения энергии, определил механический эквивалент теплоты.

**Длинная линия без потерь** – это линия, у которой приняты за нуль значения продольного активного сопротивления и поперечной активной проводимости

### Е

**Единица величины тока** – 1 ампер, определяемый как количество электричества в 1 кулон, прошедшего через поперечное сечение проводника в 1 секунду

**Единица мощности** – 1 ватт (Вт); 1000 ватт составляют 1 киловатт (кВт), который равен 1,36 лошадиной силы (л. с.) л. с. равна 736 Вт.

**Единица частоты** – герц (Гц).

**Единица ЭДС** – вольт (В).

**Емкостный элемент** – это идеализированный схемный элемент, позволяющий учесть протекание токов смещения и явление накопления энергии в электрическом поле реальных элементов электрической цепи.

### З

**Зависимыми (управляемыми)** источники напряжения (тока). Источники напряжения (тока) называются **зависимыми (управляемыми)**, если величина напряжения (тока) источника зависит от напряжения или тока другого участка цепи. Зависимыми источниками моделируются электронные лампы, транзисторы, усилители, работающие в линейном режиме.

## И

**Идеальный источник энергии** – источник напряжения с нулевым внутренним сопротивлением **Изотропия** - (отизо.. и греч. tropoz -направление) независимость свойств физического объекта от направления.

**Индуктивность** (или **коэффициент самоиндукции**) – коэффициент пропорциональности между электрическим током, текущим в каком-либо замкнутом контуре, и магнитным потоком, создаваемым этим током через поверхность, краем которой является этот контур. В системе единиц СИ индуктивность измеряется в генри, сокращённо «Гн».

**Индукция** - от латинскогоinductio наведение.

**Индуктивный элемент (катушкой индуктивности)** – математическая модель любого электротехнического устройства (или его части) способного накапливать энергию магнитного поля в локализованном объёме

**Источник напряжения** – идеализированный элемент электрической цепи, напряжение, на зажимах которого не зависит от протекающего через него тока. Внутреннее сопротивление идеального источника напряжения равно нулю.

**Источник тока** – это идеализированный элемент электрической цепи, ток которого не зависит от напряжения на его зажимах. Внутреннее сопротивление идеального источника тока равно бесконечности.

## К

**Кирхгоф** – (Kirchhoff) Густав Роберт (1824-1887), член Петербургской Академии наук. Установил правила описания электрических цепей. Открыл цезий и рубидий. Ввел понятие абсолютно черного тела и закон излучения.

**Коммутативность** – свойство инвариантности при перестановке элементов

**Коэффициент амплитуды  $k_a$**  – это отношение амплитуды периодически изменяющейся функции к ее действующему значению.

**Коэффициент формы  $k_f$**  – отношение действующего значения периодически изменяющейся функции к ее среднему за полпериода значению.

## Л

**Ленц Эмилий Христианович** (1804-1865). Член Петербургской Академии наук. Установил связь между током и создаваемым им магнитным потоком, экспериментально обосновал преобразование электрической энергии в тепловую. Создал методы расчета электромагнитов.

**Линии магнитной индукции** – это линии, касательными к которой в любой её точке является вектор магнитной индукции.

## М

**Магнитная индукция** – среднее результирующее магнитное поле в веществе.

**Магнитодвижущая сила** – катушки или обмотки называют произведение числа витков катушки  $w$  на протекающий на ней ток  $I$ .

**Магнитное поле** - это особый вид материи, посредством которой осуществляется взаимодействие между движущимися электрически заряженными частицами.

**Магнитное поле (постоянное или стационарное)** – это магнитное поле, неизменяющееся во времени.

**Магнитное поле (однородное)** – это магнитное поле, у которого в любой его точке вектор магнитной индукции неизменен по величине и направлению; наблюдается между пластинами плоского конденсатора, внутри соленоида (если его диаметр много меньше его длины) или внутри полосового магнита.

**Магнитные силы** – это силы, с которыми проводники с током действуют друг на друга.

**Максвелл** – (Maxwell) Джеймс Клерк (1831-1879). Создатель классической электродинамики, один из основоположников статистической физики, создатель теории электромагнитного поля. Автор ряда трудов по колориметрии, оптике, теории упругости, термодинамике и др.



**Максвелла уравнения** – основные уравнения классической макроскопической электродинамики, описывающие электромагнитные явления в произвольных средах и в вакууме.

## Н

**Намагничивающая сила** – катушки или обмотки называют произведение числа витков катушки  $w$  на протекающий на ней ток  $I$ .

**Напряженность магнитного поля** – силовая характеристика магнитного поля, не зависящая от магнитных свойств среды. В среде определяет вклад в магнитную индукцию, который дают внешние источники тока.

**Напряженность электрического поля** – основная силовая характеристика электрического поля, равная отношению силы, действующей на точечный электрический заряд в данной точке пространства, к величине заряда.

