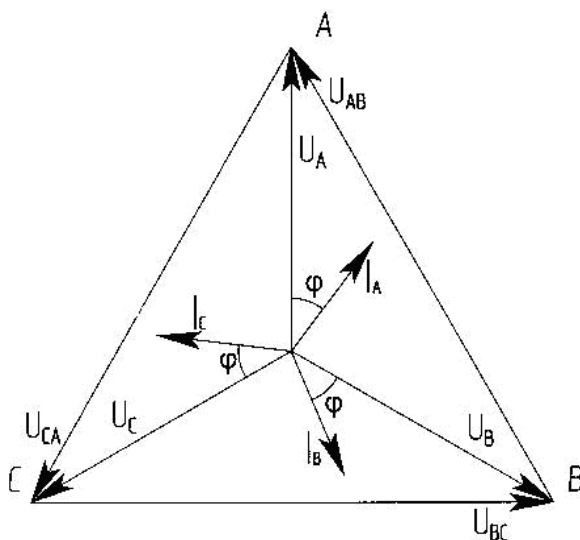


А. Г. Сошинов, О. И. Доронина

СБОРНИК ЗАДАЧ ПО ЭЛЕКТРОТЕХНИКЕ И ЭЛЕКТРОНИКЕ



МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖ-
ДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ВОЛГОГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
КАМЫШИНСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ (ФИЛИАЛ)
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧ-
РЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ВОЛГОГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

А. Г. Сошинов, О. И. Доронина

СБОРНИК ЗАДАЧ ПО ЭЛЕКТРОТЕХНИКЕ И ЭЛЕКТРОНИКЕ

Учебное пособие

Допущено учебно-методическим объединением Совета дирек-
торов среднего профессионального образования Волгоградской
области в качестве учебного пособия для образовательных учреж-
дений среднего профессионального образования Волгоградской
области



Волгоград
2014

УДК 621.3 + 621.38] (075.3)

С69

Рецензенты: начальник службы подстанции ПО «Камышинские электрические сети» филиала ОАО «МРСК-Юга» – «Волгоградэнерго» В. А. Петрухин, преподаватель специальных дисциплин ФГОУ СПО «Камышинский технический колледж» Т. В. Матвеева.

Сошинов, А. Г. СБОРНИК ЗАДАЧ ПО ЭЛЕКТРОТЕХНИКЕ И ЭЛЕКТРОНИКЕ: учеб. пособие / А. Г. Сошинов, О. И. Доронина. – Волгоград: ИУНЛ ВолгГТУ, 2014. – 80 с.

ISBN 978-5-9948-1391-1

Рассмотрены задачи по темам: цепи постоянного и переменного тока, трехфазные цепи, полупроводниковые приборы и устройства. Состоит из расчетных формул и задач, распределенных по разделам в соответствии с учебной программой, а также индивидуальных заданий. Для регулярного контроля знаний в течение семестра подобраны простые задачи преимущественно качественного характера (для практических занятий).

Предназначено для студентов очной формы среднего профессионального образования, обучающихся по специальности 140409 «Электроснабжение (по отраслям)», а также может быть полезно для студентов, обучающихся по специальности 151901 «Технология машиностроения».

Ил. 61. Табл. 14. Библиогр.: 4 назв.

Печатается по решению редакционно-издательского совета Волгоградского государственного технического университета

ISBN 978-5-9948-1391-1

© Волгоградский
государственный
технический
университет, 2014

ПРЕДИСЛОВИЕ

Данное учебное пособие является частью учебно-методического комплекта по специальностям технического профиля. Учебное пособие предназначено для изучения общепрофессиональной дисциплины «Электротехника и электроника».

Учебно-методические комплекты нового поколения включают традиционные и инновационные учебные материалы, позволяющие обеспечить изучение общеобразовательных и общепрофессиональных дисциплин и профессиональных модулей. Каждый комплект содержит в себе учебники и учебные пособия, средства обучения и контроля, необходимые для освоения общих и профессиональных компетенций, в том числе и с учетом требований работодателя.

Учебные издания дополняются электронными образовательными ресурсами. Электронные ресурсы содержат теоретические и практические модули с интерактивными упражнениями и тренажерами, мультимедийные объекты, ссылки на дополнительные материалы и ресурсы в Интернете. Иногда в них включен терминологический словарь и электронный журнал, в котором фиксируются основные параметры учебного процесса: время работы, результат выполнения контрольных и практических заданий. Электронные ресурсы легко встраиваются в учебный процесс и могут быть адаптированы к различным учебным программам.

Учебное пособие разработано на основании Федерального государственного образовательного стандарта среднего профессионального образования с учетом его профиля.

ВВЕДЕНИЕ

Настоящее пособие предназначено для студентов очной формы среднего профессионального образования, обучающихся по специальности 140409 «Электроснабжение (по отраслям)», а также может быть полезно для студентов, обучающихся по специальности 151901 «Технология машиностроения».

Данное учебное пособие может быть использовано для контроля знаний студентов путем личного опроса их преподавателем, а также для самостоятельной проработки материала дисциплины.

Большая часть времени, необходимого для решения приведенных в пособии задач, требуется собственно для проработки электротехнической стороны вопроса, математические же операции сведены к минимуму. Решение задач с минимальным цифровым расчетом способствует тому, что студент глубже познает взаимосвязь между различными величинами и явлениями и развивает свое логическое мышление. Подобные задачи повышают интерес к изучаемой дисциплине и активность студентов, нацеливают их не на заучивание теоретического материала, а использование его для анализа и решения практических вопросов.

Учебное пособие состоит из отдельных задач с практическим техническим содержанием, разбитых по главам в соответствии с программой курса «Электротехника и электроника». В каждой задаче помимо условия приводятся необходимые схемы или графики.

Для рубежного контроля знаний в течение семестра предусмотрены более простые задачи – с минимальным объемом вычислений и качественные.

Тема 1: Электрические цепи постоянного тока

Основные формулы и уравнения

Закон Ома для участка цепи: ток, проходящий по участку цепи, прямо пропорционален напряжению U , приложенному к этому участку, и обратно пропорционален его сопротивлению R , т. е.

$$I = U/R, \quad (1.1)$$

где U – в вольтах (В); R – в омах (Ом).

Закон Ома для всей цепи

$$I = E/(R + r), \quad (1.2)$$

где E – электродвижущая сила источника электрической энергии, В; R – сопротивление внешней цепи, Ом; r – внутреннее сопротивление источника, Ом.

Электрическое сопротивление проводника

$$R = U/I, \quad (1.3)$$

Величину, обратную сопротивлению, называют проводимостью G и выражают в сименсах (См), $1 \text{ См} = 1/\text{Ом}$:

$$G = 1 / R. \quad (1.4)$$

Сопротивление провода

$$R = \rho \frac{l}{S}, \quad (1.5)$$

где ρ – удельное сопротивление, Ом · мм² /м; l – длина проводника, м; S – площадь его поперечного сечения, мм².

Величину, обратную удельному сопротивлению, называют удельной проводимостью [м / (Ом · мм²)]:

$$\nu = 1/\rho. \quad (1.6)$$

Сопротивление проводника зависит от температуры

$$R_2 = R_1[1 + \alpha(\theta_2 - \theta_1)], \quad (1.7)$$

где R_1 – сопротивление проводника при температуре θ_1 , Ом; R_2 – сопротивление проводника при температуре θ_2 , Ом; α – температурный коэффициент сопротивления, численно равный отношению приращению сопротивления при нагревании проводника на 1 °С.

Энергия и мощность электрической цепи. Работа (энергия W), затраченная на перенос заряда Q на участке цепи за время t ,

$$A = W = UQ, \text{ или } A = W = UIt, \quad (1.8)$$

где A – в джоулях (Дж).

Работа, совершенная источником электрической энергии с ЭДС E ,

$$A = EQ \text{ или } A = EIt. \quad (1.9)$$

Мощность, потребляемая нагрузкой,

$$P = A/t = UI = RI^2 = U^2/R, \quad (1.10)$$

где P – в ваттах (Вт).

Мощность, развиваемая источником или генератором,

$$P_r = EI. \quad (1.11)$$

По закону сохранения энергии мощность генератора равна сумме мощностей потребителей. Это равенство называют балансом мощностей в электрических цепях:

$$P_r = \sum P_i = \sum I^2 R_i. \quad (1.12)$$

Закон Джоуля-Ленца. Количество теплоты (Дж), выделенное при прохождении постоянного тока в проводнике,

$$Q = I^2 Rt, \quad (1.13)$$

или

$$Q = 0,24 I^2 Rt, \quad (1.14)$$

где Q – в калориях.

Последовательное, параллельное и смешанное соединения резисторов. Эквивалентное сопротивление ряда последовательно соединенных резисторов равно сумме их сопротивлений:

$$R = R_1 + R_2 + \dots + R_n. \quad (1.15)$$

Параллельным называют такое соединение резисторов, при котором между двумя узлами электрической цепи присоединено несколько резисторов. Эквивалентная проводимость этого участка цепи равна сумме проводимостей всех параллельных ветвей:

$$G = G_1 + G_2 + \dots + G_n, \quad (1.16)$$

или

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}. \quad (1.17)$$

Смешанное соединение резисторов – это последовательно-параллельное соединение резисторов или участков цепи.

Первый закон Кирхгофа. Сумма токов, направленных к узлу, равна сумме токов, направленных от узла, или алгебраическая сумма токов в узле равна нулю:

$$I_1 + I_3 + \dots + I_n = I_2 + I_4 + \dots + I_k, \quad (1.18)$$

где $I_1, I_3, \dots, I_n$ – токи, направленные к узлу; $I_2, I_4, \dots, I_k$ – токи, направленные от узла, или

$$\sum_{k=1}^n \pm I_k = 0. \quad (1.19)$$

Со знаком «+» записывают токи, направленные к узлу, со знаком «-» – от узла.

Второй закон Кирхгофа. В замкнутом контуре электрической цепи алгебраическая сумма ЭДС равна алгебраической сумме падений напряжений вдоль того же контура:

$$\sum_{k=1}^n \pm E_k = \sum_{k=1}^n \pm I_k R_k. \quad (1.20)$$

При составлении уравнений по этому закону ЭДС источника записывают со знаком «+», если ее направление совпадает с выбранным направлением обхода контура. Падение напряжения записывают со знаком «+», если направление тока через резистор совпадает с выбранным направлением обхода контура.

Практическое занятие № 1

Расчет параметров электрических цепей. Законы Кирхгофа

1.1. Определить электродвижущую силу и напряжение на зажимах щелочной аккумуляторной батареи, если известно, что внутреннее сопротивление аккумуляторной батареи $r_0 = 0,08$ Ом, сопротивление внешней цепи $R = 1$ Ом и величина тока в цепи $I = 23$ А.

1.2. Нагревательный прибор, обладающий сопротивлением $R = 50$ Ом, присоединен к сети с напряжением $U = 120$ В. Определить ток, протекающий через прибор.

1.3. Как выразить напряжение U через параметры цепи E , R_0 , R , схема которой приведена на рис. 1. 1?

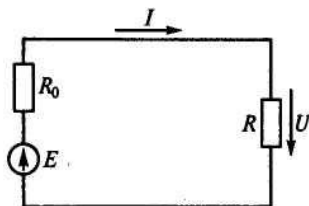


Рис. 1. 1

$$1. U = \frac{E(R - R_0)}{R + R_0};$$

$$2. U = \frac{ER}{R + R_0};$$

$$3. U = \frac{ER_0}{R + R_0}; \quad 4. U = \frac{E(R + R_0)}{R}; \quad 5. \text{ Другой ответ.}$$

1.4. Каково внутреннее сопротивление R_0 источника электроэнергии на рис. 1.2, если при токе нагрузки 5 А вольтметр показывает 48 В, а при токе 10 А – 46 В?

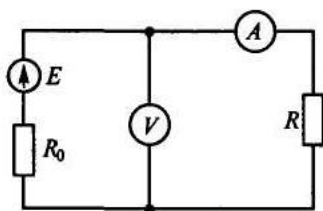


Рис. 1. 2

1. 16 Ом.

2. 4,8 Ом.

3. 1,6 Ом.

4. 0,4 Ом.

5. 0,8 Ом.

1.5. Какова потеря напряжения в линии, сопротивление одного провода которой $R = 0,025$ Ом (рис. 1.3), если через нагрузку с сопротивлением R_H проходит постоянный ток 10 А?

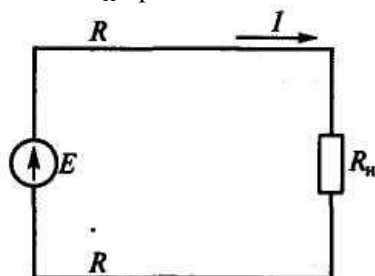


Рис. 1. 3

1. 0,5 В.

2. 0,25 В.

3. 1 В.

1.6. Как определить мощность P , выделяющуюся в нагрузке с сопротивлением R на рис. 1. 4, если заданы параметры источника электроэнергии E и R_0 ?

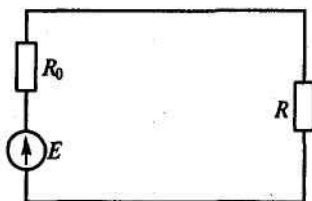


Рис. 1. 4

1. $P = \frac{E^2 R_0}{R - R_0}$;
2. $P = \frac{E^2}{R}$;
3. $P = \frac{E^2 R_0}{R + R_0}$;
4. $P = \frac{E^2 (R + R_0)}{R^2}$;
5. $P = \frac{E^2 R_0}{R + R_0}$.

1.7. Какое из уравнений, составленных для схемы, показанной на рис. 1. 5, неверное?

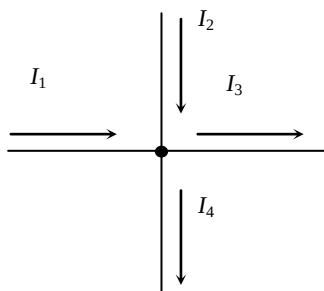


Рис. 1. 5

$$1. I_1 + I_2 = I_3 + I_4.$$

$$2. I_1 + I_2 - I_3 - I_4 = 0.$$

$$3. I_3 + I_4 - I_1 - I_2 = 0.$$

$$4. I_1 + I_2 + I_3 + I_4 = 0.$$

1.8. Для заданной на рис. 1. 6 ветви mn цепи постоянного тока составить уравнение по второму закону Кирхгофа и указать правильное выражение для определения тока I в этой ветви.

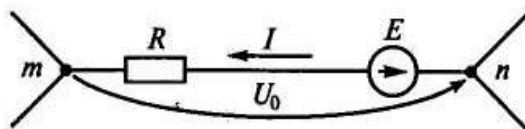


Рис. 1. 6

$$1. I = \frac{U_0}{R}. \quad 2. I = \frac{E}{R}. \quad 3. I = \frac{E - U_0}{R}. \quad 4. I = \frac{-E - U_0}{R}.$$

$$5. I = \frac{E + U_0}{R}.$$

1.9. Для приведенного на рис. 1. 7 контура составить уравнение баланса мощностей и указать, какое из приведенных уравнений правильное.

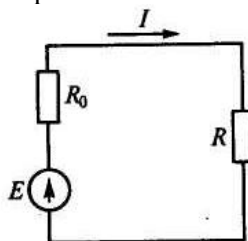


Рис. 1. 7

$$1. EI = I^2 R - I^2 R_0.$$

$$2. EI = I^2 R_0 - I^2 R.$$

$$3. EI = -I^2 R - I^2 R_0.$$

$$4. EI = I^2 R + I^2 R_0.$$

1.10. Какая из приведенных систем уравнений позволяет найти токи I_1 , I_2 и I_3 в схеме, показанной на рис. 1. 8?

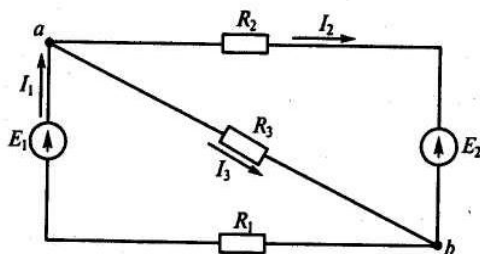


Рис. 1. 8

- | | | |
|------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|
| 1. $I_1 - I_2 - I_3 = 0$; | 2. $I_1 = I_2 + I_3$; | 3. $E_1 = I_1 R_1 + I_3 R_3$; |
| $E_1 = I_1 R_1 + I_3 R_3$; | $E_1 = I_1 R_1 + I_3 R_3$; | $E_2 = -I_2 R_2 + I_3 R_3$; |
| $E_2 = -I_2 R_2 + I_3 R_3$. | $-I_1 + I_2 + I_3 = 0$. | $E_1 - E_2 = I_1 R_1 + I_2 R_2$. |

Практическое занятие № 2 **Метод преобразования**

1.11. Изменяются ли яркость ламп Л1 и Л2 и ток I в цепях на рис. 1.9 после включения лампы Л3? (Указать неправильный ответ.)

На рис. 1. 9, а:

1. Яркость ламп Л1, Л2 не изменится. 2. Ток I увеличится.

На рис. 1. 9, б:

3. Яркость лампы Л1 увеличится. 4. Яркость лампы Л2 увеличится.

5. Ток I увеличится. 6. Яркость лампы Л2 уменьшится.

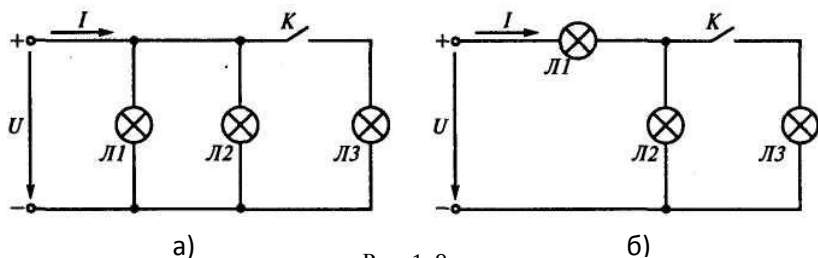


Рис. 1. 9

1.12. Как изменятся показания приборов VI, V2, А (рис. 1. 10) при перемещении движка реостата R вниз?

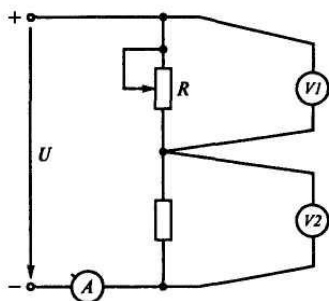


Рис. 1.10

1. U_1 уменьшится, U_2 увеличится, I увеличится.
2. U_1 , U_2 , I увеличатся.
3. U_1 , U_2 , I уменьшатся.
4. U_1 , U_2 не изменятся, I уменьшится.
5. U_1 , U_2 , I не изменятся.

1.13. Изменятся ли показания приборов $A1$ и $A2$ после размыкания ключа K в цепи, показанной на рис. 1. 11?

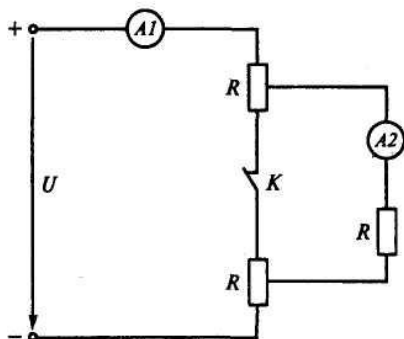


Рис. 1.11

1. I_1 не изменится, I_2 увеличится.
2. I_1 увеличится, I_2 уменьшится.
3. I_1 , I_2 не изменятся.
4. I_1 уменьшится, I_2 увеличится.

1.14. Каково эквивалентное сопротивление цепи, показанной на рис. 1. 12, если все резисторы в ней имеют одинаковое сопротивление R ?

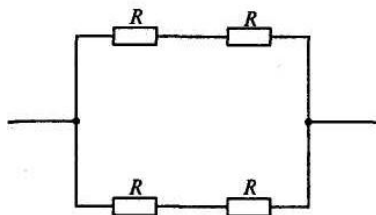


Рис. 1. 12

1. $R_3 = 2R$.
2. $R_3 = R$.
3. $R_3 = 4R$.
4. $R_3 = R/2$.
5. $R_3 = R/4$.

1.15. На рис. 1. 13 все резисторы имеют одинаковое сопротивление R . Как изменится показание амперметра, если замкнуть ключ K ?

