

Задание на контрольную работу и методические указания к ее выполнению

Контрольные задания охватывают основные разделы дисциплины и являются важным этапом в процессе ее изучения. Проверка знаний дисциплины на экзамене включает решения задач, которые близки по тематике и методике решений задач из контрольной работы.

Номер варианта студенты выбирают по трем последним цифрам своего шифра. Пояснения даны в соответствующих таблицах в условиях задач.

ЗАДАЧА 1

Цепь постоянного тока с одним источником ЭДС представлена на рис. 1. Параметры резистивных элементов, величина ЭДС E и вариант схемы указаны в табл. 1.

Требуется определить токи во всех резистивных элементах и проверить полученные результаты с помощью первого или второго законов Кирхгофа.

Таблица 1

Последняя, предпоследняя или третья от конца цифра шифра студента	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Схема на рис. 1	а	б	в	г	д	е	а	б	в	г
Буква рис.1 выбирается по последней цифре шифра										
$E, В$	6	8	10	12	14	16	18	20	24	36
Величина E выбирается по предпоследней цифре шифра										
$R_1 = R_2, Ом$	2	4	6	8	5	4	3	2	1	6
$R_3 = R_4, Ом$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Значения $R_1 - R_4$ выбираются по третьей от конца цифре шифра										

Методические указания

Для решения этой задачи необходимо изучить материал курса, относящийся к расчету простых цепей постоянного тока [1], с. 5...11; [2], с. 19...46 или [5], с. 3...9.

Расчет простых резистивных цепей с одним источником целесообразно выполнять в следующей последовательности:

1. Выбрать произвольно в ветвях схемы положительные направления токов, обозначив их стрелками и буквой I_k с соответствующим индексом ($k \in [1, 2, \dots]$).
2. Привести схему к одноконтурному виду путем поэтапного объединения последовательно и параллельно соединенных сопротивлений.
3. Определить ток в одноконтурной схеме.
4. Определить напряжения на всех ветвях исходной схемы путем обратного поэтапного развертывания схемы.
5. С помощью закона Ома определить искомые токи в ветвях.
6. Выполнить проверку полученных результатов, используя первый или второй закон Кирхгофа.

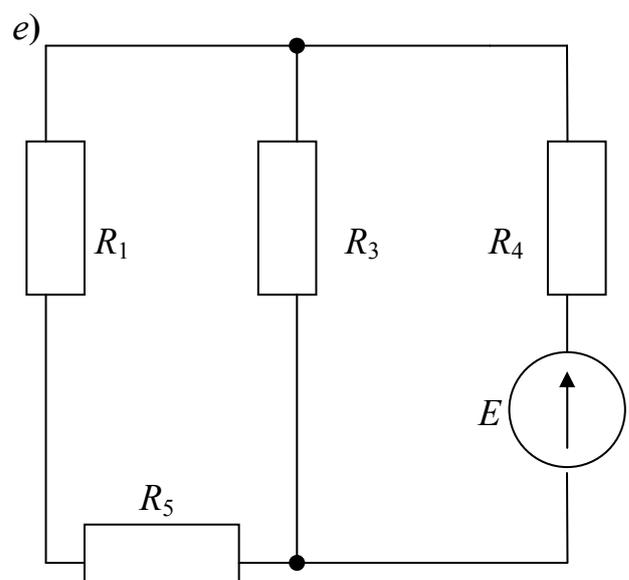
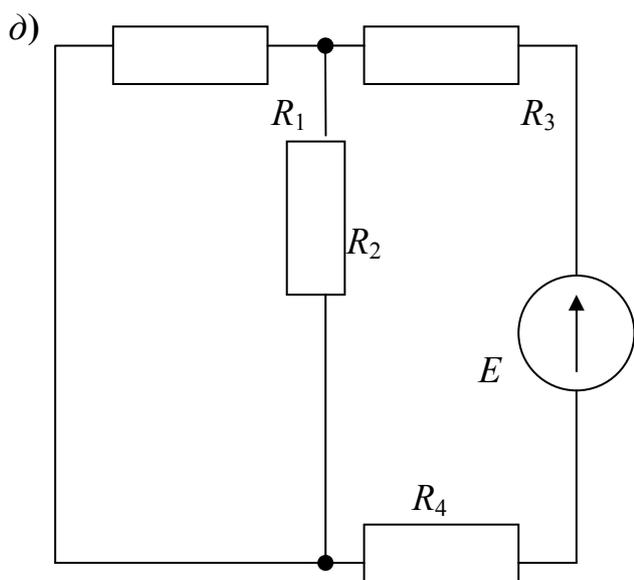
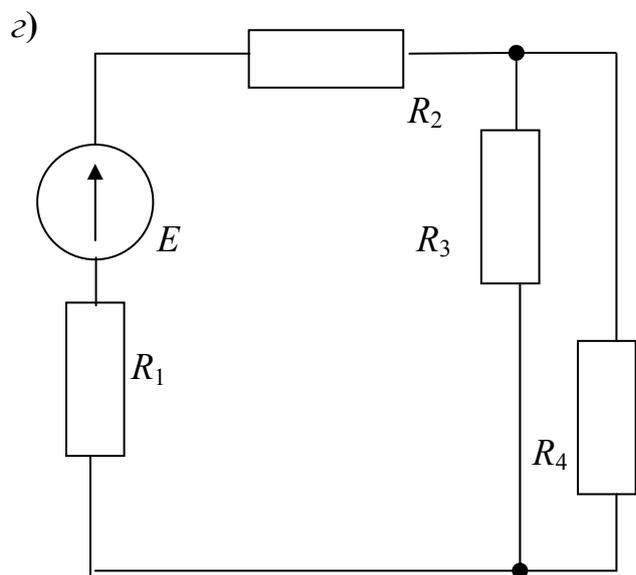
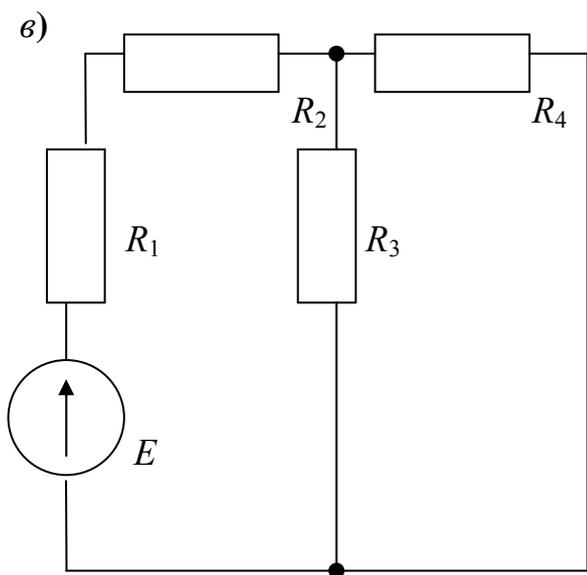
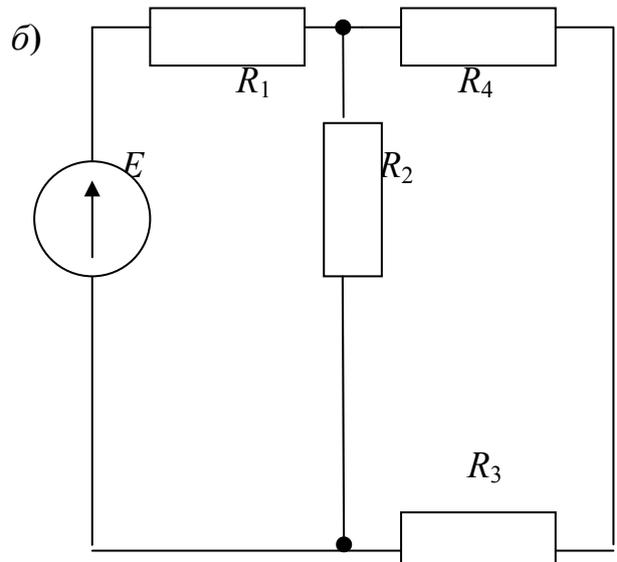
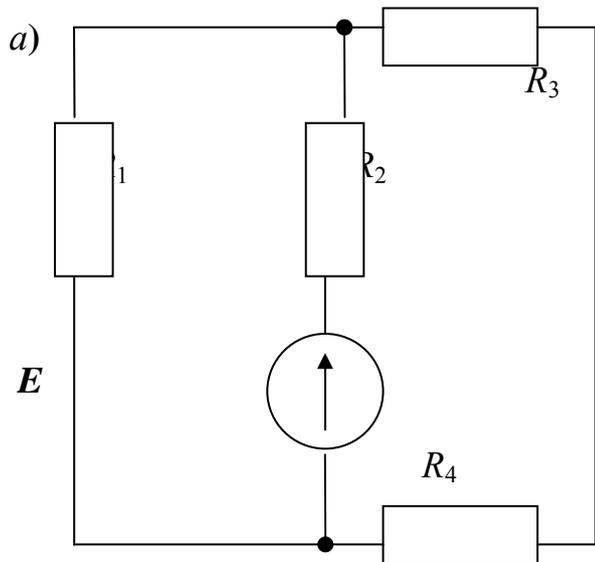


