





## **1. ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ**

### ***1.1. Цель контрольной работы***

Контрольная работа по дисциплине «Основы электротехники и электроники» имеет целью закрепление знаний студентов по следующим разделам учебной дисциплины: цепи постоянного тока, цепи однофазного синусоидального тока, авиационные электрические машины. В ходе самостоятельного выполнения контрольной работы студенты приобретают практические навыки анализа и расчета электрических цепей постоянного и переменного синусоидального тока, а также расчета характеристик авиационных электродвигателей.

### ***1.2. Требования к оформлению контрольной работы***

Контрольная работа выполняется в отдельной тетради или на листах стандартного формата А4 с полями для замечаний рецензента.

Условие каждой задачи необходимо приводить полностью в том виде, как оно сформулировано в задании.

Электрические схемы, таблицы, графики следует выполнять в соответствии с требованиями стандартов ЕСКД с использованием чертежных инструментов (не от руки), допускается применение компьютерной графики. Рисунки и таблицы необходимо пронумеровать, а в тексте поместить ссылки на них.

В случае использования при расчетах компьютерных средств соответствующие распечатки должны быть выполнены на стандартных листах и вложены в работу.

Решение должно выполняться аккуратно с необходимыми пояснениями и промежуточными расчетами. Расчеты выполняются сначала в общем виде, а затем подставляются числовые значения и приводится окончательный результат с указанием единицы измерения.

В конце контрольной работы помещается список использованных литературных источников.

Контрольная работа обязательно подписывается и датируется студентом и сдается на проверку преподавателю. После получения контрольной работы с замечаниями и указаниями преподавателя необходимо внести соответствующие исправления. Все исправленные расчеты, изменения, дополнения выполняются в той же тетради в конце работы.

При сдаче на повторную рецензию не разрешается переписывать заново контрольную работу или отдельные ее части.

### ***1.3. Указания к выбору варианта***

Вариант задания выбирается студентом из соответствующих каждому заданию таблиц по двум последним цифрам номера зачетной книжки (шифра):

электрическая схема – по предпоследней цифре номера; численные значения параметров элементов цепи – по последней цифра номера.

Контрольная работа, вариант которой не соответствует указанным требованиям, на проверку не принимается и должна быть выполнена вновь.

#### **1.4. Рекомендуемая литература:**

1. Касаткин А.С., Немцов М.В. Электротехника. – М.: Высшая школа, 2005.

2. Бессонов Л.А. Сборник задач по теоретическим основам электротехники. – М.: Высшая школа, 2000.

## **2. СОДЕРЖАНИЕ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ**

### **Задание 1.** Расчет цепи постоянного тока

К источнику электрической энергии постоянного тока, ЭДС которого  $E = 28$  В, а внутренне сопротивление  $R_{вн} = 0,5$  Ом, подключается цепь.

В соответствии с вариантом по табл. 1.1 определяется схема цепи (рис. 1.1 или рис. 1.2) и точки подключения источника. Значения сопротивлений, входящих в заданную цепь, выбираются по табл. 1.2.

В Подключении 1 рассчитать ток через источник и токи в каждом из сопротивлений цепи, а также мощность, потребляемую всей цепью.

В Подключении 2 рассчитать только ток через источник.

Таблица 1.1

Выбор электрической схемы

Предпоследняя цифра шифра	Схема	$R_{вх1}$		$R_{вх2}$	
		Относит. точек	Положение ключей	Относит. точек	Положение ключей
<b>0</b>	Рис. 1.1	1 – 6		1 – 3	
<b>1</b>	Рис. 1.1	2 – 6		1 – 4	
<b>2</b>	Рис. 1.1	3 – 6		2 – 4	
<b>3</b>	Рис. 1.1	4 – 6		2 – 5	
<b>4</b>	Рис. 1.1	5 – 6		3 – 5	
<b>5</b>	Рис. 1.2	1 – 2	$K_1 K_2$	1 – 2	$\overline{K}_1 K_2$
<b>6</b>	Рис. 1.2	1 – 3	$K_1 K_2$	1 – 3	$\overline{K}_1 K_2$
<b>7</b>	Рис. 1.2	1 – 4	$K_1 K_2$	1 – 4	$\overline{K}_1 K_2$
<b>8</b>	Рис. 1.2	1 – 4	$K_1 \overline{K}_2$	2 – 3	$\overline{K}_1 K_2$
<b>9</b>	Рис. 1.2	1 – 2	$K_1 \overline{K}_2$	2 – 4	$\overline{K}_1 K_2$

Условное обозначение:  $K$  – соответствует разомкнутому положению ключа;  $\overline{K}$  – замкнутому.

