

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

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

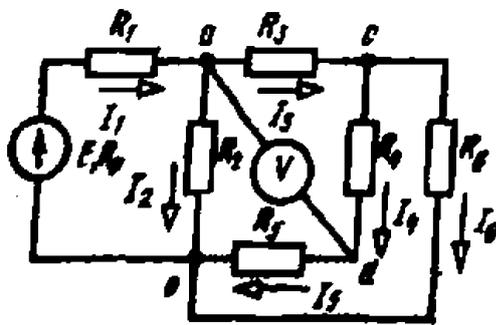


рис.1

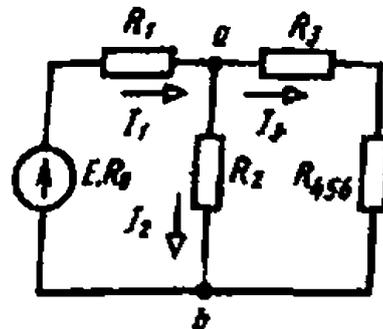


рис.2

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.

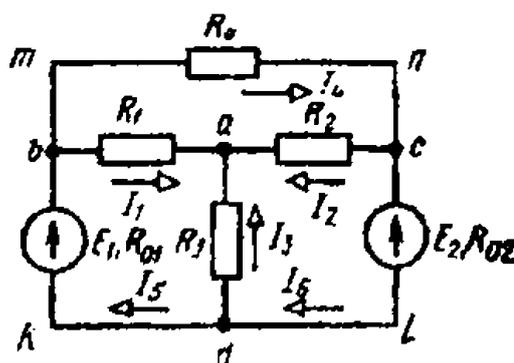


Рис.3

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

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

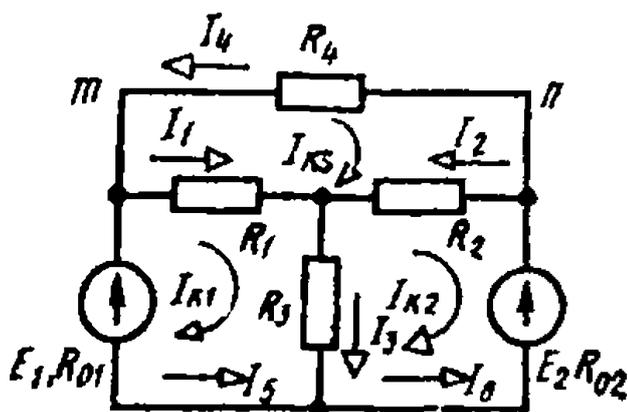
Для контура $bmncab$

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

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, составляемых 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.

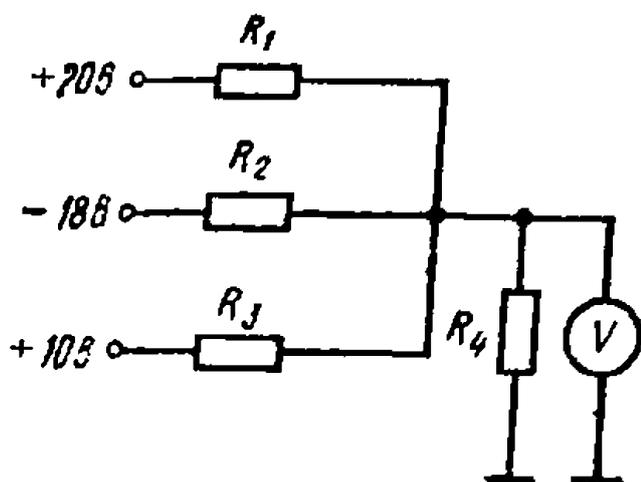


Рис.5

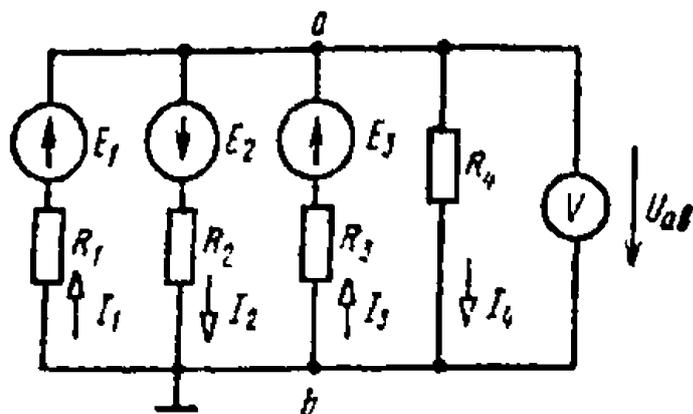


Рис.6

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

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

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

Электрические цепи переменного тока

Однофазные цепи

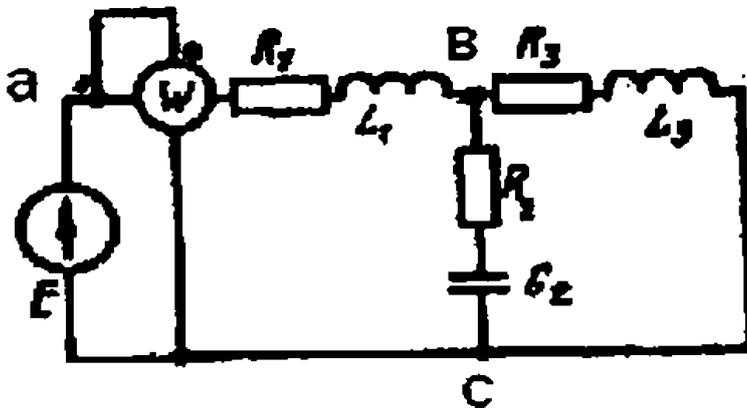


Рис. 7

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.

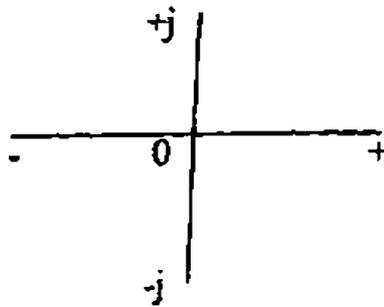


Рис.8

Полное комплексное сопротивление цепи:

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

Определяем ток в неразветвленной части цепи

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

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

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

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

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

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

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

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

Найдём мощности всей цепи и отдельных её ветвей:

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

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 $Q = Q_1 - Q_2 + Q_3 = 218 \text{ ВАр}$.

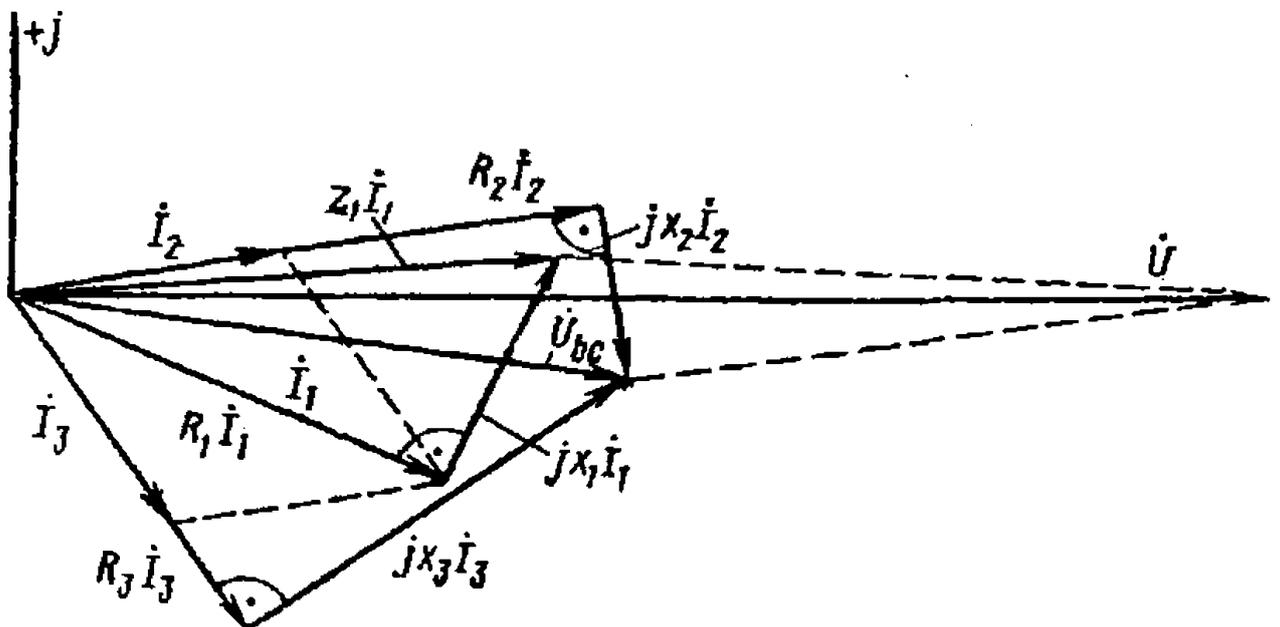


Рис.9

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° . Сумма векторов Z_1I_1 и U_{bc} дает вектор приложенного напряжения U .

Трёхфазные цепи

Задача 1. В трёхфазную сеть с линейным напряжением $U_\Delta = 220$ 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

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

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

Определяем фазные токи:

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

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

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

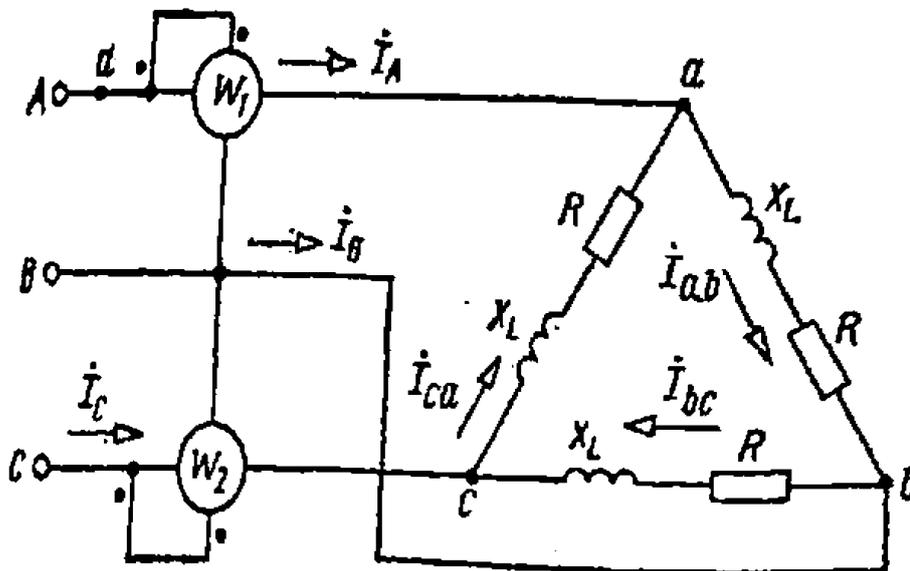


Рис.10

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

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

На рис. 11 приводится векторная диаграмма напряжений и токов.