Рис. 1

Пример 1. Определить постоянные токи во всех сопротивлениях электрической схемы (рис. 2). Параметры цепи:
 $R_1=R_2=4 \text{ Ом}, R_3=R_4=1 \text{ Ом},$

$$R_5=6 \text{ Ом}, E=9 \text{ В}.$$

Решение. 1. Выберем произвольно в ветвях положительные направления токов и маркируем их: I_1, I_2, I_3, I_4, I_5 .

2. Преобразуем поэтапно исходную схему в одноконтурную схему. Последовательность преобразований наглядно представлена на рис. 2, где

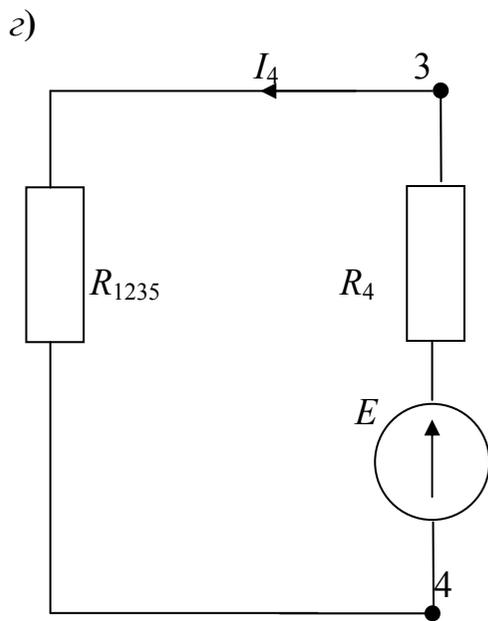
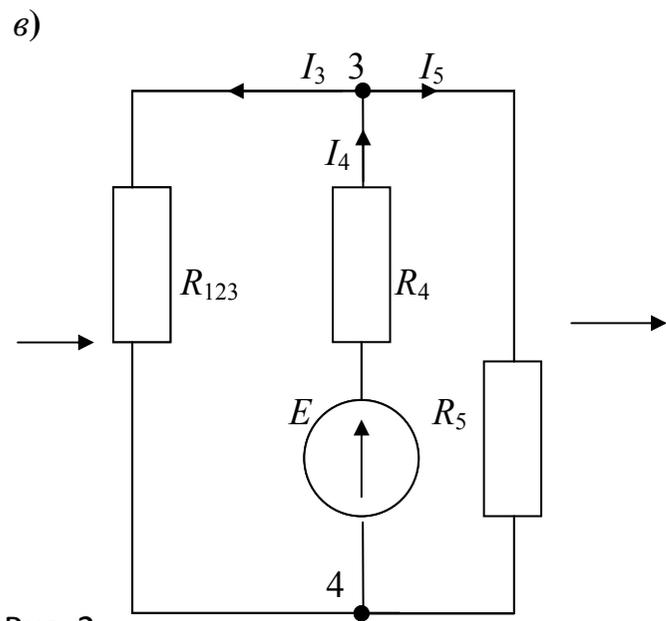
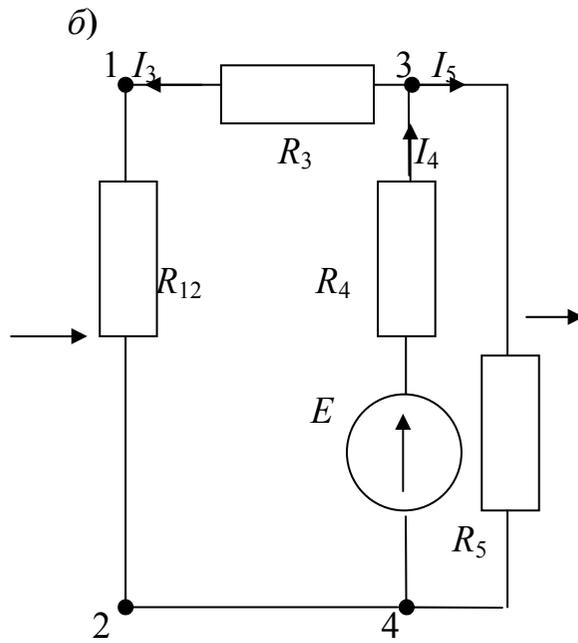
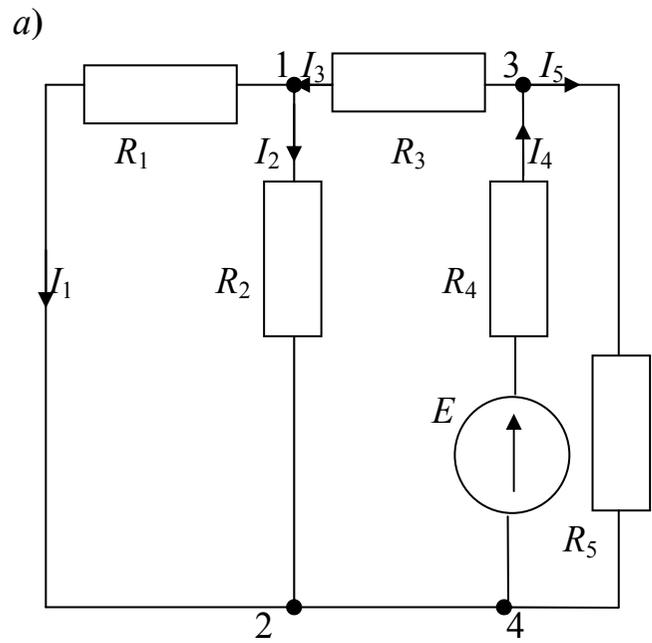


Рис. 2

$$R_{12} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = \frac{4 \cdot 4}{4 + 4} = 2 \text{ Ом}; \quad (\text{рис. 2, б})$$

$$R_{123} = R_{12} + R_3 = 2 + 1 = 3 \text{ Ом}; \quad (\text{рис. 2, в})$$

$$R_{1235} = \frac{R_{123} \cdot R_5}{R_{123} + R_5} = \frac{3 \cdot 6}{3 + 6} = 2 \text{ Ом}; \quad (\text{рис. 2, г})$$

3. Определим ток I_4 и напряжение U_{34} на участке 3-4 для одноконтурной схемы (рис. 2, г).

$$I_4 = \frac{E}{R_{1235} + R_4} = \frac{9}{2 + 1} = 3 \text{ А}; \quad U_{34} = I_4 \cdot R_{1235} = 3 \cdot 2 = 6 \text{ В}.$$

4. Определим токи I_3 и I_5 , напряжение U_{12} на сопротивлении R_{12} (рис. 2, в).

$$I_3 = \frac{U_{34}}{R_{12} + R_3} = \frac{6}{2 + 1} = 2 \text{ А}; \quad I_5 = \frac{U_{34}}{R_5} = \frac{6}{6} = 1 \text{ А}.$$

5. Определим напряжение U_{12} на сопротивлении R_{12} и токи I_1, I_2 , (рис. 2, б).

$$U_{12} = I_3 \cdot R_{12} = 2 \cdot 2 = 4 \text{ В}; \quad I_1 = \frac{U_{12}}{R_1} = \frac{4}{4} = 1 \text{ А}; \quad I_2 = \frac{U_{12}}{R_2} = \frac{4}{4} = 1 \text{ А}.$$

Проверим полученные результаты с помощью первого закона Кирхгофа. Для узла 3 (рис. 2, а) имеем $I_4 - I_3 - I_5 = 3 - 2 - 1 = 0$ – верно.

ЗАДАЧА 2

Схема соединения цепи постоянного тока приведена на рис. 3. Параметры элементов цепи приведены в табл. 2. Требуется составить систему уравнений для определения токов в ветвях методом непосредственного применения законов Кирхгофа.