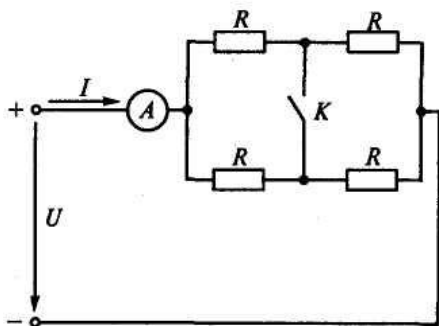


Рис. 1. 13

1. Возрастет в два раза.
2. Уменьшится в два раза.
3. Не изменится.
4. Уменьшится в четыре раза.
5. Возрастет в четыре раза.

1.16. Как изменится напряжение U_{12} на резисторах R_1 и R_2 в схеме на рис. 1.14, если движок реостата R_3 переместить вниз?

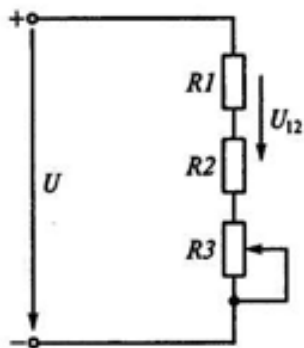


Рис. 1. 14

1. U_{12} уменьшится.
2. U_{12} не изменится.
3. U_{12} увеличится.
4. U_{12} будет равно U .

1.17. Для электрической цепи (рис. 1. 15), по данным из табл. 1. 1 определить токи в ветвях цепи и падения напряжения на приемниках.

Таблица 1.1

U, В	R_1 , Ом	R_2 , Ом	R_3 , Ом	R_4 , Ом	R_5 , Ом	R_6 , Ом	R_7 , Ом	R_8 , Ом	U
10	—	10	4	4	12	4	—	4	b-c

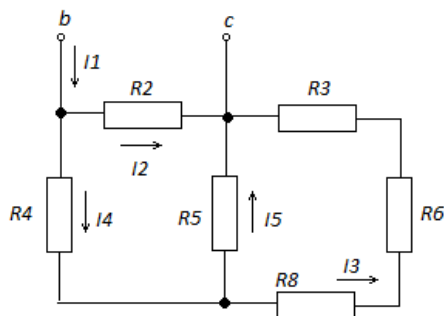


Рис. 1. 15

Решение. Находим эквивалентное сопротивление:

$$R_{368} = R_3 + R_6 + R_8 = 4 + 4 + 4 = 12 \text{ Ом, рис. 1. 16.}$$

$$R_{3568} = \frac{R_5 \cdot R_{368}}{R_5 + R_{368}} = \frac{12 \cdot 12}{12 + 12} = 6 \text{ Ом, рис. 1. 17.}$$

$$R_{3-8} = R_4 + R_{3568} = 4 + 6 = 10 \text{ Ом, рис. 1. 18.}$$

$$R_{экв} = \frac{R_2 \cdot R_{3-8}}{R_2 + R_{3-8}} = \frac{10 \cdot 10}{10 + 10} = 5 \text{ Ом, рис. 1. 19.}$$

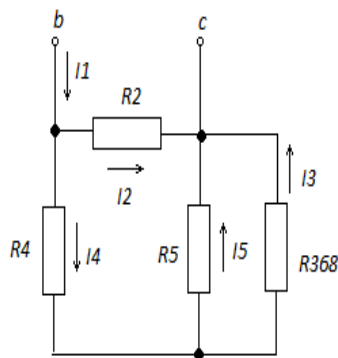


Рис. 1. 16

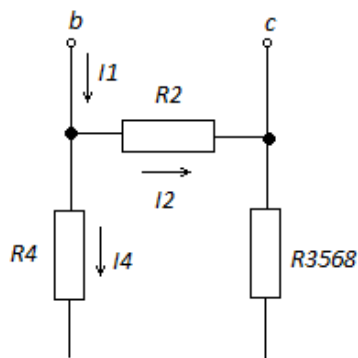


Рис. 1. 17

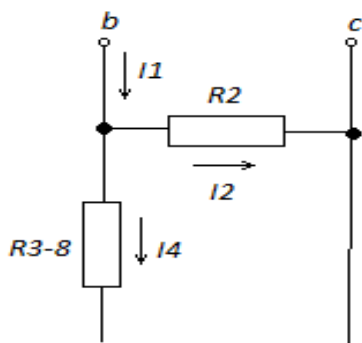


Рис. 1. 18

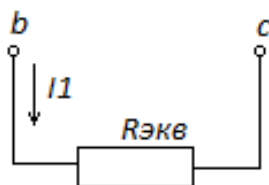


Рис. 1. 19

$$I_1 = \frac{U}{R_{\text{экв}}} = \frac{10}{5} = 2 \text{ A, рис. 1.19.}$$

$$I_2 = \frac{U}{R_2} = \frac{10}{10} = 1 \text{ A, } I_4 = \frac{U}{R_{3-8}} = \frac{10}{10} = 1 \text{ A.}$$

$$U_4 = I_4 R_4 = 1 \cdot 4 = 4 \text{ В, } U_5 = I_4 R_{3568} = 1 \cdot 6 = 6 \text{ В.}$$

$$I_5 = \frac{U_5}{R_5} = \frac{6}{12} = 0,5 \text{ A, } I_3 = \frac{U_5}{R_{368}} = \frac{6}{12} = 0,5 \text{ A.}$$

$$U_8 = I_3 R_8 = 0,5 \cdot 4 = 2 \text{ В, } U_6 = I_3 R_6 = 0,5 \cdot 4 = 2 \text{ В,}$$

$$U_3 = I_3 R_3 = 0,5 \cdot 4 = 2 \text{ В.}$$

Практическое занятие № 3

Метод контурных и узловых уравнений. Метод контурных токов.

Построение потенциальных диаграмм

Индивидуальное задание № 1

1. Составить систему уравнений, необходимых для определения токов по первому и второму законам Кирхгофа.
2. Найти все токи в ветвях электрической цепи (рис. 1. 20), пользуясь методом контурных токов.
3. Составить баланс мощностей для заданной схемы.

4. Построить в масштабе потенциальную диаграмму для внешнего контура.

Таблица 1. 2

№ вари- анта	E_1 , В	E_2 , В	E_3 , В	R_{01} , Ом	R_{02} , Ом	R_{03} , Ом	R_1 , Ом	R_2 , Ом	R_3 , Ом	R_4 , Ом	R_5 , Ом	R_6 , Ом
0	9	6	27	—	1,0	0,8	4,5	2	8	13	14	3

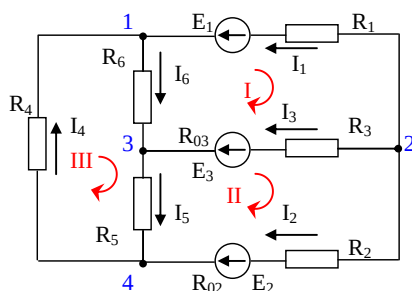


Рис. 1. 20

1. Составим систему уравнений, необходимых для определения токов по первому и второму законам Кирхгофа.

Число уравнений по первому закону Кирхгофа равно количеству узлов – 1. Для нашей схемы оно равно 3. Составим уравнения для узлов № 1, 2, 3.

Число уравнений по второму закону Кирхгофа равно количеству независимых контуров. Для нашей схемы оно равно 3. На рис. 1. 20 независимые контуры обозначены цифрами I, II и III.

$$\begin{cases} I_1 + I_4 - I_6 = 0; & (I) \\ I_3 - I_5 + I_6 = 0; & (II) \\ -I_1 - I_3 - I_2 = 0; & (III) \\ -E_1 + E_3 = -I_1 R_1 + I_3 (R_3 + R_{03}) - I_6 R_6; & (I) \\ E_2 - E_3 = I_2 (R_2 + R_{02}) - I_3 (R_3 + R_{03}) - I_5 R_5; & (II) \\ 0 = I_4 R_4 + I_5 R_5 + I_6 R_6. & (III) \end{cases}$$

2. Найдем все токи, пользуясь методом контурных токов.

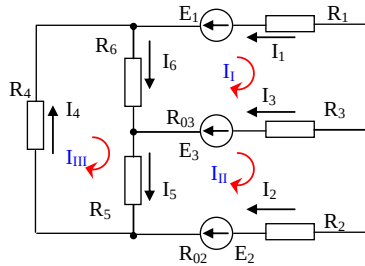


Рис. 1. 21

Направим все контурные токи (I_I , I_{II} , I_{III}) на рис. 1. 21 в одном направлении (по часовой стрелке). Составим систему уравнений по второму закону Кирхгофа для контурных токов.

$$\begin{cases} -E_1 + E_3 = I_I(R_1 + R_3 + R_{03} + R_6) - I_{II}(R_3 + R_{03}) - I_{III}R_6; \\ E_2 - E_3 = -I_I(R_3 + R_{03}) + I_{II}(R_3 + R_{03} + R_5 + R_2 + R_{02}) - I_{III}R_5; \\ 0 = -I_I R_6 - I_{II}R_5 + I_{III}(R_4 + R_5 + R_6). \end{cases}$$

Подставим в систему значения э. д. с. и сопротивлений.

$$\begin{cases} -9 + 27 = I_I(4,5 + 8 + 0,8 + 3) - I_{II}(8 + 0,8) - I_{III}3; \\ 6 - 27 = -I_I(8 + 0,8) + I_{II}(8 + 0,8 + 14 + 2 + 1) - I_{III}14; \\ 0 = -I_I 3 - I_{II}14 + I_{III}(13 + 14 + 3). \end{cases}$$

$$\begin{cases} 18 = I_I 16,3 - I_{II} 8,8 - I_{III} 3; \\ -21 = -I_I 8,8 + I_{II} 25,8 - I_{III} 14; \\ 0 = -I_I 3 - I_{II} 14 + I_{III} 30. \end{cases}$$

Решим систему уравнений методом Гаусса.

$$\Delta = \begin{bmatrix} 16,3 & -8,8 & -3 \\ -8,8 & 25,8 & -14 \\ -3 & -14 & 30 \end{bmatrix} = 6126; \quad \Delta 1 = \begin{bmatrix} 18 & -8,8 & -3 \\ -21 & 25,8 & -14 \\ 0 & -14 & 30 \end{bmatrix} = 3978;$$

$$\Delta 2 = \begin{bmatrix} 16,3 & 18 & -3 \\ -8,8 & -21 & -14 \\ -3 & 0 & 30 \end{bmatrix} = -4572; \quad \Delta 3 = \begin{bmatrix} 16,3 & -8,8 & 18 \\ -8,8 & 25,8 & -21 \\ -3 & -14 & 0 \end{bmatrix} = -1735;$$

$$I_I = \frac{\Delta 1}{\Delta} = 0,649 A; \quad I_{II} = \frac{\Delta 2}{\Delta} = -0,746 A; \quad I_{III} = \frac{\Delta 3}{\Delta} = -0,283 A;$$

$$\begin{cases} I_I = 0,649 A; \\ I_{II} = -0,746 A; \\ I_{III} = -0,283 A. \end{cases}$$

Найдем действительные токи:

$$\begin{cases} I_1 = -I_I = -0,649 \text{ A}; \\ I_2 = I_{II} = -0,746 \text{ A}; \\ I_3 = I_I - I_{II} = 1,395 \text{ A}; \\ I_4 = I_{III} = -0,283 \text{ A}; \\ I_5 = I_{III} - I_{II} = 0,463 \text{ A}; \\ I_6 = I_{III} - I_I = -0,932 \text{ A}. \end{cases}$$

Если ток получился с отрицательным знаком, значит выбрано направление обратное действительному. Укажем на схеме правильное направление токов (рис. 1. 22).

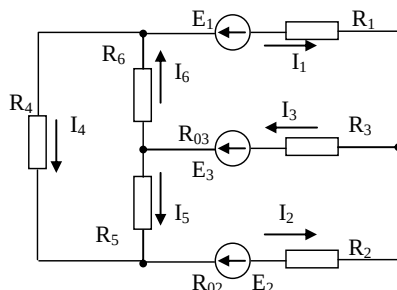


Рис. 1. 22

3. Составим баланс мощностей для заданной схемы.

$$\begin{aligned} P_{\text{учм}} &= P_{\text{ном}}, \\ \sum_k \pm E_k \cdot I_k &= \sum_k I_k^2 \cdot R_k, \\ -E_1 \cdot I_1 - E_2 \cdot I_2 + E_3 \cdot I_3 &= \\ &= I_1^2 \cdot R_1 + I_2^2 \cdot R_2 + I_2^2 \cdot R_{02} + I_3^2 \cdot R_3 + I_3^2 \cdot R_{03} + I_4^2 \cdot R_4 + I_5^2 \cdot R_5 + I_6^2 \cdot R_6, \\ &= -9 \cdot 0,649 - 6 \cdot 0,746 + 27 \cdot 1,395 = \\ &= 0,649 \cdot 2,45 + 0,746 \cdot 2 + 0,746 \cdot 2 + 1,395 \cdot 8 + 1,395 \cdot 0,8 + \\ &\quad + 0,283 \cdot 13 + 0,463 \cdot 14 + 0,937 \cdot 3, \\ &27,35 \text{ Bm} \approx 27,36 \text{ Bm}. \end{aligned}$$

Баланс мощностей имеет допустимую степень сходимости.

4. Построим в масштабе потенциальную диаграмму для внешнего контура (рис. 1. 23).

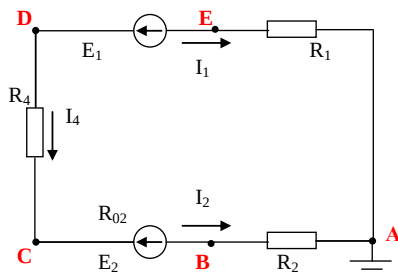


Рис. 1. 23

$$\varphi_A = 0$$

$$\varphi_B = \varphi_A + I_2 R_2 = 0,746 \cdot 2 = 1,492 \text{ В};$$

$$\varphi_C = \varphi_B + E_2 + I_2 R_{02} = 1,492 + 6 + 0,746 \cdot 1 = 8,238 \text{ В};$$

$$\varphi_D = \varphi_C + I_4 R_4 = 8,238 + 0,283 \cdot 13 = 11,917 \text{ В};$$

$$\varphi_E = \varphi_D - E_1 = 11,917 - 9 = 2,917 \text{ В};$$

$$\varphi_A = \varphi_E - I_1 R_1 = 2,917 - 0,649 \cdot 4,5 = -0,0035 \approx 0 \text{ В}; \quad R_A = 0;$$

$$R_B = R_A + R_2 = 0 + 2 = 2 \text{ Ом};$$

$$R_C = R_B + R_{02} = 2 + 1 = 3 \text{ Ом};$$

$$R_D = R_C + R_4 = 3 + 13 = 16 \text{ Ом};$$

$$R_E = R_D + 0 = 16 + 0 = 16 \text{ Ом};$$

$$R_A = R_E + R_1 = 16 + 4,5 = 20,5 \text{ Ом}.$$

Построим потенциальную диаграмму (рис. 1. 24).

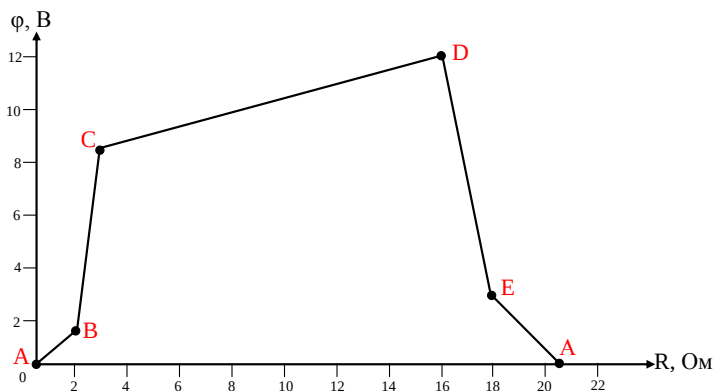


Рис. 1. 24

Таблица 1. 3

Варианты к заданию 1

№ вари- анта	E_1 , В	E_2 , В	E_3 , В	R_{01} , Ом	R_{02} , Ом	R_{03} , Ом	R_1 , Ом	R_2 , Ом	R_3 , Ом	R_4 , Ом	R_5 , Ом	R_6 , Ом
1	22	24	10	0,2	–	1,2	2	1	8	4	10	6
2	55	18	4	0,8	–	0,8	8	4	3	2	4	4
3	36	10	25	–	0,4	0,5	4	8	3	1	2	7
4	16	5	32	–	0,6	0,8	9	3	2	4	1	5
5	14	25	28	0,9	1,2	–	5	2	8	2	2	6
6	20	22	9	0,1	–	1,1	1	2	6	3	8	4
7	5	16	30	0,4	–	0,7	6	4	3	2	5	3
8	10	6	24	0,8	0,3	–	3,5	5	6	6	3	1
9	6	20	4	–	0,8	1,2	4	6	4	4	3	3
10	21	4	10	–	0,2	0,6	5	7	2	8	1	1
11	4	9	18	0,8	–	0,7	2,7	10	4	8	10	2
12	4	24	6	0,9	–	0,5	9	8	1	6	10	4
13	16	8	9	0,2	0,6	–	2,5	6	6	5	10	5
14	48	12	6	0,8	0,4	–	4,2	4	2	12	6	2
15	12	36	12	–	0,4	1,2	3,5	5	1	5	6	8
16	12	6	36	1,2	0,6	–	2	3	8	5	7	3
17	8	6	6	1,3	–	1,2	3	2	1	6	8	6
18	72	12	6	0,7	1,5	–	6	1	10	4	12	4
19	12	48	12	–	0,4	0,4	2,5	1	4	15	2	2
20	12	30	48	0,5	–	0,5	3,5	2	3	3	1	3
21	9	6	30	–	1	0,8	4,5	2	8	13	4	3
22	15	63	6	1	–	1,2	5	3	1	2	12	3
23	54	24	63	3	1,2	0,9	8	3	1	4	2	2
24	36	9	24	–	0,8	0,8	3	4	2	1	5	1
25	3	66	9	–	0,7	1,2	1	4	2	2	7	3
26	12	30	66	1	0,4	–	1	5	1	1	6	4
27	30	16	30	0,6	0,8	–	2	5	3	1	8	5
28	10	32	16	0,6	–	1	1,5	6	1	7	1	5
29	5	10	32	0,3	0,8	0,8	1,2	6	3	2	2	2
30	40	25	8	–	0,2	0,2	3	3	2	4	3	2