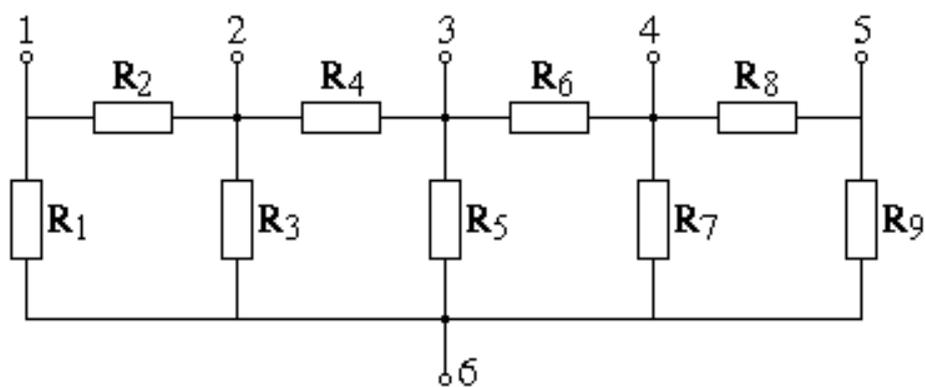


Рис. 1.1

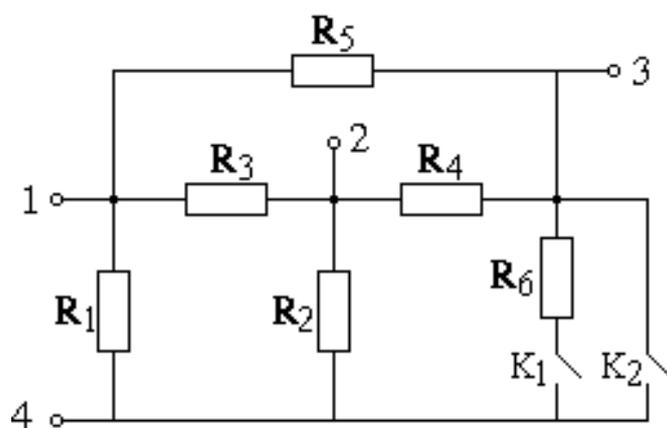


Рис. 1.2

Таблица 1.2

Параметры элементов цепи

Последняя цифра шифра	$R_1,$ Ом	$R_2,$ Ом	$R_3,$ Ом	$R_4,$ Ом	$R_5,$ Ом	$R_6,$ Ом	$R_7,$ Ом	$R_8,$ Ом	$R_9,$ Ом
<b>1</b>	7	4	2	4	9	9	10	9	10
<b>2</b>	5	3	6	2	5	10	5	3	6
<b>3</b>	4	10	3	7	6	3	1	10	5
<b>4</b>	1	9	3	10	6	6	1	6	1
<b>5</b>	9	6	9	5	9	8	6	4	9
<b>6</b>	7	6	3	6	5	3	9	10	6
<b>7</b>	4	7	4	7	7	3	2	4	8
<b>8</b>	6	9	9	6	5	8	3	6	5
<b>9</b>	3	10	2	5	1	8	10	2	1
<b>0</b>	2	2	6	9	7	7	9	9	8

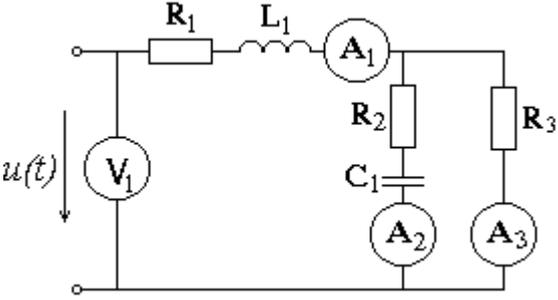
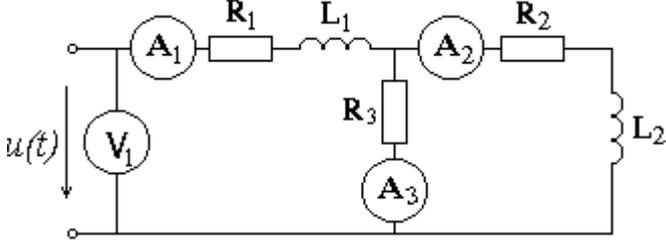
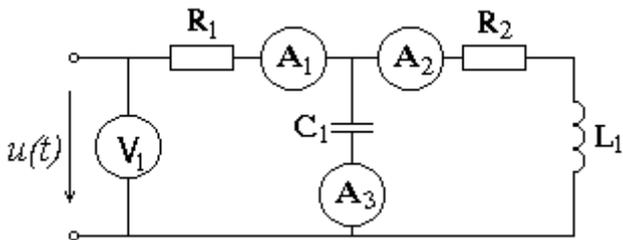
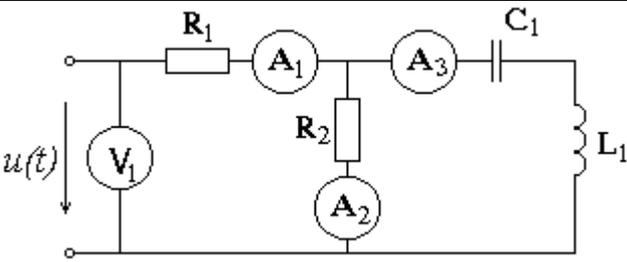
**Задание 2.** Расчет цепи переменного синусоидального тока

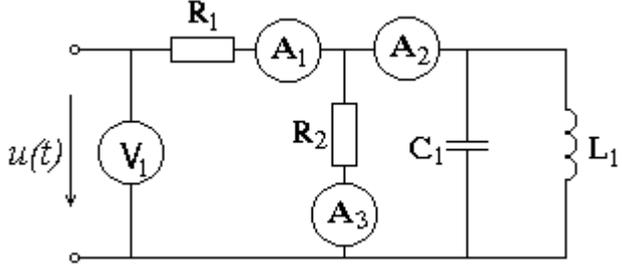
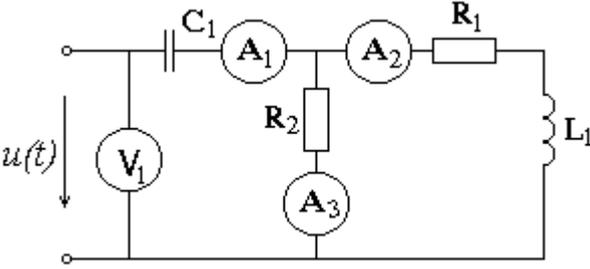
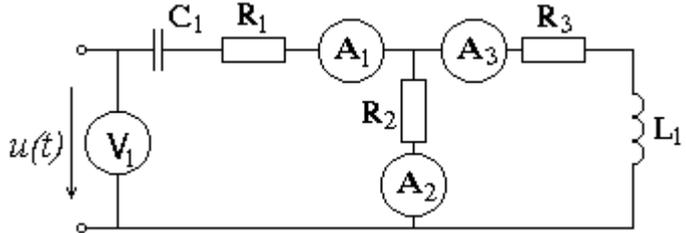
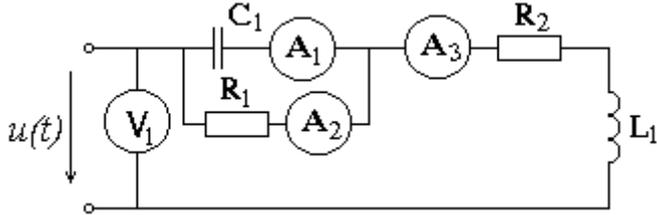
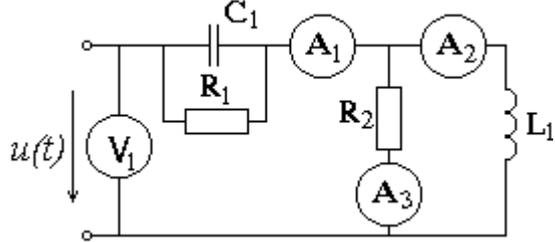
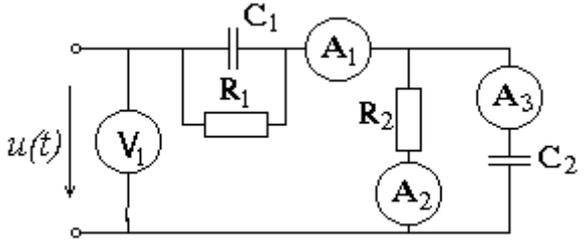
К заданной электрической цепи приложено синусоидальное напряжение  $u(t) = U_m \cdot \sin(\omega t)$  с известной амплитудой  $U_m$  и частотой  $f$ .