**Независимые источники энергии бывают:** источник напряжения и источник тока.

**Независимый электрический контур** – это контур, в который входит хотя бы одна новая ветвь.

**Нелинейная цепь** – электрическая цепь, в которой присутствует хотя бы один нелинейный элемент.

**Нелинейный элемент** – элемент электрической цепи, у которого нет линейной зависимости между напряжением и током.

## О

**Однородная длинная линия** – это линия, в которой параметры одного участка повторяются на остальных участках.

**Ом** - (Ohm) Георг Симон (1787-1854). Установил основной закон электрических цепей. Автор ряда трудов по акустике и кристаллооптике.

## П

**Падение напряжения (напряжение)** – разность потенциалов между двумя точками электрической цепи,

положительным направлением которого считается направление к точке с более низким потенциалом.

**Пассивная электрическая цепь** – Электрическая цепь, не содержащая источников электрической энергии.

**Пассивный ЧП** – четырехполусник, не содержащий в своей структуре источников энергии.

**Первый закон Кирхгофа для магнитной цепи** – алгебраическая сумма магнитных потоков в любом узле магнитной цепи равна нулю:  $\sum \Phi_k = 0$ .

**Период колебания тока** – время, за которое ток проходит полный цикл указанных изменений.

**Периодическим несинусоидальным током и напряжением** – называют ток и напряжение, изменяющиеся во времени по периодическому несинусоидальному закону.

**Потоком рассеяния** – называют поток, который замыкается минуя основной путь.

**Полная мощность  $S$**  равна произведению действующего значения несинусоидального напряжения на действующее значение несинусоидального тока  $S = UI$ .

**Приемник электрической энергии** – элемент цепи, в котором электрическая энергия преобразуется в тепловую, механическую и др. энергию.

## **Р**

**Реальный источник энергии** – источник напряжения с величиной электродвижущей силы и внутренним сопротивлением. В источнике электрической энергии происходит преобразование различных видов энергии в электрическую.

**Резистивное сопротивление** – идеализированный элемент электрической цепи, обладающий свойством необратимого рассеивания энергии.

**Резистивный элемент (резистор)** – математическая модель любого электротехнического устройства (или его части) в котором энергия электромагнитного поля преобразуется в теплоту.

## С

**Сименс** – (Siemens) Эрнст Вернер (1816-1892). Член-корреспондент Петербургской Академии наук. Создал электромашинный генератор с самовозбуждением, телеграф. Основатель и владелец электротехнических заводов в Европе.

**Симметричный ЧП** – устройство, которое со стороны выходных зажимов представляет такую же цепь, как и со стороны входящих зажимов.

**Стабилизированные источники питания** – источники электрической энергии, в которых для поддержания постоянным напряжения и/или тока на выходе используются внутренние системы автоматического управления.

**Схема электрической цепи** – графическое изображение электрической цепи, показывающее последовательность соединений ее участков и отображающее свойства рассматриваемой электрической цепи.

## Т

**Тесла** – (Tesla) Никола (1856-1943). Описал явление вращающегося магнитного поля. Разработал многофазные электрические машины и системы распределения энергии.

**Ток постоянный** – электрический ток, который с течением времени изменяется по величине и направлению. Постоянный ток дают гальванические элементы, аккумуляторы, генераторы постоянного тока.

**Ток переменный** – электрический ток, который с течением времени изменяется по величине и направлению или, в частном случае, изменяется по величине, сохраняя своё направление в электрической цепи неизменным.

Трёхфазная цепь – совокупность трёхфазной системы ЭДС, трёхфазной нагрузки и соединительных проводов.

## Ф

**Фарадей** – (Faraday) Майкл (1791-1867). Член Петербургской Академии наук. Основатель учения об электромагнитном поле. Открыл электромагнитную индукцию, законы электролиза, явление вращения плоскости поляризации света в магнитном поле и др.

## Ц

**Цепь с распределенными параметрами или длинная линия** – электрическая цепь, в которой каждый сколь угодно малый участок линии может обладать сопротивлением и индуктивностью, а между проводами – проводимостью и емкостью.

## Ч

**Частота переменного тока** – число периодов в секунду. Стандартная частота переменного тока принята у нас 50 периодов в секунду.

**Четырехполюсник (ЧП)** – устройство, содержащее две пары зажимов, одна из которых служит для подключения к источнику, а другая – к приемнику.

## Э

**Электрическая ветвь** – участок цепи, образованный последовательно соединенными элементами, по которым протекает один и тот же ток.

**Электрическая емкость** – величина, характеризующая способность проводника удерживать электрический заряд.

**Электрическая индукция** – величина, характеризующая электрическое поле в веществе наряду с напряженностью.

**Электрическая работа** – произведение мощности на время.

**Электрическая схема** – условное графическое изображение электрической цепи.

**Электрическая цепь** – совокупность источников электрической энергии, приемников и соединяющих их проводников.

**Электрический генератор** – устройство для преобразования различных видов энергии (механической, химической, тепловой и др.) в электрическую.

**Электрический двигатель** – электрическая машина для преобразования электрической энергии в механическую.

**Электрический заряд** – величина, определяющая интенсивность электромагнитного взаимодействия заряженных частиц; источник электромагнитного поля.

**Электрический контур** – любой замкнутый участок цепи.

**Электрический ток** – направленное (упорядоченное) движение электрических зарядов по проводнику.

**Электрический трансформатор** – электрическая машина, не имеющая подвижных частей, преобразующая переменный ток одного напряжения в переменный ток другого напряжения.

