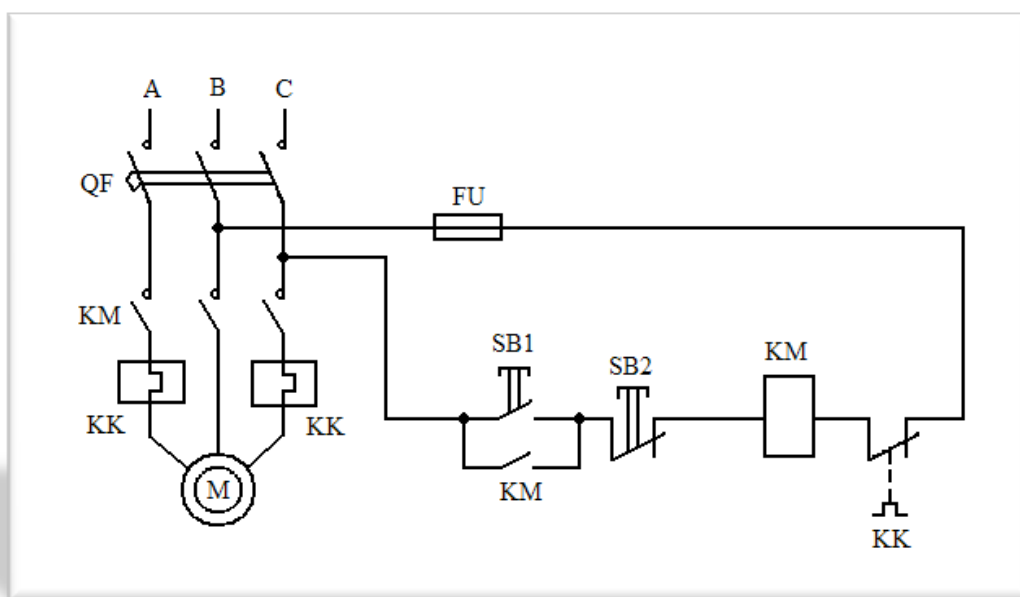


*В.М.Бурков, М.Г.Донцов, В.Л.Котов, А.Н. Фролов*

## **ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА**

Методические указания по выполнению домашних расчетных заданий  
по электротехнике



Иваново  
2010

УДК 667.420

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА: метод. указания по выполнению домашних расчетных заданий по электротехнике/Сост.: В.М.Бурков, М.Г.Донцов, В.Л.Котов, А.Н.Фролов; Иван. гос. хим.-технол. ун-т.- Иваново, 2010. – 40 с.

Методические указания содержат теоретический материал по теории цепей постоянного и переменного тока, необходимые зависимости, примеры расчета и построения потенциальных и векторных диаграмм, а также порядок расчета и методику выбора электродвигателя для электропривода насосов и вентиляторов. В приложениях содержатся варианты заданий и справочный материал по насосам, электродвигателям и параметрам используемых в расчетах жидкостям.

Предназначены для использования студентами дневной формы обучения ИГХТУ в процессе выполнения домашних заданий по курсу «Электротехника и электроника».

Рецензент

Кандидат технических наук Б.П. Силуянов  
(Ивановский государственный энергетический университет)

Редактор В.Л. Родичева

Подписано в печать 9.06.2010. Формат 60/84<sup>1</sup>/<sub>6</sub>. Бумага писчая.

Усл. печ. л. 2,33. Уч.-изд.л. 2,58. Тираж 450 экз. Заказ 2129.

ГОУ ВПО Ивановский государственный  
химико-технологический университет

Отпечатано на полиграфическом оборудовании  
Кафедры экономики и финансов ГОУ ВПО «ИГХТУ  
153000, гю Иваново, пр. Ф. Энгельса, 7»

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Ивановский государственный химико-технологический университет

*В.М.Бурков, М.Г.Донцов, В.Л.Котов, А.Н. Фролов*

## **ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА**

Методические указания по выполнению домашних расчетных заданий  
по электротехнике

Иваново 2010

## ДОМАШНЕЕ ЗАДАНИЕ № 1

Рабочее задание.

**Варианты заданий приведены в Приложении 1.**

1. По заданным значениям ЭДС и параметрам элементов рассчитайте токи во всех ветвях цепи **методом контурных токов**.
2. Проверьте правильность расчета путем составления баланса мощности.
3. Рассчитать потенциалы и построить потенциальную диаграмму для внешнего контура.

### УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ РАСЧЕТОВ

При расчете электрических цепей этим методом в основе лежит II закон Кирхгофа, который гласит: **алгебраическая сумма ЭДС, действующих в контуре, равна алгебраической сумме падений напряжений в том же контуре:**

$$\sum_{i=1}^n E_i = \sum_{i=1}^n I_i (R_i + r_i);$$

или **алгебраическая сумма напряжений в контуре равна нулю**

$$\sum_{i=1}^n U_i = 0.$$

При расчете цепей методом контурных токов предполагается, что в каждом контуре протекает независимый расчетный ток, который называется контурным.

При расчете методом контурных токов количество уравнений определяется числом независимых контуров или по формуле:

$$p = m - (n - 1),$$

где  $m$  – число ветвей,  $n$  – число узлов.

**Ветвь** – участок цепи, в любом сечении которого течет один и тот же ток.

**Узел** – точка цепи соединения 3-х и более ветвей.

**Контур** – любой путь вдоль электрической цепи, начинающегося и заканчивающегося в одной и той же точке. **Контур** электрической цепи, содержащий хотя бы один элемент принадлежащий только ему, называется **независимым**.

При расчете рекомендуется соблюдать следующую последовательность:

1. Выделить независимые контуры.
2. На схеме указать номера независимых контуров и указать направление их обхода (направление обхода всех контуров лучше выбирать одним и тем же).
3. Указать направления контурных токов в каждом независимом контуре (чтобы избежать ошибок направления контурных токов должны совпадать с направлением обхода контуров).
4. Для всех независимых контуров составить уравнения по второму закону Кирхгофа: ЭДС считаются положительными, если их направление совпадает с направлением обхода контура; падение напряжения  $I_{Ki}R_i$

считается положительным, если направление контурного тока совпадает с направлением обхода контура.

5. Решить составленную систему линейных уравнений.
6. Произвести проверку правильности решения системы линейных уравнений.
7. По вычисленным значениям контурных токов найти величины токов в ветвях и их направление: ток и его направление в наружной ветви соответствует контурному току; ток в смежных ветвях определяем, как алгебраическую сумму контурных токов, протекающих в этой ветви, и его направление будет совпадать с направлением большего контурного тока.
8. Составить баланс мощностей.
9. Рассчитать потенциалы всех точек внешнего контура, в которых соединяются два любых его элемента.
10. Построить потенциальную диаграмму для внешнего контура.
11. На схеме указать направления рассчитанных токов в ветвях и значения потенциалов точек внешнего контура.

### ПРИМЕР РЕШЕНИЯ

Рассмотрим алгоритм решения на примере цепи изображенной на рисунке 1.

Если по условию задачи внутренним сопротивлением источников ( $r_{01}$ ,  $r_{02}$  т. д.) пренебречь нельзя, и они заданы, то их необходимо ввести в расчетную схему, включая последовательно с соответствующим источником.

1. По признакам, данным в определении независимого контура, можно выделить следующие независимые контуры: a-b-c-g-a (контур I), c-d-e-g-c (контур II), a-g-e-f-a (контур III).

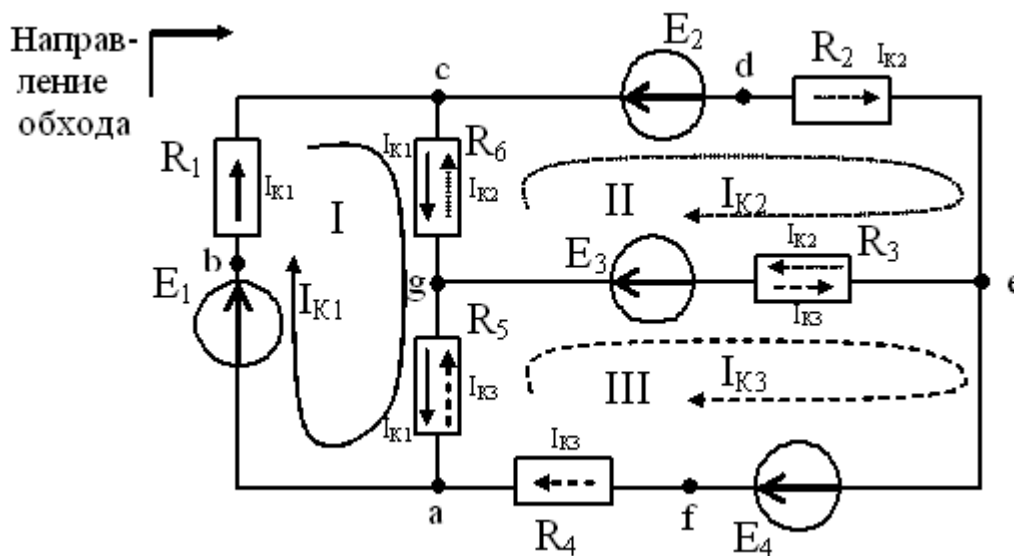


Рис. 1. Расчетная схема

2. Направление обхода указывается стрелкой снаружи схемы. Направление обхода по контурам выбрали совпадающим с направлением движения часовой стрелки.

3. Направления контурных токов в независимых контурах выбрали такими же, как и направления обхода контуров, **по часовой стрелке**.

4. По второму закону Кирхгофа для каждого независимого контура составляем уравнения (*ЭДС считаются положительными, если их направление совпадает с направлением обхода контура; падение напряжения  $I_{K_i}R_i$  считается положительным, если направление контурного тока совпадает с направлением обхода контура*). Обратите внимание, что в смежных ветвях протекают два контурных тока, причем они направлены в разные стороны:

$$\begin{aligned} \text{Контур I a-b-c-g-a:} & \quad E_1 = I_{K1}R_1 + I_{K1}R_6 + I_{K1}R_5 - I_{K2}R_6 - I_{K3}R_5; \\ \text{Контур II c-d-e-g-c:} & \quad -E_2 + E_3 = I_{K2}R_2 + I_{K2}R_3 + I_{K2}R_6 - I_{K3}R_3 - I_{K1}R_6; \\ \text{Контур III a-g-e-f-a:} & \quad E_3 + E_4 = I_{K3}R_3 + I_{K3}R_4 + I_{K3}R_5 - I_{K1}R_5 - I_{K2}R_3. \end{aligned}$$

Сгруппировав слагаемые, получим систему уравнений:

$$E_1 = I_{K1}(R_1 + R_6 + R_5) - I_{K2}R_6 - I_{K3}R_5; \quad (1)$$

$$-E_2 + E_3 = I_{K2}(R_2 + R_3 + R_6) - I_{K3}R_3 - I_{K1}R_6; \quad (2)$$

$$E_3 + E_4 = I_{K3}(R_3 + R_4 + R_5) - I_{K1}R_5 - I_{K2}R_3. \quad (3)$$

5. Полученная система уравнений может быть решена любым известным методом. Не рекомендуется вести решение подстановкой, так как при этом ошибки допускаются чаще, чем при решении другими способами.

Для удобства записи введем следующие обозначения:

$a_1, a_2, a_3$  – коэффициенты при контурном токе  $I_{K1}$ ;

$b_1, b_2, b_3$  – коэффициенты при контурном токе  $I_{K2}$ ;

$c_1, c_2, c_3$  – коэффициенты при контурном токе  $I_{K3}$ ;

$d_1, d_2, d_3$  – свободные члены в правой части системы уравнений.

Тогда систему линейных уравнений можно переписать следующим образом:

$$\begin{cases} a_1 I_{K1} + b_1 I_{K2} + c_1 I_{K3} = d_1 \\ a_2 I_{K1} + b_2 I_{K2} + c_2 I_{K3} = d_2 \\ a_3 I_{K1} + b_3 I_{K2} + c_3 I_{K3} = d_3 \end{cases}$$

При ручном расчете решение полученной системы уравнений можно найти по формулам Крамера:

$$I_{K1} = \frac{\Delta_1}{\Delta}; \quad I_{K2} = \frac{\Delta_2}{\Delta}; \quad I_{K3} = \frac{\Delta_3}{\Delta},$$

где

$$\Delta = \begin{vmatrix} a_1 & b_1 & c_1 \\ a_2 & b_2 & c_2 \\ a_3 & b_3 & c_3 \end{vmatrix}; \quad \Delta_1 = \begin{vmatrix} d_1 & b_1 & c_1 \\ d_2 & b_2 & c_2 \\ d_3 & b_3 & c_3 \end{vmatrix}; \quad \Delta_2 = \begin{vmatrix} a_1 & d_1 & c_1 \\ a_2 & d_2 & c_2 \\ a_3 & d_3 & c_3 \end{vmatrix}; \quad \Delta_3 = \begin{vmatrix} a_1 & b_1 & d_1 \\ a_2 & b_2 & d_2 \\ a_3 & b_3 & d_3 \end{vmatrix}.$$

Для вычисления определителя третьего порядка удобно приписать к нему справа два первых столбца, тогда произведения элементов, вычеркнутых в таблице сплошной линией, будут складываться, а произведения элементов, вычеркнутых пунктирной линией, вычитаться, например для вычисления  $\Delta$ :

$$\Delta = \begin{vmatrix} \cancel{a_1} & \cancel{b_1} & \cancel{c_1} & a_1 & b_1 \\ a_2 & b_2 & c_2 & \cancel{a_2} & \cancel{b_2} \\ a_3 & b_3 & c_3 & \cancel{a_3} & \cancel{b_3} \end{vmatrix} = a_1 b_2 c_3 + b_1 c_2 a_3 + c_1 a_2 b_3 - a_3 b_2 c_1 -$$

$$- b_3 c_2 a_1 - c_3 a_2 b_1$$

$\Delta_1, \Delta_2, \Delta_3$  вычисляются аналогично.

**При составлении таблиц элементов и вычислении определителей следите за знаками элементов и знаками их произведений.**

При расчете на ЭВМ составляется матрица коэффициентов:

$$\begin{vmatrix} a_1 & b_1 & c_1 \\ a_2 & b_2 & c_2 \\ a_3 & b_3 & c_3 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} d_1 \\ d_2 \\ d_3 \end{vmatrix}$$

Если в исходных уравнениях некоторые неизвестные контурные токи отсутствуют, в матрицу коэффициентов проставляются соответствующие нули.

6. После вычисления контурных токов проведите первую проверку правильности расчета. Исходные уравнения должны превращаться в тождество при подстановке в них полученных значений контурных токов.