1. Определить показания вольтметра  $V_1$  и амперметров  $A_1, A_2, A_3$ .
2. Рассчитать полную, активную и реактивную мощности, потребляемые данной цепью.

Таблица 2.1

## Выбор электрической схемы

Предпоследняя цифра шифра	Схема
0	 <p style="text-align: center;">Рис. 2.1</p>
1	 <p style="text-align: center;">Рис. 2.2</p>
2	 <p style="text-align: center;">Рис. 2.3</p>
3	 <p style="text-align: center;">Рис. 2.4</p>

4	 <p style="text-align: center;">Рис. 2.5</p>
5	 <p style="text-align: center;">Рис. 2.6</p>
6	 <p style="text-align: center;">Рис. 2.7</p>
7	 <p style="text-align: center;">Рис. 2.8</p>
8	 <p style="text-align: center;">Рис. 2.9</p>
9	 <p style="text-align: center;">Рис. 2.10</p>

Параметры элементов цепи и напряжения

Последняя цифра шифра	$R_1$ , Ом	$R_2$ , Ом	$R_3$ , Ом	$L_1$ , мГн	$L_2$ , мГн	$C_1$ , мкФ	$C_2$ , мкФ	$U_m$ , В	$f$ , Гц
<b>1</b>	30	60	100	40	90	70	90	100	50
<b>2</b>	20	100	20	80	80	30	60	200	100
<b>3</b>	50	60	40	10	10	40	50	300	400
<b>4</b>	90	100	80	20	30	5	5	40	800
<b>5</b>	40	20	60	30	40	5	10	30	400
<b>6</b>	30	100	20	10	20	10	20	60	800
<b>7</b>	40	70	80	40	60	50	80	80	50
<b>8</b>	90	60	90	90	90	30	80	120	100
<b>9</b>	100	50	100	30	10	20	10	90	400
<b>0</b>	10	70	100	100	60	40	50	150	50

**Задание 3.** Асинхронные электрические машины

Для авиационного трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором:

- рассчитать и построить механическую характеристику;
- определить пусковой ток и пусковой момент при пуске двигателя переключением со «звезды» (Y) на «треугольник» ( $\Delta$ );
- определить напряжение, при котором двигатель утратит перегрузочную способность.

Исходные данные к заданию 3 приведены в табл. 3.1.

Таблица 3.1

## Авиационные трехфазные асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором

Технические данные Две последние цифры шифра	Номинальная мощность, $P_{\text{ном}}$ , Вт	Номинальная частота вращения, $n_{\text{ном}}$ , об/мин	Номинальный коэффициент мощности, $\cos \varphi$	Номинальный КПД, $\eta$	Электромагнитная мощность, $P_{\text{эм}}$ , Вт	Перегрузочная способность, $K_M = M_{\text{мах}} / M_{\text{ном}}$	Кратность пускового момента, $K_{\text{п}} = M_{\text{п}} / M_{\text{ном}}$	Кратность пускового тока, $K_i = I_1 / I_{1\text{ном}}$	Количество полюсов, $2p$
00,20,40,60,80	25	5800	0,6	0,38	60	1,4	0,75	5	8
01,21,41,61,81	50	5820	0,61	0,48	95	1,5	0,8	5	8
02,22,42,62,82	100	5860	0,63	0,55	165	1,6	0,9	5,5	8
03,23,43,63,83	200	5880	0,65	0,64	129	1,7	0,9	6	8
04,24,44,64,84	350	11500	0,74	0,7	460	1,7	1	6,5	4
05,25,45,65,85	1000	11500	0,75	0,78	1214	2	1,1	6,5	4
06,26,46,66,86	3500	4600	0,8	0,83	4110	2,3	1,2	7,5	10
07,27,47,67,87	1100	11400	0,76	0,8	1284	2,1	1	7	4
08,28,48,68,88	1500	7660	0,76	0,72	1930	2,2	1,2	7	6
09,29,49,69,89	2250	5800	0,58	0,73	2715	2,25	1,2	7	8
10,30,50,70,90	3000	7600	0,8	0,76	3600	2,3	1,25	7	6
11,31,51,71,91	4000	4720	0,62	0,81	4620	2,35	1,25	7	10
12,32,52,72,92	10000	7780	0,73	0,81	11480	2,5	1,3	7,5	6
13,33,53,73,93	400	11300	0,72	0,7	530	1,75	1	6,5	4
14,34,54,74,94	750	11600	0,67	0,78	902	1,9	1	6,5	4
15,35,55,75,95	5600	5560	0,69	0,76	6875	2,4	1,2	7	8
16,36,56,76,96	9500	7560	0,62	0,83	10100	2,5	1,3	7,5	6
17,37,57,77,97	3500	5500	0,62	0,74	4308	2,3	1,2	7	8
18,38,58,78,98	5000	7400	0,68	0,77	6030	2,4	1,25	7	6
19,39,59,79,99	7800	7760	0,74	0,82	9020	2,5	1,3	7,5	6

### 3. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

#### Задание 1

Необходимые теоретические сведения изложены в [1, гл. 1, с. 4-36].

Перед началом решения изобразите схему в том виде, который соответствует именно вашему варианту, исключив из нее соответственно «лишние» элементы (зажимы, ключи).

Выполняя задание 1, начертите схему замещения источника как последовательное соединение источника ЭДС и внутреннего сопротивления. Заданную цепь «присоедините» к зажимам источника. Затем, применяя правила определения эквивалентного сопротивления участка цепи при последовательном и параллельном соединении элементов (сопротивлений), а также, при необходимости, преобразования соединения «звездой» в «треугольник» или «треугольником» в «звезду», найдите входное сопротивление цепи относительно заданных точек. Вычислите ток через источник, после чего определите токи в отдельных сопротивлениях. При этом важно научиться *видеть*, как именно в заданной схеме соединены те или другие элементы.

#### Задание 2

Необходимые теоретические сведения изложены в [1, гл. 2, с. 37-86].

Это задание относится к цепям переменного синусоидального тока. При его выполнении необходимо применить символический метод, оперирующий с комплексными токами, напряжениями и ЭДС, а также комплексными сопротивлениями элементов. Соответственно, надо иметь понятие о комплексных числах, алгебраической и показательной формах их представления, уметь выполнять арифметические действия с ними.

#### Задание 3

Для выполнения задания необходимо изучить [1, гл. 14, с. 417-456].

Авиационный трехфазный асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором работает от сети с номинальным линейным напряжением  $U_{1л} = 200$  В и номинальной частотой  $f_1 = 400$  Гц при соединении обмотки статора «треугольником».

