

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное учреждение высшего образования
«Тихоокеанский государственный университет»
Кафедра «Автоматика и системотехника»

*Методические указания к выполнению контрольной работы
по курсу «Общая электротехника и электроника»
для студентов заочной формы обучения*

Номер варианта соответствует последней цифре зачетной книжки

Сост. и общ. ред.:
Каминский А. В.

г. Хабаровск

2020

Содержание

<i>Задача 1</i>	3
<i>Задача 2</i>	5
<i>Задача 3</i>	8
<i>Задача 4</i>	12
<i>Задача 5</i>	14
<i>Задача 6</i>	16
Список литературы.....	19

Задача 1

На двухпроводной линии, выполненной из проводников, материал и сечение которых указаны в табл. 1, произошло короткое замыкание. Определить место короткого замыкания (от начала линии до места КЗ), если при включении в начале линии аккумуляторной батареи вольтметр на ее зажимах показал напряжение U , а амперметр — ток I .

Табл. 1

Величина, материал проводов	Номер варианта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$S, \text{мм}^2$	25	35	50	70	95	120	150	185	200	25
Материал проводов	Медь	Алюминий	Медь	Алюминий	Медь	Алюминий	Медь	Алюминий	Медь	Алюминий
$U, \text{В}$	12	12	24	12	36	24	24	36	36	24
$I, \text{А}$	3,4	2,0	8,5	4	4,5	7,0	9	12	25	3

Справочные данные

Материал	Медь	Алюминий
Удельное сопротивление ρ , Ом·м	$1.75 \cdot 10^{-8}$	$2.71 \cdot 10^{-8}$

Пример решения:

Дано: $S = 25 \text{ мм}^2$, Материал проводов – алюминий, $U = 24 \text{ В}$, $I = 4 \text{ А}$.

Решение:

Входное сопротивление линии $R_{\text{кз}}$ в режиме короткого замыкания определим по результатам измерений:

$$R_{\text{кз}} = \frac{U}{I} = \frac{24}{4} = 6 \text{ Ом}$$

С другой стороны, это сопротивление может быть рассчитано следующим образом:

$$R_{\text{кз}} = \rho \cdot \frac{2 \cdot l_{\text{кз}}}{S}$$

Здесь:

ρ – удельное сопротивление материала проводов линий,

S – площадь поперечного сечения проводов, $S = 25 \text{ мм}^2 = 25 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$,

$l_{кз}$ – расстояние от начала линии до места короткого замыкания, множитель «2» связан с тем, что учитывается длина как прямого, так и обратного проводников.

Отсюда, выражая $l_{кз}$, получим:

$$l_{кз} = \frac{R_{кз} \cdot S}{2 \cdot \rho} = \frac{6 \cdot 25 \cdot 10^{-6}}{2 \cdot 2.71 \cdot 10^{-8}} = 2767.5 \text{ м}$$

Расстояние от начала линии до места возникновения короткого замыкания составляет $l_{кз} = 2767.5 \text{ м}$.

Задача 2

В цепь переменного тока (рис. 2.1, табл. 2) последовательно включены резистор с активным сопротивлением r и конденсатор емкостью C . К цепи подведено переменное напряжение частотой 50 Гц. Определить показания измерительных приборов, включенных в цепь, реактивную мощность цепи; построить векторную диаграмму и треугольник сопротивлений.

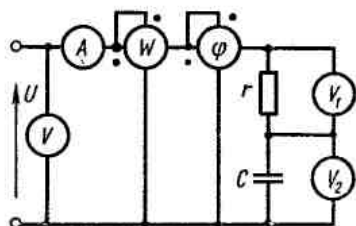
Табл. 2

Величина	Номер варианта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
r , Ом	25	30	40	50	60	70	80	90	100	120
C , мкФ	50	60	70	80	90	100	40	110	120	150
U_m , В	141	282	141	282	141	282	141	282	141	282

Пример решения:

Дано: $r = 25$ Ом, $C = 60$ мкФ, $U_m = 141$ В.

