

**Настоящие методические указания предназначены для самостоятельной работы при выполнении домашних контрольных заданий. Приведены методики расчета и примеры выполнения задач, необходимые справочные данные, варианты контрольных заданий. Рекомендованы студентам-заочникам всех специальностей и самостоятельно изучающим курс.**

**Составитель канд.техн.наук, доц. Л.М.Забелина**

**Научный редактор канд.техн.наук Е.Л.Файн**

## Перечень литературы

1. Касаткин А.С., Немцов М.В. Электротехника. М., Высшая школа, 2002.
2. Прянишников В.А. Электроника: Полный курс лекций. – СПб.: КОРОНА принт, 2004
3. Данилов И.А., Иванов П.М. Общая электротехника с основами электроники; М. Высшая школа, 2000.
4. Сборник задач по электротехнике и основам электроники / под ред. Герасимова В.Г. - М., Высшая школа, 1987.
5. Электротехника и основы электроники / Соколов Б.П., Соколов В.Б.- М.: Высш.шк., 1985.

### *Общие методические указания к контрольным работам*

Контрольные задания по курсу выполнены 50-вариантными. Вариант определяется двумя последними цифрами номера зачетной книжки студента. Если две последние цифры более 50, то для определения варианта необходимо вычесть 50.

Объем контрольного задания устанавливает преподаватель по решению кафедры.

Контрольные работы должны отвечать следующим требованиям.

1. При оформлении каждого задания необходимо привести краткое условие, расчетную схему и исходные данные своего варианта.
2. В ходе решения давать краткие пояснения, указывать необходимые расчетные формулы и затем подставить числовые значения величин,
3. Приводить размерности полученных при расчетах значений.
4. Результаты вычислений записывать с точностью до третьей значащей цифры.
5. Схемы, диаграммы, графики выполнять аккуратно, в удобном для восприятия масштабе.
6. Схемы вычерчивать в соответствии с требованиями ЕСКД.

### *Методические указания по анализу электрических цепей*

#### *Электрические цепи постоянного тока с одним источником*

Рассмотрим электрическую цепь, схема которой изображена на рис. 1. Пусть известны значения сопротивления резисторов  $R_1, R_2, R_3, R_4, R_5, R_6$ , э. д. с.  $E$  и её внутреннее сопротивление  $R_0$ . Требуется определить токи во всех участках цепи и напряжение, которое покажет вольтметр (сопротивление его бесконечно велико), включенный между точками схемы  $a$  и  $d$ .

Такие задачи решаются методом свёртывания схемы, по которому отдельные участки схемы упрощают и постепенным преобразованием приводят схему к одному эквивалентному (входному) сопротивлению

относительно зажимов источника питания. Схема упрощается с помощью замены группы последовательно или параллельно соединенных резисторов одним эквивалентным по сопротивлению. Так, резисторы  $R_4$  и  $R_5$  соединены последовательно в резистор  $R_6$  – с ними параллельно, поэтому их эквивалентное сопротивление

$$R_{456} = R_4 R_5 R_6 / (R_4 R_5 + R_4 R_6 + R_5 R_6), \text{ где } R_{45} = R_4 + R_5$$

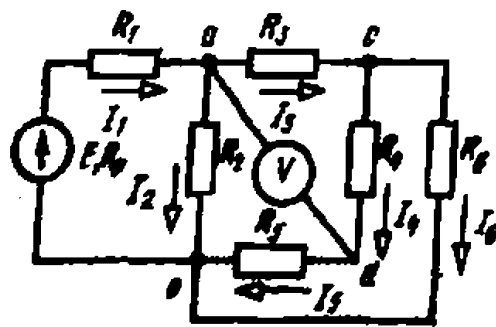


рис.1

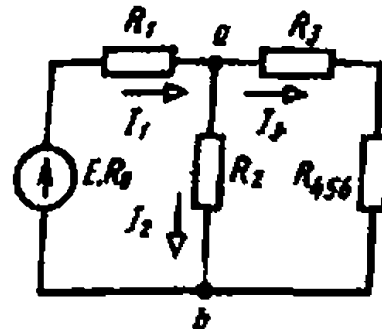


рис.2

После произведённых преобразований схема принимает вид, показанный на рис. 2, а эквивалентное сопротивление всей цепи найдём из уравнения

$$R_{\text{эк}} = R_0 + R_1 + \frac{R_2(R_3 + R_{456})}{R_2 + R_3 + R_{456}}$$

Ток  $I_1$ , в неразветвленной части схемы определим по закону Ома:

$$I_1 = E / R_{\text{эк}}$$

Воспользовавшись схемой (рис. 2), найдем токи  $I_2$  и  $I_3$ :

$$I_2 = I_1 \frac{R_3 + R_{456}}{R_2 + R_3 + R_{456}}; \quad I_3 = I_1 \frac{R_2}{R_2 + R_3 + R_{456}}$$

Переходя к рис. 1, определим токи  $I_4$ ,  $I_5$  и  $I_6$  по аналогичным уравнениям:

$$I_4 = I_3 = I_5 \frac{R_6}{R_4 + R_5 + R_6}; \quad I_6 = I_3 = \frac{R_4 + R_5}{R_4 + R_5 + R_6}$$

Зная ток  $I_1$ , можно найти токи  $I_2$  и  $I_3$  по-другому.

Согласно второму закону Кирхгофа

$$U_{ab} = E - (R_0 + R_1)I_1, \quad \text{тогда } I_2 = U_{ab} / R_2.$$

Показания вольтметра можно определить, составив уравнение по второму закону Кирхгофа, например для контура  $acda$ :  $R_3 I_3 + R_4 I_4 = U_{cd}$

Для проверки решения можно воспользоваться первым законом Кирхгофа и уравнением баланса мощностей, которые для схемы, изображенной на рис. 1, примут вид

$$I_1 = I_2 + I_3; \quad I_3 = I_4 + I_6;$$

$$EI_1 = (R_0 + R_1)I_1^2 + R_2 I_2^2 + R_3 I_3^2 + (R_4 + R_5)I_4^2 + R_6 I_6^2$$

Классическим методом расчета таких цепей является непосредственное применение законов Кирхгофа. Все остальные методы расчета исходят из этих фундаментальных законов электротехники.

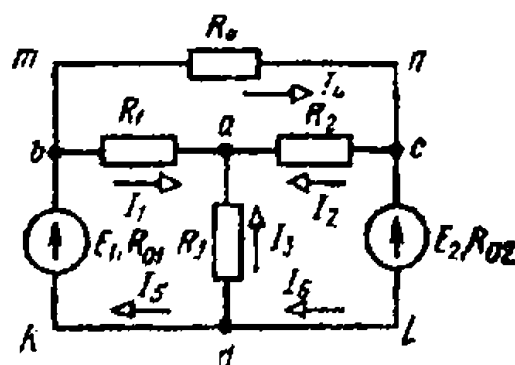


Рис.3

Порядок расчета следующий.

1. Если цепь содержит последовательные и параллельные соединения, то ее упрощают, заменяя эти соединения эквивалентными.
2. Произвольно указывают направление токов во всех ветвях. Если принятое направление тока не совпадает с действительным, то при расчете такие токи получаются со знаками минус.
3. Составляют  $p = n - 1$  уравнений по первому закону Кирхгофа, где  $n$  – число узлов.
4. Недостающие уравнения в количестве  $q = m - (n - 1)$ , где  $m$  – число ветвей, составляют по второму закону Кирхгофа выбрав направление обхода контура. При этом обход контура можно производить как по часовой стрелке, так и против нее. За положительные э.д.с. и токи принимаются такие, направления которых совпадают с направлением обхода контура. Направление действия э.д.с. внутри источника всегда принимают от минуса к плюсу (рис. 3).
5. Полученную систему уравнений решают относительно неизвестных токов.

Составим расчетные уравнения для электрической цепи изображенной на рис. 3. Выбрав произвольно направление токов в ветвях цепи, составляем уравнение по первому закону Кирхгофа для узлов a, b, c:

$$\left. \begin{aligned} I_1 + I_2 + I_3 &= 0, \\ I_5 - I_1 - I_4 &= 0, \\ I_4 - I_2 - I_6 &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Приняв направление обхода контуров по часовой стрелке, составляем уравнения по второму закону Кирхгофа для трех произвольно выбранных контуров:

Для контура adkba

$$E_1 = R_1 I_1 - R_3 I_3 + R_{01} I_5; \quad (2)$$

Для контура bacldkb

$$E_1 - E_2 = R_1 I_1 - R_2 I_2 + R_{01} I_3 + R_{02} I_6; \quad (3)$$

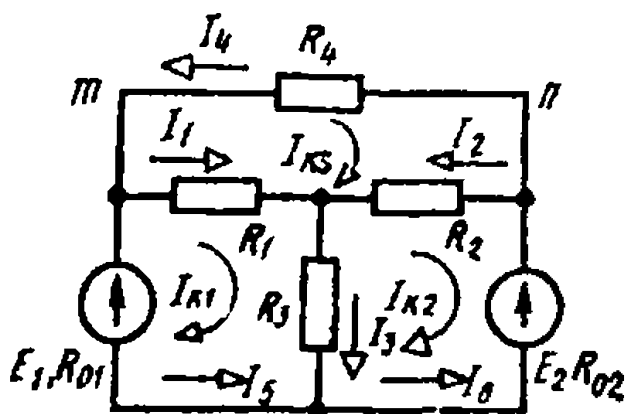
Для контура  $bmncab$

$$0 = R_1 I_1 + R_2 I_2 + R_4 I_4. \quad (4)$$

Решая совместно уравнения (1), (2), (3) и (4), определяем токи в ветвях электрической цепи.

Легко заметить, что решение полученной системы из шести уравнений является весьма трудоемкой операцией. Поэтому при анализе электрических цепей с несколькими источниками целесообразно применять метод контурных токов (метод ячеек), позволяющий уменьшить число совместно решаемых уравнений, составляемым по двум законам Кирхгофа, на число уравнений, записанных по первому закону Кирхгофа. Следовательно, число уравнений, составляемых по методу контурных токов, равно  $m - n + 1$ . При решении этим методом количество уравнений определяется числом ячеек. *Ячейкой* называют такой контур, внутри которого отсутствуют ветви. В данном случае таких контуров-ячеек три:  $badkb$ ,  $aclda$ ,  $mncabm$ .

Расчет сложных электрических цепей методом контурных токов ведется следующим образом.



1. Вводя понятие контурный ток», произвольно задаемся направлением этих токов в ячейках. Удобнее все токи указать в одном направлении, например по часовой стрелке (рис. 4).

Рис. 4

2. Составляем для каждого контура-ячейки уравнение по второму закону Кирхгофа. Обход контуров производим по часовой стрелке:

Первый контур

$$E_1 = (R_{01} + R_1 + R_3) I_{K1} - R_3 I_{K2} - R_1 I_{K3}; \quad (5)$$

Второй контур

$$-E_2 = -R_3 I_{K1} + (R_{02} + R_2 + R_3) I_{K2} - R_2 I_{K3}; \quad (6)$$

Третий контур

$$0 = -R_1 I_{K1} - R_2 I_{K2} + (R_1 + R_2 + R_4) I_{K3}. \quad (7)$$

3. Решая совместно уравнение (5), (6), (7) определяем контурные токи. В том случае, когда контурный ток получается со знаком минус, это означает, что его направление противоположно выбранному на схеме.

4. Токи во внутренних ветвях схемы определяются как сумма или разность соответствующих контурных токов. В том случае, когда контурные токи ветвей совпадают, берут сумму, а когда направлены навстречу – из большего тока вычитают меньший.

5. Токи во внешних ветвях схемы по значению равны соответствующим контурным токам.

**Задача 1.** Найти токи в цепи, схема которой изображена на рис. 5. Задано:  $E_1=100\text{В}$ ,  $E_2=120\text{В}$ ,  $R_{01}=R_{02}=0.5\ \text{Ом}$ ,  $R_1=5\text{Ом}$ ,  $R_2=10\text{Ом}$ ,  $R_3=2\text{Ом}$ ,  $R_4=10\text{Ом}$ . Определить токи в ветвях цепи.

Решение. Используя уравнения (5), (6), (7) получаем:

$$\left. \begin{aligned} 100 &= 7,5I_{K1} - 2I_{K2} - 5I_{K3}, \\ -120 &= -2I_{K1} + 12,5I_{K2} - 10I_{K3}, \\ 0 &= -5I_{K1} - 10I_{K2} + 25I_{K3}, \end{aligned} \right\}$$

Выразив  $I_{K3}$  через  $I_{K1}$  и  $I_{K2}$ :

$$I_{K3} = \frac{5}{25} I_{K1} + \frac{10}{25} I_{K2}$$

И произведя соответствующие подстановки, получаем

$$\left. \begin{aligned} 100 &= 6,5I_{K2} - 4I_{K2}, \\ -120 &= -4I_{K2} + 4I_{K2}. \end{aligned} \right\}$$

Совместное решение полученных уравнений дает:

$$I_{K1} = -5,2\text{А}; \quad I_{K2} = -33,5\text{А}; \quad I_{K3} = -14,4\text{А}$$

Определим токи в ветвях:

$$\begin{aligned} I_1 &= I_{K1} - I_{K3} = -5,2 + 14,4 = 9,2\text{А} \\ I_2 &= I_{K3} - I_{K2} = -14,4 + 33,5 = 19,1\text{А} \\ I_3 &= I_{K1} - I_{K2} = -5,2 + 33,5 = 28,3\text{А} \end{aligned}$$

$$I_4 = -I_{K3} = 14,4\text{А}; \quad I_5 = -I_{K1} = 5,2\text{А}; \quad I_6 = -I_{K2} = 33,5\text{А}.$$

Метод наложения токов, основанный на принципе суперпозиции, позволяет свести расчёт разветвлённой цепи с несколькими источниками к нескольким расчётам этой же цепи, но с одним источником.

Порядок расчёта:

1) поочередно рассматривают действие в цепи только одного источника, а все остальные источники исключаются (остаются только их внутренние сопротивления);

2) рассчитываются токи в ветвях от действия каждого источника;

3) алгебраическим суммированием токов, полученных от действия каждого источника в отдельности, находят токи в ветвях цепи.

Метод является особенно эффективным при расчете токов, когда изменяется значение э.д.с. только одного источника.

В промышленной электронике, автоматике часто используют цепи, схема которых изображена на рис. 5. Такие схемы удобно анализировать с помощью метода узлового напряжения (напряжение между двумя узлами).

Задача. Найти токи и показания вольтметра в цепи, схема которой приведена на рис. 5, если  $R_1=R_2=R_3=R_4=10$  Ом.

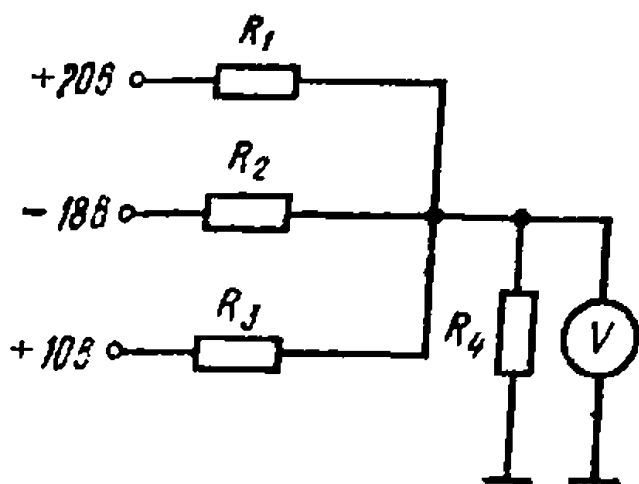


Рис.5

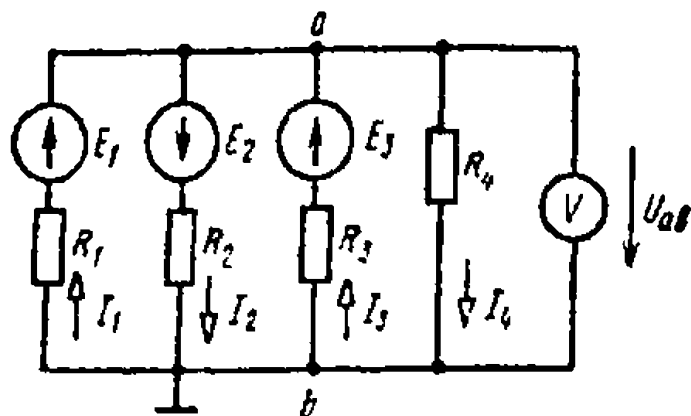


Рис.6

**Решение.** Рис. 5 соответствует схеме замещения (рис. 6):  $E_1=20$  В,  $E_2=18$  В,  $E_3=10$  В.

Найдем узловое напряжение  $U_{ab}$  (показания вольтметра):

$$U_{ab} = \frac{G_1 E_1 - G_2 E_2 + G_3 E_3}{G_1 + G_2 + G_3} = \frac{0.1 \cdot 20 - 0.1 \cdot 18 + 0.1 \cdot 10}{0.4} = 3 \text{ В.}$$

Токи в ветвях определяются по закону Ома

$$I_1 = (E_1 - U_{ab}) / R_1 = 1.7 \text{ А}; \quad I_2 = (E_2 + U_{ab}) / R_2 = 2.1 \text{ А};$$

$$I_3 = (E_3 - U_{ab}) / R_3 = 0.7 \text{ А}; \quad I_4 = U_{ab} / R_4 = 0.3 \text{ А};$$

Однофазные цепи

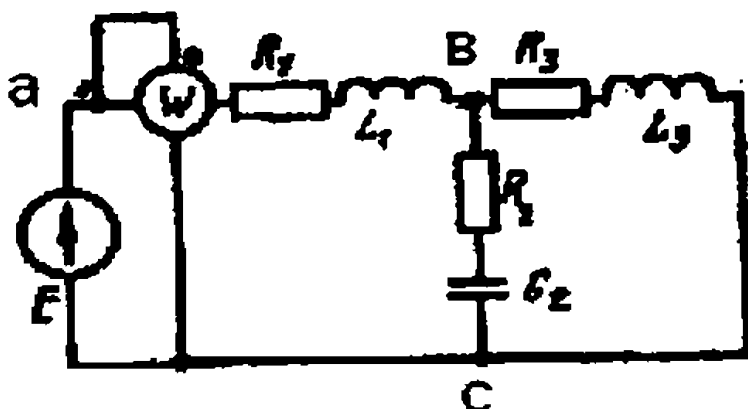


Рис. 7

**Задача 1.** Рассчитать электрическую цепь синусоидального тока со смешанным соединением приемников, схема которой изображена на рис. 7.

Дано:  $U=120$  В,  $R_1=10$  Ом,  $R_2=24$  Ом,  $R_3=15$  Ом,  $L_1=19.1$  мГ,  $C_2=455$  мкФ,  $L_3=63.5$  мГ,  $f=50$  Гц. Определить токи  $\dot{I}_1$ ,  $\dot{I}_2$ ,  $\dot{I}_3$  в ветвях цепи, напряжения на участках цепи  $\dot{U}_{ab}$ ,  $\dot{U}_{bc}$ , активную, реактивную и полную мощности и построить векторную диаграмму на комплексной плоскости.

**Решение.** Выражаем сопротивления ветвей цепи в комплексной форме:

$$\underline{Z} = R \pm jX = Z e^{\pm j\varphi},$$

$$\underline{Z}_1 = R_1 + j\omega L_1 = 10 + j2\pi \cdot 50 \cdot 19.1 \cdot 10^{-3} = (10 + j6) \text{ Ом.}$$

Переходя от алгебраической формы записи комплексного числа к показательной, получаем:

$$\underline{Z}_1 = Z_1 e^{j\varphi_1} = 11.6 e^{j31^\circ} \text{ Ом,}$$

где  $Z_1 = \sqrt{R_1^2 + (\omega L_1)^2}$ ;  $\text{tg } \varphi_1 = \frac{\omega L_1}{R_1}$ ;

$$\underline{Z}_2 = R_2 - j \frac{1}{\omega C_2} = 24 - j \frac{10^6}{2\pi \cdot 50 \cdot 455} = 24 - j7 = 25 e^{-j16^\circ 15'} \text{ Ом}$$

$$\underline{Z}_3 = R_3 + j\omega L_3 = 15 + j2\pi \cdot 50 \cdot 63.5 \cdot 10^{-3} = 15 + j20 = 25 e^{j33^\circ 05'} \text{ Ом.}$$

Выражаем заданное напряжение  $U$  в комплексной форме. Если начальная фаза напряжения не задана, то ее можно принять равной нулю и располагать вектор напряжения совпадающим с положительным направлением действительной оси. В этом случае мнимая составляющая комплексного числа отсутствует (рис. 8)  $\dot{U} = U = 120$  В.



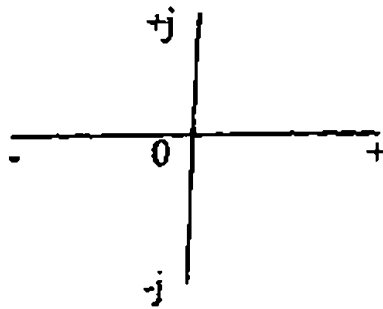


Рис.8

Полное комплексное сопротивление цепи:

$$\begin{aligned} \underline{Z} &= \underline{Z}_1 + \frac{\underline{Z}_1 \underline{Z}_2}{\underline{Z}_1 + \underline{Z}_2} = 10 + j6 + \frac{(24 - j7)(15 + j20)}{39 + j13} = \\ &= 10 + j6 + \frac{25e^{-j16^\circ 15'} * 25e^{j33^\circ 05'}}{41e^{j18^\circ 23'}} = 24.4 + j10.8 = 26.7e^{j23^\circ 55'} \text{ Ом.} \end{aligned}$$

Определяем ток в неразветвленной части цепи

$$\underline{I}_1 = \dot{U} / \underline{Z} = 120 / 26.7e^{j23^\circ 55'} = 4.5e^{-j23^\circ 55'}$$

Токи  $\underline{I}_2$  и  $\underline{I}_3$  в параллельных ветвях могут быть выражены через ток в неразветвленной части цепи:

$$\underline{I}_2 = \underline{I}_1 \frac{\underline{Z}_2}{\underline{Z}_1 + \underline{Z}_2} = 4.5e^{-j23^\circ 55'} \frac{15 + j20}{39 + j13} = 2.74e^{j10^\circ 45'} \text{ А.}$$

$$\underline{I}_3 = \underline{I}_1 \frac{\underline{Z}_1}{\underline{Z}_1 + \underline{Z}_2} = 4.5e^{-j23^\circ 55'} \frac{24 + j7}{39 + j13} = 2.74e^{j58^\circ 35'} \text{ А.}$$

Токи  $\underline{I}_2$  и  $\underline{I}_3$  можно найти иначе:

$$\dot{U}_{bc} = \underline{I}_1 \cdot \underline{Z}_{bc} = \underline{I}_1 \frac{\underline{Z}_1 \underline{Z}_2}{\underline{Z}_1 + \underline{Z}_2} = \frac{(24 - j7)(15 + j20)}{39 + j13} * 4.5e^{-j23^\circ 55'} = 68.4e^{-j5^\circ 30'} \text{ В.}$$

$$\underline{I}_2 = \dot{U}_{bc} / \underline{Z}_2 = 68.4e^{-j5^\circ 30'} / 25e^{j16^\circ 15'} = 2.7e^{j10^\circ 45'} \text{ А;}$$

$$\underline{I}_3 = \dot{U}_{bc} / \underline{Z}_3 = 68.4e^{-j5^\circ 30'} / 25e^{j53^\circ 05'} = 2.7e^{j58^\circ 35'} \text{ А;}$$

Найдём мощности всей цепи и отдельных её ветвей:

$$\underline{S} = \dot{U} \underline{I} = 120 * 4.5 e^{j23^\circ 55'} = 540 e^{j23^\circ 55'} \text{ ВА,}$$

Для определения активной и реактивной мощностей полную мощность, выраженную комплексным числом в показательной форме,

переводим в алгебраическую форму. Тогда действительная часть комплекса представляет собой активную мощность, а мнимая — реактивную:

$$S = 540 \cos 23^\circ 55' + j540 \sin 23^\circ 55' = 494 + j218 \text{ ВА},$$

откуда  $P = 494 \text{ Вт}$ ;  $Q = 218 \text{ ВАр}$ .

Активную и реактивную мощности можно найти иначе:

$$P_1 = R_1 I_1^2 = 10 \cdot 4.5^2 = 202 \text{ Вт}, \quad P_2 = R_2 \cdot I_2^2 = 180 \text{ Вт}, \\ P_3 = R_3 \cdot I_3^2 = 112 \text{ Вт}.$$

Проверка показывает, что  $P = P_1 + P_2 + P_3$

$$Q_1 = X_1 \cdot I_1^2 = 6 \cdot 4.5^2 = 122 \text{ ВАр};$$

$$Q_2 = X_2 \cdot I_2^2 = -52.5 \text{ ВАр};$$

$$Q_3 = X_3 \cdot I_3^2 = 150 \text{ ВАр};$$

Учитывая, что  $Q_1$  и  $Q_3$  положительны (реактивная мощность индуктивных катушек), а  $Q_2$  отрицательна (реактивная мощность конденсатора), получим  $Q = Q_1 - Q_2 + Q_3 = 218 \text{ ВАр}$ .