Порядок выполнения задания:

3.1. Соблюдая требования ЕСКД, начертить принципиальную электрическую схему трехфазного асинхронного двигателя с использованием переключателя, обеспечивающего соединение обмоток статора «звездой» при пуске и «треугольником» в рабочем режиме.

На схеме указать напряжение сети  $u_{1л}$ , фазный  $i_{1ф}$  и линейный  $i_{1л}$  токи;

3.2. По данным табл. 3 определить скольжения:

номинальное:

$$s_{ном} = \frac{n_1 - n_{ном}}{n_1} \quad \text{или} \quad s_{ном} = \frac{\Omega_1 - \Omega_{ном}}{\Omega_1},$$

где  $n_1 = \frac{60 \cdot f_1}{p}$  – частота вращения поля, об/мин;

$\Omega_1 = \frac{2 \cdot \pi \cdot f_1}{p}$  – угловая скорость вращения поля, рад/с;

и критическое:

$$s_{кр} = s_{ном} \cdot (K_M + \sqrt{K_M^2 - 1}).$$

3.3. Для построения механической характеристики можно использовать упрощенную формулу (формулу Клосса):

$$M = \frac{2 \cdot M_{max}}{s/s_{кр} + s_{кр}/s},$$

где  $M_{max}$  – максимальный момент двигателя, соответствующий критическому скольжению.

3.4. Учитывая, что при скольжениях, превышающих критическое, расчеты по приближенной формуле Клосса дают значительную ошибку, величины номинального и пускового момента можно определить следующим образом:

$$M_{ном} = \frac{P_{эм}}{\Omega_1}; \quad M_n = M_{ном} \cdot K_n.$$

Также необходимо уточнить значение

$$M_{max} = M_{ном} \cdot K_M.$$

3.5. Для расчета токов и моментов при пуске переключением со «звезды» на «треугольник» следует учитывать следующие соотношения.

При соединении  $\Delta$ :

- номинальный ток фазы обмотки статора:

$$I_{1\phi\Delta} = \frac{P_{1ном}}{3 \cdot U_{1\phi\Delta} \cdot \cos \varphi} = \frac{P_{1ном}}{3 \cdot U_{1л} \cdot \cos \varphi},$$

где  $P_{1ном} = P_{ном} / \eta$  – потребляемая двигателем мощность в номинальном режиме;

- линейный ток:

$$I_{1л\Delta} = \sqrt{3} \cdot I_{1\phi\Delta};$$

- пусковой линейный ток, потребляемый из сети:

$$I_{n\Delta} = I_{1л\Delta} \cdot K_i.$$

При соединении  $Y$ :

- напряжение фазы обмотки статора:

$$U_{1\phi Y} = U_{1\phi\Delta} / \sqrt{3};$$

- ток фазы обмотки статора:

$$I_{1\phi Y} = I_{1\phi\Delta} / \sqrt{3};$$

- линейный ток равен фазному:

$$I_{1л Y} = I_{1\phi Y}.$$

Отношения фазных и линейных токов:

$$\frac{I_{1\phi Y}}{I_{1\phi \Delta}} = \frac{1}{\sqrt{3}};$$

$$\frac{I_{1лY}}{I_{1л\Delta}} = \frac{I_{1\phi \Delta}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{3} \cdot I_{1\phi \Delta}} = \frac{1}{3}.$$

Таким образом, при соединении «звездой» ток, протекающий по фазе обмотки статора двигателя, уменьшается в  $\sqrt{3}$  раз, а линейный ток – в 3 раза.

Также в 3 раза уменьшается и линейный ток, потребляемый из сети при пуске  $I_{нY} = I_{н\Delta} / 3$ , то есть выполняется основное требование к режиму пуска двигателей - ограничение пускового тока.

При этом также уменьшаются пусковой и максимальный моменты, так как электромагнитный момент асинхронного двигателя пропорционален квадрату напряжения, поданного на фазу обмотки статора. Так как при соединении «звездой» это напряжение уменьшается в  $\sqrt{3}$  раз, то

$$M_{нY} = \frac{M_{н\Delta}}{(\sqrt{3})^2} = \frac{M_{н\Delta}}{3}; \quad M_{maxY} = \frac{M_{max\Delta}}{(\sqrt{3})^2} = \frac{M_{max\Delta}}{3}.$$

Перегрузочная способность также снижается в 3 раза.

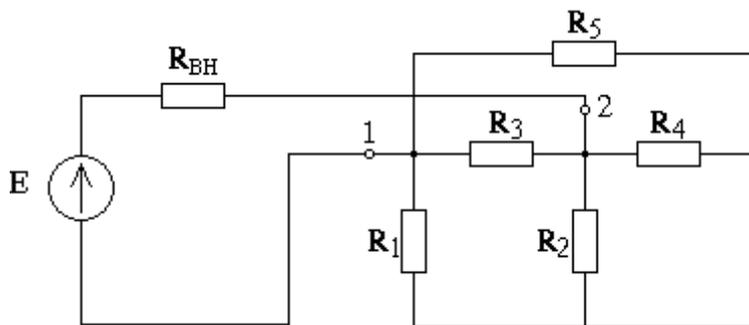
Напряжение, при котором двигатель утрачивает перегрузочную способность в рабочем режиме:

$$U'_{1\phi \Delta} = U_{1\phi \Delta} / \sqrt{K_m}.$$

## 4. ПРИМЕРЫ ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАДАНИЙ

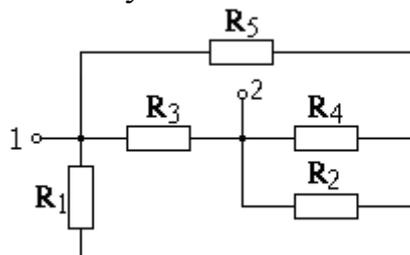
### Задание 1

1.1. Пусть дана цепь с подключением источника к точкам 1-2:

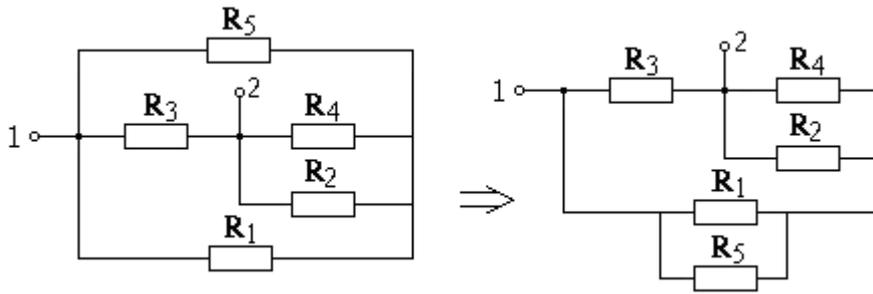


Определим входное сопротивление всей подключенной к источнику цепи.