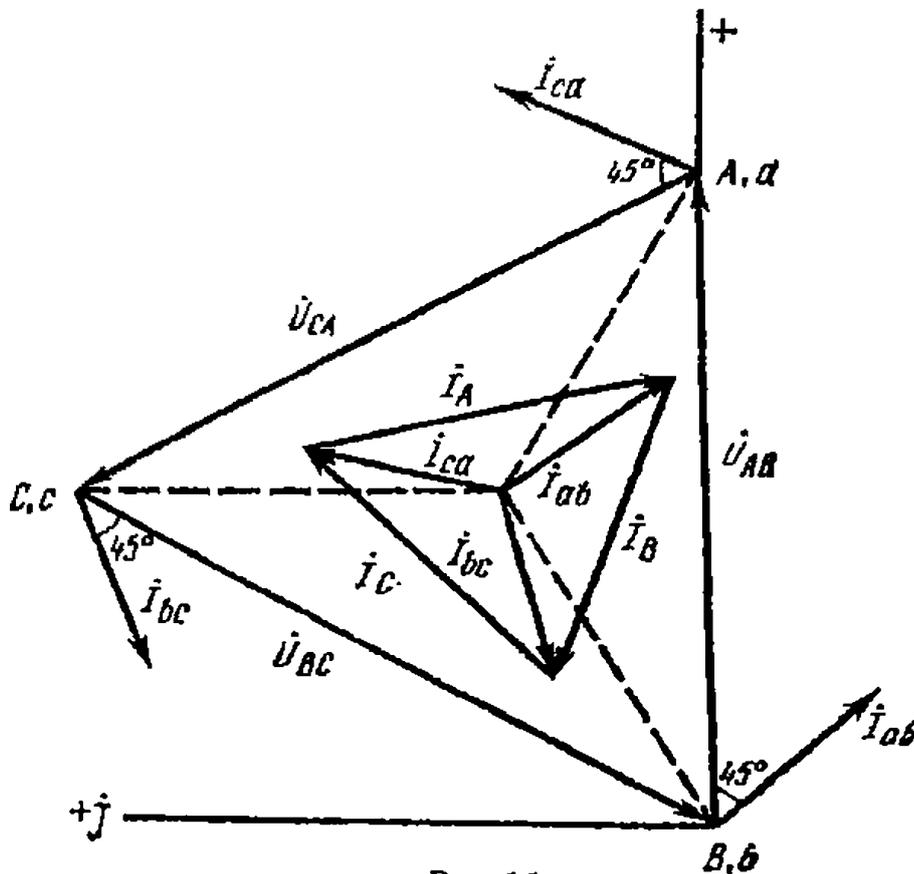


Рис.11

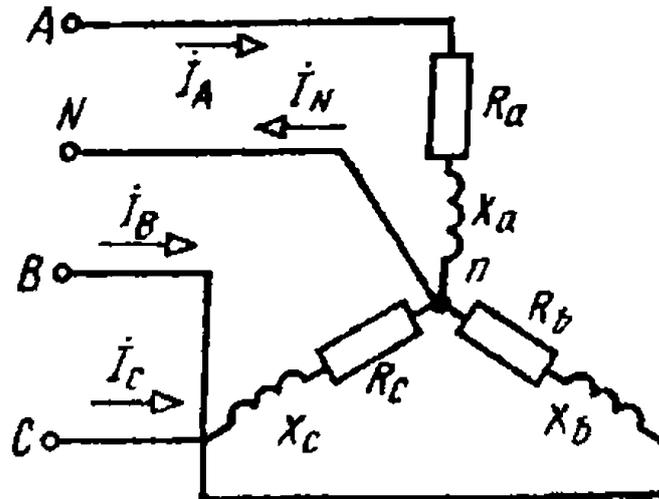


Рис.12

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:

$$\dot{I} = \dot{U} / \underline{Z}_a = 127 / (3 + j4) = 127 / (5e^{j53^\circ}) = 25,4e^{-j53^\circ} =$$

$$= 25,4 \cos(-53^\circ) + j25,4 \sin(-53^\circ) = (15,28 + j 20,28) \text{ А};$$

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

$$\dot{I}_c = \dot{U} / \underline{Z}_c = 127e^{j120^\circ} / (4 + j3) = 127e^{j120^\circ} / 5e^{j37^\circ} = 25,4e^{j83^\circ} =$$

$$= 25,4 \cos 83^\circ + j25,4 \sin 83^\circ = (3,09 + j25,2) \text{ А}.$$

Ток в нейтральном проводе определяется как геометрическая сумма линейных токов:

$$\dot{I}_N = \dot{I}_a + \dot{I}_b + \dot{I}_c = 15,28 + j 20,28 - 21,2 + 3,09 + j25,2 =$$

$$= -2,83 + j 4,92 = 5,67e^{j120^\circ} \text{ А}.$$

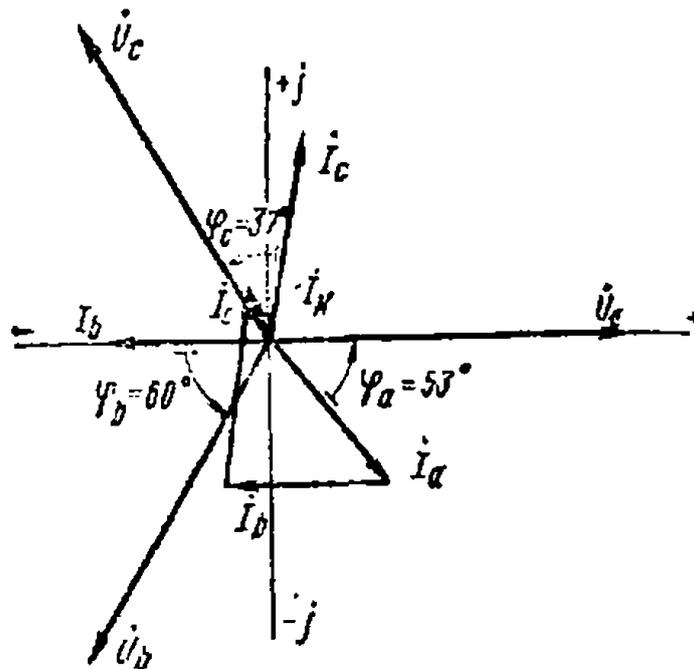


Рис.13

Векторная диаграмма показана на рис. 13.

При несимметричной нагрузке для определения активной мощности находят мощность каждой фазы отдельно: $P_{\phi} = U_{\phi} I_{\phi} \cos \phi$, 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.

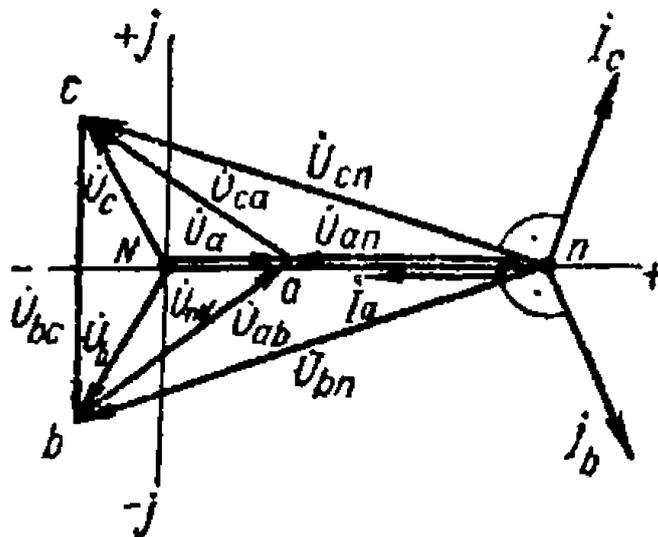


Рис.14

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.