Таблица 2

Последняя, предпоследняя или третья от конца цифра шифра студента	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Схема на рис. 3	а	б	в	г	д	е	а	б	в	г
Вариант схемы выбирается по последней цифре шифра										
$E_1 = E_2 = E_3, \text{ В}$	36	34	32	30	100	220	18	20	12	24
$R_1, \text{ Ом}$	4	8	12	16	20	24	18	14	10	6
$R_2, \text{ Ом}$	5	10	15	20	25	30	25	20	15	10
$R_3, \text{ Ом}$	2	4	6	8	10	12	10	8	6	4
Значения E, R_1, R_2, R_3 выбираются по предпоследней цифре шифра										
$R_4, \text{ Ом}$	3	6	10	9	12	15	20	12	9	6
$R_5 = R_6, \text{ Ом}$	20	12	30	16	40	30	10	14	15	16
Значения R_4, R_5 и R_6 выбираются по третьей от конца цифре шифра										

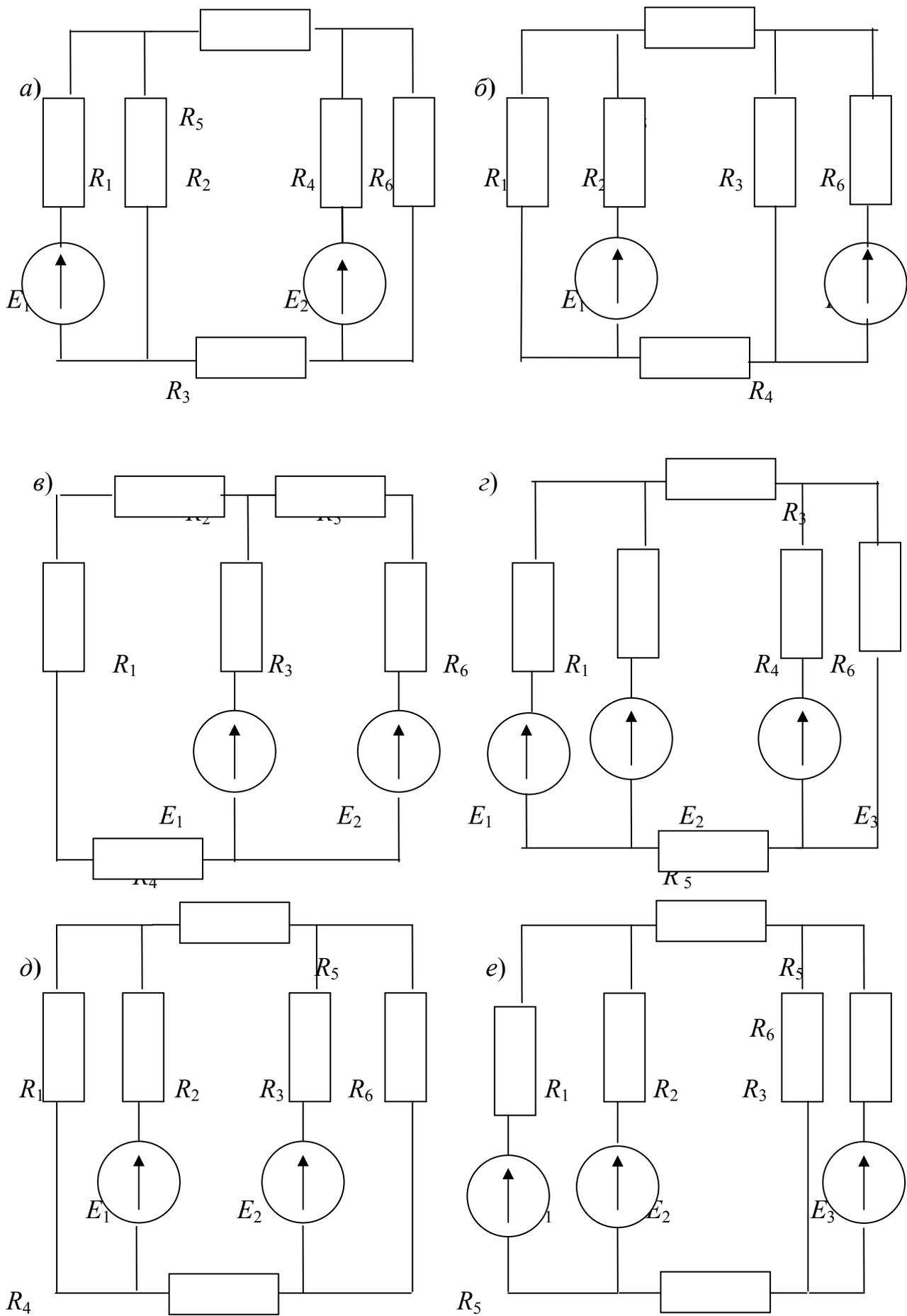


Рис. 3

Методические указания

Расчет сложной цепи на основе законов Кирхгофа целесообразно выполнить в следующей последовательности:

1. Определить все ветви на схеме и произвольно задать в них стрелками направления токов, обозначая их буквами с индексами.
2. Определить и пронумеровать все узлы схемы и для них, кроме любого одного, записать уравнения по первому закону Кирхгофа.
3. Определить все независимые контуры на схеме и произвольно задать их направления обхода.
4. Для всех контуров п. 3 записать уравнения по второму закону Кирхгофа. В результате из п. 2 и п. 4 получаем систему линейных алгебраических уравнений, порядок которой равен числу ветвей.

ЗАДАЧА 3

К электрической цепи (рис. 4) приложено синусоидальное напряжение u , действующее значение которого U и частота f известны. Параметры цепи заданы в табл. 3, $f = 400$ Гц.

Требуется: 1. Определить действующее и мгновенные значения тока на входе цепи комплексным (символическим) методом. 2. Определить, как изменится ток в цепи, если в ней произвести замены: входное синусоидальное напряжение на постоянное напряжение U_0 , реактивные элементы L и C на резистивные элементы R_3 и R_4 . При этом задаться условием: $U = U_0$; $X_L = R_3$; $X_C = R_4$.