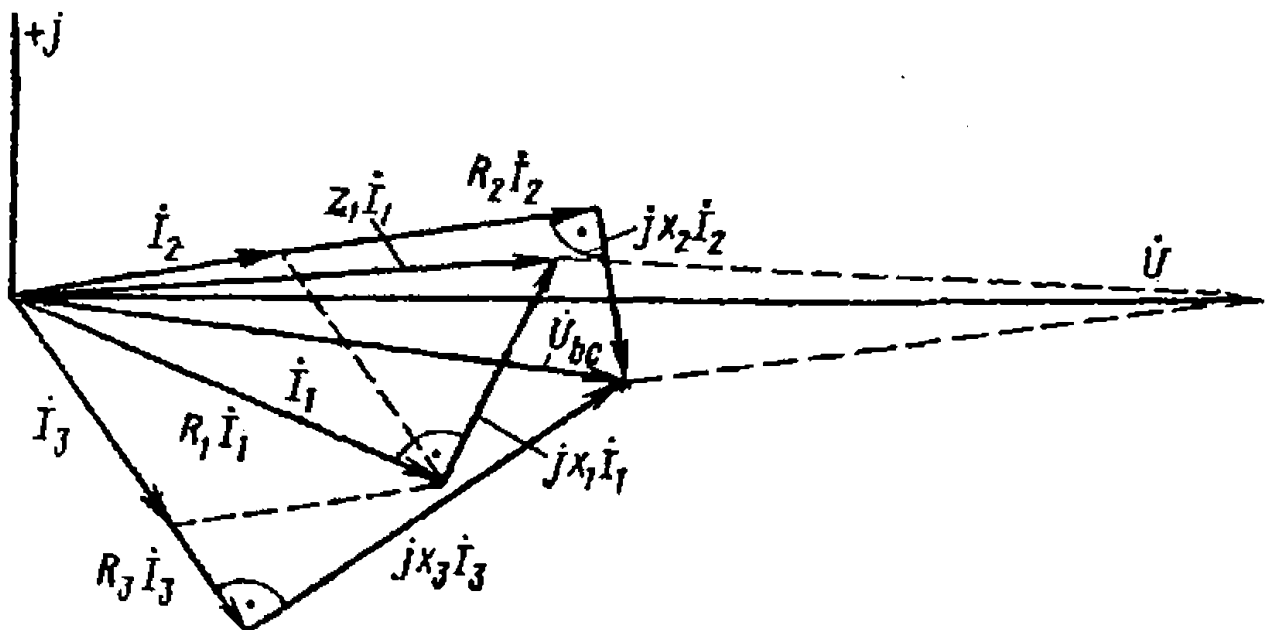


Рис.9

На рис.9 приведена векторная диаграмма токов и напряжений, построенная по расчетным данным. Порядок ее построения следующий: по результатам расчетов отложены векторы токов  $I_1$ ,  $I_2$  и  $I_3$ , затем по направлению  $I_1$  отложен вектор  $R_1 I_1$  и перпендикулярно к нему в сторону опережения — вектор  $jX_1 I_1$ . Их сумма дает вектор  $Z_1 I_1$ . Далее в фазе с  $I_2$  построен вектор  $R_2 I_2$  и перпендикулярно к нему в сторону отставания вектор

$jX_2I_2$ , а их сумма дает вектор напряжения на параллельном участке  $U_{bc}$ . Тот же вектор можно получать, если в фазе с  $I_3$  отложить  $R_3I_3$  и к нему прибавить вектор  $jX_3I_3$ , опережающий  $i_3$  на  $90^\circ$ . Сумма векторов  $Z_1I_1$  и  $U_{bc}$  дает вектор приложенного напряжения  $U$ .

### Трёхфазные цепи

**Задача 1.** В трёхфазную сеть с линейным напряжением  $U_n = 220$  В включен приемник, соединенный треугольником, сопротивление каждой фазы которого  $Z=(10+j10)$  Ом (рис. 10). Найти токи в каждой фазе нагрузки и линии и показания каждого ваттметра. Построить векторную диаграмму.

**Решение.** Расчет токов в трёхфазных цепях производится комплексным методом. Примем, что вектор линейного напряжения  $\dot{U}_{AB}$  направлен по действительной оси, тогда

$$\dot{U}_{AB} = \dot{U}_{ab} = 220 \text{ В}; \quad \dot{U}_{BC} = \dot{U}_{bc} = 220e^{j120^\circ} \text{ В};$$

$$\dot{U}_{CA} = \dot{U}_{ca} = 220e^{j240^\circ} \text{ В.} \quad \dot{U}$$

Определяем фазные токи:

$$\dot{I}_{ab} = \dot{U}_{ab} / Z_{ab} = 220 / (10+j10) = 15,6e^{-j45^\circ} = 11-j11 \text{ А};$$

$$\dot{I}_{bc} = \dot{U}_{bc} / Z_{bc} = 220e^{j120^\circ} / (10+j10) = 15,6e^{j165^\circ} = -15-j4,03 \text{ А};$$

$$\dot{I}_{ca} = \dot{U}_{ca} / Z_{ca} = 220e^{j240^\circ} / (10+j10) = 15,6e^{j75^\circ} = -4,03+j15 \text{ А}.$$

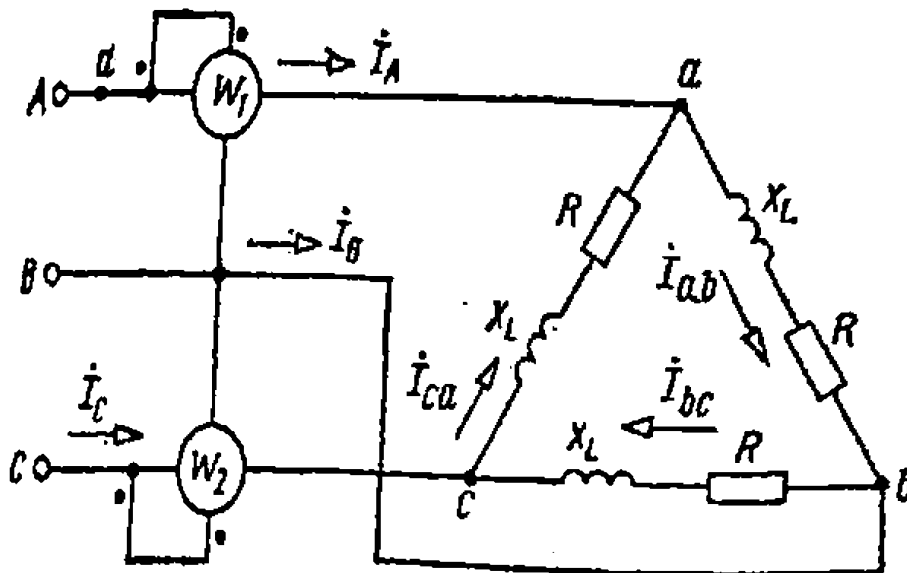


Рис.10

Находим линейные токи:

$$\dot{I}_A = \dot{I}_{ab} - \dot{I}_{ca} = 6,97 - j26 = 26,9e^{j75^\circ} \text{ А};$$

$$\dot{I}_B = \dot{I}_{bc} - \dot{I}_{ab} = -26 + j6,97 = 26,9e^{-165^\circ} \text{ А};$$

$$\dot{I}_C = \dot{I}_{ca} - \dot{I}_{bc} = 19 + j19 = 26,9e^{j45^\circ} \text{ A.}$$

Определяем показания ваттметров:

$$P_1 = \text{Re}[\dot{U}_{AB} \dot{I}_A] = \text{Re}[220 \cdot 26,9e^{j75^\circ}] = 220 \cdot 26,9 \cos 75^\circ = 1530 \text{ Вт},$$

$$P_2 = \text{Re}[\dot{U}_{CB} \dot{I}_C] = \text{Re}[-(220e^{j120^\circ}) \cdot 26,9e^{j45^\circ}] = \text{Re}[220e^{j60^\circ} \cdot 26,9e^{j45^\circ}] = \\ = 220 \cdot 26,9 \cos 15^\circ = 5730 \text{ Вт}.$$

Активную мощность цепи (алгебраическая сумма показаний ваттметров)

$$P = P_1 + P_2 = 1530 + 5730 = 7260 \text{ Вт}$$

или

$$P = \sqrt{3} U_{\text{ли}} \cos \varphi = \sqrt{3} * 220 * 26,9 \cos 45^\circ = 3R_\phi I^2_\phi = 7260 \text{ Вт}.$$

На рис. 11 приводится векторная диаграмма напряжений и токов.

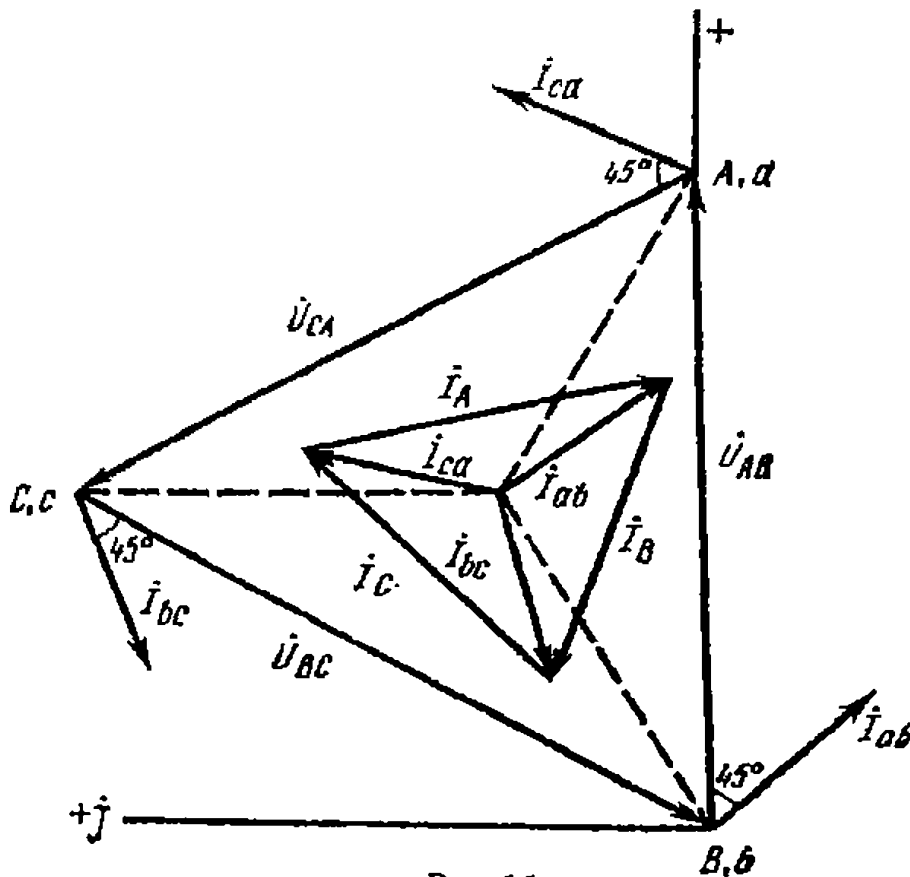


Рис.11

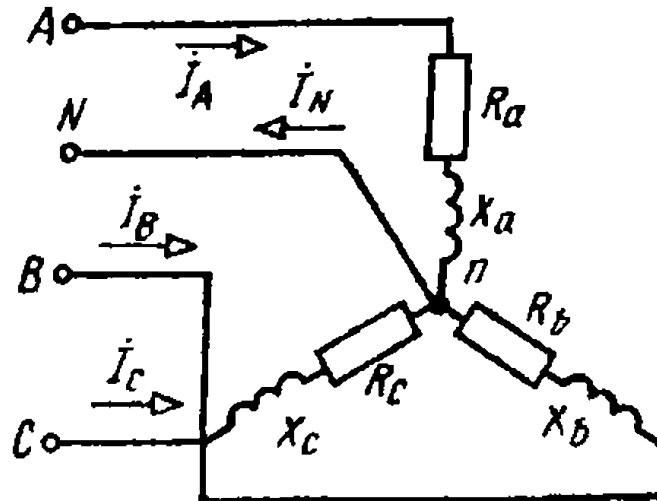


Рис.12

Задача 2. В четырехпроводную трехфазную сеть с линейным напряжением  $U_n=220$  В включен звездой приемник, активные и индуктивные сопротивления фаз которого соответственно равны:  $R_a = 3$  Ом,  $X_a=4$  Ом,  $R_b=3$  Ом,  $X_b = 5,2$  Ом,  $R_c=4$  Ом,  $X_c=3$  Ом (рис. 12). Определить токи в линейных и нейтральном проводах и построить векторную диаграмму.

**Решение.** Считаем, что вектор фазного напряжения  $\dot{U}_a$  направлен по действительной оси, тогда  $\dot{U}_a = U_n/\sqrt{3}=127$  В,  $\dot{U}_b=127e^{-j120^\circ}$  В,  $\dot{U}_c=127e^{j120^\circ}$  В.

Находим линейные токи:

$$\begin{aligned} \dot{I} &= \dot{U} / \underline{Z}_a = 127 / (3 + j4) = 127 / (5e^{j53^\circ}) = 25,4e^{-j53^\circ} = \\ &= 25,4 \cos(-53^\circ) + j25,4 \sin(-53^\circ) = (15,28 + j 20,28) \text{ А}; \end{aligned}$$

$$\dot{I} = \dot{U} / \underline{Z}_b = 127e^{-j120^\circ} / (3 + j5,2) = 127e^{-j120^\circ} / (6e^{j60^\circ}) = 21,2e^{-j180^\circ} = -21,2 \text{ А};$$

$$\begin{aligned} \dot{I}_c &= \dot{U} / \underline{Z}_c = 127e^{j120^\circ} / (4 + j3) = 127e^{j120^\circ} / 5e^{j37^\circ} = 25,4e^{j83^\circ} = \\ &= 25,4 \cos 83^\circ + j25,4 \sin 83^\circ = (3,09 + j25,2) \text{ А}. \end{aligned}$$

Ток в нейтральном проводе определяется как геометрическая сумма линейных токов:

$$\begin{aligned} \dot{I}_N &= \dot{I}_a + \dot{I}_b + \dot{I}_c = 15,28 + j 20,28 - 21,2 + 3,09 + j25,2 = \\ &= -2,83 + j 4,92 = 5,67e^{j120^\circ} \text{ А}. \end{aligned}$$

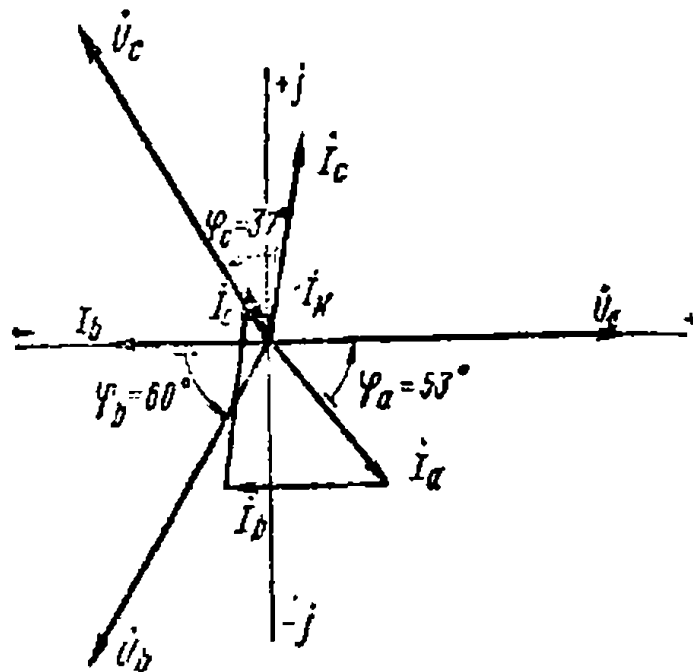


Рис.13

Векторная диаграмма показана на рис. 13.

При несимметричной нагрузке для определения активной мощности находят мощность каждой фазы отдельно:  $P_{\phi} = U_{\phi} I_{\phi} \cos \varphi$ , а мощность всей трехфазной системы получают как сумму мощностей всех фаз или используют схему включения двух ваттметров.

**Задача 3.** В трехфазную сеть с линейным напряжением  $U_{л} = 380$  В включен звездой без нейтрального провода приемник, активное, индуктивное и емкостное сопротивления фаз которого равны:  $R_a = X_L = X_C = 22$  Ом . Определить токи и построить векторную диаграмму.

**Решение.** Расчет токов производим комплексным методом. Режим работы цепи - несимметричный без нейтрального провода, поэтому симметрия фазных напряжений нарушается.

Находим фазные напряжения:

$$U_{\phi} = U_{л} / \sqrt{3} = 380 / 1,73 = 220 \text{ В.}$$

$$\dot{U}_a = 220 \text{ В;}$$

$$\dot{U}_b = 220 e^{-j120^\circ} = (-110 - j191) \text{ В;}$$

$$\dot{U}_c = 220 e^{j120^\circ} = (-110 + j191) \text{ В.}$$

Определяем напряжение между нейтральными точками приемника и источника питания:

$$\dot{U}_{nN} = \frac{\underline{Y}_a \dot{U}_a + \underline{Y}_b \dot{U}_b + \underline{Y}_c \dot{U}_c}{\underline{Y}_a + \underline{Y}_b + \underline{Y}_c} =$$

$$\frac{\frac{1}{22} \cdot 220 + j \frac{1}{22} (-110 - j191) - j \frac{1}{22} (-110 + j191)}{\frac{1}{22} + j \frac{1}{22} - j \frac{1}{22}} = 602 \text{ В.}$$

Находим напряжения на зажимах фаз приемника:

$$\begin{aligned} \dot{U}_{an} &= 220 - 602 = -382 \text{ В;} \\ \dot{U}_{bn} &= (-110 - j191) - 602 = (-712 - j191) \text{ В;} \\ \dot{U}_{cn} &= (-110 + j191) - 602 = (-712 + j191) \text{ В} \end{aligned}$$

в фазные (линейные) токи:

$$\begin{aligned} I_a &= \dot{U}_{an} / R_a = -382 / 22 = -17,3 \text{ А;} \\ I_b &= \dot{U}_{bn} / (-jX_C) = (-712 - j191) / (-j22) = (8,68 - j32,4) \text{ А;} \\ I_c &= \dot{U}_{cn} / (-jX_L) = (-712 + j191) / j22 = (8,68 + j32,4) \text{ А;} \end{aligned}$$

Векторная диаграмма изображена на рис. 14.

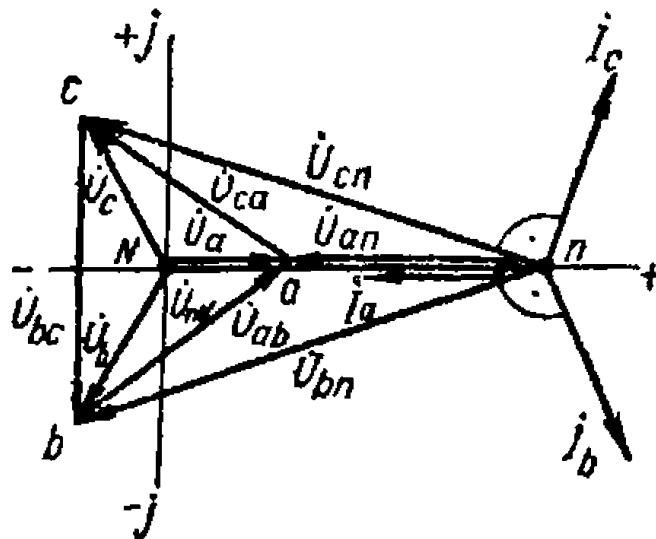


Рис.14

## Контрольная работа 1

Задача 1. Для электрической цепи, схема которой изображена на рис. 1.1 -1.38, по заданным в табл. 1 сопротивлениям и э. д. с. выполнить следующее: 1) составить систему уравнений, необходимых для определения токов по первому и второму законам Кирхгофа (*полученную систему не решать*); 2) найти все токи, пользуясь методом контурных токов; 3) определить показание вольтметра и составить баланс мощностей для заданной схемы; 4) построить в масштабе потенциальную диаграмму для внешнего контура.