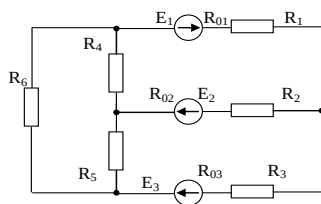


Рис. Вариант 1

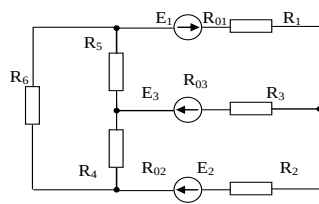


Рис. Вариант 2

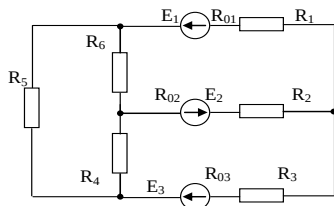


Рис. Вариант 3

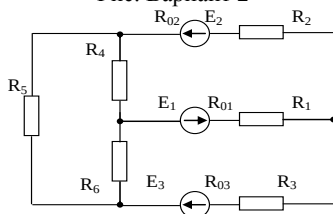


Рис. Вариант 4

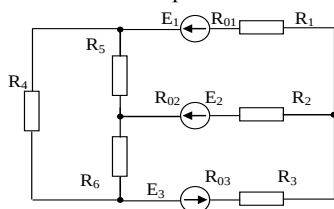


Рис. Вариант 5

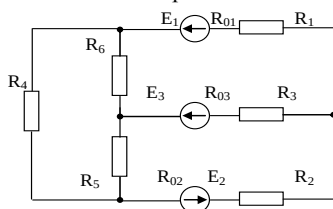


Рис. Вариант 6

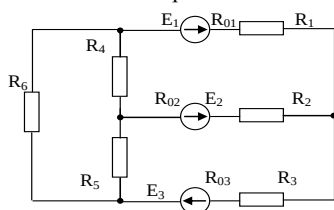


Рис. Вариант 7

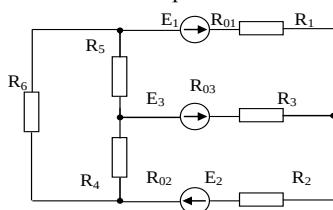


Рис. Вариант 8

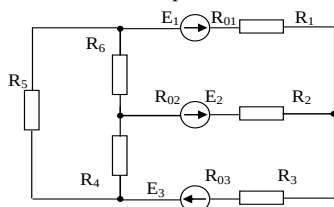


Рис. Вариант 9

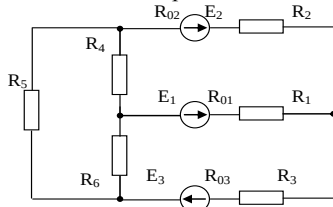


Рис. Вариант 10

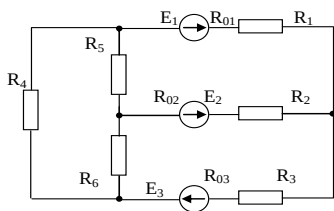


Рис. Вариант 11

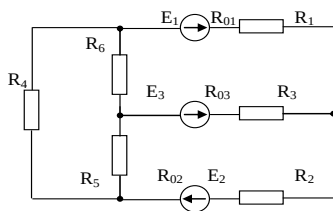


Рис. Вариант 12

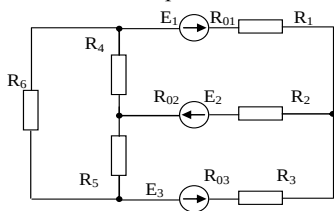


Рис. Вариант 13

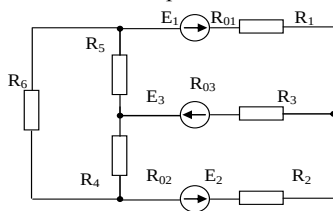


Рис. Вариант 14

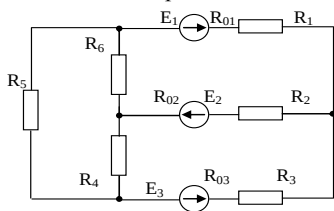


Рис. Вариант 15

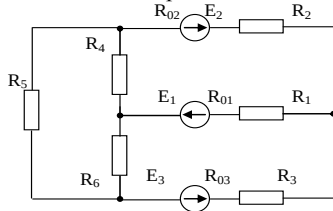


Рис. Вариант 16

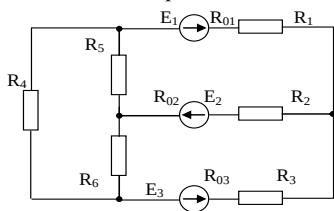


Рис. Вариант 17

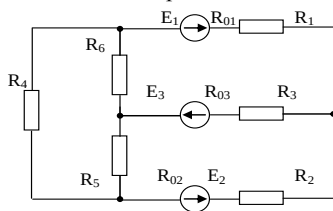


Рис. Вариант 18

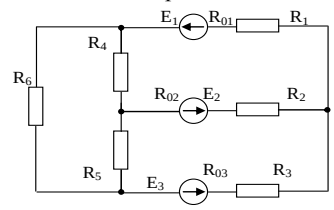


Рис. Вариант 19

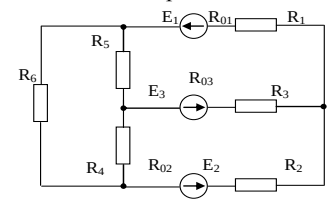


Рис. Вариант 20

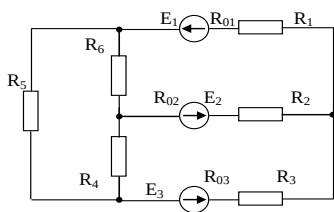


Рис. Вариант 21

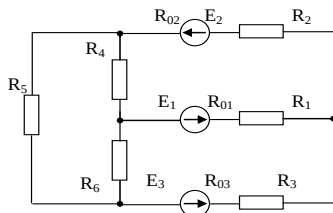


Рис. Вариант 22

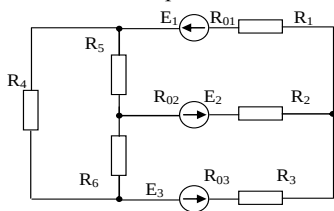


Рис. Вариант 23

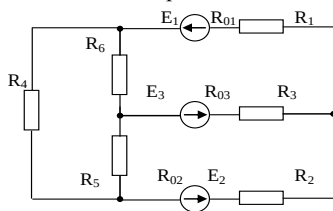


Рис. Вариант 24

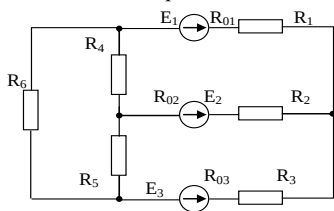


Рис. Вариант 25

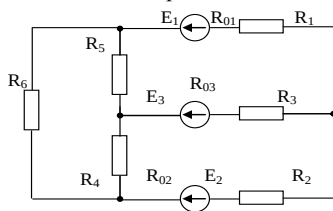


Рис. Вариант 26

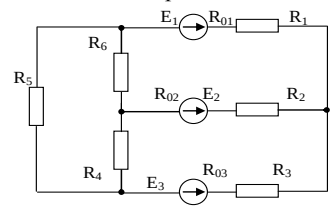


Рис. Вариант 27

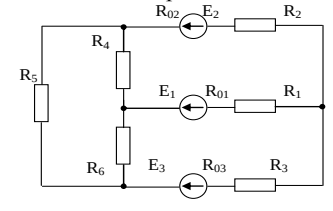


Рис. Вариант 28

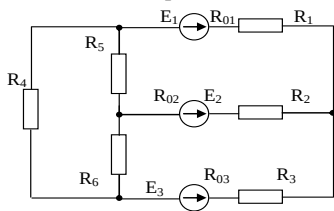


Рис. Вариант 29

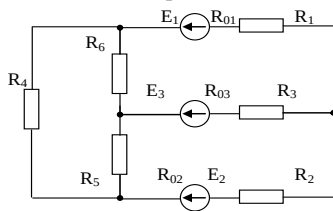


Рис. Вариант 30

Тема 2: Основные понятия о переменном токе

Основные формулы и уравнения

Переменный электрический ток (ЭДС, напряжение) – это ток (ЭДС, напряжение), изменяющийся с течением времени. Значение этой величины в рассматриваемый момент времени называется *мгновенным значением тока* (ЭДС, напряжения).

Наиболее распространен переменный синусоидальный ток (ЭДС, напряжение), являющийся синусоидальной функцией времени. Переменный синусоидальный сигнал характеризуется периодом T , выражаемым в секундах (с), или величиной, обратной периоду и называемой частотой электрического тока (ЭДС, напряжения) f , выражаемой в герцах (Гц):

$$f = 1/T, \quad (2.1)$$

или

$$f = pn/60, \quad (2.2)$$

где p – число пар полюсов генератора; n – частота вращения якоря генератора, об/мин.

Мгновенные значения тока, ЭДС, напряжения соответственно:

$$\begin{aligned} i &= I_m \sin(\omega t \pm \psi_i), \\ e &= E_m \sin(\omega t \pm \psi_e), \\ u &= U_m \sin(\omega t \pm \psi_u), \end{aligned} \quad (2.3)$$

где i, e, u – мгновенные значения: тока, А; ЭДС, В; напряжения, В; I_m, E_m, U_m – амплитудные значения: тока, А; ЭДС, В; напряжения, В; ω – угловая частота, 1/с; ψ_i, ψ_e, ψ_u – начальные фазы тока, ЭДС, напряжения; t – время, с.

Угловая частота синусоидального электрического тока (ЭДС, напряжения)

$$\omega = 2\pi f. \quad (2.4)$$

Начальные фазы тока (ЭДС, напряжения) (ψ_i, ψ_e, ψ_u) – это значения фазы в момент времени $t = 0$.

Разность начальных фаз двух синусоидальных величин одной и той же частоты называют *сдвигом фаз*.

Сдвиг фаз между напряжением и током определяется вычитанием начальной фазы тока из начальной фазы напряжения:

$$\varphi = \psi_u - \psi_i. \quad (2.5)$$

Синусоидально изменяющиеся величины изображают либо графически как функции времени t или угла ωt , либо вращающи-

мися векторами на плоскости. В последнем случае длина вектора в выбранном масштабе представляет собой амплитудное или действующее значение этой величины, угол между этим вектором и положительным направлением оси абсцисс в начальный момент времени равен начальной фазе ψ , а угловая частота вращения вектора равна угловой частоте ω .

Совокупность двух и больше векторов называют *векторной диаграммой*. Сложение векторов производят по правилу параллелограмма. Вычитание их – сложение с обратной по знаку вычитаемой величиной.

Действующее значение переменного тока (ЭДС, напряжения) – это среднеквадратичное значение переменного тока (ЭДС, напряжения) за период T :

$$I = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2 dt}. \quad (2.6)$$

Если ток, ЭДС или напряжение изменяются по синусоидальному закону, то его действующее значение составляет 0,707 амплитудного значения:

$$\begin{aligned} I &= I_m / \sqrt{2} = 0,707 I_m, \\ E &= E_m / \sqrt{2} = 0,707 E_m, \\ U &= U_m / \sqrt{2} = 0,707 U_m. \end{aligned}$$

Так как действующие значения токов, ЭДС и напряжений пропорциональны амплитудам этих величин, то вектор, выражающий в одном масштабе амплитудное значение, в другом представляет собой действующее значение той же величины. Чаше векторные диаграммы строят в действующих значениях.

Практическое занятие № 1.

Синусоидальный ток в RL- и RC-цепях. Анализ процессов в цепи синусоидального тока при последовательном соединении элементов

2.1. К источнику с напряжением $U = 120$ В и частотой $f = 50$ Гц подключена катушка RL с активным сопротивлением $R = 12$ Ом и индуктивностью $L = 0,051$ Гн (рис. 2. 1, а).

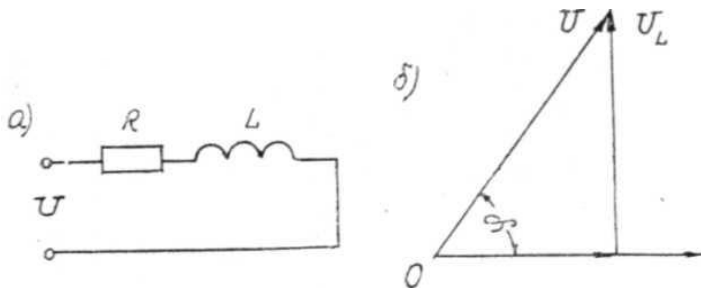


Рис. 2. 1

Определить ток, активную и реактивную составляющие напряжения, коэффициент мощности, активную, реактивную и полную мощности катушки. Построить векторную диаграмму.

Решение. Индуктивное сопротивление катушки:

$$X_L = \omega L = 314 \times 0,051 = 16 \text{ Ом.}$$

Полное сопротивление катушки:

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2} = \sqrt{12^2 + 16^2} = 20 \text{ Ом.}$$

Ток в катушке:

$$I = \frac{U}{Z} = \frac{120}{20} = 6 \text{ А.}$$

Коэффициент мощности:

$$\cos \varphi = \frac{R}{Z} = \frac{12}{20} = 0,6.$$

Активная составляющая напряжения:

$$U_\alpha = RI = 12 \times 6 = 72 \text{ В.}$$

Реактивная составляющая напряжения:

$$U_L = X_L I = 16 \times 6 = 96 \text{ В.}$$

Активная мощность:

$$P = RI^2 = 12 \times 6^2 = 432 \text{ Вт.}$$

Реактивная мощность:

$$Q = X_L I^2 = 16 \times 6^2 = 576 \text{ вар.}$$

Полная мощность:

$$S = ZI^2 = 20 \times 6^2 = 720 \text{ В·А.}$$

Векторная диаграмма напряжений и тока приведена на рис. 2.1, б.

2.2. К источнику переменного тока с $U = 260 \text{ В}$ подключена катушка RL с активным $R = 5 \text{ Ом}$ и индуктивным $X_L = 12 \text{ Ом}$ сопротивлениями.

Определить ток, активную и реактивную составляющие напряжения, коэффициент мощности, активную, реактивную и полную мощности катушки.

2.3. К источнику с $U = 250$ В и $f = 50$ Гц подключены последовательно реостат R с активным сопротивлением $R = 40$ Ом и конденсатор C с емкостью $C = 106,16$ мкФ.

Вычислить ток в цепи, падения напряжения на активном сопротивлении и на конденсаторе, коэффициент мощности, активную, реактивную и полную мощности цепи.

2.4. Для определения параметров катушки RL используются вольтметр PV , амперметр PA и ваттметр PW , включенные по схеме, которая показана на рис. 2.2.

При питании схемы от источника переменного тока с частотой $f = 50$ Гц показания приборов были следующими: амперметра – 1,2 А, вольтметра – 120 В, ваттметра – 86,4 Вт.

Найти активное сопротивление и индуктивность катушки, коэффициент мощности, реактивную и полную мощности катушки.

2.5. Для определения активного сопротивления реостата R и емкости конденсатора C используются вольтметр PV , амперметр PA и ваттметр PW , включенные по схеме, представленной на рис. 2. 3.

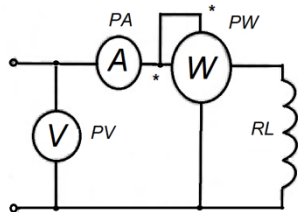


Рис. 2. 2

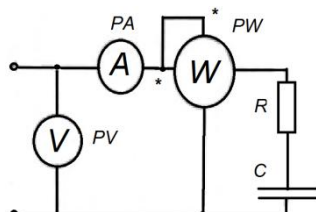


Рис. 2. 3

При питании схемы от источника переменного тока с частотой $f = 50$ Гц на приборах были следующие показания: 20 А, 282,8 В, 800 Вт.

Вычислить активное сопротивление реостата, емкость конденсатора, коэффициент мощности, реактивную и полную мощности цепи.

2.6. Для определения индуктивности катушки произведены два опыта. В первом опыте катушку подключили к зажимам источника переменного тока с $U_1 = 127$ В; $f = 50$ Гц. При этом по катушке проходил ток $I_1 = 4,23$ А. Во втором опыте катушку под-

ключили к источнику постоянного тока с $U_2 = 12$ В. При этом по катушке протекал ток $I_2 = 6$ А.

Какова индуктивность катушки?

2.7. К источнику с напряжением $U = U_m \times \sin \omega t$, действующее значение которого 120 В и частота $f = 50$ Гц, подключена катушка с активным сопротивлением $R = 40$ Ом и коэффициентом мощности $\cos \varphi = 0,8$.

Найти ток в катушке, активную и индуктивную составляющие напряжения, активную, реактивную и полную мощности, поглощаемые катушкой. Написать уравнение мгновенных значений тока и построить треугольник мощностей.

2.8. По катушке с $R = 15,2$ Ом и $L = 41,4$ мГн проходит ток, мгновенное значение которого $i = 15,5 \times \sin 314t$.

Определить действующее значение и написать уравнение напряжения, приложенного к зажимам катушки. Найти активную, реактивную и полную мощности цепи. Построить треугольник сопротивлений.

2.9. По цепи, состоящей из реостата с $R = 24$ Ом и конденсатора с $C = 99,5$ мкФ, проходит ток $i = 7,05 \times \sin 314t$.

Вычислить действующее значение и написать уравнение напряжения, приложенного к зажимам цепи. Найти активную, реактивную и полную мощности цепи. Построить треугольник сопротивлений.

2.10. К зажимам катушки с сопротивлением R и индуктивностью L приложено напряжение в $U = 141 \times \sin(314t + 60^\circ)$ В. По катушке проходит ток $i = 14,1 \times \sin 314t$.

Определить параметры катушки, активную и реактивную составляющие напряжения, активную, реактивную и полную мощности катушки. Построить векторную диаграмму.

2.11. К зажимам цепи, состоящей из реостата и конденсатора, приложено напряжение $U = 112,8 \times \sin(314t + 36^\circ 50')$ В. По катушке проходит ток $i = 5,64 \times \sin 314t$ А.

Найти сопротивление реостата, емкость конденсатора, коэффициент мощности, напряжения на реостате и на конденсаторе, активную, реактивную и полную мощности цепи. Построить треугольник напряжений.

2.12. К источнику переменного тока с $U = 120$ В подключены последовательно реостат с $R = 8$ Ом и конденсатор с $C = 530$ мкФ.

Вычислить ток в цепи, коэффициент мощности, активную, реактивную и полную мощности для частот $f_1 = 50$ и $f_2 = 100$ Гц.

Найти активное сопротивление и индуктивность катушки.

2.13. К источнику переменного тока с $U = 200$ В, $f = 50$ Гц, подключены последовательно реостат R с сопротивлением 30 Ом, катушка L с индуктивностью 0,3185 Гн и конденсатор с емкостью 53,1 мкФ (рис. 2. 4, а).

Определить ток в цепи, напряжения на активном сопротивлении, индуктивности, емкости, коэффициент мощности, цепи, активную, реактивную и полную мощности.

Построить векторную диаграмму.

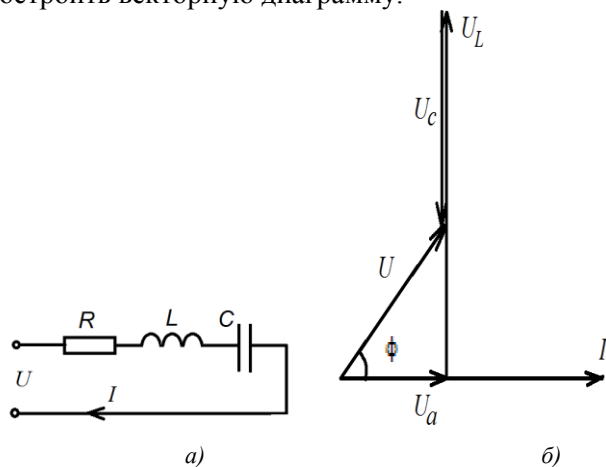


Рис. 2. 4

Решение. Индуктивное сопротивление:

$$X_L = \omega L = 314 \cdot 0,3185 = 100 \text{ Ом.}$$

Емкостное сопротивление:

$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{10^6}{314 \times 53,1} = 60 \text{ Ом.}$$

Полное сопротивление:

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = \sqrt{30^2 + (100 - 60)^2} = 50 \text{ Ом.}$$

Ток в цепи:

$$I = \frac{U}{Z} = \frac{200}{50} = 4 \text{ А.}$$

Коэффициент мощности $\cos \varphi = R/Z = 30/50 = 0,6$.

Напряжения на активном сопротивлении, индуктивности и емкости соответственно равны:

$$U_a = RI = 30 \cdot 4 = 120 \text{ В};$$

$$U_L = X_L I = 100 \cdot 4 = 400 \text{ В};$$

$$U_C = X_C I = 60 \cdot 4 = 240 \text{ В}.$$

Активная, реактивная и полная мощности соответственно равны:

$$P = R I^2 = 30 \cdot 4^2 = 480 \text{ Вт};$$

$$Q = X I^2 = 40 \cdot 4^2 = 640 \text{ вар};$$

$$S = Z I^2 = 50 \cdot 4^2 = 800 \text{ ВА}.$$

Векторная диаграмма напряжений и тока показана на рис. 2. 4, б.

2.14. К источнику с $U = 220 \text{ В}$ и $f = 50 \text{ Гц}$ подключены последовательно $R = 20 \text{ Ом}$, $L = 0,2548 \text{ Гн}$ и $C = 39,8 \text{ мкФ}$.

Найти: ток в цепи; активную, индуктивную и емкостную составляющие напряжения; коэффициент мощности цепи; активную, реактивную и полную мощности цепи. Построить векторную диаграмму напряжений и тока. В каком режиме работает цепь?

2.15. К цепи, состоящей из последовательно включенных реостата $R = 10 \text{ Ом}$, катушки L и конденсатора с $C = 79,5 \text{ мкФ}$, приложено напряжение $U = 110 \text{ В}$ с $f = 50 \text{ Гц}$.

Определить величину индуктивности L , при которой в цепи наступит резонанс напряжений, а также ток в цепи, активную, индуктивную и емкостную составляющие напряжения, коэффициент мощности, активную, реактивную и полную мощности. Построить треугольник сопротивлений.

Практическое занятие № 2

Расчет цепей переменного тока с R , L , C при последовательном соединении приемников

Индивидуальное задание № 2

Исходные данные. К источнику переменного тока с напряжением U подключены последовательно три приемника (рис. 2. 5).

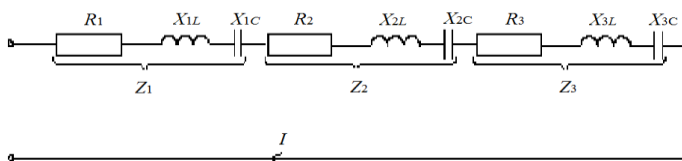


Рис. 2. 5

Определить: ток в цепи I ; напряжения на каждом из приемников U_1, U_2, U_3 ; коэффициент мощности цепи $\cos \varphi$; активную P_k , реактивную Q_k и полную S_k мощности каждого приемника и всей цепи (построить векторную диаграмму напряжений и тока).