**Электрический узел** – точка цепи, где сходятся не менее трех ветвей.

**Электрическое поле** – частная форма проявления электромагнитного поля; создается электрическими зарядами или переменным магнитным полем.

**Электродвижущая сила** – величина, характеризующая источник энергии неэлектростатической природы в электрической цепи, необходимый для поддержания в ней электрического тока.

**Электромагнитное поле** – особая форма материи, посредством которой осуществляется взаимодействие между заряженными частицами.

**Электромагнитные волны** – электромагнитное поле, распространяющееся в пространстве с конечной скоростью, зависящей от свойств среды.

**Электростатическое поле** – электрическое поле неподвижных электрических зарядов.

**Элементом электрической цепи** называют идеализированное устройство, отображающее какое-либо из свойств реальной электрической цепи.

## **Я**

**Явление индукции** – называется возникновение в замкнутом проводнике электрического тока при пересечении им магнитного потока, создаваемого постоянным или электрическим магнитом.

### Тесты

№	Вопрос	№	Ответ
	Содержание		Содержание
1	Электрический ток в проводниках второго рода образован движением	1	электронов.
		2	атомов.
		3	ионов.
		4	квантов энергии.
2	К проводникам первого рода относится	1	железо.
		2	слюда.
		3	раствор железного купороса в воде.
		4	ионизированный газ.
3	Электрическое сопротивление измеряется	1	в ваттах.
		2	в амперах.
		3	в вольтах.
		4	в омах.
4	В сименсах измеряется	1	сопротивление.
		2	потенциал.
		3	проводимость.
		4	напряжение.
5	Наибольшей проводимостью обладают	1	газы.
		2	электролиты.
		3	жидкие диэлектрики.
		4	металлы.
6	Медь является проводником	1	первого рода.
		2	второго рода.
		3	третьего рода.
		4	правильный ответ не дан.
7	К диэлектрикам относится	1	железо.
		2	слюда.
		3	раствор железного купороса в воде.
		4	ионизированный газ.
8	При увеличении температуры алюминиевого проводника его сопротивление	1	не изменится
		2	уменьшится
		3	увеличится
		4	сначала увеличится, затем уменьшится.

9	При уменьшении температуры проводника второго рода его сопротивление	1	не изменится.
		2	уменьшится.
		3	увеличится.
		4	сначала увеличится, затем уменьшится.
10	Отрицательный температурный коэффициент сопротивления имеет	1	кремний.
		2	нихром.
		3	сталь
		4	алюминий.
11	Температурный коэффициент сопротивления	1	отрицателен и у меди и у селена.
		2	положителен у селена; отрицателен у меди.
		3	положителен и у меди и у селена.
		4	положителен у меди; отрицателен у селена.
12	Проводимостью называется величина, обратная	1	току
		2	напряжению
		3	сопротивлению
		4	температурному коэффициенту сопротивления
13	Температурный коэффициент сопротивления электротехнических материалов может быть определен	1	только опытным путем.
		2	по формуле закона Ома.
		3	по формуле закона Джоуля-Ленца.
		4	по справочнику.
14	Удельная проводимость электротехнических материалов может быть определена	1	только опытным путем.
		2	по формуле $U/I$
		3	по формуле $UI$
		4	по справочнику.
15	Сопротивление проводника определяется	1	только измерением.
		2	по формуле $U/I$ или измерением.
		3	по формуле $UI$ или измерением.
		4	по справочнику.
16	Формула и $U/I$ является математическим выражением	1	закона Джоуля-Ленца.
		2	закона Ампера.
		3	теоремы Гаусса.
		4	закона Ома.

17	По формуле $I/U$ находится	1	проводимость проводника.
		2	сопротивление проводника.
		3	удельная проводимость материала.
		4	удельное сопротивление материала.
18	В воздухе невозможен	1	дуговой электрический разряд.
		2	тихий электрический разряд.
		3	тлеющий электрический разряд.
		4	искровой электрический разряд.
19	В n-полупроводниках электрическая проводимость обусловлена	1	перемещением свободных протонов.
		2	перемещением «дырок».
		3	перемещением свободных электронов.
		4	перемещением ионов.
20	При добавлении к четырехвалентному германию трехвалентного индия в качестве примеси будет получен полупроводник	1	с дырочной проводимостью.
		2	с электронной проводимостью.
		3	с электронно-дырочной проводимостью.
		4	с дырочно-электронной проводимостью.
21	Удельное электрическое сопротивление веществ измеряется	1	только в Ом мм <sup>2</sup> /м
		2	только в Ом /м
		3	только в Ом м
		4	В Ом м и Ом мм <sup>2</sup> /м
22	Электрическую проводимость газа можно получить	1	его нагревом.
		2	его увлажнением.
		3	его охлаждением.
		4	его перемешиванием.
23	В воздухе возможны все виды электрических разрядов, кроме	1	дугового.
		2	тихого.
		3	тлеющего.
		4	искрового.
		5	тёмный
24	Неионизированный аргон является	1	проводником 1 -го рода.
		2	проводником 2-го рода.
		3	проводником 3-го рода.
		4	диэлектриком.