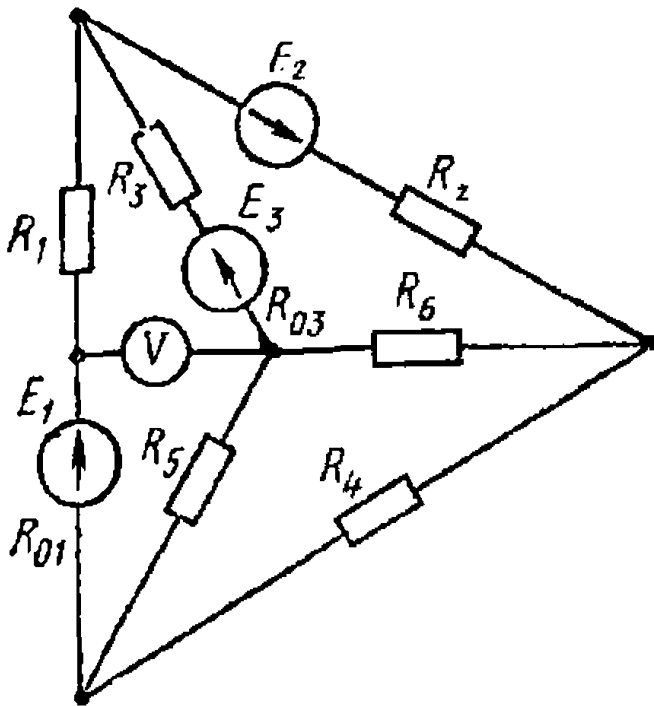


Рис. 1.1

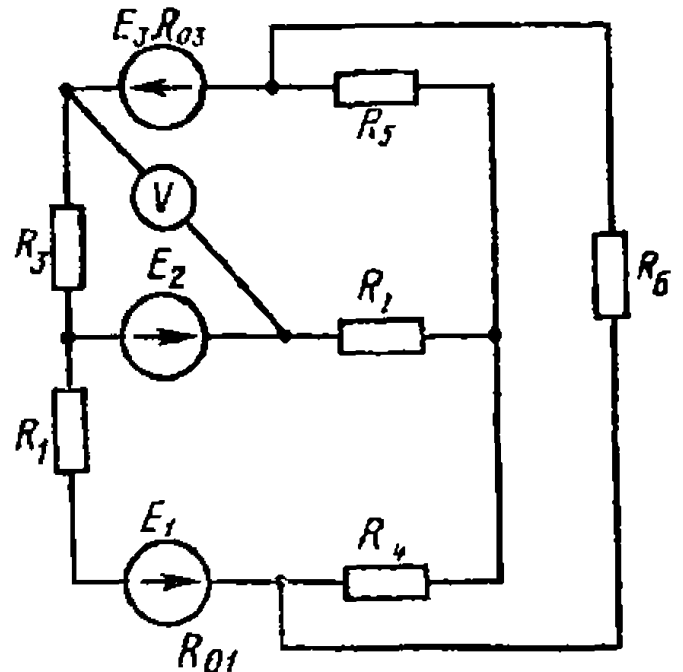


Рис. 1.2



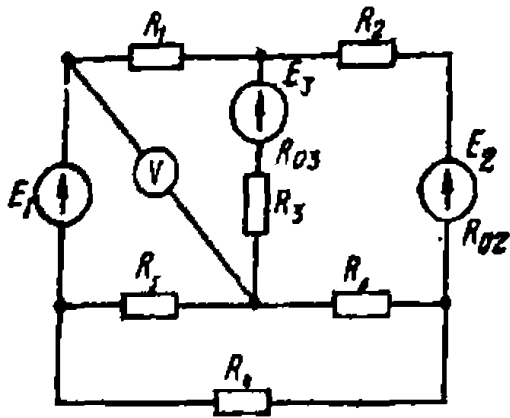


Рис. 1.3

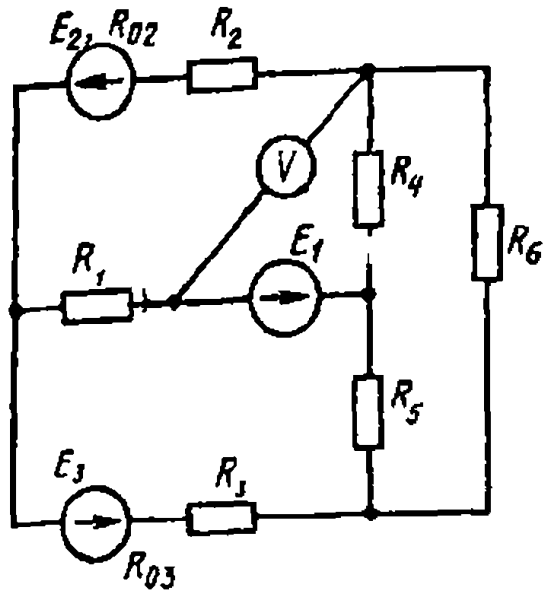


Рис. 1.4

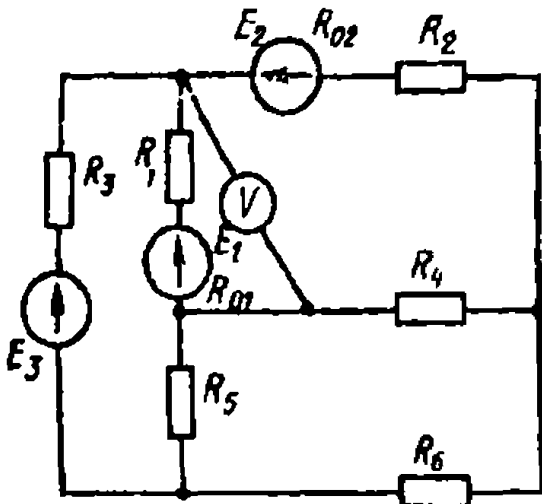


Рис. 1.5

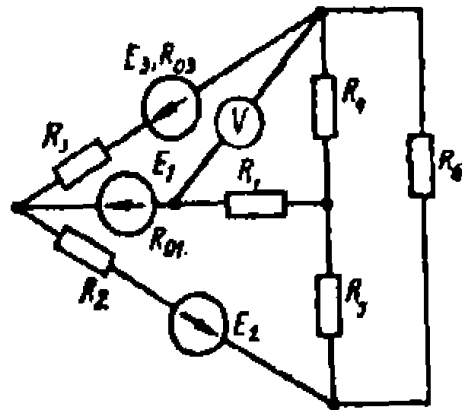


Рис. 1.6

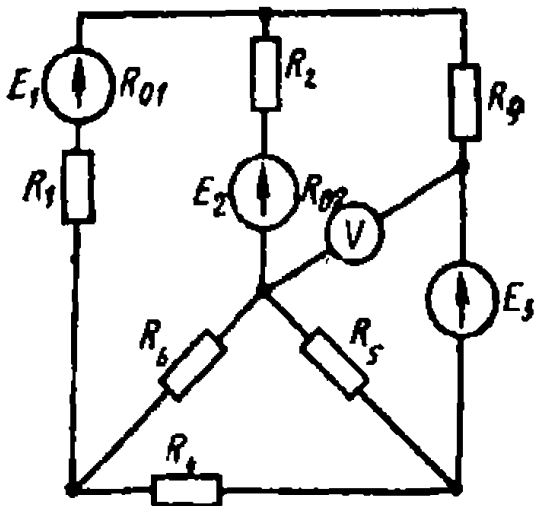


Рис. 1.7

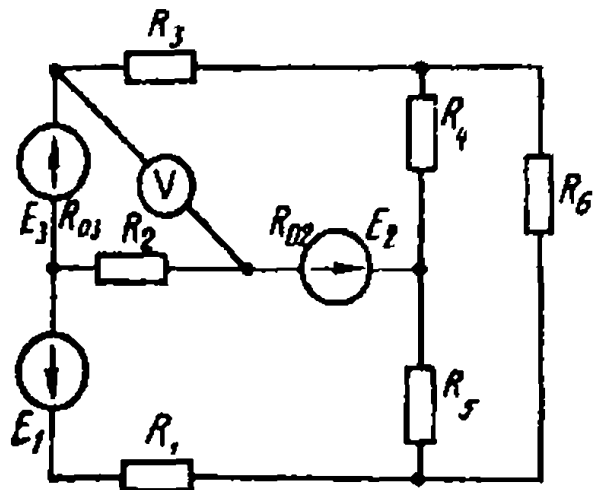


Рис. 1.8

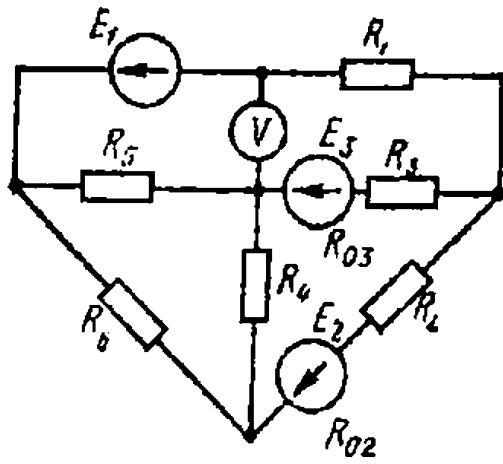


Рис. 1.9

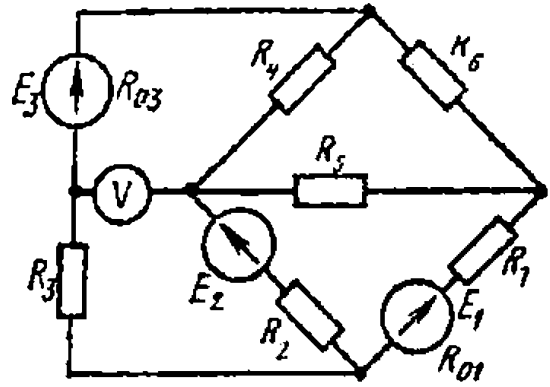


Рис. 1.10

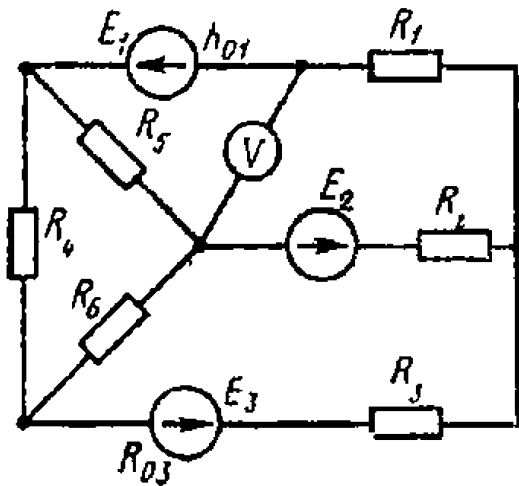


Рис. 1.11

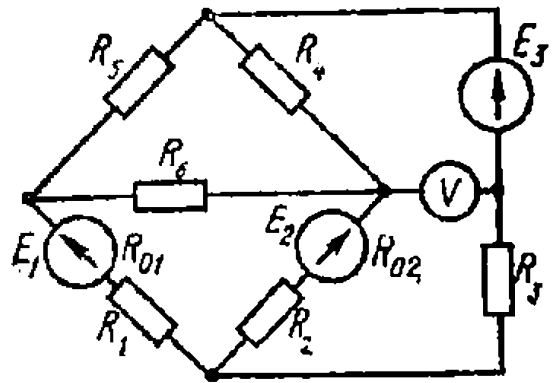


Рис. 1.12

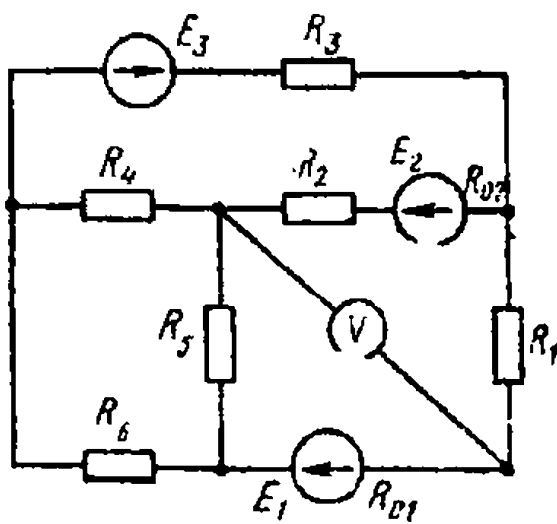


Рис. 1.13

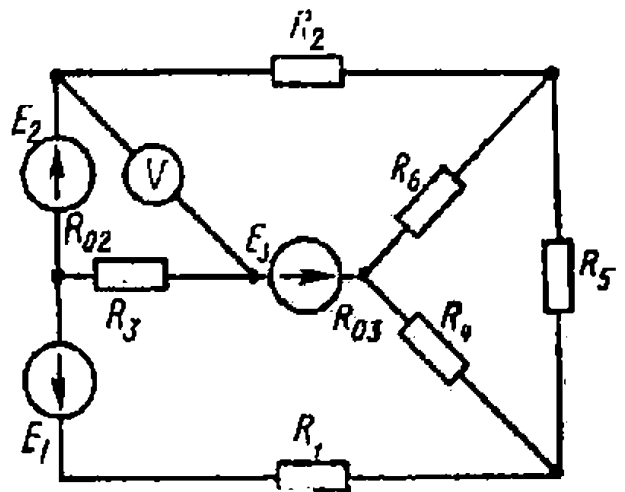


Рис. 1.14

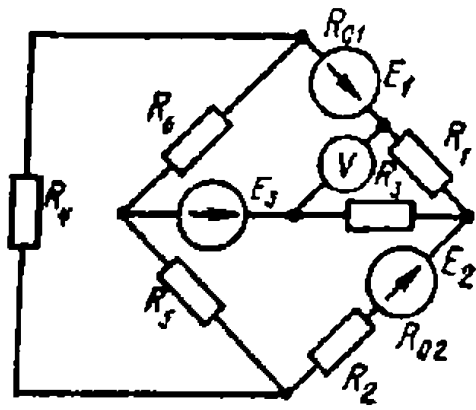


Рис. 1.15

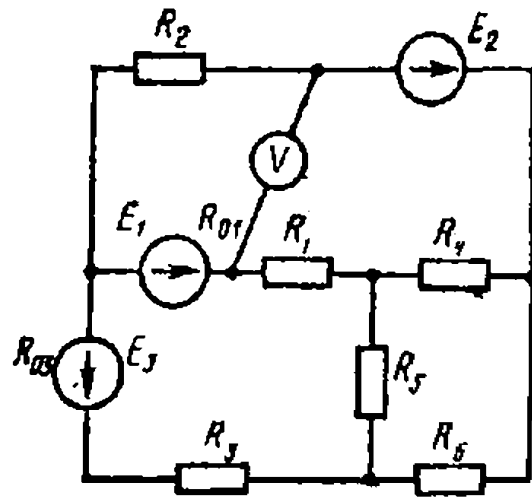


Рис. 1.16

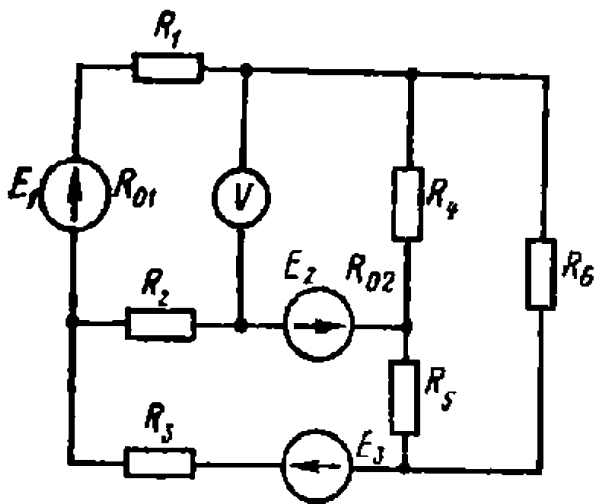


Рис. 1.17

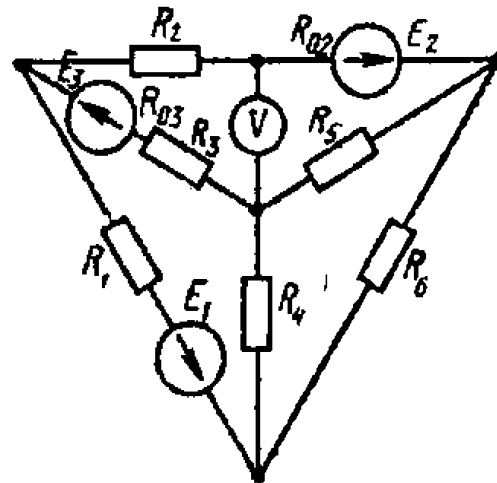


Рис. 1.18

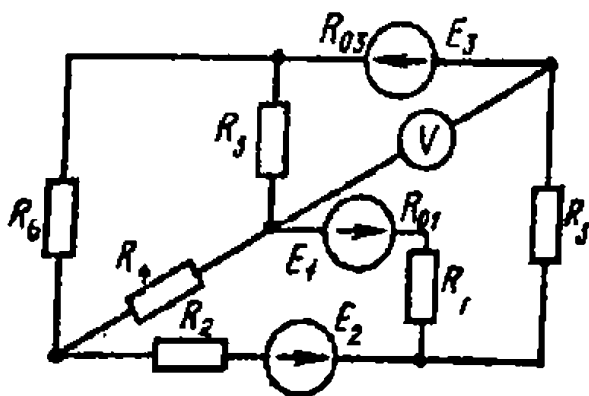


Рис. 1.19

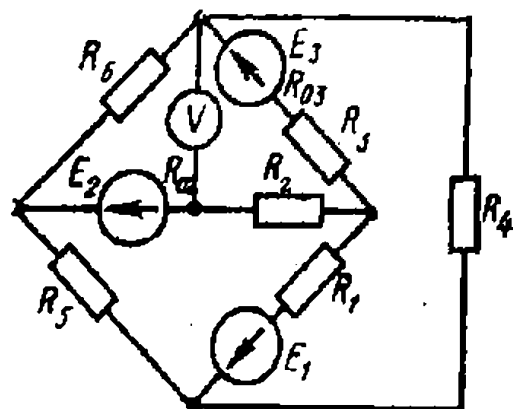


Рис. 1.20

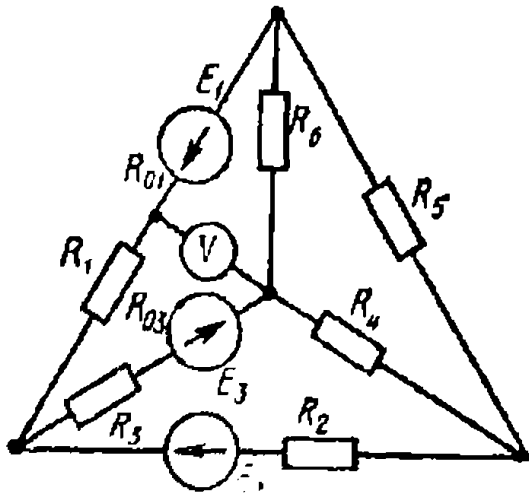


Рис.1.21

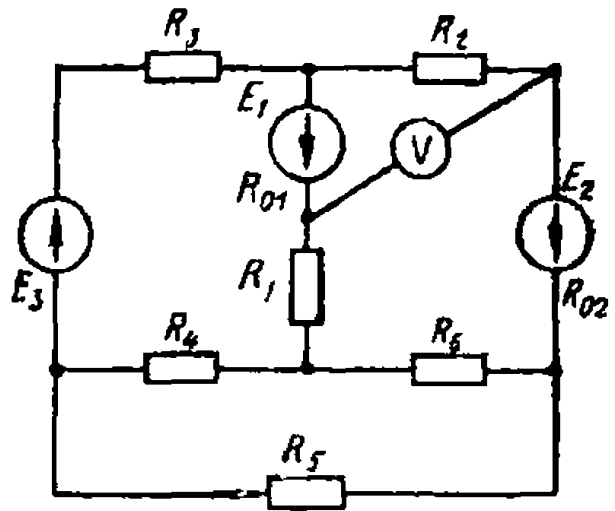


Рис.1.22

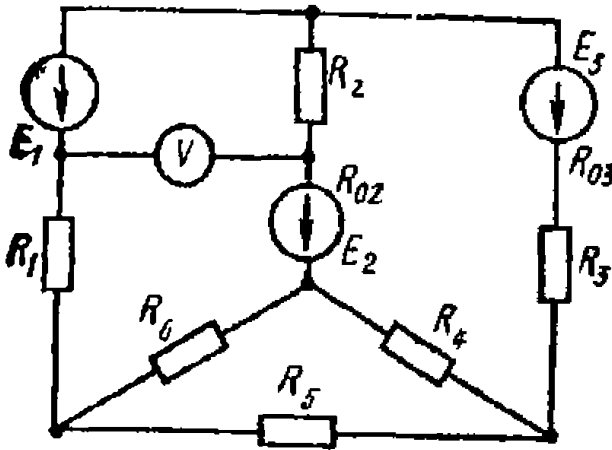


Рис. 1.23

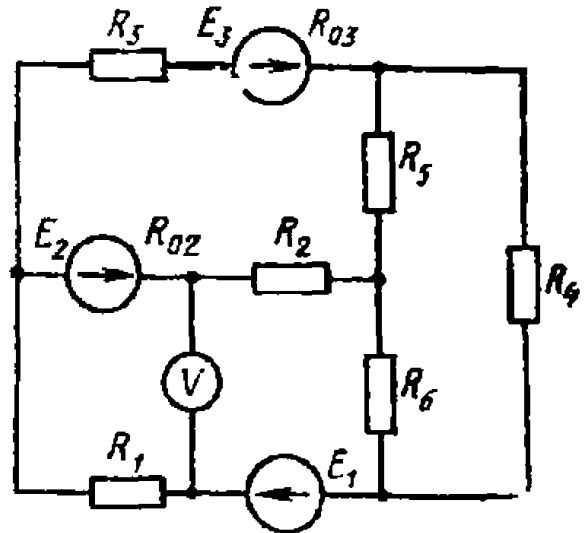


Рис. 1.24

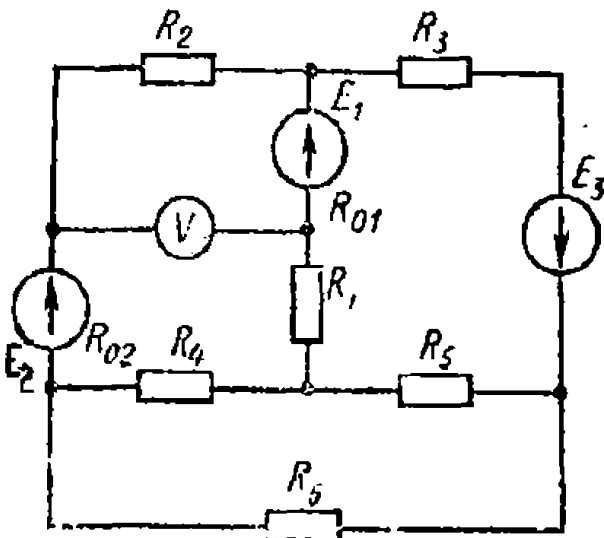


Рис.1.25

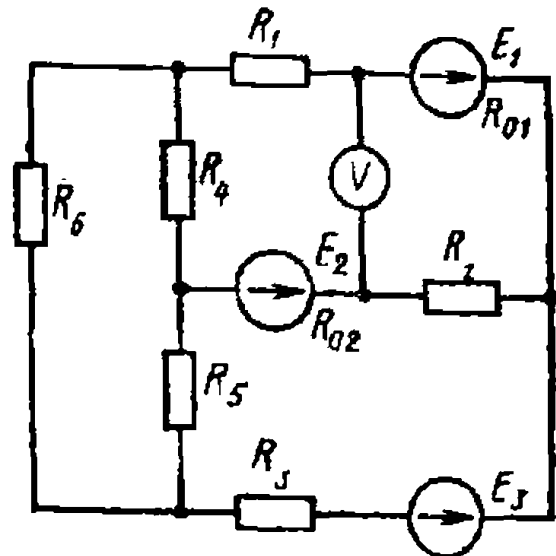


Рис. 1.26

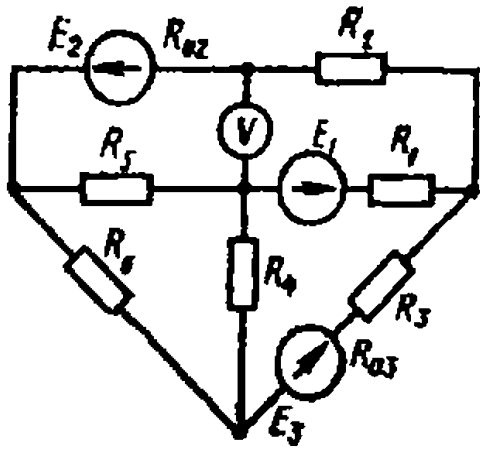


Рис. 1.27

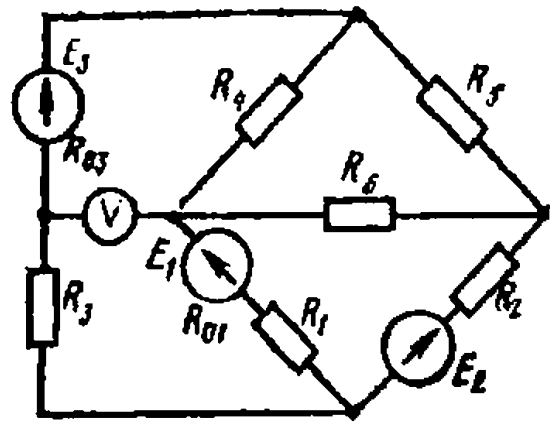


Рис. 1.28

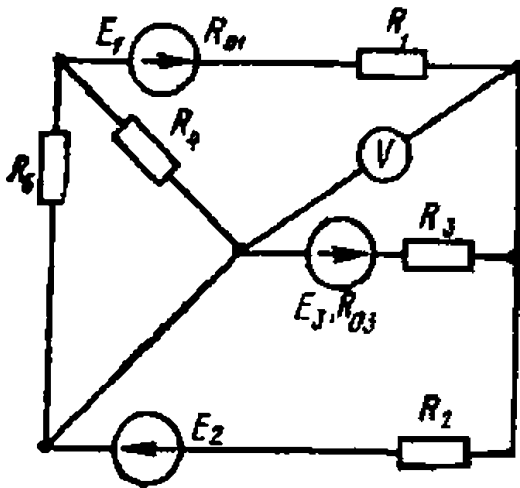


Рис. 1.29

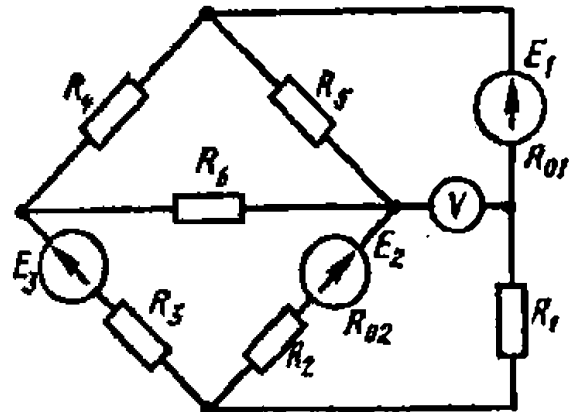


Рис. 1.30

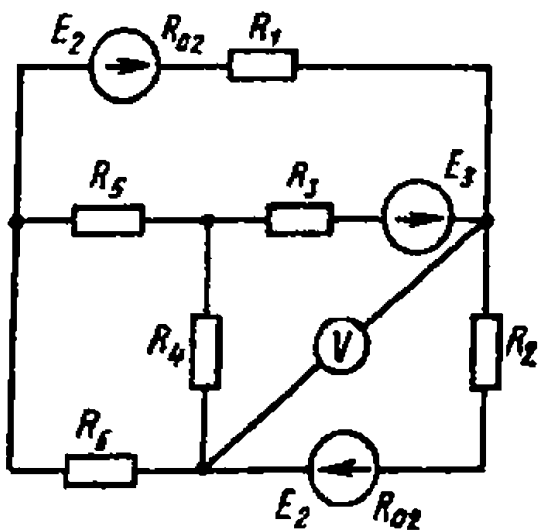


Рис. 1.31

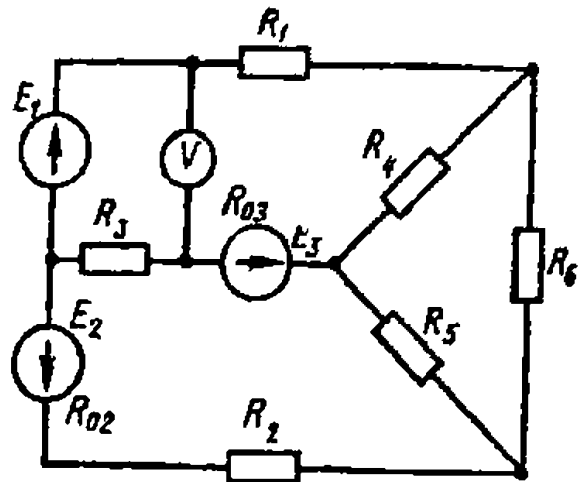


Рис. 1.32

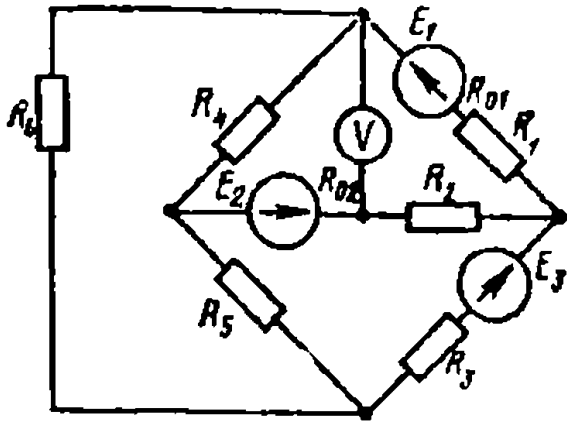


Рис. 1.33

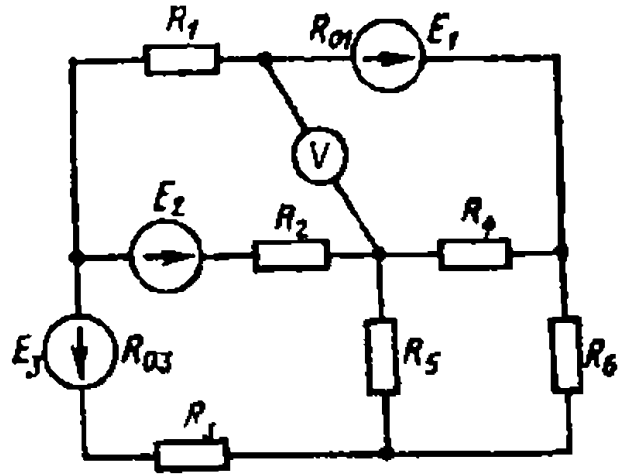


Рис. 1.34

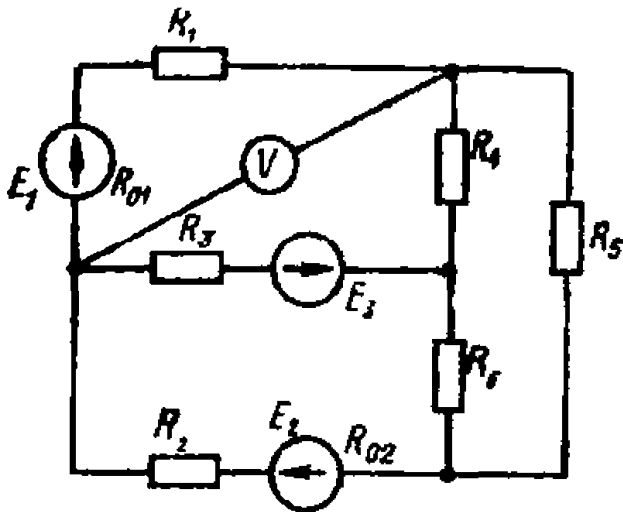


Рис. 1.35

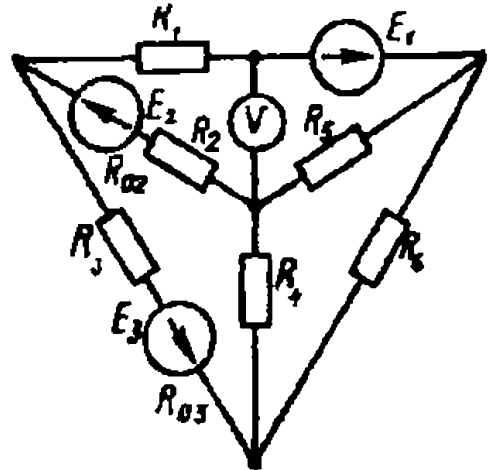


Рис. 1.36

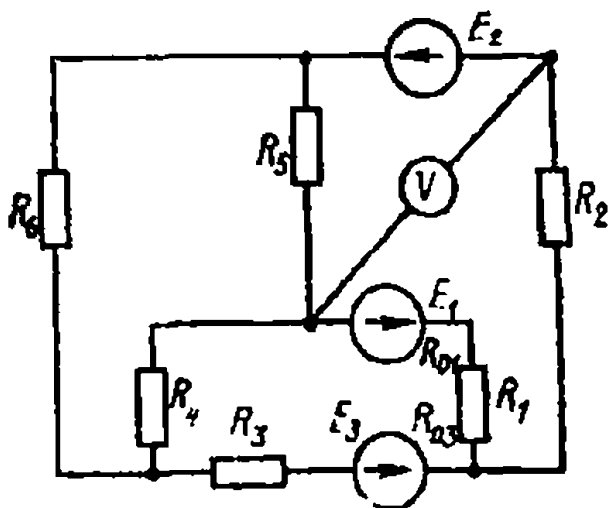


Рис. 1.37

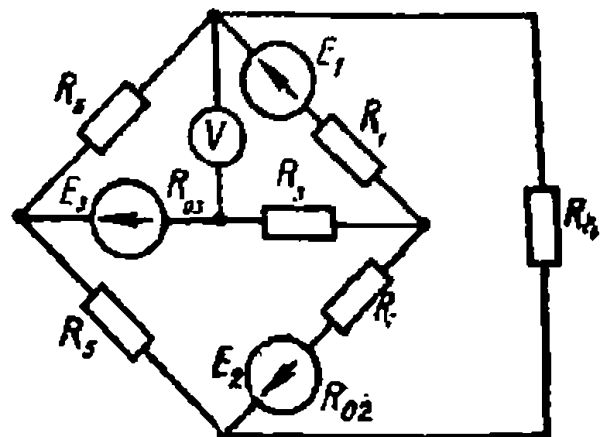


Рис. 1.38

Таблица 1.