Таблица 3

Последняя, предпоследняя или третья от конца цифра шифра студента	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Схема на рис.4	а	Б	в	Г	д	а	б	в	г	Д
Буква рис. 6 выбирается по последней цифре шифра										
$U, В$	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
Значение U выбирается по предпоследней цифре шифра										
$R_1 = R_2, Ом$	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28
$L, мГн$	4	4,8	5,6	6,4	7,2	8	8,8	9,6	8	8,8
$C, мкФ$	76	72	68	64	60	56	52	48	44	40
Значения L, C, R выбираются по третьей от конца цифре шифра										

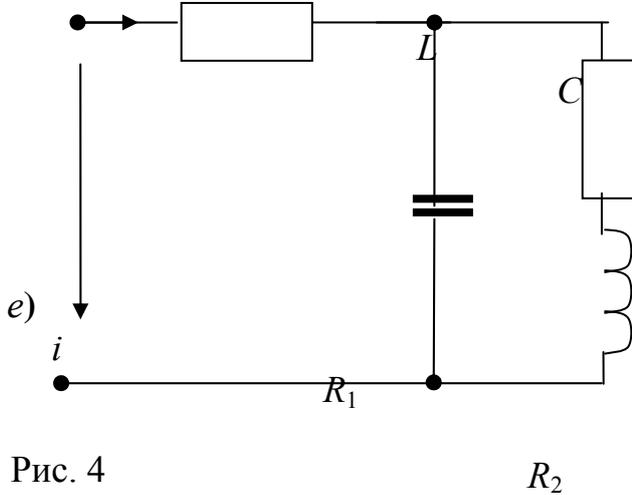
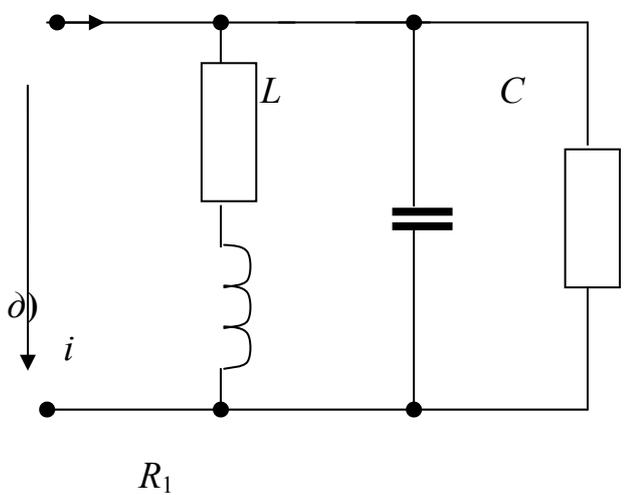
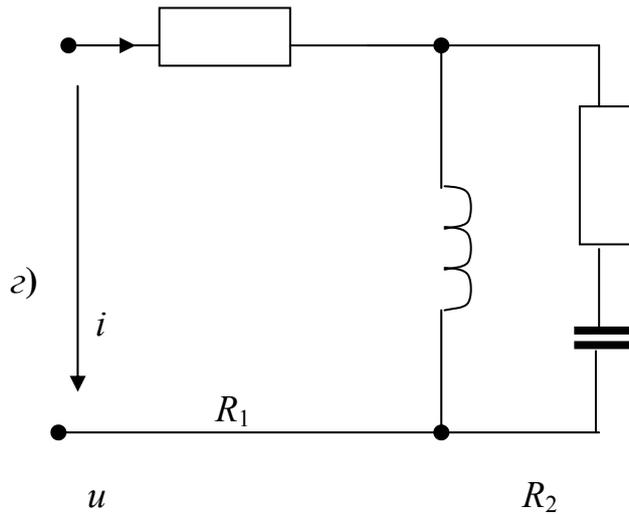
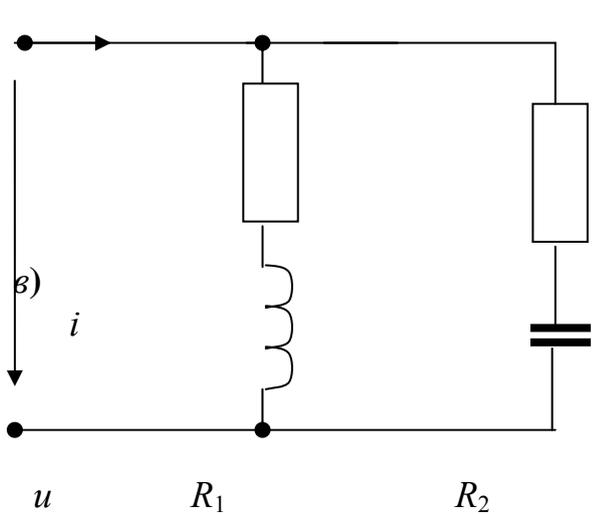
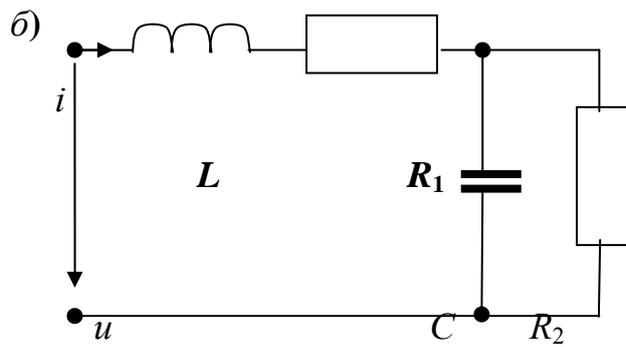
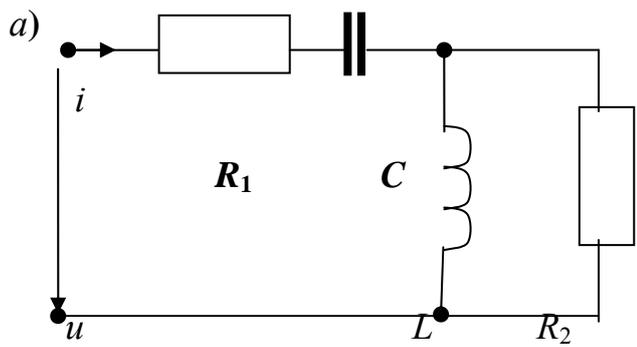