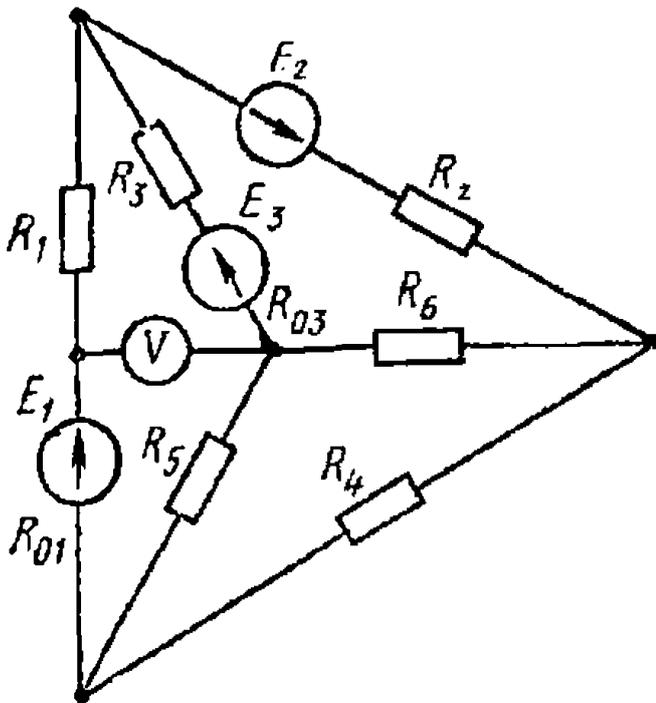


Рис. 1.1

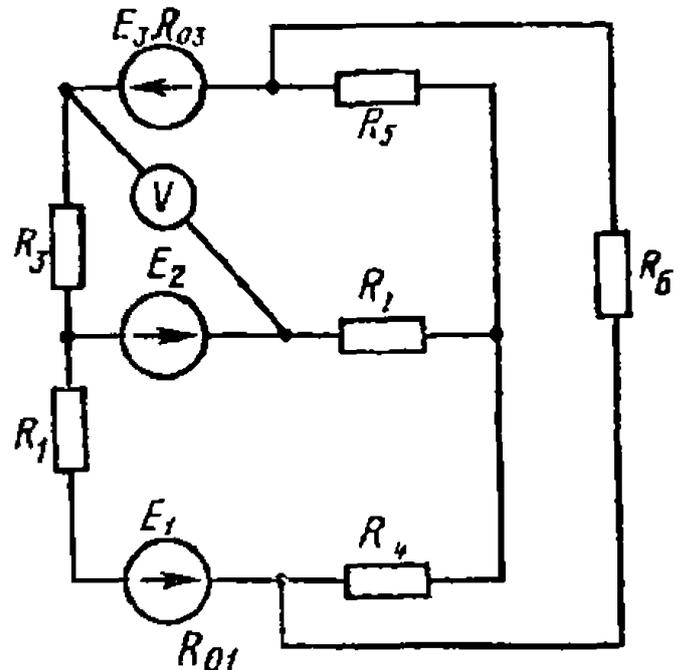


Рис. 1.2

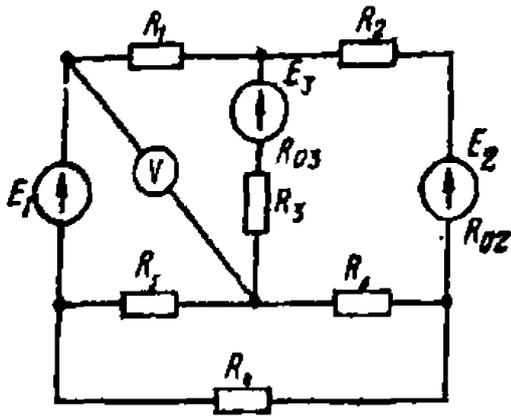


Рис. 1.3

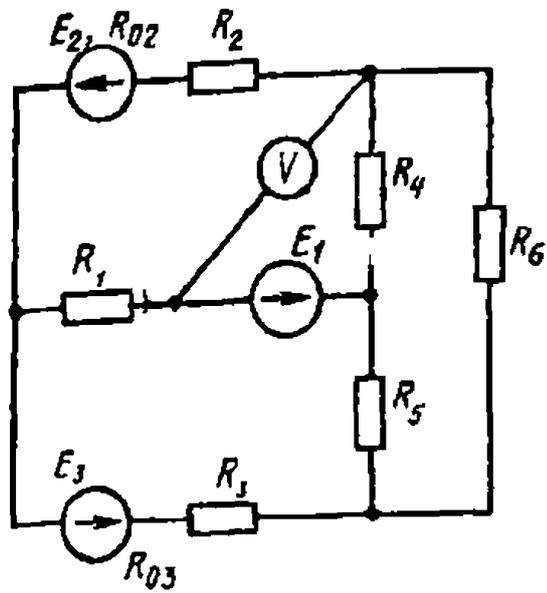


Рис. 1.4

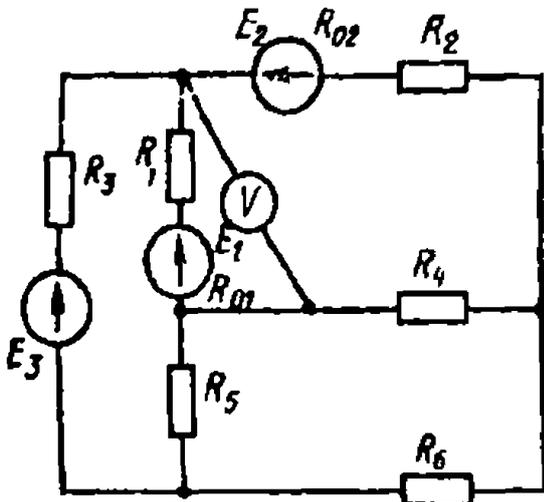


Рис. 1.5

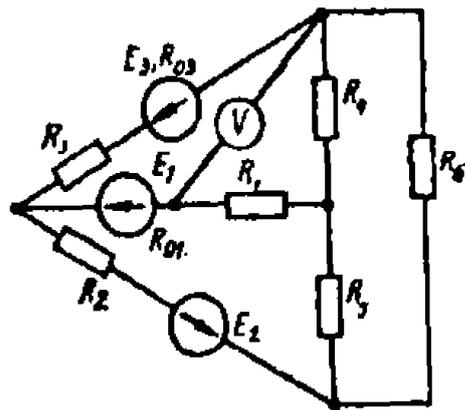


Рис. 1.6

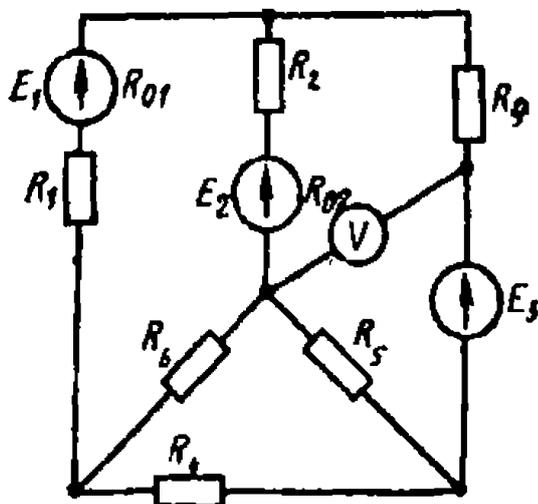


Рис. 1.7

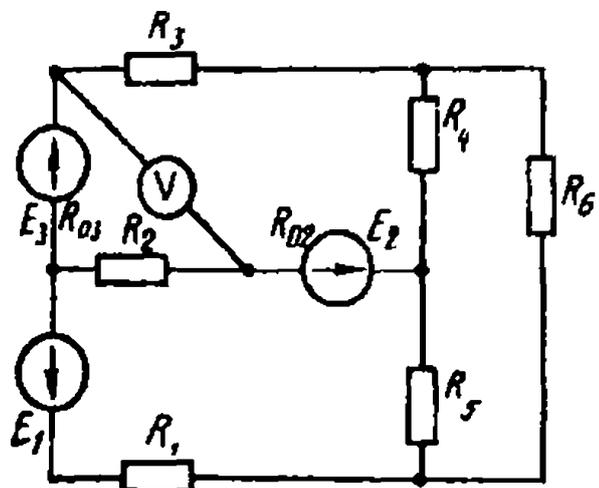


Рис. 1.8

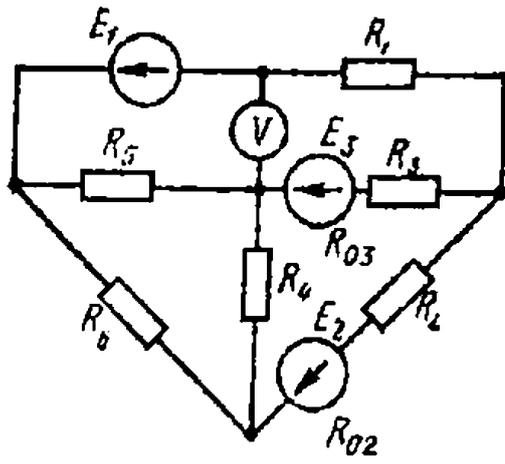


Рис. 1.9

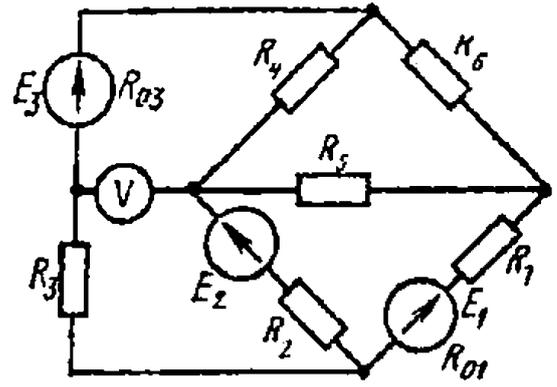


Рис. 1.10

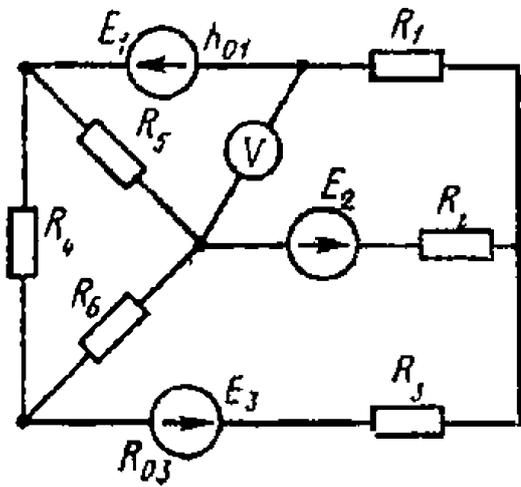


Рис. 1.11

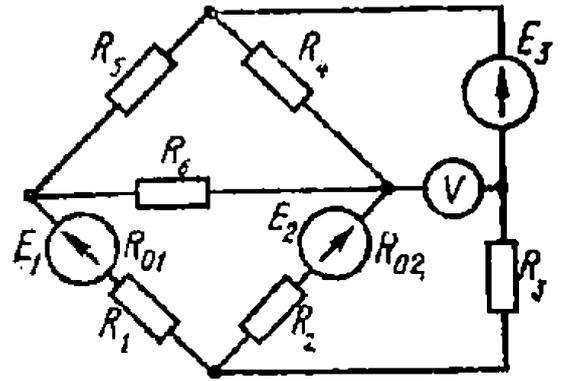


Рис. 1.12

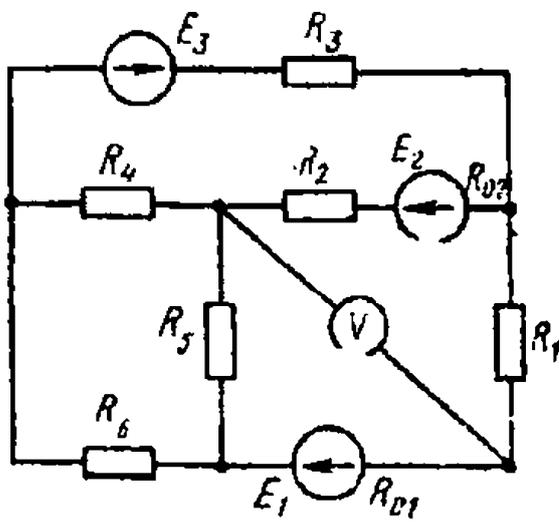


Рис. 1.13

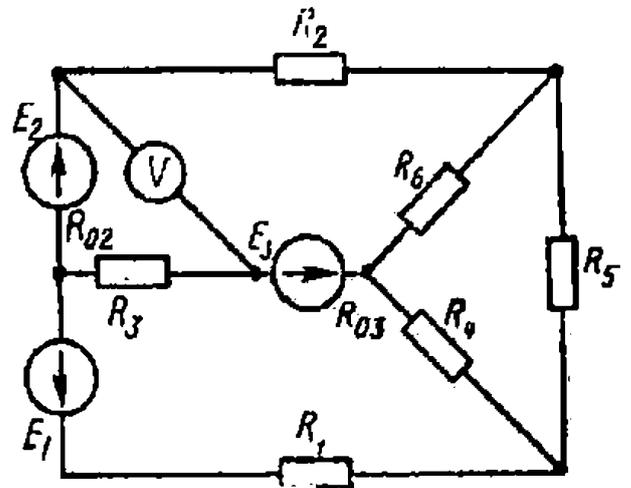


