

**МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО  
СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ  
УЗБЕКИСТАН**

**ТАШКЕНТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ ИСЛАМА КАРИМОВА**

## **ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА**

**Методические указания  
к выполнению расчетно-графических работ**

**Ташкент - 2019**

Сост.: Бурхонходжаев О.М., Абдураимов Э.Х., Идрисходжаева М.У. Методические указания к выполнению расчетно-графических работ по дисциплине «Электротехника и электроника» – Ташкент: ТашГТУ, 2019.

В данных методических указаниях для выполнения расчётно-графических работ по дисциплине «Электротехника и электроника», приведены основные понятия и примеры расчётов, а также варианты заданий.

Расчётно-графические работы по составу и объёму соответствуют учебной программе дисциплины, утверждённой Министерством высшего и среднего специального образования Республики Узбекистан и рекомендуются для студентов, обучающихся по направлениям неэлектротехнических специальностей бакалавриата.

*Печатается по решению научно-методического совета  
Ташкентского государственного технического университета*

Рецензенты: проф., заведующий кафедрой «Электрический транспорт и ВСЭПС» Бердиев У.Т. (ТИИЖТ);

доц. Таслимов А.Д. (ТашГТУ)

## ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время происходят быстрое развитие и внедрение инновационных идей электротехники, электротехнологий и электроники. Перед современной молодёжью и студентами ставятся вопросы умения применения практических знаний и навыков.

Теоретическая и практическая подготовка по дисциплине «Электротехника и электроника» должна осуществляться с общих позиций, которые остаются справедливыми при появлении новых технических решений инженерных устройств. Для осуществления расчетов приведённых заданий студенты должны использовать такие программы, как Matlab, Matcard, Excel и другие.

В данных методических указаниях приведены 8 расчётно-графических работ (РГР), охватывающие все основные разделы предмета и их методы вычисления по темам:

- 1) расчет электрических цепей постоянного тока;
- 2) расчет электрических цепей синусоидального переменного тока;
- 3) расчёт трёхфазной электрической цепи;
- 4) построение механической характеристики двигателя постоянного тока параллельного возбуждения по паспортным данным;
- 5) построение механической характеристики асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором по паспортным данным;
- 6) выбор диода для схем включения однополупериодного выпрямителя;
- 7) расчёт полупроводникового выпрямителя;
- 8) выбор мощности двигателя постоянного тока для повторно-кратковременного режима работы электропривода.

## **ПОРЯДОК ОФОРМЛЕНИЯ РАСЧЁТНО-ГРАФИЧЕСКИХ РАБОТ**

Исходя из направления образования и специальности студентов, согласно рабочей программе изучаемого предмета, преподаватель выдаёт задания для не менее двух расчётно-графических работ (РГР) за семестр.

Выполненные работы должны быть оформлены в тетрадь или на бумаге формата А4, векторные диаграммы, графики и характеристики расчётов приводятся на миллиметровой бумаге.

Для расчёта первого задания преподаватель выдаёт каждому студенту вариант, содержащий трёхзначную цифру. Первая и вторая цифра варианта означает параметры элементов электрической цепи из таблицы 1 и 2, третья цифра указывает вариант схемы.

Для остальных заданий, со второго по восьмой, преподаватель выдаёт студенту обычную (любую) нумерацию варианта, которые приведены после каждого примера решения задания в виде таблицы вариантов.

## ЗАДАНИЕ 1

### Расчет электрических цепей постоянного тока

По заданным параметрам электрической цепи (электродвижущей силы (Э.Д.С.) и источников тока) рассчитать токи в ветвях и напряжения на элементах, составить баланс мощностей.

Для этого:

- а) составить уравнения по законам Кирхгофа;
- б) рассчитать электрическую цепь методом контурных токов;
- в) рассчитать электрическую цепь методом узловых потенциалов;
- г) составить уравнения баланса мощностей потребителя и источника;
- д) методом эквивалентного генератора определить ток в заданной ветви электрической цепи.

Таблица 1.1

#### Параметры элементов электрической цепи

№ варианта \ Параметры цепи	$E_1$	$E_2$	$E_3$	$J$
	$B$	$B$	$B$	$A$
<b>0</b>	120	80	100	15
<b>1</b>	100	90	120	10
<b>2</b>	80	60	85	8
<b>3</b>	150	105	100	8
<b>4</b>	200	180	120	7
<b>5</b>	90	70	140	10
<b>6</b>	60	70	85	9
<b>7</b>	110	130	105	20
<b>8</b>	180	190	120	12
<b>9</b>	160	140	140	8

Таблица 1.2

Параметры элементов электрической цепи

№ варианта \ Параметры цепи	$R_1$ Ом	$R_2$ Ом	$R_3$ Ом	$R_4$ Ом
0	16	12	10	8
1	6	8	10	12
2	12	10	8	9
3	8	10	16	6
4	12	16	12	7
5	16	12	16	10
6	6	16	8	11
7	8	6	16	5
8	10	8	12	11
9	3	6	10	13

Варианты электрических схем

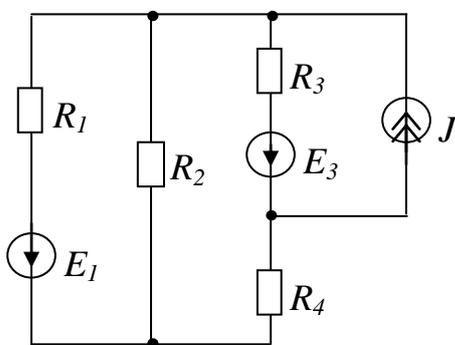


Схема 0

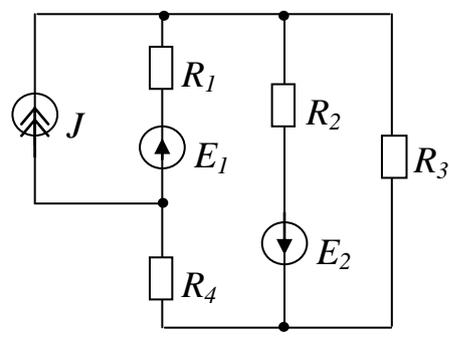


Схема 1

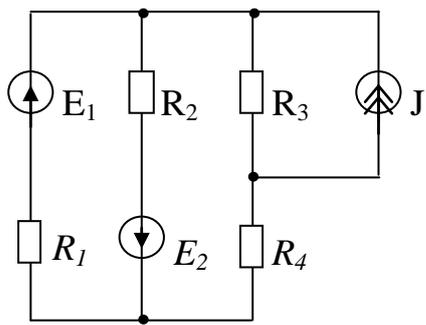


Схема 2

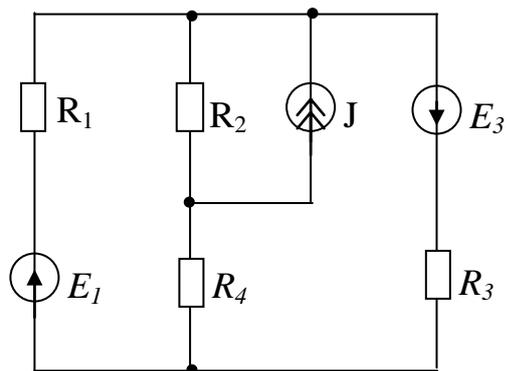


Схема 3

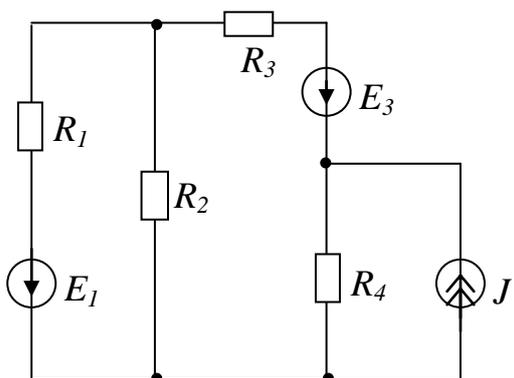


Схема 4

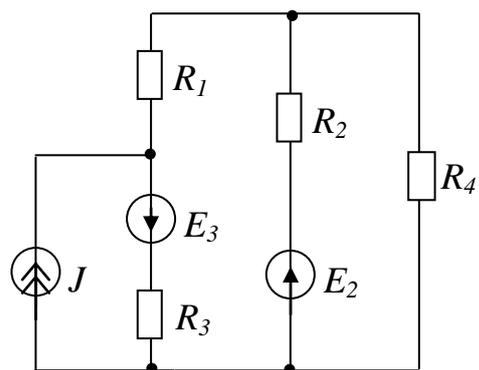


Схема 5

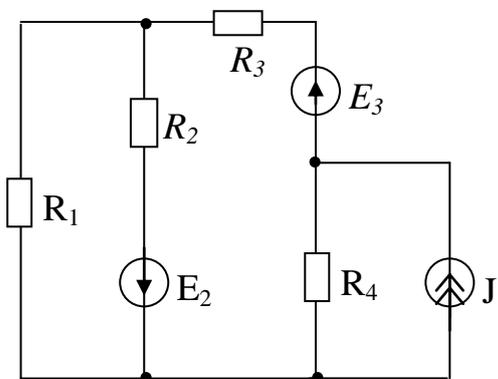


Схема 6

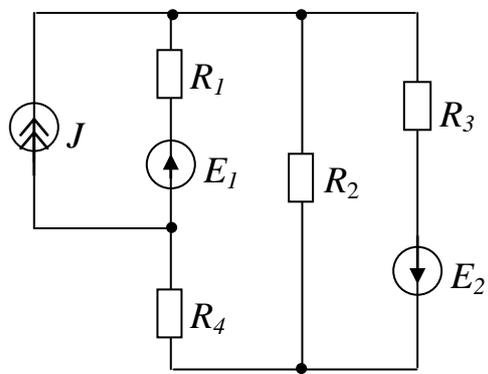


Схема 7

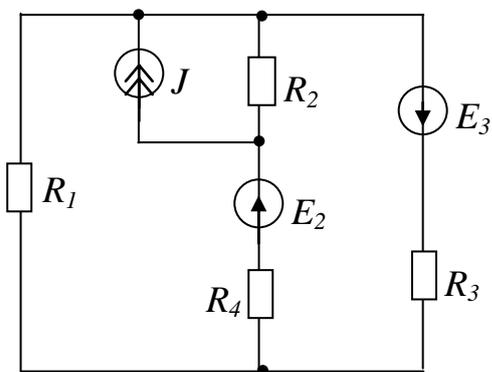


Схема 8

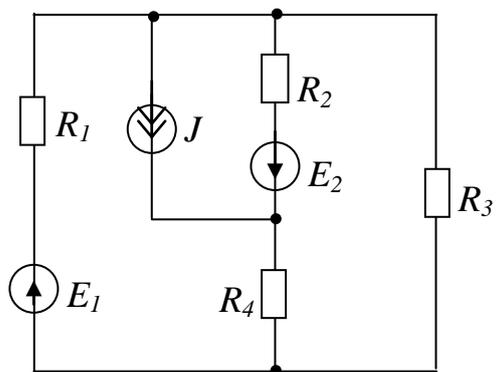
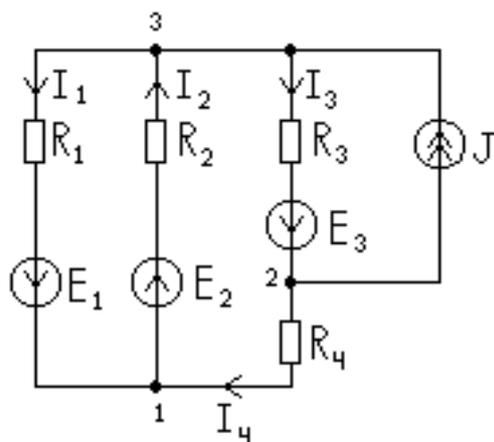


Схема 9

## Пример решения задания



Дано:

$$\begin{aligned} E_1 &= 100 \text{ В}; & R_1 &= 10 \text{ Ом}; \\ E_2 &= 80 \text{ В}; & R_2 &= 15 \text{ Ом}; \\ E_3 &= 60 \text{ В}; & R_3 &= 12 \text{ Ом}; \\ J &= 2 \text{ А}; & R_4 &= 20 \text{ Ом}. \end{aligned}$$

Определить значение тока и напряжение на каждом элементе, а также составить баланс мощностей цепи.

### 1. Определение значения токов в ветвях с применением законов Кирхгофа

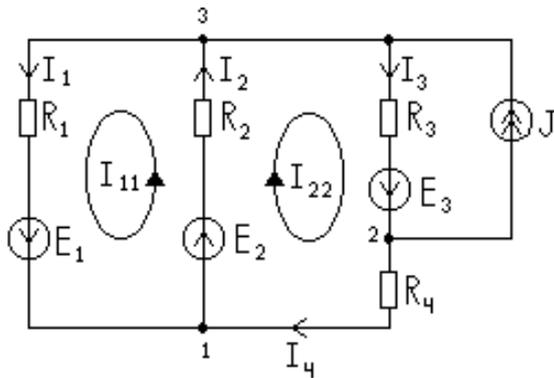
Для определения неизвестных токов  $I_1, I_2 \dots I_4$  во всех ветвях данной электрической цепи необходимо составить систему уравнений *по законам Кирхгофа*. Общее число уравнений в системе должно соответствовать числу неизвестных токов, т. е. числу ветвей.

*По первому закону Кирхгофа* составляется число уравнений, на единицу меньшее числа узлов цепи, т.к. уравнение для последнего узла есть следствие всех предыдущих уравнений. Так как цепь состоит из трёх узлов, по первому закону Кирхгофа составим два уравнения (для 3 и 1 узла), по второму закону Кирхгофа составим два уравнения. Зададим направление токов во всех ветвях цепи. Токи, подходящие к узлу, будем считать положительными, и брать со знаком (+), а токи, отходящие от узла – отрицательными (-).

$$\begin{cases} -I_1 + I_2 - I_3 + \mathfrak{J} = 0 \\ I_1 - I_2 + I_4 = 0 \\ R_1 I_1 + R_2 I_2 = E_1 + E_2 \\ R_2 I_2 + R_3 I_3 + R_4 I_4 = E_2 + E_3 \end{cases} \cdot$$

### 2. Определение значения токов в ветвях методом контурных токов.

Приняв направления контурных токов для независимых контуров, составим систему уравнения *по второму закону Кирхгофа*.



При составлении уравнений ЭДС и токи, совпадающие с выбранным направлением обхода контура примем условно со знаком плюс (+), а несовпадающие со знаком минус (-). В этом случае будем учитывать, что ток источника тока  $J$  протекает только по третьей

ветви.

$$\begin{cases} (R_1 + R_2)I_{11} + R_2I_{22} = E_1 + E_2 \\ R_2I_{11} + (R_2 + R_3 + R_4)I_{22} + R_3\mathfrak{J} = E_2 + E_3 \end{cases}$$

Подставив численные значения, имеем:

$$\begin{cases} (10 + 15)I_{11} + 15I_{22} = 100 + 80 \\ 15I_{11} + (15 + 12 + 20)I_{22} + 12 \cdot 2 = 80 + 60 \end{cases}$$

Решив систему уравнения, получим значения контурных токов:

$$I_{11} = 7,074 \text{ A}; \quad I_{22} = 0,211 \text{ A}.$$

Определяем действительные значения токов в ветвях:

$$\begin{aligned} I_1 = I_{11} &= 7,074 \text{ A}; & I_2 &= I_{22} + I_{11} = 0,211 + 7,074 = 7,285 \text{ A}; \\ I_3 &= I_{22} + \mathfrak{J} = 0,211 + 2 = 2,211 \text{ A}; & I_4 &= I_{22} = 0,211 \text{ A}. \end{aligned}$$

Погрешность вычисления для первого уравнения:

$$\delta\% = \frac{180,015 - 180}{180} \cdot 100\% = 0,008\% < 1\%$$

Полученные результаты проверяем по второму закону Кирхгофа для второго контура:

$$\begin{aligned} 2) R_2I_2 + R_3I_3 + R_4I_4 &= E_2 + E_3 \\ 15 \cdot 7,285 + 12 \cdot 2,211 + 20 \cdot 0,211 &= 80 + 60 \\ 140,027 &\cong 140 \\ \delta\% &= \frac{140,027 - 140}{140} \cdot 100\% = 0,02\% < 1\% \end{aligned}$$

### 3. Определение токов в ветвях методом узловых потенциалов

Выберем произвольные направления токов во всех ветвях с пассивными элементами, а в ветвях с источниками ЭДС примем за положительное направление тока, совпадающее с направлением действия ЭДС. Тогда на основании обобщённого закона Ома:

$$I_1 = \frac{\varphi_3 - \varphi_1 + E_1}{R_1},$$

$$I_2 = \frac{\varphi_1 - \varphi_3 + E_2}{R_2},$$

$$I_3 = \frac{\varphi_3 - \varphi_2 + E_3}{R_3},$$

$$I_4 = \frac{\varphi_2 - \varphi_1}{R_4}.$$

В любой электрической цепи имеет смысл только понятие разности потенциалов. Поэтому потенциал одного из узлов можно принять за нулевую точку отсчёта для остальных потенциалов. Произвольно примем потенциал узла  $\varphi_3$  равным нулю и составим для остальных узлов уравнения по первому закону Кирхгофа:

$$\begin{cases} I_1 - I_2 + I_4 = 0 \\ I_3 - I_4 - J = 0 \end{cases}.$$

Подставим выражения токов в ветвях в полученные уравнения Кирхгофа:

$$\begin{cases} \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_4} \right) \varphi_1 - \frac{1}{R_4} \varphi_2 = \frac{E_1}{R_1} - \frac{E_2}{R_2} \\ -\frac{1}{R_4} \varphi_1 + \left( \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} \right) \varphi_2 = \frac{E_3}{R_3} - J \end{cases}$$

Подставив числовые значения:

$$\begin{cases} 0,21667\varphi_1 - 0,05\varphi_2 = 4,6667 \\ -0,05\varphi_1 + 0,13333\varphi_2 = 3 \end{cases}$$

Решив систему уравнения, получим значения потенциалов:

$$\varphi_2 = 29,26; \varphi_1 = 33,47.$$

После определения потенциалов найдём токи в ветвях по выражениям:

$$I_1 = \frac{\varphi_3 - \varphi_1 + E_1}{R_1} = \frac{-29,26 + 100}{10} = 7,074 \text{ A}$$

$$I_2 = \frac{\varphi_1 - \varphi_3 + E_2}{R_2} = \frac{29,26 + 80}{15} = 7,284 \text{ A}$$

$$I_3 = \frac{\varphi_3 - \varphi_2 + E_3}{R_3} = \frac{-33,47 + 60}{12} = 2,211 \text{ A}$$

$$I_4 = \frac{\varphi_2 - \varphi_1}{R_4} = \frac{33,47 - 29,26}{29} = 0,211 \text{ A}$$

В результате решения задания двумя методами мы, как и следовало ожидать, получили одинаковые значения токов в ветвях. Составим теперь для расчётной цепи *баланс мощностей*.