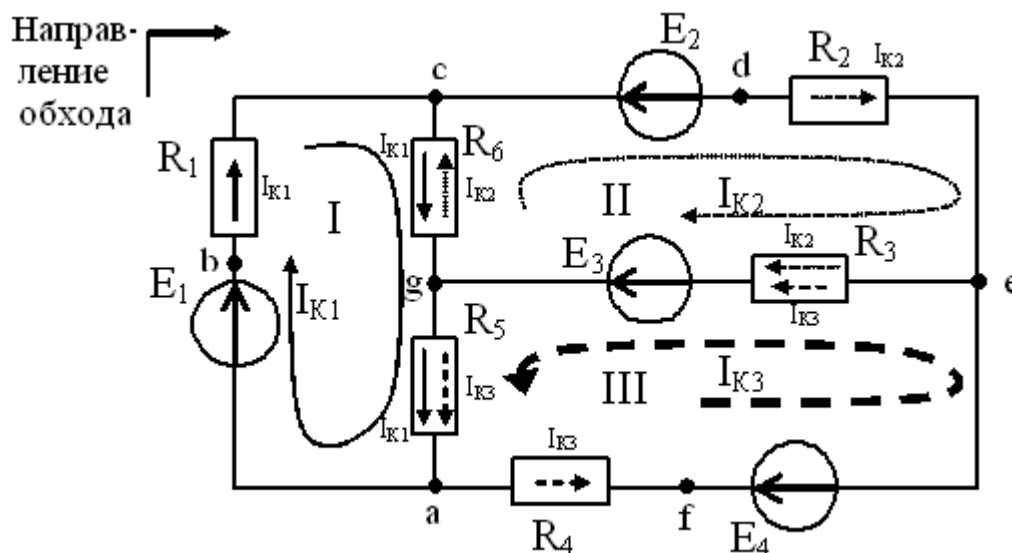


Рис. 2. Расчетная схема после расчета контурных токов

Значения контурных токов, полученные в результате расчета, могут быть положительными и отрицательными. Если контурный ток получился отрицательным, то меняем его направление на схеме на противоположное. При этом

контурный ток, протекающий через резисторы, также меняет направление (рис. 2). Допустим контурные токи  $I_{k1}$ ,  $I_{k2}$  положительные, а контурный ток  $I_{k3}$  – отрицательный. На схеме (рис. 2) направления контурных токов  $I_{k1}$ ,  $I_{k2}$  **оставляем прежними**, а направление контурного тока  $I_{k3}$  меняем **на противоположное**. Следовательно, токи в наружных ветвях цепи (в нашем примере на рис. 2 ветви  $E_1-R_1$ ,  $E_2-R_2$ ,  $E_4-R_4$ ) равны по величине и направлению соответствующим контурным токам. На схеме около каждого резистора укажите действительное направление тока в нем. Номер тока указывается в соответствии с номером резистора.

В смежных ветвях, принадлежащих одновременно двум контурам (в нашем примере ветви  $E_3-R_3$ ,  $R_5$ ,  $R_6$ ), протекают одновременно по два контурных тока. Поэтому **действительные токи в ветвях** определяют как **алгебраическую сумму контурных токов, протекающих по этим ветвям** (см. рис. 2). Если контурные токи в резисторе направлены в противоположные стороны, то для нахождения действительных значений токов в этих ветвях необходимо из большего контурного тока, протекающего в данной ветви, вычесть меньший контурный ток, протекающий в этой же ветви, и принять направление большего контурного тока. Если контурные токи направлены в одну и ту же сторону, то для определения тока в ветви их необходимо сложить и направление полученного тока будет совпадать с направлением этих расчетных контурных токов.

Допустим, что  $|I_{k1}| > |I_{k2}| > |I_{k3}|$ , причем  $I_{k1}$ ,  $I_{k2}$  - положительные, а  $I_{k3}$  – отрицательный, тогда токи в ветвях будут равны:

$$I_1 = I_{k1}; \quad I_2 = I_{k2}; \quad I_4 = I_{k3}; \quad I_3 = I_{k2} + I_{k3}; \quad I_5 = I_{k1} + I_{k3}; \quad I_6 = I_{k1} - I_{k2}.$$

На схеме указываем направления токов в ветвях:

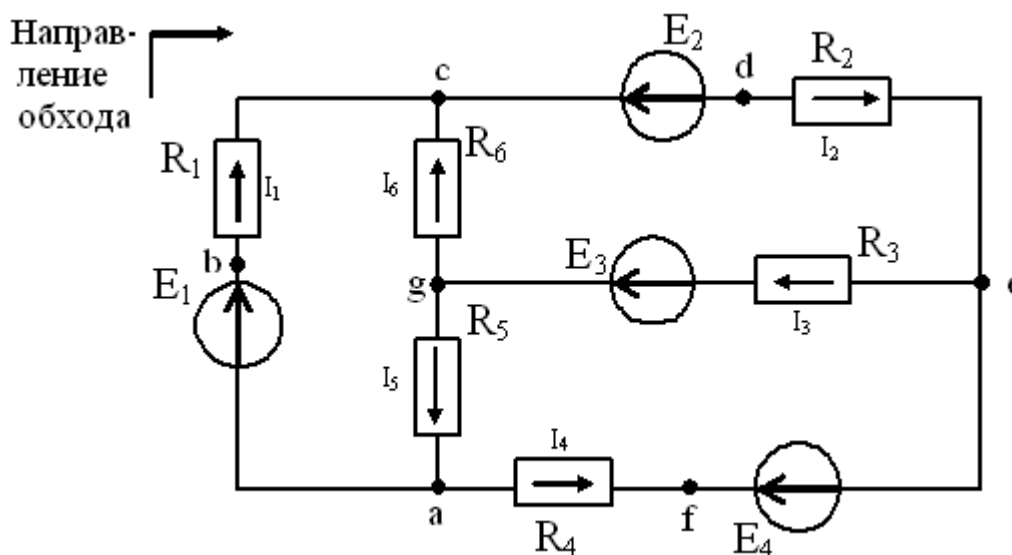


Рис. 3. Расчетная схема после расчета токов в ветвях

7. Правильность расчета проверяют, составляя баланс мощностей. Согласно закону сохранения энергии, мощность отдаваемая источниками, должна быть равна мощности, поглощаемой приемниками, т. е.:



$$\sum_{i=1}^n P_{\text{ист}} = \sum_{i=1}^n P_{\text{пот}} \quad \text{или} \quad \sum_{i=1}^n E_i I_i = \sum_{i=1}^n I_i^2 R_i.$$

**Перед произведением  $EI$  знак «+» ставится, если направление тока совпадает с направлением ЭДС. Знак «-», если направление тока не совпадает с направлением ЭДС.**

$$E_1 I_1 - E_2 I_2 + E_3 I_3 - E_4 I_4 = I_1^2 R_1 + I_2^2 R_2 + I_3^2 R_3 + I_4^2 R_4 + I_5^2 R_5 + I_6^2 R_6$$

Если равенство выполняется, то расчет правильный. При правильно рассчитанных токах расхождение мощностей не должно превышать 2%.

8. Потенциалы всех точек внешнего контура, в которых соединяются два любых элемента, рассчитываются относительно точки, потенциал которой принят равным нулю.

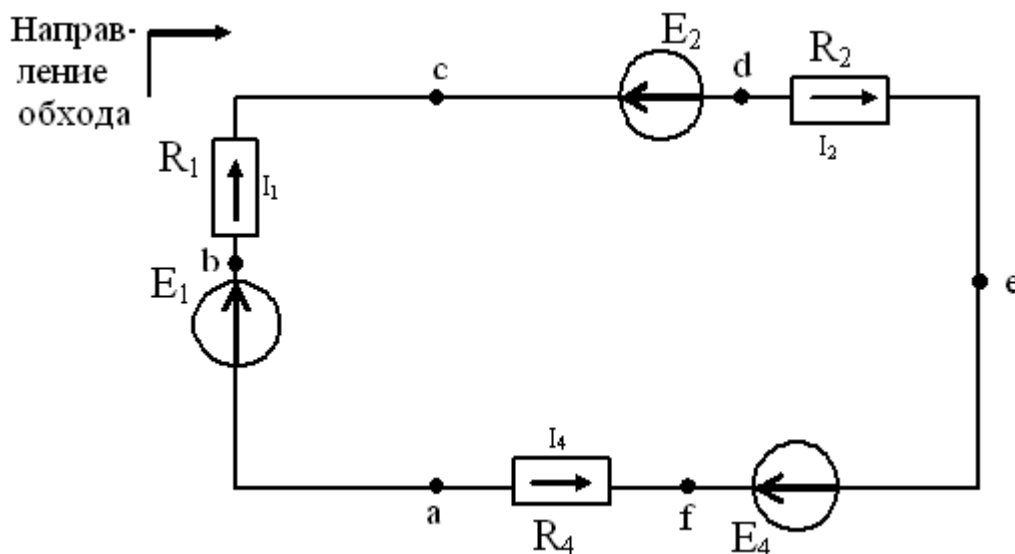


Рис. 4. Внешний контур расчетной схемы

Пусть такой точкой в нашем примере будет точка **а**. Допустим, что в результате расчета были найдены токи и их направления, указанные на рис. 4. **При расчете потенциалов следует иметь в виду, что в пассивном элементе (резисторе) стрелка тока указывает направление уменьшения потенциала. Поэтому при переходе через резистор потенциал понижается на величину падения напряжения ( $I_i R_i$ ) на резисторе, если направление тока в нем совпадает с направлением обхода контура.** Если это условие не выполняется, потенциал повышается на величину падения напряжения ( $I_i R_i$ ) на резисторе.

При переходе через источник энергии с ЭДС  $E_i$  потенциал скачком увеличивается на величину ЭДС источника  $E_i$ , если направление ЭДС совпадает с направлением обхода контура (источник идеальный и не обладает внутренним сопротивлением). Стрелка ЭДС указывает направление увеличения потенциала. Если направление ЭДС не совпадает с направлением обхода, то потенциал скачком уменьшается на величину ЭДС.

В нашем случае (рис. 4) примем:

$$\varphi_a = 0;$$

$\varphi_b = \varphi_a + E_1$  – направление ЭДС  $E_1$  совпадает с направлением обхода контура;

$\varphi_c = \varphi_b - I_1 R_1$  – направление тока  $I_1$  совпадает с направлением обхода контура;

$\varphi_d = \varphi_c - E_2$  – направление ЭДС  $E_2$  не совпадает с направлением обхода контура;

$\varphi_e = \varphi_d - I_2 R_2$  – направление тока  $I_1$  совпадает с направлением обхода контура;

$\varphi_f = \varphi_e + E_4$  – направление ЭДС  $E_1$  совпадает с направлением обхода контура;

$\varphi_a = \varphi_f + I_4 R_4$  – направление тока  $I_4$  не совпадает с направлением обхода контура.

9. Потенциальная диаграмма строится в прямоугольной системе координат, в которой по горизонтальной оси откладываются значения сопротивлений между  $i$  точкой контура и точкой, потенциал которой принят равным нулю. По вертикальной оси откладываются значения потенциалов соответствующих точек. **Оцифровка осей должна быть равномерной, а оси должны иметь наименование с указанием размерностей.**

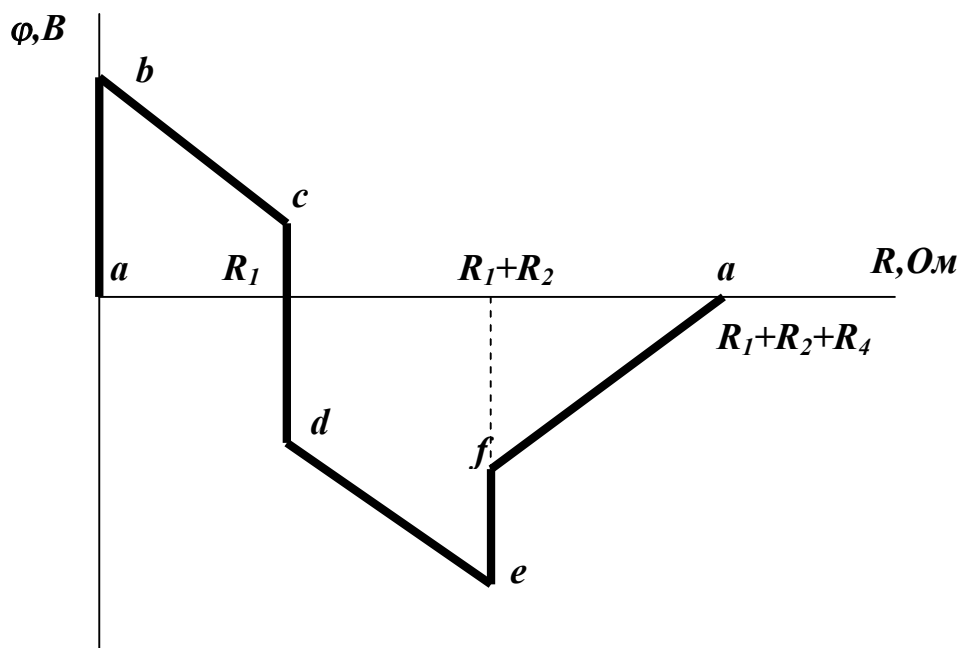


Рис. 5. Потенциальная диаграмма внешнего контура расчетной цепи

Так как  $\varphi_a = 0$ , точку  $a$  расположим в начале координат. Поскольку сопротивление между точками  $a$  и  $b$  равно нулю, то потенциал  $\varphi_a$  возрастает скачком (рис. 5). Координаты точки  $c$  определяются величиной рассчитанного потенциала  $\varphi_c$  и сопротивлением участка  $a-b-c$ , которое равно  $R_1$  (см. рис. 4).

От точки  $c$  до точки  $d$  потенциал уменьшается скачком, т. к. сопротивление участка  $a-b-c-d$  остается равным  $R_1$  (см. рис. 4).

Координаты точки  $e$  определяются величиной потенциала  $\varphi_e$  и сопротивлением участка  $a-b-c-d-e$ , которое, как видно из рисунка 4, равно  $R_1 + R_2$ .

В точке  $f$  потенциал так же возрастает скачком, т. к. сопротивление участка  $a-b-c-d-e-f$  остается равным  $R_1+R_2$  (см. рис. 4).

Завершается построение диаграммы точкой  $a$ , координаты которой определяются теперь величиной потенциала  $\varphi_a$  и сопротивлением контура  $a-b-c-d-e-f-a$ , которое равно  $R_1+R_2+R_4$  (рис. 4). При построении диаграммы необходимо указать градуировку (оцифровку) каждой оси.

## ДОМАШНЕЕ ЗАДАНИЕ № 2

Рабочее задание:

Варианты домашних заданий приведены в Приложении 2.

1. По заданным значениям напряжения, частоты и параметров элементов найдите символическим методом токи во всех ветвях и напряжения на всех элементах цепи.

2. Составьте баланс комплексных мощностей.

3. Постройте в масштабе векторные диаграммы токов и напряжений.

### АРИФМЕТИКА КОМПЛЕКСНЫХ ЧИСЕЛ

Для цепей переменного тока, так же как и для цепей постоянного тока, справедливы законы Кирхгофа. Поэтому все основанные на их использовании методы расчета цепей применимы и для цепей переменного тока. Однако токи, сходящиеся в узле, так же как и напряжения, действующие на элементах контура, суммируются геометрически, т. е. складываются соответствующие векторы.