Решение:



Вольтметр V показывает действующее значение синусоидального напряжения, подведенного к цепи, U . Учитывая связь между амплитудными и действующими значениями синусоидальных величин, получим:

Рис. 2.1. Цепь переменного тока

$$U = U_m / \sqrt{2} = 141 / \sqrt{2} = 100 \text{ В}$$

Сопротивление конденсатора емкостью C рассчитывается как:

$$X_C = \frac{1}{\omega \cdot C} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 60 \cdot 10^{-6}} = 53.1 \text{ Ом}$$

Полное сопротивление цепи Z , состоящей из последовательно соединенных резистора с активным сопротивлением r и конденсатора емкостью C составит:

$$Z = \sqrt{r^2 + X_C^2} = \sqrt{25^2 + 53.1^2} = 58.6 \text{ Ом.}$$

Ток цепи (показания амперметра) найдем, используя закон Ома:

$$I = \frac{U}{Z} = \frac{100}{58.6} = 1.705 \text{ A}$$

Фазовый сдвиг между входным напряжением и током (показания фазометра) определяется из соотношения:

$$\varphi = \arctg\left(-\frac{x_C}{r}\right) = -\arctg\left(\frac{53.1}{25}\right) = -64.8^\circ$$

Ваттметр измеряет активную мощность. Потребителем активной мощности в цепи является резистор. Показания ваттметра определим любым из следующих способов:

$$P = r \cdot I^2 = 25 \cdot 1.705^2 = 72.7 \text{ Вт.}$$

$$P = U \cdot I \cdot \cos(\varphi) = 100 \cdot 1.705 \cdot \cos(-64.8^\circ) = 72.7 \text{ Вт.}$$

Вольтметры V_1 и V_2 измеряют напряжения на элементах цепи.

Показания вольтметра V_1 :

$$U_1 = r \cdot I = 25 \cdot 1.705 = 42.63 \text{ В}$$

Показания вольтметра V_2 :

$$U_2 = x_C \cdot I = 53.1 \cdot 1.705 = 90.46 \text{ В}$$

Конденсатор является потребителем реактивной (емкостной) мощности Q_C :

$$Q_C = x_C \cdot I^2 = 53.1 \cdot 1.705^2 = 154.2 \text{ ВАр}$$

Построение векторной диаграммы напряжений (рис. 2.3) проводится на основе уравнения, составленного по второму закону Кирхгофа (в комплексной форме):

$$\dot{U} = \dot{U}_r + \dot{U}_C$$

Примем начальную фазу напряжения подаваемого на вход цепи равной нулю. Тогда вектор тока будет опережать напряжение на рассчитанный ранее угол φ . При построении топографической векторной диаграммы учтем, что фазовый сдвиг между напряжением и током составляет:

на резистивном элементе (R) - $\varphi_R = 0^\circ$;
 на емкостном элементе (C) - $\varphi_C = -90^\circ$.