Таблица 2.1

№ варианта	U , В	R_1 , Ом	X_{1L} , Ом	X_{1C} , Ом	R_2 , Ом	X_{2L} , Ом	X_{2C} , Ом	R_3 , Ом	X_{3L} , Ом	X_{3C} , Ом
0	50	2	12	2	–	–	4	1	–	2

Решение. Реактивные сопротивления приемников:

$$X_1 = X_{1L} - X_{1C} = 12 - 2 = 10 \text{ Ом};$$

$$X_2 = X_{2L} - X_{2C} = 0 - 4 = -4 \text{ Ом};$$

$$X_3 = X_{3L} - X_{3C} = 0 - 2 = -2 \text{ Ом}.$$

Полные сопротивления приемников:

$$Z_1 = \sqrt{R_1^2 + X_1^2} = \sqrt{2^2 + 10^2} = 10,198 \text{ Ом};$$

$$Z_2 = \sqrt{R_2^2 + X_2^2} = \sqrt{0^2 + (-4)^2} = 4 \text{ Ом};$$

$$Z_3 = \sqrt{R_3^2 + X_3^2} = \sqrt{1^2 + (-2)^2} = 2,236 \text{ Ом}.$$

Эквивалентное полное сопротивление:

$$\begin{aligned} Z &= \sqrt{(R_1 + R_2 + R_3)^2 + (X_1 + X_2 + X_3)^2} = \\ &= \sqrt{(2+0+1)^2 + (10-4-2)^2} = \sqrt{3^2 + 4^2} = 5 \text{ Ом}. \end{aligned}$$

$$\text{Ток в цепи: } I = \frac{U}{Z} = \frac{50}{5} = 10 \text{ А}.$$

Падение напряжения на каждом из приемников:

$$U_1 = IZ_1 = 10 \cdot 10,198 = 101,98 \text{ В};$$

$$U_2 = IZ_2 = 10 \cdot 4 = 40 \text{ В};$$

$$U_3 = IZ_3 = 10 \cdot 2,236 = 22,36 \text{ В}.$$

Активные мощности:

$$P = (R_1 + R_2 + R_3) I^2 = 3 \cdot 10^2 = 300 \text{ Вт};$$

$$P_1 = R_1 I^2 = 2 \cdot 10^2 = 200 \text{ Вт};$$

$$P_2 = R_2 I^2 = 0 \cdot 10^2 = 0 \text{ Вт};$$

$$P_3 = R_3 I^2 = 1 \cdot 10^2 = 100 \text{ Вт};$$

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

$$300 \text{ (Вт)} = 200 + 0 + 100 \text{ Вт};$$

$$300 \text{ (Вт)} = 300 \text{ Вт}.$$

Реактивные мощности:

$$Q = (X_1 + X_2 + X_3) I^2 = 4 \cdot 10^2 = 400 \text{ вар};$$

$$Q_1 = X_1 I_1^2 = 10 \cdot 10^2 = 1000 \text{ вар};$$

$$Q_2 = X_2 I_2^2 = (-4) \cdot 10^2 = -400 \text{ вар};$$

$$Q_3 = X_3 I_3^2 = (-2) \cdot 10^2 = -200 \text{ вар};$$

$$Q = Q_1 + Q_2;$$

$$400 \text{ вар} = 1000 - 400 - 200 \text{ вар};$$

$$400 \text{ вар} = 400 \text{ вар}.$$

Полные мощности:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{300^2 + 400^2} = 500 \text{ ВА};$$

$$S_1 = \sqrt{P_1^2 + Q_1^2} = \sqrt{200^2 + 1000^2} = 1020 \text{ ВА};$$

$$S_2 = \sqrt{P_2^2 + Q_2^2} = \sqrt{0^2 + (-400)^2} = 400 \text{ ВА};$$

$$S_3 = \sqrt{P_3^2 + Q_3^2} = \sqrt{100^2 + (-200)^2} = 223,6 \text{ ВА}.$$

Коэффициенты мощности каждой ветви и всей цепи:

$$\cos \varphi = \frac{R_1 + R_2 + R_3}{Z} = \frac{3}{5} = 0,6;$$

$$\cos \varphi_1 = \frac{R_1}{Z_1} = \frac{2}{10,198} = 0,196;$$

$$\cos \varphi_2 = \frac{R_2}{Z_2} = \frac{0}{4} = 0;$$

$$\cos \varphi_3 = \frac{R_3}{Z_3} = \frac{1}{2,236} = 0,447.$$

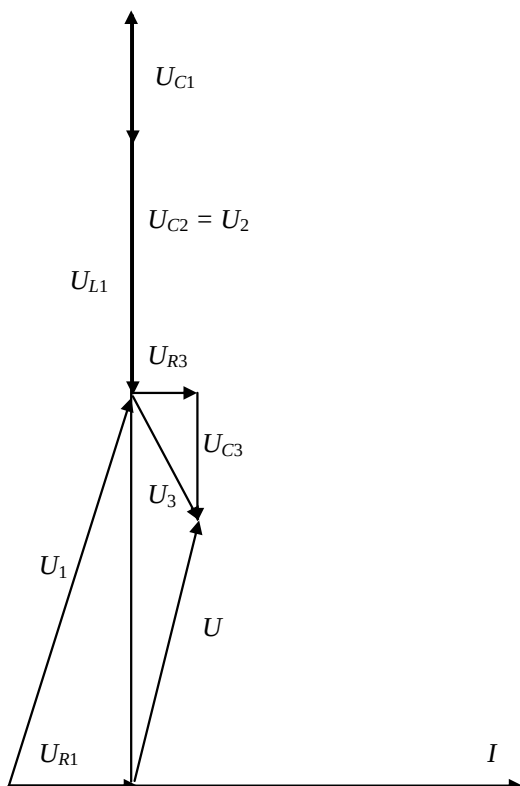


Рис. 2. 6. Векторная диаграмма напряжений и тока

Таблица 2. 2

Варианты к заданию 2

№ варианта	U, В	R ₁ , Ом	X _{1L} , Ом	X _{1C} , Ом	R ₂ , Ом	X _{2L} , Ом	X _{2C} , Ом	R ₃ , Ом	X _{3L} , Ом	X _{3C} , Ом
1	100	–	10	–	3	4	–	1	–	11
2	50	–	4	–	2	2	12	1	2	–
3	100	3	–	4	–	10	10	1	1	–
4	63,2	2	14	–	2	–	10	1	–	19
5	79	10	–	10	–	20	–	5	5	30
6	126,4	2	10	–	2	–	14	1	19	–
7	158	–	–	20	10	10	–	5	30	5
8	200	6	8	–	6	18	–	–	–	10
9	100	4	3	–	4	15	–	8	–	6
10	200	6	–	18	6	8	–	–	–	6
11	100	4	–	15	4	–	3	8	6	–
12	100	6,2	25	5	5	5	–	4	–	12
13	200	–	6,2	–	5	–	11	8	20	–
14	200	5	–	5	6,2	25	4	4	16	19
15	100	5	11	–	–	–	6,2	8	–	20
16	150	8	6	–	5	21	–	5	–	3
17	120	12	24	–	6	–	12	6	6	–
18	60	8	–	6	5	3	–	5	–	21
19	150	12	–	12	–	24	–	12	–	30
20	130	6	10	–	–	10	–	6	–	15
21	65	–	10	5	5	15	–	–	–	8
22	65	–	–	10	6	–	10	6	15	–
23	10	5	–	15	4	5	10	6	–	–
24	400	16	12	–	–	18	–	16	4	10
25	200	6	16	–	12	20	–	6	–	4
26	80	16	–	16	–	12	–	16	4	24
27	220	–	3	–	4	10	10	–	1	1
28	250	10	2	–	–	2	14	1	–	19
29	100	2	12	2	–	–	4	1	–	2
30	100	–	10	–	3	4	–	1	–	11

Практическое занятие № 3.

Расчет цепей переменного тока с R, L, C при параллельном соединении приемников. Метод проводимостей

Индивидуальное задание № 3

Исходные данные: К источнику переменного тока с напряжением U параллельно подключены два приемника. Первый из них имеет параметры R_1, X_{1L}, X_{1C} , второй – R_2, X_{2L}, X_{2C} (рис. 2. 7).

Определить: токи I_1, I_2 в ветвях цепи и I в неразветвленной части методом проводимостей; коэффициенты мощности $\cos\varphi_1, \cos\varphi_2, \cos\varphi_3$; активную P , реактивную Q и полную S мощности приемников и всей цепи. Построить векторную диаграмму.

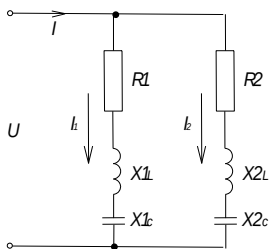


Рис. 2. 7

Таблица 2. 3

№ варианта	$U, В$	$R_1, Ом$	$X_1, Ом$	Характер нагрузки	$R_2, Ом$	$X_2, Ом$	Характер нагрузки
0	80	4	4	R_1L	6	8	R_2C

Решение. Реактивные сопротивления приемников:

$$X_1 = X_{1L} - X_{1C} = 4 - 0 = 4 \text{ Ом};$$

$$X_2 = X_{2L} - X_{2C} = 0 - 8 = -8 \text{ Ом}.$$

Полные сопротивления приемников:

$$Z_1 = \sqrt{R_1^2 + X_1^2} = \sqrt{4^2 + 4^2} = 5,657 \text{ Ом};$$

$$Z_2 = \sqrt{R_2^2 + X_2^2} = \sqrt{6^2 + (-8)^2} = 10 \text{ Ом}.$$

Активные проводимости приемников:

$$G_1 = \frac{R_1}{Z_1^2} = \frac{4}{32} = 0,125 \text{ См}; \quad G_2 = \frac{R_2}{Z_2^2} = \frac{6}{100} = 0,06 \text{ См}.$$

Эквивалентная активная проводимость:

$$G_{12} = G_1 + G_2 = 0,125 + 0,06 = 0,185 \text{ См}.$$

Реактивные проводимости приемников:

$$B_1 = \frac{X_1}{Z_1^2} = \frac{4}{32} = 0,125 \text{ См}; \quad B_2 = \frac{X_2}{Z_2^2} = \frac{-8}{100} = -0,08 \text{ См}.$$

Эквивалентная реактивная проводимость:

$$B_{12} = B_1 + B_2 = 0,125 - 0,08 = 0,045 \text{ См} > 0,$$

=> проводимость имеет индуктивный характер.

Эквивалентная полная проводимость:

$$Y_{12} = \sqrt{G_{12}^2 + B_{12}^2} = \sqrt{0,185^2 + 0,045^2} = 0,19 \text{ См}.$$

Эквивалентное активное сопротивление:

$$R_{12} = \frac{G_{12}}{Y_{12}^2} = \frac{0,185}{0,036} = 5,139 \text{ Ом}.$$

Эквивалентное реактивное сопротивление:

$$X_{12} = \frac{B_{12}}{Y_{12}^2} = \frac{0,045}{0,036} = 1,25 \text{ Ом} \text{ имеет индуктивный характер}.$$

Эквивалентное полное сопротивление: $Z_{12} = \frac{1}{Y_{12}} = 5,252 \text{ Ом}.$

Ток в неразветвленной части цепи: $I = \frac{U}{Z_{12}} = \frac{80}{5,252} = 15,232 \text{ А}.$

Токи в приемниках:

$$I_1 = \frac{U}{Z_1} = \frac{80}{5,657} = 14,142 \text{ А}, \quad I_2 = \frac{U}{Z_2} = \frac{80}{10} = 8 \text{ А}.$$

Активные мощности:

$$P = R_{12} I^2 = 5,103 \cdot 15,232^2 = 1184 \text{ Вт};$$

$$P_1 = R_1 I_1^2 = 4 \cdot 14,142^2 = 800 \text{ Вт};$$

$$P_2 = R_2 I_2^2 = 6 \cdot 8^2 = 384 \text{ Вт};$$

$$P = P_1 + P_2;$$

$$1184 \text{ Вт} = 800 + 384 \text{ Вт};$$

$$1184 \text{ Вт} = 1184 \text{ Вт}.$$

Реактивные мощности:

$$Q = X_{12} I^2 = 1,241 \cdot 15,232^2 = 288 \text{ вар};$$

$$Q_1 = X_1 I_1^2 = 4 \cdot 14,142^2 = 800 \text{ вар};$$

$$Q_2 = X_2 I_2^2 = (-8) \cdot 8^2 = -512 \text{ вар};$$

$$Q = Q_1 + Q_2;$$

$$288 \text{ (вар)} = 800 - 512 \text{ вар};$$

$$288 \text{ (вар)} = 288 \text{ вар}.$$

Полные мощности:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{1184^2 + 288^2} = 1219 \text{ ВА};$$

$$S_1 = \sqrt{P_1^2 + Q_1^2} = \sqrt{800^2 + 800^2} = 1131 \text{ ВА};$$

$$S_2 = \sqrt{P_2^2 + Q_2^2} = \sqrt{384^2 + (-512)^2} = 640 \text{ ВА}.$$

Коэффициенты мощности каждой ветви и всей цепи:

$$\cos \varphi = \frac{R_{12}}{Z_{12}} = \frac{5,103}{5,252} = 0,972;$$

$$\cos \varphi_1 = \frac{R_1}{Z_1} = \frac{4}{5,657} = 0,707;$$

$$\cos \varphi_2 = \frac{R_2}{Z_2} = \frac{6}{10} = 0,6.$$

Векторная диаграмма токов и напряжения:

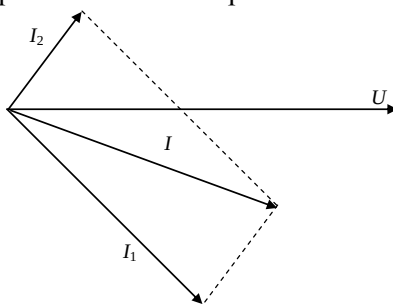


Рис. 2. 8

Таблица 2. 4

Варианты к заданию 3

№ варианта	U , В	R_1 , Ом	X_1 , Ом	Характер нагрузки	R_2 , Ом	X_2 , Ом	Характер нагрузки
1	28,2	6	8	R_1L	2	2	R_2C
2	135	8	6	R_1L	12	16	R_2L
3	73,5	8	6	R_1L	–	20	L
4	108,2	4	8	R_1C	10	20	R_2L
5	40,5	8	6	R_1C	4	3	R_2L
6	139	20	10	R_1L	–	25	L
7	89,3	6	8	R_1L	16	12	R_2C
8	206,6	30	40	R_1C	12	16	R_2L
9	124	10	10	R_1C	12	16	R_2L
10	112	–	10	L	8	6	R_2C
11	89,3	12	16	R_1L	8	6	R_2C
12	105	4	4	R_1L	6	8	R_2C
13	89,3	8	6	R_1C	12	6	R_2C
14	67,2	6	8	R_1L	16	12	R_2L
15	108,5	10	10	R_1C	16	12	R_2L
16	45,3	6	8	R_1C	2	2	R_2L
17	45,3	8	6	R_1L	2	2	R_2L
18	70	12	16	R_1L	–	10	L
19	70	12	16	R_1L	–	10	C
20	70	12	16	R_1C	–	10	L
21	70	12	16	R_1C	–	10	C
22	125	30	40	R_1C	12	20	R_2L
23	140	20	10	R_1L	–	25	L
24	140	20	10	R_1L	6	8	R_2C
25	48,5	16	12	R_1L	3	4	R_2C
26	100	6	8	R_1L	8	6	R_2C
27	127	10	40	R_1C	4	3	R_2L
28	220	20	10	R_1C	12	16	R_2C
29	50	8	6	R_1C	20	10	R_2C
30	80	4	4	R_1L	6	8	R_2C

Практическое занятие № 4
Резонансы напряжений и токов в электрических цепях

2.16. В сеть с $U = 220$ В и $f = 50$ Гц включены последовательно активное сопротивление $R = 11$ Ом, индуктивность $L = 159,2$ мГн и переменная емкость C .

Вычислить величину емкости C_0 , при которой наступит резонанс напряжений. Рассчитать цепь в режиме резонанса напряжений и построить треугольник мощностей.

2.17. К источнику переменного тока $U = 220$ В подключены последовательно реостат с $R = 10$ Ом, катушка с $L = 0,318$ Гн и конденсатор с $C = 53,1$ мкФ.

Найти частоту f_0 , при которой в цепи наступит резонанс напряжений. Рассчитать цепь в режиме резонанса напряжений и построить векторную диаграмму.

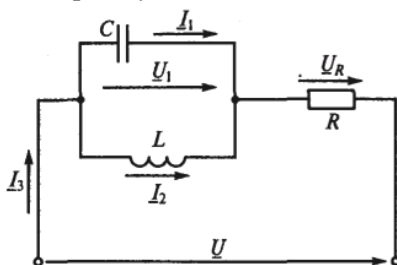


Рис. 2. 9

2.18. Каковы напряжения U_1 , U_R и токи I_1 , I_2 и I_3 на рис. 2. 9 при резонансе токов, если $U = 380$ В, $X_C = 38$ Ом, $R = 100$ Ом? (Указать неправильный ответ.)

1. $I_1 = 10$ А. 2. $I_2 = 10$ А. 3. $I_3 = 20$ А. 4. $U_1 = 380$ В. 5. $U_R = 0$.

2.19. Каковы напряжения U_R , U_L , U_C и U_1 и ток I при резонансе напряжений в цепи на рис. 2. 10, если $U = 220$ В, $R = 22$ Ом, $X_L = 200$ Ом? (Указать неправильный ответ.)

1. $I = 10$ А.
2. $U_R = 220$ В.
3. $U_L = 2000$ В.

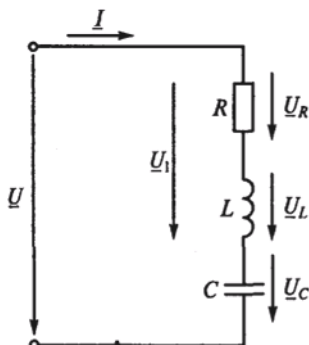


Рис. 2. 10

2.20. Для неразветвленной цепи переменного тока, заданной для каждого варианта значениями параметров, указанных в табл. 2.5, определить недостающие параметры (указанные в той же таблице) при работе цепи в режиме резонанса напряжений.

Таблица 2.5

Варианты	$R, \text{ Ом}$	$L, \text{ мГн}$	$C, \text{ мкФ}$	$U_{\text{вх}}, \text{ В}$	$I_{\text{рез}}, \text{ А}$	$S, \text{ В} \cdot \text{А}$	$P, \text{ Вт}$	$Q_{L0}, \text{ вар}$	$Q_{C0}, \text{ вар}$	$f_0, \text{ Гц}$	$U_R, \text{ В}$	$U_C, \text{ В}$	$U_L, \text{ В}$
1	—	10	1,0	—	2,5	500	—	—	—	—	—	—	—
2	5	—	6	4	—	—	—	64	—	—	—	—	—
3	—	—	—	—	0,5	30	—	—	240	100	—	—	—
4	40	120	0,2	—	—	—	360	—	—	—	—	—	—
5	—	—	—	—	2,2	—	55	—	—	1500	—	450	—
6	—	80	—	20	—	—	40	—	—	—	—	—	400

2.21. Параметры цепи, представленной на рис. 2. 11, указаны в табл. 2. 6. Для каждого варианта определить I, I_1, I_2, S, P, Q при $U_{\text{вх}} = 300 \text{ В}$. Определить также для всех вариантов значение резонансной частоты f_0 и найти значения $I, I_1, I_2, I_L(I_C), S, P, Q, Q_L(Q_C)$ при работе цепи в режиме резонанса токов.

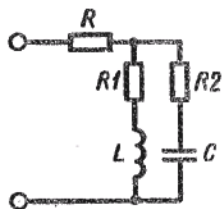


Рис. 2. 11

Таблица 2. 6

Варианты	R , Ом	$R1$, Ом	L , Гн	Z_1 , Ом	C , мкФ	$R2$, Ом	Z_2 , Ом	f , Гц
1	100	—	0,1	100	30	50	—	100
2	10	40	0,02	—	—	120	210	500
3	800	200	—	360	8	—	120	200
4	0	—	0,003	20	—	20	60	1000
5	5	0	—	12	70	3	—	400
6	200	—	0,7	250	5	0	600	50

Тема 3: Трёхфазные электрические цепи

Основные формулы и уравнения

Трёхфазная система электрических токов (ЭДС, напряжений) – это совокупность трех синусоидальных электрических токов (ЭДС, напряжений) одной частоты, сдвинутых по фазе друг относительно друга на 120° . При равенстве амплитуд токов (ЭДС, напряжений) во всех фазах систему называют *симметричной*.