| Номера   |         | E <sub>1</sub> , В | E <sub>2</sub> , В | E <sub>3</sub> , В | R <sub>01</sub> , Ом | R <sub>02</sub> , Ом | R <sub>03</sub> , Ом | R <sub>1</sub> , Ом | R <sub>2</sub> , Ом | R <sub>3</sub> , Ом | R <sub>4</sub> , Ом | R <sub>5</sub> , Ом | R <sub>6</sub> , Ом |
|----------|---------|--------------------|--------------------|--------------------|----------------------|----------------------|----------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| варианта | рисунок |                    |                    |                    |                      |                      |                      |                     |                     |                     |                     |                     |                     |
| 0        | 1.1     | 22                 | 24                 | 10                 | 0.2                  | -                    | 1.2                  | 2                   | 1                   | 8                   | 4                   | 10                  | 6                   |
| 1        | 1.2     | 55                 | 18                 | 4                  | 0.8                  | -                    | 0.8                  | 8                   | 4                   | 3                   | 2                   | 4                   | 4                   |
| 2        | 1.3     | 36                 | 10                 | 25                 | -                    | 0.4                  | 0.5                  | 4                   | 8                   | 3                   | 1                   | 2                   | 7                   |
| 3        | 1.4     | 16                 | 5                  | 32                 | -                    | 0.6                  | 0.8                  | 9                   | 3                   | 2                   | 4                   | 1                   | 5                   |
| 4        | 1.5     | 14                 | 25                 | 28                 | 0.9                  | 1.2                  | -                    | 5                   | 2                   | 8                   | 2                   | 2                   | 6                   |
| 5        | 1.1     | 20                 | 22                 | 9                  | 0.1                  | -                    | 1.1                  | 1                   | 2                   | 6                   | 3                   | 8                   | 4                   |
| 6        | 1.6     | 5                  | 16                 | 30                 | 0.4                  | -                    | 0.7                  | 6                   | 4                   | 3                   | 2                   | 5                   | 3                   |
| 7        | 1.7     | 10                 | 6                  | 24                 | 0.8                  | 0.3                  | -                    | 3.5                 | 5                   | 6                   | 6                   | 3                   | 1                   |
| 8        | 1.8     | 6                  | 20                 | 4                  | -                    | 0.8                  | 1.2                  | 4                   | 6                   | 4                   | 4                   | 3                   | 3                   |
| 9        | 1.9     | 21                 | 4                  | 10                 | -                    | 0.2                  | 0.6                  | 5                   | 7                   | 2                   | 8                   | 1                   | 1                   |
| 10       | 1.10    | 4                  | 9                  | 18                 | 0.8                  | -                    | 0.7                  | 2.7                 | 10                  | 4                   | 8                   | 10                  | 2                   |
| 11       | 1.11    | 4                  | 24                 | 6                  | 0.9                  | -                    | 0.5                  | 9.0                 | 8                   | 1                   | 6                   | 10                  | 4                   |
| 12       | 1.12    | 16                 | 8                  | 9                  | 0.2                  | 0.6                  | -                    | 2.5                 | 6                   | 6                   | 5                   | 10                  | 5                   |
| 13       | 1.13    | 48                 | 12                 | 6                  | 0.8                  | 1.4                  | -                    | 4.2                 | 4                   | 2                   | 12                  | 6                   | 2                   |
| 14       | 1.14    | 12                 | 36                 | 12                 | -                    | 0.4                  | 1.2                  | 3.5                 | 5                   | 1                   | 5                   | 6                   | 9                   |
| 15       | 1.15    | 12                 | 6                  | 40                 | 1.2                  | 0.6                  | -                    | 2.0                 | 3                   | 8                   | 5                   | 7                   | 8                   |
| 16       | 1.16    | 8                  | 6                  | 36                 | 1.3                  | -                    | 1.2                  | 3.0                 | 2                   | 1                   | 6                   | 8                   | 6                   |
| 17       | 1.17    | 72                 | 12                 | 4                  | 0.7                  | 1.5                  | -                    | 6.0                 | 1                   | 10                  | 4                   | 12                  | 4                   |
| 18       | 1.18    | 12                 | 48                 | 6                  | -                    | 0.4                  | 0.4                  | 2.5                 | 1                   | 4                   | 15                  | 2                   | 2                   |
| 19       | 1.19    | 12                 | 30                 | 9                  | 0.5                  | -                    | 0.5                  | 3.5                 | 2                   | 3                   | 3                   | 1                   | 3                   |
| 20       | 1.20    | 9                  | 6                  | 27                 | -                    | 1.0                  | 0.8                  | 4.5                 | 2                   | 8                   | 13                  | 4                   | 3                   |
| 21       | 1.21    | 15                 | 63                 | 6                  | 1.0                  | -                    | 1.2                  | 5.0                 | 3                   | 1                   | 2                   | 12                  | 3                   |
| 22       | 1.22    | 54                 | 27                 | 3                  | 1.2                  | 0.9                  | -                    | 8.0                 | 3                   | 1                   | 4                   | 2                   | 2                   |
| 23       | 1.23    | 36                 | 9                  | 24                 | -                    | 0.8                  | 0.8                  | 3.0                 | 4                   | 2                   | 1                   | 5                   | 1                   |
| 24       | 1.24    | 3                  | 66                 | 9                  | -                    | 0.7                  | 1.2                  | 1.0                 | 4                   | 2                   | 2                   | 7                   | 3                   |
| 25       | 1.25    | 12                 | 30                 | 25                 | 1.0                  | 0.4                  | -                    | 1.0                 | 5                   | 1                   | 1                   | 6                   | 4                   |
| 26       | 1.26    | 30                 | 16                 | 10                 | 0.6                  | 0.8                  | -                    | 2.0                 | 5                   | 3                   | 1                   | 8                   | 5                   |
| 27       | 1.27    | 10                 | 32                 | 10                 | 0.6                  | -                    | 1.0                  | 1.5                 | 6                   | 1                   | 7                   | 1                   | 5                   |
| 28       | 1.28    | 5                  | 10                 | 36                 | 0.3                  | -                    | 0.8                  | 1.2                 | 6                   | 3                   | 2                   | 2                   | 2                   |
| 29       | 1.29    | 40                 | 25                 | 8                  | -                    | 0.2                  | 0.2                  | 3.0                 | 3                   | 2                   | 4                   | 3                   | 2                   |

| Номера   |         | $E_1, В$ | $E_2, В$ | $E_3, В$ | $R_{01}, Ом$ | $R_{02}, Ом$ | $R_{03}, Ом$ | $R_1, Ом$ | $R_2, Ом$ | $R_3, Ом$ | $R_4, Ом$ | $R_5, Ом$ | $R_6, Ом$ |
|----------|---------|----------|----------|----------|--------------|--------------|--------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| варианта | рисунка |          |          |          |              |              |              |           |           |           |           |           |           |
| 30       | 1.30    | 8        | 40       | 10       | 0.8          | 1.0          | -            | 5.0       | 3         | 3         | 3         | 2         | 1         |
| 31       | 1.31    | 22       | 24       | 10       | 0.2          | -            | 1.2          | 2         | 1         | 8         | 4         | 10        | 6         |
| 32       | 1.32    | 55       | 18       | 4        | 0.8          | -            | 0.8          | 8         | 4         | 3         | 2         | 4         | 4         |
| 33       | 1.33    | 36       | 10       | 25       | -            | 0.4          | 0.5          | 4         | 8         | 3         | 1         | 2         | 7         |
| 34       | 1.34    | 16       | 5        | 32       | -            | 0.6          | 0.8          | 9         | 3         | 2         | 4         | 1         | 5         |
| 35       | 1.35    | 14       | 25       | 28       | 0.9          | 1.2          | -            | 5         | 2         | 8         | 2         | 2         | 6         |
| 36       | 1.36    | 5        | 16       | 30       | 0.4          | -            | 0.7          | 6         | 4         | 3         | 2         | 5         | 3         |
| 37       | 1.37    | 10       | 6        | 24       | 0.8          | 0.3          | -            | 3.5       | 5         | 6         | 6         | 3         | 1         |
| 38       | 1.38    | 6        | 20       | 4        | -            | 0.8          | 1.2          | 4         | 6         | 4         | 4         | 3         | 3         |
| 39       | 1.2     | 21       | 4        | 10       | -            | 0.2          | 0.6          | 5         | 7         | 2         | 8         | 1         | 1         |
| 40       | 1.5     | 4        | 9        | 18       | 0.8          | -            | 0.7          | 2.7       | 10        | 4         | 8         | 10        | 2         |
| 41       | 1.8     | 4        | 24       | 6        | 0.9          | -            | 0.5          | 9.0       | 8         | 1         | 6         | 10        | 4         |
| 42       | 1.10    | 16       | 8        | 9        | 0.2          | 0.6          | -            | 2.5       | 6         | 6         | 5         | 10        | 5         |
| 43       | 1.11    | 48       | 12       | 6        | 0.8          | 1.4          | -            | 4.2       | 4         | 2         | 12        | 6         | 2         |
| 44       | 1.17    | 12       | 36       | 12       | -            | 0.4          | 1.2          | 3.5       | 5         | 1         | 5         | 6         | 9         |
| 45       | 1.23    | 12       | 6        | 40       | 1.2          | 0.6          | -            | 2.0       | 3         | 8         | 5         | 7         | 8         |
| 46       | 1.25    | 8        | 6        | 36       | 1.3          | -            | 1.2          | 3.0       | 2         | 1         | 6         | 8         | 6         |
| 47       | 1.28    | 72       | 12       | 4        | 0.7          | 1.5          | -            | 6.0       | 1         | 10        | 4         | 12        | 4         |
| 48       | 1.34    | 12       | 48       | 6        | -            | 0.4          | 0.4          | 2.5       | 1         | 4         | 15        | 2         | 2         |
| 49       | 1.36    | 12       | 30       | 9        | 0.5          | -            | 0.5          | 3.5       | 2         | 3         | 3         | 1         | 3         |
| 50       | 1.37    | 9        | 6        | 27       | -            | 1.0          | 0.8          | 4.5       | 2         | 8         | 13        | 4         | 3         |

**Задача 2.** Для электрической цепи, схема которой изображена на рис. 2.1-2.50, по заданным в табл. 2 параметрам и э. д. с. источника определить токи во всех ветвях цепи и напряжения на отдельных участках. Составить баланс активной и реактивной мощностей. Построить в масштабе на комплексной плоскости векторную диаграмму токов и потенциальную диаграмму напряжений по внешнему контуру. Определить показание вольтметра и активную мощность, измеряемую ваттметром.