Рис. 4

u C R_2

u C

L

L

Методические указания

Комплексный (символический) метод расчета цепей основан на том, что векторы, изображающие функции времени, могут быть записаны с помощью комплексных чисел, например, в показательной форме:

$$\dot{I} = I e^{j\psi_i}; \quad \dot{U} = U e^{j\psi_u}, \quad (1)$$

где I и U – модули комплексных действующих значений тока \dot{I} и напряжения \dot{U} , равные действующим значениям тока и напряжения; ψ_i и ψ_u – аргументы комплексных действующих значений тока и напряжения, равные начальным фазам тока и напряжения. Напомним, что положительные углы (фазы) откладываются от оси вещественных чисел против часовой стрелки, а отрицательные углы (фазы) – по часовой стрелке от оси вещественных чисел.

Соотношения, аналогичные (1), можно записать и для комплексных амплитуд тока, напряжения и ЭДС:

$$\dot{I}_m = I_m e^{j\psi_i}; \quad \dot{U}_m = U_m e^{j\psi_u}; \quad \dot{E}_m = E_m e^{j\psi_u}, \quad (2)$$

где $\dot{I}_m = \dot{I}\sqrt{2}$; $\dot{U}_m = \dot{U}\sqrt{2}$; $\dot{E}_m = \dot{E}\sqrt{2}$.

В комплексном методе вводят понятия о комплексном сопротивлении \underline{Z} и комплексной проводимости \underline{Y} :

$$\underline{Z} = \frac{\dot{U}_m}{\dot{I}_m} = \frac{\dot{U}}{\dot{I}}; \quad \underline{Y} = \frac{1}{\underline{Z}}.$$

Для параметров R , L , C комплексные сопротивления равны

$$\underline{Z}_R = R; \quad \underline{Z}_L = jX_L; \quad X = \omega L; \quad \underline{Z}_C = -jX_C; \quad X_C = 1/\omega C. \quad (3)$$

Важно отметить, что уравнения связи между комплексными токами и напряжениями для всех элементов становятся алгебраическими:

$$\dot{U} = \underline{Z}\dot{I}, \quad (4)$$

а комплексные действующие значения токов и напряжений удовлетворяют уравнениям законов Кирхгофа:

$$\sum_{k=1}^N \dot{I}_k = 0; \quad \sum_{k=1}^M \dot{U}_k = \sum_{k=1}^M \dot{I}_k \underline{Z}_k = \sum_{k=1}^N \dot{E}_k. \quad (5)$$

Уравнения (5), (6) являются алгебраическими, а не дифференциальными, что имело бы место при оперировании с мгновенными значениями токов и напряжений в результате расчета цепей с реактивными элементами. Более того, эти уравнения аналогичны уравнениям цепи постоянного тока. Поэтому все методы расчетов цепей постоянного тока можно применить для расчетов комплексных токов и напряжений. Последним этапом в комплексном методе расчета является переход от найденных комплексных токов и напряжений к соответствующим мгновенным (действующим) значениям токов и напряжений.

Расчет цепей комплексным методом рекомендуется вести в следующей последовательности:

1. Изображаем заданные синусоидальные напряжения и параметры реактивных элементов комплексными числами (2), (3).
2. Используя законы Ома (4) и Кирхгофа (5) в комплексной форме, составляем уравнения для определения комплексных токов (напряжений).
3. Определяем комплексные токи в ветвях в результате решения алгебраических уравнений п. 2. Основные алгебраические действия с комплексными числами, которые используются на этом этапе, приведены в приложении.
4. С учетом соответствия преобразуем найденные комплексные токи в ветвях в соответствующие мгновенные значения.

Пример 2. Определить мгновенные и действующие значения тока на входе цепи (рис. 4,е), у которой $C = 200$ мкФ, $L = 10$ мГн, $R_1 = R_2 = 10$ Ом, $u = 12\sin(314t + \pi/6)$

Решение. 1. Изобразим синусоидальное входное напряжение и параметры реактивных элементов L и C комплексными числами:

$$\dot{U}_m = U_m e^{j\frac{\pi}{6}} = 12e^{j\frac{\pi}{6}}; \quad jX_L = j\omega L = j314 \cdot 10 \cdot 10^{-3} = j3,14 \text{ Ом};$$

$$-jX_C = -j/\omega C = \frac{-j}{314 \cdot 200 \cdot 10^{-6}} = -j15,92 \text{ Ом}.$$

Если начальная фаза ψ_u входного напряжения в условии задачи не задана, то ее рекомендуется взять равной нулю ($\psi_u = 0$).