Уравнения баланса мощностей: мощность всех источников, входящих в электрическую цепь, равна суммарной мощности потребителей.

Определим мощность источников:

$$\begin{aligned} m_u &= E_1 I_1 + E_2 I_2 + E_3 I_3 + (\varphi_3 - \varphi_2) \mathfrak{I} = \\ &= 100 \cdot 1,074 + 80 \cdot 1,284 + 60 \cdot 2,211 + (-33,47) \cdot 2 = 1355,84 \text{ e} \square \text{Вт} \end{aligned}$$

Определим мощность потребителей:

$$\begin{aligned} m_p &= R_1 I_1^2 + R_2 I_2^2 + R_3 I_3^2 + R_4 I_4^2 = \\ &= 10 \cdot 7,074^2 + 15 \cdot 7,284^2 + 12 \cdot 2,211^2 + 20 \cdot 0,211^2 = 1355,82 \text{ e} \square \text{Вт} \end{aligned}$$

Погрешность вычисления:

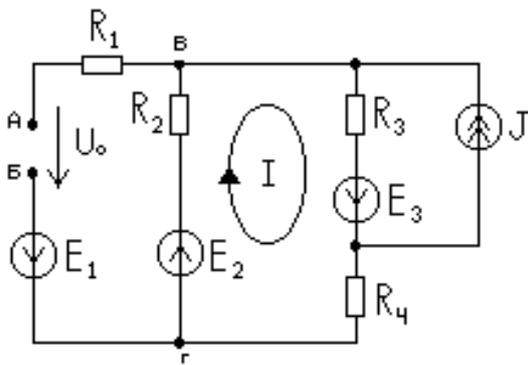
$$\gamma \% = \frac{1355,84 - 1355,82}{1355,82} \cdot 100\% = 0,002\%$$

#### 4. Метод эквивалентного источника (генератора)

Ток в любой ветви сколь угодно сложной цепи можно найти, разделив напряжение, которое будет в точках подключения ветви в разомкнутом состоянии, на сумму сопротивления ветви и эквивалентного сопротивления всей цепи относительно точек подключения.

Для определения тока первой ветви  $I_1$  методом эквивалентного генератора вычисления производим в следующем порядке:

а) отключая сопротивление  $R_1$  между точками "А" и "Б" определим значение тока в контуре  $E_2-R_2-R_3-E_3-R_4$ :



$$(R_2+R_3+R_4)I+R_3J=E_2+E_3.$$

Подставим числовые значения:

$$(15+12+20)I+12 \cdot 2=80+60$$

$$47I=116$$

$$I = 116 \div 47 = 2,4681 \text{ A};$$

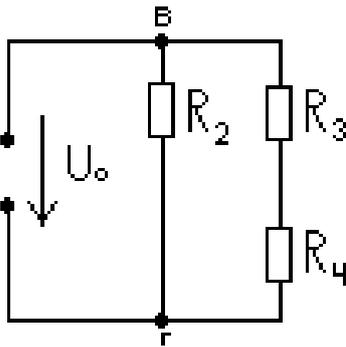
б) составив по второму правилу Кирхгофа уравнения, определим напряжения холостого режима  $U_0$  между точками «А» и «Б»

$$U_0+R_2I=E_1+E_2,$$

из этого выражения следует, что:

$$U_0=E_1+E_2-R_2I=100-80=15 \cdot 2,4681=143 \text{ В};$$

в) отключая источник тока, замыкая источник Э.Д.С. определим входное сопротивление схемы относительно зажимов "В" и "Г":



$$R_{\text{вх}} = \frac{R_2(R_3 + R_4)}{R_2 + R_3 + R_4} = \frac{15(12 + 30)}{15 + 12 + 30} = 10,2213 \text{ Ом}$$

г) величина вычисляемого тока

$$I_1 = \frac{U_0}{R_1 + R_{\text{вх}}} = \frac{143}{10 + 10,2213} = 7,074 \text{ А} .$$

## ЗАДАНИЕ 2

### Расчет электрических цепей синусоидального тока

#### Задание 2.1 Расчёт электрических цепей синусоидального тока с последовательным соединением пассивных элементов

В электрическую цепь с синусоидальным напряжением  $U=220 \text{ В}$  и с частотой  $f=50 \text{ Гц}$  включены последовательно активные сопротивления, индуктивные катушки и конденсатор (рис. 2.1). Определить действующие значения тока и напряжения цепи, углы сдвига фаз между напряжением и током для полной цепи и её участков *ас* и *ск*, построить векторную диаграмму, определить активную, реактивную и полную мощности цепи.

Параметры элементов электрической цепи (по вариантам) приведены в таблице 2.1.

## Пример решения задания

В электрическую цепь с синусоидальным напряжением  $U=220\text{ В}$  и с частотой  $f=50\text{ Гц}$  включены последовательно активные сопротивления, индуктивные катушки и конденсатор. Сопротивления, индуктивности и конденсатор имеют следующие параметры:  $R_1=4\text{ Ом}$ ;  $L_1=0,032\text{ Г}$ ;  $R_2=5\text{ Ом}$ ;  $L_2=0,016\text{ Г}$ ;  $C=400\text{ мкФ}$ .

### Решение:

1. Схема электрической цепи.

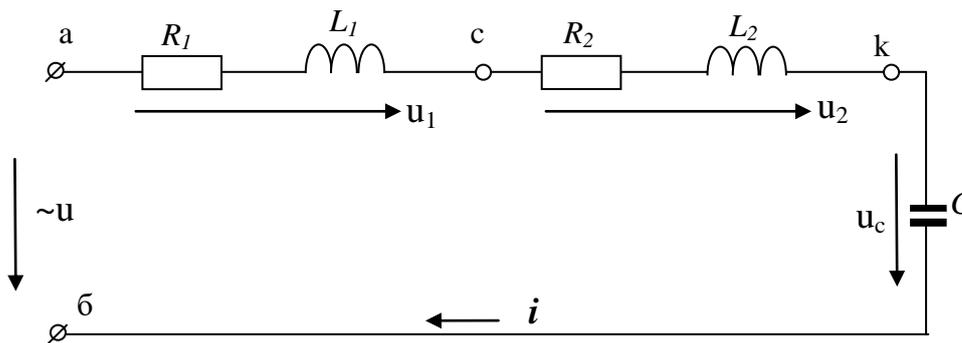


Рис. 2.1 Электрическая цепь с параллельным соединением  $R, L$  и  $C$

2. Определим индуктивные и полные сопротивления катушек:

$$X_{L1} = \omega L_1 = 314 \cdot 0,032 = 10\text{ Ом};$$

$$Z_1 = \sqrt{R_1^2 + X_{L1}^2} = \sqrt{4^2 + 10^2} = \sqrt{116} = 10,6\text{ Ом};$$

$$X_{L2} = \omega L_2 = 314 \cdot 0,016 = 5\text{ Ом};$$

$$Z_2 = \sqrt{R_2^2 + X_{L2}^2} = \sqrt{5^2 + 5^2} = 7,07\text{ Ом};$$

$$\omega = 2\pi f = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 = 314\text{ с}^{-1}.$$

3. Определим сопротивление конденсатора:

$$X_c = \frac{1 \cdot 10^6}{\omega C} = \frac{10^6}{314 \cdot 400} \approx 8\text{ Ом}.$$

4. Определим полное сопротивление цепи:

$$Z = \sqrt{(R_1 + R_2)^2 + (X_{L1} + X_{L2} - X_c)^2} = \sqrt{(4 + 5)^2 + (10 + 5 - 8)^2} = \sqrt{130} = 11,4\text{ Ом}.$$

5. Используя полное выражение закона Ома для последовательной цепи, определим ток, протекающий по цепи:

$$I = \frac{U}{Z} = \frac{220}{11,4} = 19,3\text{ А}.$$

6. Определим падение напряжения на элементах цепи:

$$U_{R1} = I \cdot R_1 = 19,3 \cdot 4 = 77,2 \text{ В}$$

$$U_{L1} = I \cdot X_{L1} = 19,3 \cdot 10 = 193 \text{ В}$$

$$U_{R2} = I \cdot R_2 = 19,3 \cdot 5 = 96,5 \text{ В}$$

$$U_{L2} = I \cdot X_{L2} = 19,3 \cdot 5 = 96,5 \text{ В}$$

$$U_C = I \cdot X_C = 19,3 \cdot 8 = 154,4 \text{ В}$$

7. Для построения векторной диаграммы, выбираем масштаб для рассчитанных значений напряжений и тока. Так как данная цепь состоит только из последовательно соединённых элементов, то построение векторной диаграммы начинается с вектора тока  $I$ , который является общим для всей цепи. Вектор напряжения  $U_{R1}$  совпадает с вектором тока. В продолжение этого вектора располагаем вектор напряжения  $U_{L1}$  с опережением на  $90^\circ$  относительно вектора тока. В продолжение вектора  $U_{L1}$  размещаем вектор напряжения  $U_{R2}$ , который совпадает по фазе с вектором тока.

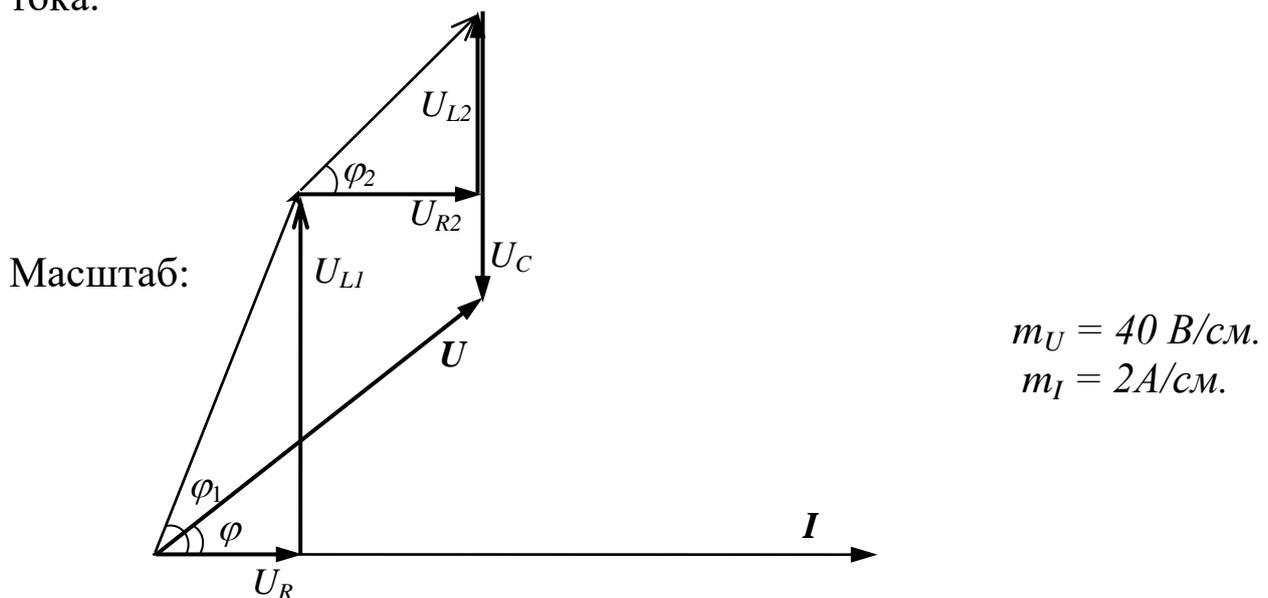


Рис.2.2 Векторная диаграмма заданной цепи

В продолжение вектора  $U_{R2}$  располагаем вектор напряжения  $U_{L2}$  с опережением на  $90^\circ$ . С конца вектора  $U_{L2}$  проведём вектор напряжения  $U_C$ , который отстаёт от тока на  $90^\circ$ . Последний конец вектора напряжения  $U_C$  соединим с началом вектора напряжения  $U_{R1}$  и получим вектор напряжения источника  $U$  (рис.2.2).

8. Определяем углы сдвига фаз между током и напряжениями для всей цепи:  $\varphi = \arctg \frac{X_L - X_C}{R} = \arctg \frac{15 - 8}{9} = \arctg \frac{7}{9} = 38^\circ$ ,

здесь:  $X_L = X_{L1} + X_{L2} = 10 + 5 = 15 \text{ Ом}$ ;  $R = R_1 + R_2 = 4 + 5 = 9 \text{ Ом}$ ;  
 угол сдвига между током и напряжением  $U_1$  участка **ac**:

$$\varphi_1 = \arctg \frac{X_{L1}}{R_1} = \arctg \frac{10}{4} = 68^\circ;$$

угол сдвига между напряжением участка **ck**  $U_2$  и током:

$$\varphi_2 = \arctg \frac{X_{L2}}{R_2} = \arctg \frac{5}{5} = 45^\circ;$$

угол сдвига между током и напряжением  $U_3 = U_c$  участка **кб**:

$$\varphi_3 = -90^\circ.$$

9. Определяем потребляемые цепью мощности:

$$P = I^2 R_1 + I^2 R_2 = UI \cos \varphi = 220 \cdot 19,3 \cdot \cos 38^\circ = 3345,89 \text{ Вт};$$

$$Q = I^2 X_{L1} + I^2 X_{L2} - I^2 X_c = UI \sin \varphi = 220 \cdot 19,3 \cdot \sin 38^\circ = 2614,1 \text{ Вар};$$

$$S = U \cdot I = 220 \cdot 19,3 = 4246 \text{ ВА}.$$

**Таблица 2.1**

**Параметры элементов электрической цепи**

№ варианта	$R_1$	$R_2$	$R_3$	$L_1$	$L_2$	$C$
	Ом	Ом	Ом	мГ	мГ	мкФ
<b>1</b>	10	4	5	31,8	16	318
<b>2</b>	10	5	3	95,5	25,5	265
<b>3</b>	10	6	6	25,5	31,8	530
<b>4</b>	10	5	4	51	48	79,6
<b>5</b>	10	6	5	79,6	31,8	79,6
<b>6</b>	15	3	5	79,6	16	127
<b>7</b>	15	4	3	79,6	16	199
<b>8</b>	15	5	4	79,6	25,5	199
<b>9</b>	15	6	3	25,5	31,8	1,6
<b>10</b>	15	4	6	48	25,5	79,6
<b>11</b>	20	4	4	48	51	159
<b>12</b>	20	5	5	63,7	51	212
<b>13</b>	20	5	6	63,7	48	127
<b>14</b>	20	4	6	111	31,8	90,9
<b>15</b>	20	4	5	111	16	79,6
<b>16</b>	25	7	3	111	31,8	530
<b>17</b>	25	2	8	31,8	16	79,6
<b>18</b>	25	3	4	31,8	95,5	127

Продолжение таблицы 2.1

<b>19</b>	25	5	4	31,8	76	199
<b>20</b>	25	4	3	16	95,5	199
<b>21</b>	16	7	6	25,5	111	212
<b>22</b>	16	5	8	25,5	16	79,6
<b>23</b>	16	6	4	25,5	127	79,6
<b>24</b>	16	3	5	48	127	90,9
<b>25</b>	16	4	8	48	16	90,9
<b>26</b>	28	2	8	48	31,8	212
<b>27</b>	28	4	6	31,8	111	159
<b>28</b>	28	6	6	31,8	127	79,6
<b>29</b>	28	10	2	31,8	16	31,8
<b>30</b>	28	8	4	51	127	106
<b>31</b>	30	10	5	51	111	106
<b>32</b>	30	8	5	51	31,8	159
<b>33</b>	30	8	3	63,7	48	159
<b>34</b>	30	6	3	63,7	31,8	318
<b>35</b>	30	6	4	63,7	16	212
<b>36</b>	12	4	4	79,6	25,5	212
<b>37</b>	12	4	5	79,6	16	530
<b>38</b>	12	4	6	79,6	48	159
<b>39</b>	12	5	4	95,5	25,5	159
<b>40</b>	12	5	6	95,5	16	199
<b>41</b>	24	5	5	95,5	51	199
<b>42</b>	24	3	8	127	48	212
<b>43</b>	24	2	10	127	51	212
<b>44</b>	24	4	7	127	16	127
<b>45</b>	24	5	3	16	63,7	127
<b>46</b>	35	6	8	16	79,6	265
<b>47</b>	35	8	8	16	95,5	265
<b>48</b>	35	7	7	111	127	906
<b>49</b>	35	10	7	111	16	127
<b>50</b>	35	8	8	111	51	90,9

## Задание 2.2 Расчёт электрических цепей синусоидального тока с параллельным соединением пассивных элементов

В электрическую цепь с синусоидальным напряжением  $U=220В$  и с частотой  $f=50Гц$  включены параллельно активные и реактивные элементы. Определить токи в ветвях, построить векторную диаграмму токов и напряжений, определить активную, реактивную и полную мощность электрической цепи.

Параметры элементов электрической цепи (по вариантам) приведены в таблице 2.2.