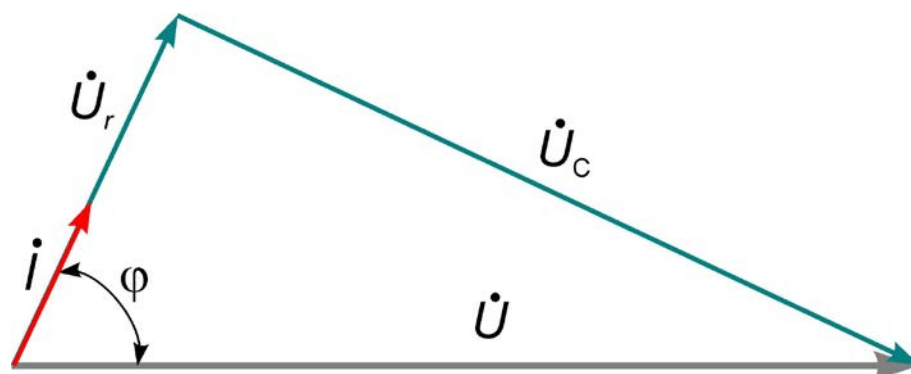


Рис. 2.2 Векторная диаграмма напряжений

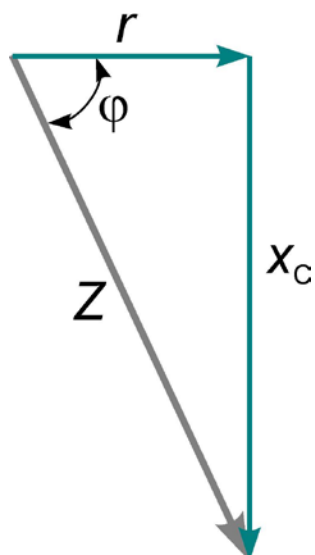


Рис. 2.3. Треугольник сопротивлений

Задача 3

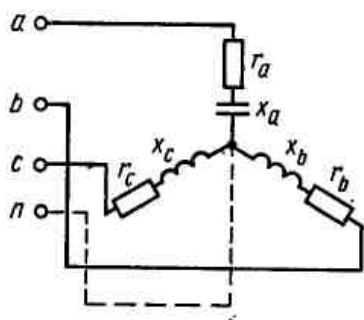


Рис. 3. 1. Схема трехфазной четырехпроводной цепи

В трехфазную четырехпроводную цепь с симметричным линейным напряжением $U_{\text{л}}$ включены звездой сопротивления r_a, r_b, r_c и x_a, x_b, x_c . Определить фазные и линейные токи, ток в нейтральном проводе, активную мощность всей цепи и каждой фазы в отдельности. Построить векторную диаграмму токов и напряжений.

Табл. 3

Величина	Номер варианта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$U_{\text{л}}, \text{В}$	380	220	127	380	220	127	380	220	127	380
$r_a, \text{Ом}$	3	1,5	1	5	4	2,5	7	6	3	4
$r_b, \text{Ом}$	4	2	15	6	5	3,5	8	7	3,5	4
$r_c, \text{Ом}$	6	3	15	8	7	5,5	1,0	9	3,5	8
$x_a, \text{Ом}$	4	2	1	6	5	3,5	8	7	4	12
$x_b, \text{Ом}$	3	1,5	1	5	4	2,5	7	6	6	6
$x_c, \text{Ом}$	8	4	2	10	9	7,5	12	11	8	3

Пример решения:

Дано: $U_{\text{л}} = 380 \text{ В}$, $r_a = 5 \text{ Ом}$, $r_b = 6 \text{ Ом}$, $r_c = 8 \text{ Ом}$, $x_a = 7 \text{ Ом}$, $x_b = 6 \text{ Ом}$, $x_c = 11 \text{ Ом}$

Решение:

При соединении фаз приемника по схеме «звезда с нейтральным проводом» фазное напряжение $U_{\text{ф}}$ связано с линейным $U_{\text{л}}$ следующим соотношением:

$$U_{\text{ф}} = U_{\text{л}} / \sqrt{3} = 380 / \sqrt{3} = 220 \text{ В},$$

при наличии нейтрального провода фазные напряжения одинаковы по величине при

любом режиме работы приемника (как симметричном, так и несимметричном):

$$U_a = U_b = U_c = U_{\phi} = 220 \text{ В.}$$

При этом фазные токи приемника совпадают (по величине и фазе) с соответствующими линейными токами независимо от режима работы приемника:

$$I_a = I_A; I_b = I_B; I_c = I_C;$$

Фазные токи приемника определим, используя закон Ома:

$$I_a = U_a/Z_a; I_b = U_b/Z_b; I_c = U_c/Z_c;$$

Здесь Z_a, Z_b, Z_c – сопротивления фаз приемника,

Фаза **a**:

Полное сопротивление фазы a, Z_a :

$$Z_a = \sqrt{r_a^2 + x_a^2} = \sqrt{5^2 + 7^2} = 8.6 \text{ Ом.}$$

Фазовый сдвиг между напряжением и током фазы **a** (φ_a) составляет:

$$\varphi_a = \arctg\left(-\frac{x_a}{r_a}\right) = \arctg\left(-\frac{7}{5}\right) = -54.5^\circ$$

Знак «минус» связан с тем, что сопротивление фазы **a** имеет активно-емкостный характер (см. рис. 3.1).