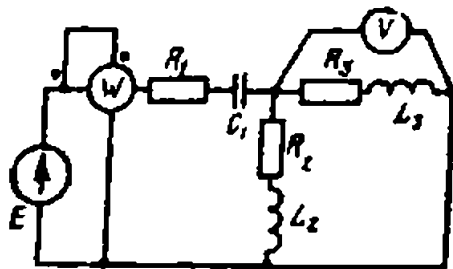


Рис. 2.1

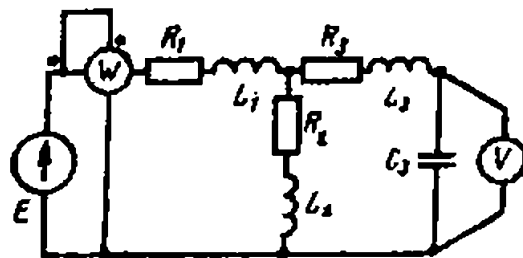


Рис. 2.2

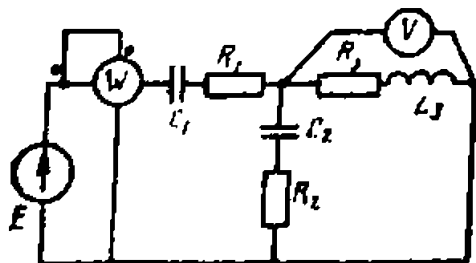


Рис. 2.3

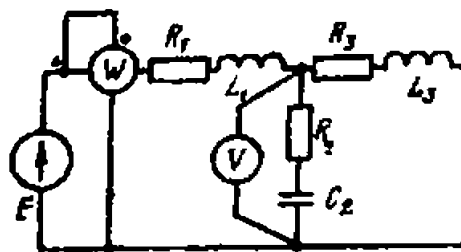


Рис. 2.4

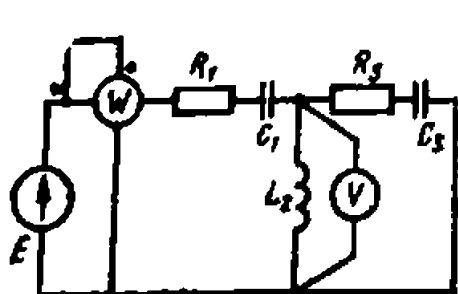


Рис. 2.5

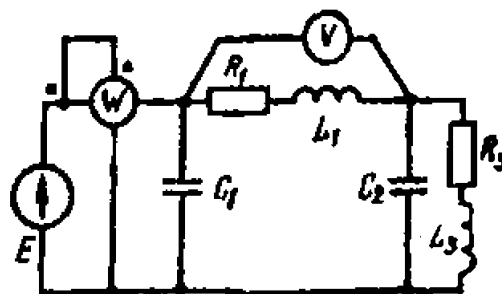


Рис. 2.6

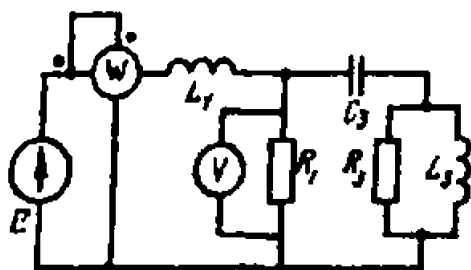


Рис. 2.7

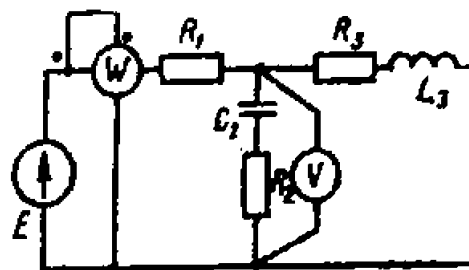


Рис. 2.8

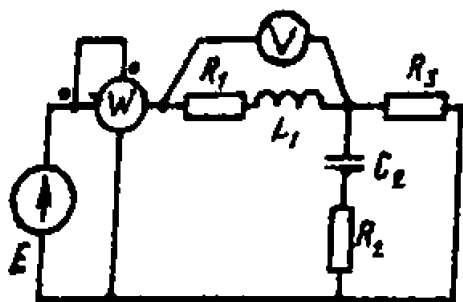


Рис. 2.9

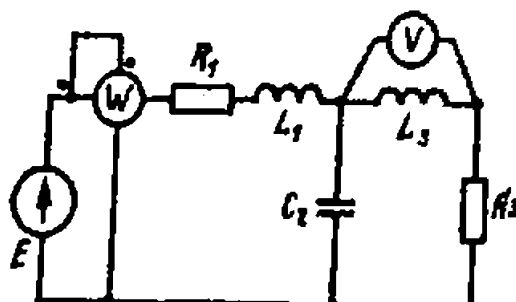


Рис. 2.10

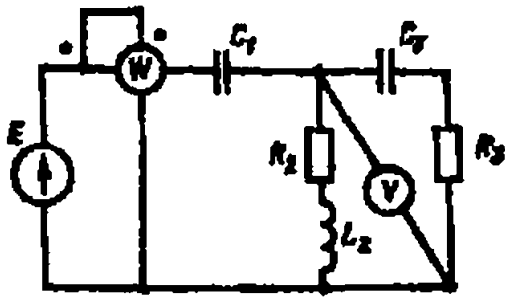


Рис 2.11

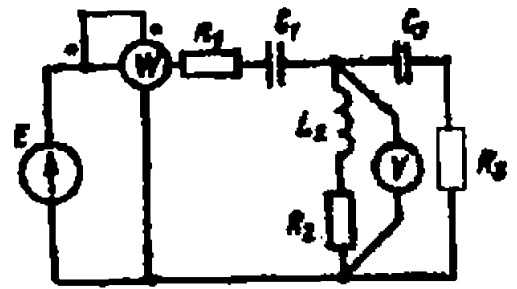


Рис.2.12

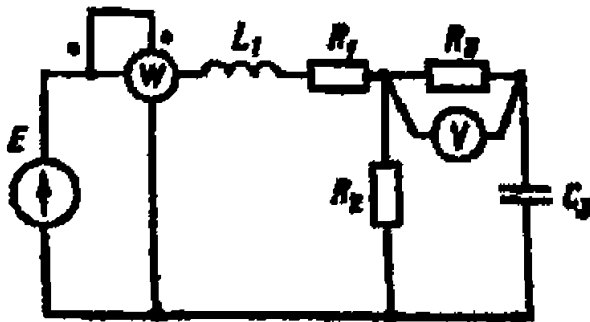


Рис.2.13

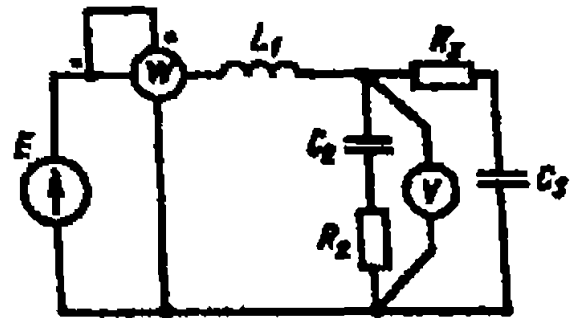


Рис.2.14

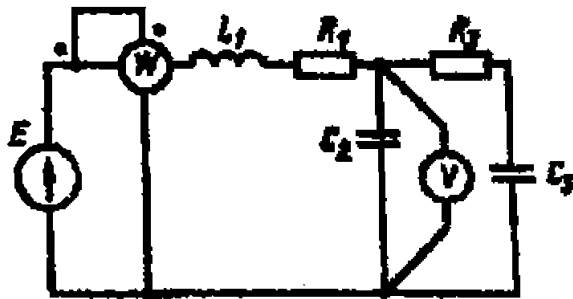


Рис.2.15

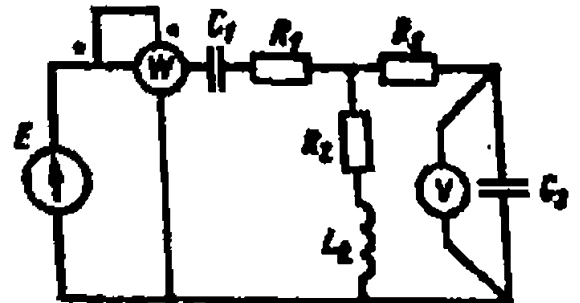


Рис.2.16

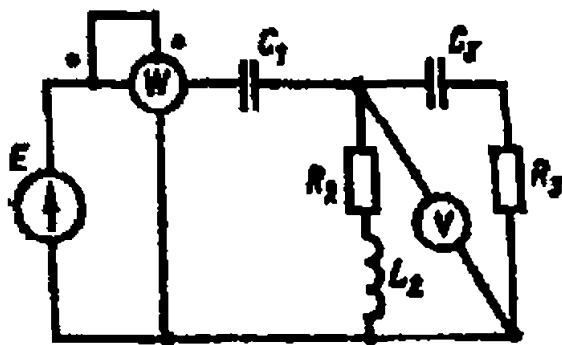


Рис.2.17

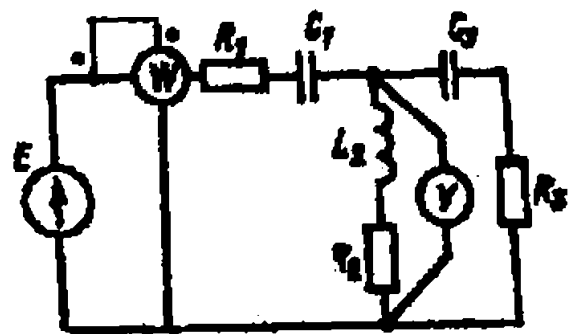


Рис.2.18

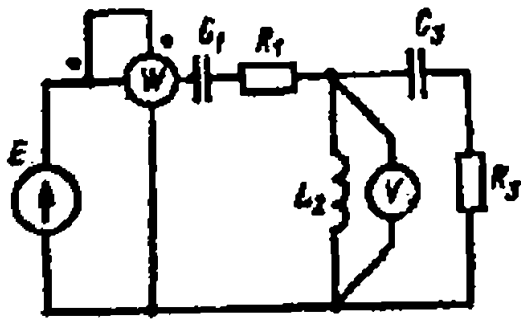


Рис.2.19

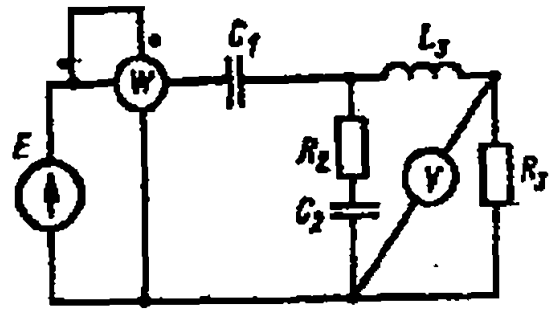


Рис.2.20

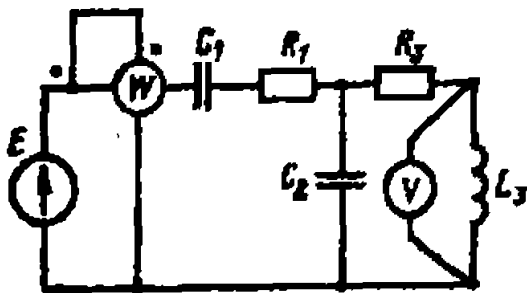


Рис.2.21

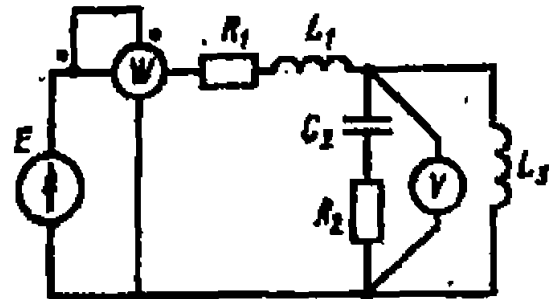


Рис.2.22

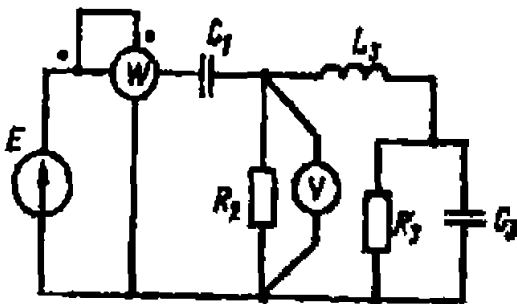


Рис.2.23

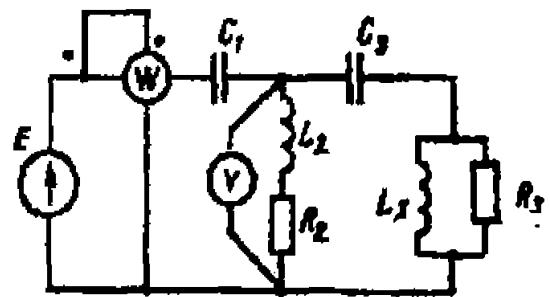


Рис.2.24

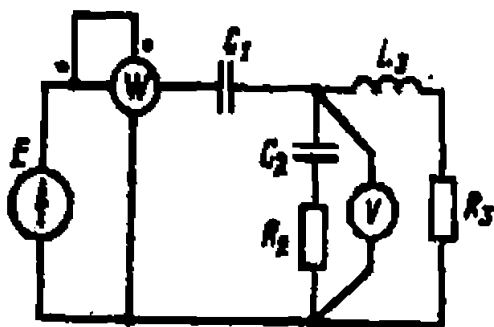


Рис.2.25

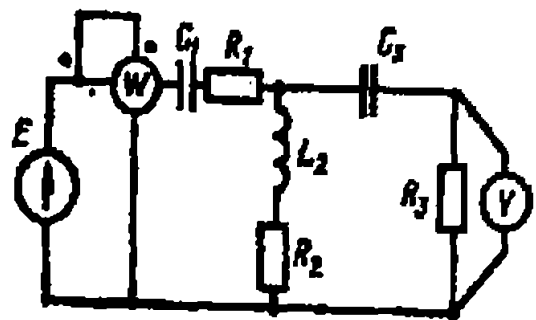


Рис.2.26

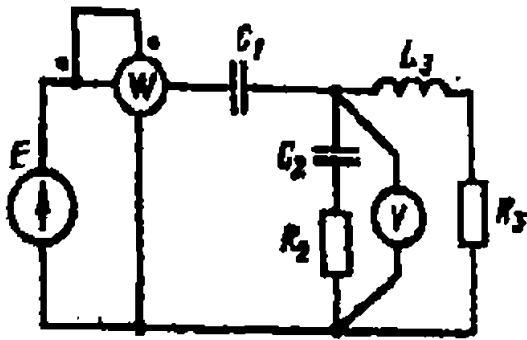


Рис.2.27

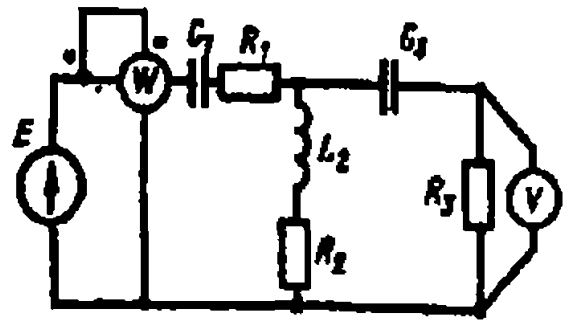


Рис.2.28

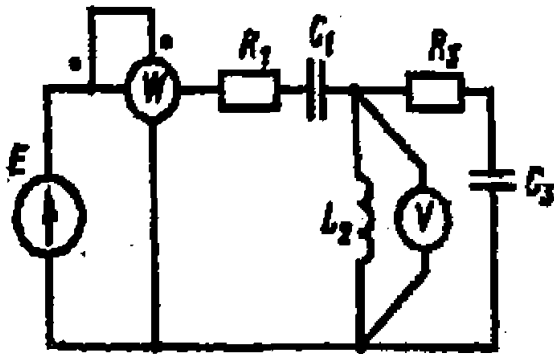


Рис.2.29

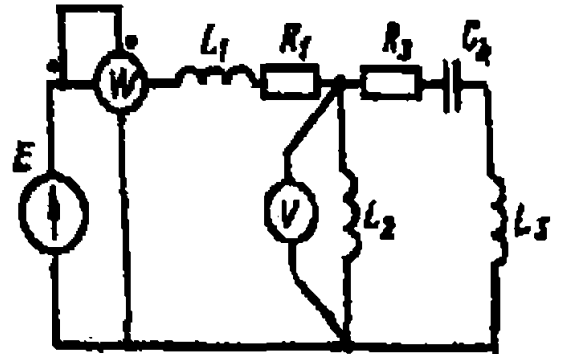


Рис.2.30

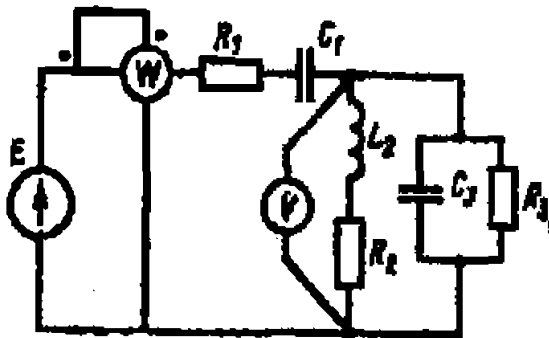


Рис.2.31

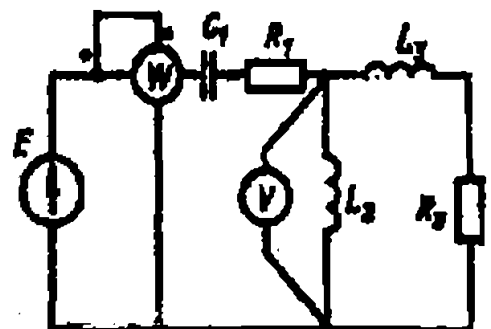


Рис.2.32

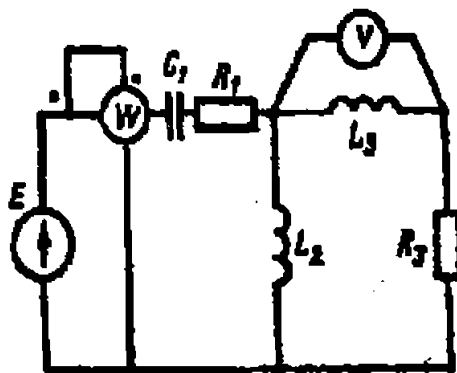


Рис.2.33

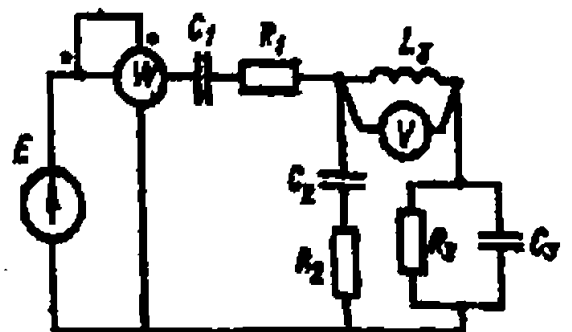


Рис.2.34

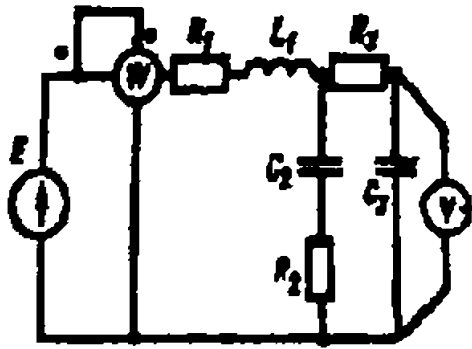


Рис.2.35

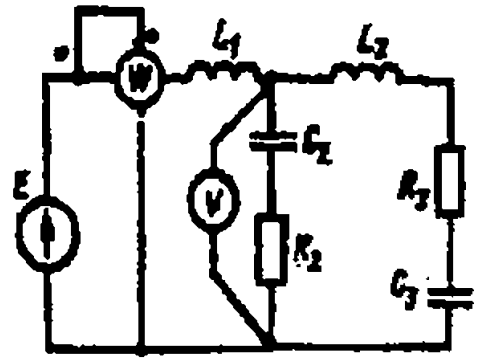


Рис.2.36

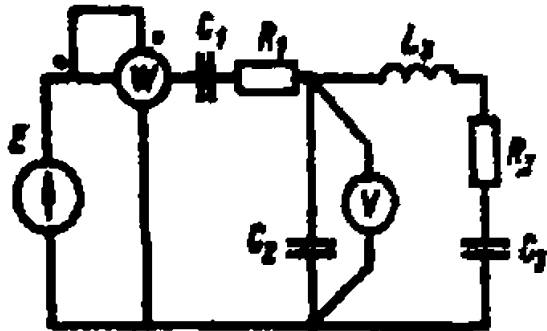


Рис.2.37

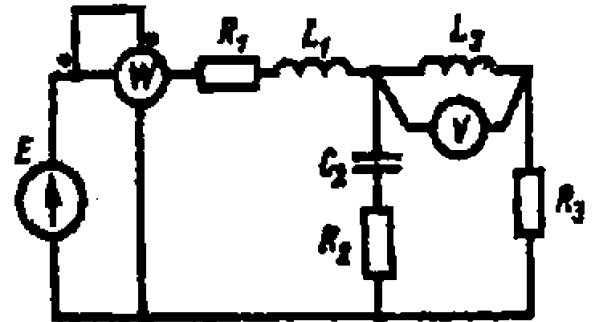


Рис.2.38

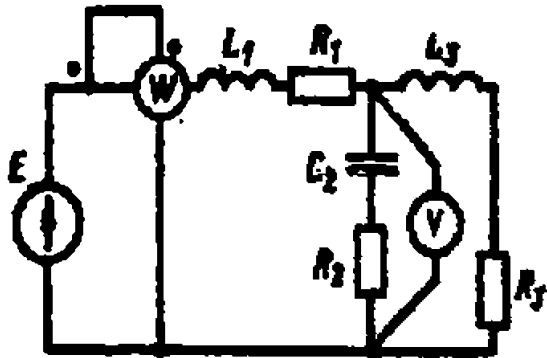


Рис.2.39

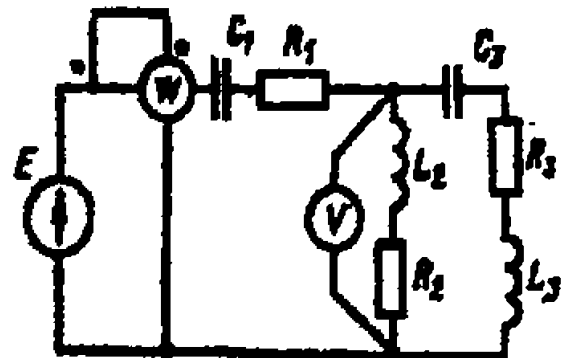


Рис.2.40

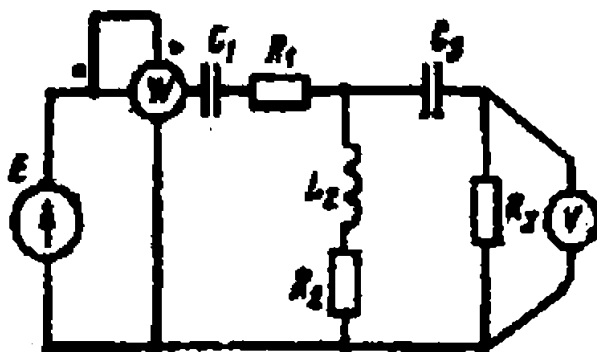


Рис.2.41

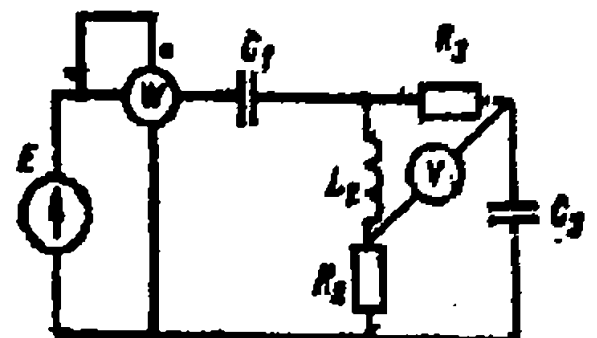


Рис.2.42

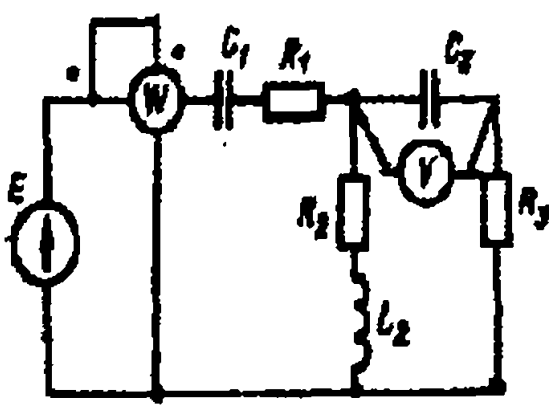


Рис.2.43

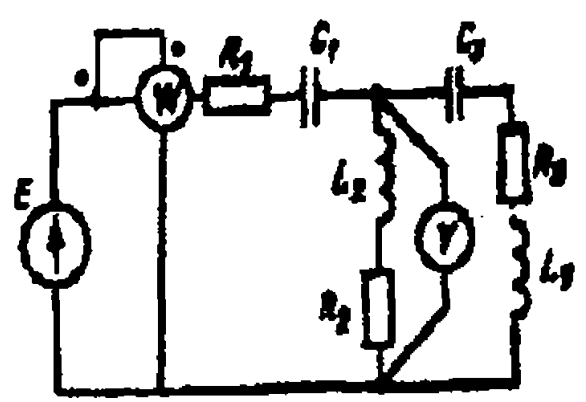


Рис.2.44

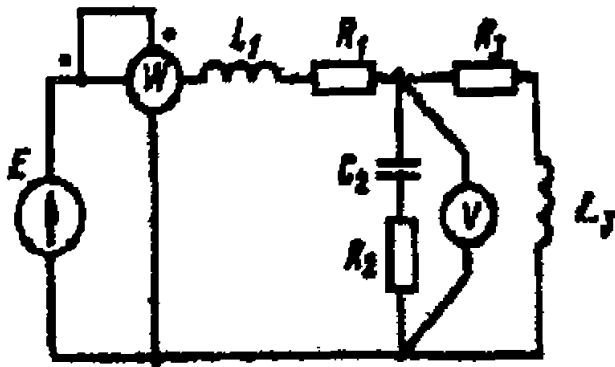


Рис.2.45

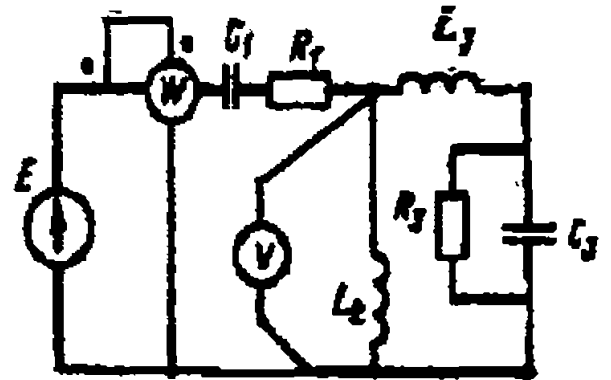


Рис.2.46

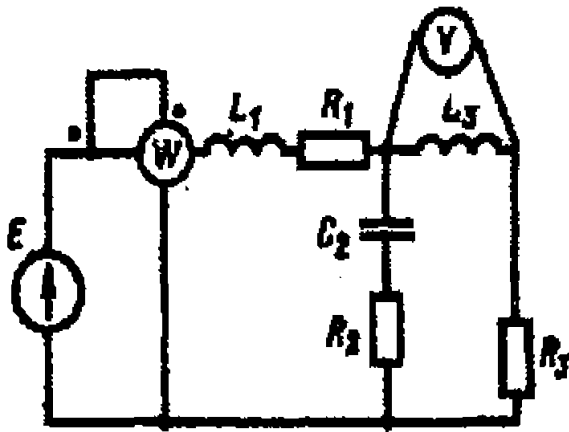


Рис.2.47

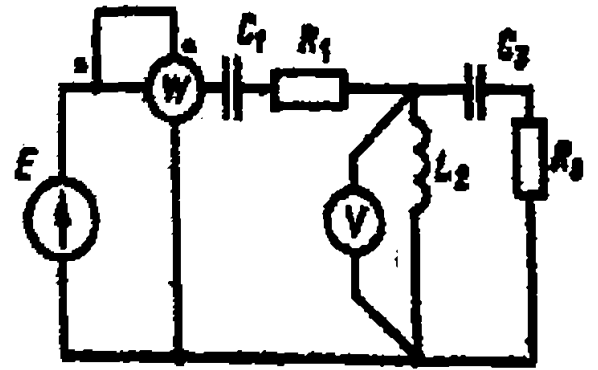


Рис.2.48

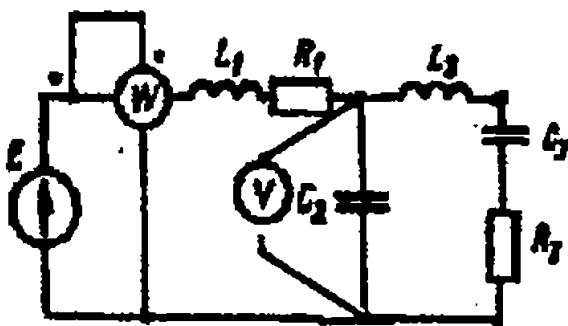


Рис.2.49

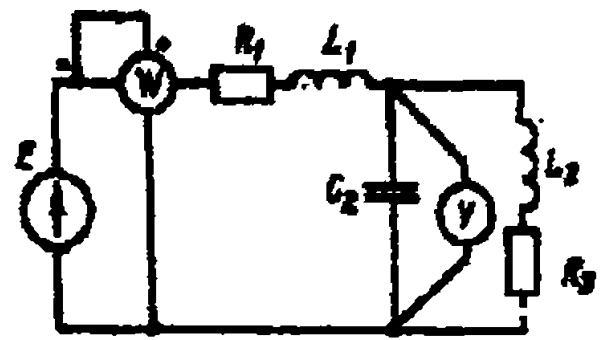


Рис.2.50

Таблица 2.

| Номера  |         | E, В | f, Гц | C <sub>1</sub> , МКФ | C <sub>2</sub> , МКФ | C <sub>3</sub> , МКФ | L <sub>1</sub> , мГн | L <sub>2</sub> , мГн | L <sub>3</sub> , мГн | R <sub>1</sub> , Ом | R <sub>2</sub> , Ом | R <sub>3</sub> , Ом |
|---------|---------|------|-------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| вариант | рисунка |      |       |                      |                      |                      |                      |                      |                      |                     |                     |                     |
| 0       | 2.1     | 150  | 50    | 637                  | -                    | -                    | -                    | 9                    | 15.9                 | 2                   | 3                   | 4                   |
| 1       | 2.2     | 100  | 50    | -                    | -                    | 100                  | 15.9                 | 9                    | 15.9                 | 8                   | 3                   | 4                   |
| 2       | 2.3     | 120  | 50    | 637                  | 300-                 | -                    | -                    | -                    | 15.9                 | 8                   | 3                   | 4                   |
| 3       | 2.4     | 200  | 50    | -                    | 300                  | -                    | 15.9                 | -                    | 15.9                 | 8                   | 3                   | 4                   |
| 4       | 2.5     | 220  | 50    | 637                  | -                    | 100                  | -                    | 47.7                 | -                    | 8                   | -                   | 4                   |
| 5       | 2.1     | 50   | 50    | 100                  | -                    | -                    | -                    | 15,9                 | 115                  | 10                  | 4                   | 100                 |
| 6       | 2.6     | 100  | 50    | 100                  | 300                  | -                    | 15.9                 | -                    | 115                  | 10                  | -                   | 100                 |
| 7       | 2.7     | 120  | 50    | -                    | -                    | 100                  | 15.9                 | -                    | 115                  | -                   | 4                   | 100                 |
| 8       | 2.8     | 200  | 50    | -                    | 159                  | -                    | -                    | -                    | 115                  | 10                  | 4                   | 100                 |
| 9       | 2.9     | 220  | 50    | -                    | 318                  | -                    | 15.9                 | -                    | -                    | 10                  | 4                   | 100                 |
| 10      | 2.10    | 50   | 50    | -                    | 637                  | -                    | 15.9                 | -                    | 6.37                 | 5                   | -                   | 8                   |
| 11      | 2.11    | 100  | 50    | 637                  | -                    | 100                  | -                    | 15.7                 | -                    | -                   | 10                  | 8                   |
| 12      | 2.15    | 120  | 50    | -                    | 300                  | 100                  | 31.8                 | -                    | -                    | 5                   | -                   | 8                   |
| 13      | 2.13    | 200  | 50    | -                    | -                    | 100                  | 31.8                 | -                    | -                    | 5                   | 10                  | 8                   |
| 14      | 2.12    | 220  | 50    | 637                  | -                    | 200                  | -                    | 15.9                 | -                    | 5                   | 10                  | 8                   |
| 15      | 2.16    | 150  | 50    | 100                  | -                    | 200                  | -                    | 15.9                 | -                    | 10                  | 2                   | 10                  |
| 16      | 2.15    | 100  | 50    | -                    | 1600                 | 200                  | 31.8                 | -                    | -                    | -                   | 8                   | 10                  |
| 17      | 2.18    | 120  | 50    | 100                  | -                    | 200                  | -                    | 15.9                 | -                    | 10                  | 8                   | 10                  |
| 18      | 2.42    | 200  | 50    | 637                  | -                    | 200                  | -                    | 31.8                 | -                    | -                   | 8                   | 10                  |
| 19      | 2.22    | 220  | 50    | -                    | 1600                 | -                    | 31.8                 | -                    | 95                   | 10                  | 8                   | -                   |
| 20      | 2.38    | 50   | 50    | -                    | 159                  | -                    | 31.8                 | -                    | 95                   | 15                  | 10                  | 10                  |
| 21      | 2.15    | 100  | 50    | -                    | 159                  | 200                  | 15.9                 | -                    | -                    | 15                  | -                   | 10                  |
| 22      | 2.14    | 120  | 50    | -                    | 159                  | 200                  | 15.9                 | -                    | -                    | -                   | 10                  | 20                  |
| 23      | 2.19    | 200  | 50    | 637                  | -                    | 200                  | -                    | 31.8                 | -                    | 15                  | -                   | 20                  |
| 24      | 2.20    | 220  | 50    | 637                  | 159                  | -                    | -                    | -                    | 95                   | -                   | 10                  | 20                  |
| 25      | 2.45    | 150  | 50    | -                    | 159                  | -                    | 25                   | -                    | 95                   | 6                   | 10                  | 20                  |
| 26      | 2.21    | 100  | 50    | 637                  | 159                  | -                    | -                    | -                    | 95                   | 6                   | -                   | 20                  |
| 27      | 2.22    | 100  | 50    | -                    | 159                  | -                    | 25                   | -                    | 95                   | 6                   | 4                   | -                   |
| 28      | 2.50    | 200  | 50    | -                    | 159                  | 637                  | 25                   | -                    | 95                   | 6                   | -                   | 20                  |
| 29      | 2.48    | 220  | 50    | 637                  | -                    | 200                  | -                    | 9                    | -                    | 6                   | -                   | 20                  |
| 30      | 2.25    | 50   | 50    | 318                  | 637                  | -                    | -                    | -                    | 31.8                 | -                   | 10                  | 40                  |

| Номера   |         | E, В | f, Гц | C <sub>1</sub> , МКФ | C <sub>2</sub> , МКФ | C <sub>3</sub> , МКФ | L <sub>1</sub> , МГн | L <sub>2</sub> , МГн | L <sub>3</sub> , МГн | R <sub>1</sub> , Ом | R <sub>2</sub> , Ом | R <sub>3</sub> , Ом |
|----------|---------|------|-------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| варианта | рисунка |      |       |                      |                      |                      |                      |                      |                      |                     |                     |                     |
| 31       | 2.23    | 100  | 50    | 318                  | -                    | 300                  | -                    | -                    | 31.8                 | -                   | 10                  | 10                  |
| 32       | 2.28    | 120  | 50    | -                    | -                    | 300                  | 19.1                 | 15.9                 | 31.8                 | 40                  | -                   | 10                  |
| 33       | 2.41    | 200  | 50    | 318                  | -                    | 300                  | -                    | 15.9                 | -                    | 10                  | 10                  | 40                  |
| 34       | 2.24    | 220  | 50    | 318                  | -                    | 300                  | -                    | 15.9                 | 31.8                 | -                   | 10                  | 10                  |
| 35       | 2.47    | 50   | 50    | -                    | 318                  | -                    | 19.5                 | -                    | 31.8                 | 8                   | 10                  | 4                   |
| 36       | 2.46    | 100  | 50    | 637                  | -                    | 200                  | -                    | 31.8                 | 95                   | 8                   | -                   | 4                   |
| 37       | 2.43    | 150  | 50    | 637                  | -                    | 200                  | -                    | 31.8                 | -                    | 8                   | 10                  | 4                   |
| 38       | 2.49    | 200  | 50    | -                    | 318                  | 200                  | 15.9                 | -                    | 95                   | 8                   | -                   | 4                   |
| 39       | 2.41    | 220  | 50    | -                    | -                    | 200                  | 15.9                 | 31.8                 | 95                   | 8                   | -                   | 4                   |
| 40       | 2.44    | 50   | 50    | 637                  | -                    | 200                  | -                    | 31.8                 | 95                   | 4                   | 40                  | 40                  |
| 41       | 2.35    | 100  | 50    | -                    | 318                  | 200                  | 9.55                 | -                    | -                    | 4                   | 40                  | 4                   |
| 42       | 2.33    | 120  | 50    | 500                  | -                    | -                    | -                    | 15.9                 | 95                   | 4                   | -                   | 4                   |
| 43       | 2.31    | 200  | 50    | 500                  | -                    | 159                  | -                    | 15.9                 | -                    | 40                  | 10                  | 40                  |
| 44       | 2.36    | 220  | 50    | -                    | 318                  | 159                  | 9.55                 | -                    | 95                   | -                   | 10                  | 40                  |
| 45       | 2.34    | 50   | 50    | 500                  | 159                  | 159                  | -                    | -                    | 31.8                 | 35                  | 20                  | 40                  |
| 46       | 2.32    | 100  | 50    | 500                  | -                    | -                    | -                    | 15.9                 | 31.8                 | 35                  | -                   | 40                  |
| 47       | 2.39    | 120  | 50    | -                    | 159                  | -                    | 15.9                 | -                    | 31.8                 | 35                  | 20                  | 80                  |
| 48       | 2.37    | 200  | 50    | 318                  | 318                  | 159                  | -                    | -                    | 31.8                 | 35                  | 20                  | 80                  |
| 49       | 2.40    | 220  | 50    | 318                  | -                    | 159                  | -                    | 31.8                 | 31.8                 | 35                  | 20                  | 80                  |
| 50       | 2.38    | 50   | 50    | -                    | 318                  | -                    | 15.9                 | -                    | 31.8                 | 5                   | 10                  | 80                  |

**Задача 3.** Для электрической цепи, схема которой изображена на рис. 3.1-3.17, по заданным в табл. 3 параметрам и линейному напряжению, определить фазные и линейные токи, ток в нейтральном проводе (для четырехпроводной схемы), активную мощность всей цепи и каждой фазы отдельно. Построить векторную диаграмму токов и напряжений на комплексной плоскости.