### Пример решения задания

В электрическую цепь с синусоидальным напряжением  $U=220В$  и с частотой  $f=50Гц$  включены параллельно активные и реактивные элементы (рис. 2.3) со следующими параметрами:

$$R_1 = 110 \text{ Ом}, R_2 = 40 \text{ Ом}, L = 0,063 \text{ Г}, R_3 = 30 \text{ Ом}, C = 79,6 \text{ мкФ}.$$

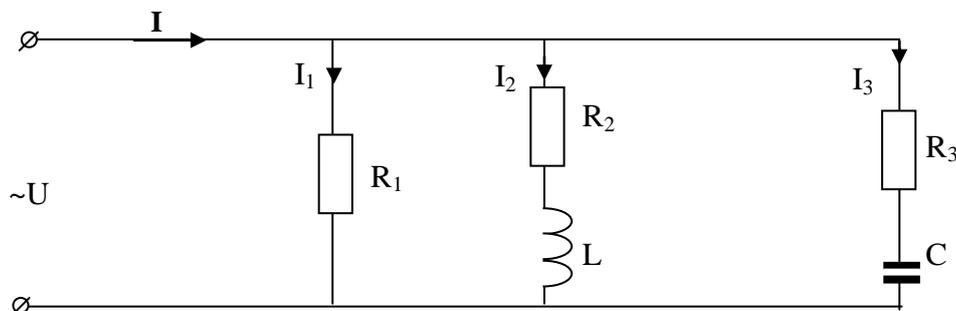


Рис.2.3 Электрическая цепь с параллельным соединением  $R$ ,  $L$  и  $C$

### Решение:

1. Определим полное сопротивление ветвей:

$$Z_1 = R_1 = 110 \text{ Ом},$$

$$Z_2 = \sqrt{R_2^2 + (\omega L)^2} = \sqrt{40^2 + (314 \cdot 0,0637)^2} = \sqrt{40^2 + 20^2} = 44,7 \text{ Ом}.$$

В комплексной форме

$$\underline{Z}_2 = R_2 + j\omega L = 40 + j20 = 44,7e^{j27^0} \text{ Ом},$$

$$\text{здесь } \varphi_2 = \arctg \frac{X_L}{R_2} = \arctg \frac{20}{40} = 27^0;$$

$$Z_3 = \sqrt{R_3^2 + \left(\frac{10^6}{\omega C}\right)^2} = \sqrt{30^2 + \left(\frac{10^6}{314 \cdot 79,6}\right)^2} = \sqrt{30^2 + 40^2} = 50 \text{ Ом},$$

$$\text{или } \underline{Z}_3 = R_3 - j\frac{10^6}{\omega C} = 30 - j40 = 50e^{-j53^0} \text{ Ом},$$

$$\text{здесь } \varphi_3 = \arctg \frac{-X_C}{R_3} = \arctg \frac{-40}{30} = -53^0.$$

2. Определим токи в ветвях. Начальную фазу напряжения источника примем равным  $0^\circ$ , тогда:

$$I_1 = \frac{U}{Z_1} = \frac{U}{R_1} = \frac{220}{110} = 2A;$$

$$I_2 = \frac{U}{Z_2} = \frac{220}{44,7} = 4,92 A \quad \text{или} \quad \dot{I}_2 = \frac{220}{44,7e^{j27^\circ}} = 4,92e^{-j27^\circ} A;$$

$$I_3 = \frac{U}{Z_3} = \frac{220}{50} = 4,4 A \quad \text{или} \quad \dot{I}_3 = \frac{220}{50e^{-j53^\circ}} = 4,4e^{j53^\circ} A.$$

3. Ток в неразветвлённой части электрической цепи согласно первому закону Кирхгофа определяется как  $\dot{I} = \dot{I}_1 + \dot{I}_2 + \dot{I}_3$ . Комплексные значения тока определяются через активную и реактивную составляющие:

$$\dot{I}_1 = 2 A;$$

$$\dot{I}_2 = 4,92 e^{-j27^\circ} = 4,92 \cdot \cos 27^\circ - j 4,92 \cdot \sin 27^\circ = 4,38 - j 2,23 A;$$

$$\dot{I}_3 = 4,4e^{j53^\circ} = 4,4 \cdot \cos 53^\circ + j 4,4 \cdot \sin 53^\circ = 2,64 + j 3,52 A;$$

$$\dot{I} = \dot{I}_1 + \dot{I}_2 + \dot{I}_3 = 2 + 4,38 - j 2,23 + 2,64 + j 3,52 =$$

$$= 9,02 + j 1,29 = 9,1e^{j8^\circ} A,$$

$$\text{здесь} \quad \varphi = \arctg \frac{1,29}{9,02} = 8^\circ,$$

$$\text{или значение тока} \quad I = \sqrt{(9,02)^2 + (1,29)^2} = \sqrt{81,36 + 1,66} = \sqrt{83,02} = 9,1 A.$$

4. Если не применять комплексный метод расчёта токов, то для определения тока  $I$  необходимо построить векторную диаграмму. Выбираем масштаб для токов и напряжения. Относительно вектора напряжения откладываем вектора токов в ветвях электрической цепи (рис.2.4).

В активном сопротивлении вектор тока  $I_1$  совпадает с вектором напряжения  $U$ .

Вектор тока  $I_2$  отстаёт от вектора напряжения на угол равный:

$$\varphi_2 = 27^\circ.$$

Вектор тока  $I_3$  опережает вектор напряжения на угол:  $\varphi_3 = -53^\circ$ .

Путём сложения этих трёх векторов определяем вектор тока  $I$  в неразветвлённой части электрической цепи.

Из векторной диаграммы заданной схемы  $I=9,1 A$  и  $\varphi = -8^\circ$ .

Масштаб:  $m_u = 20 \text{ В/см.}$   
 $m_I = 1 \text{ А/см.}$

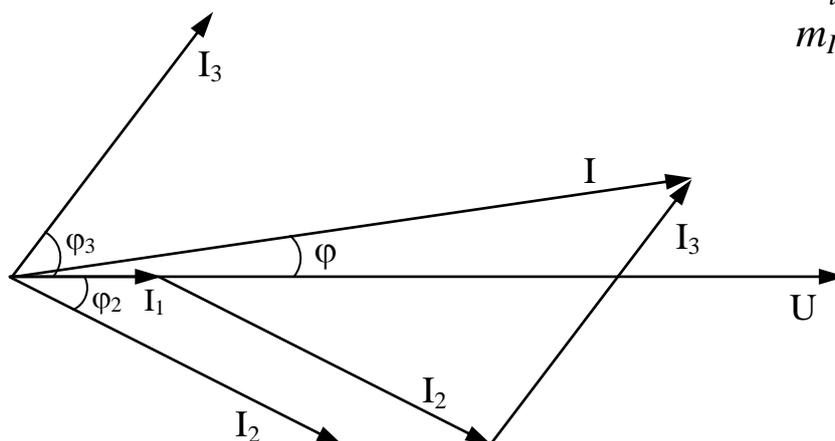


Рис.2.4 Векторная диаграмма заданной схемы

Определяем мощности электрической цепи:

$$P = I_1^2 R_1 + I_2^2 R_2 + I_3^2 R_3 = UI \cos \varphi = 220 \cdot 9,1 \cdot \cos 8^\circ = 1985,9 \text{ Вт};$$

$$Q = I_2^2 X_L - I_3^2 X_C = UI \sin \varphi = 220 \cdot 9,1 \cdot \sin 8^\circ = 280,3 \text{ ВАр};$$

$$S = UI = 220 \cdot 9,1 = 2002 \text{ ВА}$$

$$\text{или } S = UI = 220 \cdot 9,1 e^{-j8^\circ} = 2002 e^{-j8^\circ} = 1985,9 - j 280,3.$$

Таблица 2.2

Параметры элементов электрической цепи

№ варианта	$R_1$	$R_2$	$R_3$	$L$	$C$
	Ом	Ом	Ом	Г	мкФ
1	20	10	6	0,032	398
2	30	20	40	0,127	106
3	50	5	8	0,016	398
4	20	10	6	0,0255	212
5	40	15	20	0,0318	127
6	20	25	30	0,0796	90,9
7	25	30	8	0,111	530
8	25	15	12	0,048	199
9	30	12	20	0,051	265
10	20	6	20	0,0255	106
11	40	10	10	0,0637	318
12	20	15	15	0,0796	159
13	40	40	25	0,0965	106
14	40	30	30	0,127	159
15	30	40	20	0,127	318

## Продолжение таблицы 2.2

<b>16</b>	25	15	10	0,0318	212
<b>17</b>	20	6	8	0,016	530
<b>18</b>	10	8	25	0,0318	127
<b>19</b>	20	12	15	0,051	159
<b>20</b>	20	15	10	0,0796	212
<b>21</b>	30	20	30	0,048	106
<b>22</b>	25	30	40	0,0955	106
<b>23</b>	20	20	10	0,0637	318
<b>24</b>	30	40	30	0,127	90,9
<b>25</b>	15	6	30	0,0255	79,6
<b>26</b>	16	9	20	0,016	159
<b>27</b>	20	30	10	0,127	212
<b>28</b>	25	20	20	0,111	127
<b>29</b>	30	15	12	0,048	199
<b>30</b>	40	16	8	0,038	530
<b>31</b>	30	25	10	0,048	159
<b>32</b>	20	10	15	0,0318	159
<b>33</b>	20	6	15	0,051	318
<b>34</b>	20	10	10	0,0637	318
<b>35</b>	35	25	10	0,0796	212
<b>36</b>	40	30	15	0,111	212
<b>37</b>	20	10	8	0,016	530
<b>38</b>	50	30	40	0,0965	106
<b>39</b>	40	30	30	0,127	106
<b>40</b>	15	6	12	0,0255	318
<b>41</b>	20	12	10	0,051	212
<b>42</b>	20	15	10	0,048	212
<b>43</b>	25	15	12	0,0637	212
<b>44</b>	25	15	16	0,0318	265
<b>45</b>	25	20	10	0,0796	265
<b>46</b>	40	30	16	0,111	265
<b>47</b>	40	30	40	0,127	106
<b>48</b>	20	10	30	0,016	106
<b>49</b>	50	40	30	0,0965	79,6
<b>50</b>	50	6	30	0,0255	90,9

### Задание 2.3 Расчёт электрических цепей синусоидального тока со смешанным соединением пассивных элементов

В электрическую цепь с синусоидальным напряжением  $U=220В$  и с частотой  $f=50Гц$  включены активные сопротивления, индуктивные катушки и конденсатор (рис 2.5). Определите токи и напряжения в ветвях, определите активную, постройте векторную диаграмму токов и напряжений, реактивную и полную мощности электрической цепи.

Параметры элементов электрической цепи(по вариантам) приведены в таблице 2.3.

#### Пример решения задания

В электрическую цепь с синусоидальным напряжением  $U=220В$  и с частотой  $f=50Гц$  подключены две реальные индуктивные катушки со следующими параметрами:  $R_1=5Ом$ ,  $L_1=16мГ$ ,  $R_2=4Ом$ ,  $L_2=25,5 мГ$ ; и реальный конденсатор с параметрами  $R_3=6 Ом$ ,  $C=398 мкФ$ .

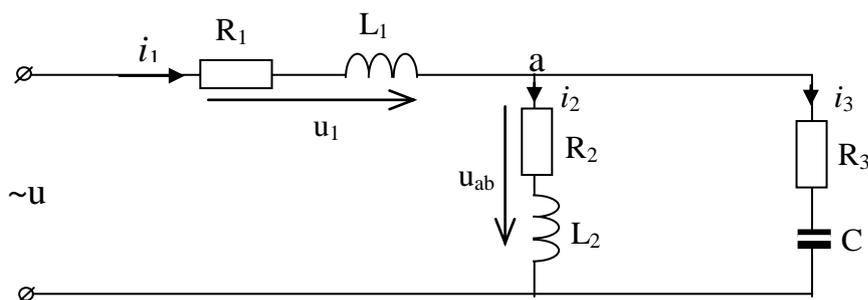


Рис.2.5 Электрическая цепь со смешанным соединением  $R$ ,  $L$  и  $C$

#### Решение:

1.Расчёт проведём с помощью комплексных чисел. Полное сопротивление электрической цепи определяется:

$$\underline{Z} = \underline{Z}_1 + \frac{\underline{Z}_2 \cdot \underline{Z}_3}{\underline{Z}_2 + \underline{Z}_3},$$

где  $\underline{Z}_1$  - полное сопротивление первой ветви

$$\underline{Z}_1 = R_1 + j\omega L_1 = 5 + j314 \cdot 16 \cdot 10^{-3} = 5 + j5 = 7,07 e^{j45^\circ} Ом,$$

$\underline{Z}_2$  - полное сопротивление второй ветви

$$\underline{Z}_2 = R_2 + j\omega L_2 = 4 + j314 \cdot 25,5 \cdot 10^{-3} = 4 + j8 = 8,9 e^{j63^\circ} Ом,$$

$\underline{Z}_3$  - полное сопротивление третьей ветви

$$\underline{Z}_3 = R_3 - j \frac{10^6}{\omega C} = 6 - j \frac{10^6}{314 \cdot 398} = 6 - j10 = 11,7 e^{-j59^\circ} Ом.$$

Полное сопротивление всей цепи

$$\underline{Z} = 5 + j5 + \frac{8,9e^{j63^\circ} \cdot 11,7e^{-j59^\circ}}{4 + j8 + 6 - j10} = 5 + j5 + \frac{8,9e^{j63^\circ} \cdot 11,7e^{-j59^\circ}}{10 - j2} = 5 + j5 + \frac{8,9e^{j63^\circ} \cdot 11,7e^{-j59^\circ}}{10,2e^{-j11^\circ}} =$$

$$= 5 + j5 + 10,2 e^{j15^\circ} = 5 + j5 + 9,18 + j2,65 = 14,18 + j7,65 = 16,2 e^{j18^\circ} \text{ Ом.}$$

2. Ток в неразветвленной части электрической цепи равен:

$$\dot{I}_1 = \frac{\dot{U}}{\underline{Z}} = \frac{220}{16,2e^{j18^\circ}} = 13,5e^{-j18^\circ} \text{ А.}$$

Падение напряжения на сопротивление  $\underline{Z}_1$  определяется как:

$$\dot{U}_1 = \dot{I}_1 \cdot \underline{Z}_1 = 13,5e^{-j18^\circ} \cdot 7,07e^{j45^\circ} = 95,44e^{j28^\circ} \text{ В.}$$

Сопротивление  $\underline{Z}_2$  и  $\underline{Z}_3$  соединены параллельно, поэтому падение напряжения определяется, как  $\dot{U}_{ab} = \dot{I} \cdot \underline{Z}_{2-3}$ ,

$$\text{Здесь } \underline{Z}_{2-3} = \frac{\underline{Z}_2 \cdot \underline{Z}_3}{\underline{Z}_2 + \underline{Z}_3} = 10,2e^{j15^\circ}, \quad \dot{U}_{ab} = 13,5e^{-j18^\circ} \cdot 10,2e^{j15^\circ} = 137,7e^{-j3^\circ} \text{ В.}$$

3. Определяем токи  $\dot{I}_2$  и  $\dot{I}_3$ :

$$\dot{I}_2 = \frac{\dot{U}_{ab}}{\underline{Z}_2} = \frac{137,7e^{-j3^\circ}}{8,9e^{j63^\circ}} = 15,47e^{-j66^\circ} \text{ А;}$$

$$\dot{I}_3 = \frac{\dot{U}_{ab}}{\underline{Z}_3} = \frac{137,7e^{-j3^\circ}}{11,7e^{-j59^\circ}} = 11,76e^{j56^\circ} \text{ А.}$$

4. Определяем мощности электрической цепи

а) активные мощности:

$$P_1 = I_1^2 \cdot R_1 = 13,25^2 \cdot 5 = 175,56 \cdot 5 = 877,8 \text{ Вт,}$$

$$P_2 = I_2^2 \cdot R_2 = 15,18^2 \cdot 4 = 881,72 \text{ Вт,}$$

$$P_3 = I_3^2 \cdot R_3 = 11,55^2 \cdot 6 = 800,4 \text{ Вт,}$$

$$P = P_1 + P_2 + P_3 = 877,8 + 81,72 + 800,4 = 2559,92 \text{ Вт;}$$

б) реактивные мощности:

$$Q_1 = I_1^2 X_1 = 13,25^2 \cdot 5 = 877,8 \text{ ВАр;}$$

$$Q_2 = I_2^2 X_2 = 15,18^2 \cdot 8 = 1763,44 \text{ ВАр;}$$

$$Q_3 = I_3^2 X_3 = -11,55^2 \cdot 10 = -1334 \text{ ВАр.}$$

Третья ветвь электрической цепи имеет активно-ёмкостной характер, поэтому реактивная мощность этой ветви принимается со знаком минус:

$$Q = Q_1 + Q_2 - Q_3 = 877,8 + 1763,44 - 1334 = 1307,24 \text{ ВАр}.$$

Полная мощность:

$$S = P + jQ = 2559,92 + j1307,24.$$

Модуль полной мощности равен:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{(2559,92)^2 + (1307,24)^2} \approx \sqrt{5107600 + 1708249} \approx 2611 \text{ ВА}$$

По результатам расчётов строим векторную диаграмму токов и напряжения. Начальную фазу напряжения источника питания принимаем равным нулю. Выбираем масштаб для вектора тока и вектора напряжения, строим векторную диаграмму (рис.2.6).