Часть этой системы, где проходит один из трех токов, называют *фазой трёхфазной системы*.

Простейший трёхфазный генератор – устройство, аналогичное однофазному генератору, но имеющее в отличие от последнего три одинаковые обмотки (фазы) на статоре, начала и концы которых обозначают соответственно A, B, C и X, Y, Z . Эти обмотки сдвинуты в пространстве относительно друг друга на равные углы $2\pi/3 = 120^\circ$.

При вращении якоря в обмотках статора индуцируются ЭДС одной частоты и равной амплитуды, сдвинутые по фазе на 120° друг относительно друга.

Если отдельные фазы генератора и приемника соединены между собой, то такую систему называют *связанной трёхфазной системой*, в которой фазы могут быть соединены в «звезду» и «треугольник».

Соединение обмоток генератора и приемников в звезду. Звезда – это такое соединение, когда к началам обмоток генератора A, B, C присоединяют три линейных провода, идущих к приемнику, а концы обмоток X, Y, Z соединены в узел, называемый *нейтральной* или *нулевой точкой* (рис. 3. 1.).

В четырехпроводной системе к этой точке присоединен нейтральный, или нулевой, провод, в трехпроводной системе он отсутствует.

Напряжение между началами и концами фаз генератора или между линейными проводами и нейтральным (нулевым) проводом называют *фазным напряжением*. Напряжение между любыми двумя линейными проводами называют *линейным напряжением*.

Токи, проходящие по линейным проводам, называют линейными и обозначают I_A, I_B, I_C . Токи, проходящие в фазах, называют *фазными*.

При соединении в «звезду» линейные токи равны соответствующим фазным токам:

$$I_{\text{л}} = I_{\text{ф}} , \quad (3.1)$$

где $I_{\text{л}}, I_{\text{ф}}$ – линейный и фазный токи, А.

Вектор линейного напряжения равен разности векторов соответствующих фазных напряжений:

$$\begin{aligned} \vec{U}_{AB} &= \vec{U}_A - \vec{U}_B , \\ \vec{U}_{BC} &= \vec{U}_B - \vec{U}_C , \\ \vec{U}_{CA} &= \vec{U}_C - \vec{U}_A . \end{aligned} \quad (3.2)$$

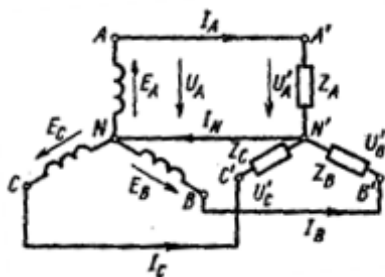


Рис. 3. 1

Для симметричной системы напряжений

$$U_{\text{л}} = \sqrt{3}U_{\text{ф}} , \quad (3.3)$$

где $U_{\text{л}}, U_{\text{ф}}$ – линейное и фазное напряжения, В.

Векторная сумма линейных напряжений всегда равна нулю.

При соединении приемников энергии в «звезду» трехфазная цепь может быть четырехпроводной (см. рис. 3. 1) и трехпроводной.

Действующие значения токов в фазах приемников

$$I_A = U_A/Z_A ; I_B = U_B/Z_B ; I_C = U_C/Z_C , \quad (3.4)$$

где U_A, U_B, U_C – действующие значения фазных напряжений, В; Z_A, Z_B, Z_C – полные сопротивления фаз приемников, Ом.

В четырехпроводной системе ток в нейтральном проводе равен векторной сумме токов отдельных фаз:

$$\vec{I}_N = \vec{I}_A + \vec{I}_B + \vec{I}_C , \quad (3.5)$$

где i_N – ток в нейтральном проводе, А.

В четырехпроводной трехфазной цепи при симметричной системе напряжений и равномерной нагрузке, т. е. равенстве комплексов полных сопротивлений приемников $\underline{Z}_A = \underline{Z}_B = \underline{Z}_C$, ток в нейтральном проводе равен нулю.

Активная мощность всей цепи при неравномерной нагрузке равна сумме активных мощностей отдельных фаз:

$$P = P_A + P_B + P_C , \quad (3.6)$$

где P – активная мощность всей цепи, Вт; P_A, P_B, P_C – активные мощности фаз А, В и С, Вт;

$$P_A = U_A I_A \cos \varphi_A , P_B = U_B I_B \cos \varphi_B , P_C = U_C I_C \cos \varphi_C .$$

Реактивная мощность всей цепи при неравномерной нагрузке равна алгебраической сумме реактивных мощностей отдельных фаз:

$$Q = Q_A + Q_B + Q_C , \quad (3.7)$$

где Q – реактивная мощность всей цепи, вар; Q_A, Q_B, Q_C – реактивная мощность фаз А, В, С, вар;

$$Q_A = U_A I_A \sin \varphi_A , Q_B = U_B I_B \sin \varphi_B , Q_C = U_C I_C \sin \varphi_C .$$

Полная потребляемая мощность цепи при неравномерной нагрузке, ВА:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} , \quad (3.8)$$

где P – активная мощность всей цепи, Вт; Q – реактивная мощность всей цепи, вар.

При симметричной системе напряжений и равномерной нагрузке мощности всей цепи:

$$\text{активная} \quad P = 3U_\phi I_\phi \cos \varphi = \sqrt{3}U_L I_L \cos \varphi ; \quad (3.9)$$

$$\text{реактивная} \quad Q = 3U_\phi I_\phi \sin \varphi = \sqrt{3}U_L I_L \sin \varphi ; \quad (3.10)$$

$$\text{полная} \quad S = 3U_\phi I_\phi = \sqrt{3}U_L I_L . \quad (3.11)$$

Соединение обмоток генератора и приемников энергии в треугольник. Соединение обмоток трехфазного генератора в «треугольник» показано на рис. 3. 2.

Фазные напряжения на генераторе являются и линейными:

$$U_A = U_{AB}, U_B = U_{BC}, U_C = U_{CA}. \quad (3.12)$$

При соединении приемника энергии в «треугольник» (рис. 3. 3) сопротивления Z_{AB} , Z_{BC} , Z_{CA} подключают непосредственно к линейным проводам, поэтому линейные напряжения являются одновременно и фазными для приемников.

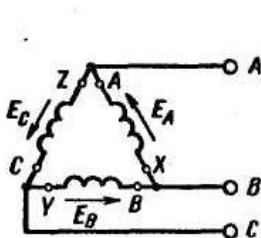


Рис. 3. 2

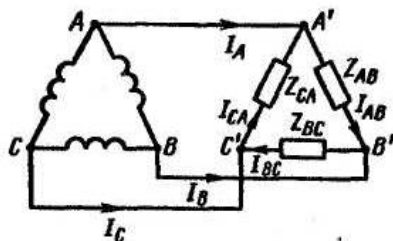


Рис. 3. 3

Положительное направление линейных и фазных токов указано на рис. 3. 3.

Соотношения между фазными и линейными токами можно записать, применив первый закон Кирхгофа для узлов A , B и C (рис. 3. 3; 3. 4, а, б):

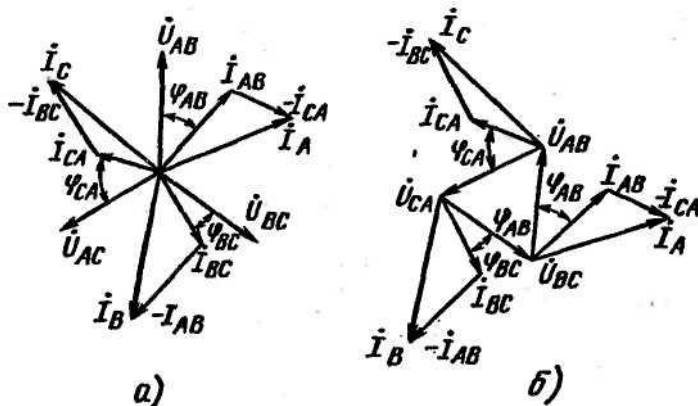


Рис. 3. 4

$$\vec{I}_A = \vec{I}_{AB} - \vec{I}_{CA}, \vec{I}_B = \vec{I}_{BC} - \vec{I}_{AB}, \vec{I}_C = \vec{I}_{CA} - \vec{I}_{BC},$$

где I_A, I_B, I_C – линейные токи трехфазной цепи, А; I_{AB}, I_{BC}, I_{CA} – токи в фазах, А.

Вектор любого линейного тока находят как разность векторов соответствующих фазных токов.

При симметричной системе напряжений и равномерной нагрузке, т. е. при $Z_{AB} = Z_{BC} = Z_{CA}$, имеем $I_l = \sqrt{3}I_\phi$.

Полную, активную и реактивную мощности цепи при неравномерной и равномерной нагрузках рассчитывают по формулам (3. 6) – (3. 11).

Практическое занятие № 1

Соединение приемников по схеме «звезда» и «треугольник»

3.1. В трехфазную сеть с линейным напряжением $U_l = 220$ В включены три одинаковых приемника энергии, соединенные звездой. Сопротивления приемников $R = 6$ и $X_L = 8$ Ом.

Определить фазные и линейные токи, мощности трехфазной нагрузки, построить топографическую диаграмму.

Решение. При симметричной нагрузке расчет трехфазной цепи сводится к расчету одной фазы. Определяем фазное напряжение:

$$U_\phi = U/\sqrt{3} = 220/\sqrt{3} = 127 \text{ В.}$$

Полные сопротивления приемников:

$$Z_\phi = \sqrt{R^2 + X_L^2} = \sqrt{6^2 + 8^2} = 10 \text{ Ом.}$$

Коэффициент мощности:

$$\cos\varphi = R/Z_\phi = 0,6.$$

Фазные токи:

$$I_\phi = U_\phi/Z = 127/10 = 12,7 \text{ А.}$$

При соединении приемников энергии звездой линейные токи равны фазным:

$$I_l = I_\phi = 12,7 \text{ А.}$$

Мощности трехфазного приемника:

$$P = \sqrt{3} UI \cos \varphi = \sqrt{3} 220 \cdot 12,7 \cdot 0,6 = 2903 \text{ Вт;}$$

$$Q = \sqrt{3} UI \sin \varphi = \sqrt{3} \cdot 220 \cdot 12,7 \cdot 0,8 = 3871 \text{ вар;}$$

$$S = \sqrt{3} UI \cos \varphi = \sqrt{3} 220 \cdot 12,7 = 4839 \text{ ВА.}$$

Топографическая диаграмма показана на рис. 3.5.

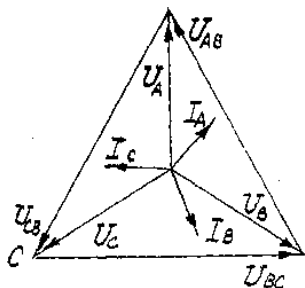


Рис. 3. 5

3.2. К трехфазному источнику с $U_{\text{л}} = 400$ В подключены три одинаковых приемника, соединенные звездой и имеющие сопротивления $R = 5$ и $X_L = 15$ Ом.

Определить фазные и линейные токи, мощности трехфазной цепи. Построить топографическую диаграмму.

3.3. К трехфазной сети с $U_{\text{л}} = 380$ В подключен трехфазный асинхронный двигатель с номинальной активной мощностью (на валу) $P_{\text{ном}} = 14$ кВт, коэффициентом мощности $\cos\varphi = 0,89$ и коэффициентом полезного действия $\eta = 90$ %. Обмотки двигателя соединены звездой.

Вычислить токи в фазах двигателя, параметры обмоток фаз. Построить топографическую диаграмму.

3.4. В трехфазную сеть с $U_{\text{л}} = 220$ В включен трехфазный синхронный двигатель, обмотки которого соединены звездой. Показание амперметра в линейном проводе $I_{\text{л}} = 29,8$ А, $\cos\varphi = 0,88$. Найти фазное напряжение, параметры обмоток фаз двигателя, активную, реактивную и полную мощности асинхронного двигателя. Построить топографическую диаграмму.

3.5. К трехфазной сети с $U_{\text{л}} = 660$ В подключены три одинаковых приемника энергии, соединенные треугольником и имеющие сопротивления $R = 32$ и $X_L = 24$ Ом.

Определить фазные и линейные токи, мощности трехфазной цепи. Построить топографическую диаграмму.

3.6. К трехфазной сети с $U_{\text{л}} = 380$ В подключен трехфазный асинхронный двигатель с номинальной активной мощностью (на валу) $P_{\text{ном}} = 14$ кВт; $\cos\varphi = 0,89$ и КПД $\eta = 90$ %. Обмотки двигателя соединены треугольником. Найти токи в обмотках фаз двигателя, токи в подводящих проводах, параметры обмоток двигателя. Построить топографическую диаграмму.

3.7. К трехфазной сети с $U_{\text{л}} = 3000$ В подключены три одинаковых приемника, сопротивления которых $R = 120$ и $X_L = 160$ Ом.

Найти фазные и линейные токи и мощности, если приемники соединены: а) звездой; б) треугольником. Как изменятся линейные токи и мощности при переключении приемников со звезды на треугольник?

3.8. Симметричная нагрузка соединена звездой. Линейное напряжение 380 В. Каково фазное напряжение?

1. 380 В.
2. 250 В.
3. 220 В.
4. 127 В.

3.9. Изменятся ли линейные токи в случае обрыва нейтрального провода при симметричной и несимметричной нагрузках?

1. При симметричной нагрузке изменятся, при несимметричной – не изменятся.

2. В обоих случаях изменятся.

3. При симметричной нагрузке не изменятся, при несимметричной – изменятся.

4. В обоих случаях не изменятся.

3.10. Каковы уравнения, связывающие векторы линейных и фазных токов в схеме на рис. 3. 3?

1. $I_A = I_{AB} - I_{CA}$; $I_B = I_{BC} - I_{AB}$; $I_C = I_{CA} - I_{BC}$.

2. $I_A = I_{CA} - I_{AB}$; $I_{BC} = I_{AB}$; $I_C = I_{BC} - I_{CA}$.

3. $I_A = I_{AB} + I_{CA}$; $I_B = I_{BC} + I_{AB}$; $I_C = I_{CA} + I_{BC}$.

3.11. Линейное напряжение 380 В. Каким будет фазное напряжение, если нагрузка соединена треугольником?

1. 380 В.
2. 220 В.
3. 127 В.

3.12. В симметричной трехфазной цепи фазное напряжение 220 В, фазный ток 5 А, $\cos\varphi = 0,8$. Какова фазная активная мощность?

1. 0,88 кВт.
2. 1,1 кВт.
3. 2,64 кВт.

3.13. Какова будет фазная реактивная мощность трехфазной цепи при условиях, указанных в задаче?

1. 0,66 квар.
2. 1,1 квар.
3. 2,64 квар.

3.14. Лампы накаливания с номинальным напряжением 127 В включают в трехфазную сеть с линейным напряжением 220 В. Какова при этом схема соединения ламп?

1. Звездой.

2. Звездой с нейтральным проводом.

3. Треугольником.

4. Лампы нельзя включать в сеть с линейным напряжением 220 В.

3.15. В трехфазную сеть с линейным напряжением 220 В включают трехфазный двигатель, каждая из обмоток которого рассчитана на 127 В. Как следует соединить обмотки двигателя?

1. Звездой.
2. Треугольником.
3. Двигатель нельзя включать в эту сеть.

3.16. Трехфазный двигатель с напряжением 127 В включают в трехфазную сеть с линейным напряжением 380 В. Как следует соединить обмотки двигателя?

1. Звездой.
2. Треугольником.
3. Двигатель нельзя включать в эту сеть.

3.17. Лампы накаливания с номинальным напряжением 220 В включают в трехфазную сеть с линейным напряжением 220 В. Какова схема включения ламп?

1. Звездой.
2. Звездой с нейтральным проводом.
3. Треугольником.

Практическое занятие № 2.

Расчет трехфазных электрических цепей

Индивидуальное задание № 4

Исходные данные. В трехфазную сеть с напряжением U включены три одинаковых приемника энергии (рис. 3. 6). Сопротивления приемника равны R и X_L или X_C (табл. 3. 1).

Определить:

1. Фазные и линейные токи.
2. Определить коэффициент мощности, активные и реактивные мощности всей цепи и каждой фазы отдельно.
3. Построить топографические диаграммы.

Задачу решить для случаев, когда приемники энергии соединены звездой (рис. 3. 6, а), а затем треугольником (рис. 3. 6, б). Сравнить полученные результаты.

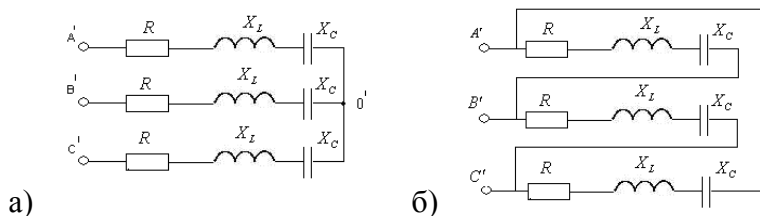


Рис. 3. 6

Таблица 3. 1

№ варианта	U, В	R _Ф , Ом	X _{LФ} , Ом	X _{CФ} , Ом
0	660	40	30	---

1) Расчет трехфазной цепи при соединении приемников звездой (рис. 3. 6, а):

$$I_{\text{л}} = I_{\text{Ф}};$$

$$U_{\text{л}} = \sqrt{3}U_{\text{Ф}}.$$

1. Определяем фазное напряжение:

$$U_{\text{Ф}} = \frac{U_{\text{л}}}{\sqrt{3}} = \frac{660}{\sqrt{3}} = 381,05 \text{ В}.$$

2. Определяем полное сопротивление фаз:

$$Z_{\text{Ф}} = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = \sqrt{40^2 + 30^2} = 50 \text{ Ом}.$$

3. Определяем фазные и линейные токи:

$$I_{\text{л}} = I_{\text{Ф}} = \frac{U_{\text{Ф}}}{Z_{\text{Ф}}} = \frac{381,05}{50} = 7,62 \text{ А}.$$

4. Определяем активные, реактивные, и полные мощности фаз:

$$P_{\text{Ф}} = U_{\text{Ф}} \cdot I_{\text{Ф}} \cdot \cos \varphi = 381,05 \cdot 7,62 \cdot 0,8 = 2322,88 \text{ Вт};$$

$$\cos \varphi = \frac{R}{Z} = \frac{40}{50} = 0,8 ;$$

$$Q_{\text{Ф}} = U_{\text{Ф}} \cdot I_{\text{Ф}} \cdot \sin \varphi = 381,05 \cdot 7,62 \cdot 0,6 = 1742,16 \text{ вар};$$

$$\sin \varphi = \frac{X_L}{Z} = \frac{30}{50} = 0,6 ;$$

$$S_{\text{Ф}} = U_{\text{Ф}} \cdot I_{\text{Ф}} = \sqrt{P_{\text{Ф}}^2 + Q_{\text{Ф}}^2} = 381,05 \cdot 7,62 = 2903,6 \text{ ВА}.$$

5. Определяем активные, реактивные и полные мощности всей нагрузки:

$$P_{3\text{Ф}} = 3P_{\text{Ф}} = 3 \cdot 2322,88 = 6968,64 \text{ Вт};$$

$$Q_{3\text{Ф}} = 3Q_{\text{Ф}} = 3 \cdot 1742,16 = 5226,4 \text{ вар};$$

$$S_{3\text{Ф}} = 3S_{\text{Ф}} = 3 \cdot 2903,6 = 8710,8 \text{ ВА}.$$

6. Строим топографическую диаграмму (рис. 3.7).