В этом случае электротехническая задача может быть сведена к задаче геометрической, к расчету треугольников.

Такой метод требует точного построения векторной диаграммы, что невозможно без проведения предварительных расчетов токов и напряжений приемника.

Символический метод расчета электрических цепей основан на описании векторов комплексными числами, что позволяет заменить геометрическое сложение векторов суммированием комплексных чисел, соответствующих векторам.

В данный момент времени положение вращающегося вектора на плоскости можно описать двумя методами:

- 1). задавая его проекции на оси координат.
- 2). задавая его длину (в математике длина вектора называется модулем) и угол, который вектор образует с положительным направлением горизонтальной оси.

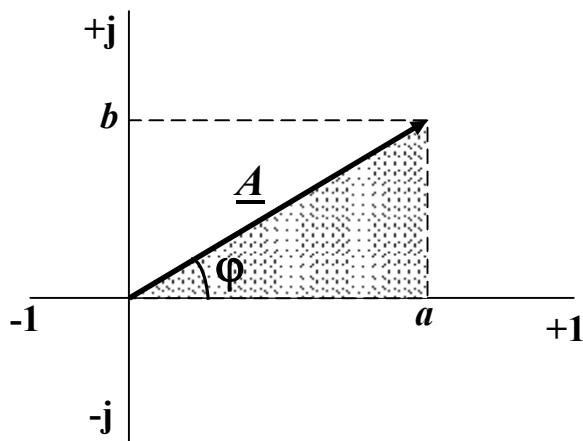


Рис. 6. Вращающийся вектор на комплексной плоскости

На комплексной плоскости горизонтальная ось обозначается символами «-1» и «+1» и называется осью действительных величин. Вертикальная ось – символами «-j» и «+j» и называется осью мнимых величин  $j = \sqrt{-1}$  и называется мнимой единицей (рис. 6).

Положение вектора на комплексной плоскости можно записать (рис. 6):

$$\underline{A} = a + jb.$$

Сомножители 1 перед  $a$  и  $j$  перед  $b$  указывают, на какие оси спроектирован вектор. Подчеркивание снизу символа  $\underline{A}$  означает комплексную величину.

Такая форма записи называется алгебраической и удобна для проведения операций сложения и вычитания. Например, требуется сложить два вектора:  $\underline{A} = 10 + j2$  и  $\underline{B} = 15 - j7$ . Имеем:

$$\underline{A} + \underline{B} = 10 + j2 + 15 - j7 = 25 - j5.$$

Из рисунка 6 видно, что проекции вектора  $\underline{A}$  на оси равны:

$$a = A \cos \varphi, \quad b = A \sin \varphi,$$

где  $A$  – модуль или длина вектора  $\underline{A}$  (обратите внимание, что этот символ не имеет никаких подчеркиваний).

Тогда:

$$\underline{A} = A \cos \varphi + j A \sin \varphi = A(\cos \varphi + j \sin \varphi).$$

Такая форма записи комплексного числа называется тригонометрической.

Учитывая, что  $\cos \varphi + j \sin \varphi = e^{j\varphi}$ , получаем:

$$\underline{A} = A e^{j\varphi}.$$

Такая форма записи комплексного числа называется показательной, она удобна для умножения и деления. Например, требуется перемножить и разделить векторы:  $\underline{A} = 5 e^{j30}$ ,  $\underline{B} = 10 e^{-j90}$ . Имеем:

$$\underline{A} \times \underline{B} = 5 e^{j30} 10 e^{-j90} = 50 e^{-j60},$$

$$\frac{\underline{A}}{\underline{B}} = \frac{5 e^{j30}}{10 e^{-j90}} = 0,5 e^{j120}.$$

Для перехода от показательной формы записи к алгебраической и, наоборот, от алгебраической к показательной воспользуемся треугольником, выделенным на рисунке 6, и применим теорему Пифагора:

$$\underline{A} = A e^{j\varphi} = A \cos \varphi + j A \sin \varphi = a + jb = \sqrt{a^2 + b^2} e^{j \arctg \frac{b}{a}} = A e^{j\varphi}.$$

Например:

$$\underline{A} = 18 e^{-j56} = 18 \cos(-56) + j 18 \sin(-56) = 10 - j15 = \sqrt{10^2 + (-15)^2} e^{j \arctg \frac{-15}{10}} = 18 e^{-j56}$$

## УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ ДОМАШНЕГО ЗАДАНИЯ № 2

Цепи с одним источником энергии целесообразно рассчитывать методом эквивалентного преобразования.

При расчете рекомендуется придерживаться следующей последовательности.

1. На схеме указать положительное направление напряжения на зажимах источника и положительные направления токов во всех ветвях.

2. Определить индуктивные и емкостные сопротивления ветвей, имеющих соответствующие реактивные приемники.

3. Записать комплексы полных сопротивлений каждой ветви.

4. Рассчитать комплекс полного сопротивления параллельного участка

5. Рассчитать комплекс полного сопротивления цепи.

6. Рассчитать комплекс тока в неразветвленной части цепи.

7. Рассчитать комплекс напряжения на неразветвленном участке цепи.

8. Рассчитать комплекс напряжения на параллельном участке цепи.

9. Рассчитать комплексы токов параллельных ветвей.

10. Составить баланс комплексных мощностей.

11. Построить векторные диаграммы.

Рассмотрим технологию расчета на примере цепи, изображенной на рис.

7.

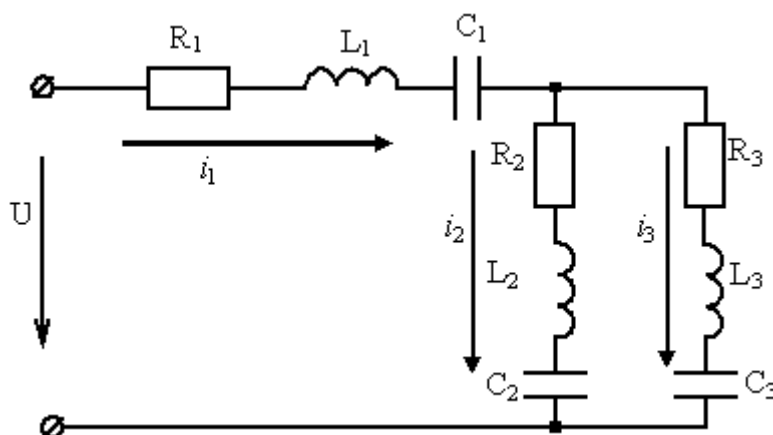


Рис. 7. Расчетная цепь

1. Положительное направление напряжения на зажимах источника указывается произвольно. Положительное направление токов в ветвях указывается в соответствии с выбранным направлением напряжения.

2. Индуктивное  $X_{Li}$  и емкостное  $X_{Ci}$  сопротивления реактивных элементов находятся по соответствующим формулам:  $X_L = 2\pi fL$ ;  $X_C = \frac{1}{2\pi fC}$ . При расчете реактивных сопротивлений индуктивности подставляются в формулы в генри (Гн), а емкости в фарадах (Ф).

3. Комплексы полных сопротивлений ветвей  $Z_i$  записываются в соответствии с выражением:

$$\underline{Z}_i = R_i + j(X_{Li} - X_{Ci}).$$

Рекомендуем запись комплексных сопротивлений ветвей производить одновременно в двух формах: алгебраической и показательной. При отсутствии в  $i$  ветви одного или двух приемников в выражении для  $\underline{Z}_i$  проставляются нули.

4. Комплекс полного сопротивления двух параллельных ветвей рассчитывают по формуле, аналогичной для расчета эквивалентного сопротивления параллельных ветвей постоянного тока. Но вместо  $R$  в нее входят соответствующие комплексы полных сопротивлений  $\underline{Z}_i$ . Например:

$$\underline{Z}_{23} = \frac{\underline{Z}_2 \underline{Z}_3}{\underline{Z}_2 + \underline{Z}_3}.$$

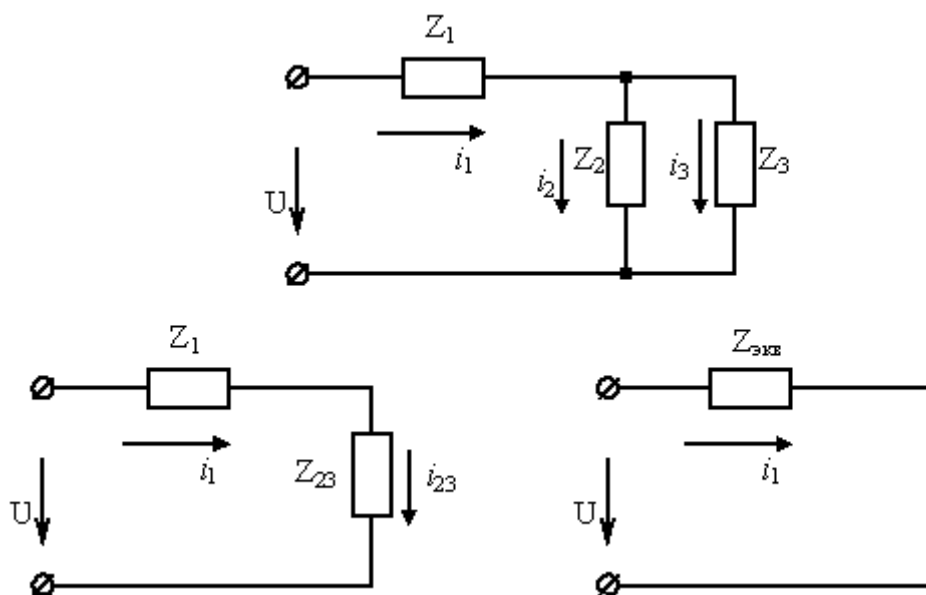


Рис. 8. Эквивалентные схемы расчетной цепи

При подстановке значений комплексов полных сопротивлений ветвей в формулу рекомендуем для числителя использовать показательную форму записи комплекса, а для знаменателя – алгебраическую. После вычисления знаменателя его необходимо перевести в показательную форму записи. Например:

$$\underline{Z}_2 = 0 + j10 = \sqrt{0^2 + 10^2} e^{j \arctg \frac{10}{0}} = 10e^{j90} \text{ Ом},$$

$$\underline{Z}_3 = 10 - j15 = \sqrt{10^2 + (-15)^2} e^{j \arctg \frac{-15}{10}} = 18e^{-j56} \text{ Ом}, \text{ тогда}$$

$$\underline{Z}_{23} = \frac{10e^{j90} 18e^{-j56}}{0 + j10 + 10 - j15} = \frac{180e^{j34}}{10 - j5} = \frac{180e^{j34}}{11,18e^{-j26,56}} = 16,1e^{j60,56} \text{ Ом}$$

После вычисления дроби рекомендуем результат вновь представить в алгебраической форме, используя тригонометрическую форму записи комплекс-

ного числа. При переводе комплекса в алгебраическую форму записи не забывайте о знаке аргумента  $\varphi$ .

5. После расчета комплекса полного сопротивления параллельного участка цепь, изображенная на рисунке 7, может быть представлена одной из эквивалентных схем (рис. 8).

Комплекс полного сопротивления всей цепи  $\underline{Z}_{\text{экв}}$  можно найти суммированием комплексов  $\underline{Z}_1$  и  $\underline{Z}_{23}$  (суммирование комплексов сопротивлений производится в алгебраической форме записи):

$$\underline{Z}_{\text{экв}} = \underline{Z}_1 + \underline{Z}_{23}.$$

Если параллельные ветви сами являются разветвленными, то вначале производится эквивалентное преобразование каждой из них, как описано в п.3-5, а потом расчет комплекса полного сопротивления всей цепи.

6. В соответствии с эквивалентными схемами (рис. 8) комплекс тока в неразветвленной части цепи можно найти на основании закона Ома для последовательной цепи, записанного в комплексной форме:

$$\underline{I}_1 = \frac{\underline{U}}{\underline{Z}_{\text{экв}}}.$$

Так как начальная фаза приложенного напряжения обычно не задается, то для упрощения расчетов ее можно принять равной нулю, т. е.  $\underline{U} = Ue^{j0}$ .

7. Комплексы напряжений на неразветвленном и на параллельном участке цепи легко определить, пользуясь законом Ома для участка цепи, т. к. комплексы  $\underline{I}_1$ ,  $\underline{Z}_1$  и  $\underline{Z}_{23}$  известны:

$$\underline{U}_1 = \underline{I}_1 \underline{Z}_1; \quad \underline{U}_{23} = \underline{I}_1 \underline{Z}_{23}.$$

8. Комплексы токов в параллельных ветвях можно рассчитать, пользуясь законом Ома, т. к. комплексы полных сопротивлений параллельных ветвей известны, а комплекс на параллельном участке определен в предыдущем пункте:

$$\underline{I}_2 = \frac{\underline{U}_{23}}{\underline{Z}_2}; \quad \underline{I}_3 = \frac{\underline{U}_{23}}{\underline{Z}_3}.$$

10. В соответствии с законом сохранения энергии, комплекс мощности источника должен быть равен сумме комплексов мощностей всех ветвей цепи:

$$\underline{S} = \underline{S}_1 + \underline{S}_2 + \underline{S}_3,$$

$$\underline{I}_1^* \underline{U} = \underline{I}_1^* \underline{U}_1 + \underline{I}_2^* \underline{U}_{23} + \underline{I}_3^* \underline{U}_{23},$$

где  $\underline{S}$  - комплексная мощность источника;  $\underline{S}_i$  - комплексная мощность  $i$  ветви;  $\underline{I}_i^*$  - сопряженный комплекс тока (т. е. знак перед углом  $j$  меняется на проти-



воположный).

При расчете мощностей результат необходимо записать в алгебраической форме. Действительная часть есть активная мощность, а мнимая - реактивная.

Расхождение в балансах активных и реактивных мощностей при правильном расчете задачи не должно превышать 2%.

10. Векторную диаграмму можно начать строить с вектора приложенного напряжения  $\underline{U}$ , т. к. начальная его фаза была принята равной нулю. Поэтому вектор общего напряжения откладывается вдоль оси действительных величин (+1). Векторы напряжений на неразветвленных участках цепи строятся под соответствующими углами  $\varphi_i$  по отношению к оси действительных величин. Отрицательные углы откладываются по направлению вращения часовой стрелки, а положительные – против часовой стрелки. Векторы также можно строить по тангенсу, например, необходимо построить вектор  $\underline{A} = 10 + j2$ , тогда по оси действительных величин (+1) откладываем 10 делений, а по оси мнимых величин 2 деления (масштаб по оси мнимых и по оси действительных величин должен быть один и тот же).