Таблица 3.

| Номера   |         | U <sub>лв</sub> , В | R <sub>св</sub> , Ом | R <sub>лв</sub> , Ом | R <sub>сз</sub> , Ом | X <sub>св</sub> , Ом | X <sub>лв</sub> , Ом | X <sub>сз</sub> , Ом | R <sub>абс</sub> , Ом | R <sub>вс</sub> , Ом | R <sub>сз</sub> , Ом | X <sub>абс</sub> , Ом | X <sub>вс</sub> , Ом | X <sub>сз</sub> , Ом |
|----------|---------|---------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|
| варианта | расчета |                     |                      |                      |                      |                      |                      |                      |                       |                      |                      |                       |                      |                      |
| 0        | 3.1     | 127                 | 8                    | 8                    | 8                    | 6                    | 6                    | 6                    | -                     | -                    | -                    | -                     | -                    | -                    |
| 1        | 3.1     | 220                 | 8                    | 8                    | 8                    | 6                    | 6                    | 6                    | -                     | -                    | -                    | -                     | -                    | -                    |
| 2        | 3.1     | 380                 | 8                    | 8                    | 8                    | 6                    | 6                    | 6                    | -                     | -                    | -                    | -                     | -                    | -                    |
| 3        | 3.2     | 127                 | 3                    | 4                    | 6                    | 4                    | 3                    | 8                    | -                     | -                    | -                    | -                     | -                    | -                    |
| 4        | 3.2     | 220                 | 8                    | 4                    | 6                    | 4                    | 3                    | 8                    | -                     | -                    | -                    | -                     | -                    | -                    |
| 5        | 3.2     | 380                 | 8                    | 4                    | 6                    | 4                    | 3                    | 8                    | -                     | -                    | -                    | -                     | -                    | -                    |
| 6        | 3.3     | 127                 | 4                    | 8                    | 6                    | 3                    | 4                    | 8                    | -                     | -                    | -                    | -                     | -                    | -                    |
| 7        | 3.3     | 220                 | 4                    | 8                    | 6                    | 3                    | 4                    | 9                    | -                     | -                    | -                    | -                     | -                    | -                    |
| 8        | 3.3     | 380                 | 4                    | 3                    | 6                    | 8                    | 4                    | 8                    | -                     | -                    | -                    | -                     | -                    | -                    |
| 9        | 3.4     | 127                 | 16.8                 | 8                    | 8                    | 14.2                 | 6                    | 4                    | -                     | -                    | -                    | -                     | -                    | -                    |
| 10       | 3.4     | 220                 | 16.8                 | 8                    | 8                    | 14.2                 | 6                    | 4                    | -                     | -                    | -                    | -                     | -                    | -                    |
| 11       | 3.4     | 380                 | 16.8                 | 8                    | 8                    | 8                    | 6                    | 4                    | -                     | -                    | -                    | -                     | -                    | -                    |
| 12       | 3.5     | 127                 | 10                   | -                    | -                    | -                    | 10                   | 10                   | -                     | -                    | -                    | -                     | -                    | -                    |
| 13       | 3.5     | 220                 | 10                   | -                    | -                    | -                    | 10                   | 10                   | -                     | -                    | -                    | -                     | -                    | -                    |
| 14       | 3.5     | 380                 | 10                   | -                    | -                    | -                    | 10                   | 10                   | -                     | -                    | -                    | -                     | -                    | -                    |
| 15       | 3.6     | 127                 | -                    | -                    | -                    | -                    | -                    | -                    | 8                     | 8                    | 8                    | 6                     | 6                    | 6                    |
| 16       | 3.6     | 220                 | -                    | -                    | -                    | -                    | -                    | -                    | 8                     | 8                    | 8                    | 6                     | 6                    | 6                    |
| 17       | 3.6     | 380                 | -                    | -                    | -                    | -                    | -                    | -                    | 8                     | 8                    | 8                    | 6                     | 6                    | 6                    |
| 18       | 3.7     | 127                 | -                    | -                    | -                    | -                    | -                    | -                    | 8                     | 4                    | 6                    | 4                     | 3                    | 8                    |
| 19       | 3.7     | 220                 | -                    | -                    | -                    | -                    | -                    | -                    | 8                     | 4                    | 6                    | 4                     | 3                    | 8                    |
| 20       | 3.7     | 380                 | -                    | -                    | -                    | -                    | -                    | -                    | 8                     | 4                    | 6                    | 4                     | 3                    | 8                    |
| 21       | 3.8     | 127                 | -                    | -                    | -                    | -                    | -                    | -                    | 4                     | 8                    | 6                    | 3                     | 4                    | 8                    |
| 22       | 3.8     | 220                 | -                    | -                    | -                    | -                    | -                    | -                    | 4                     | 8                    | 6                    | 3                     | 4                    | 8                    |
| 23       | 3.8     | 380                 | -                    | -                    | -                    | -                    | -                    | -                    | 4                     | 8                    | 6                    | 3                     | 4                    | 8                    |
| 24       | 3.9     | 127                 | -                    | -                    | -                    | -                    | -                    | -                    | 16.8                  | 8                    | 3                    | 14.2                  | 6                    | 4                    |
| 25       | 3.9     | 220                 | -                    | -                    | -                    | -                    | -                    | -                    | 16.8                  | 8                    | 3                    | 14.2                  | 6                    | 4                    |
| 26       | 3.9     | 380                 | -                    | -                    | -                    | -                    | -                    | -                    | 16.8                  | 8                    | 3                    | 14.2                  | 6                    | 4                    |
| 27       | 3.10    | 127                 | -                    | -                    | -                    | -                    | -                    | -                    | 10                    | -                    | -                    | -                     | 10                   | 10                   |
| 28       | 3.10    | 220                 | -                    | -                    | -                    | -                    | -                    | -                    | 10                    | -                    | -                    | -                     | 10                   | 10                   |
| 29       | 3.10    | 380                 | -                    | -                    | -                    | -                    | -                    | -                    | 10                    | -                    | -                    | -                     | 10                   | 10                   |
| 30       | 3.11    | 127                 | 10                   | -                    | -                    | -                    | 10                   | 10                   | -                     | -                    | -                    | -                     | -                    | -                    |

Продолжение таблицы 3.

| Номера   |         | U <sub>лв</sub> В | R <sub>с</sub> , Ом | R <sub>лв</sub> , Ом | R <sub>с2</sub> , Ом | X <sub>с</sub> , Ом | X <sub>лв</sub> , Ом | X <sub>с</sub> , Ом | R <sub>лв2</sub> , Ом | R <sub>лвс</sub> , Ом | R <sub>сав</sub> , Ом | X <sub>лвс</sub> , Ом | X <sub>лвс2</sub> , Ом | X <sub>сав</sub> , Ом |
|----------|---------|-------------------|---------------------|----------------------|----------------------|---------------------|----------------------|---------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|
| варианта | рисунка |                   |                     |                      |                      |                     |                      |                     |                       |                       |                       |                       |                        |                       |
| 31       | 3.11    | 220               | 10                  | -                    | -                    | -                   | 10                   | 10                  | -                     | -                     | -                     | -                     | -                      | -                     |
| 32       | 3.11    | 380               | 10                  | -                    | -                    | -                   | 10                   | 10                  | -                     | -                     | -                     | -                     | -                      | -                     |
| 33       | 3.12    | 127               | 15                  | -                    | -                    | -                   | 5                    | 5                   | -                     | -                     | -                     | -                     | -                      | -                     |
| 34       | 3.12    | 220               | 15                  | -                    | -                    | -                   | 5                    | 5                   | -                     | -                     | -                     | -                     | -                      | -                     |
| 35       | 3.12    | 380               | 15                  | -                    | -                    | -                   | 5                    | 5                   | -                     | -                     | -                     | -                     | -                      | -                     |
| 36       | 3.13    | 127               | -                   | -                    | -                    | -                   | -                    | -                   | -                     | 3                     | 8                     | 4                     | 6                      | 8                     |
| 37       | 3.13    | 220               | -                   | -                    | -                    | -                   | -                    | -                   | -                     | 3                     | 8                     | 4                     | 6                      | 8                     |
| 38       | 3.13    | 380               | -                   | -                    | -                    | -                   | -                    | -                   | -                     | 3                     | 8                     | 4                     | 6                      | 8                     |
| 39       | 3.14    | 127               | -                   | -                    | -                    | -                   | -                    | -                   | 8                     | 4                     | 8                     | -                     | 6                      | 10                    |
| 40       | 3.14    | 220               | -                   | -                    | -                    | -                   | -                    | -                   | 8                     | 4                     | 8                     | -                     | 6                      | 10                    |
| 41       | 3.14    | 380               | -                   | -                    | -                    | -                   | -                    | -                   | 8                     | 4                     | 8                     | -                     | 6                      | 10                    |
| 42       | 3.15    | 127               | -                   | -                    | -                    | -                   | -                    | -                   | -                     | 5                     | 6                     | 5                     | 8                      | 4                     |
| 43       | 3.15    | 220               | -                   | -                    | -                    | -                   | -                    | -                   | -                     | 5                     | 6                     | 5                     | 8                      | 4                     |
| 44       | 3.15    | 380               | -                   | -                    | -                    | -                   | -                    | -                   | -                     | 5                     | 6                     | 5                     | 8                      | 4                     |
| 45       | 3.16    | 127               | -                   | -                    | -                    | -                   | -                    | -                   | 5                     | -                     | 6                     | 10                    | 8                      | 4                     |
| 46       | 3.16    | 220               | -                   | -                    | -                    | -                   | -                    | -                   | 5                     | -                     | 6                     | 10                    | 8                      | 4                     |
| 47       | 3.16    | 380               | -                   | -                    | -                    | -                   | -                    | -                   | 5                     | -                     | 6                     | 10                    | 8                      | 4                     |
| 48       | 3.17    | 127               | -                   | 3                    | -                    | 15                  | -                    | 10                  | -                     | -                     | -                     | -                     | -                      | -                     |
| 49       | 3.17    | 220               | -                   | 3                    | -                    | 15                  | -                    | 10                  | -                     | -                     | -                     | -                     | -                      | -                     |
| 50       | 3.17    | 380               | -                   | 3                    | -                    | 15                  | -                    | 10                  | -                     | -                     | -                     | -                     | -                      | -                     |

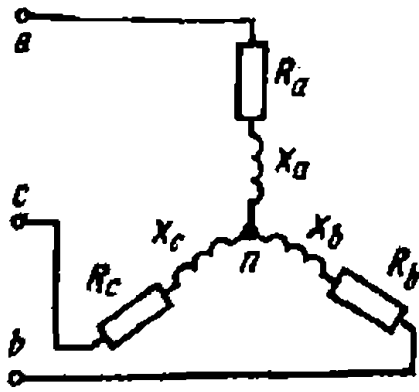


Рис3.1

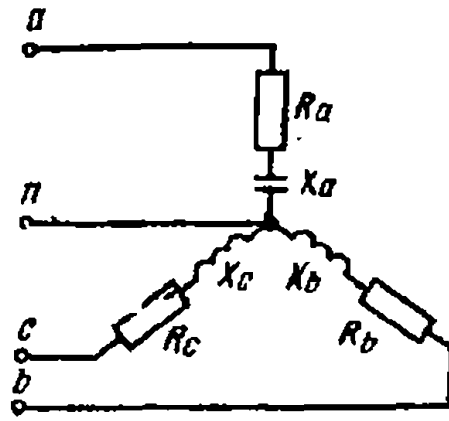


Рис3.2

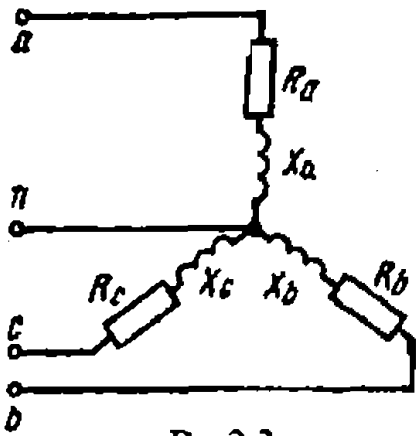


Рис3.3

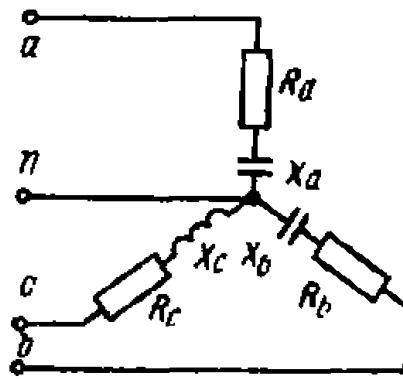


Рис3.4

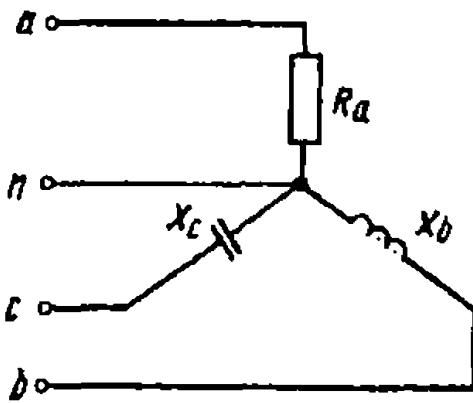


Рис3.5

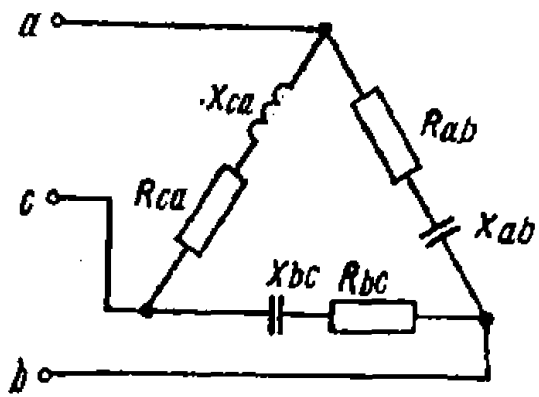


Рис3.6

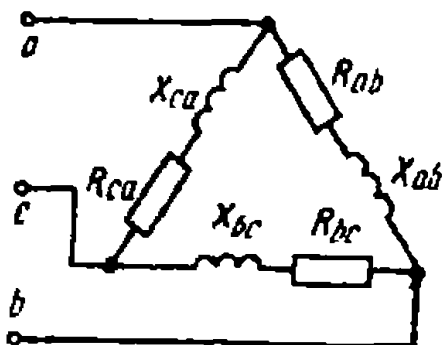


Рис3.7

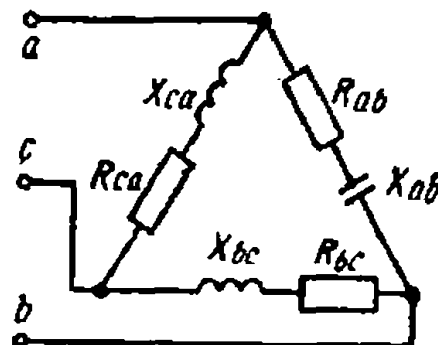


Рис3.8

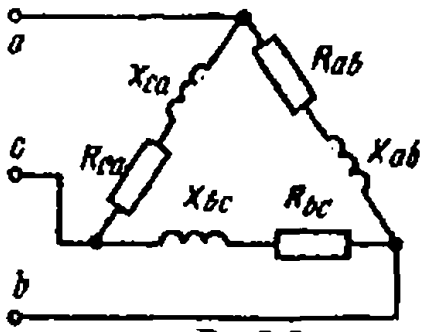


Рис3.9

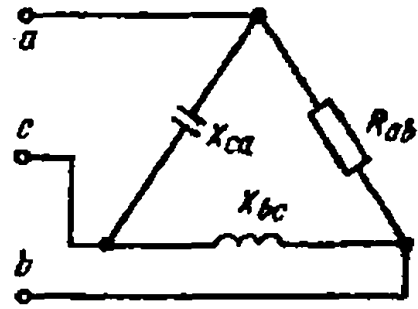


Рис3.10

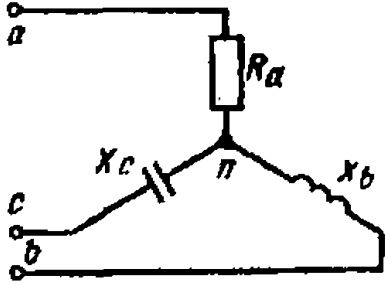


Рис3.11

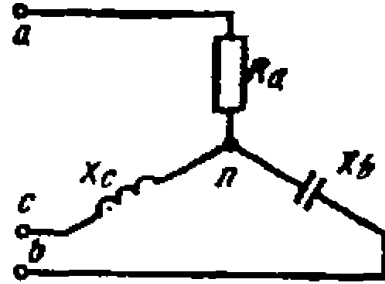


Рис3.12

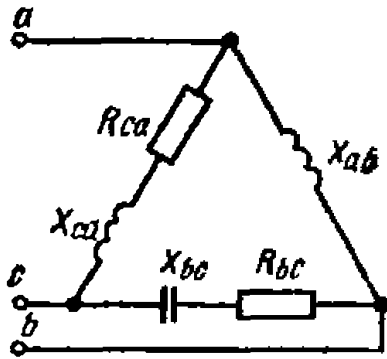


Рис3.13

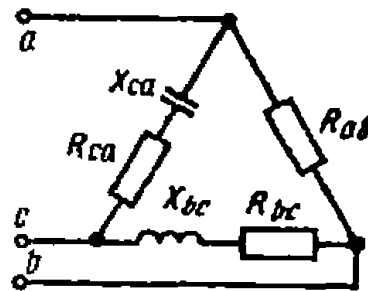


Рис3.14

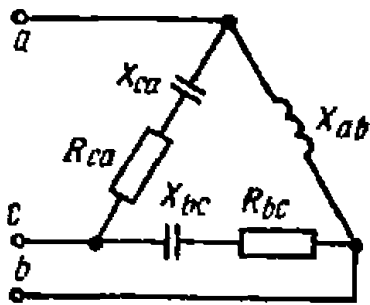


Рис3.15

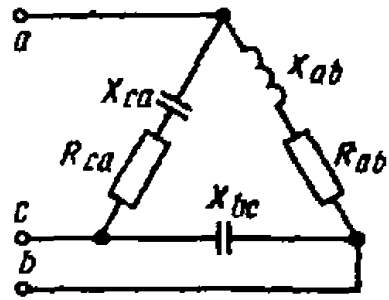


Рис3.16

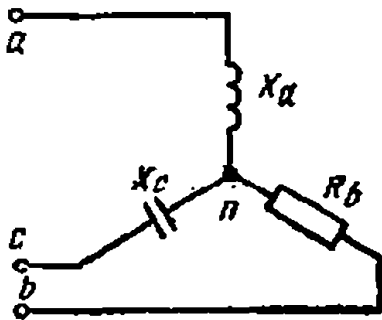


Рис3.17

Асинхронные двигатели

Рассмотрим несколько примеров решения задач.

**Задача 1.** Номинальная мощность трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором  $P_{ном} = 10$  кВт, номинальное напряжение  $U_{ном} = 380$  В, номинальная частота вращения ротора  $n_{ном} = 1420$  об/мин, номинальный к. п. д.  $\eta_{ном} = 0,84$  и номинальный коэффициент мощности  $\cos\varphi_{ном} = 0,85$ . Кратность пускового тока  $I_{пуск}/I_{ном} = 6,5$ , а перегрузочная способность двигателя  $\lambda = M_{пуск}/M_{ном} = 1,8$ .

Определить: 1) потребляемую мощность; 2) номинальный и максимальный (критический) вращающие моменты; 3) пусковой ток; 4) номинальное и критическое скольжения. Построить механические характеристики  $M = f(S)$  и  $\Omega = f(M)$ .

**Решение.** Потребляемая мощность

$$P_{1ном} = P_{ном} / \eta_{ном} = 10 / 0,84 = 11,9 \text{ кВт.}$$

Номинальный и максимальный моменты:

$$M_{ном} = P_{ном} / \Omega_{ном} = 10 \cdot 10^3 / (\pi \cdot 1420 / 30) = 67,3 \text{ Нм;}$$

$$M_{крит} = \lambda M_{ном} = 1,8 \cdot 67,3 = 121 \text{ Нм.}$$

Номинальный и пусковой токи:

$$I_{ном} = \frac{P_{1ном}}{\sqrt{3} U_{ном} \cos\varphi_{ном}} = \frac{11,9 \cdot 10^3}{1,73 \cdot 380 \cdot 0,84} = 21,2 \text{ А;}$$

$$I_{пуск} = 6,5 I_{ном} = 6,5 \cdot 21,2 = 138 \text{ А.}$$

Номинальное и критическое скольжения:

$$s_{ном} = (n_0 - n_{ном}) / n_0 = (1500 - 1420) / 1500 = 0,053; \text{ где } n_0 = 60f_1/p/$$

$$s_{крит} = s_{ном} (\lambda + \sqrt{\lambda^2 - 1}) = 0,053 (1,8 + \sqrt{1,8^2 - 1}) = 0,175.$$

Механическая характеристика  $M = f(S)$  строится по уравнению :

$$M = \frac{2 M_{крит}}{s_{крит} / s + s / s_{крит}} = \frac{242}{0,175 / s + s / 0,175}$$

Задаваясь скольжением  $s$  от 0 до 1, подсчитываем вращающий момент. Скорость вращения ротора определяем из уравнения

$$\Omega = \Omega_0(1-s), \quad \text{где } \Omega_0 = \pi n_0/30.$$

Расчетные данные приведены в табл. 5. Характеристики, построенные по данным таблицы, изображены на рис. 15, а, б.

Таблица 5

| $s$   | $\Omega, 1/c$ | $M, Нм$ | $s$ | $\Omega, 1/c$ | $M, Нм$ |
|-------|---------------|---------|-----|---------------|---------|
| 0.053 | 149           | 67.3    | 0.5 | 79            | 75.5    |
| 0.10  | 142           | 104.3   | 0.6 | 63            | 65.5    |
| 0.175 | 130           | 121     | 0.7 | 48            | 57      |
| 0.2   | 126           | 120.5   | 0.8 | 31.6          | 50.5    |
| 0.3   | 110           | 105.3   | 0.9 | 15.8          | 45.5    |
| 0.4   | 94            | 88.8    | 1   | 0             | 41.2    |

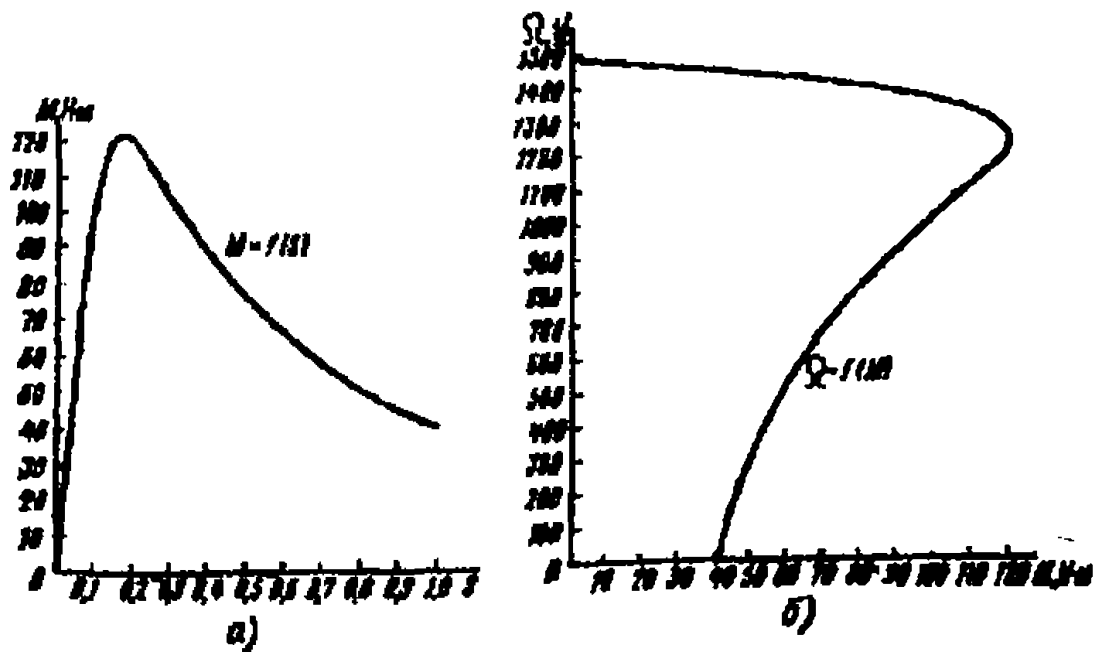


Рис. 15

## Электрические машины постоянного тока

**Задача 2.** Двигатель параллельного возбуждения, присоединенный к сети с напряжением  $U_{ном} = 220$  В, потребляет при номинальной нагрузке ток  $I_{ном} = 20,5$  А, при холостом ходе  $I_0 = 2,35$  А. Сопротивление обмотки якоря  $R_a = 0,75$  Ом, а в цепи возбуждения  $R_f = 258$  Ом. Номинальная частота вращения  $n_{ном} = 1025$  об/мин. Определить номинальную мощность двигателя (на валу), номинальный к. п. д., номинальный вращающий момент, пусковой ток при пуске двигателя без пускового реостата, сопротивление пускового реостата для условия  $I_{пуск} = 2,5I_{ном}$  и пусковой момент при пуске двигателя с реостатом. Построить естественную механическую характеристику двигателя. При решении принять, что магнитные и механические потери не зависят от нагрузки.

*Решение.* Номинальная мощность на валу двигателя

$$P_{ном} = P_{1ном} - \sum \Delta P,$$

где  $\sum \Delta P$  - потери в двигателе;  $P_{1ном}$  - потребляемая мощность:

$$P_{1ном} = U_{ном} I_{ном} = 220 * 20,5 = 4510 \text{ Вт} = 4,51 \text{ кВт}.$$

Для определения потерь в цепи якоря и цепи возбуждения надо знать ток в цепи якоря  $I_{яном}$  и ток возбуждения  $I_f$ :

$$I_f = U_{ном} / R_f = 220 / 258 = 0,85 \text{ А};$$

$$I_{яном} = I_{ном} - I_f = 20,5 - 0,85 = 19,65 \text{ А}.$$

Потери в обмотке якоря и в цепи возбуждения:

$$\Delta P_{яном} = R_a I_{яном}^2 = 0,75 * 19,65^2 = 290 \text{ Вт};$$

$$P_f = R_f I_f^2 = 258 * 0,85^2 = 186 \text{ Вт}.$$

Магнитные и механические потери:

$$\Delta P_{мех} + \Delta P_{эо} = P_0 - \Delta P_{я0} - \Delta P_f,$$

где  $P_0 = U_{ном} I_0 = 220 * 2,35 = 517$  Вт,  $\Delta P_{я0}$  - потери в обмотке якоря при холостом ходе двигателя:

$$\Delta P_{я0} = R_a (I_0 - I_f)^2 = 0,75 (2,35 - 0,85)^2 = 1,7 \text{ Вт};$$

$$\Delta P_{мех} + \Delta P_{эо} = 517 - 1,7 - 186 = 329,3 \text{ Вт};$$

$$\sum \Delta P = 290 + 186 + 329,3 = 805,3 \text{ Вт};$$

$$P_{ном} = 4510 - 805,3 = 3704,7 \text{ Вт} = 3,71 \text{ кВт}.$$

Номинальный к. п. д.

$$\eta_{ном} = (P_{ном} / P_{1ном}) * 100 \% = (3,71 / 4,50) * 100 \% = 82,2\%.$$

Номинальный вращающий момент

$$M_{\text{ном}} = M_{\text{ном}} = P_{\text{ном}} / \Omega_{\text{ном}} = 3,71 \cdot 10^3 / (\pi \cdot 1025/30) = 34,6 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

Пусковой ток двигателя при пуске без реостата

$$I_{\text{пуск}} = U_{\text{ном}} / R_{\text{я}} = 220 / 0,75 = 293 \text{ А.}$$

Сопротивление пускового реостата определяется из равенства

$$I_{\text{пуск}} = 2,5 I_{\text{я.ном}} = U_{\text{ном}} / (R_{\text{я}} + R_{\text{р}}),$$

откуда

$$R_{\text{р}} = U_{\text{ном}} / (2,5 \cdot I_{\text{я.ном}}) - R_{\text{я}} = 220 / (2,5 \cdot 19,65) - 0,75 = 3,73 \text{ Ом.}$$

Определяем пусковой момент двигателя при пуске с реостатом.