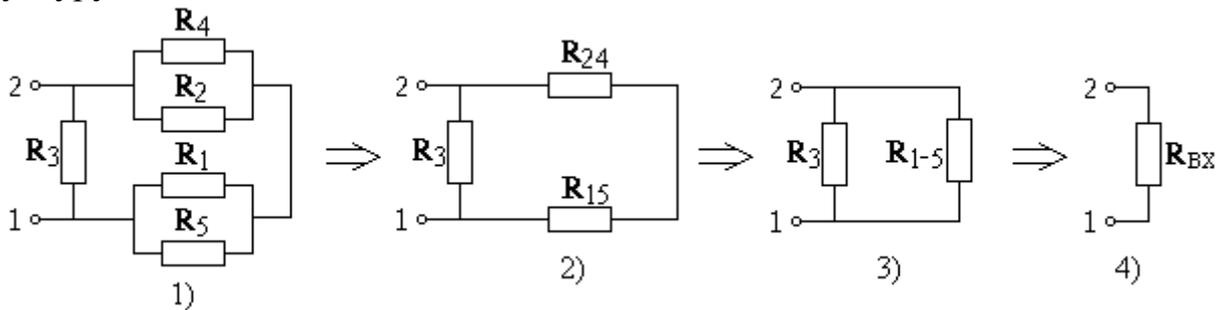
Заметим, что в данной схеме сопротивления  $R_4$  и  $R_2$  соединены параллельно; перерисуем схему:



Теперь, нарисовав  $R_1$  горизонтально, заметим, что сопротивления  $R_5$  и  $R_1$  соединены также параллельно:



Наконец, изобразив схему в удобном виде, с очевидностью констатируем структуру цепи:



Эквивалентное сопротивление параллельно соединенных  $R_2$  и  $R_4$ :

$$R_{24} = R_2 \cdot R_4 / (R_2 + R_4).$$

Эквивалентное сопротивление параллельно соединенных  $R_1$  и  $R_5$ :

$$R_{15} = R_1 \cdot R_5 / (R_1 + R_5).$$

Сопротивления  $R_{24}$  и  $R_{15}$  соединены последовательно, эквивалентное сопротивление:

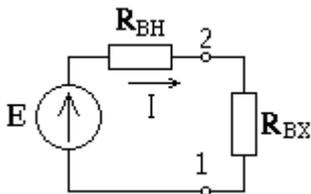
$$R_{1-5} = R_{24} + R_{15}.$$

Сопротивления  $R_3$  и  $R_{1-5}$  соединены параллельно, поэтому окончательно входное сопротивление всей цепи:

$$R_{BX} = R_3 \cdot R_{1-5} / (R_3 + R_{1-5}).$$

Подстановка численных данных и арифметические вычисления не представляют проблемы.

Восстановим схему с подключенным источником и определим ток:

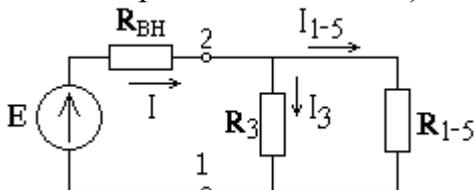


По второму закону Кирхгофа

$$I \cdot R_{BH} + I \cdot R_{BX} = E,$$

следовательно, ток через источник  $I = \frac{E}{R_{BH} + R_{BX}}.$

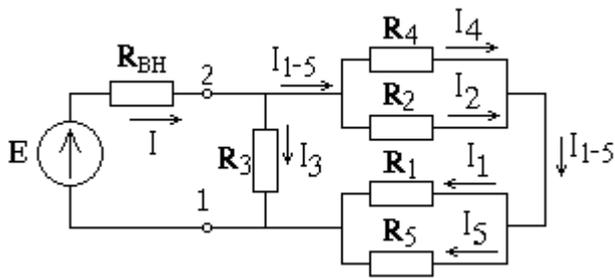
Вернемся к схеме 3).



Зная ток  $I$ , токи в параллельных ветвях  $I_3$  и  $I_{1-5}$  можно найти по формулам «разброса»:

$$I_3 = I \cdot \frac{R_{1-5}}{R_3 + R_{1-5}}; \quad I_{1-5} = I \cdot \frac{R_3}{R_3 + R_{1-5}}.$$

Теперь можно вернуться к схеме 1).



Также по формулам «разброса»:

$$I_2 = I_{1-5} \cdot \frac{R_4}{R_2 + R_4};$$

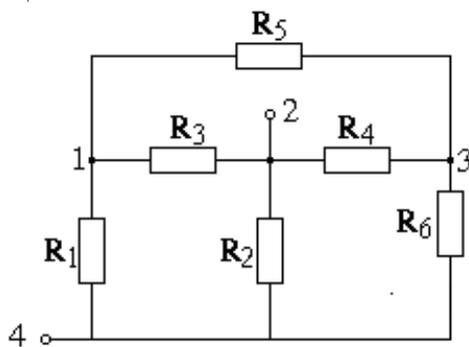
$$I_4 = I_{1-5} \cdot \frac{R_2}{R_2 + R_4};$$

$$I_1 = I_{1-5} \cdot \frac{R_5}{R_1 + R_5};$$

$$I_5 = I_{1-5} \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_5}.$$

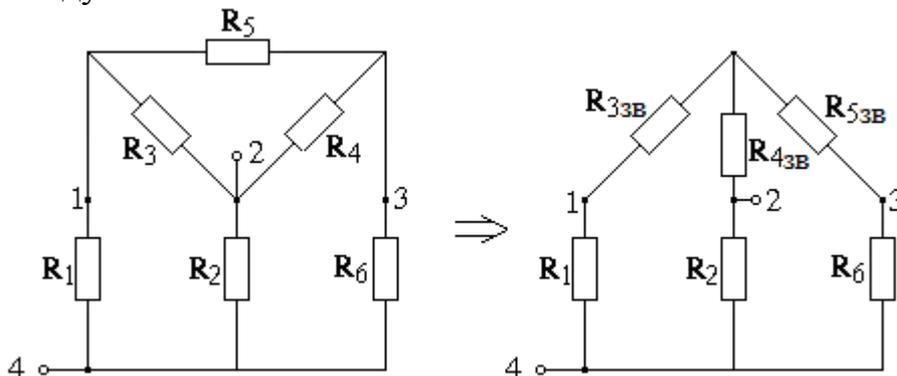
Таким образом, все токи в заданной цепи определены.