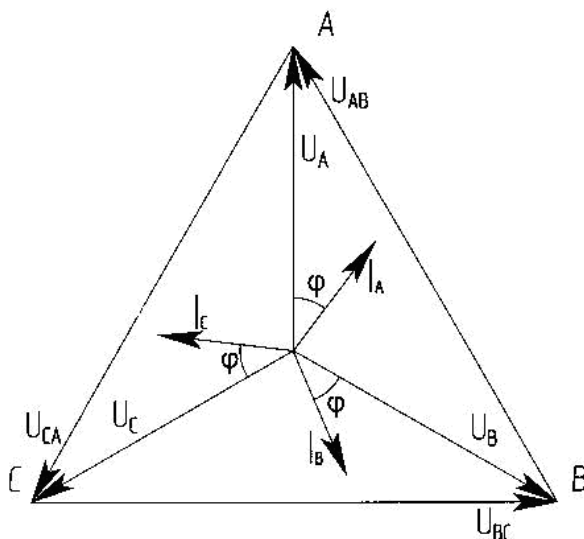


Рис. 3. 7

2. Расчет трехфазной цепи при соединении приемников треугольником (рис. 3. 6, б).

$$U_{\text{л}} = U_{\phi};$$

$$I_{\text{л}} = \sqrt{3}I_{\phi}.$$

1. Определяем фазные и линейные токи:

$$I_{\phi} = \frac{U_{\phi}}{Z_{\phi}} = \frac{660}{50} = 13,2 \text{ A};$$

$$I_{\text{л}} = \sqrt{3}I_{\phi} = \sqrt{3} \cdot 13,2 = 22,86 \text{ A}.$$

2. Определяем активные, реактивные, и полные мощности:

$$P = 3U_{\phi} \cdot I_{\phi} \cdot \cos\varphi = 3 \cdot 660 \cdot 13,2 \cdot 0,8 = 209088 \text{ Вт};$$

$$Q = 3U_{\phi} \cdot I_{\phi} \cdot \sin\varphi = 3 \cdot 660 \cdot 13,2 \cdot 0,6 = 156816 \text{ вар};$$

$$S = 3U_{\phi} \cdot I_{\phi} = 3 \cdot 660 \cdot 13,2 = 26136 \text{ ВА}.$$

3. Строим топографическую диаграмму (рис. 3. 8).

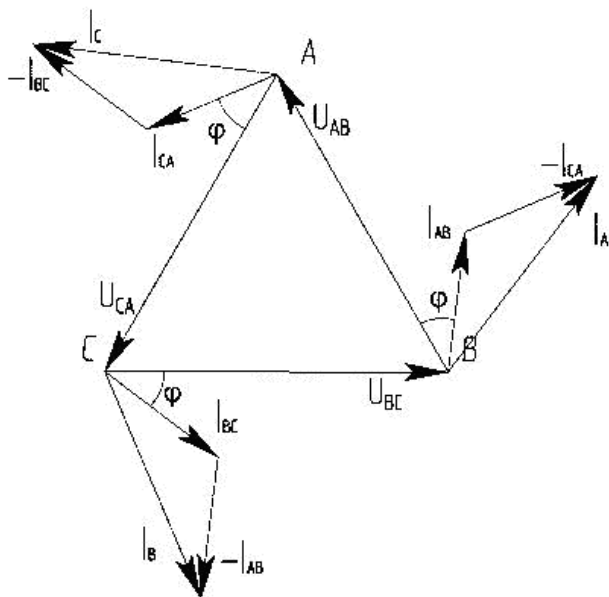


Рис. 3. 8

3. Сравниваем полученные результаты:

При соединении приемников треугольником линейные токи в 3 раза, а фазные токи в $\sqrt{3}$ раз больше, чем при соединении этих же приемников звездой:

$$I_{\Phi.треуг.} = \sqrt{3} \cdot I_{\Phi.звезда},$$

$$I_{Л.треуг} = 3 \cdot I_{Л.звезда}.$$

Активные, реактивные и полные мощности всей нагрузки при соединении приемников треугольником в 3 раза больше, чем при соединении этих же приемников звездой:

$$P_{треуг.} = 3 \cdot P_{звезда},$$

$$Q_{треуг} = 3 \cdot Q_{звезда},$$

$$S_{треуг} = 3 \cdot S_{звезда}.$$

Таблица 3. 2

Варианты к заданию 4

№ варианта	U, В	R _Ф , Ом	X _{LФ} , Ом	X _{CФ} , Ом
1	86,5	3	4	–
2	173	4	–	3
3	380	12	16	–
4	380	16	–	12
5	400	32	16	–
6	600	32	–	16
7	225	5	12	–
8	450	5	–	12
9	244	2	14	–
10	380	14	–	2
11	400	5	15	–
12	230	15		5
13	380	15,2		13
14	660	13	15,2	
15	520	18	24	–
16	660	24	–	18
17	277	9,6	12,8	
18	380	12,8	–	9,6
19	660	15	20	–
20	600	20	–	15
21	3000	45	60	–
22	3300	60	–	45
23	216,5	7,5	10	–
24	220	10	–	7,5
25	380	10	20	
26	500	20	–	10
27	660	9	12	–
28	380	12	–	9
29	230	16	–	12
30	400	14	2	–

Тема 4: Полупроводниковые приборы

Основные формулы и уравнения

Сопротивление диода постоянному току:

$$R_0 = U_a / I_a, \quad (4.1)$$

где U_a – напряжение на диоде в прямом направлении, В; I_a – ток через диод в прямом направлении, А.

Сопротивление диода переменному току (дифференциальное сопротивление):

$$R_i = \Delta U_a / \Delta I_a, \quad (4.2)$$

где ΔU_a – изменение прямого напряжения, В; ΔI_a – изменение прямого тока под действием изменения прямого напряжения, А.

Крутизна вольтамперной характеристики диода:

$$S = \Delta I_a / \Delta U_a. \quad (4.3)$$

Мощность потерь на аноде диода:

$$P_a = I_a U_a. \quad (4.4)$$

Входное сопротивление транзистора переменному току:

$$R_{вх} = \Delta U_{вх} / \Delta I_{вх}, \quad (4.5)$$

где $\Delta U_{вх}$ – изменение входного напряжения, В; $\Delta I_{вх}$ – изменение входного тока под действием изменения входного напряжения, А.

Коэффициенты:

– усиление тока базы в схеме с общим эмиттером:

$$h_{21Э} = \Delta I_K / \Delta I_B; \quad (4.6)$$

– передачи тока эмиттера в схеме с общей базой:

$$h_{21Б} = \Delta I_K / \Delta I_Э, \quad (4.7)$$

где ΔI_K , ΔI_B , $\Delta I_Э$ – изменения токов коллектора, базы и эмиттера.

Связь между коэффициентом усиления тока базы $h_{21Э}$ и коэффициентом передачи тока эмиттера $h_{21Б}$:

$$h_{21Э} = h_{21Б} / (1 - h_{21Б}). \quad (4.8)$$

Мощность потерь на коллекторе:

$$P_K = I_K U_K, \quad (4.9)$$

где I_K – ток коллектора, А; U_K – напряжение на коллекторе, В.

Практическое занятие № 1

Расчет характеристик полупроводниковых диодов

4.1. По вольт-амперной характеристике кремниевого выпрямительного диода КД103А при $t = 20^\circ \text{C}$ (рис. 4. 1), определить сопро-

тивление постоянному току при прямом включении для напряжений $U_{np} = 0,4; 0,6; 0,8$ В. Построить график зависимости $R_0 = f(U_{np})$.

4.2. Используя вольт-амперную характеристику диода КД103А при $t = 20^\circ\text{C}$ (рис. 4. 1), определить сопротивление постоянному току при обратном включении для напряжений $U_{обр} = -50; -100; -200$ В. Построить график зависимости $R_0 = f(U_{обр})$.

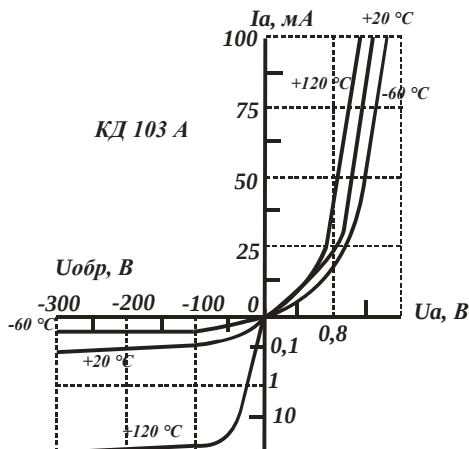


Рис. 4. 1

4.3. Построить зависимость сопротивления постоянному току диода КД103А при прямом включении от температуры окружающей среды, используя характеристики, представленные на рис. 4. 1, для $U_{np} = 0,4; 0,6; 0,8$ В.

4.4. Используя вольт-амперную характеристику диода КД103А при $t = 20^\circ\text{C}$ (рис. 4. 1), определить дифференциальное сопротивление и крутизну прямой ветви для напряжения $U_{np} = 0,8$ В.

4.5. Определить дифференциальное сопротивление и крутизну обратной ветви вольт-амперной характеристики диода КД103А при $t = 20^\circ\text{C}$ (рис. 4. 1) для напряжения $U_{обр} = -50$ В.

4.6. Построить график зависимости сопротивления постоянному току диода КД103А при обратном включении от температуры окружающей среды, используя вольт-амперные характеристики рис. 4.1, для напряжения $U_{обр} = -50; -100$ В.

4.7. По вольт-амперной характеристике диода КД103А (рис. 4. 1) определить изменения прямого тока при изменении температуры от -60 до $+120^\circ\text{C}$ для значений $U_{np} = 0,4; 0,6; 0,8; 1$ В.

4.8. По вольт-амперной характеристике диода КД103А (рис. 4.1) определить изменения обратного тока при изменении температуры от -60 до $+120$ °С для значений $U_{обр} = -50; -100; -200$ В.

4.9. Для диода Д312 при изменении прямого напряжения от $0,2$ до 16 мА. Определить крутизну характеристики и дифференциальное сопротивление диода.

4.10. Определить изменение прямого тока для диода Д311А, если известно, что при изменении прямого напряжения $U_{пр}$ от $0,2$ до $0,6$ В крутизна характеристики $S = 150$ мСм.

4.11. При изменении прямого напряжения $U_{пр}$ от $0,2$ до $0,4$ В дифференциальное сопротивление диода $R_i = 36,4$ Ом. Определить изменение прямого тока диода.

4.12. Во сколько раз изменится прямой ток диода КД103А при увеличении температуры от -60 до 120 °С для $U_{пр} = 0,4; 0,6; 0,8$ В? Вольт-амперные характеристики диода КД103А приведены на рис. 4.1.

4.13. Используя вольт-амперные характеристики диода КД103А (рис. 4.1), определить изменения обратного тока диода при увеличении температуры от -60 до 120 °С для значений $U_{обр} = -50; -100; -200$ В.

4.14. Определить на сколько изменится прямое сопротивление опорного диода Д814А, если при токе стабилизации $I_{ст} = 5$ мА напряжение стабилизации изменяется от 7 до $8,5$ В.

4.15. Какое напряжение можно стабилизировать на нагрузке при последовательном включении двух опорных диодов Д814Г, каждый из которых имеет напряжение стабилизации $U_{ст} = 10 \div 12$ В?

4.16. Как можно включить в электрическую сеть два однотипных полупроводниковых диода, рассчитанных на максимально допустимый ток 100 мА каждый, если в цепи проходит ток $I = 150$ мА?

4.17. Для диодов КД103А наибольшее обратное напряжение $U_{обр} = 50$ В. Как можно включить такие диоды в цепь, в которой имеется напряжение $U = 80$ В?

Практическое занятие № 2

Расчет характеристик биполярных и униполярных транзисторов

4.18. В транзисторе КТ315А, включенном по схеме с общим эмиттером, ток базы изменился на $0,1$ мА. Определить изменение тока эмиттера, если коэффициент передачи тока базы $h_{21Б} = 0,975$.

Решение. Используя формулы (4. 6) и (4. 8), определяем изменение тока коллектора:

$$\Delta I_K = h_{213} \Delta I_B = h_{21B} \Delta I_B / (1 - h_{21B}) = 0,975 \cdot 0,1 / (1 - 0,975) = 3,9 \text{ мА}.$$

Находим изменение тока эмиттера:

$$\Delta I_E = \Delta I_K + \Delta I_B = 3,9 + 0,1 = 4 \text{ мА}.$$

КТ 339А

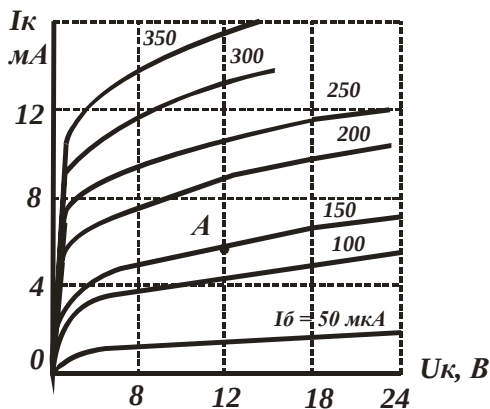


Рис. 4. 2

4.19. По семейству выходных характеристик транзистора КТ339А в схеме с общим эмиттером (рис. 4. 2) определить ток базы I_B и напряжение на коллекторе U_K в рабочей точке А, в которой ток коллектора $I_K = 6 \text{ мА}$, а мощность, рассеиваемая на коллекторе $P_K = 72 \text{ мВт}$.

Решение. Используя формулу (4. 9), определяем напряжение на коллекторе:

$$U_K = \frac{P_K}{I_K} = \frac{72 \cdot 10^{-3}}{6 \cdot 10^{-3}} = 12 \text{ В}.$$

Таким образом, положение рабочей точки А на выходных характеристиках определяется значениями $I_K = 6 \text{ мА}$, $U_K = 12 \text{ В}$. Находим положение рабочей точки А на выходных характеристиках транзистора КТ339А и определяем ток базы: $I_B = 150 \text{ мкА}$.

4.20. Для транзистора КТ312А обратный ток коллектора $I_K = 10 \text{ мкА}$ при напряжении $U_K = 15 \text{ В}$. Определить обратное сопротивление коллекторного перехода постоянному току.

4.21. Для транзистора КТ312А мощность, рассеиваемая на коллекторе, $P_K = 225 \text{ мВт}$.

Используя семейство выходных характеристик транзистора КТ312А в схеме с общим эмиттером (рис. 4. 3), определить рабочую область, учитывая, что наибольшее напряжение на коллекторе $U_k = 20$ В.

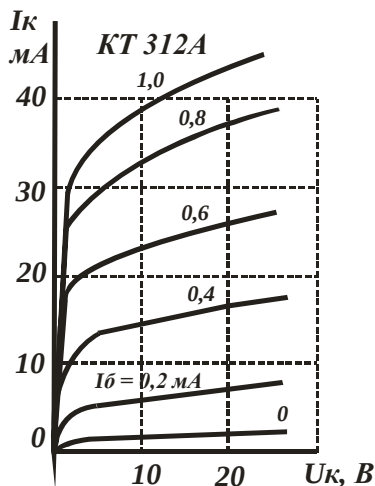


Рис. 4. 3

4.22. Для транзистора КТ312А статический коэффициент усиления тока базы $h_{21э} = 10 \div 100$. Определить, в каких пределах может изменяться коэффициент передачи тока эмиттера $h_{21б}$.

4.23. Для транзистора ГТ109А коэффициент передачи тока эмиттера $h_{21б} = 0,95 \div 0,98$. Определить в каких пределах может изменяться коэффициент усиления тока базы.

4.24. Используя семейство выходных характеристик транзистора КТ312А в схеме с общим эмиттером (рис. 4. 3), определить значение тока коллектора I_k при напряжении на коллекторе $U_k = 15$ В для значений тока базы $I_b = 0,2; 0,4; 0,6; 0,8$ мА. Построить график зависимости $I_k = f(I_b)$.

4.25. По семейству выходных характеристик транзистора КТ312А в схеме с общим эмиттером (см. рис. 4. 3) определить значения коэффициентов усиления тока базы $h_{21э}$ при напряжениях на коллекторе $U_k = 5; 10; 15$ В и токе базы $I_b = 0,4$ мА. Построить зависимость $h_{21э} = f(U_k)$.

4.26. По входной характеристике транзистора КТ312А в схеме с общим эмиттером определить входное сопротивление переменному току $R_{вх}$ при напряжении на коллекторе $U_k = 5$ В и напряжениях на базе $U_B = 0,3; 0,4; 0,5$ В. Построить зависимость $R_{вх} = f(U_B)$.

4.27. По семейству выходных характеристик транзистора КТ312А в схеме с общим эмиттером (см. рис. 4. 3) определить значения коэффициентов усиления тока базы $h_{21э}$ при напряжении на коллекторе $U_k = 15$ В для токов базы $I_B = 0,2; 0,4; 0,6; 0,8$ мА. Построить график зависимости $h_{21э} = f(U_k)$.

4.28. Используя семейство выходных характеристик транзистора КТ312А в схеме с общим эмиттером (см. рис. 4. 3), определить выходное сопротивление транзистора при токе базы $I_B = 0,6$ мА и напряжениях на коллекторе $U_k = 5; 10; 15$ В. Построить график зависимости $R_{вых} = f(U_k)$.

4.29. По семейству выходных характеристик транзистора КТ312А в схеме с общим эмиттером (см. рис. 4. 3) определить выходное сопротивление транзистора при напряжении на коллекторе $U_k = 10$ В и токах базы $I_B = 0,2; 0,4; 0,6; 0,8$ мА. Построить график зависимости $R_{вых} = f(I_B)$.

4.30. По семейству выходных характеристик транзистора КТ312А в схеме с общим эмиттером (см. рис. 4. 3) определить напряжение на коллекторе U_k , при котором проходит ток коллектора $I_k = 31,5$ мА, а ток базы $I_B = 0,8$ мА. Оцените мощность, рассеиваемую коллектором в данном режиме.

4.31. Для транзистора КТ339А, включенного по схеме с общей базой, при изменении тока эмиттера на 10 мА ток коллектора изменится на 9,7 мА. Определить коэффициент усиления по току для транзистора в схеме с общим эмиттером.

4.32. На рис. 4. 4 приведено семейство выходных характеристик транзистора ГТ403А в схеме с общей базой. Определить коэффициент передачи тока эмиттера $h_{21Б}$ для напряжения на коллекторе $U_k = 8$ В и токов эмиттера $I_э = 0,2; 0,4; 0,6; 0,8$ А. Построить график зависимости $h_{21Б} = f(I_э)$.

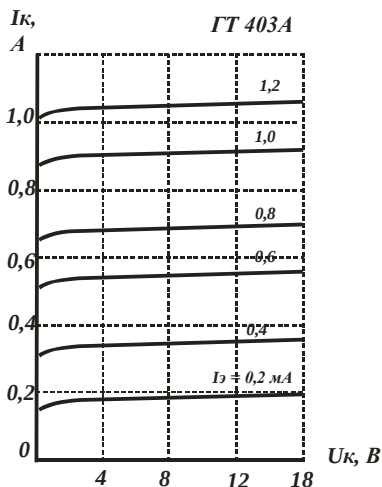


Рис. 4. 4

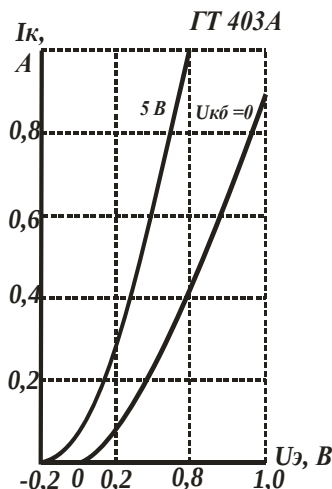


Рис. 4. 5

4.33. По входной характеристике транзистора ГТ403А в схеме с общей базой (рис. 4. 5) определить входное сопротивление переменному току, если известно, что ток эмиттера изменяется в пределах от 0,15 до 0,35 А.

4.34. Используя входную характеристику транзистора ГТ403А, включённого в схеме с общей базой (рис. 4. 5), определить входное сопротивление постоянному току при напряжениях $U_э = 0,2; 0,4; 0,6$ В.

4.35. Для транзистора ГТ403А, включённого по схеме с общим эмиттером, ток коллектора изменяется на 140 мА, а ток эмиттера – на 145 мА. Определить коэффициент усиления тока базы.

4.36. Для транзистора КТ315А, включённого по схеме с общим эмиттером, входное сопротивление переменному току $R_{вх} = 160$ Ом. Определить входное сопротивление транзистора в схеме с общей базой, если коэффициент передачи тока эмиттера $h_{21Б} = 0,96$.

4.37. По семейству выходных характеристик транзистора МП41 в схеме с общей базой (рис. 4. 6) определить изменение тока коллектора, если при коллекторном напряжении $U_K = 10$ В ток эмиттера меняется от 15 до 35 мА.

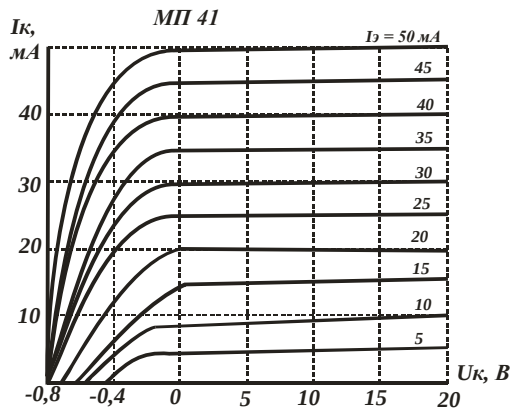


Рис. 4. 6

4.38. Для транзистора МП41 в схеме с общей базой, семейство выходных характеристик которого приведено на рис. 4. 6, определить в рабочей точке А ток эмиттера $I_э$, ток коллектора $I_к$ и напряжение на коллекторе $U_к$, если мощность потерь на коллекторе $P_к = 150$ мВт, а сопротивление постоянному току $R_0 = 402$ Ом.