Известно, что вращающий момент двигателя определяется уравнением

$$M_{\text{вр}} = C_{\text{м}} \Phi I_{\text{я}} \quad (1)$$

Для режима номинальной нагрузки выражение (1) принимает вид

$$M_{\text{ном}} = C_{\text{м}} \Phi I_{\text{я.ном}}$$

а для пускового режима

$$M_{\text{пуск}} = C_{\text{м}} \Phi I_{\text{пуск}}$$

Полагая магнитный поток в двигателе постоянным, возьмем отношение моментов

$$\frac{M_{\text{пуск}}}{M_{\text{ном}}} = \frac{I_{\text{пуск}}}{I_{\text{ном}}}$$

откуда

$$M_{\text{пуск}} = M_{\text{ном}} \frac{I_{\text{пуск}}}{I_{\text{ном}}} = 34,6 \frac{2,5 \cdot 19,65}{19,65} = 86,5 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

Естественная механическая характеристика  $\Omega = f(M)$  (прямая линия) строится по двум точкам:

1) в режиме холостого хода при  $M = 0$  частота вращения  $n_0 = U_{\text{ном}} / (C_{\text{э}} \Phi_{\text{ном}}) = U_{\text{ном}} / E_{\text{ном}} n_{\text{ном}} = 220 / 205 \cdot 1025 = 1100$  об/мин, где противо-э. д. с.  $E_{\text{ном}} = U_{\text{ном}} - R_{\text{я}} I_{\text{я.ном}} = 220 - 0,75 \cdot 19,65 = 205$  В. Угловая скорость вращения якоря  $\Omega_0 = \pi n_0 / 30 = 115$  1/с;

2) при номинальной нагрузке  $M = M_{\text{ном}}$  угловая скорость вращения якоря  $\Omega_{\text{ном}} = \pi n / 30 = 107$  1/с.

**Задача 3.** Двигатель последовательного возбуждения работает от сети напряжением 220 В. Номинальный вращающий момент двигателя и номинальная частота вращения соответственно равны  $M_{\text{ном}} = 75$  Нм,  $n_{\text{ном}} = 1020$  об/мин, сопротивления обмоток якоря и возбуждения  $R_{\text{я}} = 0,4$  Ом,  $R_{\text{в}} = 0,3$  Ом. Номинальный к. п. д.  $\eta_{\text{ном}} = 81,5$  %. Определить: 1) мощность на валу двигателя и мощность, потребляемую из сети при номинальной



нагрузке; 2) ток двигателя; 3) противо-э. д. с. и электромагнитную мощность (мощность, передаваемую на якорь); 4) потери в двигателе при номинальной нагрузке и сопротивление пускового реостата, при котором пусковой ток превышает номинальный в 2 раза.

*Решение.* Номинальная мощность двигателя

$$P_{ном} = M_{ном} \Omega_{ном} = 75 \cdot (\pi \cdot 1020/30) = 8 \text{ кВт.}$$

Потребляемая мощность

$$P_{1ном} = P_{ном} / \eta_{ном} = 8/0,815 = 9,8 \text{ кВт.}$$

Номинальный ток двигателя

$$I_{ном} = P_{1ном} / U_{ном} = 9,8 \cdot 1000 / 220 = 44,5 \text{ А.}$$

Полученный ток является током обмоток якоря и возбуждения

$$I_{я,ном} = I_a = 44,5 \text{ А.}$$

Противо-э. д. с., наводимая в обмотке якоря,

$$E = U_{ном} - (R_a + R_B) I_{ном} = 220 - (0,4 + 0,3) \cdot 44,5 = 188,8 \text{ В.}$$

Электромагнитная мощность

$$P_{эм} = E I_{я,ном} = 188,8 \cdot 44,5 = 8400 \text{ Вт} = 8,4 \text{ кВт.}$$

Магнитные и механические потери

$$\Delta P_m + \Delta P_{мех} = P_{эм} - P_{ном} = 8,4 - 8 = 0,4 \text{ кВт.}$$

Потери в обмотке якоря и в обмотке возбуждения:

$$\Delta P_{я,ном} = R_a I_{я,ном}^2 = 0,4 \cdot 44,5^2 = 792 \text{ Вт,}$$

$$\Delta P_B = R_B I_a^2 = 0,3 \cdot 44,5^2 = 595 \text{ Вт.}$$

Суммарные потери в двигателе

$$\sum \Delta P_{ном} = 400 + 792 + 595 = 1787 \text{ Вт} = 1,787 \text{ кВт.}$$

Проверим полученный результат:

$$\sum \Delta P_{ном} = P_{1ном} - P_{ном} = 9,8 - 8 = 1,8 \text{ кВт.}$$

Сопротивление пускового реостата

$$R_{пуск} = (U_{ном} / 2I_{я,ном}) - (R_a + R_B) = (220 / 2 \cdot 44,5) - 0,7 = 1,77 \text{ Ом.}$$

### *Выбор типа и мощности двигателя*

**Задача 4.** Определить необходимую мощность двигателя для привода механизма, режим работы которого задан нагрузочной диаграммой на рис. 39. По технологическим условиям следует использовать асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором. Двигатель должен иметь частоту вращения  $n = 980$  об/мин, помещение, где установлен двигатель, - сухое, без пыли и грязи.

*Решение.*

В данном случае режим работы представляет собой длительную переменную нагрузку. Мощность двигателя подбирают при подобных режимах работы по эквивалентной мощности, которая равна

$$P_{э} = \sqrt{\sum_{i=1}^n (P_i^2 \cdot t_i) / t}$$

где  $t_{ц}$  — время цикла работы,

$$t_{ц} = t_1 + t_2 + t_3 = 20 + 30 + 15 = 65 \text{ с};$$

$$P_{\text{ж}} = \sqrt{\frac{12^2 \cdot 20 + 8^2 \cdot 30 + 6^2 \cdot 15}{65}} = 9,05 \text{ кВт.}$$

По данным каталога в качестве приводимого двигателя можно использовать асинхронный короткозамкнутый двигатель в защищенном исполнении типа 4А160S6УЗ; 380/220 В;  $P_{\text{ном}} = 11 \text{ кВт}$ ,  $n_{\text{ном}} = 975 \text{ об/мин}$ ;  $\eta_{\text{ном}} = 0,870$ ;  $M_{\text{пуск}}/M_{\text{ном}} = 1,2$ ;  $M_{\text{max}}/M_{\text{ном}} = 2$  /Приложение/.

В ряде случаев момент нагрузки на отдельных участках оказывается больше максимально допустимого момента двигателя, и асинхронный двигатель может остановиться. Поэтому после выбора двигателя его необходимо проверить по перегрузочной способности исходя из условия.  $M_{\text{max}} \leq M_{\text{max доп}}$ , где  $M_{\text{max}}$  — максимальный момент на валу двигателя;  $M_{\text{max доп}}$  — максимально допустимый момент двигателя. Для асинхронного двигателя  $M_{\text{max доп}} = 0,9M_{\text{кр}}$ . Здесь  $M_{\text{кр}}$  — критический (максимальный) момент двигателя.

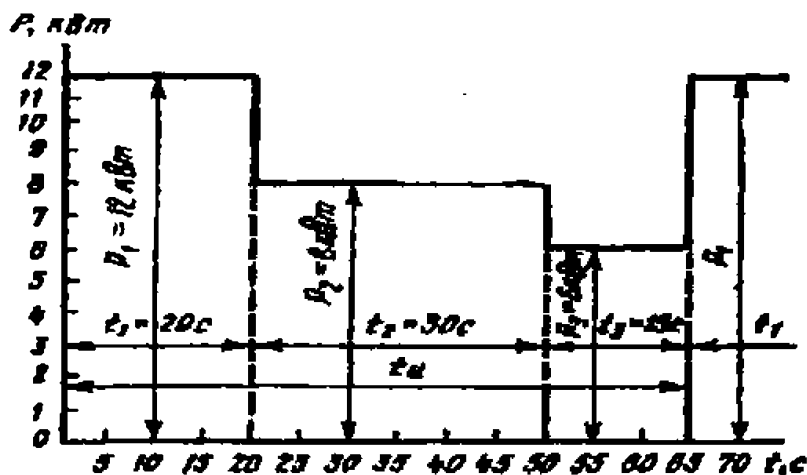


Рис.16

В данном примере:

номинальный момент двигателя

$$M_{\text{ном}} = P_{\text{ном}} / \Omega_{\text{ном}} = 11 \cdot 10^3 / (\pi \cdot 975 / 30) = 107,7 \text{ Нм}$$

(критический) момент

$$M_{\text{кр}} = \lambda M_{\text{ном}} = 2 \cdot 107,7 = 215,5 \text{ Н*м}$$

$$M_{\text{ном}} = P_{\text{ном}} / \Omega_{\text{ном}} = 10 \cdot 10^3 / (\pi \cdot 1420 / 30) = 67,3 \text{ Нм}$$

$$M_{\text{max}} = \lambda M_{\text{ном}} = 1,8 \cdot 67,3 = 121 \text{ Нм}$$

максимальный статический момент

$$M_{\text{ст}} = P_{\text{max}} / \Omega_{\text{ном}} = 12 \cdot 10^3 / (\pi \cdot 975 / 30) = 117,5 \text{ Нм}$$

Перегрузочной способности двигатель удовлетворяет, так как выполняется условие  $0,9M_{\text{кр}} = 0,9 \cdot 215,5 = 194 > M_{\text{ст}} = 117,5$ .

В том случае, когда нагрузочные диаграммы заданы моментом  $M=f(t)$  или током  $I=f(t)$ , мощность двигателей выбирают либо по эквивалентному моменту

$$M_{\text{экв}} = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^n (M^2 t_k)}{t_v}}$$

либо по эквивалентному току

$$M_{\text{экв}} = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^n (I^2 t_k)}{t_v}}$$

**Задача 5.** Определить необходимую мощность двигателя для привода механизма, работающего в повторно-кратковременном режиме, который задан нагрузочной диаграммой, изображенной на рис. 17. Двигатель должен развивать частоту вращения  $n = 720$  об/мин.

*Решение.*

Определяем эквивалентный момент за рабочее время:

$$M_{\text{экв}} = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^n (M^2 t_k)}{t_p}} = \sqrt{\frac{100^2 \cdot 10 + 70^2 \cdot 30 + 60^2 \cdot 20 + 40^2 \cdot 10}{10 + 30 + 20 + 10}} = 69,2 \text{ Нм}$$

Определяем мощность, соответствующую эквивалентному моменту за рабочее время:

$$P_{\text{раб}} = M_{\text{экв}} n / 9550 = 69,2 \cdot 720 / 9550 = 5,2 \text{ кВт.}$$

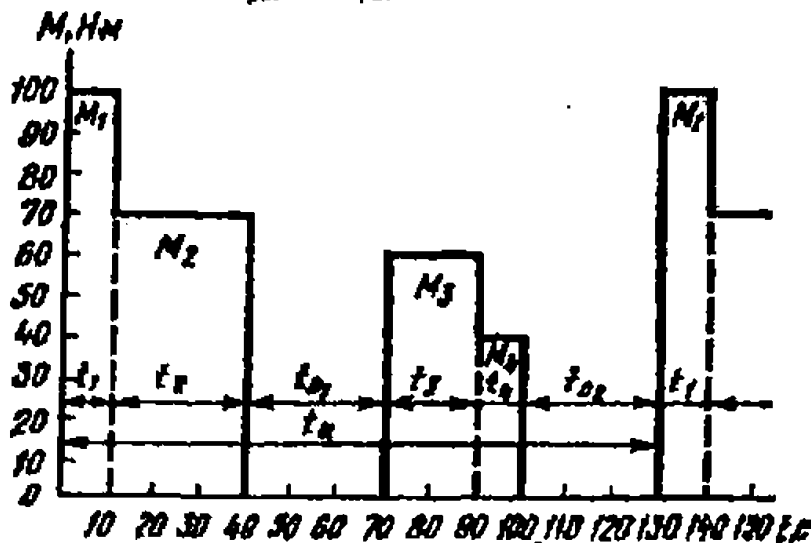


Рис. 17

В каталогах для двигателей повторно-кратковременного режима номинальная мощность указывается для следующих стандартных значений относительной продолжительности включения ПВ: 0,15; 0,25; 0,4 и 0,6. В том

случае, когда расчетная ПВ, определенная по нагрузочной диаграмме, отличается от стандартного значения, мощность двигателя пересчитывают по формуле

$$P'_{\text{рвб}} = P_{\text{рвб}} \sqrt{ПВ_{\text{рвб}} / ПВ_{\text{ном}}}$$

Для  $ПВ_{\text{ном}} = 0,6$  получаем

$$P'_{\text{рвб}} = 5,2 \sqrt{0,54 / 0,6} = 4,93 \text{ Вт.}$$

По данным каталога по аналогии с задачей 4 может быть подобран двигатель для расчетной мощности 5,0 кВт и  $ПВ_{\text{ном}} = 0,6$ .

## Контрольная работа 2

**Задача 1 (вариант 0—25).** Двигатель параллельного возбуждения, номинальное напряжение которого  $U_{\text{ном}}$ , при номинальной нагрузке потребляет ток  $I_{\text{ном}}$ , а при холостом ходе  $I_0$ . Номинальная частота вращения  $n_{\text{ном}}$ , сопротивление обмотки якоря  $R_a$ , сопротивление цепи возбуждения  $R_f$ . Магнитные и механические потери принять постоянными при всех режимах работы двигателя (табл. 4). Определить: номинальную мощность двигателя  $P_{\text{ном}}$  на валу, номинальный вращающий момент  $M_{\text{ном}}$ , номинальный к. п. д.  $\eta_{\text{ном}}$ , значение пускового момента при токе  $I_{\text{пуск}} = 2I_{\text{ном}}$  и соответствующее сопротивление пускового реостата, а также частоту вращения якоря при  $I_{\text{к.л.ом}}$ , но при введенном в цепь возбуждения добавочном сопротивлении, увеличивающем заданное в условии задачи значение  $R_f$  на 30 %. Построить естественную механическую характеристику двигателя.

**Задача 1 (варианты 26—50).** Двигатель параллельного возбуждения, номинальное напряжение которого  $U_{\text{ном}}$ , развивает номинальную мощность  $P_{\text{ном}}$ . Номинальная частота вращения якоря  $n_{\text{ном}}$  и номинальный к. п. д.  $\eta_{\text{ном}}$ . Потери мощности в цепи якоря  $\Delta P_a$ , в цепи возбуждения  $\Delta P_f$  заданы в процентах от потребляемой мощности двигателя  $P_{\text{ном}}$  (табл. 5). Определить: ток в цепи возбуждения, ток якоря при номинальной нагрузке  $I_{\text{к.л.ом}}$ , пусковой вращающий момент при пуске двигателя с пусковым реостатом, скорость вращения якоря при номинальном моменте на валу двигателя и при включении в цепь якоря добавочного сопротивления, равного  $3R_a$ . Построить естественную и реостатную механические характеристики двигателя.

**Задача 2.** Трехфазный асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором, номинальная мощность которого  $P_{\text{ном}}$ , номинальное напряжение 380/220, включен в сеть с напряжением 380 В частотой  $f = 50$  Гц.

Определить:

1. номинальный  $I_{\text{ном}}$  и пусковой  $I_{\text{пуск}}$  токи;
2. номинальный  $M_{\text{ном}}$ , пусковой  $M_{\text{пуск}}$  и максимальный  $M_{\text{max}}$  моменты.

3. полные потери в двигателе при номинальной нагрузке  $\Delta P_{\text{ном}}$ ;
4. потребляемую мощность  $P_{1 \text{ ном}}$ ;
5. построить механические характеристики двигателя  $M=f(S)$ ,  $\eta=f(M)$ ;
6. расшифровать обозначение типа двигателя.

Как изменится пусковой момент двигателя при снижении напряжения на его зажимах на 15 % и возможен ли пуск двигателя при этих условиях с номинальной нагрузкой? Данные для расчета приведены в табл. 6.

**Задача 3.** Для заданного в табл. 7 режима нагрузки производственного механизма построить нагрузочную диаграмму  $P = f(t)$  и выбрать мощность короткозамкнутого асинхронного двигателя по приложению.

Таблица 4

| Номер<br>варианта | Данные для расчёта |               |           |              |               |                          |
|-------------------|--------------------|---------------|-----------|--------------|---------------|--------------------------|
|                   | $U_{ном}$ , В      | $I_{ном}$ , А | $I_0$ , А | $R_{в}$ , Ом | $R_{ср}$ , Ом | $\rho_{ном}$ ,<br>об/мин |
| 0                 | 220                | 15            | 1.6       | 1.2          | 180           | 1025                     |
| 1                 | 220                | 53            | 6.3       | 0.212        | 33            | 1225                     |
| 2                 | 115                | 100           | 9.5       | 0.11         | 50            | 1000                     |
| 3                 | 110                | 267           | 30        | 0.04         | 27.5          | 1100                     |
| 4                 | 220                | 16.3          | 1.78      | 1.16         | 175           | 1025                     |
| 5                 | 110                | 7.8           | 0.7       | 0.8          | 210           | 1240                     |
| 6                 | 220                | 19.9          | 2.0       | 1.5          | 150           | 960                      |
| 7                 | 110                | 35            | 3.2       | 0.6          | 60            | 1400                     |
| 8                 | 220                | 32            | 2.8       | 0.94         | 120           | 1600                     |
| 9                 | 220                | 34            | 3         | 0.45         | 110           | 1100                     |
| 10                | 110                | 9.5           | 0.9       | 1.9          | 200           | 850                      |
| 11                | 110                | 20            | 1.8       | 0.7          | 80            | 940                      |
| 12                | 220                | 15            | 1.5       | 0.82         | 200           | 1350                     |
| 13                | 110                | 8.2           | 0.8       | 1.4          | 220           | 1450                     |
| 14                | 220                | 20.5          | 2.35      | 0.74         | 258           | 1025                     |
| 15                | 220                | 40            | 4.2       | 0.52         | 190           | 1420                     |
| 16                | 110                | 10.4          | 1.2       | 1.2          | 160           | 960                      |
| 17                | 110                | 18.6          | 2         | 0.9          | 120           | 825                      |
| 18                | 220                | 16            | 1.8       | 0.6          | 270           | 1600                     |
| 19                | 220                | 32            | 3.5       | 0.62         | 200           | 1350                     |
| 20                | 110                | 28            | 3.2       | 0.55         | 80            | 875                      |
| 21                | 110                | 25            | 2.6       | 0.58         | 90            | 1110                     |
| 22                | 220                | 60            | 6.8       | 0.40         | 130           | 935                      |
| 23                | 220                | 50            | 5.7       | 0.40         | 150           | 1340                     |
| 24                | 220                | 102           | 9.5       | 0.12         | 110           | 750                      |
| 25                | 220                | 151           | 15        | 0.07         | 75            | 1000                     |

Таблица 5

| Номер<br>варианта | Данные для расчёта |                 |                    |                    |                          |                  |
|-------------------|--------------------|-----------------|--------------------|--------------------|--------------------------|------------------|
|                   | $U_{ном}$ , В      | $P_{ном}$ , кВт | $\Delta P_{в}$ , % | $\Delta P_{с}$ , % | $\rho_{ном}$ ,<br>об/мин | $\rho_{ном}$ , % |
| 26                | 110                | 60              | 5.2                | 4.8                | 980                      | 86.5             |
| 27                | 220                | 10              | 5                  | 4.8                | 2250                     | 86               |
| 28                | 220                | 4               | 6.2                | 4.2                | 1025                     | 82.2             |
| 29                | 220                | 6.6             | 6.2                | 4.1                | 2400                     | 85.5             |
| 30                | 220                | 4.4             | 6.5                | 4.8                | 2100                     | 84.5             |
| 31                | 220                | 2.5             | 5.8                | 4.8                | 1000                     | 85               |
| 32                | 220                | 10              | 5.3                | 4.4                | 2250                     | 83               |
| 33                | 110                | 77              | 5                  | 4.2                | 1050                     | 85.5             |
| 34                | 110                | 80              | 5.4                | 4.5                | 1150                     | 85.8             |
| 35                | 110                | 92              | 5.3                | 4.1                | 970                      | 86.5             |
| 36                | 110                | 66              | 6.2                | 5                  | 1050                     | 85.5             |
| 37                | 110                | 35              | 6.3                | 5.2                | 2200                     | 84.5             |
| 38                | 110                | 45              | 5.7                | 4.6                | 1500                     | 85               |
| 39                | 220                | 15              | 5                  | 4                  | 1000                     | 84.5             |
| 40                | 220                | 10              | 5.2                | 4.2                | 970                      | 85.5             |

| Номер варианта | Данные для расчёта   |                        |                     |                     |              |         |
|----------------|----------------------|------------------------|---------------------|---------------------|--------------|---------|
|                | U <sub>ном</sub> , В | P <sub>ном</sub> , кВт | ΔP <sub>в</sub> , % | ΔP <sub>н</sub> , % | Пном, об/мин | Пном, % |
| 41             | 220                  | 5.8                    | 6                   | 5                   | 2200         | 84      |
| 42             | 220                  | 19                     | 4.8                 | 4.5                 | 980          | 86.5    |
| 43             | 220                  | 29                     | 5                   | 4.3                 | 2520         | 86      |
| 44             | 220                  | 46.5                   | 5.4                 | 4.8                 | 1025         | 82.2    |
| 45             | 220                  | 14                     | 4                   | 4.6                 | 2400         | 84      |
| 46             | 220                  | 20                     | 5.1                 | 4.2                 | 2100         | 85.5    |
| 47             | 220                  | 33.5                   | 5.5                 | 4                   | 1000         | 84.5    |
| 48             | 220                  | 8.5                    | 4                   | 4.1                 | 2250         | 85.5    |
| 49             | 220                  | 13.5                   | 4.8                 | 4.2                 | 1050         | 85.5    |
| 50             | 110                  | 60                     | 5                   | 4                   | 1150         | 84.5    |