1.2. В цепи:

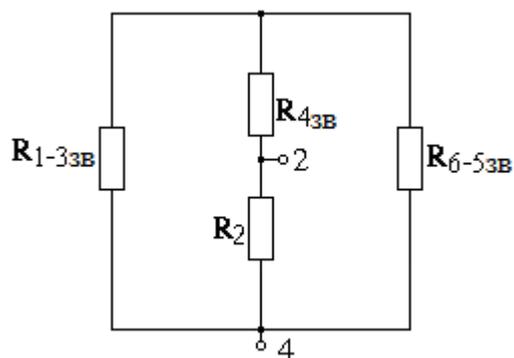


определить входное сопротивление относительно точек 2-4.

В данной схеме можно заметить, что сопротивление  $R_2$  включено непосредственно между точками 2-4, следовательно, вся остальная часть цепи включена параллельно ему. Однако, анализируя далее, мы не обнаружим ни одной пары элементов, которые были бы соединены последовательно или параллельно. Сам по себе этот факт говорит о том, что необходимо применить преобразование «звезда»-«треугольник» или «треугольник»-«звезда». В схеме мы обнаружим как «звезду» (например, из сопротивлений  $R_1, R_3, R_5$ ), так и «треугольник» (например, из сопротивлений  $R_3, R_4, R_5$ ). Остановимся на этом «треугольнике» и преобразуем его в «звезду»:



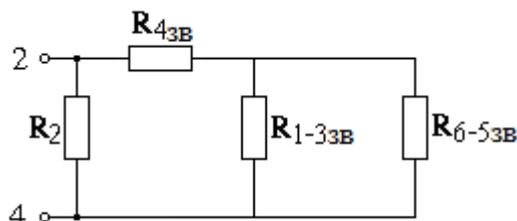
В последней схеме видно, что сопротивления  $R_{3ЗВ}$  и  $R_1$  соединены последовательно, так же как сопротивления  $R_{5ЗВ}$  и  $R_6$ . Находим соответствующие эквивалентные сопротивления:



$$R_{1-3ЗВ} = R_1 + R_{3ЗВ};$$

$$R_{6-5ЗВ} = R_6 + R_{5ЗВ}.$$

Наконец перерисуем схему в виде, с очевидностью демонстрирующем структуру цепи:



А именно,  $R_{1-3ЗВ}$  и  $R_{6-5ЗВ}$  соединены параллельно:  $R_{Э1} = R_{1-3ЗВ} \cdot R_{6-5ЗВ} / (R_{1-3ЗВ} + R_{6-5ЗВ})$ , затем последовательно  $R_{4ЗВ}$ :  $R_{Э2} = R_{Э1} + R_{4ЗВ}$ .

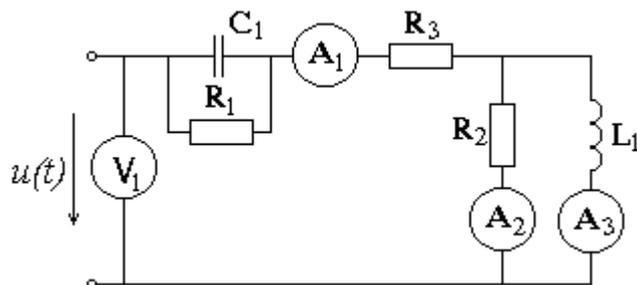
Наконец, параллельно  $R_2$ , и окончательно входное сопротивление всей цепи:

$$R_{вх12} = R_2 \cdot R_{Э2} / (R_2 + R_{Э2}).$$

Замечание: при выполнении численных расчетов обратите внимание, что при последовательном соединении нескольких сопротивлений эквивалентное сопротивление больше каждого из них (сопротивление увеличивается), а при параллельном – меньше (сопротивление уменьшается, а увеличивается проводимость).

## Задание 2

Реализуем пункты задания для цепи:



при следующих значениях параметров элементов и приложенного напряжения:

- сопротивление  $R_1 = 20$  Ом;
- сопротивление  $R_2 = 60$  Ом;
- сопротивление  $R_3 = 10$  Ом;
- емкость  $C_1 = 10$  мкФ;
- индуктивность  $L_1 = 30$  мГн;
- амплитуда напряжения  $U_m = 120$  В;
- частота напряжения  $f = 400$  Гц.

### 2.1. Определим показания вольтметра и амперметров.

Применяем символический метод. Это означает, что приложенному синусоидальному напряжению  $u(t) = U_m \cdot \sin(\omega t)$  поставим в соответствие комплексное напряжение:  $\dot{U} = U \cdot e^{j0^\circ}$ ,

где  $U = U_m / \sqrt{2}$  – действующее значение напряжения;

$0^\circ$  – нулевая начальная фаза напряжения;

$$\dot{U} = 84,9 \cdot e^{j0^\circ} \text{ В.}$$

Рассчитаем комплексные сопротивления каждого элемента:

- сопротивления  $R_1$ :  $Z_1 = R_1 = 20 \text{ Ом};$

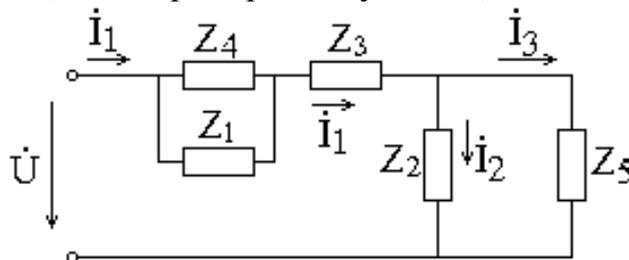
- сопротивления  $R_2$ :  $Z_2 = R_2 = 60 \text{ Ом};$

- сопротивления  $R_3$ :  $Z_3 = R_3 = 10 \text{ Ом};$

- емкости  $C_1$ :  $Z_4 = -j/\omega C = -j/2\pi f C = -j/2\pi \cdot 400 \cdot 10 \cdot 10^{-6} = -j39,8 \text{ Ом};$

- индуктивности  $L_1$ :  $Z_5 = j\omega L = j2\pi f L = j2\pi \cdot 400 \cdot 30 \cdot 10^{-3} = j75,4 \text{ Ом}.$

Для расчета комплексных токов изобразим схему с комплексными сопротивлениями, учтем при этом также, что сопротивление вольтметров можно принять бесконечно большим, а амперметров – нулевым, и они не влияют на расчет.