Рис. 1.14

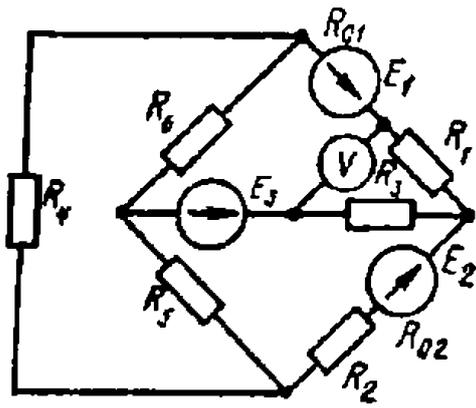


Рис. 1.15

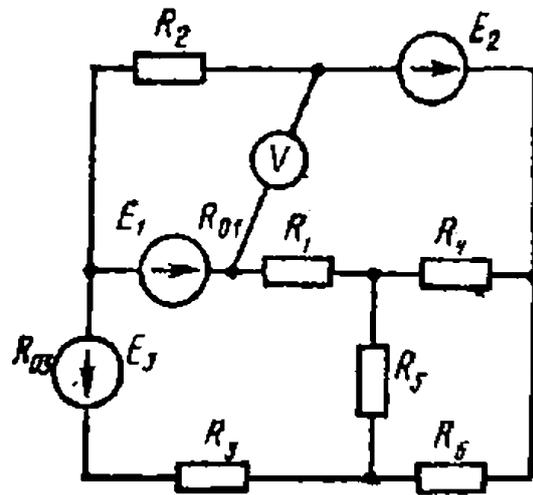


Рис. 1.16

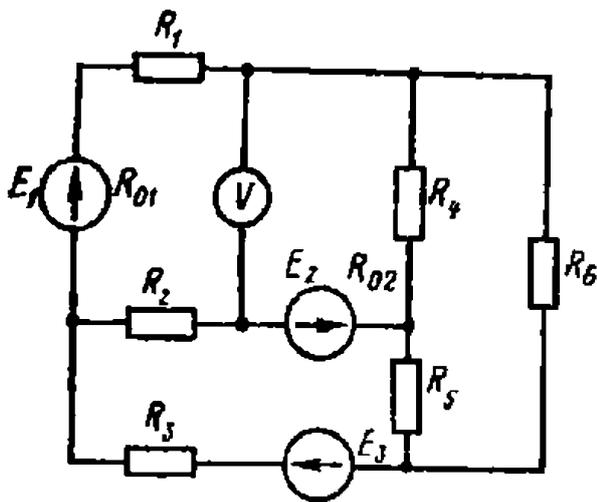


Рис. 1.17

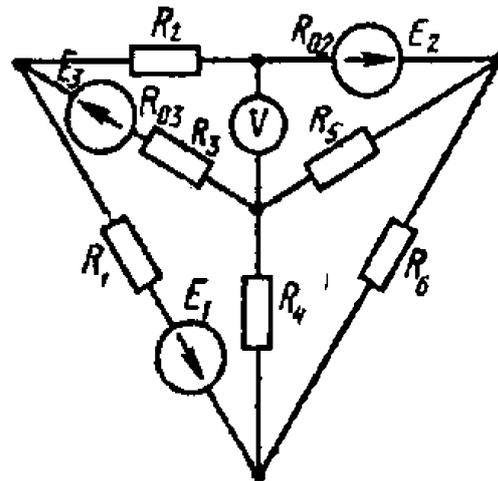


Рис. 1.18

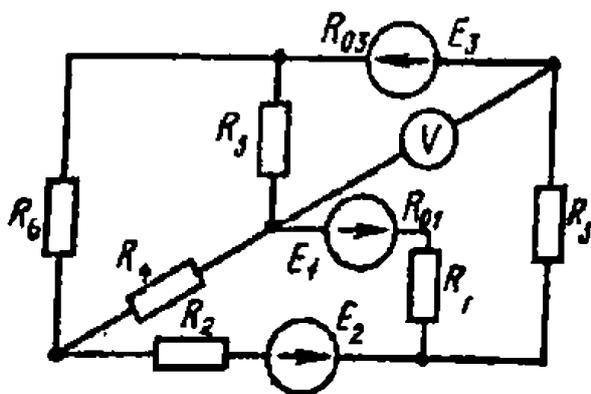


Рис. 1.19

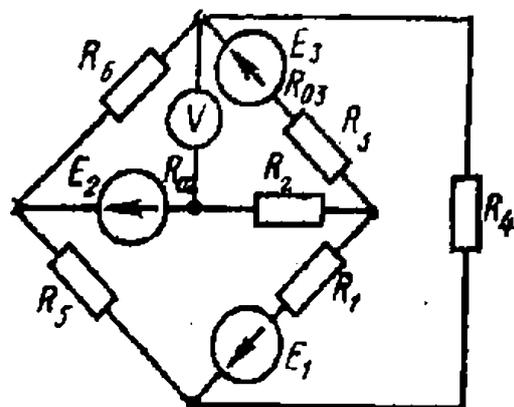


Рис. 1.20

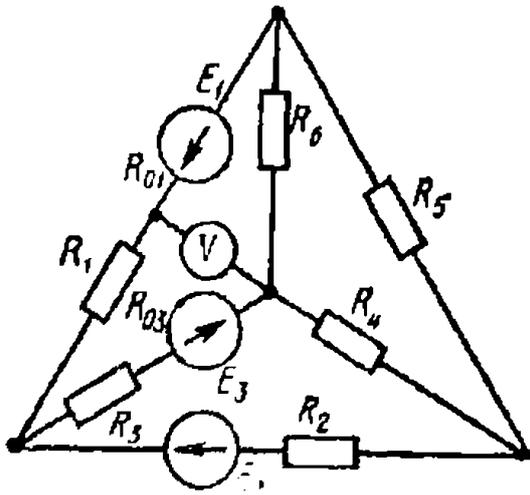


Рис.1.21

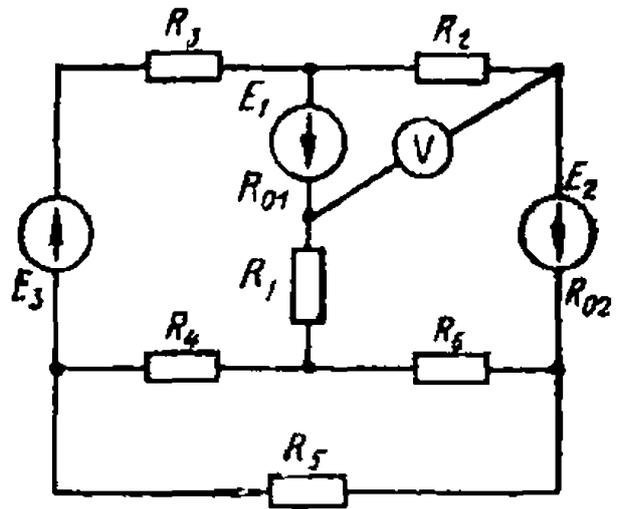


Рис.1.22

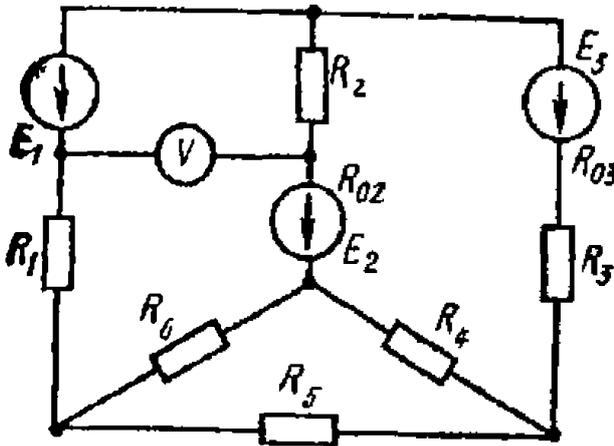


Рис. 1.23

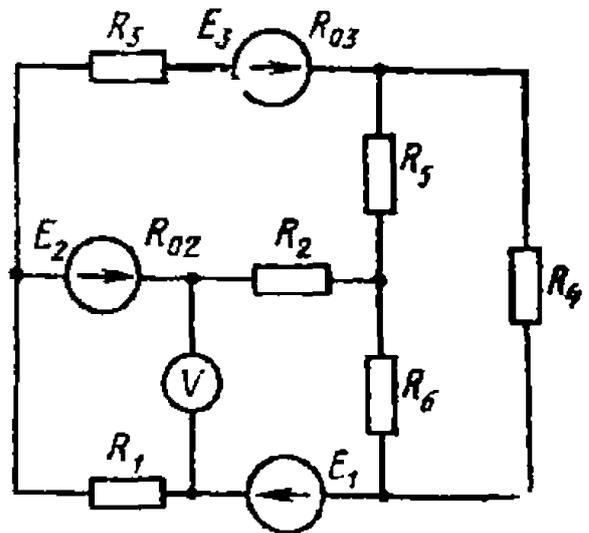


Рис. 1.24

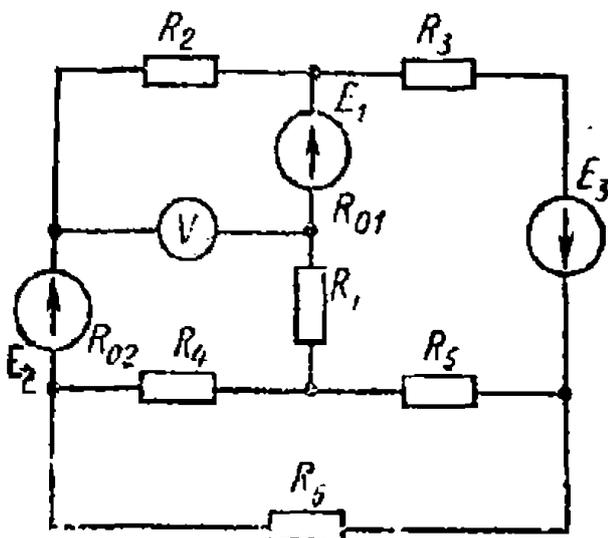


Рис.1.25

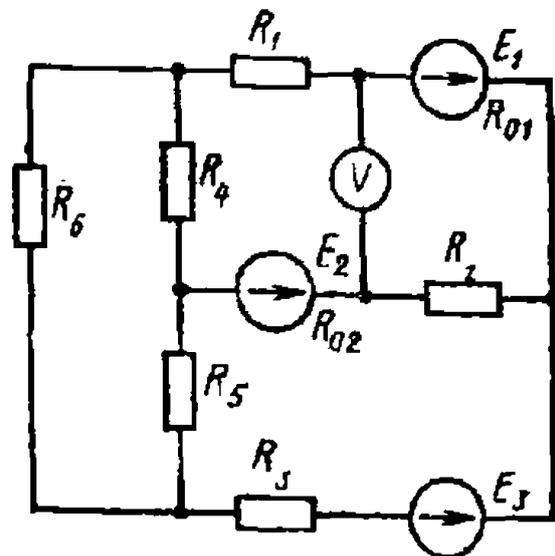


Рис. 1.26

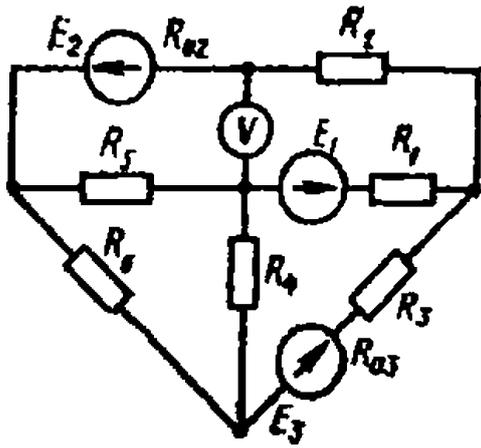


Рис. 1.27