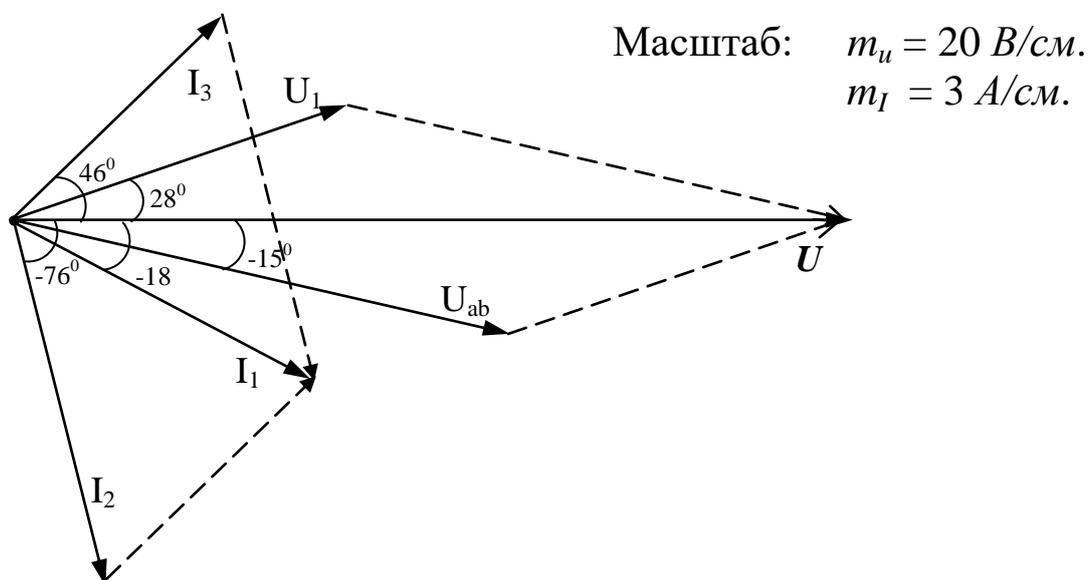


Рис.2.6 Векторная диаграмма электрической цепи со смешанным соединением  $R$ ,  $L$  и  $C$

Таблица 2.3

Параметры элементов электрической цепи

№ варианта	$R_1$	$R_2$	$R_3$	$L_1$	$L_2$	$C$
	Ом	Ом	Ом	мГ	мГ	мкФ
1	10	6	20	25,5	16	106
2	15	12	20	48	51	265
3	10	10	6	25,5	25,5	212
4	5	15	20	127	31,8	127
5	13	12	20	127	51	265
6	10	20	40	63,7	127	106
7	14	10	6	63,7	31,8	398

Продолжение таблицы 2.3

<b>8</b>	12	5	8	63,7	16	398
<b>9</b>	16	15	20	79,6	31,8	127
<b>10</b>	10	25	30	48	79,6	90,9
<b>11</b>	12	10	20	48	96	106
<b>12</b>	20	30	8	-	111	530
<b>13</b>	15	15	15	-	79,6	159
<b>14</b>	25	20	10	-	48	159
<b>15</b>	10	30	15	-	48	127
<b>16</b>	16	30	8	38,2	63,7	318
<b>17</b>	12	20	-	38,2	63,7	106
<b>18</b>	20	40	-	38,2	960	79,6
<b>19</b>	5	40	-	16	79,6	199
<b>20</b>	8	15	-	16	31,8	199
<b>21</b>	10	30	20	16	127	199
<b>22</b>	15	15	10	16	79,6	159
<b>23</b>	20	8	15	16	31,8	159
<b>24</b>	30	10	25	127	48	159
<b>25</b>	35	25	30	127	96	159
<b>26</b>	10	15	15	48	16	212
<b>27</b>	12	-	25	48	111	212
<b>28</b>	15	-	20	48	63,7	212
<b>29</b>	20	-	5	48	25,5	212
<b>30</b>	20	-	20	79,6	63,7	127
<b>31</b>	25	45	-	79,6	96	127
<b>32</b>	15	10	30	79,6	48	127
<b>33</b>	30	6	-	79,6	25,5	530
<b>34</b>	12	-	8	51	51	530
<b>35</b>	16	20	10	51	63,7	530
<b>36</b>	20	30	12	51	79,6	530
<b>37</b>	-	30	10	51	127	265
<b>38</b>	-	25	12	51	111	265
<b>39</b>	-	20	8	38,2	79,6	265
<b>40</b>	-	35	30	38,2	127	79,6
<b>41</b>	20	25	35	96	79,6	79,6
<b>42</b>	25	12	40	96	51	79,6
<b>43</b>	30	20	20	96	96	90,9
<b>44</b>	35	20	25	96	63,7	90,9

Продолжение таблицы 2.3

<b>45</b>	40	7	30	-	16	90,9
<b>46</b>	35	30	40	-	127	90,9
<b>47</b>	8	40	12	25,5	127	199
<b>48</b>	6	30	20	25,5	79,6	199
<b>49</b>	30	15	10	111	48	318
<b>50</b>	40	20	15	111	48	318

### ЗАДАНИЕ 3

#### Расчёт трёхфазной электрической цепи

В трёхфазный источник с линейным напряжением  $U_l = 380 \text{ В}$  и частотой сети  $f = 50 \text{ Гц}$ , потребители соединены по схеме «звезда» и «треугольник» (рис.3.1). При заданных параметрах схемы необходимо:

1) определить фазные токи  $I_{AY}, I_{BY}, I_{CY}$  трёхфазных потребителей, соединённых по схеме «звезда»;

2) определить фазные токи  $I_{AB}, I_{BC}, I_{CA}$  и линейные токи  $I_{AA}, I_{BA}, I_{CA}$  соединённые по схеме «треугольник»;

3) построить единую векторную диаграмму токов и напряжения потребителей, соединённых по схеме «звезда» и «треугольник», выбрав масштаб для токов и масштаб для напряжения;

4) определить ток нулевого (нейтрального) провода  $I_0$  потребителя, соединённый по схеме «звезда» и линейные токи  $I_{AA}, I_{BA}, I_{CA}$  графическим построением из векторной диаграммы;

5) определить из векторной диаграммы общие линейные токи  $I_1, I_2$  и  $I_3$ , т.е. показания амперметров  $A_1, A_2, A_3$ ;

6) аналитическим методом определить активную  $P$ , реактивную  $Q$  и полную  $S$  мощности потребителей. При этом реактивная мощность индуктивного характера  $Q_I$  принимается со знаком "+", а ёмкостного характера принимается со знаком минус "-";

7) по результатам графического построения определить (с учётом знаков) активную, реактивную и полную мощности трёхфазной электрической цепи;

8) сопоставить значения полной мощности трёхфазной электрической цепи определённые аналитическим и графическим методами. Определить относительную погрешность.

### Пример решения задания

Параметры потребителей, соединённых по схеме «звезда»:

$$r_A = 15 \text{ Ом}; r_B = 10 \text{ Ом}; r_C = 10 \text{ Ом};$$

$$L_A = 32 \text{ мГ}; L_B = 12 \text{ мГ};$$

$$C_A = 318 \text{ мкФ}; C_C = 852 \text{ мкФ}.$$

Параметры потребителей, соединённых по схеме «треугольник»:

$$r_{AB} = 9 \text{ Ом}; r_{BC} = 13 \text{ Ом}; r_{CA} = 13 \text{ Ом};$$

$$L_{AB} = 28 \text{ мГ}; L_{BC} = 48 \text{ мГ}; L_{CA} = 24 \text{ мГ};$$

$$C_{BC} = 419 \text{ мкФ}.$$

На рис.3.1 показана схема трёхфазной электрической цепи.

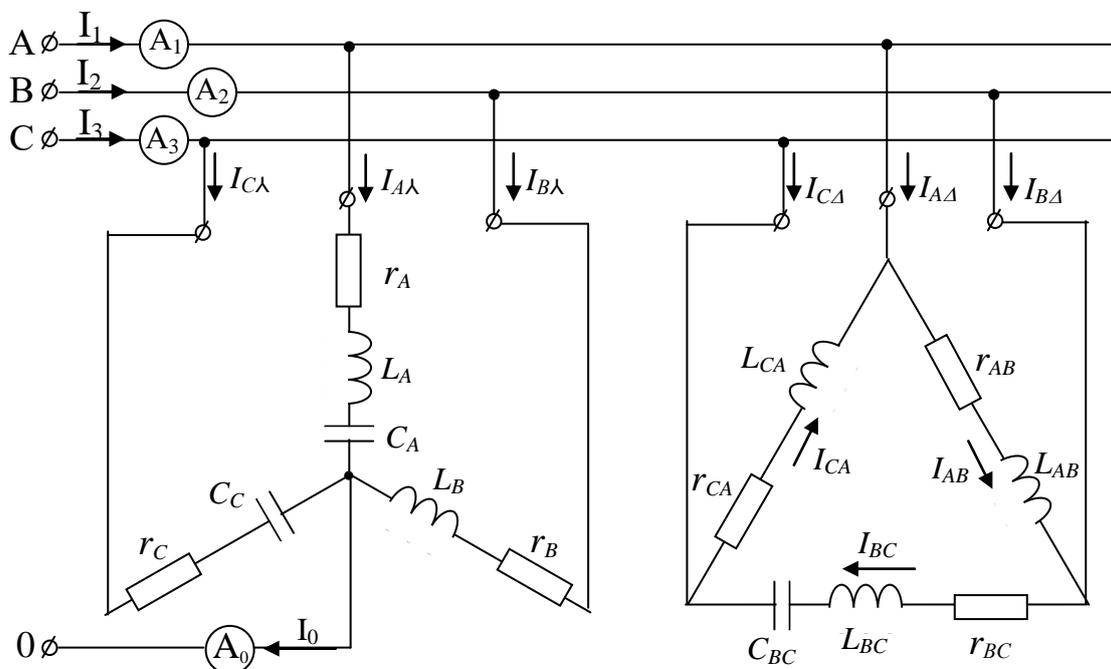


Рис. 3.1 Схема трёхфазной электрической цепи соединённой по схеме « звезда » и «треугольник»

### Решение

1. Определяем фазные токи потребителей соединённых по схеме «звезда». Полное сопротивление каждой фазы:

$$z_A = \sqrt{r_A^2 + \left( \omega L_A - \frac{1}{\omega C_A} \right)^2} = \sqrt{15^2 + \left( 314 \cdot 32 \cdot 10^{-3} - \frac{10^6}{314 \cdot 318} \right)^2} = \sqrt{15^2 + (10 - 10)^2} = 15 \text{ Ом}$$

$$z_B = \sqrt{r_B^2 + (\omega L_B)^2} = \sqrt{10^2 + (314 \cdot 12 \cdot 10^{-3})^2} = \sqrt{10^2 + 3,76^2} = 10,7 \text{ Ом},$$

$$z_C = \sqrt{r_C^2 + \left(\frac{1}{\omega C_C}\right)^2} = \sqrt{10^2 + \left(\frac{1}{314 \cdot 852 \cdot 10^{-6}}\right)^2} = \sqrt{10^2 + 3,74^2} = 10,7 \text{ Ом.}$$

Для потребителей, соединённых по схеме «звезда», фазное напряжение определяется:

$$U_{\phi} = \frac{U_L}{\sqrt{3}} = \frac{380}{1,73} = 220 \text{ В;}$$

Учитывая, что  $U_A = U_B = U_C = U_{\phi}$  рассчитываем фазные токи потребителей:

$$I_{A\lambda} = \frac{U_A}{z_A} = \frac{220}{15} = 14,67 \text{ А}$$

$$I_{B\lambda} = \frac{U_B}{z_B} = \frac{220}{10,7} = 20,56 \text{ А}$$

$$I_{C\lambda} = \frac{U_C}{z_C} = \frac{220}{10,7} = 20,56 \text{ А.}$$

2. Определение фазных токов потребителей, соединённых по схеме «треугольник». Полное сопротивление каждой фазы:

$$Z_{AB} = \sqrt{r_{AB}^2 + (\omega \cdot L_{AB})^2} = \sqrt{9^2 + (314 \cdot 28 \cdot 10^{-3})^2} = \sqrt{9^2 + 8,8^2} = \sqrt{158,4} = 12,6 \text{ Ом,}$$

$$Z_{BC} = \sqrt{r_{BC}^2 + \left(\omega \cdot L_{BC} - \frac{1}{\omega C_{BC}}\right)^2} = \sqrt{13^2 + \left(314 \cdot 48 \cdot 10^{-3} - \frac{1}{314 \cdot 419 \cdot 10^{-6}}\right)^2} =$$

$$= \sqrt{13^2 + (15,1 - 7,6)^2} = \sqrt{13^2 + 7,5^2} = 15 \text{ Ом,}$$

$$Z_{CA} = \sqrt{r_{CA}^2 + (\omega \cdot L_{CA})^2} = \sqrt{13^2 + (314 \cdot 24 \cdot 10^{-3})^2} = \sqrt{13^2 + 7,54^2} = \sqrt{225,8} = 15 \text{ Ом,}$$

При соединении потребителей по схеме «треугольник» фазные и линейные напряжения равны, т.е.  $U_{AB} = U_{BC} = U_{CA} = U_L = 380 \text{ В}$ . В этом случае фазные токи:

$$I_{AB} = \frac{U_{AB}}{z_{AB}} = \frac{380}{12,6} = 30,16 \text{ А,}$$

$$I_{BC} = \frac{U_{BC}}{z_{BC}} = \frac{380}{15} = 25,3 \text{ А,}$$

$$I_{CA} = \frac{U_{CA}}{z_{CA}} = \frac{380}{15} = 25,3 \text{ А.}$$

3. По полученным расчётам построим единую векторную диаграмму токов и напряжения (рис 3.2) для потребителей,

соединённых по схеме «звезда» и «треугольник», предварительно выбираем масштаб тока и масштаб напряжения:

а) векторную диаграмму начинаем строить с векторов фазных напряжений и токов потребителей, соединённых по схеме «звезда». Для этого выбираем масштаб напряжения  $m_u = 5 \text{ В/мм}$ , масштаб тока  $m_i = 1 \text{ А/мм}$ . Откладываем вектор фазного напряжения фазы А вертикально (рис 3.2). Затем относительно  $\bar{U}_A$  по направлению часовой стрелки откладываем фазные напряжения  $\bar{U}_B$  и  $\bar{U}_C$  под углом  $120^\circ$  и  $240^\circ$  соответственно. При наличии нулевого провода фазные напряжения  $U_A$ ,  $U_B$ ,  $U_C$  потребителя образуют симметричную систему напряжений. Соединив концы векторов фазных напряжений, получаем треугольник линейных напряжений  $U_{AB}$ ,  $U_{BC}$  и  $U_{CA}$  (рис.3.2).

Для построения векторов фазных токов сначала определим сдвиг фаз между фазными напряжениями и токами.

В фазе А потребитель имеет активный характер, т.к.

$$\omega \cdot L_A = \frac{1}{\omega \cdot C_A}, \cos \varphi_A = \frac{r_A}{z_A} = \frac{15}{15} = 1, \text{ т.е. } \varphi_A = 0^\circ.$$

Это означает, что фазный ток  $I_A$  и фазное напряжение  $U_A$  совпадают по фазе.

В фазе В потребитель имеет активно-индуктивный характер,

$$\cos \varphi_B = \frac{r_B}{z_B} = \frac{10}{10,7} = 0,93, \text{ т.е. } \varphi_B = 21^\circ 30'$$

и ток  $I_B$  отстаёт от вектора напряжения  $U_B$  на угол  $21^\circ 30'$ .

В фазе С потребитель имеет активно-ёмкостной характер,

$$\cos \varphi_C = \frac{r_C}{z_C} = \frac{10}{10,7} = 0,93, \text{ т.е. } \varphi_C = 21^\circ 30',$$

т.е. вектор тока  $I_C$  опережает вектор напряжения  $U_C$  на  $21^\circ 30'$ .

Теперь построим вектора фазных токов относительно фазных напряжений потребителя (рис. 3.2).

б) Аналогично определяются сдвиги фаз между фазными токами  $I_{AB}$ ,  $I_{BC}$  и  $I_{CA}$  и фазными напряжениями  $U_{AB}$ ,  $U_{BC}$  и  $U_{CA}$  для потребителей, соединённых по схеме «треугольник».

Потребитель в фазе **АВ** имеет активно-индуктивный характер, т.е.  $\cos \varphi_{AB} = \frac{r_{AB}}{z_{AB}} = \frac{9}{12,5} = 0,71$ , тогда  $\varphi_{AB} = 45^\circ$  и вектор тока  $I_{AB}$  отстаёт от вектора напряжения на  $45^\circ$ .

Потребитель в фазе **ВС** имеет активно-индуктивный характер, т.е.  $\omega \cdot L_{BC} > \frac{1}{\omega \cdot C_{BC}}$ . Поэтому  $\cos \varphi_{BC} = \frac{r_{BC}}{z_{BC}} = \frac{13}{15} = 0,87$ , тогда  $\varphi_{BC} = 29^\circ 30'$  и ток  $I_{BC}$  отстаёт от вектора напряжения  $U_{BC}$  на  $29^\circ 30'$ .

Потребитель в фазе **СА** также имеет активно-индуктивный характер, т.е.  $\omega \cdot L_{BC} > \frac{1}{\omega \cdot C_{BC}}$ .