25	Ионизированный ксенон является	1	проводником 1 -го рода.
		2	проводником 2-го рода.
		3	проводником 3-го рода.
		4	диэлектриком.
26	Электрический ток измеряется	1	в вольтах.
		2	в кулонах.
		3	в кулонах в секунду.
		4	в вольтах в секунду.
27	Положительным считается ток от	1	положительного полюса источника питания к отрицательному.
		2	отрицательного полюса источника питания к положительному.
		3	северного полюса источника питания к южному.
		4	южного полюса источника питания к северному.
28	Нихром используется для изготовления	1	проводов.
		2	нагревательных элементов.
		3	выпрямительных диодов.
		4	фотоэлементов.
29	Для изготовления выпрямительных диодов можно использовать	1	нихром.
		2	фехраль.
		3	селен.
		4	кобальт.
30	Электрический ток, направление которого периодически меняется, называется	1	переменчивым.
		2	переменным.
		3	изменчивым.
		4	изменяющимся.
31	Положительным направлением магнитного поля считается направление	1	от северного полюса к южному
		2	от южного полюса к северному
		3	направление поля принимается произвольно
		4	Правильный ответ не дан.

32	Абсолютная магнитная проницаемость вакуума	1	равна $4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м и называется электрической постоянной.
		2	равна $4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м и называется магнитной постоянной.
		3	равна $8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м и называется электрической постоянной.
		4	равна $8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м и называется магнитной постоянной.
33	Напряженность магнитного поля измеряется	1	в веберах
		2	в А/м
		3	в генри
		4	в гауссах
34	В теслах измеряется	1	напряженность магнитного поля
		2	индуктивность
		3	индукция
		4	магнитный поток
35	Переменную магнитную проницаемость имеют	1	ферромагнетики
		2	парамагнетики
		3	диамагнетики
		4	все материалы
36	Прямо пропорционально индукция магнитного поля связана с напряженностью	1	только в парамагнетиках
		2	только в диамагнетиках
		3	в парамагнетиках и диамагнетиках
		4	в ферромагнетиках
37	Напряженность магнитного поля больше при прочих одинаковых условиях	1	в воде
		2	в стали
		3	в вакууме
		4	одинакова во всех материалах.
38	Индукция магнитного поля больше при прочих одинаковых условиях	1	в воде
		2	в стали
		3	в вакууме
		4	одинакова во всех материалах.
39	Единицами измерения индукции являются	1	А/м и тесла
		2	В/м и тесла
		3	В/м и гаусс
		4	тесла и гаусс

40	Индукция магнитного поля в ферромагнетиках может быть определена	1	по вольт-амперной характеристике
		2	по кривой намагничивания
		3	по закону Био-Савара
		4	по закону Ампера
41	Узкую петлю гистерезиса имеют	1	магнитомягкие материалы
		2	магнитотвердые материалы
		3	все ферромагнетики
		4	парамагнетики
42	У магнитотвердых материалов	1	большая коэрцитивная сила
		2	малая остаточная индукция
		3	малая индукция насыщения
		4	большая индукция насыщения
43	У магнитомягких материалов	1	большая коэрцитивная сила
		2	малая остаточная индукция
		3	малая индукция насыщения
		4	большая индукция насыщения
44	Литая сталь может использоваться для изготовления магнитопроводов, работающих	1	на постоянном токе
		2	на переменном токе
		3	на любом виде тока
		4	при низких температурах
45	Потери на гистерезис	1	не зависят от частоты перемагничивания материала
		2	пропорциональны частоте перемагничивания
		3	пропорциональны квадрату частоты перемагничивания
		4	обратно пропорциональны частоте перемагничивания
46	Если магнитотвердый материал нагреть до температуры выше точки Кюри, его остаточная индукция	1	увеличится
		2	уменьшится
		3	исчезнет
		4	-
47	Квадратичную зависимость от частоты перемагничивания имеют	1	потери на гистерезис
		2	потери на вихревые токи
		3	оба вида потерь
		4	-

48	Потери на гистерезис	1	не зависят от частоты перемагничивания материала
		2	пропорциональны частоте перемагничивания
		3	пропорциональны квадрату частоты перемагничивания
		4	обратно пропорциональны частоте перемагничивания
49	Листовая сталь используется для изготовления магнитопроводов, работающих	1	на постоянном токе
		2	на переменном токе
		3	на любом виде тока
		4	при отрицательных температурах
50	К магнитомягким материалам относятся	1	пермаллой, сплав ЮНДК, викалой
		2	сталь, пермаллой, викалой
		3	сталь, пермаллой, альсифер
		4	сталь, пермаллой, пермендюр
51	В электротехническую сталь для снижения потерь на вихревые токи добавляется	1	углерод
		2	кремний
		3	сера
		4	алюминий
52	Изделия из магнитострикционных материалов изменяют под воздействием магнитного поля	1	электрическое сопротивление
		2	геометрические размеры
		3	температуру
		4	цвет
53	С уменьшением толщины стальных листов магнитопровода потери на вихревые токи	1	увеличиваются
		2	уменьшаются
		3	не изменяются
		4	
54	Магнитомягкие материалы применяются для изготовления	1	постоянных магнитов
		2	магнитопроводов
		3	обмоток электромагнитов
		4	контактов
55	Указать формулу для определения ЭДС в контуре, находящемся в изменяющемся магнитном поле	1	$B l v \sin \alpha$
		2	$B s$
		3	$-D\Phi/DT$
		4	$B l s \sin \alpha$