Дальнейшие действия – это использование тех же по форме методов, что и для цепей постоянного тока. В данном случае, чтобы найти комплексный ток  $\dot{I}_1$ , достаточно рассчитать входное комплексное сопротивление цепи и применить закон Ома. Хорошо видно, что сопротивления  $Z_1$  и  $Z_4$  соединены параллельно, так же как и сопротивления  $Z_2$  и  $Z_5$ . Найдем соответствующие эквивалентные сопротивления:

$$Z_{14} = \frac{Z_1 \cdot Z_4}{Z_1 + Z_4} = \frac{20 \cdot (-j39,8)}{20 - j39,8} = \frac{20 \cdot 39,8 \cdot e^{-j90^\circ}}{44,5 \cdot e^{-j63,3^\circ}} = 17,9 \cdot e^{-j26,7^\circ} = 16 - j8,04 \text{ Ом};$$

$$Z_{25} = \frac{Z_2 \cdot Z_5}{Z_2 + Z_5} = \frac{60 \cdot j75,4}{60 + j75,4} = \frac{60 \cdot 75,4 \cdot e^{j90^\circ}}{96,4 \cdot e^{j51,5^\circ}} = 46,9 \cdot e^{j38,5^\circ} = 36,7 + j29,2 \text{ Ом}.$$

Сопротивления  $Z_{14}$ ,  $Z_3$  и  $Z_{25}$  соединены последовательно. Поэтому

$$Z_{\text{ВХ}} = Z_{14} + Z_3 + Z_{25} = 16 - j8,04 + 10 + 36,7 + j29,2 = 62,7 + j21,2 = 66,2 \cdot e^{j18,7^\circ} \text{ Ом}.$$

Теперь находим комплексный ток  $\dot{I}_1$ :

$$\dot{I}_1 = \frac{\dot{U}}{Z_{\text{ВХ}}} = \frac{84,9 \cdot e^{j0^\circ}}{66,2 \cdot e^{j18,7^\circ}} = 1,28 \cdot e^{-j18,7^\circ} \text{ А}.$$

Комплексные токи  $\dot{I}_2$  и  $\dot{I}_3$  найдем по формулам «разброса»:

$$i_2 = I_1 \cdot \frac{Z_5}{Z_2 + Z_5} = 1,28 \cdot e^{-j18,7^\circ} \cdot \frac{j75,4}{60 + j75,4} = 1,28 \cdot e^{-j18,7^\circ} \cdot \frac{75,4 \cdot e^{j90^\circ}}{96,4 \cdot e^{j51,5^\circ}} = 1,00 \cdot e^{j19,8^\circ} \text{ A};$$

$$i_3 = I_1 \cdot \frac{Z_2}{Z_2 + Z_5} = 1,28 \cdot e^{-j18,7^\circ} \cdot \frac{60}{60 + j75,4} = 1,28 \cdot e^{-j18,7^\circ} \cdot \frac{60}{96,4 \cdot e^{j51,5^\circ}} = 0,80 \cdot e^{-j70,2^\circ} \text{ A}.$$

В цепях переменного тока измерительные приборы показывают действующее значение соответствующих тока или напряжения.

Поэтому показания первого вольтметра  $V_1$ , измеряющего приложенное напряжение, фактически известны с самого начала:  $U = 84,9 \text{ В}$ .

Действующие значения токов соответствуют модулям комплексных токов. Поэтому:

- показания первого амперметра  $A_1: I_1 = 1,28 \text{ А}$ ;
- показания второго амперметра  $A_2: I_2 = 1,00 \text{ А}$ ;
- показания третьего амперметра  $A_3: I_3 = 0,80 \text{ А}$ .

2.2. Рассчитать полную, активную и реактивную мощности, потребляемые данной цепью.

Так как комплексные напряжение и ток на входе цепи нам известны,

$$\dot{U} = 84,9 \cdot e^{j0^\circ} \text{ В}; \quad \dot{I}_1 = 1,28 \cdot e^{-j18,7^\circ} \text{ А},$$

то полную, активную и реактивную мощности легко найти по формулам:

- полная  $S = U \cdot I$ ;
- активная  $P = U \cdot I \cdot \cos(\varphi)$ ;
- реактивная  $Q = U \cdot I \cdot \sin(\varphi)$ ,

где  $U$  и  $I$  – действующие значения синусоидальных тока и напряжения;

$\varphi$  – сдвиг (разность) фаз между током и напряжением;

$$S = 84,9 \cdot 1,28 = 109 \text{ ВА};$$

$$P = 84,9 \cdot 1,28 \cdot \cos(18,7^\circ) = 103 \text{ Вт};$$

$$Q = 84,9 \cdot 1,28 \cdot \sin(18,7^\circ) = 34,8 \text{ вар}.$$

### Задание 3

Технические данные трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором:

- номинальная мощность  $P_{\text{ном}} = 500 \text{ Вт}$ ;
- номинальное линейное напряжение  $U_{1\text{л}} = 200 \text{ В}$ ;
- номинальная частота  $f_1 = 400 \text{ Гц}$ ;
- номинальная частота вращения  $n_2 = 5800 \text{ об/мин}$ ;
- номинальный коэффициент мощности  $\cos \varphi = 0,7$ ;
- номинальный КПД  $\eta = 0,73$ ;
- электромагнитная мощность  $P_{\text{эм}} = 535 \text{ Вт}$ ;
- перегрузочная способность  $K_m = 1,8$ ;
- кратность пускового момента  $K_n = 0,9$ ;
- кратность пускового тока  $K_i = 6$ ;
- число полюсов  $2p = 8$ .

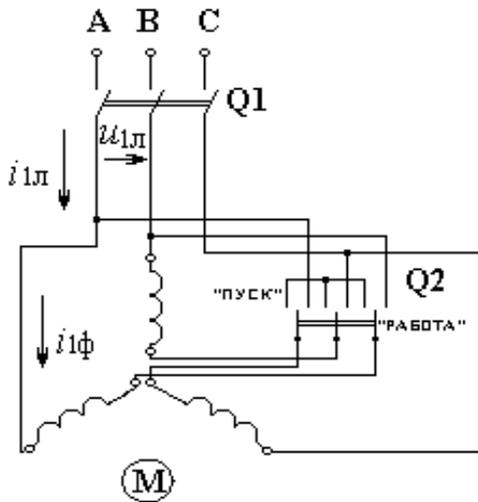


Рис. 3.1. Принципиальная электрическая схема асинхронного двигателя

3.3. Механическую характеристику удобно строить по упрощенной формуле в относительных единицах:

$$M_* = 2 / (s / s_{кр} + s_{кр} / s),$$

где  $M_* = M / M_{max}$  – относительное значение электромагнитного момента двигателя.