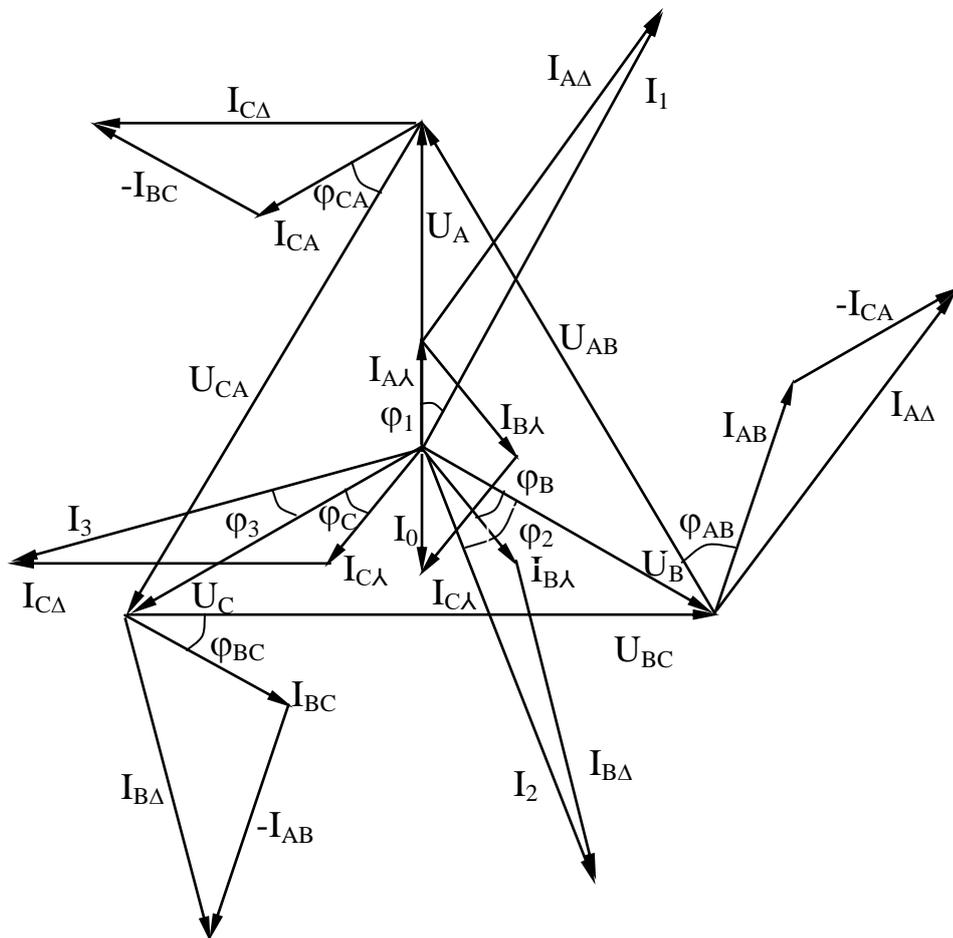


Рис.3.2 Векторная диаграмма напряжений и токов

Поэтому  $\cos \varphi_{CA} = \frac{r_{CA}}{z_{CA}} = \frac{13}{15} = 0,87$ , тогда  $\varphi_{CA} = 29^\circ 30'$  и ток  $I_{CA}$  отстаёт от вектора напряжения  $\bar{U}_{CA}$  на  $29^\circ 30'$ .

В векторной диаграмме вектора токов  $I_{AB}$ ,  $I_{BC}$ ,  $I_{CA}$  строятся относительно векторов фазных напряжений  $\bar{U}_{AB}$ ,  $\bar{U}_{BC}$  и  $\bar{U}_{CA}$  (рис.3.2).

4. Из векторной диаграммы (рис.3.2) определяем ток в нулевом проводе  $I_0$  и для схемы «треугольник» линейные токи  $I_{A\Delta}$ ,  $I_{B\Delta}$  и  $I_{C\Delta}$ :

а) ток в нулевом  $I_0$  проводе, в соответствии с первым законом Кирхгофа, равен геометрической сумме фазных токов:

$$\bar{I}_0 = \bar{I}_{A\lambda} + \bar{I}_{B\lambda} + \bar{I}_{C\lambda}.$$

Для определения действительного значения тока  $I_0$  длину вектора умножаем на масштаб тока, т.е.

$$I_0 = I_{10} \cdot m_1 = 16 \text{ мм} \cdot 1 \text{ А} / \text{мм} = 16 \text{ А};$$

б) линейные токи  $I_{A\Delta}$ ,  $I_{B\Delta}$  и  $I_{C\Delta}$  для потребителей, соединённых по схеме «треугольник», определяются путём составления уравнений по первому закону Кирхгофа (рис. 3.2):

$$\bar{I}_{A\Delta} = \bar{I}_{AB} - \bar{I}_{CA};$$

$$\bar{I}_{B\Delta} = \bar{I}_{BC} - \bar{I}_{AB};$$

$$\bar{I}_{C\Delta} = \bar{I}_{CA} - \bar{I}_{BC}.$$

Действительные значения токов  $I_{A\Delta}$ ,  $I_{B\Delta}$  и  $I_{C\Delta}$  с учётом принятого масштаба для токов (1мм=1А) будут равны, т.е.:

$$\bar{I}_{A\Delta} = 51 \text{ мм} \text{ или } \bar{I}_{A\Delta} = 51 \text{ А};$$

$$\bar{I}_{B\Delta} = 43,5 \text{ мм} \text{ или } \bar{I}_{B\Delta} = 43,5 \text{ А};$$

$$\bar{I}_{C\Delta} = 43,5 \text{ мм} \text{ или } \bar{I}_{C\Delta} = 43,5 \text{ А}.$$

5. Из векторной диаграммы (рис.3.2) определим величины токов  $I_1$ ,  $I_2$  и  $I_3$ . Для этого геометрическим суммированием векторов фазных токов  $I_{A\lambda}$ ,  $I_{B\lambda}$  и  $I_{C\lambda}$  и линейных токов  $I_{A\Delta}$ ,  $I_{B\Delta}$  и  $I_{C\Delta}$  определяем показание амперметров  $A_1$ ,  $A_2$  и  $A_3$ , т.е.  $I_1$ ,  $I_2$  и  $I_3$ :

$$\bar{I}_1 = \bar{I}_{A\lambda} + \bar{I}_{A\Delta};$$

$$\bar{I}_2 = \bar{I}_{B\lambda} + \bar{I}_{B\Delta};$$

$$\bar{I}_3 = \bar{I}_{C\lambda} + \bar{I}_{C\Delta}.$$

С учётом принятого масштаба для токов действительные значения токов  $I_1$ ,  $I_2$  и  $I_3$  будут равны:

$$\bar{I}_1 = 65 \text{ мм} \text{ или } I_1 = 65 \text{ А};$$

$$\bar{I}_2 = 63 \text{ мм} \text{ или } I_2 = 63 \text{ А};$$

$$\bar{I}_3 = 58 \text{ мм} \text{ или } I_3 = 58 \text{ А}.$$

6. Каждая фазная нагрузка представляет собой отдельный элемент электрической цепи, в котором происходит

преобразование энергии или её обмен с источником питания. Поэтому активная и реактивная мощности трёхфазной цепи равны сумме мощностей отдельных фаз потребителей. Это можно определить как аналитическим, так и графическим методами.

а) Определение активной, реактивной и полной мощности потребителей, соединённых по схеме «звезда».

Активная мощность каждой фазы:

$$P_A = U_A I_{A\lambda} \cos \varphi_A = 220 \cdot 14,67 \cdot 1 = 3227 \text{ Вт} = 3,23 \text{ кВт};$$

$$P_B = U_B I_{B\lambda} \cos \varphi_A = 220 \cdot 20,56 \cdot 0,93 = 4207 \text{ Вт} = 4,2 \text{ кВт};$$

$$P_C = U_C I_{A\lambda} \cos \varphi_A = 220 \cdot 20,56 \cdot 0,93 = 4207 \text{ Вт} = 4,2 \text{ кВт}.$$

Активная мощность трёх фаз:

$$P_\lambda = P_A + P_B + P_C = 3227 + 4207 + 4207 = 11641 \text{ Вт} = 11,64 \text{ кВт}.$$

Реактивная мощность каждой фазы:

$$Q_A = U_A I_{A\lambda} \sin \varphi_A = 220 \cdot 14,66 \cdot 0 = 0;$$

$$Q_B = U_B I_{B\lambda} \sin \varphi_B = 220 \cdot 20,56 \cdot 0,37 = 1674 \text{ ВАр} = 1,67 \text{ кВАр};$$

$$Q_C = U_C I_{C\lambda} \sin \varphi_C = 220 \cdot 20,56 \cdot (-0,37) = -1674 \text{ ВАр} = 1,67 \text{ кВАр}.$$

Реактивная мощность трёх фаз:

$$Q_\lambda = Q_A + Q_B + Q_C = 0 + 1674 - 1674 = 0$$

Полная мощность каждой фазы:

$$S_A = \sqrt{P_A^2 + Q_A^2} = \sqrt{3,23^2 + 0^2} = 3,23 \text{ кВА};$$

$$S_B = \sqrt{P_B^2 + Q_B^2} = \sqrt{4,2^2 + 1,67^2} = \sqrt{20,43} = 4,5 \text{ кВА};$$

$$S_C = \sqrt{P_C^2 + Q_C^2} = \sqrt{4,2^2 + 1,67^2} = \sqrt{20,43} = 4,5 \text{ кВА}.$$

Полная мощность трёх фаз:

$$S_\lambda = \sqrt{P_\lambda^2 + Q_\lambda^2} = \sqrt{11,64^2 + 0^2} = 11,64 \text{ кВА}.$$

б) Активная, реактивная и полная мощность потребителей, соединённых по схеме «треугольник».

Активная мощность каждой фазы:

$$P_{AB} = U_{AB} \cdot I_{AB} \cdot \cos \varphi_{AB} = 380 \cdot 30,16 \cdot 0,71 = 8137 \text{ Вт} = 8,14 \text{ кВт},$$

$$P_{BC} = U_{BC} \cdot I_{BC} \cdot \cos \varphi_{BC} = 380 \cdot 25,3 \cdot 0,87 = 8364 \text{ Вт} = 8,36 \text{ кВт},$$

$$P_{CA} = U_{CA} \cdot I_{CA} \cdot \cos \varphi_{CA} = 380 \cdot 25,3 \cdot 0,87 = 8364 \text{ Вт} = 8,36 \text{ кВт}.$$

Активная мощность трёх фаз:

$$P_\Delta = P_{AB} + P_{BC} + P_{CA} = 8,14 + 8,36 + 8,36 = 24,86 \text{ кВт}.$$

Реактивная мощность каждой фазы:

$$Q_{AB} = U_{AB} \cdot I_{AB} \cdot \sin \varphi_{AB} = 380 \cdot 30,16 \cdot 0,71 = 8137 \text{ ВАр} = 8,14 \text{ кВАр};$$

$$Q_{BC} = U_{BC} \cdot I_{BC_A} \cdot \sin \varphi_{BC} = 380 \cdot 25,3 \cdot 0,49 = 4710 \text{ ВАр} = 4,71 \text{ кВАр} ;$$

$$Q_{CA} = U_{CA} \cdot I_{CA} \cdot \cos \varphi_{CA} = 380 \cdot 25,3 \cdot 0,49 = 4710 \text{ ВАр} = 4,71 \text{ кВАр} .$$

Реактивная мощность трёх фаз:

$$Q_{\Delta} = Q_{AB} + Q_{BC} + Q_{CA} = 8,14 + 4,71 + 4,71 = 17,56 \text{ кВАр}.$$

Полная мощность каждой фазы:

$$S_{AB} = \sqrt{P_{AB}^2 + Q_{AB}^2} = \sqrt{8,14^2 + 8,14^2} = 11,5 \text{ кВА} ;$$

$$S_{BC} = \sqrt{P_{BC}^2 + Q_{BC}^2} = \sqrt{8,36^2 + 4,71^2} = \sqrt{92,09} = 9,6 \text{ кВА} ;$$

$$S_{CA} = \sqrt{P_{CA}^2 + Q_{CA}^2} = \sqrt{8,36^2 + 4,71^2} = \sqrt{92,09} = 9,6 \text{ кВА} .$$

Полная мощность трёх фаз:

$$S_{\Delta} = \sqrt{P_{\Delta}^2 + Q_{\Delta}^2} = \sqrt{25,86^2 + 17,56^2} = 30,44 \text{ кВА}.$$

7. По данным, из векторной диаграммы (рис. 3.2), определим графическим методом активную, реактивную и полную мощности трёхфазной цепи. Для этого измерим углы  $\varphi_1$ ,  $\varphi_2$  и  $\varphi_3$  из векторной диаграммы:  $\varphi_1 = 27^{\circ}30'$ ;  $\varphi_2 = 35^{\circ}30'$ ;  $\varphi_3 = 15^{\circ}$ .

Определяем косинусы этих углов:

$$\cos \varphi_1 = 0,887; \quad \cos \varphi_2 = 0,814; \quad \cos \varphi_3 = 0,966.$$

Определяем синусы этих углов:

$$\sin \varphi_1 = 0,462; \quad \sin \varphi_2 = 0,581; \quad \sin \varphi_3 = 0,258.$$

Активная мощность каждой линии:

$$P_1 = U_A \cdot I_1 \cdot \cos \varphi_1 = 220 \cdot 65 \cdot 0,887 = 12684 \text{ Вт} = 12,7 \text{ кВт} ;$$

$$P_2 = U_C \cdot I_2 \cdot \cos \varphi_2 = 220 \cdot 633 \cdot 0,814 = 11282 \text{ Вт} = 11,3 \text{ кВт} ;$$

$$P_3 = U_C \cdot I_3 \cdot \cos \varphi_3 = 220 \cdot 58 \cdot 0,966 = 12326 \text{ Вт} = 12,3 \text{ кВт} .$$

Суммарная активная мощность потребителей:

$$P_{\Sigma} = P_1 + P_2 + P_3 = 12,7 + 11,3 + 12,3 = 36,3 \text{ кВт}.$$

Реактивная мощность каждой линии:

$$Q_1 = U_A \cdot I_1 \cdot \sin \varphi_1 = 220 \cdot 65 \cdot 0,462 = 6602 \text{ ВАр} = 6,6 \text{ кВАр};$$

$$Q_2 = U_B \cdot I_2 \cdot \sin \varphi_2 = 220 \cdot 63 \cdot 0,581 = 8052 \text{ ВАр} = 8,05 \text{ кВАр};$$

$$Q_3 = U_C \cdot I_3 \cdot \sin \varphi_3 = 220 \cdot 58 \cdot 0,258 = 3292 \text{ ВАр} = 3,3 \text{ кВАр} .$$

Суммарная реактивная мощность потребителей:

$$Q_{\Sigma} = Q_1 + Q_2 + Q_3 = 6,6 + 8,05 + 3,3 = 17,95 \text{ кВАр} .$$

Полная мощность каждой линии:

$$S_1 = \sqrt{P_1^2 + Q_1^2} = \sqrt{12,7^2 + 6,6^2} = 14,3 \text{ кВА};$$

$$S_2 = \sqrt{P_2^2 + Q_2^2} = \sqrt{11,3^2 + 8,05^2} = \sqrt{192,5} = 13,9 \text{ кВА};$$

$$S_3 = \sqrt{P_3^2 + Q_3^2} = \sqrt{12,3^2 + 3,3^2} = \sqrt{162,2} = 12,8 \text{ кВА}.$$

Суммарная полная мощность трёх линий:

$$S_{\text{сп}} = \sqrt{P_{\text{сп}}^2 + Q_{\text{сп}}^2} = \sqrt{36,3^2 + 17,95^2} = 40,49 \text{ кВА}.$$

Сопоставим мощности, полученные аналитическим и графическим методами. Для этого определим полную мощность, потребляемую приёмниками:

$$P_{\text{ан}} = P_{\lambda} + P_{\Delta} = 11,64 + 24,86 = 36,5 \text{ кВт},$$

$$Q_{\text{ан}} = Q_{\lambda} + Q_{\Delta} = 0 + 17,6 = 17,6 \text{ кВАр},$$

$$S_{\text{ан}} = \sqrt{P_{\text{ан}}^2 + Q_{\text{ан}}^2} = \sqrt{36,5^2 + 17,6^2} = \sqrt{1637,68} = 40,52 \text{ кВА}.$$

Определим относительную погрешность расчётов:

$$\Delta S = \frac{S_{\text{ан}} - S_{\text{сп}}}{S_{\text{ан}}} \cdot 100 = \frac{40,52 - 40,49}{40,52} \cdot 100 = 0,07\%.$$

Относительная погрешность расчётов аналитическим и графическим методами в пределах допустимого значения.

Варианты для расчёта трёхфазных цепей приведены в таблицах 3.1, 3.2, 3.3.