4.39. Используя семейство выходных характеристик транзистора МП41 в схеме с общей базой (рис. 4. 6), определить мощность рассеиваемую на коллекторе, при напряжении $U_э = 5$ В и токе эмиттера $I_э = 30$ мА.

Тема 5: Полупроводниковые устройства

Практическое занятие № 1. Электронные выпрямители

Основные формулы и уравнения

Выпрямленное напряжение:

- для однополупериодного выпрямителя (рис. 5. 1):

$$U_0 = U_{2m} / \pi, \quad (5.1)$$

где U_{2m} – амплитуда напряжения вторичной обмотки трансформатора;

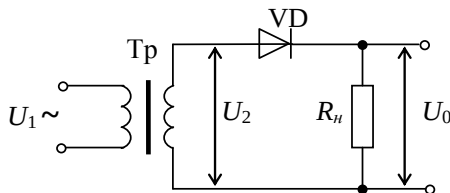


Рис. 5. 1

- для *двухполупериодного выпрямителя* со средней точкой:
(рис. 5. 2) и мостовой схемы (рис. 5. 3):

$$U_0 = 2U'_{2m} / \pi, \quad (5.2)$$

где U'_{2m} – половина амплитуды напряжения вторичной обмотки трансформатора.

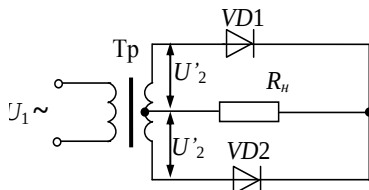


Рис. 5. 2

Наибольшее обратное напряжение, приложенное к диоду:

- для *однополупериодного выпрямителя* и мостовой схемы:

$$U_{обр} = U_{2m}, \quad (5.3)$$

- для *двухполупериодного выпрямителя* со средней точкой:

$$U_{обр} = 2U'_{2m}. \quad (5.4)$$

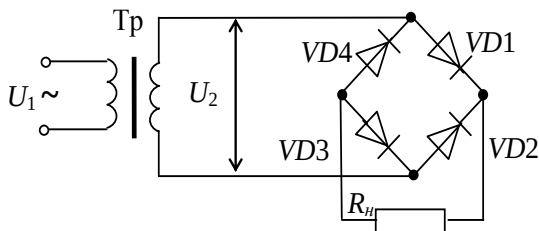


Рис. 5. 3

Коэффициент пульсаций выпрямленного напряжения:

$$k_n = U_{1m} / U_0, \quad (5.5)$$

где U_{1m} – амплитуда первой гармоники напряжения на нагрузке.

Коэффициент сглаживания:

$$q = k_{нвх} / k_{нвых}, \quad (5.6)$$

где $k_{нвх}$, $k_{нвых}$ – коэффициенты пульсаций на входе и выходе сглаживающего фильтра.

5.1. В схеме однополупериодного выпрямителя (см. рис. 5. 1) через диод проходит выпрямленный ток $I_0 = 75$ мА. Определить

сопротивление нагрузки R_n , если амплитуда напряжения вторичной обмотки трансформатора $U_{2m} = 200$ В.

Решение. Согласно (5. 1), выпрямленное напряжение на нагрузке:

$$U_0 = U_{2m} / \pi.$$

Сопротивление нагрузки:

$$R_n = U_0 / I_0 = U_{2m} / (\pi I_0) = 220 / (3,14 \cdot 75 \cdot 10^{-3}) = 934 \text{ Ом}.$$

5.2. Амплитуда напряжения вторичной обмотки трансформатора двухполупериодной схемы выпрямителя (см. рис. 5. 2) $U'_{2m} = 210$ В. Определить выпрямленный ток, проходящий через каждый диод I_0 , если сопротивление нагрузки $R_n = 510$ Ом.

Решение. Согласно (5. 2), выпрямленное напряжение

$$U_0 = 2U'_{2m} / \pi.$$

Ток, проходящий через диод:

$$I_0 = U_0 / (2R_n) = U_{2m} / (\pi R_n) = 210 / (3,14 \cdot 510) = 131 \text{ мА}.$$

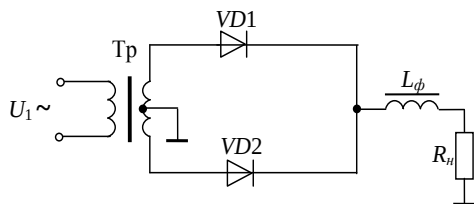


Рис. 5. 4

5.3. Для схемы двухполупериодного выпрямителя с индуктивным сглаживающим фильтром (рис. 5. 4) определить коэффициент сглаживания q , если известно, что амплитуда напряжения вторичной обмотки трансформатора $U'_{2m} = 300$ В, выпрямленный ток, проходящий через нагрузку $I_0 = 200$ мА, частота сети $f_c = 50$ Гц, индуктивность дросселя $L_\phi = 10$ Гн.

Решение. Выпрямленное напряжение на нагрузке:

$$U_0 = 2U'_{2m} / \pi = 2 \cdot 300 / 3,14 = 191 \text{ В}.$$

Сопротивление нагрузки:

$$R_n = U_0 / I_0 = 191 / (200 \cdot 10^{-3}) = 955 \text{ Ом}.$$

Коэффициент:

$$q = k_{\text{пех}} / k_{\text{вых}} = X_{L_\phi} / R_n = 2\pi f_n L_\phi / R_n = 2 \cdot 3,14 \cdot 2 \cdot 50 \cdot 10 / 955 = 6,6.$$

5.4. В схеме однополупериодного выпрямителя (см. рис. 5. 1) на

нагрузке $R_n = 510$ Ом постоянное напряжение $U_0 = 100$ В. Правильно ли выбран диод Д205, для которого максимальное обратное напряжение $U_{обр} = 400$ В, а наибольший выпрямленный ток $I_0 = 400$ мА?

5.5. Для схемы однополупериодного выпрямителя (см. рис. 5. 1) определить выпрямленное напряжение U_0 , если амплитуда напряжения первичной обмотки трансформатора $U_{1m} = 220$ В, коэффициент трансформации $n = 1,43$.

5.6. Для схемы однополупериодного выпрямителя (см. рис. 5. 1) определить постоянное напряжение на нагрузке, если на вторичной обмотке трансформатора $U_{2m} = 250$ В.

5.7. В схеме двухполупериодного выпрямителя (см. рис. 5. 2) через нагрузку проходит постоянный ток $I_0 = 600$ мА. Можно ли в схеме использовать диоды типа Д229В, у которых наибольший средний прямой ток не более 400 мА?

5.8. Определить частоту пульсации первой гармоники напряжения на нагрузке двухполупериодного выпрямителя (см. рис. 5. 2), если напряжение первичной обмотки трансформатора имеет частоту $f_c = 400$ Гц?

5.9. Для схемы двухполупериодного выпрямителя (см. рис. 5. 2) определить выпрямленное напряжение на нагрузке U'_0 , если действующее значение напряжения вторичной обмотки трансформатора $U_2 = 120$ В.

5.10. В схеме двухполупериодного выпрямителя (см. рис. 5. 2) обратное напряжение, действующее на каждый диод, $U_{обр} = 471,2$ В. Определить выпрямленное напряжение на нагрузке U_0 .

5.11. Определить амплитуду переменного напряжения на нагрузке в схеме двухполупериодного выпрямителя (см. рис. 5. 2), если выпрямленный ток, проходящий через каждый диод, $I_0 = 70$ мА, а сопротивление нагрузки $R_n = 39$ Ом.

5.12. Частота колебаний пульсации выпрямленного напряжения в схеме двухполупериодного выпрямителя (см. рис. 5. 2) $f_c = 2$ кГц. Какова частота питающей сети?

5.13. Определить выпрямленное напряжение U_0 на нагрузке двухполупериодной мостовой схемы выпрямителя (см. рис. 5. 3), если амплитуда напряжения первичной обмотки трансформатора $U_{1m} = 150$ В, а коэффициент трансформации трансформатора $n = 2$.

5.14. В двухполупериодной мостовой схеме выпрямителя (см. рис. 5. 3) обратное напряжение на диодах $U_{обр} = 235,5$ В. Оп-

ределить ток, проходящий через каждый диод, если сопротивление нагрузки $R_H = 390 \text{ Ом}$.

5.15. Определить действующее значение напряжения вторичной обмотки трансформатора в схеме двухполупериодного мостового выпрямителя (см. рис. 5. 3), если через каждый диод идет ток $I_0 = 150 \text{ мА}$, а сопротивление нагрузки $R_H = 430 \text{ Ом}$.

5.16. Для двухполупериодной мостовой схемы выпрямителя (см. рис. 5. 3) определить обратное напряжение на диодах, если через каждый диод идет ток $I_0 = 250 \text{ мА}$, а сопротивление нагрузки $R_H = 680 \text{ Ом}$.

5.17. Построить схему двухполупериодного мостового выпрямителя с емкостным сглаживающим фильтром и определить коэффициент сглаживания при условии, что амплитуда напряжения вторичной обмотки трансформатора $U_{2m} = 250 \text{ В}$, выпрямленный ток, проходящий через каждый диод, $I_0 = 50 \text{ мА}$, частота сети $f_c = 400 \text{ Гц}$, емкость конденсатора фильтра $C_\phi = 10 \text{ мкФ}$.

5.18. В схему однополупериодного выпрямителя (см. рис. 5. 1) включен емкостный сглаживающий фильтр. Определить емкость конденсатора фильтра, если сопротивление нагрузки $R_H = 820 \text{ Ом}$, частота сети $f_c = 50 \text{ Гц}$, коэффициент сглаживания $q = 10$.

5.19. В схему однополупериодного выпрямителя (см. рис. 5. 1) включен индуктивный сглаживающий фильтр. Определить индуктивность дросселя, если выпрямленный ток $I_0 = 75 \text{ мА}$, выпрямленное напряжение $U_0 = 120 \text{ В}$, частота сети $f_c = 400 \text{ Гц}$, коэффициент сглаживания $q = 15$.

5.20. В схему двухполупериодного мостового выпрямителя (см. рис. 5. 3) включен индуктивно-емкостный сглаживающий фильтр. Определить элементы фильтра L_ϕ , C_ϕ , если выпрямленный ток, проходящий через каждый диод, $I_0 = 100 \text{ мА}$, выпрямленное напряжение на нагрузке $U_0 = 150 \text{ В}$, частота сети $f_c = 50 \text{ Гц}$, коэффициент сглаживания $q = q_L q_C = 100$.

Практическое занятие № 2.

Расчет неуправляемого выпрямителя

Индивидуальное задание № 5

Резистивная нагрузка R_H запитывается выпрямленным напряжением, среднее значение которого U_H . Мощность выделяемая в

нагрузке P_H . Неуправляемый выпрямитель (схема выпрямления согласно варианту задания) питается вторичным напряжением U_2 трансформатора T , включенного в сеть, действующее напряжение которой U_c (для трехфазных схем выпрямления задается действующее напряжение фазы U_ϕ).

Определить сопротивление нагрузки R'_H . Рассчитать ток нагрузки I_H . Определить действующее напряжение вторичной обмотки трансформатора, коэффициент трансформации и мощность трансформатора.

Выполнить расчет параметров, используемых в схеме выпрямителя диодов: максимальное значение прямого тока диода $I_{D\max}$ (от I_H) и значение обратного напряжения на диоде $U_{\text{добр}}$ (от U_H).

Таблица 5. 1

Исходные данные

Вариант задания №	Неуправляемый выпрямитель	Действующее значение напряжения сети U_c (или U_ϕ), В	Напряжение нагрузки U_H , В	Мощность нагрузки P_H , Вт
0	однофазная мостовая	170	5	0,7

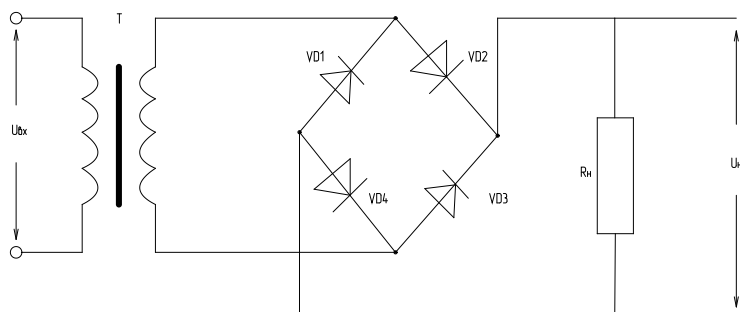


Рис. 5. 5. Схема однофазного мостового неуправляемого выпрямителя

Положительная полуволна (с верхнего по схеме вывода трансформатора) проходит через диод VD2, затем через нагрузку, затем через VD3 ко второму выводу трансформатора. При смене направления тока работают диоды VD4, VD1. Недостатком схемы считается удвоенное число диодов.

1. Определим номинальный ток I_H , А, по формуле:

$$I_H = \frac{P_H}{U_H}.$$

Значения мощности нагрузки P_H и напряжения нагрузки U_H имеются в исходных данных.

$$I_H = \frac{0,7}{5} = 0,14 \text{ А.}$$

2. Определим сопротивление R_H , Ом, по формуле:

$$R_H = \frac{U_H}{I_H}.$$

Значение напряжения нагрузки $U_H = 5\text{В}$ имеется в исходных данных; номинальный ток $I_H = 0,14 \text{ А}$ (рассчитан в пункте № 1).

$$R_H = \frac{5}{0,14} = 36 \text{ Ом.}$$

Далее выбираем стандартное сопротивление $R'_H = 100 \text{ Ом}$.

Так как $R_H = 36 \text{ Ом}$, а первое стандартное значение равно 100 Ом, следовательно все значения $R < 100 \text{ Ом}$ будут приравнены к $R'_H = 100 \text{ Ом}$, а если $R > 100 \text{ Ом}$, берутся следующие стандартные значения: 120; 150; 170; 200; 220 Ом и т. д.

В нашем случае выбираем стандартное сопротивление $R'_H = 100 \text{ Ом}$.

3. Определим стандартный номинальный ток по формуле:

$$I'_H = \sqrt{\frac{P_H}{R'_H}}.$$

Мощность нагрузки $P_H = 0,7 \text{ Вт}$ – данные взяты в исходном задании; стандартное сопротивление $R'_H = 100 \text{ Ом}$ – выбрано в пункте № 2.

$$I'_H = \sqrt{\frac{0,7}{100}} = 0,084.$$

4. Определим действующее напряжение U_2 по формуле:

$$U_2 = k_u \cdot U_H.$$

Коэффициент k_u выбираем в учебнике в зависимости от исходной схемы [4, стр. 326, табл. 30. 1]:

Из табл. 5. 2 следует, что $k_u = 1,11$, так как $U_n = 5B$ (имеется в исходных данных), тогда: $U_2 = 1,11 \cdot 5 = 5,55B$.

Таблица 5. 2

Основные характеристики схем выпрямителей
при работе на резистивную нагрузку

Характеристика	Тип выпрямителя			
	Однофаз- ный со средней точкой	Однофаз- ный мостовой	Трехфазный с нулевой точкой	Трехфазный мостовой
Действующее напряжение вторичной обмотки (фазное) U_2	$2 \times 1,11U_n$	$1,11U_n$	$0,855U_n$	$0,43U_n$
Действующий ток вторичной обмотки I_2	$0,785I_n$	$1,11I_n$	$0,58I_n$	$0,82I_n$
Расчетная мощность трансформатора $P_{тр}$	$1,48P_n$	$1,23P_n$	$1,35P_n$	$1,045P_n$
Обратное напряжение на диоде $U_{обр}$	$3,14U_n$	$1,57U_n$	$2,1U_n$	$1,05U_n$
Среднее значение тока диода $I_{д,ср}$	$0,5I_n$	$0,5I_n$	$0,33I_n$	$0,33I_n$
Действующее значение тока диода I_d	$0,785I_n$	$0,785I_n$	$0,587I_n$	$0,58I_n$
Амплитудное значение тока диода $I_{д,м}$	$1,57I_n$	$1,57I_n$	$1,21I_n$	$1,05I_n$
Частота основной гармоники пульсации	$2f_c$	$2f_c$	$3f_c$	$6f_c$
Коэффициент пульсаций выходного напряжения K_Π	0,67	0,67	0,25	0,057

Тогда коэффициент трансформации примет значение:

$$n = \frac{U_1}{U_2} = \frac{170}{5,55} = 30,63.$$

где U_1 – действующее значение напряжения сети, B ,
($U_1 = U_c = U_\phi = 170 \text{ В}$ – имеется в исходных данных).

5. Определим мощность P'_H по формуле:

$$P'_H = U_H \cdot I'_H.$$

Значение $U_H = 5B$ (имеется в исходных данных); стандартный номинальный ток определен в пункте № 3 и $I'_H = 0,08A$.

$$P'_H = 5 \cdot 0,08 = 0,4Bт.$$

6. Определим расчетную мощность трансформатора по формуле:

$$P_{тр} = k_{тр} \cdot P'_H.$$

Определим коэффициент $k_{тр}$ [4, табл. 30. 1]:

$k_{тр} = 1,23$ – выяснили из справочных данных;

$$P_H = 0,4Bт \text{ (пункт № 5); } P_{тр} = 1,23 \cdot 0,4 = 0,49Bт.$$

7. Уточним номинальное напряжение трансформатора:

$$U_{H.тр.} = 12B.$$

В нашем случае значение действующего напряжения $U_2 = 5,55 B$, а ряд стандартных значений: 12, 24, 36 ...

Выберем ближайшее значение. В нашем случае $U_2 < 12$, тогда выберем номинальное напряжение трансформатора $U_{H.тр.} = 12B$.

8. Определим действительный ток I_2 по формуле:

$$I_2 = k_i \cdot I'_H.$$

По [4, табл. 30. 1] выберем значение коэффициента $k_i = 1,11$ и вычислим действительный ток I_2 :

$$I_2 = 1,11 \cdot 0,08 = 0,088A.$$

9. Выполним выбор диода:

– обратное напряжение на диоде определим по формуле:

$$U_{обр. max} = k_d \cdot U_{H.тр.},$$

значение коэффициента k_d выберем из табл. 5. 2: $k_d = 1,57$;

номинальное напряжение трансформатора $U_{H.тр.} = 12B$;

$$U_{обр. max} = 1,57 \cdot 12 = 18,84B;$$

– определим амплитудное значение тока диода по формуле:

$$I_{д. max} = k_{д i} \cdot I'_H.$$

Коэффициент $k_{д.і}$ выбираем по [4, с. 326, табл. 30. 1]: $k_{д.і} = 1,57$; значение стандартного номинального тока определено в пункте 3 и $I'_н = 0,08 А$, вычисляем:

$$I_{д. max} = 1,57 \cdot 0,08 = 0,1256 \text{ А.}$$

Таблица 5. 3

Варианты для задания 5

Вариант №	Неуправляемый выпрямитель	Напряжение сети U_c (Уф), В	Напряжение на грузки U_n , В	Мощность нагрузки P_n , Вт
1	однофазная двухполупериодная со средней точкой	120	5	0,2
2	однофазная мостовая	130	5	0,3
3	трехфазная нулевая	140	5	0,4
4	трехфазная мостовая	150	5	0,5
5	однофазная двухполупериодная со средней точкой	160	5	0,6
6	однофазная мостовая	170	5	0,7
7	трехфазная нулевая	180	5	0,8
8	трехфазная мостовая	190	9	0,9
9	однофазная двухполупериодная со средней точкой	200	9	1
10	однофазная мостовая	210	9	1,1
11	трехфазная нулевая	120	9	1,2
12	трехфазная мостовая	130	9	1,3
13	однофазная двухполупериодная со средней точкой	140	9	1,4
14	однофазная мостовая	150	9	1,5
15	трехфазная нулевая	160	12	1,6
16	трехфазная мостовая	170	12	1,7
17	однофазная двухполупериодная со средней точкой	180	12	1,8
18	однофазная мостовая	190	12	1,9
19	трехфазная нулевая	200	12	2
20	трехфазная мостовая	210	12	2,1
21	однофазная двухполупериодная со средней точкой	120	12	2,2
22	однофазная мостовая	130	12	2,3
23	трехфазная нулевая	140	24	2,4
24	трехфазная мостовая	150	24	2,5
25	однофазная двухполупериодная со средней точкой	160	24	2,6

26	однофазная мостовая	170	24	2,7
27	трехфазная нулевая	180	24	2,8
28	трехфазная мостовая	190	24	2,9
29	однофазная двухполупериодная со средней точкой	200	24	3
30	однофазная мостовая	210	24	3,1

Практическое занятие № 3. Электронные усилители

Основные формулы и уравнения

Коэффициент усиления по напряжению:

$$K_u = U_{\text{вых}} / U_{\text{вх}}, \quad (5.7)$$

где $U_{\text{вых}}$, $U_{\text{вх}}$ – напряжения на выходе и входе усилителя.