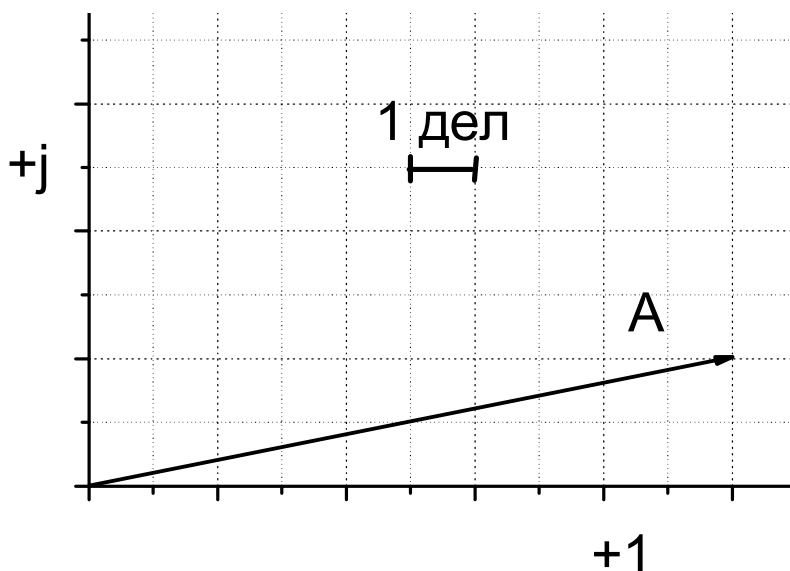


Рис. 9. Пример построения вектора  $\bar{A}$

Аналогично строятся векторы токов в ветвях. При правильно определенных комплексах токов и напряжений вектор тока в неразветвленной части цепи должен быть диагональю параллелограмма, двумя сторонами которого являются векторы токов в параллельных ветвях, вектор приложенного напряжения должен быть диагональю параллелограмма, сторонами которого являются векторы напряжений на неразветвленном участке цепи и на параллельных ветвях. Векторы токов и напряжений рекомендуем строить разноцветными.

Для примера рассмотрим векторную диаграмму цепи, представленной на рисунке 7. Предположим, что в результате расчетов получены следующие комплексные значения токов и напряжений:

$$\underline{U} = 100 + j0 = 100e^{j0} \text{ В};$$

$$\underline{I}_1 = 6,7 - j3,85 = 7,7e^{-j30} \text{ А};$$

$$\underline{U}_1 = 76,5 + j9,4 = 77e^{j7} \text{ В};$$

$$\underline{I}_2 = 5,2 + j1,4 = 5,4e^{j15} \text{ А};$$

$$\underline{U}_{23} = 22 - j10 = 27e^{-j22} \text{ В};$$

$$\underline{I}_3 = 1,4 - j5,2 = 5,4e^{-j75} \text{ А}.$$

Для построения векторной диаграммы выбираем масштаб для напряжений и токов, который указываем на ней. **Рекомендуем полученные комплексы токов и напряжений представить в алгебраической и показательной формах.** Напомним, что значение с индексом 1 является конечной координатой данного вектора на оси действительных величин, а значение с индексом  $j$  – на оси мнимых величин. Начало вектора совпадает с началом координат (рис. 10).

Обратите внимание, что при построении векторной диаграммы вектор тока  $\underline{I}_1$  в неразветвленной части цепи должен быть равен геометрической сумме векторов токов  $\underline{I}_2$  и  $\underline{I}_3$  (при суммировании векторов тока  $\underline{I}_2$  и  $\underline{I}_3$  должен получиться параллелограмм), а геометрическая сумма векторов напряжений  $\underline{U}_1$  и  $\underline{U}_{23}$  должна быть равна вектору общего напряжения  $\underline{U}$  (при суммировании векторов напряжений  $\underline{U}_1$  и  $\underline{U}_{23}$  должен получиться параллелограмм).

Например, при построении вектора  $\underline{U}_1 = 76,5 + j9,4$ , по оси действительных величин (+1 – -1) откладываем 7,65 дел., а по оси мнимых величин (+j - -j) 0,94 дел. **Обратите внимание, что если комплекс вектора представлен в показательной форме  $\underline{U}_1 = 77e^{j7}$ , то длина вектора  $\underline{U}_1$  должна соответствовать 7,7 дел., а угол между осью действительных величин +1 и вектором  $\underline{U}_1$  составит  $7^\circ$ .**

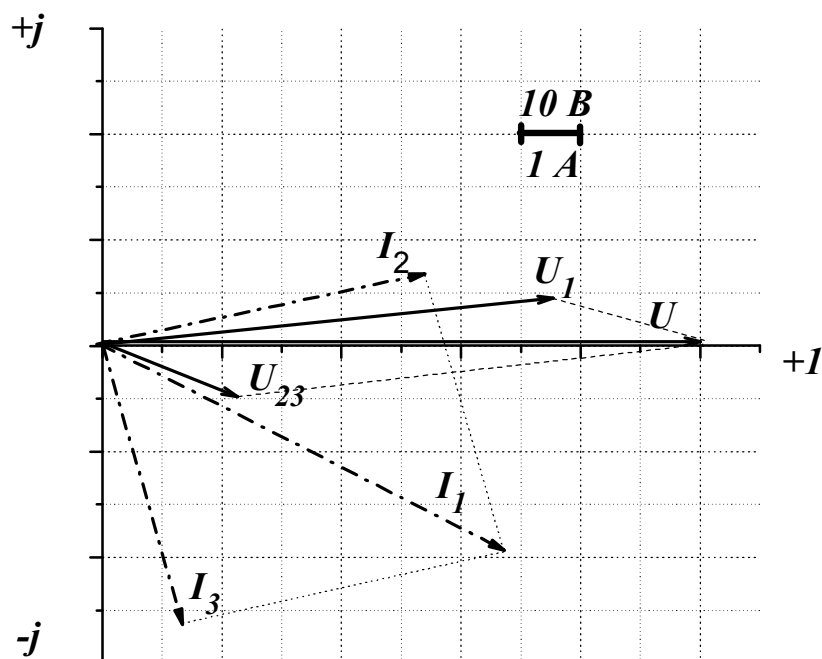


Рис. 10. Пример построения векторной диаграммы

## ДОМАШНЕЕ ЗАДАНИЕ № 3

Варианты домашних заданий, таблицы насосов, параметры веществ и электродвигателей приведены в Приложении 3.

**Цель работы:** настоящее домашнее задание ставит своей целью систематизировать знания, полученные при изучении раздела «электропривод» курса электротехники, и привить навык по выбору мощности двигателя для конкретного электропривода.

**Содержание работы:**

1. По заданной производительности производственного механизма выберите тип и серию (марку) двигателя для электропривода.
2. Рассчитайте мощность и ток, потребляемые двигателем из сети, а также номинальный момент и пусковой ток двигателя.
3. Изобразите схему управления и защиты и опишите принцип работы.

### Методические указания по выполнению работы

Понятие об электроприводе

Электроприводом называется электромеханическое устройство, осуществляющее преобразование электрической энергии в механическую, и обеспечивающее электрическое управление механической энергией. Таким образом, электрический привод состоит из электрического двигателя, передаточного механизма и средств управления и автоматизации. Современный электрический привод позволяет осуществлять работу машины по заданной программе [1].

Правильный выбор мощности двигателя является одной из важнейших задач при разработке электропривода производственного механизма. Завышенная мощность двигателя увеличивает капитальные затраты и ухудшает технико-экономические показатели. При этом снижается КПД и ухудшается коэффициент мощности двигателей переменного тока. Заниженная мощность двигателя не обеспечивает заданного режима рабочей машины и может привести к выводу двигателя из строя.

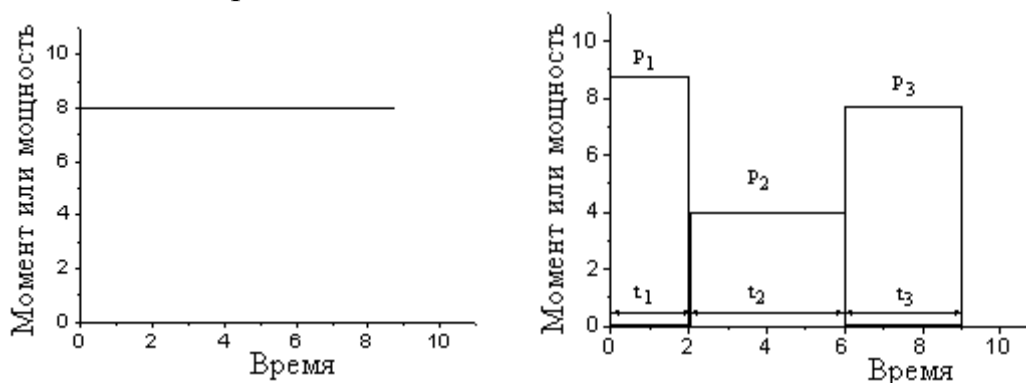


Рис. 11. Нагрузочные диаграммы для длительного режима

Одним из основных факторов, определяющих выбор мощности двигателя, является мощность и характер нагрузки. Мощность двигателя выбирается в зависимости от характера нагрузки так, чтобы в процессе работы он не нагрелся.

вался выше допустимой температуры и допускал кратковременную перегрузку. Различают следующие режимы работы электропривода:

1. **Длительный режим**. Продолжительность работы такова, что все части успевают нагреться до установленной температуры. При этом нагрузка может быть равномерной (постоянной) (рис. 11,а) или непрерывной (рис. 11,б).

2. **Кратковременный режим**. Режим считается кратковременным, если за время работы двигатель не успевает нагреться до установившейся температуры, а за время паузы успевает остыть до температуры окружающей среды.

3. **Повторно-кратковременный режим**. Режим работы называется повторно-кратковременным, если двигатель так часто включается и выключается, что за время работы не успевает нагреться до установившейся температуры, а за время паузы не успевает остыть до температуры окружающей среды.

На практике электродвигатели часто работают при нагрузке, которая меняется с течением времени. В этом случае режим работы двигателя удобно представить в виде перегрузочной диаграммы, показывающей, как меняется мощность, момент или ток двигателя во времени в процессе работы (рис. 11,б).

## ВЫБОР ТИПА ДВИГАТЕЛЯ

Выбор типа двигателя зависит от ряда факторов: характера окружающей среды (влажная, активно-химическая, высокая или низкая температура и пр.); требований к конструктивному исполнению, охлаждению, креплению, управлению и регулированию; требуемых механических и регулировочных характеристик; напряжения и частоты электрической сети; требуемой частоты вращения и др.

Из многочисленных типов двигателей переменного и постоянного тока для привода той или иной производственной машины должен быть выбран двигатель, который наиболее полно удовлетворял бы технико-экономическим требованиям. Это значит, что необходимо выбрать двигатель наиболее простой по управлению, надежный при эксплуатации, имеющий наименьшую стоимость, вес и габаритные размеры, а также высокие энергетические показатели.

В сравнении со всеми существующими типами двигателей этим требованиям наиболее полно отвечают асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором. Двигатели обладают высокими техническими показателями (жесткая механическая характеристика;  $\cos\varphi = 0,6\div 0,92$ ;  $\eta = 0,6\div 0,94$ ;  $M_{\text{пуск}}/M_{\text{ном}} = 0,9\div 2,2$ ;  $I_{\text{пуск}}/I_{\text{ном}} = 4\div 7,5$ ). Технические условия, определяющие требования к асинхронным двигателям, сформулированы в ГОСТ 19523-81. По этой причине асинхронные двигатели нашли широкое применение во всех отраслях народного хозяйства для привода различного рода механизмов и машин, не требующих регулирования частоты вращения в процессе работы.

Для нерегулируемых электроприводов средней и большой мощности, работающих в продолжительном режиме с редкими пусками (преобразовательные установки, компрессоры, мощные насосы, воздуходувки и т. д.), следует использовать синхронные двигатели. Они отличаются более высоким КПД, допускают регулирование коэффициента мощности, что имеет большое практиче-

ское значение там, где необходимо компенсировать реактивную мощность. Применение синхронных машин малой мощности экономически менее выгодно, т. к. капитальные затраты не окупаются эксплуатационными преимуществами.

## ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

- 1. Рассчитайте мощность двигателя.** Расчетная мощность для электродвигателя, используемого для привода насоса, работающего с постоянной производительностью, определяется по формуле:

$$P_{\text{рас}} = \frac{QH\gamma}{\eta_{\text{нас}}\eta_{\text{пер}}} 10^{-3} \text{ кВт},$$

где  $Q$  – производительность насоса,  $\text{м}^3/\text{с}$  (определяется из справочника-каталога);

$H$  – расчетная высота подачи (напор),  $\text{м}$  (определяется заданием к домашней работе);

$\gamma$  – удельный вес жидкости,  $\text{Н}/\text{м}^3$ , ( $\gamma = g\rho$ ,  $g$  – ускорение свободного падения,

$g = 9,81 \text{ м}/\text{с}^2$ ;  $\rho$  – плотность жидкости,  $\text{кг}/\text{м}^3$ );

$\eta_{\text{нас}}$  – КПД насоса (определяется из справочника-каталога);

$\eta_{\text{пер}}$  – КПД передач (клиноременной –  $0,97 \div 0,98$ ).

Расчетная мощность для электродвигателя, используемого привода вентилятора, работающего с постоянной производительностью, определяется по формуле:

$$P_{\text{рас}} = \frac{QH}{\eta_{\text{нас}}\eta_{\text{пер}}} 10^{-3} \text{ кВт},$$

где  $Q$  – производительность вентилятора,  $\text{м}^3/\text{с}$  (определяется заданием к домашней работе);

$H$  – давление,  $\text{Н}/\text{м}$  (определяется из справочника-каталога);

$\eta_{\text{нас.}}$  – КПД вентилятора (определяется из справочника-каталога);

$\eta_{\text{пер.}}$  – КПД передач (клиноременной –  $0,97 \div 0,98$ ).

По расчетной мощности и частоте вращения двигателя (определяется из рабочего задания) выберете тип и марку двигателя.

Если температура окружающей среды не отличается от принятой ГОСТом, то выбор двигателя для продолжительного (длительного) режима с постоянной нагрузкой сводится к выбору его по каталогу. При этом должно удовлетворяться условие:

$$P_{\text{ном}} \geq P_{\text{рас}},$$

$P_{\text{ном.}}$  – номинальная мощность на валу двигателя (по каталогу);

$P_{\text{рас.}}$  – расчетная мощность электродвигателя.

Выбор типа двигателя производится согласно соображениям, приведенным выше (см. выбор типа двигателя).

**2. По паспортным данным рассчитайте мощность, потребляемую двигателем из сети.**

$$P_1 = \frac{P_2}{\eta},$$

где  $P_1$  – мощность двигателя, потребляемая из сети;

$P_2$  – мощность на валу двигателя ( $P_{\text{ном}}$ );

$\eta$  – КПД двигателя.

**3. По расчетному значению потребляемой мощности и паспортным данным вычислите силу потребляемого тока.**

$$I_{\text{ном}} = \frac{P_1}{\sqrt{3}U_{\text{ном}}\cos\varphi} \text{ А.}$$

**4. По паспортным данным кратности пускового тока определите пусковой ток.** Например:  $\frac{I_{\text{п}}}{I_{\text{ном}}} = 10$ , тогда  $I_{\text{п}} = 10I_{\text{ном}}$ .