**Таблица 3.1**

**Активные сопротивления трёхфазной цепи (Ом)**

Фазы	Варианты	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>А</b>	<b>0</b>	20	50		40	60	30	10	25	35	40
<b>В</b>		25	20	10		25	15	35	20	30	
<b>С</b>			25	30	30		40		20	40	25
<b>А</b>	<b>1</b>	25		30	50	60	35	20	25	40	20
<b>В</b>		20	30		40	35	20		30	50	10
<b>С</b>		16	25	35		25	15	50	15	25	
<b>А</b>	<b>2</b>		45	10		60	30	10	10	40	20
<b>В</b>		50	20	45	10	20			36	50	30
<b>С</b>		30	20	30	40	30	20	25		20	
<b>А</b>	<b>3</b>	60	30	40	15	35	55	45	55	25	15
<b>В</b>			35			40	25	20		40	
<b>С</b>		35	20	15	30		40	10	30	50	40

Продолжение таблицы 3.1

<b>A</b>	4	65	10	35	45	15	20	50	35	15	45
<b>B</b>			30	20	10		40		20		30
<b>C</b>		15		10	20	40	10	20	50	30	
<b>A</b>	5		30	55	25	15	50	40	10	40	60
<b>B</b>		20		40		10		15	30	10	25
<b>C</b>		45	18	15	10	25	30		20	25	
<b>A</b>	6	10	15		10	40	25	20	40	60	50
<b>B</b>			20	30	40	10	40	35		20	30
<b>C</b>		30	35	50	25	30	30	20	30	35	
<b>A</b>	7	20	35	40	45	50	15	10	55	45	50
<b>B</b>		28		60	40		40	25	30	20	
<b>C</b>		10	20	30	25	10		15	10	25	20
<b>A</b>	8	30	55	15	45	25	35	45	40	10	15
<b>B</b>		40		25	20	40	50	20	20	40	30
<b>C</b>		20	15	50	10		15	30		20	
<b>A</b>	9	35	40	20	15	30	50	15	45		40
<b>B</b>			10	40	40	20		35	30	10	
<b>C</b>		10	20		25	10				30	30

Таблица 3.2

## Индуктивности трёхфазной цепи (мГн)

Фазы	Варианты	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>A</b>	0		32	48		64	159	143		80	96
<b>B</b>		115		25,6	127	16		80	38,4	127	63,6
<b>C</b>		76,4	86,4	115		144	95,5	106		48	38,4
<b>A</b>	1	80	64		175	32	96		127	175	64
<b>B</b>			89	64	115		51	64	76,4		48
<b>C</b>		95,5	48		80	38	163		48	64	112
<b>A</b>	2	96		175	143	32		80	112	159	
<b>B</b>		76,4	140		76,4	127		25,6	80	64	
<b>C</b>		57,3	107	86,4	163	57,3	115	106	28,7	106	140
<b>A</b>	3	159	191	64		96	64		80	127	80
<b>B</b>		51	102	140	38,4		102	89	38,4	76,4	
<b>C</b>		127	66,9		86,4	28,7		106,5	115		154

Продолжение таблицы 3.2

<b>A</b>	4		127	112	48	159	127		112	96	32
<b>B</b>		38,4	89		115	127	38,4	51		25,6	89
<b>C</b>			57	76,4		38,2	57	76,4		64	127
<b>A</b>	5	96	32	175		48	64	80	64	112	
<b>B</b>		127	76,4		89	102		64	153	127	
<b>C</b>		144		76,4	127		96	38	80	66,9	51
<b>A</b>	6	112		48	143	127	127	143	112		80
<b>B</b>		38,4		153	51		80	75,4		102	140
<b>C</b>			76,4	48		66,9		38,2	76,4	86,4	80
<b>A</b>	7	143	159	80	48	191	48		96	64	143
<b>B</b>		89	76,4	63,6	127	112	140		51	115	
<b>C</b>		66,9		28,7	86,4		96	66,9	63,6		115
<b>A</b>	8		48	127		63,6	63,6	143		127	96
<b>B</b>		63,6	140		102	115	153		127		96
<b>C</b>		76,4	57,3	64	80		48	99,5		89	127
<b>A</b>	9		127	112	48	159	127		112	96	32
<b>B</b>		127		38,4	127	153		64	80	106	127
<b>C</b>		48	86,4	96		80	127	112	57,3	48	

Таблица 3.3

## Ёмкости трёхфазной цепи (мкФ)

<b>Фа зы</b>	<b>Вар иан ты</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>
<b>A</b>	0	106		127	212	64	106		157	91	71
<b>B</b>		199	114		66,4	114	80	72,4		159	
<b>C</b>		133		76	96,5		177	96,5	88,5		106
<b>A</b>	1	64	91	58		159		127	159	127	80
<b>B</b>		159	133		133	72,4	88,5		80		159
<b>C</b>		82	71		106	133	64	212	96,5	88,5	
<b>A</b>	2	71	159	91	106	127	318		212	318	106
<b>B</b>			80	199	66,4	99,5	133		100	133	
<b>C</b>			177	88,5	152	82	88,5	118		82	
<b>A</b>	3	318	64	127	318	64		159	80	71	159
<b>B</b>			159	88,5	88,5		66,4	88,5	159		133
<b>C</b>			118	106		82	106	133		106	118
<b>A</b>	4	27		80	318	80	127	106	64	80	
<b>B</b>			159	114	80		133	64	114	199	99,5
<b>C</b>		52		318	133	127			80		106
<b>A</b>	5	159	127		106	159	318		91		91
<b>B</b>				72,4	133	99,5	199			133	114
<b>C</b>		133		118		212	152	96,5	133		71

Продолжение таблицы 3.3

<b>A</b>	6	127	64	318	106		318	71	80	91	
<b>B</b>			133	159	159	212			159	133	127
<b>C</b>		76		127		71	159	133	96,5		76
<b>A</b>	7	91	159		71	159	106		127	80	318
<b>B</b>			80	114		398	72,4	159		133	72,4
<b>C</b>			133	177	88,5	76		76	96,5		152
<b>A</b>	8	80	91		159		91	106	71		159
<b>B</b>			159	88,5		159	133		114	89	
<b>C</b>		177		52		212		88,5	82	152	106
<b>A</b>	9	71	318		127	318	106	127	106	318	
<b>B</b>			188	58	80	114	159	80		100	133
<b>C</b>		106		127	177	152			159	80	88,5

#### ЗАДАНИЕ 4

##### Построение механической характеристики двигателя постоянного тока параллельного возбуждения по паспортным данным

В паспорте двигателя постоянного тока приводятся следующие номинальные параметры: номинальное напряжение якоря  $U_{ном}$ ; номинальная мощность на валу двигателя  $P_{ном}$ ; номинальная скорость вращения якоря  $n_{ном}$ ; коэффициент полезного действия  $\eta_{ном}$ ; сопротивление обмотки якоря  $R_{я}$ ; сопротивление обмотки возбуждения  $R_{в}$ . Для построения механической характеристики определить:

- потребляемый номинальный ток двигателя  $I_{ном}$ ;
- номинальный ток возбуждения  $I_{в}$ ;
- номинальный ток якоря  $I_{я ном}$ ;
- номинальный момент  $M_{ном}$ ;
- э.д.с. якоря  $E_{я}$ ;
- скорость холостого хода  $n_0$ .

Построить естественную и искусственную электромеханические характеристики  $n=f(I_{я})$  при дополнительных сопротивлениях:  $R_{я1}$ ,  $R_{я2}$ ,  $R_{я3}$ ; из характеристики определить  $n_{1ном}$ ,  $n_{2ном}$  и  $n_{3ном}$ ; показать и выписать из электромеханической характеристики значения скоростей, соответствующие нагрузке  $0,8I_{яном}$  и  $1,2I_{яном}$ ; начертить электрическую схему включения двигателя постоянного тока в сеть.

Исходные данные вариантов приведены в таблице 4.1.

### Пример решения задания

Номинальные параметры двигателя постоянного тока с параллельным возбуждением:

$$U_{ном} = 220 \text{ В}; P_{ном} = 19 \text{ кВт}; n_{ном} = 1500 \text{ об/мин}; \eta_{ном} = 86\%; \\ R_{я} = 0,16 \text{ Ом}; R_{\phi} = 110 \text{ Ом}.$$

### Решение:

1. Общий ток, потребляемый двигателем из сети

$$I_{ном} = \frac{P_{2ном}}{U_{ном} \cdot \eta_{ном}} = \frac{19 \cdot 10^3}{220 \cdot 0,86} = 100 \text{ А}.$$

2. Номинальный ток возбуждения двигателя

$$I_B = \frac{U_{ном}}{R_B} = \frac{220}{110} = 2 \text{ А}.$$

3. Номинальный ток якоря двигателя

$$I_{я ном} = I_{ном} - I_B = 100 - 2 = 98 \text{ А}.$$

4. Номинальный вращающий момент двигателя

$$M_{ном} = 9550 \frac{P_{2ном}}{n_{ном}} = 9550 \frac{19}{1500} = 121 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

5. Номинальная Э.Д.С. якоря двигателя

$$E_{я} = U_{ном} - I_{я ном} \cdot R_{я} = 220 - 98 \cdot 0,86 = 204,4 \text{ В}.$$

6. Скорость холостого хода двигателя

$$n_0 = \frac{U_{ном}}{k\Phi} = \frac{U_{ном} \cdot n_{ном}}{E_{я}} = \frac{220 \cdot 1500}{204,4} = 1610 \text{ об/мин}.$$

7. Пусковые токи двигателя, при различных значениях дополнительных сопротивлений в цепи якоря:

$$I_{я1} = \frac{U_{ном}}{R_{я} + R_{к1}} = \frac{U_{ном}}{R_{я} + 6R_{я}} = \frac{220}{7 \cdot 0,16} = 196 \text{ А}.$$

$$I_{я2} = \frac{U_{ном}}{R_{я} + R_{к2}} = \frac{U_{ном}}{R_{я} + 3R_{я}} = \frac{220}{4 \cdot 0,16} = 343 \text{ А}.$$

$$I_{я3} = \frac{U_{ном}}{R_{я} + R_{к3}} = \frac{U_{ном}}{R_{я} + 0} = \frac{220}{0,16} = 1375 \text{ А}.$$

8. Естественные и искусственные электромеханические характеристики двигателя (рис.4.1)

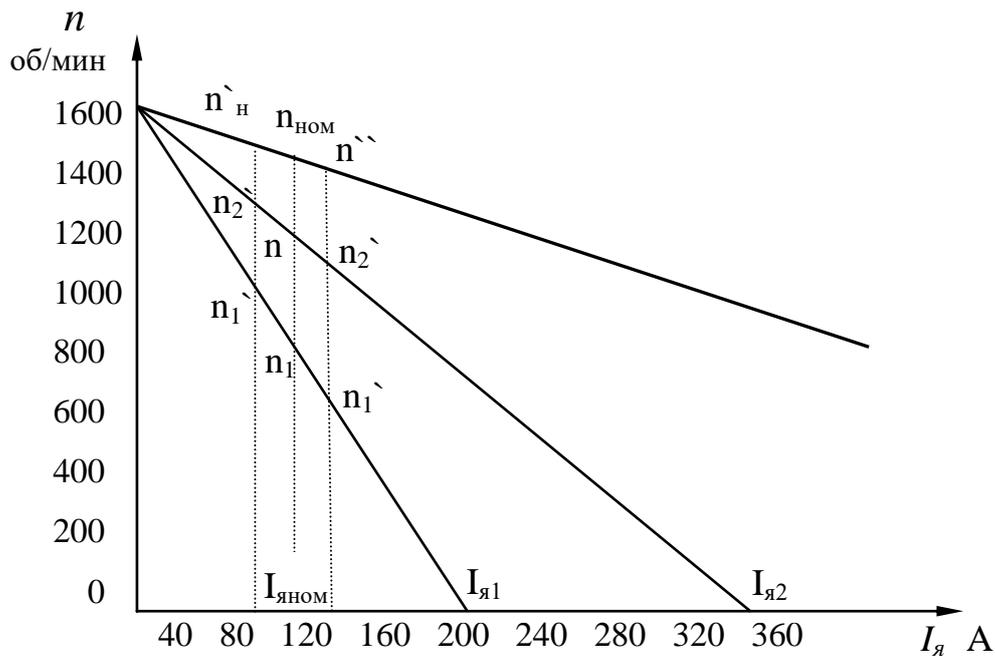


Рис. 4.1 Естественные и искусственные электромеханические характеристики двигателя

9. Скорости двигателя при номинальных значениях тока:

$$n_1 = 800 \text{ об/мин}; n_2 = 1140 \text{ об/мин}; n_{\text{НОМ}} = 1500 \text{ об/мин}.$$

10. Скорости двигателя, соответствующие значениям  $0,8I_{\text{яНОМ}}$  и  $1,2I_{\text{яНОМ}}$ :

а)  $0,8 I_{\text{яНОМ}} = 0,8 \cdot 98 = 78,4 \text{ А}$

$$n_1' = 970 \text{ об/мин}; n_2' = 1240 \text{ об/мин}; n_{\text{НОМ}}' = 1525 \text{ об/мин}.$$

б)  $1,2 I_{\text{яНОМ}} = 1,2 \cdot 98 = 117,6 \text{ А}$

$$n_1'' = 630 \text{ об/мин}; n_2'' = 1040 \text{ об/мин}; n_{\text{НОМ}}'' = 1475 \text{ об/мин}.$$

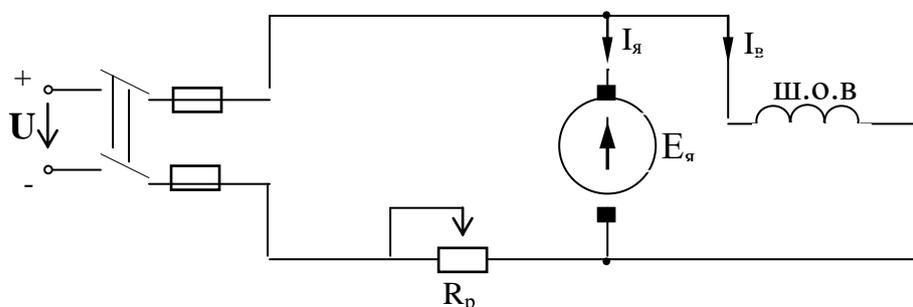


Рис.4.2 Схема включения двигателя

Таблица 4.1

**Номинальные параметры двигателя постоянного тока с  
параллельным возбуждением**

<b>Вариант</b>	$U_{ном}, В$	$P_{ном}, кВт$	$n_{ном}, об/мин$	$\eta_{ном}, \%$	$R_{я}, Ом$	$R_{б}, Ом$
<b>1</b>	110	1,0	3000	77	1,2	220
<b>2</b>	110	1,5	3000	76	0,8	160
<b>3</b>	110	2,2	3000	80	0,48	110
<b>4</b>	110	3,2	1500	78	0,34	80
<b>5</b>	110	4,5	1500	80	0,34	70
<b>6</b>	220	6,0	3000	82,5	0,42	220
<b>7</b>	220	8	3000	83,6	0,23	170
<b>8</b>	220	11	1500	84	0,8	185
<b>9</b>	220	14	1500	86,5	0,62	135
<b>10</b>	220	19	1500	84,6	1,2	110
<b>11</b>	110	1	3000	77	0,44	220
<b>12</b>	110	1,5	3000	76	0,16	160
<b>13</b>	110	2,2	3000	80	0,31	110
<b>14</b>	110	3,2	3000	78,5	0,62	80
<b>15</b>	110	4,5	1500	80	0,29	70
<b>16</b>	220	6	1500	82,5	0,31	220
<b>17</b>	220	8	3000	83,5	0,23	110
<b>18</b>	220	11	1500	84	0,44	135
<b>19</b>	220	14	3000	86,5	0,4	135
<b>20</b>	220	19	1500	84,5	0,21	110
<b>21</b>	220	18	3000	85	0,18	110
<b>22</b>	110	1,5	1500	78	0,16	150
<b>23</b>	110	2,4	1500	79	0,6	110
<b>24</b>	110	3,4	1500	79	0,15	80
<b>25</b>	110	5	1500	81	0,2	70
<b>26</b>	110	3	3000	80	0,8	100
<b>27</b>	220	6,4	1500	81	0,42	220
<b>28</b>	220	8,6	3000	84	0,32	110
<b>29</b>	220	12	3000	84,4	0,38	180
<b>30</b>	220	25	3000	87	0,3	160
<b>31</b>	220	20	1500	85	0,2	120

Продолжение таблицы 4.1

32	220	22	3000	86	0,18	130
33	110	1,2	1500	78	0,19	220
34	110	1,6	3000	77	1,2	160
35	110	2,2	3000	80	1,2	110
36	110	3,4	1500	79	0,8	80
37	110	1,8	3000	78	0,48	160
38	220	6,2	1500	83	0,26	220
39	220	8,4	3000	84	0,34	160
40	220	14,4	1500	87	0,7	140
41	220	6	3000	80	0,6	220
42	220	8	3000	82	0,4	180
43	220	11	1500	83	0,28	180
44	220	14	3000	84	0,58	140
45	220	19	3000	85	0,9	120
46	220	18	1500	86	0,4	120
47	110	1,2	1500	78	0,3	220
48	110	1,6	1500	77	0,2	180
49	110	2,3	1500	81	0,18	80
50	220	19	1500	85	0,15	120

### ЗАДАНИЕ 5

#### Построение механической характеристики асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором по паспортным данным

Асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором и номинальными параметрами: мощность на валу двигателя  $P_{2н}$ ; скорость вращения ротора  $n_{2н}$ ; коэффициент мощности  $\cos\varphi_{1н}$ ;  $\eta_n$  – коэффициент полезного действия подключен к трёхфазному источнику с линейным напряжением 380В. Трёхфазная обмотка статора соединена по схеме «звезда», отношение критического момента к номинальному моменту  $\lambda = M_k/M_n$ . Определить: номинальный ток статорной обмотки  $I_{фн}$ ; число пар полюсов  $p$ ; номинальное скольжение  $S_n$ ; номинальный момент на валу двигателя  $M_n$ ; критический момент  $M_k$ ; критическое скольжение  $S_k$ ; значения момента  $M$ , при следующих значениях скольжения  $S = 0; 0,05; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1$ , а также скорость вращения ротора  $n_2$ .

Начертите схему подключения двигателя в сеть.

По полученным данным построить механическую характеристику двигателя  $M = f(s)$  и  $n_2 = f(M)$ .

Исходные данные вариантов приведены в таблице 5.1.

### Пример решения задания

1. Номинальный ток фазных обмоток статора:

$$I_{\phi.n} = \frac{P_H}{\sqrt{3}U_H \cdot \cos \varphi_{1H} \cdot \eta_H} = \frac{4000}{1,7 \cdot 380 \cdot 0,89 \cdot 0,855} = 8,13 \text{ А.}$$

2. Число пар полюсов магнитного поля статора:

$$p = \frac{60 \cdot f}{n_0} = \frac{3000}{1000} = 3;$$

3. Номинальное скольжение:

$$S_H = \frac{n_0 - n_{2H}}{n_0} = \frac{1000 - 960}{1000} = 0,04;$$

4. Номинальный момент на валу двигателя:

$$M_H = 9550 \frac{P_{2H}}{n_{2H}} = 9550 \frac{4}{960} = 39,79 [H \cdot м]$$

5. Критический момент:  $M_k = \lambda \cdot M_H = 2,2 \cdot 39,79 = 87,54 [H \cdot м]$

6. Критическое скольжение:

$$S_K = S_H (\lambda + \sqrt{\lambda^2 - 1}) = 0,04 (2,2 + \sqrt{2,2^2 - 1}) = 0,16;$$

7. Результаты расчётов, полученные с помощью выражения

$$n_2 = n_1 \cdot (1 - S) \text{ и } M = \frac{2M_k}{\frac{S}{S_k} + \frac{S_k}{S}}, \text{ записываем в таблицу 5.}$$

Строим графики  $M = f(S)$  и  $n_2 = f(M)$  (рис.5.1) по расчётным данным, приведённым в таблице 5.