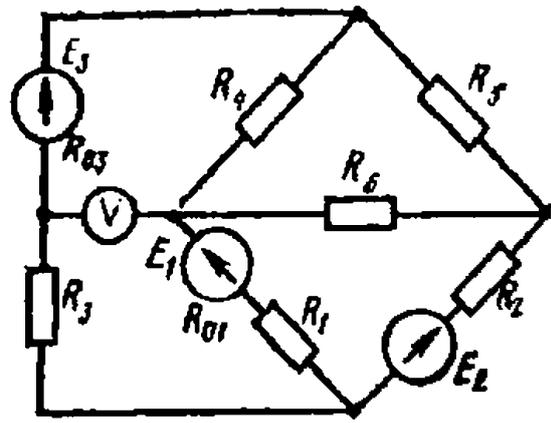


Рис. 1.28

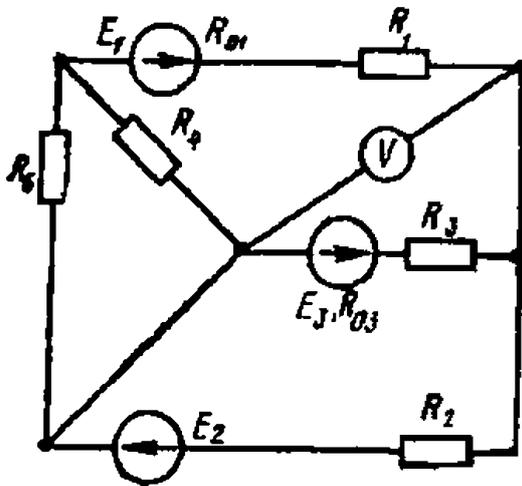


Рис. 1.29

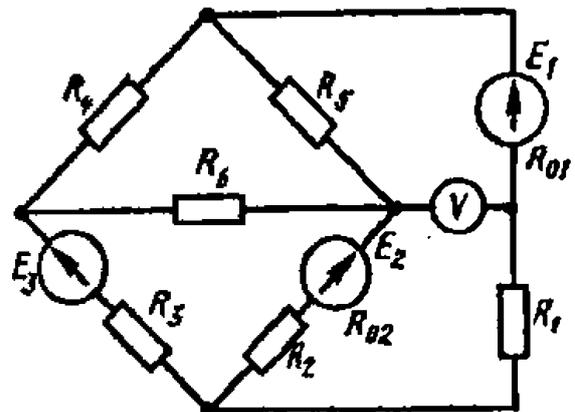


Рис. 1.30

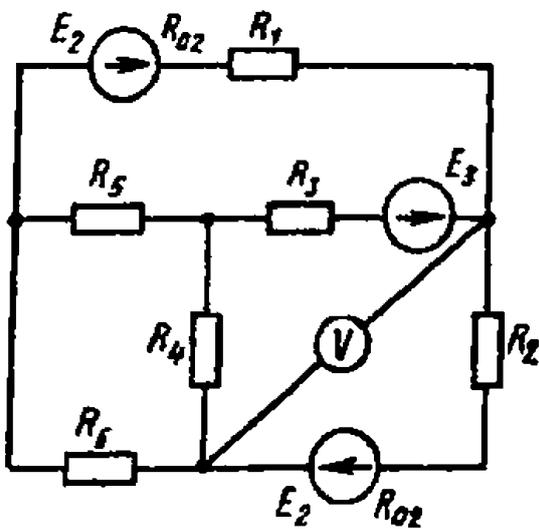


Рис. 1.31

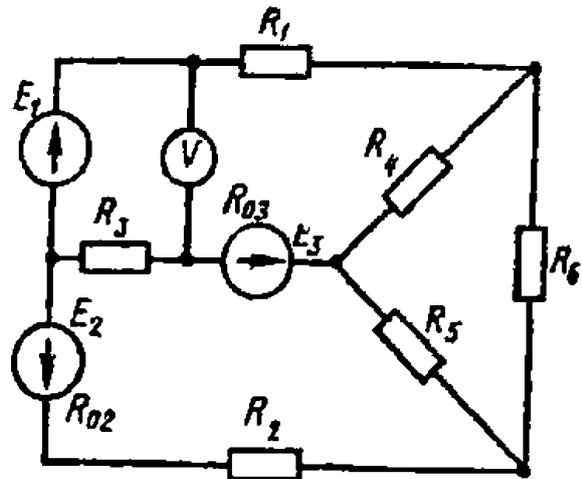


Рис. 1.32

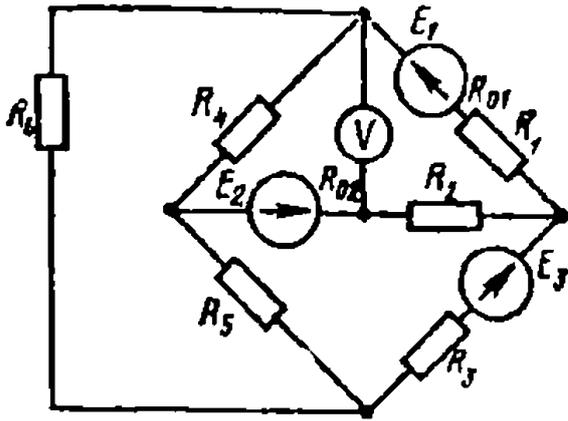


Рис. 1.33

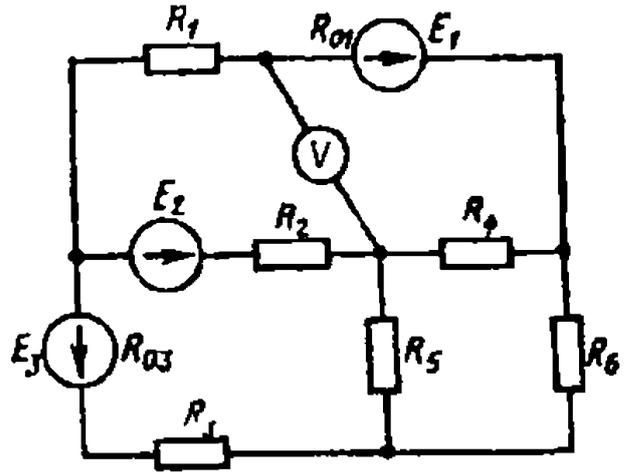


Рис. 1.34

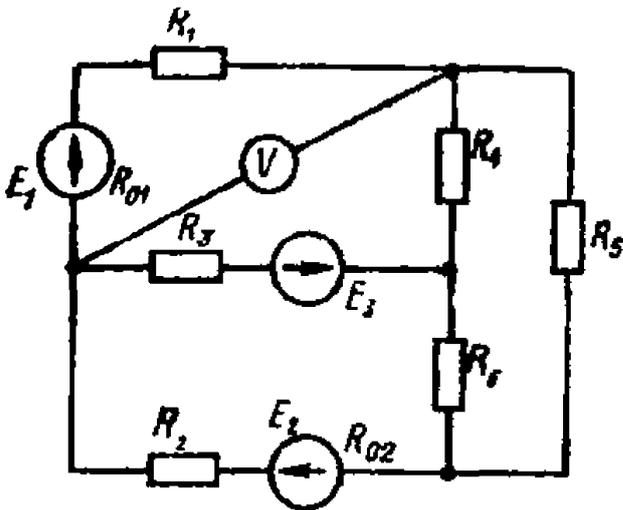


Рис. 1.35

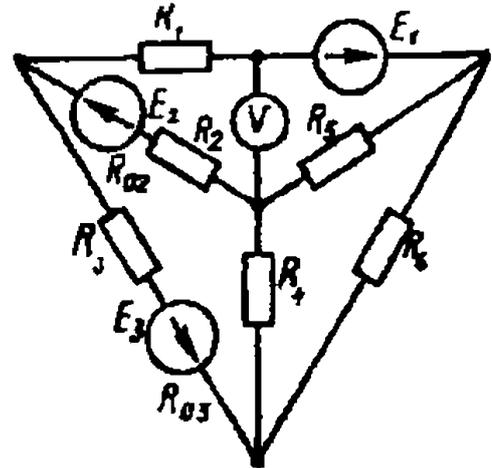


Рис. 1.36

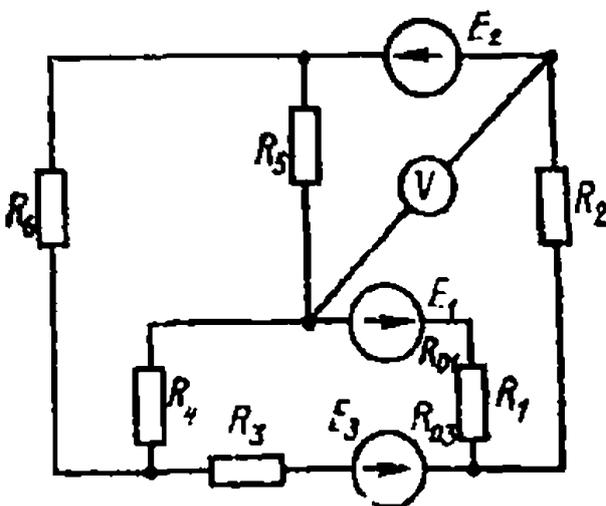


Рис. 1.37

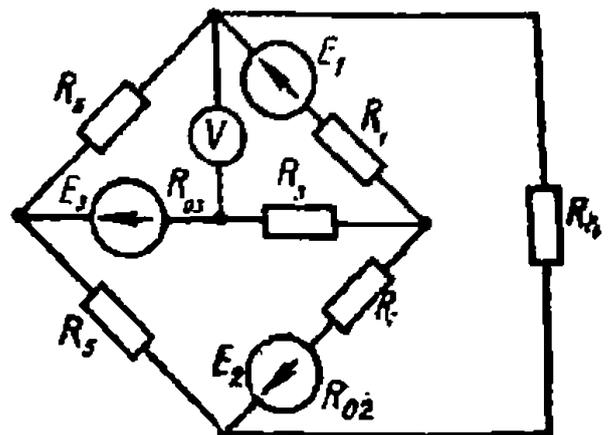


Рис. 1.38

Таблица 1.

Номера		E 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	группы												
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.