**5. По паспортным данным номинальной мощности и частоты вращения найдите номинальный момент двигателя.**

$$M_{\text{н}} = 9550 \frac{P_{\text{н}}(\text{кВт})}{n_{\text{н}}}.$$

6. **Начертите соединение обмоток статора** (при номинальном напряжении 380 В схема соединения обмоток статора – звезда, при номинальном напряжении 220 В схема соединения обмоток статора – треугольник).

7. **Начертите схему управления и защиты двигателя и опишите ее работу.**

### ОФОРМЛЕНИЕ ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ

Пояснительная записка должна содержать:

- 1.Номер варианта задания.
- 2.Исходные данные для расчета в виде таблицы.
- 3.Тип и параметры насоса или вентилятора в виде таблицы (тип насоса или вентилятора по исходному заданию).
- 3.Расчет мощности двигателя.
- 4.Тип и параметры выбранного двигателя в виде таблицы.
- 5.Расчет требуемых величин.
- 6.Схему соединения обмоток статора.
- 7.Схему управления и защиты двигателя с описанием ее работы.

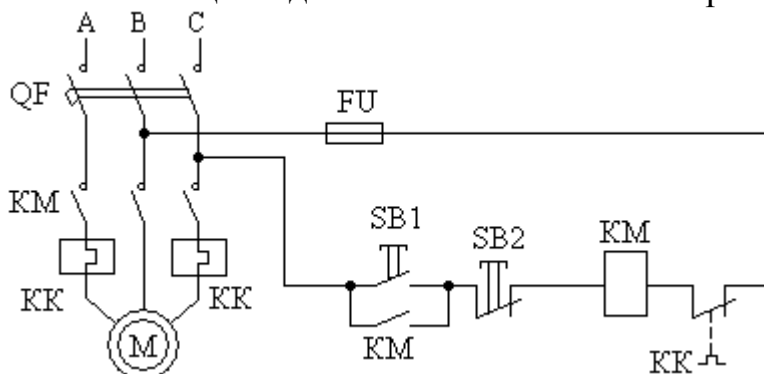


Рис. 12. Схема пуска и защиты короткозамкнутого асинхронного двигателя: QF – автоматический выключатель, FU – плавкие предохранители, KM - контактор, KK - обмотки и контакты теплового реле, SB1 – кнопка «Пуск», SB2 – кнопка «Стоп»

К ДОМАШНЕМУ ЗАДАНИЮ № 1

По заданным значениям ЭДС и сопротивлений определить токи во всех ветвях цепи (стрелками показаны направления ЭДС)

Схема	Вариант	$E_1, В$	$E_2, В$	$E_3, В$	$R_1, Ом$	$R_2, Ом$	$R_3, Ом$	$R_4, Ом$	$R_5, Ом$	$R_6, Ом$	$r_{01}, Ом$	$r_{02}, Ом$
	1	10<	10<	10<	1	1	1	6	6	4		
	2	12<	3<	4 >	6	4	3	2	2	2		
	3	6→	9<	12←	3	5	3	3	3	3		
	4	14→	6<	18→	2	4	6	1	1	6		
	5	14 >	8^	14<	4	4	6	6	6	2		
	6	30<	10 >	30<	6	6	2	6			0,2	0,2
	7	20→	20→	20←	4	4	4	8			0,2	0,2
	8	20←	15←	10←	10	10	6	8			0,2	0,2
	9	10←	15←	20→	12	12	6	10			0,2	0,2
	10	15<	10 >	15 >	3	2	4	6			0,2	0,2
	11	20←	10←	30↓	2	4	8	10	2	4		
	12	24←	12→	12↓	2	2	4	10	10	8		
	13	12←	6←	12↑	4	2	6	3	5	10		
	14	6→	12←	6↑	3	6	9	12	12	12		
	15	5 >	10 >	15↓	10	10	5	5	5	10		
	16	12↑	12<	6↑	1	1	4	4	10			
	17	24↑	24^	12↓	4	4	2	2	5			
	18	6↓	6<	3↑	2	2	8	8	8			
	19	12↓	24^	10↓	5	6	4	5	5			
	20	24↓	12<	8↑	8	3	6	1	4			
	21	6←	9←	12↑	4	2	6	10	1	2		
	22	10←	12→	6↑	3	4	2	5	5	2		
	23	18→	6←	9↓	2	1	3	2	4	10		
	24	4→	3→	2↑	1	3	4	1	4	6		
	25	8<	6<	4↓	5	3	2	4	4	4		



Схема	Вариант	$E_1, B$	$E_2, B$	$E_3, B$	$E_4, B$	$E_5, B$	$R_1, Ом$	$R_2, Ом$	$R_3, Ом$	$R_4, Ом$	$R_5, Ом$	$R_6, Ом$
	26	24←	12→	24^			2	2	2	4	6	
	27	6←	24←	12^			1	1	4	4	10	
	28	20 >	10 >	15∨			2	2	8	8	8	
	29	15→	25→	10^			4	4	2	2	5	
	30	8→	12→	8∨			8	6	1	3	4	
	31	12←	24↓	4←			2	2	4	4	6	6
	32	10←	10↑	5→			6	4	2	2	3	3
	33	20→	10↓	15→			4	6	5	5	2	2
	34	15→	10↑	10←			8	5	4	4	4	4
	35	10←	15↓	20 >			7	1	3	5	3	5
	36	24 >	12 >	8←			2	2	6	6	4	4
	37	12→	24←	12←			3	6	4	5	5	5
	38	15←	15→	10→			4	4	1	8	8	4
	39	25←	15←	10→			10	5	10	5	10	5
	40	10→	20→	5→			4	5	2	2	2	1
	41	15 >	48 >	24←			3	6	4	6	12	
	42	5 >	18←	9←			6	4	4	4	6	
	43	10←	30←	15→			2	2	5	8	5	
	44	6←	20→	10→			4	5	5	10	4	
	45	4←	10←	5→			8	1	2	5	3	
	46	6←	10↓	14←			2	1	2	10	1	6
	47	3←	5↓	7 >			3	6	3	3	5	3
	48	14←	10↑	6 >			8	4	4	4	4	8
	49	18←	14↑	10←			5	5	1	1	5	5
	50	30 >	20↓	10←			6	3	7	6	3	7

Схема	Вариант	$E_1, B$	$E_2, B$	$E_3, B$	$E_4, B$	$E_5, B$	$R_1, Ом$	$R_2, Ом$	$R_3, Ом$	$R_4, Ом$	$R_5, Ом$	$R_6, Ом$
	51	18 >	9 <	24 <	6 ↓		2	2	5	5	6	
	52	12 <	5 <	12 >	4 ↑		4	4	5	10	5	
	53	10 <	0	20 >	25 ↓		1	1	3	4	3	
	54	15 >	25 >	0	10 ↓		3	3	4	6	4	
	55	8 <	12 >	12 >	20 ↑		5	4	4	4	5	
	56	20 <	24 ↓	12 ^			2	2	4	10	10	
	57	20 <	24 ↑	12 ^			3	3	4	6	6	
	58	12 <	18 ↓	24 >			3	4	1	3	4	
	59	12 >	18 ↑	24 ^			4	4	2	5	5	
	60	6 >	9 ↓	13 >			4	2	3	2	2	
	61	12 <	18 >	24 >			4	2	6	10	1	2
	62	3 >	9 >	6 ^			2	3	5	4	6	2
	63	2 <	3 <	4 >			2	1	3	5	2	1
	64	6 >	9 >	12 >			3	4	2	6	3	4
	65	5 <	12 <	18 ^			1	3	4	1	4	6
	66	12 >	10 <	10 <	20 >		2	3	3	2	4	4
	67	3 <	5 >	5 >	6 <		2	2	2	3	5	1
	68	10 >	8 <	8 <	2 >		2	2	2	2	4	4
	69	10 >	8 <	8 <	18 >		2	2	2	3	3	4
	70	3 >	5 <	6 <	6 >		2	3	3	2	4	4
	71	20 <	6 ↓	6 >	3 >		2	6	6	4	1	2
	72	16 >	9 ↓	2 >	4 >	7 <	8	5	2	3	8	9
	73	30 >	15 ↓	15 ^	0	10 <	6	6	6	4	4	4
	74	15 <	10 ↑	10 ^	20 <	0	10	10	10	6	6	5
	75	0	20 ↑	10 >	15 <	5 <	4	8	8	2	2	8

Схема	Вариант	$E_1, B$	$E_2, B$	$E_3, B$	$E_4, B$	$E_5, B$	$R_1, Ом$	$R_2, Ом$	$R_3, Ом$	$R_4, Ом$	$R_5, Ом$	$R_6, Ом$
	76	2←	26∨	9↑	7→	14→	2	8	7	5	7	5
	77	5<	15^	10↓	12>	0	4	2	10	4	2	4
	78	3→	30∨	9↑	0	15←	10	4	4	10	6	10
	79	6>	12^	24↓	0	0	5	5	4	4	4	6
	80	4←	16∨	10↑	4←	8→	6	3	3	2	5	2
	81	20→	50<	30↓	80>	80<	5	5	5	2	6	4
	82	30→	12←	30↑	60←	50→	6	6	6	4	4	4
	83	24<	40<	18↑	0	0	4	4	4	2	2	2
	84	60←	25→	15↓	40→	40→	3	5	9	1	7	5
	85	0	50→	0	25←	30→	8	8	8	10	10	10
	86	7↓	3∨	5↓	4↑	16←	2	2	1	3	7	3
	87	12↓	6∨	10↑	8∨	0	1	1	6	6	3	9
	88	0	4∨	4↑	6↑	3←	5	6	3	2	4	10
	89	7↓	3∨	5↓	4↑	16←	2	2	1	3	3	3
	90	4↑	7^	0	9↓	5→	4	5	5	4	2	6
	91	20→	6^	80→			2	2	6	6	2	3
	92	20←	18^	80→			2	2	6	6	2	3
	93	60←	3∨	40←			4	2	8	8	4	6
	94	40→	20∨	60→			5	8	5	3	3	8
	95	25←	30∨	15→			6	4	3	4	4	4
	96	24↓	24∨	36↓			2	4	2	5	2	1
	97	6↓	6∨	9↑			2	4	2	5	2	1
	98	10↓	5^	10↓			3	5	3	6	2	1
	99	10↑	15^	5↑			3	5	3	6	3	2
	100	12↑	12∨	18↓			4	2	4	3	3	3

К ДОМАШНЕМУ ЗАДАНИЮ № 2

По данным таблицы рассчитать токи и углы сдвига фаз в каждой ветви цепи  
Построить векторную диаграмму токов и напряжений

Схема	Вариант	U, В	f, Гц	C <sub>1</sub> , мкФ	C <sub>2</sub> , мкФ	C <sub>3</sub> , мкФ	L <sub>1</sub> , Гн	L <sub>2</sub> , Гн	L <sub>3</sub> , Гн	R <sub>1</sub> , Ом	R <sub>2</sub> , Ом	R <sub>3</sub> , Ом
	1	100	50	637	300				15,9	2	3	4
	2	100	75	637	300				15,9	2	3	4
	3	100	100	637	300				15,9	2	3	4
	4	100	125	637	300				15,9	2	3	4
	5	100	150	637	300				15,9	2	3	4
	6	100	50			100	15,9	15,9	115	10	5	10
	7	100	75			100	15,9	15,9	115	10	5	10
	8	100	100			100	15,9	15,9	115	10	5	10
	9	100	125			100	15,9	15,9	115	10	5	10
	10	100	150			100	15,9	15,9	115	10	5	10
	11	100	50	637				15,9	6,4	5	10	2
	12	100	75	637				15,9	6,4	5	10	2
	13	100	100	637				15,9	6,4	5	10	2
	14	100	125	637				15,9	6,4	5	10	2
	15	100	150	637				15,9	6,4	5	10	2
	16	100	50				31,8	15,9	95	10	2	10
	17	100	75				31,8	15,9	95	10	2	10
	18	100	100				31,8	15,9	95	10	2	10
	19	100	125				31,8	15,9	95	10	2	10
	20	100	150				31,8	15,9	95	10	2	10
	21	100	50	637	159				95,5	5	10	
	22	100	75	637	159				95,5	5	10	
	23	100	100	637	159				95,5	5	10	
	24	100	125	637	159				95,5	5	10	
	25	100	150	637	159				95,5	5	10	
	26	100	50			637	26,1	9,55		6	4	
	27	100	75			637	26,1	9,55		6	4	
	28	100	100			637	26,1	9,55		6	4	
	29	100	125			637	26,1	9,55		6	4	
	30	100	150			637	26,1	9,55		6	4	
	31	100	50		637		19,1				10	10
	32	100	75		637		19,1				10	10
	33	100	100		637		19,1				10	10
	34	100	125		637		19,1				10	10
	35	100	150		637		19,1				10	10
	36	100	50		318				15,9	2	10	4
	37	100	75		318				15,9	2	10	4
	38	100	100		318				15,9	2	10	4
	39	100	125		318				15,9	2	10	4
	40	100	150		318				15,9	2	10	4
	41	100	50		318		9,55			4	10	4
	42	100	75		318		9,55			4	10	4
	43	100	100		318		9,55			4	10	4
	44	100	125		318		9,55			4	10	4
	45	100	150		318		9,55			4	10	4
	46	100	50		795	637	12,4		15,6	3		20
	47	100	75		795	637	12,4		15,6	3		20
	48	100	100		795	637	12,4		15,6	3		20
	49	100	125		795	637	12,4		15,6	3		20
	50	100	150		795	637	12,4		15,6	3		20

Схема	№ n/n	U, В	f, Гц	C <sub>1</sub> , мкФ	C <sub>2</sub> , мкФ	C <sub>3</sub> , мкФ	L <sub>1</sub> , Гн	L <sub>2</sub> , Гн	L <sub>3</sub> , Гн	R <sub>1</sub> , Ом	R <sub>2</sub> , Ом	R <sub>3</sub> , Ом
	51	100	50		159		15,9		31,8	3		20
	52	100	75		159		15,9		31,8	3		20
	53	100	100		159		15,9		31,8	3		20
	54	100	125		159		15,9		31,8	3		20
	55	100	150		159		15,9		31,8	3		20
	56	100	50	159					9	6	4	8
	57	100	75	159					9	6	4	8
	58	100	100	159					9	6	4	8
	59	100	125	159					9	6	4	8
	61	100	50			637		31,8	9,55	5		10
	62	100	75			637		31,8	9,55	5		10
	63	100	100			637		31,8	9,55	5		10
	64	100	125			637		31,8	9,55	5		10
	65	100	150			637		31,8	9,55	5		10
	66	100	50		318				15,9	10	2	4
	67	100	75		318				15,9	10	2	4
	68	100	100		318				15,9	10	2	4
	69	100	125		318				15,9	10	2	4
	70	100	150		318				15,9	10	2	4
	71	100	50				6,37		9,55	6		5
	72	100	75				6,37		9,55	6		5
	73	100	100				6,37		9,55	6		5
	74	100	125				6,37		9,55	6		5
	75	100	150				6,37		9,55	6		5
	76	100	50		318	15,9	31,8				8	5
	77	100	75		318	15,9	31,8				8	5
	78	100	100		318	15,9	31,8				8	5
	79	100	125		318	15,9	31,8				8	5
	80	100	150		318	15,9	31,8				8	5
	81	100	50	15,9				15,9	115	4	6	5
	82	100	75	15,9				15,9	115	4	6	5
	83	100	100	15,9				15,9	115	4	6	5
	84	100	125	15,9				15,9	115	4	6	5
	85	100	150	15,9				15,9	115	4	6	5
	86	100	50			100		31,8		2	10	4
	87	100	75			100		31,8		2	10	4
	88	100	100			100		31,8		2	10	4
	89	100	125			100		31,8		2	10	4
	90	100	150			100		31,8		2	10	4
	91	100	50				9,55	6,37	31,8	8	4	1
	92	100	75				9,55	6,37	31,8	8	4	1
	93	100	100				9,55	6,37	31,8	8	4	1
	94	100	125				9,55	6,37	31,8	8	4	1
	95	100	150				9,55	6,37	31,8	8	4	1
	96	100	50	637	300				6,37	6	2	10
	97	100	75	637	300				6,37	6	2	10
	98	100	100	637	300				6,37	6	2	10
	99	100	125	637	300				6,37	6	2	10
	100	100	150	637	300				6,37	6	2	10