56	Указать формулу закона Ампера	1	$B l v \sin \alpha$
		2	$B_s$
		3	$- d\Phi/dt$
		4	$B l \sin \alpha$
57	При определении направления тока в проводнике, перемещающемся в магнитном поле, используется правило	1	буравчика
		2	левой руки
		3	правой руки
		4	направление принимают произвольно
58	По правилу правой руки определяется направление	1	ЭДС в проводнике
		2	ЭДС в контуре
		3	электромагнитной силы
		4	магнитного поля вокруг проводника с током
59	По правилу левой руки определяется направление	1	ЭДС в проводнике
		2	ЭДС в контуре
		3	электромагнитной силы
		4	Правильный ответ не дан.
60	При одинаковом направлении тока в параллельных проводниках они	1	притягиваются
		2	отталкиваются
		3	поворачиваются
		4	изгибаются
61	Формула $-d\Phi/dt$ является математическим отображением	1	закона Кирхгофа
		2	закона Ампера
		3	закона Фарадея
		4	закона полного тока
62	Линии магнитной индукции прямолинейного проводника с током имеют вид	1	прямой линии
		2	окружности
		3	слегка изогнутой кривой линии
		4	Правильный ответ не дан.
63	Математическое выражение закона полного тока имеет вид	1	$\Phi = B S$
		2	$F = B l \sin \alpha$
		3	$E = B l v \sin \alpha$
		4	$\oint H dl = \sum I$

64	Произведение индукции магнитного поля на площадь пронизываемого им контура $BS$ называется	1	индуктивностью
		2	потокосцеплением
		3	магнитным потоком
		4	напряженностью магнитного поля
65	Единицей измерения магнитного потока является	1	генри
		2	тесла
		3	гаусс
		4	вебер
66	Произведение тока через катушку на число ее витков $Iw$ называется	1	индуктивностью
		2	потокосцеплением
		3	магнитным потоком
		4	магнитодвижущей силой
67	Магнитодвижущая сила измеряется	1	в вольтах
		2	в амперах
		3	в генри
		4	в теслах
68	По формуле определяется	1	индуктивность
		2	магнитное сопротивление
		3	магнитный поток
		4	магнитодвижущая сила
69	Энергия магнитного поля катушки с током	1	прямо пропорциональна величине тока
		2	пропорциональна квадрату величины тока
		3	обратно пропорциональна величине тока
		4	обратно пропорциональна квадрату величины тока
70	Энергия магнитного поля катушки с током	1	прямо пропорциональна ее индуктивности
		2	пропорциональна квадрату ее индуктивности
		3	обратно пропорциональна ее индуктивности
		4	обратно пропорциональна квадрату ее индуктивности

71	ЭДС самоиндукции в катушке, питаемой от источника постоянного тока,	1	возникает при подключении катушки к источнику питания и отключении от него
		2	возникает только при подключении катушки к источнику питания
		3	возникает только при отключении катушки от источника питания
		4	всегда равна нулю
72	Единицей измерения индуктивности является	1	ватт
		2	вебер
		3	генри
		4	Тесла
73	При увеличении числа витков катушки в два раза при прочих неизменных параметрах ее индуктивность	1	увеличится в два раза
		2	уменьшится в два раза
		3	увеличится в четыре раза
		4	уменьшится в четыре раза
74	Указать формулу потокосцепления катушки	1	$\psi = BS$
		2	$\psi = \Pi$
		3	$\psi = \Phi w$
		4	$\psi = Iw$
75	По формуле определяется $\frac{w^2 + \mu_0 \mu S}{I}$	1	индуктивность
		2	магнитный поток
		3	магнитное сопротивление
		4	магнитодвижущая сила
76	Сопротивление идеальной индуктивности в цепи постоянного тока	1	равно 1 Ом
		2	равно бесконечности
		3	равно нулю
		4	зависит от напряжения питания
77	При последовательном соединении двух магнитно не связанных катушек индуктивностью $L_1$ и $L_2$ их общая индуктивность $L$ равна	1	$L_1 + L_2$
		2	$L_1 - L_2$
		3	$L_1 \times L_2$
		4	$L_1/L_2$
78	При последовательном соединении двух магнитно - связанных	1	$L = L_1 + L_2$
		2	$L = L_1 - L_2$
		3	$L = L_1 \times L_2$

	катушек индуктивностью $L_1$ и $L_2$ их общая индуктивность $L$	4	правильный ответ не дан
79	При последовательном соединении двух магнитно - связанных катушек индуктивностью $L_1$ и $L_2$ их общая индуктивность	1	всегда равна сумме $L_1$ и $L_2$
		2	больше суммы $L_1$ и $L_2$ при встречном включении
		3	меньше суммы $L_1$ и $L_2$ при встречном включении
		4	правильный ответ не дан
80	После переключения двух последовательно соединенных магнитно - связанных катушек индуктивностью $L_1$ и $L_2$ со встречного на согласное включение их общая индуктивность	1	будет равна сумме $L_1$ и $L_2$
		2	будет больше суммы $L_1$ и $L_2$
		3	будет меньше суммы $L_1$ и $L_2$
		4	правильный ответ не дан



### **Единицы измерения электрических и магнитных величин в Международной системе единиц (СИ)**

Единицы измерения физических величин принято делить на основные и производные. Основные вводятся независимо друг от друга, производные – устанавливаются на основе экспериментально открытых законов или принятых определений, связывающих физические величины.