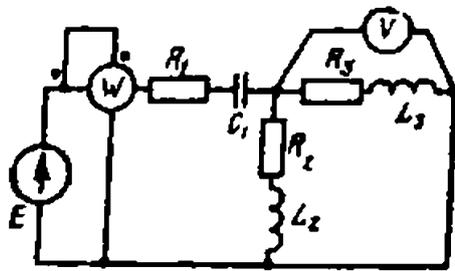


Рис. 2.1

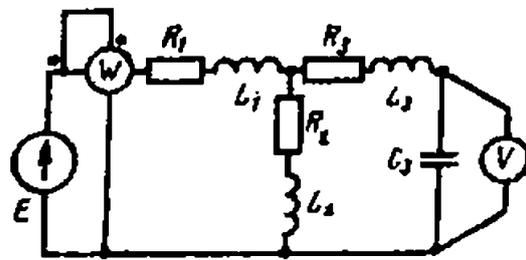


Рис. 2.2

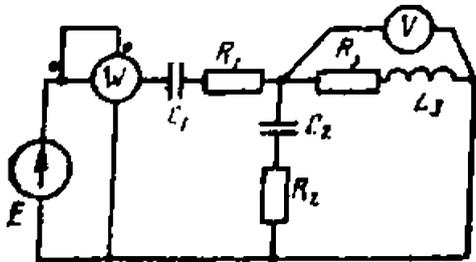


Рис. 2.3

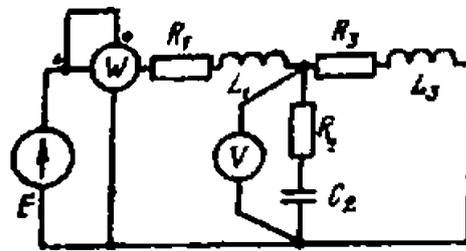


Рис. 2.4

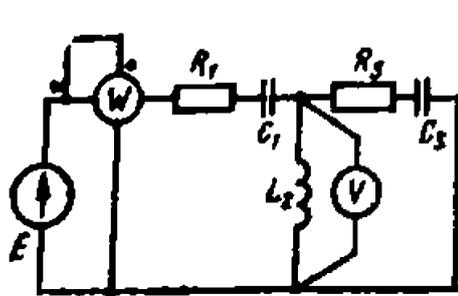


Рис. 2.5

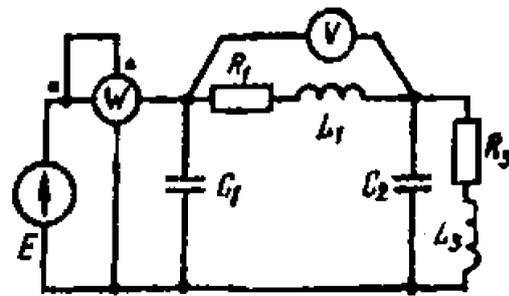


Рис. 2.6

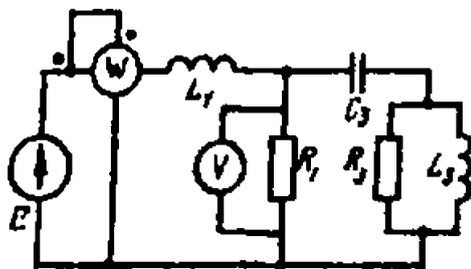


Рис. 2.7

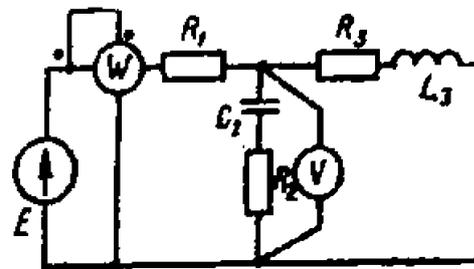


Рис. 2.8

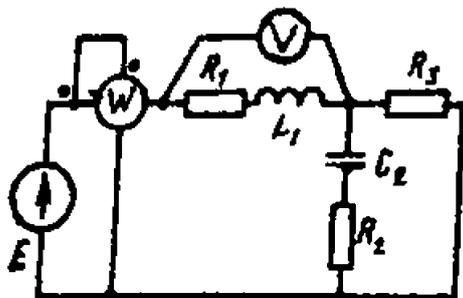


Рис. 2.9

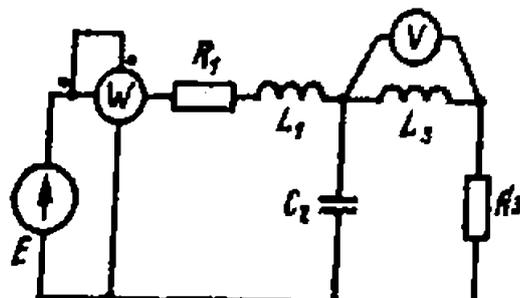


Рис. 2.10

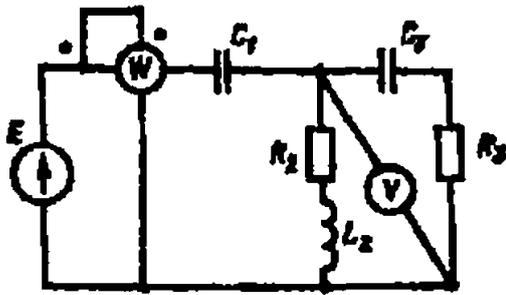


Рис 2.11

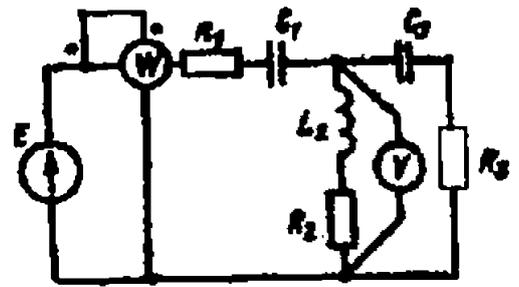


Рис.2.12

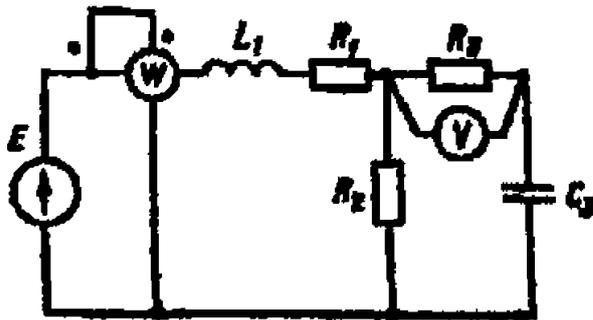


Рис.2.13

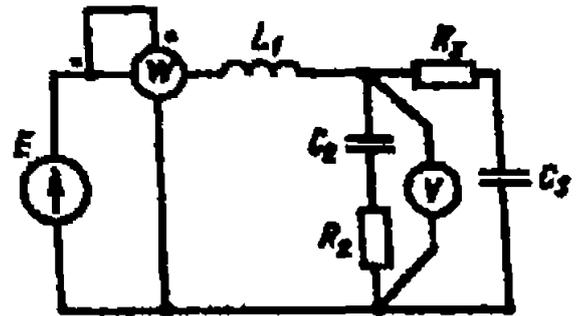


Рис.2.14

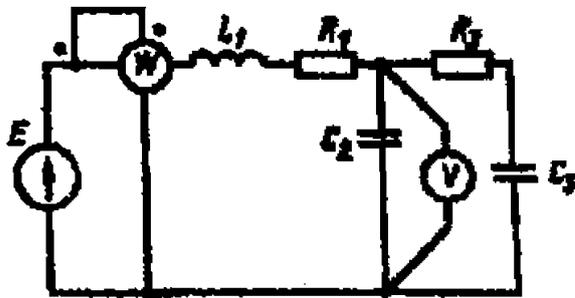


Рис.2.15

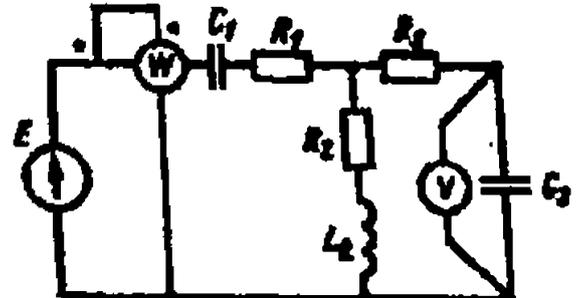


Рис.2.16

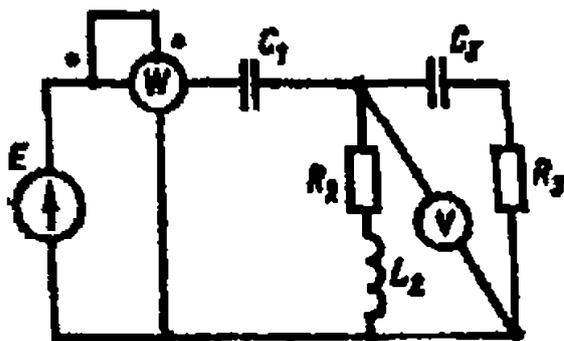


Рис.2.17

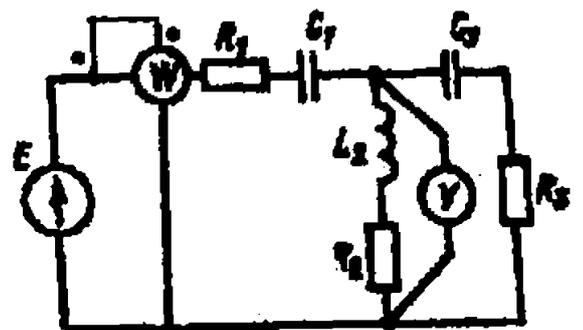


Рис.2.18

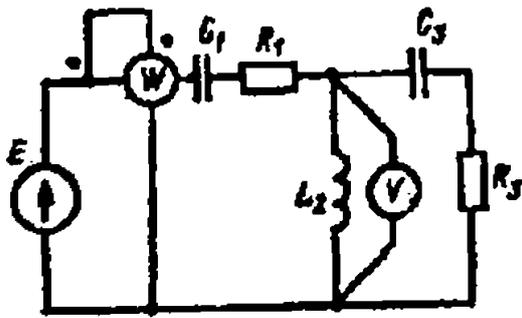


Рис.2.19

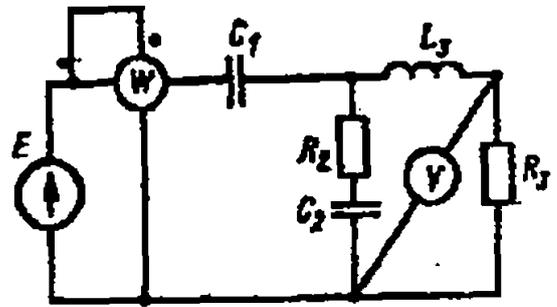


Рис.2.20

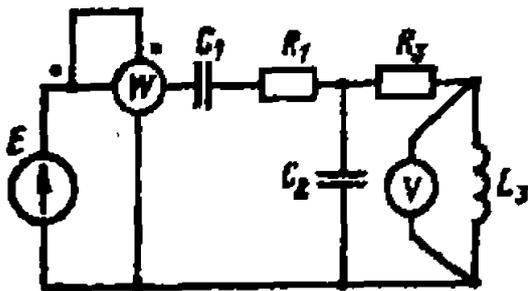


Рис.2.21

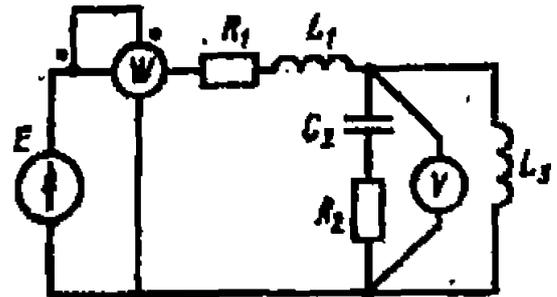


Рис.2.22

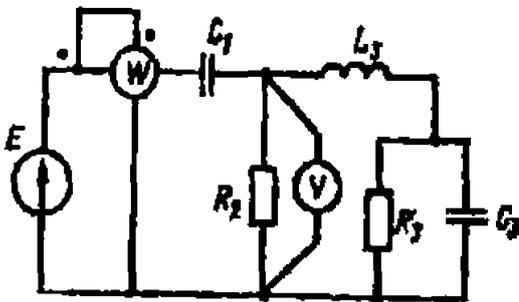


Рис.2.23

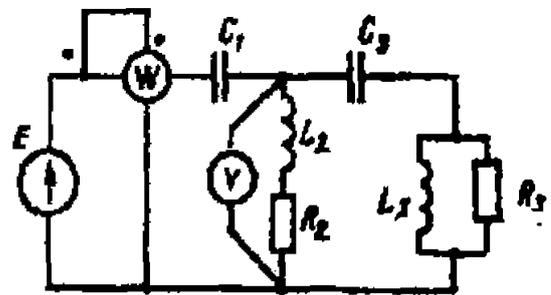


Рис.2.24

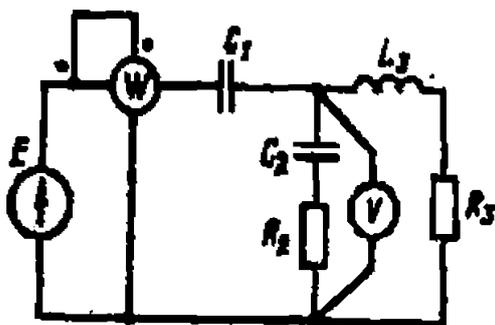


Рис.2.25

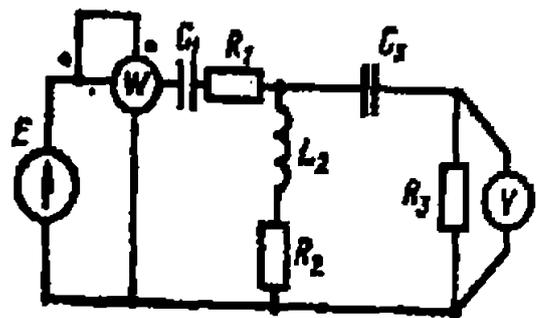


Рис.2.26

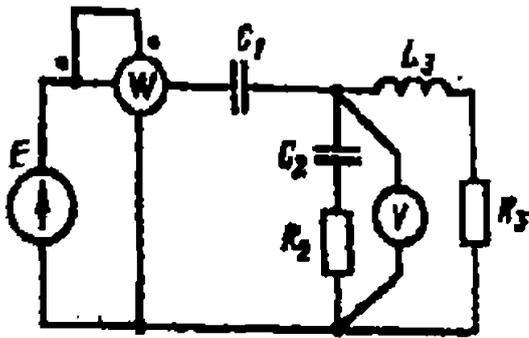


Рис.2.27

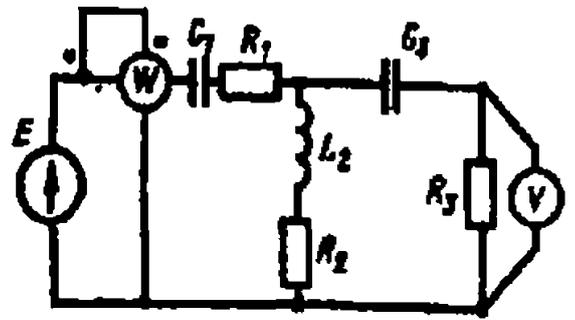


Рис.2.28

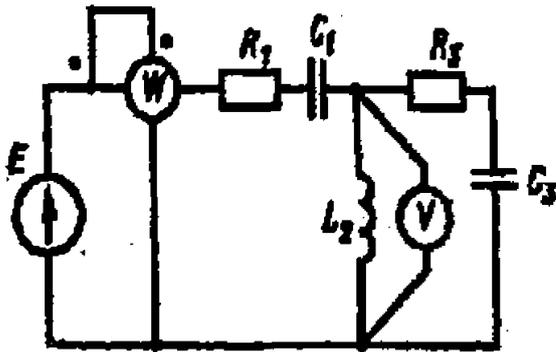


Рис.2.29

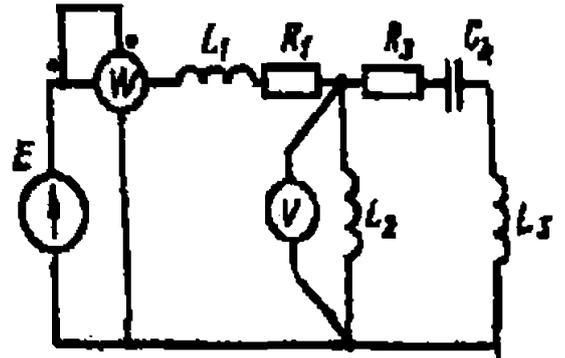


Рис.2.30

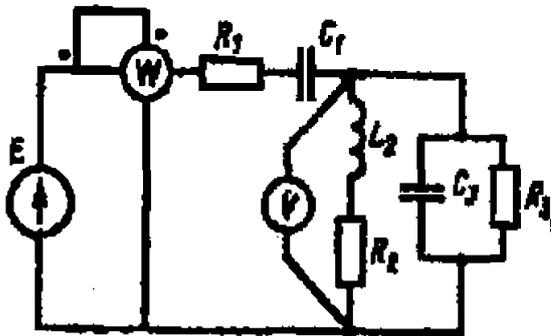


Рис.2.31

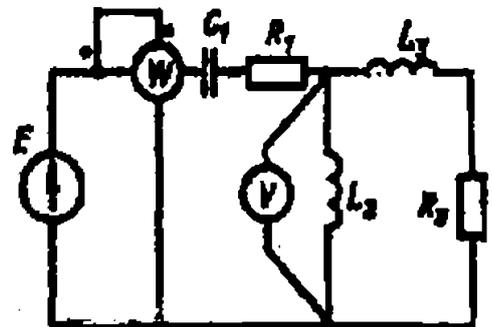


Рис.2.32