## К ДОМАШНЕМУ ЗАДАНИЮ № 3

## Параметры насосов

Вариант	Тип насоса	Напор Н, м	п, об/мин	Перекачиваемая жидкость и температура, °С	Напряжение электрической сети U <sub>л</sub> , В
1	2КМ-6	30,8	2900	Вода, 30	380
2	2К-9	19	2900	Вода, 22	220
3	2КМ-6	35	2900	Вода, 34	380
4	2КМ-6а	25	2900	Глицерин 50%, 20	380
5	2КМ-6б	16	2900	Глицерин 50%, 10	380
6	2К-9а	15	2900	Спирт бутиловый, 20	220
7	3К-9	27	2900	Спирт этиловый, 40	380
8	3К-6	50	2900	Спирт метиловый, 20	220
9	3КМ-6	57	2900	Вода, 10	380
10	2К-9б	12	2900	Спирт метиловый, 40	380
11	3К-6	45	2900	Толуол, 20	380
12	3КМ-6а	36	2900	Глицерин 50%, 40	220
13	3К-9а	19	2900	КОН 20%, 18	380
14	4К-6	81	2900	NaOH 10%, 18	380
15	4К-6а	63,5	2900	КОН 30%, 18	380
16	4К-8	48	2900	NaOH 20%, 18	380
17	4К-8а	43	2900	NH <sub>3</sub> 10%, 18	380
18	4КМ-12	32	2900	NaOH 30%, 18	380
19	4К-12а	25	2900	NH <sub>3</sub> 20%, 18	220
20	4К-18	19	2900	NaOH 34%, 18	220
21	6К-8	35	1450	NH <sub>3</sub> 24%, 18	380
22	6К-8а	27	1450	КОН 26%, 18	380
23	6К-8б	18	1450	КОН 38%, 18	380
24	6К-12	21	1450	NH <sub>3</sub> 6%, 18	220
25	6К-12а	12	1450	NaOH 4%, 18	220
26	8К-12	25,4	1450	КОН 50%, 18	380
27	8К-12а	26	1450	NH <sub>3</sub> 8%, 18	380
33	ХНЗ 5/25	13,5	1450	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 18%, 16	380
34	ЯНЗ 5/23	12	1450	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 12%, 18	220
35	ЭИНЗ 5/25	10,5	1450	HNO <sub>3</sub> 20%, 18	380
36	ХНЗ 6/30	20,5	1450	HCl 10%, 18	220
37	ЭИНЗ 6/27	16,5	1450	HCl 24%, 18	380
38	3Ц-4	39	1450	NH <sub>3</sub> 10%, 18	220
39	3Ц-4 x 2	63,5	1470	NH <sub>3</sub> 32%, 18	380
46	6НДв	48	1450	Спирт этиловый, 20	380
47	3Кс 6 x 2	50,5	2900	Глицерин 50%, 10	380
48	3Кс 6 x 2б	32	2900	Толуол, 20	380
49	5Кс 5 x 4	115	1480	Фенол, 20	380
50	5Кс 5 x 2	38	1450	Спирт метиловый, 40	380
51	5Кс 5 x 4б	68	1480	Спирт этиловый, 20	380
52	8К-18	18	1450	Спирт бутиловый, 20	380
53	8К-18а	16	1450	Спирт бутиловый, 0	380
54	2К-9	19	2900	Вода, 18	220
55	4К-8	54	2900	Вода, 26	220

## Каталог насосов

Марка насоса	Подача Q		Полный напор Н, м	Число оборотов n, об/мин	Мощность N, кВт		КПД насоса, %	Допустимая вакууметрич. высота всасывания Н, м	Диаметр рабочего колеса D, мм
	м <sup>3</sup> /ч	л/сек			на валу насоса	электро двигат.			
2KM-6	20	5,5	30,8	2900	2,7	4,5	64	7,2	162
2K-9	11	3	21	2900	1,2	2,8	58	8	129
	29	5,5	18,5	2900	1,5	2,8	68	6,8	129
	22	6,1	17,5	2900	1,6	2,8	66	6,4	129
2KM-6a	10	2,8	28,5	2900	1,4	2,8	54,5	8,7	148
	20	5,5	25,2	2900	2,1	2,8	65,6	7,2	148
	30	8,3	20	2900	2,6	2,8	64,1	5,7	148
2KM-66	10	2,8	22,6	2900	1,2	2,8	54,3	8,7	132
	20	5,5	18,8	2900	1,6	2,8	65	7,2	132
	23	6,9	16,4	2900	1,7	2,8	64	6,6	132
2K-9a	10	2,8	16,8	2900	0,8	1,7	54	8,1	118
	17	4,7	15	2900	1,1	1,7	65	7,3	118
	21	5,8	13,2	2900	1,2	1,7	63	6,6	118
3K-9	30	8,3	34,8	2900	4,6	7	62	7	168
	45	12,5	31	2900	5,5	7	71	6	168
	54	15	27	2900	5,8	7	71,5	2,9	168
3K-6 3KM6	30	8,3	62	2900	9,4	14	54,4	7,7	218
	45	12,3	57	2900	10,1		63,5	6,7	218
	60	16,7	50	2900	12,5	20	66,3	5,6	218
	70	19,5	44,5	2900	13,4		63	4,4	218
2K-96	10	2,8	13	2900	0,7	1,7	51	8,1	106
	15	4,2	12	2900	0,8	1,7	60	7,6	106
	20	5,5	10,3	2900	0,9	1,7	62	6,8	106
3K-6a 3KM-6a	30	8,3	45	2900	6,4	10	55	7,3	192
	40	11,1	41,5	2900	7,4		62	7,1	192
	50	13,9	37,5	2900	8		64	6,4	192
	65	18	30	2900	8,5	14	59,5	5,3	192
3K-9a	25	7	24,2	2900	2,7	4,3	62,5	7	143
	35	9,7	22,5	2900	3,1	4,3	70	6,9	143
	45	12,5	19,5	2900	3,4	4,3	71	6	143
4K-6 4KM-6	65	18	98	2900	28	55	63	7,1	272
	90	25	91	2900	33	55	68	6,2	272
	115	32	81	2900	37,5	55	68,5	5,1	272
	135	37,5	72,5	2900	40,5	55	66	4	272
4K-6a 4KM-6a	65	18	82	2900	23,2	40	63,2	7,1	250
	85	23,6	76	2900	25,5	40	67,5	6,4	250
	105	29,2	69,5	2900	29,4	40	68,5	5,5	250
	125	34,7	61,6	2900	32	40	66	4,6	250

Марка насоса	Подача Q		Полный напор Н, м	Число оборотов n, об/мин	Мощность N, кВт		КПД насоса, %	Допустимая вакууметрич. высота всасывания Н, м	Диаметр рабочего колеса D, мм
	м³/ч	л/сек			на валу насоса	электродвигат.			
4К-8 4КМ-8	70	19,4	59	2900	17,5	28	65,5	5,3	218
	90	25	54,9	2900	19,5	28	71	5	218
	109	30,4	47,8	2900	20,9	28	69	4	218
	120	33,4	43	2900	21,4	28	66	3,8	218
4К-8а 4КМ-8а	70	19,4	48	2900	13,6	20	67	5,3	200
	90	25	43	2900	15,5		69	5	200
	109	30,4	36,8	2900	16,5		65	4	200
4К-12 4КМ-12	65	18	37,7	2900	9,3	14	72	6,7	174
	90	25	34,6	2900	10,9		78	5,8	174
	120	33,3	28	2900	13,4		74,5	3,3	174
4К-12а 4КМ-12а	60	16,7	31,6	2900	7,5	14	70	6,9	163
	85	23,6	28,6	2900	8,7		76	6	163
	110	23,3	30,6	2900	9,7		73,5	4,5	163
4К-18	60	16,7	25,7	2900	5,6	7	76	5,4	148
	80	22,2	22,8	2900	6,3		79,5	5,3	148
	100	27,8	18,9	2900	6,7		77	4,2	148
6К-8 6КМ-8	110	30,6	36,5	1450	17,6	28	70	6,6	328
	140	38,8	35,9	1450	18,4		75	6,3	328
	170	47,2	32,5	1450	20,6		76,5	5,9	328
	190	52,8	31	1450	23		75	5,4	328
6К-8а 6КМ-8а	110	30,6	30,5	1450	13,5	20	72	6,6	300
	140	38,8	28,6	1450	14,7		73,6	6,3	300
	170	47,2	25,8	1450	15,7		76	5,9	300
	190	50	25	1450	16,5		74	5,8	300
6К-8б 6КМ-8б	110	30,6	24,4	1450	10,2	14	71,3	6,6	275
	140	38,8	22	1450	11,0		74	6,3	275
	180	50	18	1450	13,5		65	5,9	275
6К-12 6КМ-12	110	30,6	22,7	1450	9	14	76	8,5	264
	160	44,5	20,1	1450	10,8		81	7,9	264
	200	55,6	17,1	1450	11,9		79	7	264
6К-12а 6КМ-12а	95	26,4	17,8	1450	23,6	40	79	6,5	315
	150	47,1	15	1450	27		82,5	5,6	315
	180	50	12,6	1450	30		80	4,7	315
8К-12 8КМ-12	220	6,1	32	1450	23,6	28	79	6,5	315
	280	77,8	29,1	1450	27		82,5	5,6	315
	340	94,5	25,4	1450	30		80	4,7	315
8к-12а 8КМ-12а	200	55,6	26	1450	17,7	28	79,9	6,7	290
	250	69,5	24	1450	19,8		82,5	6,1	290
	290	80,5	21,8	1450	21,4		81	5,5	290



Марка насоса	Подача Q		Полный напор Н, м	Число оборотов п, об/мин	Мощность N, кВт		КПД насоса, %	Допустимая вакууметрич. высота всасывания Н, м	Диаметр рабочего колеса D, мм
	м <sup>3</sup> /ч	л/сек			на валу насоса	электродвигат.			
ХНЗ 5/25 ЗИНЗ 5/25	18	5	13,5	1450	2,4	74,5	29	-	250
	25	7	12	1450	2,6		32	-	250
	32	8,8	10,3	1450	2,8		32,9	-	250
ХНЗ 6/30	30	8,3	24,5	1450	5,7	14-20	35,5	-	300
	50	13,9	20,5	1450	7,3		40	-	300
	70	19,5	15,5	1450	8,4		35,5	-	300
ЯНЗ 5/23	15	4,1	12	1450	18	2,8-4,5	28	-	230
	22	6,1	10,5	1450	21		31,5	-	230
	29	8,1	9	1450	22		32,5	-	230
ЭИНЗ 6/27	25	7	20,5	1450	4	10-14,0	35	-	270
	45	12,5	16,5	1450	5,3		40	-	270
	65	18,5	11,5	1450	6		35	-	270
ЗЦ-4	22	6,1	39	1450	5	8	46,5	5	350
	30	8,3	37,2	1450	5,9		52,7	5	350
	38	10,6	34	1450	6,8		53	5	350
ЗЦ-4*2	25	6,95	67,4	1470	12,6	16	42,5	5	350
	30	8,3	65,5	1470	13,7		45,5	5	350
	35	9,7	63,5	1470	14,6		47,5	5	350
12НДС	1260	350	64	1450	250	270	88	3,6	460
	1260	350	54	1450	210,4	125	87	3,6	430
	1260	350	44	1450	180	190	84	3,6	400
	1080	300	68	1450	230	260	87	4,8	460
	1080	300	58	1450	196	225	87	4,8	430
	1080	300	48	1450	162	190	87	4,8	400
	900	250	70	1450	206	225	83	5	460
	900	250	60	1450	177	190	84	5	430
	900	250	51	1450	148	160	84	5	400
14НДС	1260	350	37	960	147	160	87	5	540
	1260	350	32	960	129	140	85	5	510
	1080	300	40	960	129	150	89	5	540
	1080	300	35	960	117	130	88	5	510
	900	300	30	960	101	115	88	5	480
	900	250	42	960	121	140	85	5	540
	900	250	37	960	105	115	86	5	510
	900	250	32	960	92	100	87	5	480
18НДС	1980	550	34	730	200,8	225	91	4,8	700
	2700	750	58	960	470	520	91	1,3	700

Марка насоса	Подача Q		Полный напор Н, м	Число оборотов п, об/мин	Мощность N, кВт		КПД насоса, %	Допустимая вакууметрич. высота всасывания Н, м	Диаметр рабочего колеса D, мм
	м <sup>3</sup> /ч	л/сек			на валу насоса	электродвигат.			
6НДв	360	100	46	1450	60,5	75	75	4	405
	360	100	39	1450	52,2	75	73	4	380
	360	100	33	1450	45,6	55	71	4	380
	325	90	49	1450	56,6	75	76	5	405
	300	84	44	1450	47,9	55	76	5,2	380
	300	84	38	1450	42,7	55	74	5,2	380
	250	70	54	1450	50,8	55	74	5	405
	250	70	46	1450	43,5	55	73	5,5	380
	250	70	40	1450	37,6	55	73	5,5	380
	216	60	48	1450	40,5	55	70	5,5	380
216	60	47	1450	35,5	40	7,1	5,5	380	
3Кс-6*2	16	4,5	66,5	2900	5,8	10	51,5	1,4	185
	21,6	6	59,5	2900	6,4	10	55	2	185
	27	7,5	50,5	2900	6,8	10	55	2,4	185
3Кс-6*26	14,5	4	44	2900	3,2	4,5	5,3	1	135
	18	5	40	2900	3,5	4,5	5,4	1,8	135
	23	6,4	32	2900	3,8	4,5	5,4	2Д	135
5Кс-5*2	35	9,7	61,5	1450	11,8	20	50	1,47	350
	50	13,9	59	1450	13,6		57,5	1,49	
	65	18	54	1450	15,5		60	1,54	
	30	8,3	39	1450	6,4	10	49	1,4	248
	40	11,1	38	1450	7,4		55,3	1,47	
	50	13,9	35	1450	8,1		58	1,49	
5Кс-5*4	36	10	121	1480	24,5	40	49,5	1,3	300
	50	13,9	115	1480	28,5		57,5	1,5	
	60	16,7	109	1480	31,2		61,5	1,7	
5Кс-5*46	30	8,3	77	1480	12,7	20	50,5	1,2	240
	40	1,1	74		14,5		57,3	1,4	
	50	1,4	68,5		16,5		61,5	1,3	
8К-18 8КМ-18	220	61	20,7	1450	15,6	20	80,5	6,2	268
	285	79,1	18,9	1450	17,4		83,5	5,3	268
	360	100	15	1450	18,3		77,5	5	268
8К-18а 8КМ-18а	200	55,5	17,5	1450	12,4	20	78	6,5	250
	260	72,2	15,7	1450	14		83,5	5,7	250
	320	89	12,7	1450	15,2		78	5,2	250
2К-9	11	3	21	2900	1,2	2,8	56	8	129
	20	5,5	18,5	2900	1,5		68	6,3	129
	22	6,1	17,5	2900	1,6		64	6,4	129