2. Используя закон Ома в комплексной форме, составим уравнение для определения комплексной амплитуды тока на входе цепи:

$$\dot{I}_m = \dot{U}_m / \underline{Z},$$

где \underline{Z} – комплексное сопротивление цепи определяется по аналогичным правилам расчета полного сопротивления резистивной цепи постоянного тока:

$$\underline{Z} = R_1 + \frac{-jX_C(R_2 + jX_L)}{R_2 + jX_L - jX_C} = R_1 + \frac{X_C X_L - jX_C R_2}{R_2 + j(X_L - X_C)} = 10 + \frac{50 - j159}{10 - j12,76} = 19,6 - j3,6.$$

3. Определим амплитуду и действующее значение комплексного тока на входе цепи:

$$\dot{i}_m = \frac{12e^{j\frac{\pi}{6}}}{19,6 - j3,6} = \frac{12e^{j\frac{\pi}{6}}}{20e^{-j\frac{\pi}{18}}} = 0,6e^{j\frac{\pi}{4,5}} = 0,6(\cos 40^\circ + j \sin 40^\circ) = \sqrt{2}(0,33 + j0,28);$$

$$I = 0,33 + j0,28, \quad I = \sqrt{0,33^2 + 0,28^2} = 0,42$$

4. Преобразуем амплитуду комплексного тока на входе цепи в мгновенное значение синусоидального тока:

$$i = I_m \sin(314t + \psi_i) = 0,6 \sin(314t + \pi/4,5) \text{ А.}$$

ЗАДАЧА 4

Схема соединения (Y – «звезда», Δ – «треугольник») трехфазного потребителя, линейное напряжение, его частота и параметры элементов фаз, соединенных последовательно, приведены в табл. 4. Заметим, что в каждой фазе приемника элементы R_ϕ , L_ϕ и C_ϕ соединены последовательно. Требуется начертить схему соединения и определить: действующие значения линейных и фазных токов; активную, реактивную и полную мощности потребителя, работающего в симметричном режиме. По результатам расчетов построить векторные диаграммы токов и напряжений для симметричного режима.

Таблица 4

Последняя, предпоследняя или третья от конца цифра шифра студента	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Схема	Y	Δ	Y	Δ	Y	Δ	Y	Δ	Y	Δ
Вариант схемы выбирается по последней цифре шифра										
R_ϕ , Ом	3	4	6	8	9	10	12	16	15	20
*) L_ϕ , мГн	95	92	127	102	134	112	134	166	159	64
*) C_ϕ , мкФ	122	99	99	84	106	72	55	79	127	81
Значения R_ϕ , L_ϕ , C_ϕ выбираются по предпоследней цифре шифра										
U_λ , В	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
f , Гц	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
Значения U_λ , f выбираются по третьей от конца цифре шифра										

*) при расчетах реактивных сопротивлений X_L и X_C округлять их до целых чисел.

Методические указания

При расчете трехфазных цепей необходимо четко представлять схему соединения фаз приемника и потребителя и связанные с этим соотношения между фазными и линейными напряжениями и токами в симметричном режиме. Расчет в этом случае сводится к расчету одной фазы, так как при симметричном режиме токи во всех фазах равны. Вначале следует определить полное сопротивление z фазы, а затем по закону Ома рассчитать фазный ток.

Построение векторных диаграмм начинают с выбора масштабов тока и напряжения. На комплексной плоскости относительно начала координат показывают изображения фазных напряжений и соответствующих им фазных токов. Векторы линейных токов и напряжений определяются схемой соединения, т. е. соотношениями между линейными и фазными значениями конкретной схемы.

Активная, реактивная и полная мощности трехфазной системы в случае симметричного режима соответственно равны:

$$P_{3\phi} = \sqrt{3}U_{л}I_{л} \cos\varphi; Q_{3\phi} = \sqrt{3}U_{л}I_{л} \sin\varphi; S_{3\phi} = \sqrt{3}U_{л}I_{л} = \sqrt{(P_{3\phi})^2 + (Q_{3\phi})^2}.$$

ЗАДАЧА 5

Трехфазный асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором, подключенный к трехфазной сети переменного тока с частотой $f = 50$ Гц, имеет следующие номинальные данные, приведенные в табл. 5: мощность на валу P_{2H} , линейное напряжение U_{1H} , схема соединения обмоток статора, частота вращения ротора n_H , коэффициент мощности $\cos\varphi_H$, кратность критического K_M и пускового K_{II} моментов.

Требуется:

1. Начертить схему включения двигателя, пояснить принцип его работы и назначения элементов схемы.
2. Определить число пар полюсов обмотки статора; номинальное, критическое пусковое скольжение и соответствующие им моменты на валу; возможность пуска двигателя с номинальной нагрузкой при снижении номинального напряжения на 10 %.

Таблица 5

Последняя, предпоследняя или третья от конца цифра шифра студента	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
P_{2H} , кВт	1,2	1,5	1,1	1,5	2,2	2,2	3,0	4,0	5,5	7,5
U_{1H} , В	220	220	380	380	220	380	220	380	380	
Схема соединения	Δ	Δ	Y	Y	Δ	Y	Δ	Y	Y	
*) $n_H \cdot 10^{-1}$ об/мин	288	283	278	272	268	146	141	136	131	
Значения P_{2H} , U_H , n_H и сх. соединения выбираются по последней цифре шифра										
$\cos \varphi_H$	0,87	0,85	0,86	0,84	0,82	0,79	0,81	0,89	0,75	
K_M	2,4	2,2	2,3	2,5	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6
K_{II}	1,4	1,5	1,5	1,4	1,3	1,5	1,4	1,6	1,7	
Значения $\cos \varphi_H$, K_M и K_{II} выбираются по третьей от конца цифре шифра										

Значение n_H необходимо умножить на 10. Например, $288 \cdot 10 = 2880$

Методические указания

Решение задачи следует начинать после изучения устройства и принципа действия трехфазных асинхронных машин.

Следует обратить особое внимание на электромагнитные процессы, возникающие в асинхронном двигателе как при его пуске, так и в процессе работы.

Векторная диаграмма и схема замещения фазы асинхронного двигателя облегчают изучение его работы и используются при выводе основных уравнений. Эксплуатационные параметры асинхронного двигателя наглядно демонстрируются при помощи механических и рабочих характеристик.