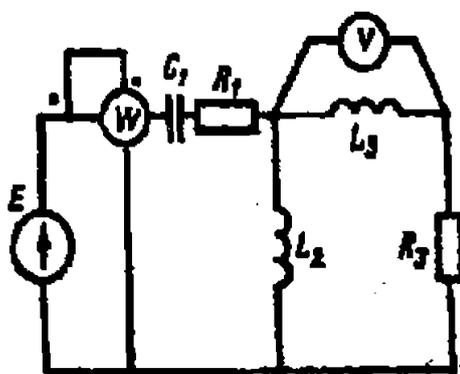


Рис.2.33

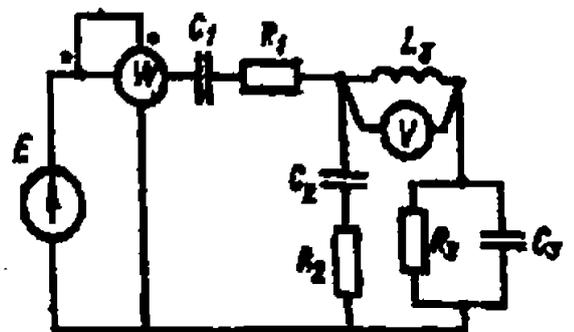


Рис.2.34

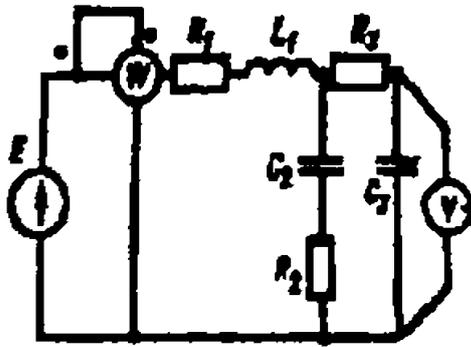


Рис.2.35

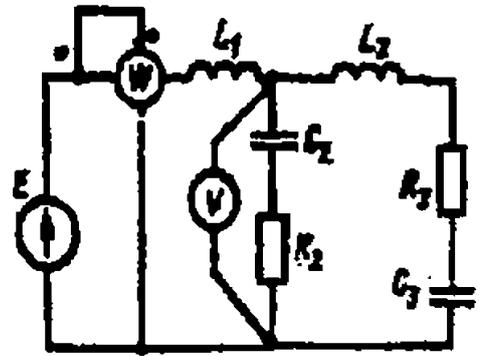


Рис.2.36

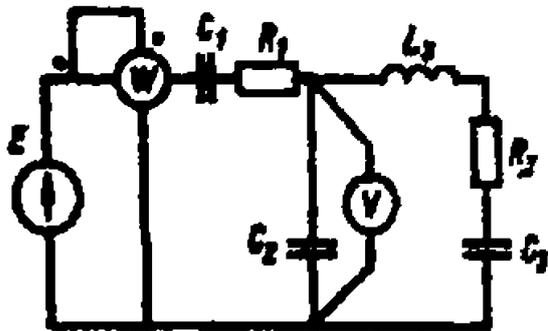


Рис.2.37

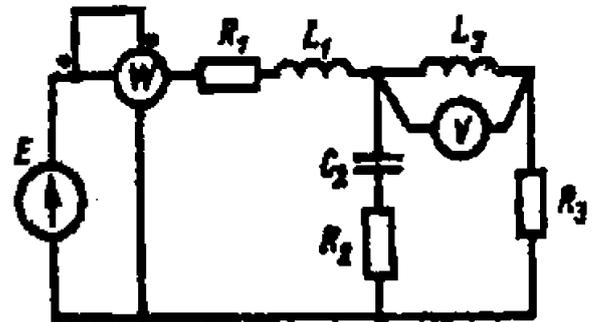


Рис.2.38

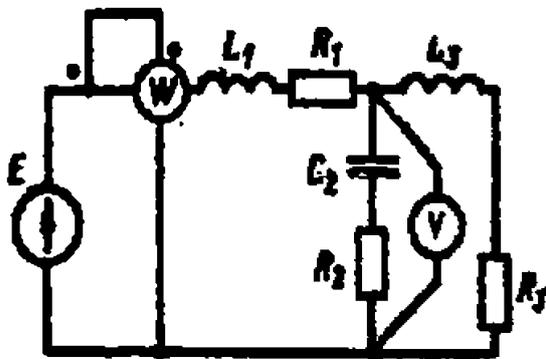


Рис.2.39

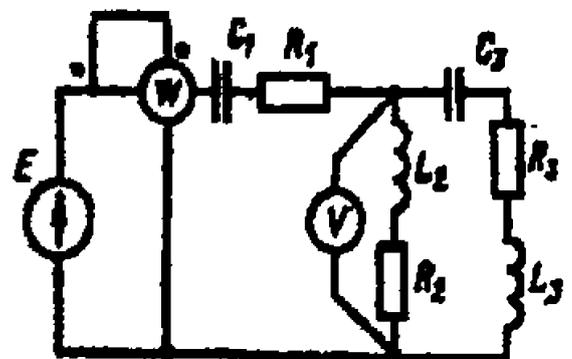


Рис.2.40

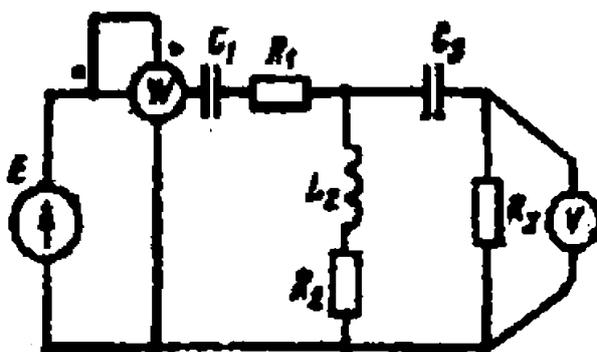


Рис.2.41

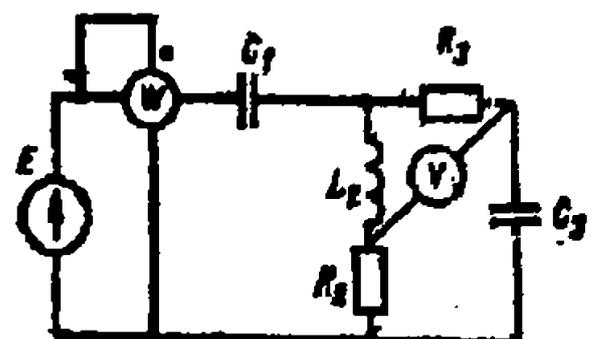


Рис.2.42

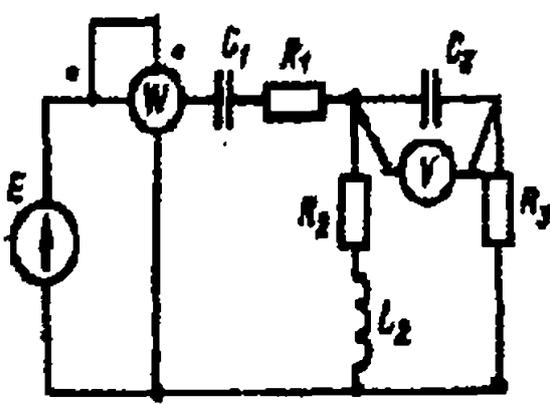


Рис.2.43

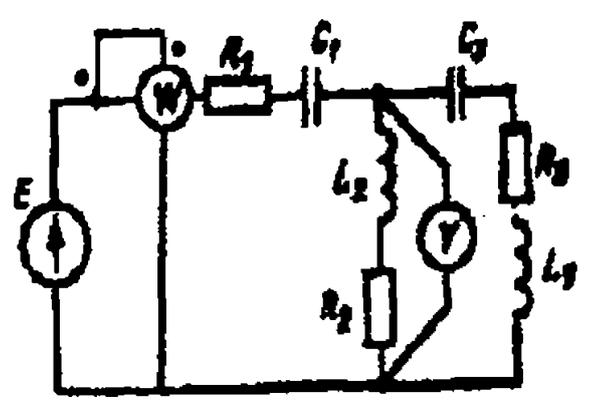


Рис.2.44

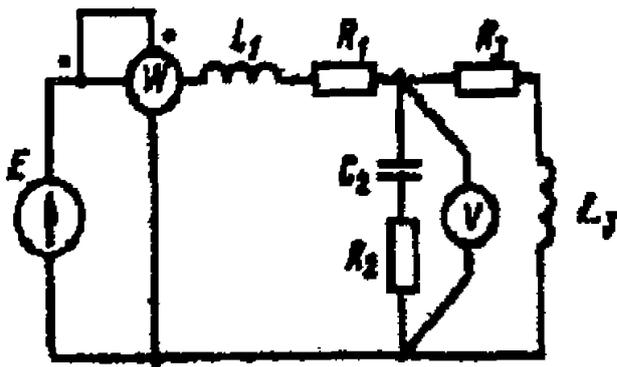


Рис.2.45

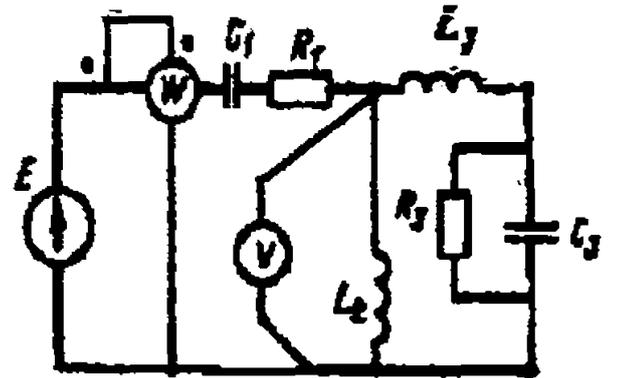


Рис.2.46

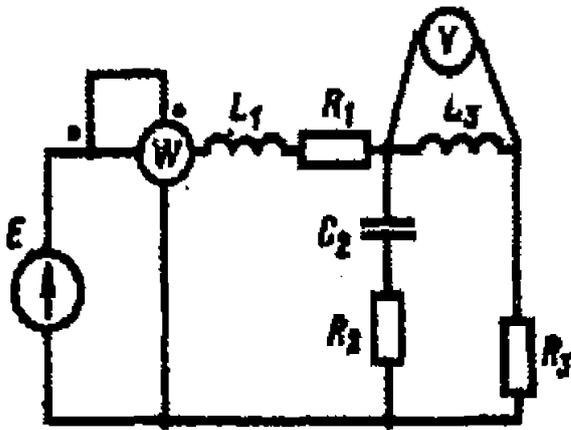


Рис.2.47

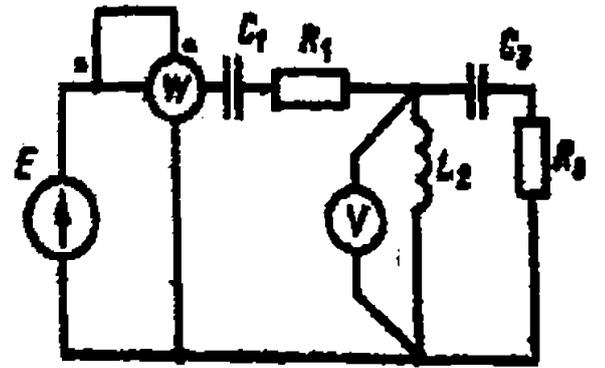


Рис.2.48

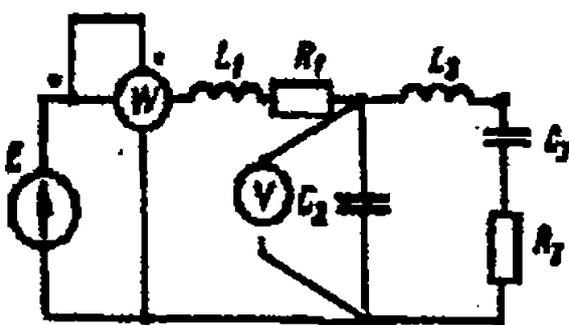


Рис.2.49

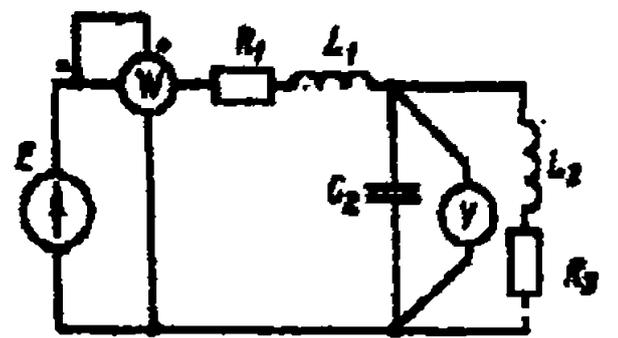


Рис.2.50

Таблица 2.

Номера		E, В	f, Гц	C ₁ , МКФ	C ₂ , МКФ	C ₃ , МКФ	L ₁ , мГн	L ₂ , мГн	L ₃ , мГн	R ₁ , Ом	R ₂ , Ом	R ₃ , 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 ₁ , МКФ	C ₂ , МКФ	C ₃ , МКФ	L ₁ , МГн	L ₂ , МГн	L ₃ , МГн	R ₁ , Ом	R ₂ , Ом	R ₃ , 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 _{лв} , В	R _{св} , Ом	R _{лв} , Ом	R _{сз} , Ом	X _{св} , Ом	X _{лв} , Ом	X _{сз} , Ом	R _{абс} , Ом	R _{вс} , Ом	R _{сз} , Ом	X _{абс} , Ом	X _{вс} , Ом	X _{сз} , 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 _{лв} В	R _с , Ом	R _{лв} , Ом	R _с , Ом	X _с , Ом	X _{лв} , Ом	X _с , Ом	R _{лвс} , Ом	R _{лсв} , Ом	R _{свс} , Ом	X _{лвс} , Ом	X _{лсв} , Ом	X _{свс} , 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	-	-	-	-	-	-