Плотности веществ

Наименование	Концентрация, %	Температура t, °С	Плотность $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>
Спирт метиловый	100	20	810
	100	40	792
Толуол	100	20	866
Фенол	100	20	1075
KOH	20	18	1186,4
	26		1246,6
	30		1287,9
	38		1373,8
	50		1510,6
NaOH	4	18	1042,8
	10		1108,9
	20		1219,1
	30		1327,9
	34		1430,0
H <sub>2</sub> O		10	999
		18	998
		22	998
		6	996
		30	995
Глицерин	50	10	1132
		20	1126
		40	1116
		50	1112
Спирт бутиловый	100	0	824
	100	20	810
	100	40	795
Спирт этиловый	100	20	806
	100	40	789
NH <sub>3</sub>	6	20	973,0
	8	20	965,1
	10	20	957,5
	20	20	922,9
	24	20	910,1
	30	20	892,0
HCl	10	20	1047,4
	24	20	1118,7
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	12	20	1080,2
	18	20	1124,3
HNO <sub>3</sub>	20	20	1115

## Трехфазные двигатели серии 4А

Технические данные асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором серии 4А основного исполнения (закрытые обдуваемые)

Тип двигателя	$P_{ном}$ , кВт	При номинальной нагрузке			$\frac{M_{max}}{M_{ном}}$	$\frac{M_{л}}{M_{ном}}$	$\frac{M_{min}}{M_{ном}}$	$\frac{I_{л}}{I_{ном}}$	$J$ , кг · м <sup>2</sup>
		$n$ , об/мин	$\eta$ , %	$\cos\varphi_1$					
<i>3000 об/мин (синхр.)</i>									
4АА50А2У3	0,09	2740	60,0	0,70	2,2	2,0	1,8	4,0	$0,245 \cdot 10^{-4}$
4АА50В2У3	0,12	2710	63,0	0,70	2,2	2,0	1,8	4,0	$0,268 \cdot 10^{-4}$
4АА56А2У3	0,18	2800	66,0	0,76	2,2	2,0	1,5	4,0	$4,15 \cdot 10^{-4}$
4АА56В2У3	0,25	2770	68,0	0,77	2,2	2,0	1,5	4,0	$4,65 \cdot 10^{-4}$
4АА632У3	0,37	2750	70,0	0,86	2,2	2,0	1,5	4,5	$7,63 \cdot 10^{-4}$
4АА63В2У3	0,55	2740	73,0	0,86	2,2	2,0	1,5	4,5	$9 \cdot 10^{-4}$
4Л71А2У3	0,75	2840	77,0	0,87	2,2	2,0	1,5	5,5	$9,75 \cdot 10^{-4}$
4А71В2У3	1,10	2810	77,5	0,87	2,2	2,0	1,5	5,5	$10,5 \cdot 10^{-4}$
4А80А2У3	1,50	2850	81,0	0,85	2,6	2,1	1,4	6,5	$18,3 \cdot 10^{-4}$
4А80В2У3	2,20	2850	83,0	0,87	2,6	2,1	1,4	6,5	$21,3 \cdot 10^{-4}$
4А90Л2У3	3,0	2840	84,5	0,88	2,5	2,1	1,6	6,5	$35,3 \cdot 10^{-4}$
4А100S2У3	4,0	2880	86,5	0,89	2,5	2,0	1,6	7,5	$59,3 \cdot 10^{-4}$
4А100Л2У3	5,5	2880	87,5	0,91	2,5	2,0	1,6	7,5	$75 \cdot 10^{-4}$
4А112М2У3	7,5	2900	87,5	0,88	2,8	2,0	1,8	7,5	$1,0 \cdot 10^{-4}$
4А132М2У3	11,0	2900	88,0	0,90	2,8	1,7	1,5	7,5	$2,25 \cdot 10^{-4}$
4А160S2У3	15,0	2940	88,0	0,91	2,2	1,4	1,0	7,0	$4,75 \cdot 10^{-4}$
4А160М2У3	18,5	2940	88,5	0,92	2,2	1,4	1,0	7,0	$5,25 \cdot 10^{-4}$
4А180S2У3	22,0	2940	88,5	0,91	2,5	1,4	1,1	7,5	$7,0 \cdot 10^{-4}$
4А180М2У3	30,0	2945	90,5	0,90	2,5	1,4	1,1	7,5	$8,5 \cdot 10^{-4}$
4А200М2У3	37,0	2945	90,0	0,89	2,5	1,4	1,0	7,5	$14,5 \cdot 10^{-4}$
4А200Л2У3	45,0	2945	91,0	0,90	2,5	1,4	1,0	7,5	$16,8 \cdot 10^{-4}$
4Л225М2У3	55,0	2945	91,0	0,92	2,5	1,4	1,2	7,5	$25 \cdot 10^{-2}$
4А250S2У3	75,0	2960	91,0	0,89	2,5	1,2	1,0	7,5	$46,5 \cdot 10^{-2}$
4А250М2У3	90,0	2960	92,0	0,90	2,5	1,2	1,0	7,5	$52 \cdot 10^{-2}$
4А280S2У3	110,0	2970	91,0	0,89	2,2	1,2	1,0	7,0	1,09
4А280М2У3	132,0	2970	91,5	0,89	2,2	1,2	1,0	7,0	1,19
4А315S2У3	160,0	2970	92,0	0,90	2,2	1,2	0,9	6,5	1,4
4А315М2У3	200,0	2970	92,5	0,90	2,2	1,2	0,9	7,0	1,63
4А355S2У3	250,0	2970	92,5	0,90	1,9	1,0	0,9	7,0	2,85
4А355М2У3	315,0	2970	93,0	0,91	1,9	1,0	0,9	7,0	3,23
<i>1500 об/мин (синхр.)</i>									
4АА50А4У3	0,06	1380	50,0	0,60	2,2	2,0	1,7	2,5	$0,29 \cdot 10^{-4}$
4АА50В4У3	0,09	1370	55,0	0,60	2,2	2,0	1,7	2,5	$0,325 \cdot 10^{-4}$

Тип двигателя	$P_{ном}$ , кВт	При номинальной нагрузке			$\frac{M_{max}}{M_{ном}}$	$\frac{M_{л}}{M_{ном}}$	$\frac{M_{min}}{M_{ном}}$	$\frac{I_{л}}{I_{ном}}$	$J$ , кг · м <sup>2</sup>
		$n$ , об/мин	$\eta$ , %	$\cos\phi_1$					
4AA56A4Y3	0,12	1375	63,0	0,66	2,2	2,1	1,5	3,5	$7,0 \cdot 10^{-4}$
4AA56B4Y3	0,18	1365	64,0	0,64	2,2	2,1	1,5	3,5	$7,88 \cdot 10^{-4}$
4AA63A4Y3	0,25	1380	68,0	0,65	2,2	2,0	1,5	4,0	$12,4 \cdot 10^{-4}$
4AA63B4Y3	0,37	1365	68,0	0,69	2,2	2,0	1,5	4,0	$13 \cdot 10^{-4}$
4A71A4Y3	0,55	1390	70,5	0,70	2,2	2,0	1,8	4,5	$13,8 \cdot 10^{-4}$
4A71B4Y3	0,75	1390	72,0	0,73	2,2	2,0	1,8	4,5	$14,3 \cdot 10^{-4}$
4A80A4Y3	1,10	1420	75,0	0,81	2,2	2,0	1,6	5,0	$32,3 \cdot 10^{-4}$
4A80B4Y3	1,50	1415	77,0	0,83	2,2	2,0	1,6	5,0	$33,3 \cdot 10^{-4}$
4A90L4Y3	2,20	1425	80,0	0,83	2,4	2,1	1,6	6,0	$56 \cdot 10^{-4}$
4A100S4Y3	3,0	1435	82,0	0,83	2,4	2,0	1,6	6,0	$86,8 \cdot 10^{-4}$
4A100L4Y3	4,0	1430	84,0	0,84	2,4	2,0	1,6	6,0	$1,13 \cdot 10^{-2}$
4АП2M4Y3	5,50	1445	85,5	0,85	2,2	2,0	1,6	7,0	$1,75 \cdot 10^{-2}$
4A132S4Y3	7,5	1455	87,5	0,86	3,0	2,2	1,7	7,5	$2,75 \cdot 10^{-2}$
4A132M4Y3	11,0	1460	87,5	0,87	3,0	2,2	1,7	7,5	$4 \cdot 10^{-2}$
4A160S4Y3	15,0	1465	88,5	0,88	2,3	1,4	1,0	7,0	$10,3 \cdot 10^{-2}$
4A160M4Y3	18,5	1465	89,5	0,88	2,3	1,4	1,0	7,0	$12,8 \cdot 10^{-2}$
4A180S4Y3	22,0	1470	90,0	0,90	2,3	1,4	1,0	6,5	$19 \cdot 10^{-2}$
4A180M4Y3	30,0	1470	91,0	0,90	2,3	1,4	1,0	6,5	$23,3 \cdot 10^{-2}$
4A200M4Y3	37,0	1475	91,0	0,90	2,5	1,4	1,0	7,0	$36,8 \cdot 10^{-2}$
4A200L4Y3	45,0	1475	92,0	0,90	2,5	1,4	1,0	7,0	$44,5 \cdot 10^{-2}$
4A225M4Y3	55,0	1480	92,5	0,90	2,5	1,3	1,0	7,0	$64 \cdot 10^{-2}$
4A250S4Y3	75,0	1480	93,0	0,90	2,3	1,2	1,0	7,0	1,02
4A250M4Y3	90,0	1480	93,0	0,91	2,3	1,2	1,0	7,0	1,17
4A280S4Y3	110,0	1470	92,5	0,90	2,0	1,2	1,0	5,5	2,3
4A280M4Y3	132,0	1480	93,0	0,90	2,0	1,3	1,0	5,5	2,48
4A315S4Y3	160,0	1480	93,5	0,91	2,2	1,3	0,9	6,0	3,08
4A315M4Y3	200,0	1480	94,0	0,92	2,2	1,3	0,9	6,0	3,63
4A355S4Y3	250,0	1485	94,5	0,92	2,0	1,2	0,9	7,0	6,0
4A355M4Y3	315,0	1485	94,5	0,92	2,0	1,2	0,9	7,0	7,05
<i>1000 об/мин (синхр.)</i>									
4AA63A6Y3	0,18	885	56,0	0,62	2,2	2,2	1,5	3,0	$17,4 \cdot 10^{-4}$
4AA63B6Y3	0,25	890	59,0	0,62	2,2	2,2	1,5	3,0	$19 \cdot 10^{-4}$
4A71A6Y3	0,37	910	64,5	0,69	2,2	2,0	1,8	4,0	$19,3 \cdot 10^{-4}$
4A71B6Y3	0,55	900	67,5	0,71	2,2	2,0	1,8	4,0	$20,3 \cdot 10^{-4}$
4A80A6Y3	0,75	915	69,0	0,74	2,2	2,0	1,6	4,0	$46 \cdot 10^{-4}$
4A80B6Y3	1,10	920	74,0	0,74	2,2	2,0	1,6	4,0	$46,3 \cdot 10^{-4}$
4A90L6Y3	1,50	935	75,0	0,74	2,2	2,0	1,7	4,5	$73,5 \cdot 10^{-4}$
4A100L6Y3	2,20	950	81,0	0,73	2,2	2,0	1,6	5,0	$1,36 \cdot 10^{-2}$