Алгоритм решения задачи

Для определения числа пар полюсов обмотки статора воспользуемся формулой, устанавливающей связь синхронной частоты вращения магнитного поля статора n_1 (об/мин) с частотой питающего напряжения f и числом пар полюсов обмотки:

$$n_1 = 60f/p.$$

Число пар полюсов p вычислим, приняв $n_1 = n_H$, по соотношению

$$p = 60f / n_H,$$

беря во внимание по конструктивным соображениям только целую часть.

Скольжение ротора в номинальном режиме определяется по формуле

$$s_H = \frac{n_1 - n_H}{n_1} .$$

Вращающий момент на валу, развиваемый двигателем в номинальном режиме, вычисляется по формуле

$$M_H = 9550 \frac{P_{2H}}{n_H} ,$$

где P_{2H} выражено в кВт, M_H – Н·м,

Скольжение ротора в критическом режиме вычисляется по формуле:

$$s_{KP} = s_H \left(K_M + \sqrt{K_M^2 - 1} \right),$$

т. е. частота вращения ротора в этом режиме (об/мин) равна

$$n_{KP} = n_1 (1 - s_{KP}).$$

Вращающий момент, развиваемый двигателем в критическом режиме работы,

$$M_{KP} = K_M \cdot M_H.$$

При пуске двигателя в ход частота вращения ротора $n_{\Pi} = 0$, поэтому скольжение ротора $s_n = 1$.

Вращающий момент, развиваемый двигателем в момент пуска,

$$M_{\Pi} = K_{\Pi} \cdot M_H,$$

Величина этого момента определяет возможность пуска двигателя с номинальным моментом, если $M_{\Pi} > M_H$, или в режиме холостого хода с последующим увеличением нагрузки на валу, если $M_{\Pi} < M_H$.

Вращающий момент, развиваемый двигателем, пропорционален квадрату приложенного напряжения. При номинальном напряжении эта зависимость определяется выражением

$$M_H = C_M \cdot U_H^2,$$

где C_M – постоянный коэффициент, определяемый конструктивными особенностями машины.

Если напряжение на зажимах двигателя изменять, например, в сторону уменьшения, то будет изменяться и величина вращающего момента на валу двигателя. Например, $U = 0,9U_H$, тогда

$$M = C_M (0,9U_H)^2 = 0,81C_M U_H^2 = 0,81M_M.$$

Вычислив величину момента на валу, следует определить значение пускового момента двигателя при пониженном напряжении:

$$M_{\Pi} = K_M \cdot M$$

и сделать вывод о возможности пуска двигателя в ход.

ЗАДАЧА 6

Двигатель постоянного тока с параллельным возбуждением имеет номинальные данные, приведенные в табл. 6: P_{2H} – мощность на валу; U_H – напряжение; n_H – частота вращения якоря; η_H – коэффициент полезного действия; $R_{я}$, $R_{в}$ – сопротивления цепей якоря и возбуждения соответственно.

Требуется:

1. Начертить схему включения двигателя, пояснить принцип его работы и назначение элементов схемы.
2. Определить сопротивление пускового реостата для условия $I_{\Pi} = 2,5I_{ян.}$.

Таблица 6

Последняя, предпоследняя или третья от конца цифра шифра студента	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
P_{2H} кВт	1	1,2	1,5	1,7	2,2	2,5	3,4	4,0	5,3	7
U_H , В	110	110	110	110	110	220	220	220	220	220
*) $n_H \cdot 10^{-1}$ об/мин	300	220	150	220	150	220	220	150	300	220

Значения P_2, U_H, n_H выбираются по последней цифре шифра										
$R_я, \text{ Ом}$	1,2	0,8	0,48	0,34	0,23	0,62	0,44	0,31	0,29	0,16
$R_B, \text{ Ом}$	202	160	110	80	70	220	170	185	135	110
Значения $R_я, R_B$ выбираются по предпоследней цифре шифра										
$\eta_H, \%$	77	78	80	81	82	83	84	85	86	87
Значение η_H выбирается по третьей от конца цифре шифра										

*) Значение n_H необходимо умножить на 10.

Методические указания

Изучая работу машин постоянного тока в режиме двигателя, надо обратить особое внимание на пуск, назначение пусковых и регулировочных сопротивлений, способы регулирования частоты вращения якоря и вращающий момент двигателя; в режиме генератора – на самовозбуждение. Характеристики генераторов и двигателей дают наглядное представление об эксплуатационных свойствах электрических машин.

Алгоритм решения задачи

Электрическая мощность P_{1H} (Вт) двигателя в номинальном режиме:

$$P_{1H} = P_{2H} / \eta_H,$$

где η_H – коэффициент полезного действия двигателя, выраженный в относительных единицах (о. е.).

Ток, потребляемый двигателем, в номинальном режиме от питающей сети:

$$I_H = P_{1H} / U_H \cdot$$

Ток, протекающий в цепи обмотки возбуждения,

$$I_B = U_H / R_B \cdot$$

Ток, протекающий в цепи якоря двигателя, определяется по уравнению первого закона Кирхгофа:

$$I_{ЯН} = I_H - I_B.$$

Пусковой ток по условию задачи должен составлять $2,5I_{ЯН}$, что достигается включением в цепь якоря внешнего по отношению к двигателю пускового реостата. Сопротивление пускового реостата определяется из равенства

$$I_{П} = 2,5I_{ЯН} = \frac{U_H}{R_{Я} + R_{Д}},$$

откуда следует, что

$$R_{Д} = \frac{U_H}{I_{П}} - R_{Я}.$$

Потери (Вт) в обмотке якоря и цепи возбуждения в номинальном режиме работы:

$$\Delta P_{ЯН} = I_{ЯН}^2 R_{Я}, \quad \Delta P_B = I_B^2 R_B.$$

Вращающий момент (Н·м) двигателя в номинальном режиме:

$$M_H = 9550 \frac{P_{2H}}{n_H},$$

где P_{2H} – механическая мощность двигателя, выраженная в кВт.