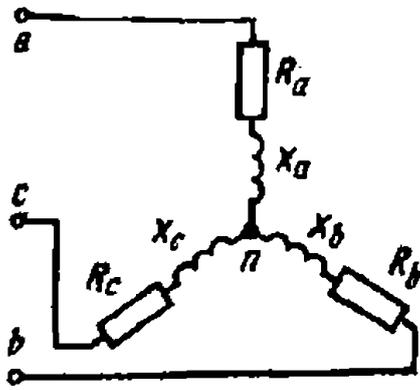


Рис3.1

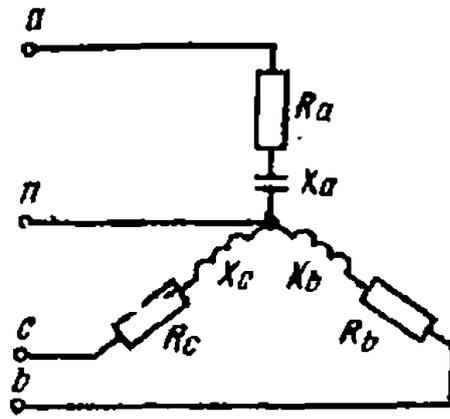


Рис3.2

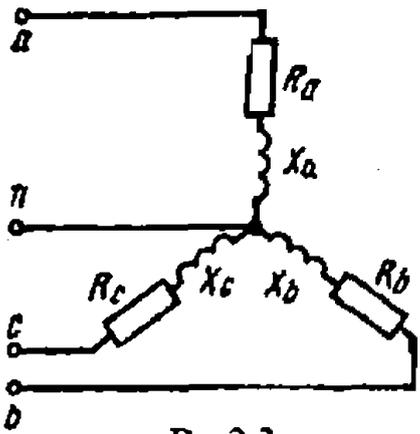


Рис3.3

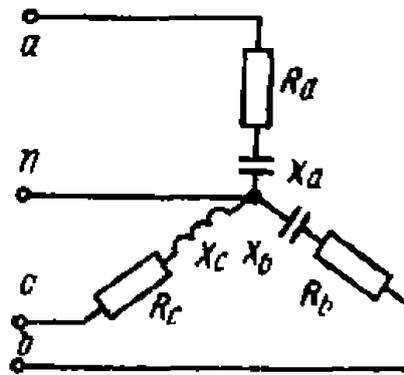


Рис3.4

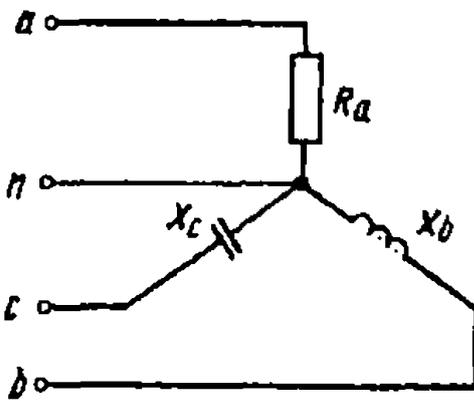


Рис3.5

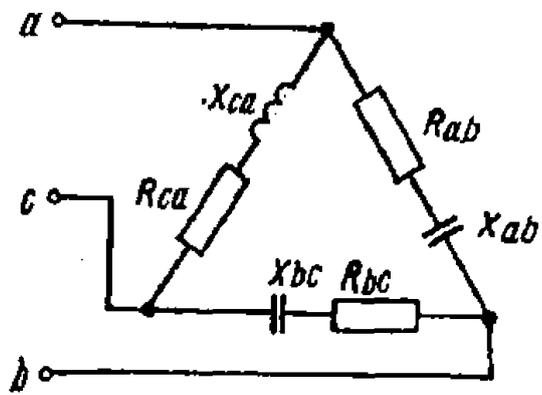


Рис3.6

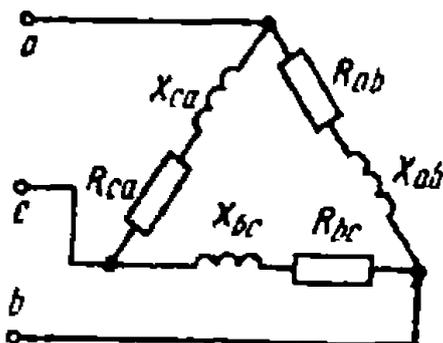


Рис3.7

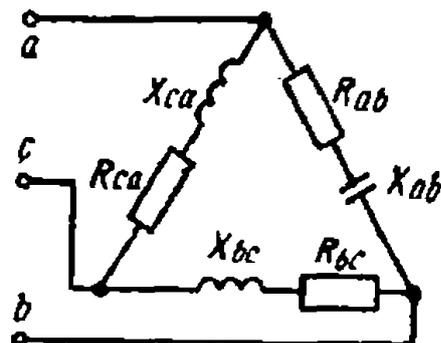


Рис3.8

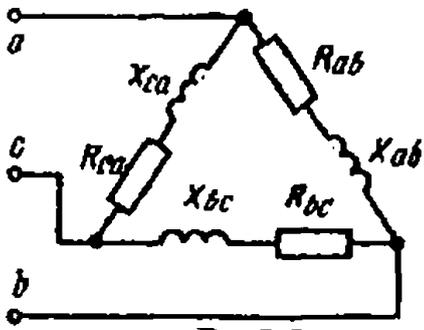


Рис3.9

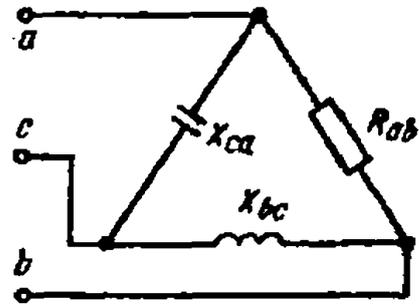


Рис3.10

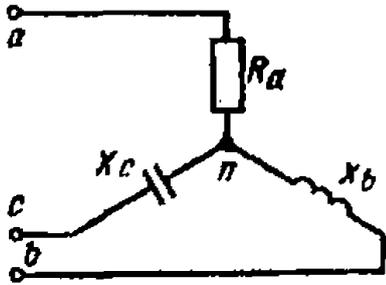


Рис3.11

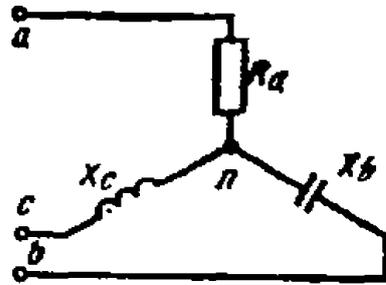


Рис3.12

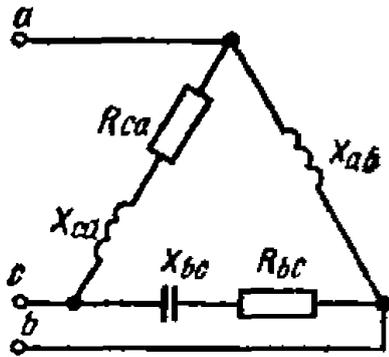


Рис3.13

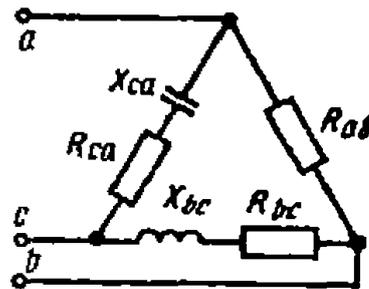


Рис3.14

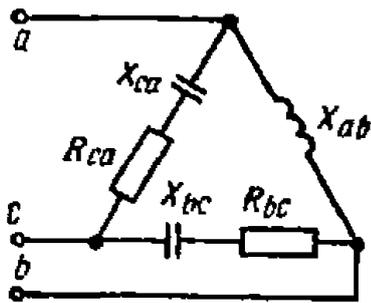


Рис3.15

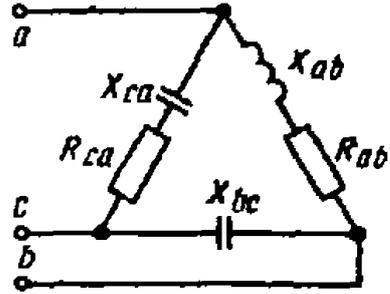


Рис3.16

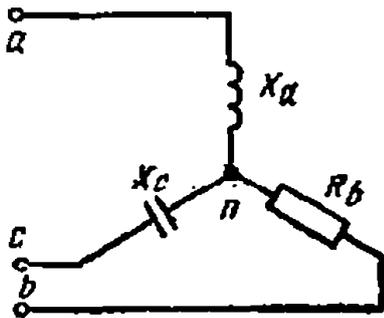


Рис3.17

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	Ω , 1/с	M, Нм	s	Ω , 1/с	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

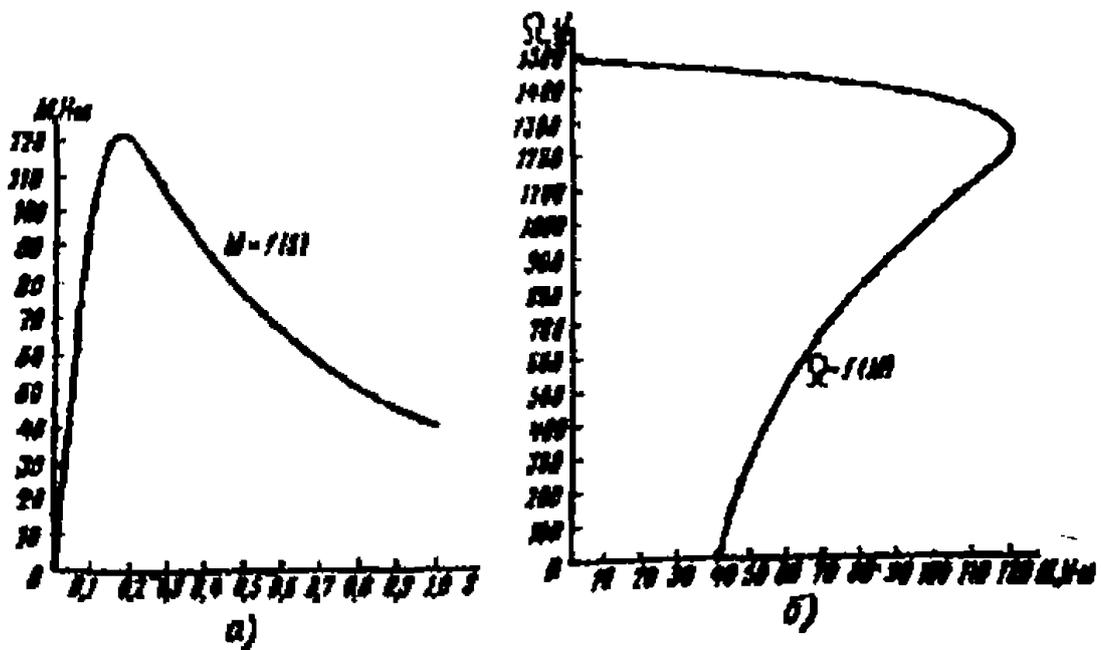


Рис. 15

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

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

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_{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.

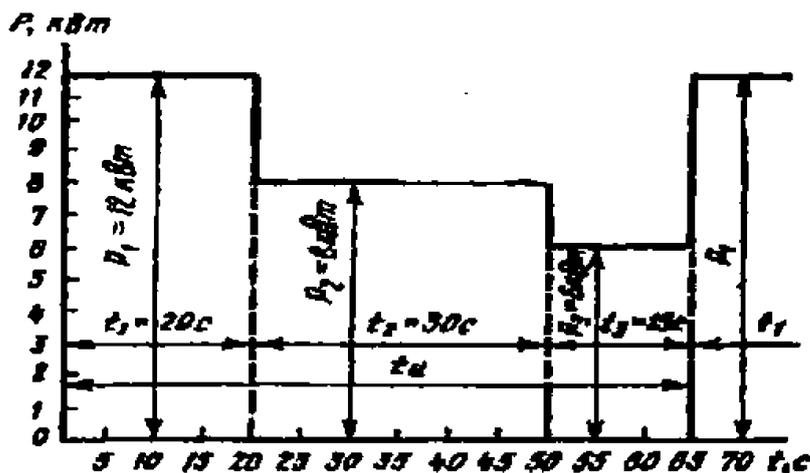


Рис.16

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:

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

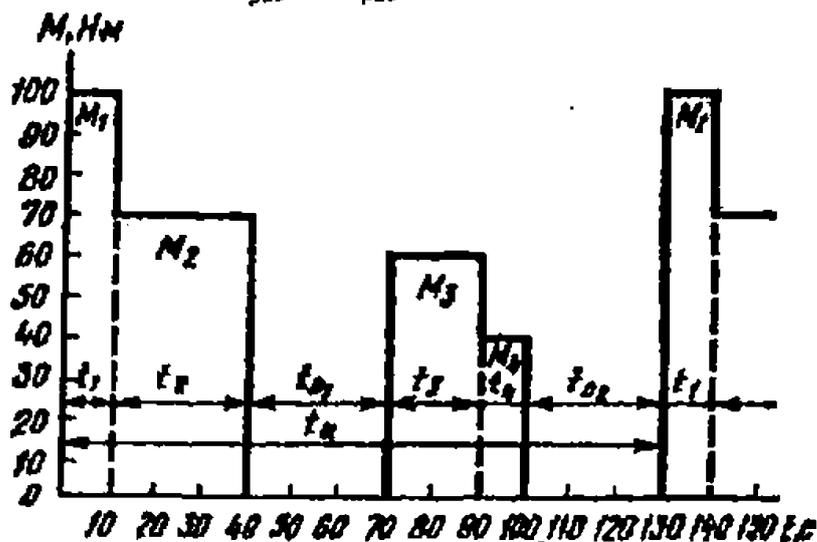


Рис. 17

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

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

Для $PВ_{\text{ном}} = 0,6$ 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 $PВ_{\text{ном}} = 0,6$.

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 ΔP_a , в цепи возбуждения ΔP_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_{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 варианта	Данные для расчёта					
	$U_{ном}$, В	$I_{ном}$, А	I_0 , А	$R_{в}$, Ом	$R_{с}$, Ом	$P_{ном}$, 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 варианта	Данные для расчёта					
	$U_{ном}$, В	$P_{ном}$, кВт	$\Delta P_{в}$, %	$\Delta P_{с}$, %	$P_{ном}$, об/мин	$\eta_{ном}$, %
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 _{ном} , В	P _{ном} , кВт	ΔP _н , %	ΔP _в , %	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 _{ном} , кВт	При номинальной нагрузке			M _{макс} /M _{ном}	M _{тур} /M _{ном}	I _{тур} /I _{ном}
			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 _{ном} , кВт	При номинальной нагрузке			M _{ном} /M _{ном}	M _{усл} /M _{ном}	I _{усл} /I _{ном}
			П _{ном} , об/мин	П _{усл} , %	Сос. ф _{ном}			
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 _{1,0}	t _{2,0}	t _{3,0}	t _{4,0}	t _{5,0}	P ₁ , кВт	P ₂ , кВт	P ₃ , кВт	P ₄ , кВт	P ₅ , 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 двигателя	При номинальной нагрузке				$M_{\text{пик}} / M_{\text{ном}}$	$M_{\text{пуск}} / M_{\text{ном}}$	$M_{\text{тид}} / M_{\text{ном}}$	$I_{\text{п}} / I_{\text{ном}}$	$J, \text{кг.м}^2$
	$P_{\text{ном}},$ кВт	$n_{\text{ном}}$ об/мин	$\eta_{\text{ном}},$ %	$\cos \varphi_{\text{ном}}$					
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	$21,3 \cdot 10^{-4}$
4A90L2V3	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 двигате ля	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 двигате ля	При номинальной нагрузке				$M_{\max} / M_{\text{ном}}$	$M_{\text{пуск}} / M_{\text{ном}}$	$M_{\text{пн}} / M_{\text{ном}}$	$I_{\text{п}} / I_{\text{ном}}$	$J, \text{ кг. м}^2$
	$P_{\text{ном}},$ кВт	$n_{\text{ном}}$ об/мин	$\eta_{\text{ном}},$ %	$\cos \varphi_{\text{ном}}$					
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 двигат оля	При номинальной нагрузке				$M_{\text{швх}} / M_{\text{ном}}$	$M_{\text{пуск}} / M_{\text{ном}}$	$M_{\text{тип}} / M_{\text{ном}}$	$I_{\text{п}} / I_{\text{ном}}$	$J, \text{кг.м}^2$
	$P_{\text{ном}},$ кВт	$n_{\text{ном}}$ 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