Ток фазы **a**, I_a :

$$I_a = U_a/Z_a = 220/8.6 = 25.5 \text{ А;}$$

Ток I_a на векторной диаграмме опережает по фазе напряжение на угол φ_a .

Фаза **b**:

Полное сопротивление фазы b, Z_b :

$$Z_b = \sqrt{r_b^2 + x_b^2} = \sqrt{6^2 + 6^2} = 8.5 \text{ Ом.}$$

Фазовый сдвиг между напряжением и током фазы **b** (φ_b) составляет:

$$\varphi_b = \arctg\left(\frac{x_b}{r_b}\right) = \arctg\left(\frac{6}{6}\right) = 45^\circ$$

Сопротивление фазы **b** имеет активно-индуктивный характер (см. Рис. 3.1).

Ток фазы **b**, I_b :

$$I_b = U_b/Z_b = 220/8.5 = 25.9 \text{ A};$$

Ток I_b на векторной диаграмме отстает от напряжения U_b на угол φ_b .

Фаза **c**:

Полное сопротивление фазы **c**, Z_c :

$$Z_c = \sqrt{r_c^2 + x_c^2} = \sqrt{8^2 + 11^2} = 13.6 \text{ Ом.}$$

Фазовый сдвиг между напряжением и током фазы **c** (φ_c) составляет:

$$\varphi_c = \arctg\left(\frac{x_c}{r_c}\right) = \arctg\left(\frac{11}{8}\right) = 54^\circ$$

Сопротивление фазы **c** имеет активно-индуктивный характер (см. Рис. 3.1).

Ток фазы **c**, I_c :

$$I_c = U_c/Z_c = 220/13.6 = 16.1 \text{ A};$$

Ток I_c на векторной диаграмме отстает от напряжения U_c на угол φ_c .

Ток в нейтральном проводе, в соответствии с первым законом Кирхгофа равен векторной сумме фазных токов:

$$\dot{I}_{nN} = \dot{I}_a + \dot{I}_b + \dot{I}_c$$

Активная мощность фаз потребителя:

$$P_a = r_a \cdot I_a^2 = 5 \cdot 25.5^2 = 3252.3 \text{ Вт};$$

$$P_b = r_b \cdot I_b^2 = 6 \cdot 25.9^2 = 4011.1 \text{ Вт};$$

$$P_c = r_c \cdot I_c^2 = 8 \cdot 16.1^2 = 2081.2 \text{ Вт};$$

Активная мощность всей цепи P_Σ равна сумме активных мощностей ее фаз:

$$P_\Sigma = P_a + P_b + P_c = r_a \cdot I_a^2 + r_b \cdot I_b^2 + r_c \cdot I_c^2 = 9344.8 \text{ Вт.}$$