Таблица 6

| Вариант | Тип двигателя | P <sub>ном</sub> , кВт | При номинальной нагрузке |         |          | M <sub>мах</sub> /M <sub>ном</sub> | M <sub>изг</sub> /M <sub>ном</sub> | I <sub>изг</sub> /I <sub>ном</sub> |
|---------|---------------|------------------------|--------------------------|---------|----------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
|         |               |                        | Пном, об/мин             | Пном, % | Сог Фном |                                    |                                    |                                    |
| 1       | 4A132S4Y3     | 7,5                    | 1455                     | 87,5    | 0,86     | 3,0                                | 2,2                                | 7,5                                |
| 2       | 4A80A2Y3      | 1,5                    | 2850                     | 81,0    | 0,85     | 2,6                                | 2,1                                | 6,5                                |
| 3       | 4A90LB8Y3     | 1,10                   | 700                      | 70,0    | 0,68     | 1,9                                | 1,6                                | 3,5                                |
| 4       | 4A160S6Y3     | 11,0                   | 975                      | 86,0    | 0,86     | 2,0                                | 1,2                                | 6,0                                |
| 5       | 4A100S4Y3     | 3,0                    | 1435                     | 82,0    | 0,83     | 2,4                                | 2,0                                | 6,0                                |
| 6       | 4A80B2Y3      | 2,2                    | 2850                     | 83,0    | 0,87     | 2,6                                | 2,1                                | 6,5                                |
| 7       | 4A132M6Y3     | 7,5                    | 970                      | 85,5    | 0,81     | 2,5                                | 2,0                                | 6,5                                |
| 8       | 4A112MB8Y3    | 3,0                    | 700                      | 79,0    | 0,74     | 2,2                                | 1,9                                | 5,0                                |
| 9       | 4A132S6Y3     | 5,5                    | 965                      | 85,0    | 0,80     | 2,5                                | 2,0                                | 6,5                                |
| 10      | 4A100S2Y3     | 4,0                    | 2880                     | 86,5    | 0,89     | 2,5                                | 2,0                                | 7,5                                |
| 11      | 4A80A4Y3      | 1,1                    | 1420                     | 75,0    | 0,81     | 2,2                                | 2,0                                | 5,0                                |
| 12      | 4A100L8Y3     | 1,5                    | 700                      | 74,0    | 0,65     | 1,9                                | 1,6                                | 4,0                                |
| 13      | 4A100L6Y3     | 2,2                    | 950                      | 81,0    | 0,73     | 2,2                                | 2,0                                | 5,0                                |
| 14      | 4A90L2Y3      | 3,0                    | 2840                     | 84,5    | 0,88     | 2,5                                | 2,1                                | 6,5                                |
| 15      | 4A112M4Y3     | 5,5                    | 1445                     | 85,5    | 0,85     | 2,2                                | 2,0                                | 7,0                                |
| 16      | 4A132S8Y3     | 4,0                    | 720                      | 83,0    | 0,70     | 2,6                                | 1,9                                | 5,5                                |
| 17      | 4A112MA6Y3    | 3,0                    | 955                      | 81,0    | 0,76     | 2,5                                | 2,0                                | 6,0                                |
| 18      | 4A180S2Y3     | 22                     | 2940                     | 88,5    | 0,91     | 2,5                                | 1,4                                | 7,5                                |
| 19      | 4A132M4Y3     | 11                     | 1460                     | 87,5    | 0,87     | 3,0                                | 2,2                                | 7,5                                |
| 20      | 4A71B2Y3      | 1,1                    | 2810                     | 77,5    | 0,87     | 2,2                                | 2,0                                | 5,5                                |
| 21      | 4AA63B2Y3     | 0,55                   | 2740                     | 73,0    | 0,86     | 2,2                                | 2,0                                | 4,5                                |
| 22      | 4A80B4Y3      | 1,5                    | 1415                     | 77,0    | 0,83     | 2,2                                | 2,0                                | 5,0                                |
| 23      | 4A160M8Y3     | 11,0                   | 730                      | 87,0    | 0,75     | 2,2                                | 1,4                                | 6,0                                |
| 24      | 4A90L6Y3      | 1,5                    | 935                      | 75,0    | 0,74     | 2,2                                | 2,0                                | 4,5                                |
| 25      | 4A132M2Y3     | 11,0                   | 2900                     | 88,0    | 0,90     | 2,8                                | 1,7                                | 7,5                                |
| 26      | 4AA50A2Y3     | 0,09                   | 2740                     | 60,0    | 0,70     | 2,2                                | 2,0                                | 4,0                                |
| 27      | 4A160S8Y3     | 7,5                    | 730                      | 86,0    | 0,75     | 2,2                                | 1,4                                | 6,0                                |
| 28      | 4A71B6Y3      | 0,55                   | 900                      | 67,5    | 0,71     | 2,2                                | 2,0                                | 4,0                                |
| 29      | 4A132M8Y3     | 5,5                    | 720                      | 83,0    | 0,74     | 2,6                                | 1,9                                | 5,5                                |
| 30      | 4A80B8Y3      | 0,55                   | 700                      | 64,0    | 0,65     | 1,7                                | 1,6                                | 3,5                                |
| 31      | 4A80B6Y3      | 1,1                    | 920                      | 74,0    | 0,74     | 2,2                                | 2,0                                | 4,0                                |

| Вариант | Тип двигателя | P <sub>ном</sub> , кВт | При номинальной нагрузке  |                      |                       | M <sub>ном</sub> /M <sub>ном</sub> | M <sub>усл</sub> /M <sub>ном</sub> | I <sub>усл</sub> /I <sub>ном</sub> |
|---------|---------------|------------------------|---------------------------|----------------------|-----------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
|         |               |                        | П <sub>ном</sub> , об/мин | П <sub>ном</sub> , % | Сос. ф <sub>ном</sub> |                                    |                                    |                                    |
| 32      | 4A100L4Y3     | 4,0                    | 1430                      | 84,0                 | 0,84                  | 2,4                                | 2,0                                | 6,0                                |
| 33      | 4A112M2Y3     | 7,5                    | 2900                      | 87,5                 | 0,88                  | 2,8                                | 2,0                                | 7,5                                |
| 34      | 4A160S4Y3     | 15,0                   | 1465                      | 88,5                 | 0,88                  | 2,3                                | 1,4                                | 7,0                                |
| 35      | 4A80A6Y3      | 0,75                   | 915                       | 69,0                 | 0,74                  | 2,2                                | 2,0                                | 4,0                                |
| 36      | 4A112MA8Y3    | 2,2                    | 700                       | 76,5                 | 0,71                  | 2,2                                | 1,9                                | 5,0                                |
| 37      | 4A100L2Y3     | 5,5                    | 2880                      | 87,5                 | 0,91                  | 2,5                                | 2,0                                | 7,5                                |
| 38      | 4A90L4Y3      | 2,2                    | 1425                      | 80,0                 | 0,83                  | 2,4                                | 2,1                                | 6,0                                |
| 39      | 4A112MB6Y3    | 4,0                    | 950                       | 82,0                 | 0,81                  | 2,5                                | 2,0                                | 6,0                                |
| 40      | 4A90LA8Y3     | 0,75                   | 700                       | 68,0                 | 0,62                  | 1,9                                | 1,6                                | 3,5                                |
| 41      | 4A160M2Y3     | 18,5                   | 2940                      | 88,5                 | 0,92                  | 2,2                                | 1,4                                | 7,0                                |
| 42      | 4AA56B4Y3     | 0,18                   | 1365                      | 64,0                 | 0,64                  | 2,2                                | 2,1                                | 3,5                                |
| 43      | 4A71B4Y3      | 0,75                   | 1390                      | 72,0                 | 0,73                  | 2,2                                | 2,0                                | 4,5                                |
| 44      | 4A71A6Y3      | 0,37                   | 910                       | 64,5                 | 0,69                  | 2,2                                | 2,0                                | 4,0                                |
| 45      | 4A71A4Y3      | 0,55                   | 1390                      | 70,5                 | 0,70                  | 2,2                                | 2,0                                | 4,5                                |
| 46      | 4A180M8Y3     | 15,0                   | 730                       | 87,0                 | 0,82                  | 2,0                                | 1,2                                | 6,0                                |
| 47      | 4A160S2Y3     | 15,0                   | 2940                      | 88,0                 | 0,91                  | 2,2                                | 1,4                                | 7,0                                |
| 48      | 4AA50A4Y3     | 0,06                   | 1380                      | 50,0                 | 0,60                  | 2,2                                | 2,0                                | 2,0                                |
| 49      | 4AA63B6Y3     | 0,25                   | 890                       | 59,0                 | 0,62                  | 2,2                                | 2,2                                | 3,0                                |
| 50      | 4A200M6Y3     | 22,0                   | 975                       | 90,0                 | 0,90                  | 2,4                                | 1,3                                | 6,5                                |

Таблица 7

| Номер Варианта | Данные для расчёта |                  |                  |                  |                  |                      |                      |                      |                      |                      |
|----------------|--------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
|                | t <sub>1,0</sub>   | t <sub>2,0</sub> | t <sub>3,0</sub> | t <sub>4,0</sub> | t <sub>5,0</sub> | P <sub>1</sub> , кВт | P <sub>2</sub> , кВт | P <sub>3</sub> , кВт | P <sub>4</sub> , кВт | P <sub>5</sub> , кВт |
| 0              | 20                 | 10               | 50               | 20               | 15               | 25                   | 10                   | 0                    | 13,5                 | 8                    |
| 1              | 18                 | 30               | 10               | 20               | 23,5             | 8                    | 5                    | 0                    | 25                   | 10                   |
| 2              | 60                 | 100              | 10               | 45               | 30               | 8                    | 4                    | 15                   | 10                   | 25                   |
| 3              | 30                 | 15               | 60               | 60               | 10               | 25                   | 10                   | 0                    | 18                   | 30                   |
| 4              | 50                 | 20               | 40               | 50               | 45               | 0                    | 4                    | 8                    | 0                    | 5                    |
| 5              | 15                 | 25               | 20               | 35               | 30               | 15                   | 4                    | 30                   | 15                   | 10                   |
| 6              | 10                 | 75               | 60               | 50               | 10               | 30                   | 5                    | 0                    | 15                   | 25                   |
| 7              | 7                  | 3                | 15               | 4                | 12               | 6                    | 20                   | 3                    | 15                   | 30                   |
| 8              | 1                  | 1,5              | 2,5              | 1,5              | 1,5              | 8                    | 6                    | 0                    | 4                    | 3,5                  |
| 9              | 1,5                | 4                | 2,5              | 3,5              | 3                | 20                   | 10                   | 6                    | 8                    | 8                    |
| 10             | 20                 | 10               | 50               | 10               | 15               | 20                   | 10                   | 6                    | 8                    | 8                    |
| 11             | 18                 | 30               | 10               | 20               | 23,5             | 8                    | 6                    | 0                    | 4                    | 3,5                  |
| 12             | 60                 | 100              | 10               | 45               | 3                | 8                    | 4                    | 15                   | 10                   | 25                   |
| 13             | 30                 | 15               | 60               | 60               | 10               | 6                    | 20                   | 13                   | 15                   | 30                   |
| 14             | 30                 | 20               | 40               | 50               | 45               | 30                   | 5                    | 0                    | 15                   | 25                   |
| 15             | 15                 | 25               | 2,5              | 3,5              | 3                | 20                   | 10                   | 6                    | 8                    | 8                    |
| 16             | 10                 | 75               | 50               | 10               | 15               | 20                   | 10                   | 6                    | 8                    | 8                    |
| 17             | 7                  | 3                | 10               | 20               | 23,5             | 8                    | 6                    | 0                    | 4                    | 3,5                  |
| 18             | 1                  | 1,5              | 10               | 45               | 3                | 8                    | 4                    | 15                   | 10                   | 25                   |
| 19             | 1                  | 4                | 60               | 60               | 10               | 6                    | 20                   | 13                   | 15                   | 30                   |
| 20             | 20                 | 10               | 40               | 50               | 45               | 30                   | 5                    | 0                    | 15                   | 25                   |



|    |     |     |     |     |      |    |    |    |      |     |
|----|-----|-----|-----|-----|------|----|----|----|------|-----|
| 21 | 18  | 30  | 10  | 20  | 23.5 | 20 | 10 | 6  | 8    | 8   |
| 22 | 60  | 100 | 10  | 45  | 30   | 26 | 20 | 13 | 15   | 30  |
| 23 | 30  | 15  | 16  | 60  | 10   | 30 | 5  | 0  | 15   | 25  |
| 24 | 50  | 20  | 40  | 50  | 45   | 15 | 4  | 30 | 15   | 10  |
| 25 | 15  | 25  | 10  | 35  | 30   | 0  | 4  | 8  | 0    | 5   |
| 26 | 20  | 75  | 60  | 50  | 10   | 30 | 5  | 0  | 15   | 25  |
| 27 | 7   | 3   | 15  | 4   | 2    | 25 | 10 | 0  | 13.5 | 8   |
| 28 | 1   | 1.5 | 2.5 | 1.5 | 1.5  | 8  | 5  | 0  | 25   | 10  |
| 29 | 1   | 4   | 2.5 | 3.5 | 3    | 0  | 4  | 8  | 0    | 50  |
| 30 | 30  | 45  | 30  | 15  | 20   | 8  | 5  | 0  | 25   | 10  |
| 31 | 10  | 15  | 20  | 40  | 40   | 20 | 10 | 6  | 8    | 8   |
| 32 | 20  | 10  | 10  | 20  | 30   | 8  | 5  | 0  | 25   | 10  |
| 33 | 50  | 10  | 15  | 20  | 35   | 8  | 4  | 15 | 10   | 25  |
| 34 | 20  | 10  | 15  | 15  | 20   | 30 | 5  | 0  | 15   | 25  |
| 35 | 15  | 20  | 20  | 30  | 30   | 20 | 10 | 6  | 8    | 8   |
| 36 | 20  | 15  | 15  | 25  | 25   | 8  | 6  | 0  | 4    | 3.5 |
| 37 | 10  | 20  | 20  | 15  | 15   | 8  | 6  | 10 | 6    | 5   |
| 38 | 25  | 5   | 50  | 5   | 10   | 30 | 5  | 0  | 15   | 25  |
| 39 | 10  | 45  | 50  | 60  | 60   | 0  | 4  | 8  | 0    | 5   |
| 40 | 40  | 30  | 30  | 15  | 10   | 25 | 10 | 0  | 18   | 30  |
| 41 | 20  | 15  | 15  | 10  | 5    | 8  | 6  | 0  | 6    | 5   |
| 42 | 8   | 8   | 10  | 10  | 12   | 8  | 4  | 15 | 10   | 25  |
| 43 | 16  | 5   | 3   | 2   | 12   | 15 | 10 | 0  | 10   | 8   |
| 44 | 15  | 15  | 20  | 25  | 15   | 20 | 10 | 6  | 8    | 8   |
| 45 | 1.5 | 35  | 35  | 25  | 25   | 30 | 0  | 25 | 25   | 10  |
| 46 | 10  | 25  | 10  | 15  | 20   | 6  | 0  | 0  | 6    | 5   |
| 47 | 15  | 30  | 35  | 40  | 40   | 8  | 6  | 0  | 4    | 3.5 |
| 48 | 40  | 30  | 30  | 20  | 15   | 20 | 10 | 6  | 8    | 8   |
| 49 | 20  | 15  | 15  | 10  | 5    | 0  | 4  | 8  | 0    | 5   |
| 50 | 35  | 35  | 20  | 15  | 10   | 15 | 4  | 30 | 15   | 10  |

**Приложение**  
**Технические данные асинхронных электродвигателей с**  
**короткозамкнутым ротором серия 4А основного исполнения**  
**(закрытые, обдуваемые)**  
**при 3000 об/мин (синхр.)**

| Тип<br>двигателя | При номинальной<br>нагрузке |                              |                            |                             | $M_{\text{шхк}} / M_{\text{ном}}$ | $M_{\text{пуск}} / M_{\text{ном}}$ | $M_{\text{зад}} / M_{\text{ном}}$ | $I_{\text{п}} / I_{\text{ном}}$ | $J, \text{кг.м}^2$    |
|------------------|-----------------------------|------------------------------|----------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|-----------------------|
|                  | $P_{\text{ном}}$ ,<br>кВт   | $n_{\text{ном}}$ ,<br>об/мин | $\eta_{\text{ном}}$ ,<br>% | $\cos \varphi_{\text{ном}}$ |                                   |                                    |                                   |                                 |                       |
| 4AA50A2Y3        | 0,09                        | 2740                         | 60,0                       | 0,70                        | 2,2                               | 2,0                                | 1,8                               | 4,0                             | $0,245 \cdot 10^{-4}$ |
| 4AA50B2Y3        | 0,12                        | 2710                         | 63,0                       | 0,70                        | 2,2                               | 2,0                                | 1,8                               | 4,0                             | $0,268 \cdot 10^{-4}$ |
| 4AA56A2Y3        | 0,18                        | 2800                         | 66,0                       | 0,76                        | 2,2                               | 2,0                                | 1,5                               | 4,0                             | $4,15 \cdot 10^{-4}$  |
| 4AA56B2Y3        | 0,25                        | 2770                         | 68,0                       | 0,77                        | 2,2                               | 2,0                                | 1,5                               | 4,0                             | $4,65 \cdot 10^{-4}$  |
| 4AA632Y3         | 0,37                        | 2750                         | 70,0                       | 0,86                        | 2,2                               | 2,0                                | 1,5                               | 4,5                             | $7,63 \cdot 10^{-4}$  |
| 4AA63B2Y3        | 0,55                        | 2740                         | 73,0                       | 0,86                        | 2,2                               | 2,0                                | 1,5                               | 4,5                             | $9 \cdot 10^{-4}$     |
| 4A71A2Y3         | 0,75                        | 2840                         | 77,0                       | 0,87                        | 2,2                               | 2,0                                | 1,5                               | 5,5                             | $9,75 \cdot 10^{-4}$  |
| 4A71B2Y3         | 1,1                         | 2810                         | 77,5                       | 0,87                        | 2,2                               | 2,0                                | 1,5                               | 5,5                             | $10,5 \cdot 10^{-4}$  |
| 4A80A2Y3         | 1,50                        | 2850                         | 81,0                       | 0,85                        | 2,6                               | 2,1                                | 1,4                               | 6,5                             | $18,3 \cdot 10^{-4}$  |
| 4A80B2Y3         | 2,20                        | 2850                         | 83,0                       | 0,87                        | 2,6                               | 2,1                                | 1,4                               | 6,5                             | $21,3 \cdot 10^{-4}$  |
| 4A90L2Y3         | 3,0                         | 2840                         | 84,5                       | 0,88                        | 2,5                               | 2,1                                | 1,6                               | 6,5                             | $35,3 \cdot 10^{-4}$  |
| 4A100S2Y3        | 4,0                         | 2880                         | 86,5                       | 0,89                        | 2,5                               | 2,0                                | 1,6                               | 7,5                             | $59,3 \cdot 10^{-4}$  |
| 4A100L2Y3        | 5,5                         | 2880                         | 87,5                       | 0,91                        | 2,5                               | 2,0                                | 1,6                               | 7,5                             | $75 \cdot 10^{-4}$    |
| 4A112M2Y3        | 7,5                         | 2900                         | 87,5                       | 0,88                        | 2,8                               | 2,0                                | 1,6                               | 7,5                             | $1,0 \cdot 10^{-2}$   |
| 4A132M2Y3        | 11,0                        | 2900                         | 88,0                       | 0,90                        | 2,8                               | 1,7                                | 1,5                               | 7,5                             | $2,25 \cdot 10^{-2}$  |
| 4A160S2Y3        | 15,0                        | 2940                         | 88,0                       | 0,91                        | 2,2                               | 1,4                                | 1,0                               | 7,0                             | $4,75 \cdot 10^{-2}$  |
| 4A160M2Y3        | 18,5                        | 2940                         | 88,5                       | 0,92                        | 2,2                               | 1,4                                | 1,0                               | 7,0                             | $5,25 \cdot 10^{-2}$  |
| 4A180S2Y3        | 22,0                        | 2940                         | 88,5                       | 0,91                        | 2,5                               | 1,4                                | 1,1                               | 7,5                             | $7,0 \cdot 10^{-2}$   |
| 4A180M2Y3        | 30,0                        | 2945                         | 90,5                       | 0,90                        | 2,5                               | 1,4                                | 1,1                               | 7,5                             | $8,5 \cdot 10^{-2}$   |
| 4A200M2Y3        | 37,0                        | 2945                         | 90,0                       | 0,89                        | 2,5                               | 1,4                                | 1,0                               | 7,5                             | $14,5 \cdot 10^{-2}$  |
| 4A200L2Y3        | 45,0                        | 2945                         | 91,0                       | 0,90                        | 2,5                               | 1,4                                | 1,0                               | 7,5                             | $16,8 \cdot 10^{-2}$  |
| 4A225M2Y3        | 55,0                        | 2945                         | 91,0                       | 0,92                        | 2,5                               | 1,4                                | 1,2                               | 7,5                             | $25 \cdot 10^{-2}$    |
| 4A250S2Y3        | 75,0                        | 2960                         | 91,0                       | 0,89                        | 2,5                               | 1,2                                | 1,0                               | 7,5                             | $46,5 \cdot 10^{-2}$  |
| 4A250M2Y3        | 90,0                        | 2960                         | 92,0                       | 0,90                        | 2,5                               | 1,2                                | 1,0                               | 7,5                             | $52 \cdot 10^{-2}$    |
| 4A280S2Y3        | 110,0                       | 2970                         | 91,0                       | 0,89                        | 2,2                               | 1,2                                | 1,0                               | 7,0                             | 1,09                  |
| 4A280M2Y3        | 132,0                       | 2970                         | 91,5                       | 0,89                        | 2,2                               | 1,2                                | 1,0                               | 7,0                             | 1,19                  |
| 4A315S2Y3        | 160,0                       | 2970                         | 92,0                       | 0,90                        | 2,2                               | 1,2                                | 0,9                               | 6,5                             | 1,4                   |
| 4A315M2Y3        | 200,0                       | 2970                         | 92,5                       | 0,90                        | 2,2                               | 1,2                                | 0,9                               | 7,0                             | 1,63                  |
| 4A355S2Y3        | 250,0                       | 2970                         | 92,5                       | 0,90                        | 1,9                               | 1,0                                | 0,9                               | 7,0                             | 2,85                  |
| 4A355M2Y3        | 315,0                       | 2970                         | 93,0                       | 0,91                        | 1,9                               | 1,0                                | 0,9                               | 7,0                             | 3,23                  |

при 1500 об/мин (синхр.)

| Тип двигателя | При номинальной нагрузке |                   |                  |                      | $M_{max} / M_{ном}$ | $M_{пуск} / M_{ном}$ | $M_{тпш} / M_{ном}$ | $I_{п} / I_{ном}$ | $J, кз.м^2$           |
|---------------|--------------------------|-------------------|------------------|----------------------|---------------------|----------------------|---------------------|-------------------|-----------------------|
|               | $P_{ном}, кВт$           | $n_{ном}, об/мин$ | $\eta_{ном}, \%$ | $\cos \varphi_{ном}$ |                     |                      |                     |                   |                       |
| 4AA50A4Y3     | 0,06                     | 1380              | 50,0             | 0,60                 | 2,2                 | 2,0                  | 1,7                 | 2,5               | $0,29 \cdot 10^{-4}$  |
| 4AA50B4Y3     | 0,09                     | 1370              | 55,0             | 0,60                 | 2,2                 | 2,0                  | 1,7                 | 2,5               | $0,325 \cdot 10^{-4}$ |
| 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              | 61,0             | 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               | $1,13 \cdot 10^{-2}$  |
| 4A112M4Y4     | 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                  |

при 1000 об/мин (синхр.)

| Тип<br>двигате<br>ля | При номинальной<br>нагрузке |                            |                           |                             | $M_{\max} / M_{\text{ном}}$ | $M_{\text{пуск}} / M_{\text{ном}}$ | $M_{\text{пн}} / M_{\text{ном}}$ | $I_{\text{п}} / I_{\text{ном}}$ | $J, \text{ кг. м}^2$ |
|----------------------|-----------------------------|----------------------------|---------------------------|-----------------------------|-----------------------------|------------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|----------------------|
|                      | $P_{\text{ном}},$<br>кВт    | $n_{\text{ном}}$<br>об/мин | $\eta_{\text{ном}},$<br>% | $\cos \varphi_{\text{ном}}$ |                             |                                    |                                  |                                 |                      |
| 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                             | $1,31 \cdot 10^{-2}$ |
| 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                             | $5,7 \cdot 10^{-2}$  |
| 4A160S6Y3            | 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                 |
| 4A315S6Y3            | 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                  |

| Тип<br>двигат<br>оля           | При номинальной<br>нагрузке |                            |                         |                             | $M_{\text{швх}} / M_{\text{ном}}$ | $M_{\text{пуск}} / M_{\text{ном}}$ | $M_{\text{тип}} / M_{\text{ном}}$ | $I_{\text{п}} / I_{\text{ном}}$ | $J, \text{кг.м}^2$   |
|--------------------------------|-----------------------------|----------------------------|-------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|----------------------|
|                                | $P_{\text{ном}},$<br>кВт    | $n_{\text{ном}}$<br>об/мин | $\eta_{\text{ном}}, \%$ | $\cos \varphi_{\text{ном}}$ |                                   |                                    |                                   |                                 |                      |
| <i>при 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                             | $1,3 \cdot 10^{-2}$  |
| 4A112MA8Y3                     | 2,20                        | 700                        | 76,5                    | 0,71                        | 2,2                               | 1,9                                | 1,4                               | 5,0                             | $1,75 \cdot 10^{-2}$ |
| 4A112MB8Y3                     | 3,0                         | 700                        | 79,0                    | 0,74                        | 2,2                               | 1,9                                | 1,4                               | 5,0                             | $2,5 \cdot 10^{-2}$  |
| 4A132S8Y3                      | 4,0                         | 720                        | 83,0                    | 0,70                        | 2,6                               | 1,9                                | 1,1                               | 5,5                             | $4,25 \cdot 10^{-2}$ |
| 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                 |
| 4A280M8Y3                      | 75,0                        | 735                        | 92,5                    | 0,85                        | 2,0                               | 1,2                                | 1,0                               | 5,5                             | 4,13                 |
| 4A315S8Y3                      | 90,0                        | 740                        | 93,0                    | 0,85                        | 2,3                               | 1,2                                | 0,9                               | 6,5                             | 4,93                 |
| 4A315M8Y3                      | 110,0                       | 740                        | 93,0                    | 0,85                        | 2,3                               | 1,2                                | 0,9                               | 6,5                             | 5,85                 |
| 4A355S8Y3                      | 132,0                       | 740                        | 93,5                    | 0,85                        | 2,2                               | 1,2                                | 0,9                               | 6,5                             | 9,05                 |
| 4A355M8Y3                      | 160,0                       | 740                        | 93,5                    | 0,85                        | 2,2                               | 1,2                                | 0,9                               | 6,5                             | 10,2                 |
| <i>при 600 об/мин (синхр.)</i> |                             |                            |                         |                             |                                   |                                    |                                   |                                 |                      |
| 4A250S10Y3                     | 30,0                        | 590                        | 88,0                    | 0,81                        | 1,9                               | 1,2                                | 1,0                               | 6,0                             | 1,36                 |
| 4A250M10Y3                     | 37,0                        | 590                        | 89,0                    | 0,81                        | 1,9                               | 1,2                                | 1,0                               | 6,0                             | 1,61                 |
| 4A280S10Y3                     | 37,0                        | 590                        | 91,0                    | 0,78                        | 1,8                               | 1,0                                | 1,0                               | 6,0                             | 3,6                  |
| 4A280M10Y3                     | 45,0                        | 590                        | 91,5                    | 0,78                        | 1,8                               | 1,0                                | 1,0                               | 6,0                             | 3,78                 |
| 4A315S10Y3                     | 55,0                        | 590                        | 92,0                    | 0,79                        | 1,8                               | 1,0                                | 0,9                               | 6,0                             | 5,25                 |
| 4A315M10Y3                     | 75,0                        | 590                        | 92,0                    | 0,80                        | 1,8                               | 1,0                                | 0,9                               | 6,0                             | 6,18                 |
| 4A355S10Y3                     | 90,0                        | 590                        | 92,5                    | 0,83                        | 1,8                               | 1,0                                | 0,9                               | 6,0                             | 9,33                 |
| 4A355M10Y3                     | 110,0                       | 590                        | 93,0                    | 0,83                        | 1,8                               | 1,0                                | 0,9                               | 6,0                             | 10,9                 |
| <i>при 500 об/мин (синхр.)</i> |                             |                            |                         |                             |                                   |                                    |                                   |                                 |                      |
| 4A315S12Y3                     | 45,0                        | 490                        | 90,5                    | 0,75                        | 1,8                               | 1,0                                | 0,9                               | 6,0                             | 5,25                 |
| 4A315M12Y3                     | 55,0                        | 490                        | 91,0                    | 0,75                        | 1,8                               | 1,0                                | 0,9                               | 6,0                             | 6,18                 |
| 4A355S12Y3                     | 75,0                        | 490                        | 91,5                    | 0,76                        | 1,8                               | 1,0                                | 0,9                               | 6,0                             | 9,33                 |
| 4A355M12Y3                     | 90,0                        | 490                        | 92,0                    | 0,76                        | 1,3                               | 1,0                                | 0,9                               | 6,0                             | 10,9                 |