Выбор основных единиц произволен, и можно было бы каждую физическую величину измерять своей собственной (основной) единицей. Однако как увеличение, так и уменьшение количества основных единиц приводит к практическим неудобствам: увеличивается работа по созданию и хранению эталонов, затрудняется анализ раз мерностей и т. д.

В современной Международной системе единиц измерений, принятой в 1961 г. и рекомендованной для применения во всех странах, количество основных единиц для измерения электрических и магнитных величин принято равным четырем. При выборе основной единицы следует учитывать возможность ее воспроизводства в разных странах, связь с фундаментальными физическими понятиями, удобство измерений.

В Международной системе единиц для измерения электрических и магнитных величин приняты следующие четыре основных единицы: длины – метр (м), времени – секунда (с), массы – килограмм (кг), силы тока – ампер (А).

Метр, секунда и килограмм были введены во Франции по предложению специальной комиссии в 1799 г. Эти единицы были связаны с фундаментальными природными объектами. Метр определялся как сорокамиллионная доля земного меридиана, секунда – часть солнечных суток, килограмм – вес кубического дециметра воды при 4°C. Были изготовлены прототипы в виде линейки и гири из сплавов, устойчивых к внешним воздействиям.

Развитие техники позволило зафиксировать размер метра и секундный интервал времени с предельной для наших дней

точностью при помощи атомных эталонов. Конференция по мерам и весам определила основные единицы электрических и магнитных величин следующим образом: метр – длина, равная  $16507763,73$  длин волн в вакууме излучения атома криптона  $86$ , соответствующего переходу между уровнями  $2p_{10}$  и  $5d_5$ ; килограмм – масса международного прототипа, который хранится в Национальном архиве Франции; секунда – продолжительность  $9192631770$  периодов излучения, соответствующего переходу между двумя сверхтонкими уровнями основного состояния атома цезия  $133$ ; ампер – сила тока, при котором на каждый метр длины двух параллельных прямолинейных круглых проводников, расположенных в метре один от другого, приходится механическая сила  $2 \cdot 10^{-7} H$ . При этом оговаривается, что проводники имеют бесконечную длину и ничтожно малую площадь поперечного сечения.

Используя выбранные основные единицы, можно определить единицы измерения всех других электрических и магнитных величин (производные единицы). Для этого надо подобрать по возможности простое математическое выражение, связывающее физическую величину с основными величинами. Например, по определению  $dq = idt$ ; где  $q$  – электрический заряд;  $i$  – сила тока;  $t$  – время. Вспоминая, что сила тока измеряется амперами, а время – секундами, устанавливаем, что единицей измерения электрического заряда служит произведение ампера на секунду. Эту единицу называют кулоном:  $Кл = А \cdot с$ .

Очень часто употребляется такая электрическая величина как напряжение измеряемое в вольтах. И хотя вольт — производная единица, через нее выражают единицы измерения некоторых других величин: так единицу измерения полной мощности называют вольт-ампером (ВА), напряженность электрического поля измеряют вольтами деленными на метр (В/м) и т. д.

Чтобы найти размерность вольта, вспомним, что электрическое напряжение равно работе сил электрического поля при переносе точечного тела с зарядом один кулон из

одной точки поля в другую:  $U=A / Q$ , здесь  $U$  – напряжение;  $A$  – работа;  $Q$  – заряд.

Из механики известно, что размерность единицы измерения работы  $[A]=\text{м}^2\text{кг}/\text{с}^2$ , следовательно  $B = [A] / [Q] = \text{м}^2\text{кг}/\text{с}^2 \cdot \text{А} \cdot \text{с} = \text{кг} \cdot \text{м}^2/\text{А} \cdot \text{с}^3$

Широкое применение в электротехнике и электронике находят кратные единицы, связанные с основными и производными единицами постоянным множителем в виде степени десяти. Множитель может быть как больше, так и меньше единицы.

Этим множителям присвоены специальные наименования:  $10^{-12}$  – пико (п);  $10^{-9}$  – нано (н);  $10^{-6}$  – микро (мк);  $10^{-3}$  – милли (м);  $10^3$  – кило (к);  $10^6$  – мега (М);  $10^9$  – гига (Г);  $10^{12}$  – тера (Т). Например, запись 10 нФ означает, что речь идет о десяти миллиардных долях фарад.