Построение **векторной диаграммы** напряжений и токов. Выберем масштаб для

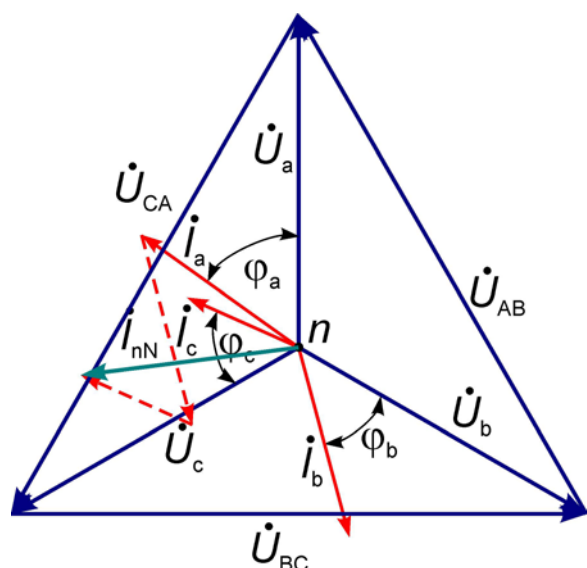


Рис. 3.2 Векторная диаграмма токов и напряжений

напряжений и токов: $m_U = 50 \text{ В/см}$, $m_I = 10 \text{ А/см}$. При построении векторов тока учтем величину и знак углов сдвига фаз между соответствующими напряжениями и токами (Рис. 3.2). Для нахождения тока в нейтральном проводе просуммируем векторы, соответствующие фазным токам (I_a ; I_b ; I_c). Измерив длину полученного вектора тока нейтрального провода ($L_{I_{Nn}} \sim 2.9 \text{ см}$) и используя известный масштаб по току ($m_I = 5 \text{ А/см}$), найдем ток нейтрального провода: $I_{Nn} = L_{I_{Nn}} \cdot m_I = 2.9 \cdot 10 = 29 \text{ А}$.

Задача 4

Для заданной схемы выпрямителя определить среднее значение тока через каждый из вентилях схемы при напряжении питания 220 В. Значение сопротивления активной нагрузки на выходе выпрямителя приведено в табл. 4.1.

Табл. 4.1.

Величина	Номер варианта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
R_H , Ом	5	10	20	30	40	50	60	80	100	200
Схема выпрямителя	А	Б	В	Г	Д	А	Б	В	Г	Д

Обозначения: А — однофазная однополупериодная; Б — однофазная с выводом средней точки трансформатора; В — однофазная мостовая; Г — трехфазная с нейтральным выводом; Д — трехфазная мостовая.

Пример решения:

Решение:

Дано:

$U = 220$ В — действующее значение входного напряжения;

$R_H = 100$ Ом;

Д — схема выпрямителя (трехфазный мостовой выпрямитель).

Табл. 4.2

Величина	Тип выпрямителя				
	А	Б	В	Г	Д
Постоянная составляющая (среднее значение) напряжения на сопротивлении нагрузки, U_0	$0,45 \cdot U$	$0,45 \cdot U$	$0,9 \cdot U$	$1,17 \cdot U$	$2,32 \cdot U$
Коэффициент пульсаций выпрямленного напряжения, ϱ	1,57	0,667	0,667	0,25	0,057

Для данной схемы выпрямительного устройства U — это действующее значение синусоидального напряжения на фазе источника трехфазного напряжения или, например, на фазе вторичной обмотки трехфазного трансформатора. Среднее

значение напряжения на сопротивлении нагрузки, U_0 , определим из соотношения (Табл. 4.2):

$$U_0 = 2.32 \cdot U = 2.32 \cdot 220 = 510.4 \text{ В};$$

Соответственно, среднее значение тока через сопротивление нагрузки, I_0 , по закону Ома:

$$I_0 = U_0/R_H = 510.4/100 = 5.104 \text{ А}.$$

Анализ работы данного типа выпрямительного устройства показывает, что ток через каждый диод схемы протекает в течение трети ($1/3$) периода, следовательно, среднее значение тока через каждый из вентилях (диодов) $I_{д,0}$ равно трети от среднего значения тока через сопротивление нагрузки, I_0 :

$$I_{д,0} = I_0/3 = 5.104/3 = 1.701 \text{ А}.$$

Задача 5

Известны номинальные данные генератора независимого возбуждения: номинальная мощность P_N , номинальное напряжение U_N , номинальный ток I_N , а также сопротивление обмоток якоря в нагретом состоянии $r_{\text{я}}$ (Табл. 5). Определить электромагнитную мощность генератора и относительное изменение напряжения ΔU (%) на его зажимах при переходе от номинального режима работы к режиму холостого хода. Построить внешнюю характеристику генератора. Реакцией якоря и падением напряжения в контактах щеток пренебречь.

Табл. 5

Величина	Номер варианта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
P_N , кВт	85	100	115	130	145	160	175	190	205	230
U_N , В	115	230	115	230	230	230	115	115	230	230
$I_{\text{я}N}$, А	740	435	1000	565	630	695	1520	1650	890	1000
$r_{\text{я}}$, Ом	0,018	0,02	0,019	0,021	0,018	0,019	0,02	0,016	0,015	0,021

Пример решения:

Дано: $P_N = 156,4$ кВт, $U_N = 230$ В, $I_{\text{я}N} = 680$ А, $r_{\text{я}} = 0,018$ Ом.