Результаты расчета сведены в табл. 3.1.

Таблица 3.1

$s$	0	0,02	0,033	0,07	0,137	0,2	0,5	1,00
$M_*$	0	0,29	0,46	0,81	1,00	0,93	0,51	0,27
$M, \text{Н}\cdot\text{м}$	0	0,53	0,85	1,52	1,87	1,74	0,95	0,64

3.4. Определяем величины номинального, пускового и максимального моментов:

$$M_{ном} = P_{эм} / \Omega_1 = 535 / 628 = 0,85 \text{ Н}\cdot\text{м};$$

$$M_n = M_{ном} \cdot K_n = 0,85 \cdot 0,75 = 0,64 \text{ Н}\cdot\text{м};$$

$$M_{max} = M_{ном} \cdot K_M = 0,85 \cdot 2,2 = 1,87 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

По данным табл. 3.1 и расчетов п. 3.4 на рис. 3.2 построена механическая характеристика двигателя  $M = f(s)$ .

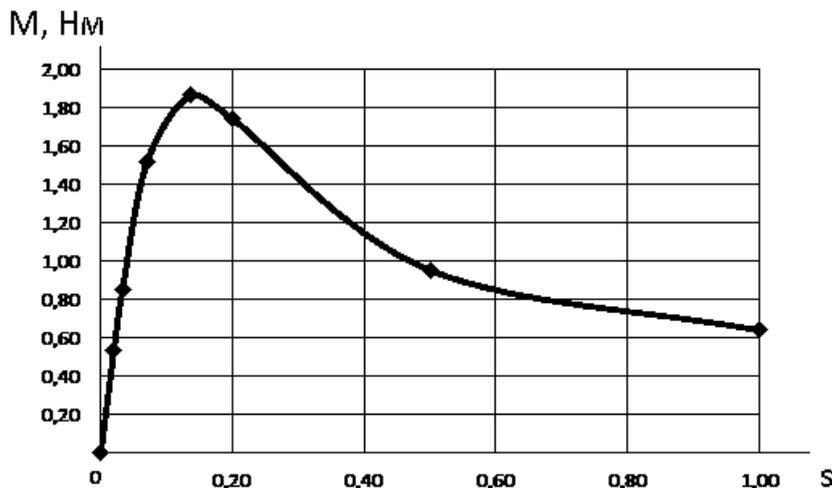


Рис. 3.2. Механическая характеристика асинхронного двигателя

### 3.1. Номинальное скольжение

$$s_{ном} = \frac{n_1 - n_{ном}}{n_1} = \frac{6000 - 5800}{6000} = 0,033,$$

где частота вращения поля:

$$n_1 = \frac{60 \cdot f_1}{p} = \frac{60 \cdot 400}{4} = 6000 \text{ об/мин};$$

угловая скорость вращения поля:

$$\Omega_1 = \frac{2 \cdot \pi \cdot f_1}{p} = \frac{2 \cdot \pi \cdot 400}{4} = 628 \text{ рад/с}.$$

### 3.2. Критическое скольжение:

$$s_{кр} = s_{ном} \cdot (K_M + \sqrt{K_M^2 - 1}) = 0,033 \cdot (2,2 + \sqrt{2,2^2 - 1}) = 0,137.$$

3.5. Рассчитаем токи и моменты при пуске переключением со «звезды» на «треугольник».

При соединении  $\Delta$ :

- потребляемая мощность в номинальном режиме:

$$P_{1н\omega м} = P_{н\omega м} / \eta = 500 / 0,73 = 685 \text{ Вт};$$

- номинальный ток фазы обмотки статора:

$$I_{1\phi\Delta} = \frac{P_{1н\omega м}}{3 \cdot U_{1\phi\Delta} \cdot \cos \varphi} = \frac{P_{1н\omega м}}{3 \cdot U_{1л} \cdot \cos \varphi} = \frac{685}{3 \cdot 200 \cdot 0,7} = 1,63 \text{ А};$$

- линейный ток:

$$I_{1л\Delta} = \sqrt{3} \cdot I_{1\phi\Delta} = \sqrt{3} \cdot 1,63 = 2,82 \text{ А};$$

- пусковой линейный ток, потребляемый из сети:

$$I_{н\Delta} = I_{1л\Delta} \cdot K_i = 2,82 \cdot 6 = 17 \text{ А}.$$

При соединении  $Y$ :

- напряжение фазы обмотки статора:

$$U_{1\phi Y} = U_{1\phi\Delta} / \sqrt{3} = 200 / \sqrt{3} = 115 \text{ В};$$

- ток фазы обмотки статора:

$$I_{1\phi Y} = I_{1\phi\Delta} / \sqrt{3} = 1,63 / \sqrt{3} = 0,94 \text{ А};$$

- линейный ток равен фазному:

$$I_{1л Y} = I_{1\phi Y} = 0,94 \text{ А};$$

- пусковой момент:

$$M_{н Y} = \frac{M_{н\Delta}}{(\sqrt{3})^2} = \frac{M_{н\Delta}}{3} = \frac{0,64}{3} = 0,21 \text{ Н}\cdot\text{м};$$

- максимальный момент:

$$M_{max Y} = \frac{M_{max\Delta}}{(\sqrt{3})^2} = \frac{M_{max\Delta}}{3} = \frac{1,87}{3} = 0,61 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Отношения фазных и линейных токов:

$$\frac{I_{1\phi Y}}{I_{1\phi\Delta}} = \frac{1,63}{\sqrt{3} \cdot 1,63} = \frac{1}{\sqrt{3}}; \quad \frac{I_{1л Y}}{I_{1л\Delta}} = \frac{I_{1\phi\Delta}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{3} \cdot I_{1\phi\Delta}} = \frac{1,63}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{3} \cdot 1,63} = \frac{1}{3}.$$

Напряжение, при котором двигатель утрачивает перегрузочную способность в рабочем режиме:

$$U'_{1\phi\Delta} = U_{1\phi\Delta} / \sqrt{K_m} = 200 / \sqrt{2,2} = 135 \text{ В}.$$

## Содержание

1. Общие методические указания к выполнению контрольной работы.....	3
1.1. Цель контрольной работы.....	3
1.2. Требования к оформлению контрольной работы.....	3
1.3. Указания к выбору варианта.....	3
1.4. Рекомендуемая литература.....	4
2. Содержание контрольной работы.....	4
Задание 1. Расчет цепи постоянного тока.....	4
Задание 2. Расчет цепи переменного синусоидального тока.....	6
Задание 3. Асинхронные электрические машины.....	8
3. Методические указания к выполнению контрольной работы.....	10
4. Примеры выполнения заданий.....	12