# **Перечень основных обозначений величин и их единицы измерения**

$A$  – коэффициент четырехполюсника; постоянная интегрирования

$A_{01}$  – постоянная составляющая несинусоидальной функции времени

$A_{n11}$  – амплитуда синусной составляющей  $n$ -й гармоники  $A_n$   
– амплитуда косинусной составляющей  $n$ -й гармоники  $A_n$  – амплитуда  $n$ -й гармоники

$B$  – коэффициент четырехполюсника, Ом; реактивная проводимость, См

$B_L$  – индуктивная проводимость, См

$B_C$  – емкостная проводимость, См

$C$  – коэффициент четырехполюсника, См; емкость конденсатора, мкФ

$C_p$  – расчетное значение емкости конденсатора, мкФ

$C_0$  – значение емкости конденсатора при резонансе напряжений, мкФ

const – постоянная величина

$D$  – коэффициент четырехполюсника

$E$  – ЭДС (электродвижущая сила), В

$E_m, e$  – амплитудное и мгновенное значения ЭДС, В

$f$  – частота, Гц; обозначение функциональной зависимости  $f(\omega t)$  – периодическая несинусоидальная функция времени  $G$  – активная проводимость, См

$I, i$  – действующее и мгновенные значения тока, А

$i_a$  – мгновенное значение тока через клапан, А

$i_d$  – выпрямленный ток, протекающий в нагрузке, А

$I_{1m}, i_1$  – амплитудное и мгновенные значения тока источника питания, А

$I_{cp}$  – среднее значение тока в синусоидальной цепи без выпрямителя, А

$I_c$  – активная составляющая синусоидального тока, А

$I_{вх}$  – входной ток операционного усилителя, нА

$I_{\max}$  – действующее значение тока в цепи RLC при резонансе напряжений, А

$I_{\phi}$  – действующее значение фазного тока, А

$I_{\text{л}}$  – действующее значение линейного тока, А

$I_{\text{н}}$  – действующее значение номинального тока, А

$I_{\text{д}}$  – среднее значение выпрямленного тока, А

$I_{\text{N}}$  – действующее значение тока в нейтральном проводе,

$J=\sqrt{-1}$  – мнимая единица

$k$  – собственный коэффициент усиления ОУ, постоянная машины постоянного тока

$k_{\text{a}}$  – коэффициент амплитуды

$k_{\text{u}}$  – коэффициент искажения синусоидальности

$k_{\phi}$  – коэффициент формы

$k_{\text{U}}$  – коэффициент передачи напряжения

$k_{\text{I}}$  – коэффициент передачи тока

$K_{\text{U}}$  – коэффициент усиления ОУ с обратной связью

$K_{\text{M}}$  – коэффициент связи индуктивно связанных катушек

$L$  – индуктивность, Гн

$L_0$  – значение индуктивности при резонансе напряжений, Гн

$m$  – количество интервалов, на которое разбивают период несинусоидальной кривой для разложения ее в ряд Фурье

$n$  – порядок гармонических составляющих; частота вращения электродвигателя,  $\text{мин}^{-1}$  коэффициент трансформации трансформатора

$p$  – мгновенное значение мощности, Вт; корень характеристического уравнения; число пар полюсов электродвигателя

$p_{\max}$  – максимальное значение мгновенной мощности синусоидального тока, Вт

$p_{\min}$  – минимальное значение мгновенной мощности синусоидального тока, Вт

$P$  – активная мощность, Вт

$P_2$  – полезно отдаваемая электрическая или механическая мощность, Вт

$P_{\text{н}}$  – активная мощность, подводимая к нагрузке, Вт

$P_{\text{ист}}$  – активная мощность источника электрической энергии, Вт  
 $P_{\text{пр}}$  – активная мощность приемника электрической энергии, Вт  
 $P_{\phi}$  – активная мощность одной фазы симметричной трехфазной цепи, Вт  
 $Q$  – реактивная мощность, вар  
 $q$  – добротность резонансного контура, Вт  
 $Q_0$  – индуктивная мощность намагничивания в первичной обмотке трансформатора или в асинхронном двигателе в режиме холостого хода, вар  
 $Q_L$  – реактивная мощность индуктивной катушки, вар  $Q_C$  – реактивная мощность конденсатора, вар  
 $R$  – активное сопротивление нагрузки, Ом  
 $r$  – внутреннее сопротивление источника ЭДС, внутреннее сопротивление индуктивной катушки, Ом  
 $S$  – полная мощность, потребляемая цепью переменного тока, В·А  
 $T$  – мощность искажения в цепях несинусоидального тока, вар; постоянная времени, с; период колебаний, с  
 $T_1$  – период собственных колебаний контура RLC, с; постоянная времени, с  
 $T_m$  – электромеханическая постоянная времени, с  
 $t$  – время, с  
 $t_p$  – время, в течение которого происходит разряд конденсатора, с  
 $U, u$  – действующее и мгновенное значения напряжения, В  
 $U_m$  – амплитудное значение напряжения, В  
 $U_{\text{вх}}$  – напряжение на входе ОУ, В  
 $U_{\text{вых}}$  – напряжение на выходе ОУ, В  
 $U_R, u_R$  – действующее и мгновенное значения напряжения на активном сопротивлении, В  
 $U_L, u_L$  – действующее и мгновенное значения напряжения на индуктивности, В