Тип двигателя	$P_{ном}$ , кВт	При номинальной нагрузке			$\frac{M_{max}}{M_{ном}}$	$\frac{M_{л}}{M_{ном}}$	$\frac{M_{min}}{M_{ном}}$	$\frac{I_{л}}{I_{ном}}$	$J$ , кг · м <sup>2</sup>
		$n$ , об/мин	$\eta$ , %	$\cos\phi_1$					
4A112MA6Y3	3,00	955	81,0	0,76	2,5	2,0	1,8	6,0	$1,75 \cdot 10^{-2}$
4A112MB6Y3	4,0	950	82,0	0,81	2,5	2,0	1,8	6,0	$2,0 \cdot 10^{-2}$
4A132S6Y3	5,50	965	85,0	0,80	2,5	2,0	1,8	6,5	$4,0 \cdot 10^{-2}$
4A132M6Y3	7,50	970	85,5	0,81	2,5	2,0	1,8	6,5	$5,75 \cdot 10^{-2}$
4A160S5Y3	11,0	975	86,0	0,86	2,0	1,2	1,0	6,0	$13,8 \cdot 10^{-2}$
4A160M6Y3	15,0	975	87,5	0,87	2,0	1,2	1,0	6,0	$18,3 \cdot 10^{-2}$
4A180M6Y3	18,5	975	88,0	0,87	2,0	1,2	1,0	5,0	$22,0 \cdot 10^{-2}$
4A200M6Y3	22,0	975	90,0	0,90	2,4	1,3	1,0	6,5	$40 \cdot 10^{-2}$
4A200L6Y3	30,0	980	90,5	0,90	2,4	1,3	1,0	6,5	$45,3 \cdot 10^{-2}$
4A225M6Y3	37,0	980	91,0	0,89	2,3	1,2	1,0	6,5	$73,8 \cdot 10^{-2}$
4A250S6Y3	45,0	985	91,5	0,89	2,1	1,2	1,0	6,5	1,16
4A250M6Y3	55,0	985	91,5	0,89	2,1	1,2	1,0	6,5	1,26
4A280S6Y3	75,0	985	92,0	0,89	2,2	1,4	1,2	5,5	2,93
4A280M6Y3	90,0	985	92,5	0,89	2,2	1,4	1,2	5,5	3,38
4A31586Y3	110,0	985	93,0	0,90	2,2	1,4	0,9	6,5	4,0
4A315M6Y3	132,0	985	93,0	0,90	2,2	1,4	0,9	6,5	4,5
4A355S6Y3	160,0	985	93,5	0,90	2,2	1,4	0,9	6,5	7,33
4A355M6Y3	200,0	985	94,0	0,90	2,2	1,4	0,9	6,5	8,8
<i>750 об/мин (синхр.)</i>									
4A71B8Y3	0,25	680	56,0	0,65	1,7	1,6	1,2	3,0	$18,5 \cdot 10^{-4}$
4A80A8Y3	0,37	675	61,5	0,65	1,7	1,6	1,2	3,5	$33,8 \cdot 10^{-4}$
4A80B8Y3	0,55	700	64,0	0,65	1,7	1,6	1,2	3,5	$40,5 \cdot 10^{-4}$
4A90LA8Y3	0,75	700	68,0	0,62	1,9	1,6	1,2	3,5	$67,5 \cdot 10^{-4}$
4A90LB8Y3	1,10	700	70,0	0,68	1,9	1,6	1,2	3,5	$86,3 \cdot 10^{-4}$
4A100L8Y3	1,50	700	74,0	0,65	1,9	1,6	1,2	4,0	$1,3 \cdot 10^{-4}$
4A112MA8Y3	2,20	700	76,5	0,71	2,2	1,9	1,4	5,0	$1,75 \cdot 10^{-4}$
4A112MB8Y3	3,0	700	79,0	0,74	2,2	1,9	1,4	5,0	$2,5 \cdot 10^{-4}$
4A132S8Y3	4,0	720	83,0	0,70	2,2	1,9	1,4	5,5	$4,25 \cdot 10^{-4}$
4A132M8Y3	5,50	720	83,0	0,74	2,6	1,9	1,4	5,5	$5,75 \cdot 10^{-2}$
4A160S8Y3	7,50	730	86,0	0,75	2,2	1,4	1,0	6,0	$13,8 \cdot 10^{-2}$
4A160M8Y3	11,0	730	87,0	0,75	2,2	1,4	1,0	6,0	$18 \cdot 10^{-2}$
4A180M8Y3	15,0	730	87,0	0,82	2,0	1,2	1,0	6,0	$25 \cdot 10^{-2}$
4A200M8Y3	18,5	735	88,5	0,84	2,2	1,2	1,0	5,5	$40 \cdot 10^{-2}$
4A200L8Y3	22,0	730	88,5	0,84	2,0	1,2	1,0	5,5	$45,3 \cdot 10^{-2}$
4A225M8Y3	30,0	735	90,0	0,81	2,1	1,3	1,0	6,0	$73,8 \cdot 10^{-2}$
4A250S8Y3	37,0	735	90,0	0,83	2,0	1,2	1,0	6,0	1,16
4A250M8Y3	45,0	740	91,0	0,84	2,0	1,2	1,0	6,0	1,36
4A280S8Y3	55,0	735	92,0	0,84	2,0	1,2	1,0	5,5	3,18

Тип двигателя	$P_{ном}$ , кВт	При номинальной нагрузке			$\frac{M_{max}}{M_{ном}}$	$\frac{M_{л}}{M_{ном}}$	$\frac{M_{min}}{M_{ном}}$	$\frac{I_{л}}{I_{ном}}$	$J$ , кг · м <sup>2</sup>
		$n$ , об/мин	$\eta$ , %	$\cos\phi_1$					
4А280М8У3	75,0	735	92,5	0,85	2,0	1,2	1,0	5,5	4,13
4А315S8У3	90,0	740	93,0	0,85	2,3	1,2	0,9	6,5	4,93
4А315М8У3	110,0	740	93,0	0,85	2,3	1,2	0,9	6,5	5,85
4А355S8У3	132,0	740	93,5	0,85	2,2	1,2	0,9	6,5	9,05
4А355М8У3	160,0	740	93,5	0,85	2,2	1,2	0,9	6,5	10,2
<i>600 об/мин (синхр.)</i>									
4А250S10У3	30,0	590	88,0	0,81	1,9	1,2	1,0	6,0	1,36
4А250М10У3	37,0	590	89,0	0,81	1,9	1,2	1,0	6,0	1,61
4А280S10У3	37,0	590	91,0	0,78	1,8	1,0	1,0	6,0	3,6
4А280МЮУ3	45,0	590	91,5	0,78	1,8	1,0	1,0	6,0	3,78
4А315S10У3	55,0	590	92,0	0,79	1,8	1,0	0,9	6,0	5,25
4А315М10У3	75,0	590	92,0	0,80	1,8	1,0	0,9	6,0	6,18
4А355S10У3	90,0	590	92,5	0,83	1,8	1,0	0,9	6,0	9,33
4А355М10У3	110,0	590	93,0	0,83	1,8	1,0	0,9	6,0	10,9
<i>500 об/мин (синхр.)</i>									
4А315S12У3	45,0	490	90,5	0,75	1,8	1,0	0,9	6,0	5,25
4А315М12У3	55,0	490	91,0	0,75	1,8	1,0	0,9	6,0	6,18
4А355S12У3	75,0	490	91,5	0,76	1,8	1,0	0,9	6,0	9,33
4А355М12У3	90,0	490	92,0	0,76	1,8	1,0	0,9	6,0	10,9

Технические данные асинхронных электродвигателей  
с короткозамкнутым ротором серии 4А основного исполнения (защищенные)

Тип двигателя	$P_{ном}$ (кВт)	При номинальной нагрузке			$\frac{M_{max}}{M_{ном}}$	$\frac{M_{л}}{M_{ном}}$	$\frac{M_{min}}{M_{ном}}$	$\frac{I_{л}}{I_{ном}}$	$J$ , кг · м <sup>2</sup>
		$n$ (об/мин)	$\eta$ (%)	$\cos\phi_1$					
<i>3000 об/мин (синхр.)</i>									
4АН160S2У3	22,0	2915	88,0	0,88	2,2	1,3	1,0	7,0	$4,25 \cdot 10^{-2}$
4АН160М2У3	30,0	2915	90,0	0,91	2,2	1,3	1,0	7,0	$6,5 \cdot 10^{-2}$
4АН180S2У3	37,0	2945	91,0	0,91	2,2	1,3	1,0	7,0	$8,0 \cdot 10^{-2}$
4АН180М2У3	45,0	2945	91,0	0,91	2,2	1,3	1,0	7,0	$9,25 \cdot 10^{-2}$
4АН200М2У3	55,0	294С	91,0	0,90	2,5	1,3	1,0	7,0	$16,0 \cdot 10^{-2}$
4АН200L2У3	75,0	2940	92,0	0,90	2,5	1,3	1,0	7,0	$19,0 \cdot 10^{-2}$
4АН225М2У3	90,0	2945	92,0	0,88	2,2	1,2	1,0	7,0	$23,8 \cdot 10^{-2}$
4АН250S2У3	110,0	2950	93,0	0,86	2,2	1,2	1,0	7,0	$44,3 \cdot 10^{-2}$
4АН250М2У3	132,0	2945	93,0	0,88	2,2	1,2	1,0	7,0	$49,5 \cdot 10^{-2}$
4АН280S2У3	160,0	2960	94,0	0,90	2,2	1,2	1,0	6,5	$77,5 \cdot 10^{-2}$
4АН280М2У3	200,0	2960	94,5	0,90	2,2	1,2	1,0	6,5	1,03
4АН315М2У3	250,0	2970	94,5	0,91	2,1	1,0	0,9	6,0	1,7

Тип двигателя	$P_{ном}$ , кВт	При номинальной нагрузке			$\frac{M_{max}}{M_{ном}}$	$\frac{M_{л}}{M_{ном}}$	$\frac{M_{min}}{M_{ном}}$	$\frac{I_{л}}{I_{ном}}$	$J$ , кг · м <sup>2</sup>
		$n$ , об/мин	$\eta$ , %	$\cos\phi_1$					
4АН355S2У3	315,0	2970	94,5	0,92	2,1	1,0	0,9	7,0	2,38
4АН355M2У3	400,0	2970	95,0	0,92	2,1	1,0	0,9	7,0	2,85
<i>1500 об/мин (синхр.)</i>									
4АН160S4У3	18,5	1450	88,5	0,87	2,1	1,3	1,0	6,5	$9,25 \cdot 10^{-2}$
4АН160M4У3	22,0	1458	90,0	0,88	2,1	1,3	1,0	6,5	$11,8 \cdot 10^{-2}$
4АН180S4У3	30,0	1465	90,0	0,84	2,2	1,2	1,0	6,5	$17,8 \cdot 10^{-2}$
4АН180M4У3	37,0	1470	90,5	0,89	2,2	1,2	1,0	6,5	$21,8 \cdot 10^{-2}$
4АН200M4У3	45,0	1475	91,0	0,89	2,5	1,3	1,0	6,5	$34,5 \cdot 10^{-2}$
4АН200L4У3	55,0	1475	92,0	0,89	2,5	1,3	1,0	6,5	$42,3 \cdot 10^{-2}$
4АН225M4У3	75,0	1475	92,5	0,89	2,2	1,2	1,0	6,5	$61,8 \cdot 10^{-2}$
4АН250S4У3	90,0	1480	93,5	0,89	2,2	1,2	1,0	6,5	$88,3 \cdot 10^{-2}$
4АН250M4У3	110,0	1475	93,5	0,89	2,2	1,2	1,0	6,5	$95,8 \cdot 10^{-2}$
4АН280S4У3	132,0	1470	93,0	0,89	2,0	1,2	1,0	6,0	1,83
4АН280M4У3	160,0	1470	93,5	0,90	2,0	1,2	1,0	6,0	2,13
4АН315S4У3	200,0	1475	94,0	0,91	2,0	1,2	0,9	6,0	3,15
4АН315M4У3	250,0	1475	94,0	0,91	2,0	1,2	0,9	6,0	3,7
4АН355S4У3	315,0	1485	94,5	0,91	2,0	1,0	0,9	7,0	5,75
4АН355M4У3	400,0	1485	94,5	0,91	2,0	1,0	0,9	7,0	7,0
<i>1000 об/мин (синхр.)</i>									
4АН180S6У3	18,5	975	87,0	0,85	2,0	1,2	1,0	6,0	$18,8 \cdot 10^{-2}$
4АН180M6У3	22,0	975	88,5	0,87	2,0	1,2	1,0	6,0	$23,5 \cdot 10^{-2}$
4АН200M6У3	30,0	975	90,0	0,88	2,1	1,3	1,0	6,0	$37,8 \cdot 10^{-2}$
4АН200L6У3	37,0	980	90,5	0,88	2,1	1,3	1,0	6,5	$43,0 \cdot 10^{-2}$
4АН225M6У3	45,0	980	91,0	0,87	2,0	1,2	1,0	6,5	$70,3 \cdot 10^{-2}$
4АН250S6У3	55,0	985	92,5	0,87	2,0	1,2	1,0	6,5	1,09
4АН250M6У3	75,0	985	93,0	0,87	2,0	1,2	1,0	7,0	1,4
4АН280S6У3	90,0	980	92,5	0,89	2,0	1,2	1,0	6,0	2,5
4АН280M6У3	110,0	980	92,5	0,89	2,0	1,2	1,0	6,0	2,88
4АН315S6У3	132,0	985	93,0	0,89	2,0	1,2	1,0	6,6	4,45
4АН315M6У3	160,0	985	93,5	0,89	2,0	1,2	1,0	6,0	5,13
4АН355S6У3	200,0	985	94,0	0,90	2,0	1,2	1,0	6,0	7,8
4АН355M6У3	250,0	985	94,0	0,90	2,0	1,2	1,0	6,0	9,5
<i>750 об/мин (синхр.)</i>									
4АН180S8У3	15,0	730	85,0	0,80	1,9	1,2	1,0	5,5	$23,5 \cdot 10^{-2}$
4АН180M8У3	18,5	730	87,5	0,80	1,9	1,2	1,0	5,5	$29,8 \cdot 10^{-2}$
4АН200M8У3	22,0	730	89,0	0,84	2,0	1,3	1,0	5,5	$49,0 \cdot 10^{-2}$
4АН200L8У3	30,0	730	89,5	0,82	2,0	1,3	1,0	5,5	$58,3 \cdot 10^{-2}$
4АН225M8У3	37,0	735	90,0	0,81	1,9	1,2	1,0	5,5	$82,5 \cdot 10^{-2}$



Тип двигателя	$P_{ном}$ , кВт	При номинальной нагрузке			$\frac{M_{max}}{M_{ном}}$	$\frac{M_{л}}{M_{ном}}$	$\frac{M_{min}}{M_{ном}}$	$\frac{I_{л}}{I_{ном}}$	$J$ , кг · м <sup>2</sup>
		$n$ , об/мин	$\eta$ , %	$\cos\phi_1$					
4АН250S8У3	45,0	740	91,0	0,81	1,9	1,2	1,0	5,5	1,19
4АН250M8У3	55,0	735	92,0	0,81	1,9	1,2	1,0	6,0	1,4
4АН280S8У3	75,0	735	92,0	0,85	1,9	1,2	1,0	5,5	3,0
4АН280M8У3	90,0	735	92,5	0,86	1,9	1,2	1,0	5,5	3,38
4АН315S8У3	110,0	735	93,0	0,86	1,9	1,2	1,0	5,5	6,08
4АН315M8У3	132,0	735	93,0	0,86	1,9	1,2	1,0	5,0	7,0
4АН355S8У3	160,0	740	93,5	0,86	1,9	1,2	1,0	5,5	9,75
4ЛН355M8У3	200,0	740	94,0	0,86	1,9	1,2	1,0	5,5	11,9
<i>600 об/мин (синхр.)</i>									
4АН280S10У3	45,0	585	90,0	0,81	1,8	1,0	1,0	5,5	3,23
4ЛН280M10У3	55,0	585	90,5	0,81	1,8	1,0	1,0	5,5	3,75
4АН315S10У3	75,0	590	91,0	0,82	1,8	1,0	0,9	5,5	5,63
4АН315M10У3	90,0	590	91,5	0,82	1,8	1,0	0,9	5,5	6,63
4АН355S10У3	110,0	590	92,0	0,83	1,8	1,0	0,9	5,5	9,68
4АН355M10У3	132,0	590	92,5	0,83	1,8	1,0	0,9	5,5	11,0
<i>500 об/мин (синхр.)</i>									
4АН315S12У3	55,0	490	90,5	0,78	1,8	1,0	0,9	5,5	5,63
4АН315M12У3	75,0	490	91,0	0,78	1,8	1,0	0,9	5,5	6,63
4АН355S12У3	90,0	490	91,5	0,77	1,8	1,0	0,9	5,5	9,68
4АН355M12У3	110,0	490	92,0	0,77	1,8	1,0	0,9	5,5	11,0

## СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Немцов М.В. Курс электротехники / М.В. Немцов, А.С. Касаткин. -М.: Высш. шк., 2005.
2. Жаворонков М.А. Электротехника и электроника. / М.А. Жаворонков. - М.: Академия, 2005.