Коэффициент усиления по напряжению, выраженный в децибелах:

$$K_u = 20 \lg K. \quad (5.8)$$

Коэффициент усиления многокаскадного усилителя:

$$K = K_1 K_2 \dots K_n,$$

или

$$K_{\text{дБ}} = K_{1 \text{ дБ}} + K_{2 \text{ дБ}} + \dots + K_{n \text{ дБ}}, \quad (5.9)$$

где $K_1, K_2, \dots, K_n$ – коэффициенты усиления отдельных каскадов.

Коэффициент частотных искажений усилительного каскада:

$$M = K_0 / K, \quad (5.10)$$

где K_0 – коэффициент усиления на средних частотах;

K – коэффициент усиления на какой-либо частоте рабочего диапазона.

Коэффициент частотных искажений, выраженный в децибелах,

$$M_{\text{дБ}} = 20 \lg M. \quad (5.11)$$

Коэффициент частотных искажений многокаскадного усилителя

$$M_{\text{общ}} = M_1 M_2 \dots M_n, \quad (5.12)$$

или

$$M_{\text{общ дБ}} = M_{1 \text{ дБ}} + M_{2 \text{ дБ}} + \dots + M_{n \text{ дБ}}.$$

Коэффициент усиления лампового каскада на средних частотах (рис. 5. 6):

$$K_0 = \mu R_n / (R_n + R_i), \quad (5.13)$$

где μ – статический коэффициент усиления электронной лампы; R_i – внутреннее сопротивление электронной лампы переменному току, Ом; R_n – сопротивление анодной нагрузки, Ом.

Коэффициент усиления транзисторного каскада на средних частотах (рис. 5. 7)

$$K_0 = h_{21} \varnothing R_H / R_{BX} , \quad (5.14)$$

где $h_{21} \varnothing$ – статический коэффициент усиления тока базы в схеме с общим эмиттером; R_H – сопротивление коллекторной нагрузки, Ом; R_{BX} – входное сопротивление транзистора, Ом.

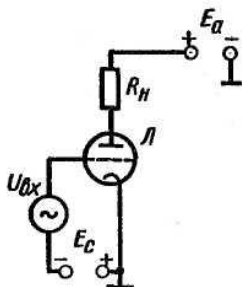


Рис. 5. 6

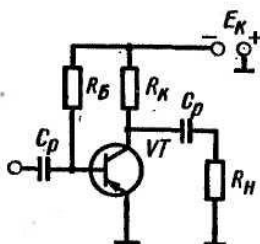


Рис. 5. 7

Сопротивление автоматического смещения в цепи катода лампового усилительного каскада

$$R_K = E_C / I_{KO} , \quad (5.15)$$

где E_C – напряжение смещения, В; I_{KO} – постоянная составляющая катодного тока, А.

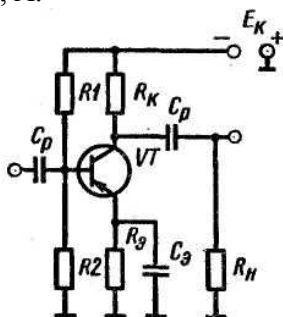


Рис. 5. 8

Напряжение смещения в транзисторном каскаде при использовании схемы эмиттерно-температурной стабилизации (рис. 5. 8):

$$U_{БЭ} = I_{дел} R_2 - I_{Э0} R_3 , \quad (5.16)$$

где $I_{дел} = E_K / (R_1 + R_2)$ – постоянный ток делителя в цепи базы транзистора; $I_{Э0}$ – постоянная составляющая тока эмиттера, А.

Емкость блокировочного конденсатора в цепи катода (эмиттера):

$$C \geq 10 / (2\pi f_n R), \quad (5.17)$$

где f_n – нижняя частота спектра усиливаемых колебаний, Гц;
 R – сопротивление резистора в цепи катода (эмиттера), Ом.

Электрический КПД усилителя:

$$\eta = P_{\text{вых}} / P_0, \quad (5.18)$$

где $P_{\text{вых}}$ – выходная мощность усилителя; P_0 – мощность, расходуемая источником коллекторного (анодного) питания.

Мощность, выделяемая нагрузке,

$$P_n = \eta_m P_{\text{вых}}, \quad (5.19)$$

где η_m – КПД выходного трансформатора; $P_{\text{вых}}$ – мощность, отдаваемая транзистором.

Сопротивление нагрузки, пересчитанное в первичную обмотку трансформатора (приведенное сопротивление) (рис. 5. 9),

$$R'_n = R_n / n^2, \quad (5.20)$$

где R_n – сопротивление нагрузки; n – коэффициент трансформации выходного трансформатора.

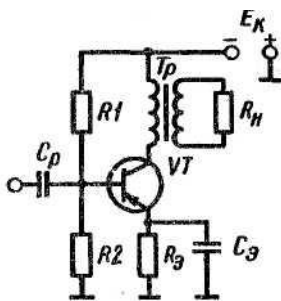


Рис. 5. 9

Коэффициент усиления каскада, охваченного отрицательной обратной связью:

$$K^*_0 = K_0 / (1 + K_{\text{ос}} K_0), \quad (5.21)$$

где K_0 – коэффициент усиления каскада до введения ООС;
 $K_{\text{ос}}$ – коэффициент обратной связи.

Добротность колебательного контура:

$$Q = Z_b / r_k, \quad (5.22)$$

где Z_b – волновое сопротивление контура, Ом; r_k – сопротивление потерь, Ом.

5.21. На нижней граничной частоте двухкаскадного усилителя коэффициент частотных искажений второго каскада $M_{H2} = 1,3$ при общем коэффициенте частотных искажений $M_H = 1,41$. На средних частотах усиление усилителя $K_0 = 200$ и усиление второго каскада $K_{02} = 10$. Определить напряжение на выходе первого каскада на нижней граничной частоте, если входное напряжение усилителя для всех частот одинаково: $U_{BX} = 50$ мВ.

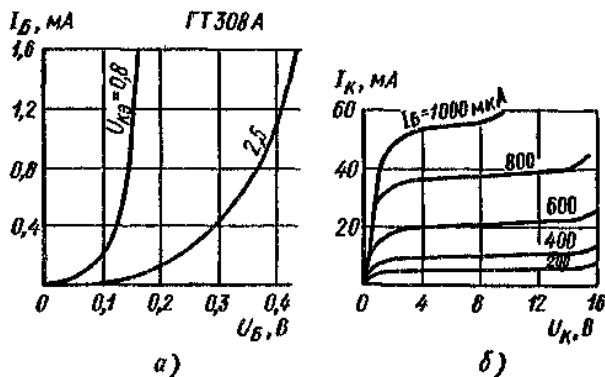


Рис. 5.10

Решение. Напряжение на выходе первого каскада на средних частотах

$$U_{\text{вых}} = U_{\text{BX}} K_{01} = U_{\text{BX}} K_0 / K_{02} = 50 \cdot 10^{-3} \cdot 200 / 10 = 1 \text{ В.}$$

На нижней граничной частоте напряжение на выходе первого каскада:

$$U_{\text{вых H1}} = U_{\text{вых}} / M_{H1} = U_{\text{вых}} / (M_H / M_{H2}) = 1 / (1,41 / 1,3) = 0,92 \text{ В.}$$

5.22. Усилитель на транзисторе ГТ308А собран по схеме рис. 5.9. Пользуясь входными и выходными характеристиками транзистора ГТ308А (рис. 5. 10, а, б), определить положение рабочей точки А, если известно, что $R_K = 240$ Ом, $R_1 = 3$ кОм, $R_2 = 100$ Ом, $E_K = 10$ В.

Решение. Определяем напряжение смещения базы:

$$U_{B3} = E_K R_2 / (R_1 + R_2) = 10 \cdot 100 / (3000 + 100) = 0,32 \text{ В.}$$

По входной характеристике транзистора при напряжении $U_K = 2,5$ В находим ток базы в рабочей точке: $I_{B0} = 0,6$ мА. На выходных характеристиках транзистора строим нагрузочную прямую по точкам $I_K = 0$ при $U_K = E_K = 10$ В, $I_K = E_K / R_K = 10 / 240 = 42$ мА при $E_K = 0$. Рабочая точка А является точкой пересечения нагрузочной прямой

с выходной характеристикой для $I_{\text{б}0} = 600 \text{ мкА}$. В рабочей точке A $I_{\text{к}0} = 21 \text{ мА}$, $U_{\text{к}} = 4,7 \text{ В}$.

5.23. В усилительном каскаде на ламповом триоде (рис. 5. 11) напряжение смещения $E_{\text{с}}$ обеспечивается автоматически за счет катодного тока. Определить сопротивление резистора в цепи катода $R_{\text{к}}$ и емкость конденсатора, шунтирующего резистор $C_{\text{к}}$, если требуемое напряжение смещения $E_{\text{с}} = -4,5 \text{ В}$, катодный ток в рабочей точке $I_{\text{к}0} = 15 \text{ мА}$, диапазон усиливаемых частот $f = 30 \div 4000 \text{ Гц}$.

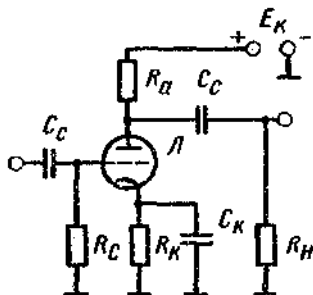


Рис. 5. 11

Решение. Пользуясь формулой (5.15), определяем сопротивление резистора в цепи катода:

$$R_{\text{к}} = E_{\text{с}} / I_{\text{к}0} = 4,5 / (15 \cdot 10^{-3}) = 300 \text{ Ом.}$$

Емкость конденсатора $C_{\text{к}}$ выбираем из условия:

$$1 / (2\pi f_{\text{min}} C_{\text{к}}) \leq R_{\text{к}} / 10,$$

отсюда $C_{\text{к}} \geq 10 / (2\pi f_{\text{min}} R_{\text{к}}) = 10 / (2 \cdot 3,14 \cdot 30 \cdot 300) = 176,9 \text{ мкФ}$.

Выбираем $C_{\text{к}} = 20 \text{ мкФ}$.

5.24. Из расчета усилительного каскада (рис. 5. 8) известно, что ток базы $I_{\text{б}0} = 50 \text{ мкА}$, ток эмиттера $I_{\text{э}0} = 5 \text{ мА}$, напряжение $U_{\text{бэ}} = 0,8 \text{ В}$, напряжение $E_{\text{к}} = 10 \text{ В}$. Рассчитать элементы температурной стабилизации.

Решение. Для увеличения стабилизирующего действия схемы сопротивление резистора $R_{\text{э}}$ следует выбирать как можно большим. Однако при увеличении $R_{\text{э}}$ уменьшается напряжение на транзисторе $U_{\text{к}}$. Поэтому $R_{\text{э}}$ определяем из условия:

$$U_{\text{э}} = I_{\text{э}0} R_{\text{э}} = (0,1 \div 0,2) E_{\text{к}}.$$

Выбираем $U_3 = 0,2 \cdot E_K = 2 \text{ В}$, тогда $R_3 = U_3 / I_{30} = 2 / (5 \cdot 10^{-3}) = 400 \text{ Ом}$. Таким образом, для получения требуемого напряжения $U_{63} = 0,8 \text{ В}$ необходимо на делителе напряжения обеспечить:

$$U_{\text{дел}} = U_3 + U_{63} = 2,8 \text{ В.}$$

Сопротивления резисторов R_1, R_2 выбираем так, чтобы ток делителя $I_{\text{дел}} = E_K / (R_1 + R_2)$ был намного больше тока базы I_{60} и чтобы изменения последнего не влияли на напряжение $U_{\text{дел}}$. Обычно $I_{\text{дел}} = (3 \div 10) I_{60}$. Выбираем $I_{\text{дел}} = 10 I_{60} = 500 \text{ мкА} = 0,5 \text{ мА}$, тогда

$$R_1 + R_2 = E_K / I_{\text{дел}} = 10 / (5 \cdot 10^{-3}) = 2 \text{ кОм.}$$

Находим:

$$R_2 = U_{\text{дел}} / I_{\text{дел}} = 2,8 / (5 \cdot 10^{-3}) = 0,56 \text{ кОм}$$

и

$$R_1 = (R_1 + R_2) - R_2 = 2 - 0,56 = 1,44 \text{ кОм.}$$

5.25. В транзисторном усилительном каскаде (рис. 5. 12) мощность входного сигнала $P_{\text{вх}} = 0,150 \text{ мВт}$ при входном токе $I_{\text{вх}} = 500 \text{ мкА}$. Определить коэффициент усиления каскада по напряжению, если сопротивление резистора в цепи коллектора $R_K = 4700 \text{ Ом}$, сопротивление нагрузки $R_H = 350 \text{ Ом}$, а статический коэффициент усиления тока базы $h_{213} = 40$.

Решение. Определяем входное сопротивление каскада:

$$R_{\text{вх}} = P_{\text{вх}} / I_{\text{вх}}^2 = 0,15 \cdot 10^{-3} / (500 \cdot 10^{-6})^2 = 600 \text{ Ом.}$$

Определяем сопротивление эквивалентной нагрузки в коллекторной цепи каскада:

$$R'_H = R_K R_H / (R_K + R_H) = 4700 \cdot 350 / (4700 + 350) = 325 \text{ Ом.}$$

Определяем коэффициент усиления каскада по напряжению:

$$K = h_{213} R'_H / R_{\text{вх}} = 40 \cdot 325 / 600 = 21,7.$$

5.26. В трехкаскадном усилителе первый каскад, имеющий коэффициент усиления $K_1 = 20$, охвачен цепью отрицательной обратной связи с коэффициентом $K_{\text{ос } 1} = 0,01$, а два других каскада охвачены общей цепью отрицательной связи при коэффициенте $K_{\text{ос } 2} = 0,02$. Определить коэффициент усиления усилителя, если коэффициенты усиления второго и третьего каскадов соответственно равны $K_2 = 20, K_3 = 15$.

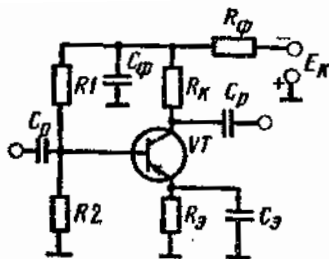


Рис. 5. 12

Решение. Согласно (5. 21), коэффициент усиления первого каскада с учетом действия отрицательной обратной связи

$$K^*_1 = K_1 / (1 + K_{oc} K_1) = 20 / (1 + 0,01 \cdot 20) = 16,7.$$

Общий коэффициент усиления второго и третьего каскадов с учетом действия отрицательной обратной связи:

$$K^*_{2-3} = K_2 K_3 / (1 + K_{oc} K_2 K_3) = 20 \cdot 15 / (1 + 0,020 \cdot 20 \cdot 15) = 42,9.$$

Коэффициент усиления усилителя:

$$K^* = K^*_1 K^*_{2-3} = 16,7 \cdot 42,9 = 716,4.$$

5.27. Коэффициент усиления усилительного каскада $K = 50$. Переведите это значение в децибелы.

5.28. Известно, что усиление по напряжению трехкаскадного усилителя равно 1000. Определить усиление второго каскада, если усиление первого каскада составляет 25 дБ, а третьего – 10 дБ.

5.29. В трехкаскадном усилителе усиление каждого каскада составляет 30, 20 и 10 дБ. Определить общее усиление усилителя.

5.30. Коэффициенты усиления отдельных каскадов усилителя составляют 20, 30 и 10. Определить общий коэффициент усиления усилителя. Перевести полученный результат в децибелы.

5.31. На входе усилителя имеется сигнал с напряжением $U = 5$ мВ. Определить напряжение на выходе усилителя, если его коэффициент усиления $K_U = 60$ дБ.

5.32. Коэффициент усиления по мощности усилителя $K_P = 250$. Определить коэффициент усиления по напряжению K_U , если коэффициент усиления по току $K_I = 28$ дБ.

5.33. Напряжение на входе усилителя $U_{вх} = 20$ мВ. Определить мощность на выходе усилителя, если его сопротивление нагрузки $R_n = 25$ Ом, а коэффициент усиления по напряжению $K_0 = 25$.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ И РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Полешук, В. И. Задачник по электротехнике и электронике: учеб. пособие для студ. сред. проф. образования / В. И. Полешук. – М.: Издательский центр «Академия», 2012. – 256 с. – ISBN 978-5-7695-9471-7.
2. Березкина, Т. Ф. Задачник по общей электротехнике с основами электроники: учеб. пособие / Т. Ф. Березкина, Н. Г. Гусев, В. В. Масленников. – М.: Высшая школа, 2001. – 384 с.
3. Волков, П. П. Задачник по электротехнике: учеб. пособ. / П. П. Волков, Г. Н. Данилов, И. И. Черняков. – М.: Воениздат, 1961. – 308 с.
4. Прянишников, В. А. Электроника: Курс лекций / В. А. Прянишников. – 2-е изд. исп. и доп. – СПб.: КОРОНА-принт, 2000. – 416 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ.....	3
ВВЕДЕНИЕ.....	4
Тема 1: Электрические цепи постоянного тока.....	5
<i>Основные формулы и уравнения.....</i>	<i>5</i>
Практическое занятие № 1. Расчет параметров электрических цепей. Законы Кирхгофа.....	7
Практическое занятие № 2. Метод преобразования.....	10
Практическое занятие № 3. Метод контурных и узловых уравнений. Метод контурных токов. Построение потенциальных диаграмм.....	14
<i>Индивидуальное задание № 1.....</i>	<i>14</i>
Тема 2: Основные понятия о переменном токе.....	23
<i>Основные формулы и уравнения.....</i>	<i>23</i>
Практическое занятие № 1. Синусоидальный ток в RL- и RC-цепях. Анализ процессов в цепи синусоидального тока при последовательном соединении элементов.....	24
Практическое занятие № 2. Расчет цепей переменного тока с R, L, C при последовательном соединении приемников.....	29
<i>Индивидуальное задание № 2.....</i>	<i>29</i>
Практическое занятие № 3. Расчет цепей переменного тока с R, L, C при параллельном соединении приемников. Метод проводимостей.....	34
<i>Индивидуальное задание № 3.....</i>	<i>34</i>
Практическое занятие № 4. Резонансы напряжений и токов в электрических цепях.....	38
Тема 3: Трехфазные электрические цепи.....	40
<i>Основные формулы и уравнения.....</i>	<i>40</i>
Практическое занятие № 1. Соединение приемников по схеме «звезда» и «треугольник».....	44
Практическое занятие № 2. Расчет трехфазных электрических цепей.....	47
<i>Индивидуальное задание № 4.....</i>	<i>47</i>
Тема 4: Полупроводниковые приборы.....	52
<i>Основные формулы и уравнения.....</i>	<i>52</i>
Практическое занятие № 1. Расчет характеристик полупро-	

водниковых диодов.....	52
Практическое занятие № 2. Расчет характеристик биполярных и униполярных транзисторов.....	54
Тема 5. Полупроводниковые устройства.....	59
Практическое занятие № 1. Электронные выпрямители....	59
<i>Основные формулы и уравнения.....</i>	<i>59</i>
Практическое занятие № 2. Расчет неуправляемого выпрямителя.....	63
<i>Индивидуальное задание № 5.....</i>	<i>63</i>
Практическое занятие № 3. Электронные усилители.....	69
<i>Основные формулы и уравнения.....</i>	<i>69</i>
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ И РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	76

ДЛЯ ЗАМЕТОК

Учебное издание

Анатолий Григорьевич Сошинов,
Ольга Ивановна Доронина

СБОРНИК ЗАДАЧ ПО ЭЛЕКТРОТЕХНИКЕ И ЭЛЕКТРОНИКЕ

Учебное пособие

Редактор Попова Л. В.
Компьютерная верстка Попова Л. В..
Темплан 2014 г., поз. №К.
Подписано в печать 2014 г. Формат 60×84 $\frac{1}{16}$.
Бумага листовая. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 1,19. Уч.-изд. л. 1,0.
Тираж 100 экз. Заказ №

Волгоградский государственный технический университет
400131, г. Волгоград, пр. Ленина, 28, корп. 1.
Отпечатано в КТИ
403874, г. Камышин, ул. Ленина, 5