**Таблица 5**

### Расчётные данные для построения механических характеристик

$S$	0	0,05	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
$n_2$ , об/мин	1000	950	900	800	700	600	500	400	300	200	100	0
$M$ , Н/м	0	49,8	76,7	85,4	72,7	60,4	50,8	43,6	38,1	33,7	30,2	27,3

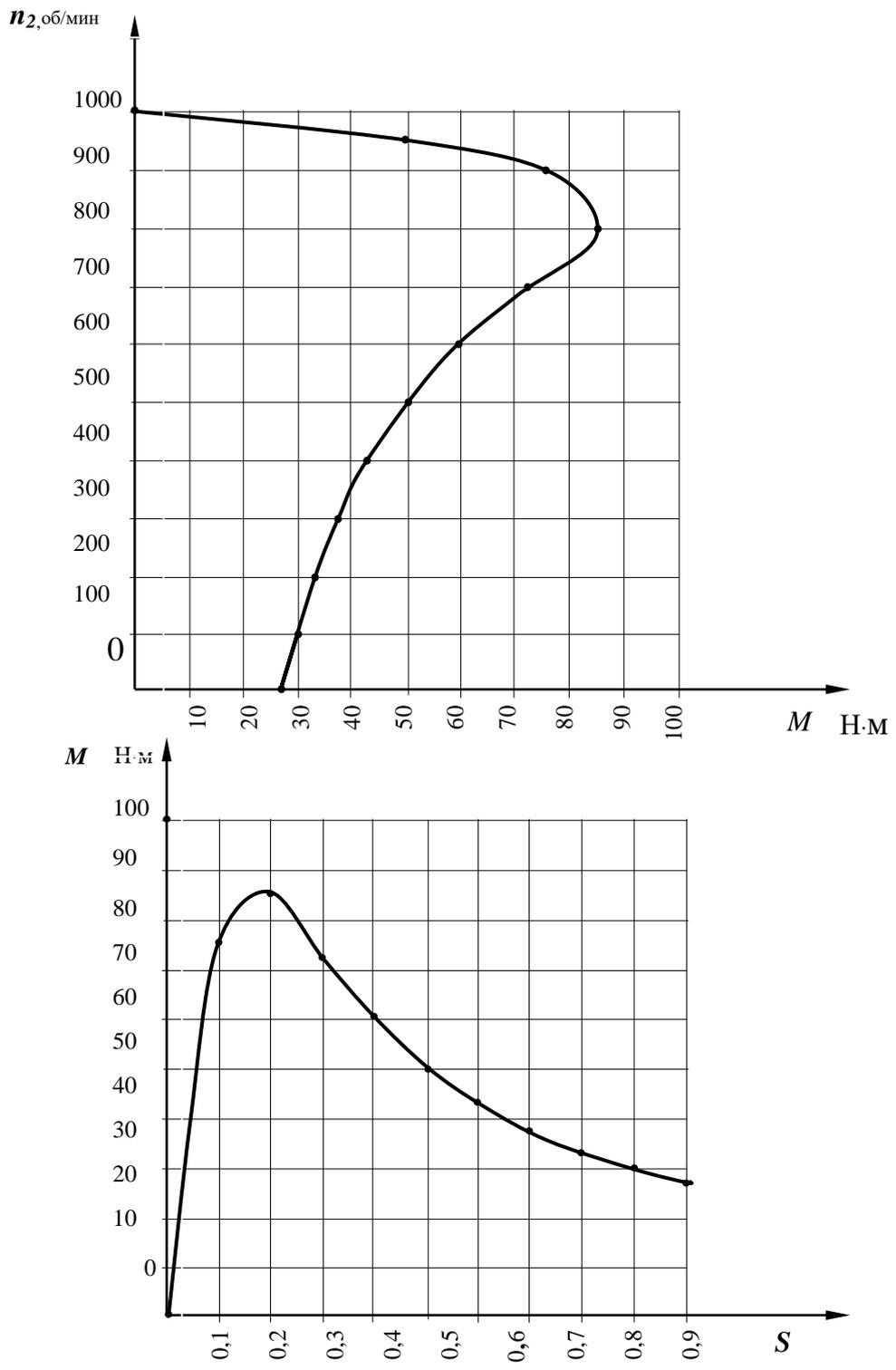


Рис. 5.1. Механические характеристики асинхронного двигателя.  
Зависимости  $n_2 = f(M)$  и  $M = f(S)$

Таблица 5.1

**Паспортные данные асинхронного двигателя с  
короткозамкнутым ротором**

Варианты	Заданные значения				
	$P_{2ном}$ кВт	$n_{2ном}$ об/мин	$\eta_{ном}$ %	$\cos\varphi_{1ном}$	$\lambda$
1	55	1440	90,5	0,84	2,0
2	75	1450	90,5	0,85	2,0
3	100	1450	90,5	0,85	2,0
4	30	960	89,0	0,84	1,8
5	40	960	89,0	0,85	1,8
6	55	960	89,0	0,86	1,8
7	75	960	90,5	0,86	1,8
8	22	720	87,5	0,79	1,7
9	30	720	87,5	0,79	1,7
10	40	720	87,5	0,81	1,7
11	55	720	90,5	0,81	1,7
12	10	1420	85,0	0,82	2,0
13	7,5	960	84,0	0,82	1,8
14	10	960	85,0	0,83	1,8
15	5,5	710	82,0	0,72	1,7
16	2,2	875	64,0	0,72	2,3
17	3,5	910	70,5	0,73	2,5
18	5,0	940	74,5	0,68	2,9
19	7,5	945	78,5	0,69	2,8
20	11,0	953	82,5	0,71	3,1
21	7,5	720	77,5	0,69	2,6
22	11,0	720	81,0	0,70	2,9
23	16,0	710	82,5	0,74	3,0
24	22,0	710	84,5	0,67	3,0
25	30,6	720	86,0	0,71	3,0
26	0,8	1440	0,78	0,86	2,2
27	0,1	1440	0,795	0,87	2,2
28	1,5	1450	0,805	0,88	2,2
29	2,2	1450	0,83	0,89	2,2
30	3,0	960	0,845	0,89	2,2
31	4,0	960	0,855	0,89	2,2
32	5,5	960	0,86	0,89	2,2
33	7,5	960	0,87	0,89	2,2
34	10	720	0,88	0,89	2,2
35	13	720	0,88	0,89	2,2
36	17	720	0,88	0,90	2,2

Продолжение таблицы 5.1

37	22	720	0,88	0,90	2,3
38	30	1420	0,89	0,90	2,2
39	40	960	0,89	0,91	2,2
40	55	960	0,90	0,92	2,2
41	75	710	0,90	0,92	2,2
42	100	875	0,915	0,92	2,2
43	10	910	0,885	0,87	2,0
44	13	940	0,885	0,89	2,0
45	17	945	0,89	0,89	2,0
46	22	953	0,90	0,90	2,0
47	30	720	0,91	0,91	2,0
48	40	720	0,925	0,92	2,0
49	55	710	0,925	0,92	2,0
50	75	710	0,925	0,92	2,0

### ЗАДАНИЕ 6

#### Выбор диода для схем включения однополупериодного выпрямителя

Для однополупериодного выпрямителя необходимо выбрать диоды по данным.

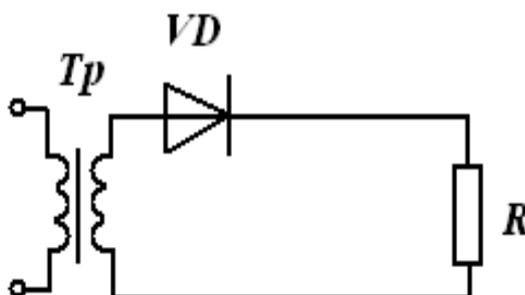


Рис. 6.1 Однополупериодная схема выпрямления

#### Пример решения задания

Дано: мощность потребителя  $P=250$  Вт,  
напряжение потребителя  $U=100$  В

#### Решение:

Полупроводниковые диоды обладают односторонней проводимостью электрического тока и применяются в качестве электрических вентелей в выпрямителях.

1. Определим ток потребителя  $I=P/U=250/100=2,5$  А.
2. Найдем напряжение на диоде в закрытом состоянии (обратное)  $U_o=\pi U=3,14*100=314$  В.
3. По расчётным данным подберем диод из таблицы 6.2 [9].  
Выбираем диод Д232, у которого  $I_{доп}=10A> I$ ;  $U_{обр}=400B> U_o$ .  
Параметры схемы (по вариантам) приведены в таблице 6.1.

**Таблица 6.1**

**Параметры расчётной схемы**

<b>Номер варианта</b>	<b>U, В</b>	<b>P, Вт</b>
01	100	1000
02	50	500
03	100	250
04	100	750
05	20	100
06	100	50
07	100	25
08	100	20
09	100	100
10	100	200
11	127	1000
12	110	50
13	100	25
14	50	75
15	127	100
16	100	50
17	100	25
18	50	20
19	50	100
20	110	200
21	110	1000
22	20	500
23	100	250
24	100	750
25	50	100
26	100	50

Продолжение таблицы 6.1

27	100	1000
28	20	500
29	100	250
30	100	750
31	100	100
32	100	50
33	100	25
34	127	20
35	110	100
36	100	200
37	50	1000
38	127	500
39	100	250
40	100	750
41	50	100
42	50	1000
43	110	500
44	110	250
45	20	750
46	100	100
47	100	50
48	50	25
49	100	20
50	100	100

Таблица 6.2

**Типы и параметры полупроводникового диода**

<b>Тип диода</b>	<b><math>I_{\text{доп}}</math>, А</b>	<b><math>U_{\text{обр}}</math>, В</b>
Д205	0,4	400
Д207	0,1	200
Д209	0,1	400
Д210	0,1	500
Д211	0,1	600
Д214	5	100
Д214А	10	100
Д214Б	2	100
Д215	5	200

Продолжение таблицы 6.2

Д215А	10	200
Д215Б	2	200
Д233	10	500
Д233Б	5	500
Д234Б	5	600
Д242	5	100
Д242А	10	100
Д242Б	2	100
Д244А	10	50
Д244Б	2	50
Д302	1	200
Д243	5	200
Д243А	10	200
Д243Б	2	200
Д217	0,1	800
Д218	0.1	1000
Д221	0,4	400
Д222	0,4	600
Д224	5	50
Д224А	10	50
Д224Б	2	50
Д226	0,3	400
Д226А	0,3	300
Д231	10	300
Д231Б	5	300
Д232	10	400
Д232Б	5	400
Д244	5	50
Д303	3	150
Д304	3	100
Д305	6	50

## ЗАДАНИЕ 7

### Расчёт однофазного двухполупериодного полупроводникового выпрямителя

Полупроводниковый выпрямитель подключён к источнику напряжения прямоугольной формы (рис.7.1.). Определить выходные параметры выпрямителя.

Дано:

а) значение выпрямленного напряжения  $U_0 = 115 \text{ В}$ ;

б) значение выпрямленного тока  $I_0 = 5 \text{ А}$ ;

в) коэффициент пульсации выпрямленного напряжения:

$$a_{\Pi_1} = \frac{E_{\sim 1}}{E_0} = 0,01 (1\%);$$

здесь  $E_{\sim 1}$  - величина э.д.с. первой гармоники на выходе фильтра.

г) среднее значение стабилизированного напряжения:

$$U_{yp1} = 115 \text{ В};$$

д) величина угла изменения импульсного напряжения  $2\alpha^\circ$ :

$$2\alpha^\circ = 0 \div 50^\circ;$$

е) частота переменного напряжения  $f = 1000 \text{ Гц}$ ;

ж) температура окружающей среды:  $t_0 = -20 \div 60^\circ \text{ С}$ .

#### Пример решения задания

На основе вышеприведённых значений выбираем схему двухполупериодного выпрямителя (рис.7.1). Величина пульсации  $a_{\Pi_1} = 1\%$ , требуется установить фильтр для поддержания значения напряжения на выходе выпрямителя  $115 \text{ В}$ .

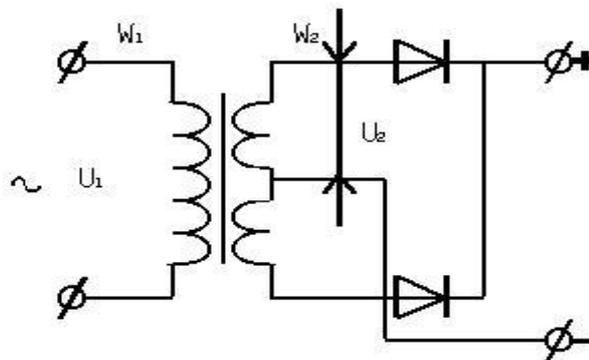


Рис. 7.1. Схема однофазного двухполупериодного выпрямителя

## Решение

Определим параметры диодов выбранной схемы:

1. Обратное максимальное значение напряжения на диоде:

$$U_{обр} \approx 2\beta E_0 = 2 \cdot 1,4 \cdot 15 = 42 \text{ В},$$

здесь  $\alpha = 0$ , при  $\beta = 1$  и  $\alpha = 25^\circ$  при,  $\beta = 1,4$ .

2. Среднее значение тока, протекающего через диод:

$$I_{од} = \frac{I_0}{2} = \frac{5}{2} = 2,5 \text{ А}.$$

3. Амплитудное значение тока протекающего через диод:

$$I_m = I_0 = 5 \text{ А}.$$

4. На основе значений, определённых выше, выбираем диод типа Д 214 [9].

Диод имеет следующие параметры:

$$I_{обд} = 5 \text{ А} > I_{об}; \quad U_{обрд} = 100 \text{ В} > U_{обр};$$

$$\Delta E_B \approx 1 \text{ В}; \quad f_{мд} = 1 \text{ кГц} = f.$$

Выбираем трансформатор Тр [9].

Тип трансформатора: Броневой.

Параметры трансформатора:

$$S = 1 \text{ кВт}; \quad B_m = 0,8 \text{ Тл}.$$

Определяем приведенное сопротивление половины вторичной обмотки трансформатора –  $w_2$ :

$$r_{мп} = k_r \frac{E_0}{I_0 f B_m} \sqrt{\frac{sf B_m}{E_0 I_0}} = 6,6 \frac{15}{5 \cdot 10^3 \cdot 0,8} \sqrt{\frac{1 \cdot 10^3 \cdot 0,8}{15 \cdot 5}} \approx 0,05 [\text{Ом}],$$

где  $k_r$  – коэффициент схемы выпрямителя, определяемый из таблицы 7.1.

таблица 7.1

Коэффициенты схем выпрямителей

№	Схемы выпрямителя	$k_r$
1	Однополупериодная	5,3
2	Двухполупериодная	6,6
3	Мостовая	4,9

Определяем параметры фильтра:

1) минимальная индуктивность фильтра дросселя:

$$L_{др.мин} = \frac{E_0}{fI_0} M_{II} = \frac{15}{10^3 \cdot 5} 0,11 = 0,33 \cdot 10^{-3} \text{ Гн},$$

Здесь  $M_{II}$  – величина вспомогательного коэффициента, определяется из графика (рис.7.2)  $\alpha = 25^\circ$  и  $m=2$ .