$U_K, u_K$  – действующее и мгновенные значения напряжения на индуктивной катушке с учетом падения напряжения на активном сопротивлении катушки, В

$U_C, u_C$  – действующее и мгновенные значения напряжения на конденсаторе, В

$U_d, u_d$  – среднее и мгновенные значения выпрямленного напряжения, В

$U_{\text{ном}}$  – номинальное напряжение, В

$U_{nN}$  – напряжение смещения нейтрали, В

$U_\phi$  – фазное напряжение, В

$U_L$  – линейное напряжение, В

$U_H$  – напряжение на нагрузке, В

$\Delta U$  – потеря напряжения, В

$var$  – переменная (варьируемая) величина

$W$  – показания ваттметра, Вт

$X$  – реактивное сопротивление, Ом

$X_K$  – индуктивное сопротивление трансформатора в режиме короткого замыкания, Ом

$X_L$  – индуктивное сопротивление, Ом

$X_C$  – емкостное сопротивление, Ом

$Y$  – полная проводимость цепи при синусоидальном токе, См

$Z$  – полное сопротивление цепи при синусоидальном токе, Ом

$Z_{I0}$  – входное сопротивление четырехполюсника со стороны первичных выводов в режиме холостого хода, Ом

$Z_{Ik}$  – входное сопротивление четырехполюсника со стороны первичных выводов в режиме короткого замыкания, Ом

$Z_k$  – полное сопротивление индуктивной катушки с учетом активного сопротивления, полное сопротивление трансформатора в режиме короткого замыкания, Ом

$Z_c$  – характеристическое сопротивление, Ом

$Z_m$  – комплексное сопротивление взаимной индукции, Ом,  $\alpha$  – коэффициент затухания четырехполюсника, Нп или дБ

$\beta$  – коэффициент фазы четырехполюсника, рад или жесткость механической характеристики электродвигателя, Н · м · с;

погрешность преобразования аналогового сигнала в цифровой код

$\delta$  – коэффициент затухания,  $c^{-1}$  амплитуда пульсаций напряжения, В, или тока, А

$\gamma = \alpha + j\beta$  – постоянная передачи четырехполюсника, Нп + j<sup>0</sup>

$\eta$  – коэффициент полезного действия (КПД)

$\varphi$  – угол сдвига между напряжением и током (фазовый угол нагрузки) в цепи синусоидального тока, <sup>0</sup> потенциал точки электрической цепи, В

$\rho$  – волновое сопротивление резонансного контура, Ом

$\Phi$  – магнитный поток, Вб

$\omega$  – угловая частота, угловая скорость,  $c^{-1}$

$\omega_0$  – резонансная угловая частота цепи; угловая скорость идеального холостого хода,  $c^{-1}$

$\omega_i$  – собственная угловая частота колебательного контура, угловая скорость,  $c^{-1}$

$\omega_{нач}$  – начальное значение угловой скорости двигателя,  $c^{-1}$

$\psi$  – начальная фаза, <sup>0</sup>

$\Omega$  – Ом (в «окнах» компьютерных программ)

**Используемые в ElectronicsWorkbench и Multisim  
множители и приставки для образования кратных и  
дольных единиц СИ и их наименования**

Множитель	Приставка	Обозначение приставки	
		русское	международное
$10^{12}$	тера	Т	T
$10^9$	гига	Г	G
$10^6$	мега	М	M
$10^3$	кило	к	k
$10^{-6}$	микро	мк	μ
$10^{-3}$	милли	м	m
$10^{-9}$	нано	н	y
$10^{-12}$	пико	п	p



### **Список использованной литературы**

1. Касаткин А.С. Электротехника. – М.: Энергоатомиздат, 2003.
2. Кульчицкий В.В. Активные методы обучения на основе программного комплекса по электротехнике. – Хабаровск: ДВГУПС, 1996.
3. Кульчицкий В.В. Электротехника. – Хабаровск: ДВГУПС, 2005.
4. Электротехника /Под.ред. проф. В.С. Пантюшина. – М.: Высшая школа, 1976.

### **Рекомендуемые учебники**

1. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники: Электрические цепи. – 11-е изд. М.: Юрайт, 2013.
2. Демирчан К.С., Нейман Л.Р., Коровкин Н.В., Чечурин В.Л. Теоретические основы электротехники: в 3т. – 4-е. – СПб, 2003.
3. Зевеке Г.В., Ионкин П.А., Нетушил А.В. Основы теории цепей. – М.: Энергоатомиздат, 1989.
4. Миронов В.Г., Бутырин П.А. Теория электрических цепей. – М.: Наука, 2005.
5. Теоретические основы электротехники. /Под ред. Ионкин П.А. – М.: Высшая школа, 1975.

*Учебное издание*

*Контрольные работы*  
*по*  
*Теоретическим основам электротехники*

*Методические указания*

*Усл. печ. листов 4,2 Тираж 20 экз.*

**КОНТРОЛЬНЫЕ РАБОТЫ  
ПО  
ТЕОРЕТИЧЕСКИМ ОСНОВАМ  
ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ**

*Методические указания*