Выбираем из [9] дроссель с параметром  $L_{др.мин} = 0,33 \cdot 10^{-3} [\text{Гн}]$ :

$$L_{др} = 1 \cdot 10^{-3} \text{ Гн}; \quad I_0 = 5 \text{ А}; \quad r_{др} = 0,15 \text{ Ом},$$

2) определяем среднее значение Э.Д.С. фазы вторичной обмотки:

$$U_{ур2x} = \frac{2}{m} E_0 + I_0 r_{mp} + \Delta E_{всх} + I_0 r_{др} = \frac{2}{2} 15 + 5 \cdot 0,05 + 1 + 5 \cdot 0,15 = 17 \text{ В},$$

3) величина обратного напряжения диода:

$$U_{обр} = 2U_{m2x} = 2\beta U_{cp2x} = 2 \cdot 1,4 \cdot 17 \approx 48 \text{ В} < U_{обрД};$$

4) величина эффективного значения тока вторичной обмотки трансформатора при  $\beta=1$ :

$$I_2 = \frac{I_0}{2} \sqrt{\left(1 + \frac{1}{\beta}\right)} = \frac{I_0}{\sqrt{2}} = \frac{5}{\sqrt{2}} = 3,5 \text{ А};$$

5) эффективное значение тока первичной обмотки трансформатора при  $\beta=1$ :

$$I_1 = \frac{nI_0}{\sqrt{\beta}} \approx \frac{U_{cp2x}}{U_{cp1}} I_0 = \frac{17}{115} \cdot 5 = 0,74 \text{ А};$$

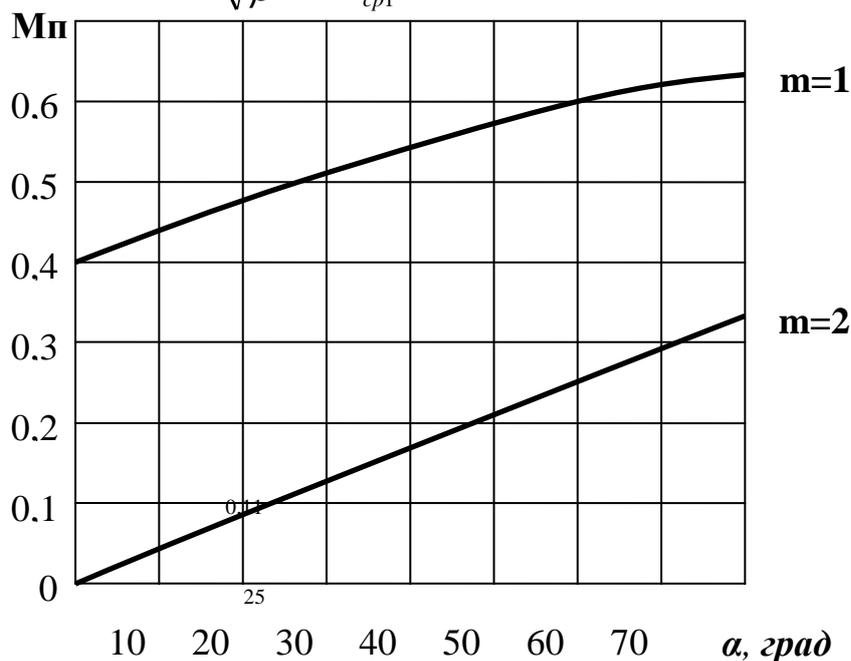


Рис.7.2 График зависимости вспомогательного коэффициента  $M_n$  от угла  $\alpha$

б) коэффициент пульсации на входе фильтра (из графика приведенного на рис.7.3) при  $\alpha = 25^\circ$ ,  $m=2$  и  $k=1$ .

$$a_{\Pi_0} = 0,7(70\%) ;$$

7) величина коэффициента сглаживающего фильтра:

$$q_{\Pi} = \frac{a_{\Pi 0,1}}{a_{\Pi 1,1}} = \frac{0,7}{0,01} = 70 ;$$

8) величина ёмкости сглаживающего фильтра:

$$C_{\phi} \geq \frac{q_{\Pi} \cdot 10^6}{m^2 4\pi^2 f^2 L_{\partial p}} = \frac{70 \cdot 10^6}{2^2 \cdot 4\pi^2 \cdot 10^6 \cdot 10^{-3}} = 440 \text{ мкФ} .$$

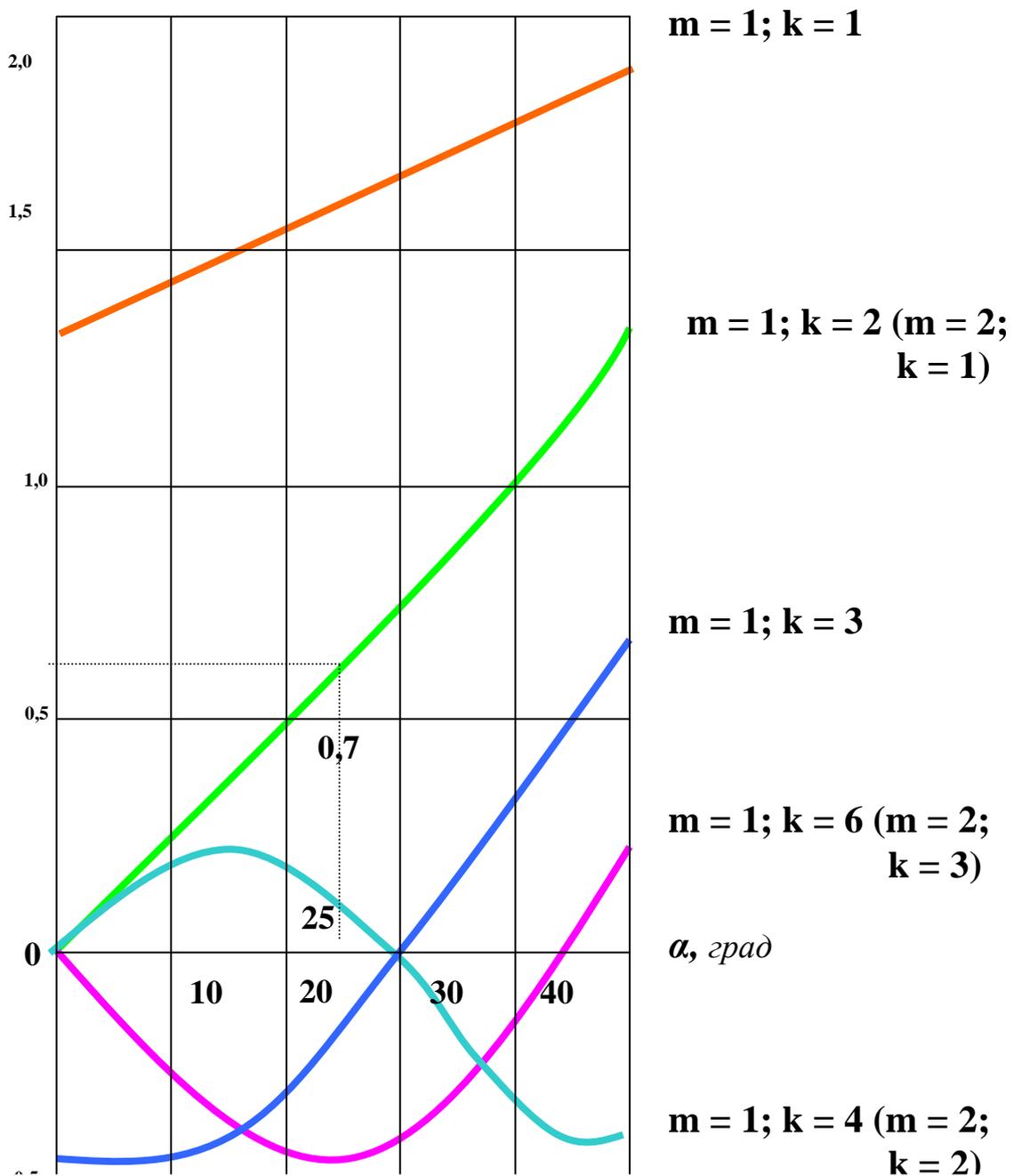


Рис. 7.3 Графики зависимости коэффициента пульсации относительно угла  $\alpha$

С учетом величины низкой температуры ( $-20^{\circ}\text{C}$ ) и пульсации высокой частоты - (2 кГц) ёмкость фильтра должна быть равно:

$$C = 3 \cdot 440 \approx 1400 \text{ мкФ.}$$

Рабочее напряжение ёмкости не должно быть меньше:

$$U_{m2x} = \beta U_{cp2x} = 1,4 \cdot 17 = 24\text{В.}$$

Выбираем рабочее напряжение с запасом 50В, для сглаживающего фильтра выбираем конденсатор типа ЭТО –2.

## ЗАДАНИЕ 8

### Выбор мощности двигателя постоянного тока для повторно-кратковременного режима работы электропривода

По заданной нагрузочной диаграмме значения моментов во времени рассчитать и выбрать мощность двигателя постоянного тока для повторно-кратковременного режима работы электропривода.

Таблица 8.1

Значения моментов во времени

$M_1$ [Н·м]	$t_1$ [сек]	$M_2$ [Н·м]	$t_2$ [сек]	$M_3$ [Н·м]	$t_3$ [сек]	$M_4$ [Н·м]	$t_4$ [сек]	Двигатель		
								$n$ , об/мин	$U$ [В]	$t_u$ [с]
500	5	225	20	150	5	50	15	740	220	135

#### Пример решения задания

1. Эквивалентный момент рабочего механизма:

$$M_{\text{э}} = \sqrt{\frac{\sum M^2 t}{\sum t}} = \sqrt{\frac{(500^2 \cdot 5) + (225^2 \cdot 20) + (150^2 \cdot 5) + (50^2 \cdot 15)}{5 + 20 + 5 + 15}} = 231,5 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

2. Эквивалентная мощность двигателя:

$$P_{\text{э}} = \frac{M_{\text{э}} \cdot n}{9,55} = \frac{231,5 \cdot 740}{9,55} = 17,9 \text{ кВт.}$$

3. Продолжительность включения рабочего режима:

$$ПВ\% = \frac{\sum t}{t_u} \cdot 100\% = \frac{5 + 20 + 5 + 15}{135} \cdot 100\% = 33\%.$$

4. Мощность двигателя для длительного режима при ПВ`=25%:

$$P'_9 = P_9 \sqrt{\frac{ПВ'}{100}} = 17,9 \cdot 0,5 = 8,95 \text{ кВт}.$$

5. Мощность двигателя при ПВ=33%:

$$P_{\text{дв}} = P'_9 \cdot \sqrt{ПВ/ПВ'} = 8,95 \sqrt{0,33/0,25} = 10,28 \text{ кВт}$$

Из таблицы 8.2 выбираем двигатель постоянного тока серии П72.

Паспортные данные двигателя:

Номинальная мощность:  $P_{\text{ном}} = 11 \text{ кВт}$ ;

Скорость вращения  $n = 750 \text{ об/мин}$ ;

Коэффициент полезного действия  $\eta = 81\%$ ;

Коэффициент перегрузки  $\lambda = 3,0$

6. Номинальный момент двигателя:

$$M_{\text{ном}} = \frac{9,55 \cdot P_{\text{ном}}}{n} = \frac{9,55 \cdot 11000}{750} = 140 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

7. Максимальный момент двигателя:

$$M_{\text{мах}} = \lambda \cdot M_{\text{ном}} = 3,0 \cdot 140 \approx 420 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

8. Разница между моментом двигателя и моментом сопротивления рабочего механизма :

$$\Delta M = M_{\text{дв}} - M_1 = 420 - 500 = -80 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Так как момент сопротивления рабочего механизма  $M_1$  больше момента двигателя  $M_{\text{дв}}$ , выбранный двигатель не проходит по перегрузочной способности. Поэтому из таблицы 8.2 выбираем двигатель постоянного тока серии П 81.

Паспортные данные двигателя:

номинальная мощность:  $P_{\text{ном}} = 14 \text{ кВт}$ ;

номинальная скорость вращения  $n = 750 \text{ об/мин}$ ;

коэффициент полезного действия  $\eta = 80,5\%$ ;

коэффициент перегрузки  $\lambda = 3,0$ .

9. Проверим двигатель на перегрузочную способность:

$$M_{\max} = \lambda M_{\text{ном}} = \lambda \frac{9,55 \cdot P_{\text{ном}}}{n} = \frac{3 \cdot 9,55 \cdot 14000}{750} = 534,8 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

10. Разница между моментом двигателя и моментом сопротивления рабочего механизма:

$$\Delta M = M_{\text{дв}} - M_1 = 534,8 - 500 = 34,8 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

здесь  $M_1$  максимальный нагрузочный момент.

Выбранный двигатель постоянного тока серии П81 проходит по перегрузочной способности и может быть выбран по мощности для привода.

Технические данные двигателей постоянного тока серии П приведены в таблице 8.2.

Таблица 8.2

Паспортные данные двигателя постоянного тока

Тип электро двигателя	Номинальная мощность	Номинальный ток	К.П.Д.	Маховый момент	Сопротивление якоря	Сопротивление добавочной обмотки	Сопротивления последовательной обмотки	Сопротивление параллельной обмотки
	$P_{\text{ном}}$ кВт	$I_{\text{ном}}$ А	$\eta$ %	$mD^2$ кг·м <sup>2</sup>	$R_{\text{я}}$ Ом	$R_{\text{доб}}$ Ом	$R_{\text{нос}}$ Ом	$R_{\text{п}}$ Ом
<b>220 В, 1000 об/мин</b>								
П11	0,1	1,0	59,0	0,01	32,6	6,95	1,28	1440
П12	0,2	1,4	65,0	0,02	20	4,37	1,52	1300
П21	0,3	2,0	68,5	0,05	13,2	2,28	1,12	1030
П22	0,4	2,75	74,5	0,06	7,43	1,27	0,61	885
П31	0,7	4,25	75,0	0,09	5,0	0,86	0,4	780
П32	1	5,7	80,0	0,15	2,82	0,53	0,1	710
П41	1,5	9,3	73,0	0,15	1,85	0,77	0,18	223
П42	2,2	13,3	75,5	0,18	1,08	0,53	0,13	186
П51	3,2	18,3	79,5	0,38	0,72	0,25	0,083	171
П52	4,5	25,2	81,0	0,4	0,517	0,162	0,045	137
П61	6	32,6	83,5	0,56	0,34	0,097	0,025	153
П62	8	43	85	0,65	0,21	0,085	0,2	140

Продолжение таблицы 8.2

<b>П71</b>	11	62	80,5	1,0	0,237	0,0768	0,018	100
<b>П72</b>	14	78	82,0	1,2	1,171	0,0532	0,00842	87,3
<b>П81</b>	19	103	83,5	2,8	0,1045	0,0344	0,0061	61,8
<b>П82</b>	25	132	86,0	3,2	0,0626	0,024	0,00316	46,8
<b>П91</b>	32	172	84,5	5,9	0,0503	0,0163	0,00228	44
<b>П92</b>	42	219	87,0	7,0	0,0324	0,0132	0,00232	48,4
<b>П101</b>	55	286	87,5	10,3	0,0206	0,00858	0,00114	37,8
<b>П102</b>	75	385	88,5	12,0	0,0142	0,0078	0,00122	36,3
<b>П111</b>	100	511	89,0	20,4	0,0106	0,00471	0,00091	35,7
<b>П112</b>	125	532	90,0	23,0	0,00715	0,00305	0,00056	34
<b>220 В, 750 об/мин</b>								
<b>П21</b>	0,2	1,35	67,5	0,045	19,7	3,36	0,405	935
<b>П22</b>	0,3	1,95	69,5	0,055	12,05	2,2	0,3	795
<b>П31</b>	0,5	2,9	71,0	0,085	8,03	1,615	0,149	838
<b>П32</b>	0,7	4,2	76,0	0,105	4,4	1,02	0,122	544
<b>П41</b>	1,0	6,8	67,0	0,15	3,74	1,365	0,128	285
<b>П42</b>	1,5	9,75	70,0	0,18	2,45	1,08	0,085	265
<b>П51</b>	2,2	13,6	73,5	0,35	1,42	0,65	0,0672	189
<b>П52</b>	3,2	19,0	76,5	0,4	0,902	0,366	0,0394	158
<b>П61</b>	4,5	26	78,0	0,56	0,577	0,232	0,0295	147
<b>П62</b>	6	39,5	81,0	0,65	0,351	0,157	0,0204	134
<b>П71</b>	8	48,5	75,5	1,0	0,443	0,14	0,196	100
<b>П72</b>	11	63	79,0	1,2	0,264	0,082	0,0127	87,3
<b>П81</b>	14	70	80,5	2,8	0,196	0,063	0,0098	69,3
<b>П82</b>	19	104	83,0	3,2	0,115	0,0383	0,0053	61,8
<b>П91</b>	25	136	83,5	5,9	0,0748	0,0275	0,00407	44
<b>П101</b>	42	222	86,0	10,3	0,0358	0,0132	0,00216	37,8
<b>П92</b>	32	169	86,0	7,0	0,0488	0,0206	0,00269	48,8
<b>П102</b>	55	286	87,5	12,0	0,0225	0,01	0,0013	32,9
<b>П111</b>	75	387	88,0	20,4	0,0165	0,00712	0,00107	27,9
<b>П112</b>	85	436	88,5	23,0	0,0138	0,00544	0,000101	24

## Литература

1.Каримов А.С., Ибодуллаев М., Абдуллаев Б. Назарий электротехника.1 қисм. Дарслик. Т.: Фан ва технологиялар, 2017. - 296 б.

2.Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи: Учебник для вузов.-М.: Высшая школа, 2006. - 701 с.

3. Герасимов В.Г., Зайдель Х.Э., Коген-Далин В.В.и др. Сборник задач по электротехнике и электронике. Учебное пособие для неэлектротехнических спец. вузов. -М.: Высшая школа, 2010.-262 с.

4. Ермуратский П.В., Косякин А.А., Листвин В.С. и др. Справочное пособие по электротехнике и основам электроники. Учебное пособие для неэлектротехнич. спец. вузов. М.: Высшая школа, 2006. – 248 с.

5.Alimxodjayev K.T., Abdullayev B., Abidov K.G. Nazariy elektrtexnika. 1, 2- qism. Darslik. –Т.:Fan va texnologiya, 2018. 288 b.

6.Amirov S.F., Yoqubov M.S., Jabborov N.G. Elektrotexnikaning nazariy asoslari. I-III qismlar. Т.: “O’qituvchi”, 2007. - 426 b.

7.John Bird. “Electrical and Electronic Principles and Technology” LONDON AND NEW YORK, 2014. - 455 p.

8.Горюнов Н. Н., Клейман А. Ю., Комков Н.Н. и др.; Справочник по полупроводниковым диодам, транзисторам и интегральным схемам 5- изд.-М.: Энергия, 2011.-744 с.

9.Полещук В. И. Задачник по электротехнике и электронике, М.: Издательский дом «Академия», 2009. – 238 с.

10.Баюков А. В., Гитцевич А. Б., Зайцев А. А. и др. Полупроводниковые приборы: Диоды, тиристоры, оптоэлектронные приборы. Справочник.- М.: Энергоатомиздат, 2010. - 744 с.

11.Данилов И.А., Иванов П.М. Общая электротехника с основами электроники. 2-е изд.,- М.: Высшая школа, 2008, - 752 с.

12.V.Abdullayev, E. N.Abduraimov, X.E.Xolbutaeva. Elektrotexnika va elektronika fanidan hisob-grafika ishlarini bajarishga oid uslubiy ko’rsatma. TDTU. 2011. -48 b.

13.Общая электротехника. Электронный учебник.  
[http://dvoika.net/education/matusko/contents\\_m.html](http://dvoika.net/education/matusko/contents_m.html)

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
Порядок оформления расчётно-графических работ.....	4
1 задание. Расчет электрических цепей постоянного тока.....	5
2 задание. Расчет электрических цепей синусоидального тока..	12
3 задание. Расчёт трёхфазной электрической цепи.....	25
4 задание. Построение механической характеристики двигателя постоянного тока параллельного возбуждения по паспортным данным.....	36
5 задание. Построение механической характеристики асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором по паспортным данным.....	40
6 задание. Выбор диода для схем включения однополупериодного выпрямителя.....	44
7-задание. Расчёт однофазного двухполупериодного полупроводникового выпрямителя.....	48
8-задание. Выбор мощности двигателя постоянного тока для повторно-кратковременного режима работы электропривода.....	52
Литература.....	56

Редактор

Ахметжанова Г.М.