Решение:

1. Определить электромагнитную мощность генератора $P_{\text{эм}}$ (в номинальном режиме):

$$P_{\text{эм}} = E \cdot I_{\text{я}N}$$

E – ЭДС, индуцируемая в обмотке якоря генератора постоянного тока,

$I_{\text{я}N}$ – ток якоря генератора (в номинальном режиме).

Уравнение внешней характеристики генератора постоянного тока:

$$U = E - r_{\text{я}} \cdot I_{\text{я}},$$

в номинальном режиме это выражение примет вид:

$$U_N = E - r_{\text{я}} \cdot I_{\text{я}N},$$

отсюда ЭДС обмотки якоря E :

$$E = U_N + r_{\text{я}} \cdot I_{\text{яN}} = 230 + 0,018 \cdot 680 = 242,24 \text{ В.}$$

Электромагнитная мощность генератора $P_{\text{эм}}$ составит:

$$P_{\text{эм}} = E \cdot I_{\text{яN}} = 242,24 \cdot 680 = 164723,2 \text{ Вт} \approx 164,7 \text{ кВт}$$

Потери мощности в обмотке якоря генератора $\Delta P_{\text{гя}}$ в номинальном режиме его работы составляют:

$$\Delta P_{\text{гя}} = r_{\text{я}} \cdot I_{\text{яN}}^2 = 0,018 \cdot 680^2 = 8323,2 \text{ Вт} \approx 8,3 \text{ кВт.}$$

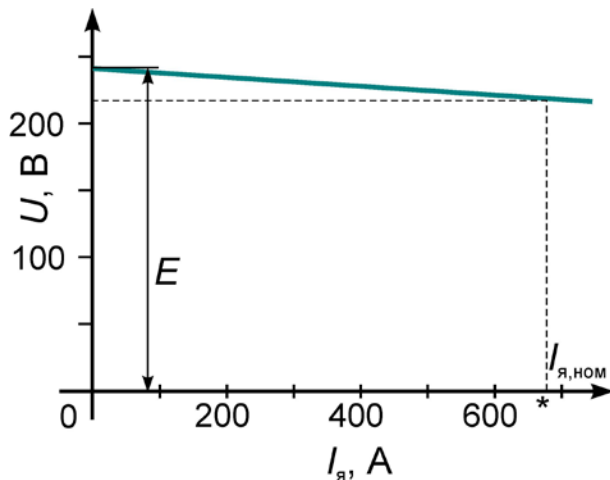


Рис. 5.1 Внешняя характеристика генератора постоянного тока с независимым возбуждением

2. Относительное изменение напряжения ΔU (%) на его зажимах при переходе от номинального режима работы к режиму холостого хода.

В режиме холостого хода ток якоря (ток нагрузки) равен нулю, при этом напряжение на зажимах генератора $U_{\text{хх}}$:

$$U_{\text{хх}} = E.$$

Приняв за 100% напряжение на зажимах генератора в номинальном режиме, относительное изменение напряжения ΔU (%) при переходе к режиму холостого хода составит:

$$\Delta U = \frac{U_{\text{хх}} - U_N}{U_N} \cdot 100\% = \frac{242,24 - 230}{230} \cdot 100\% = 5,3 \%$$

Т. е., при переходе к режиму холостого хода напряжение на зажимах генератора увеличится на 5,3 %.

Внешняя характеристика генератора (Рис. 5) строится на основе зависимости:

$$U = E - r_{\text{я}} \cdot I_{\text{я}}$$

Задача 6

Для асинхронного короткозамкнутого электродвигателя, паспортные данные которого приведены в табл. 6, определить ток, потребляемый двигателем из сети, номинальную частоту вращения, номинальный, максимальный и пусковой моменты, а также пусковой ток.

Табл. 6

Величина	Номер варианта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$P_{1,ном}$, кВт	17	22	30	13	17	22	10	13	17	22
$U_{ном}$, В	380	380	380	380	380	380	380	380	380	380
$s_{ном}$, %	3.3	3.3	3.2	3.2	3.3	3.2	3.5	3.5	3.5	3.5
p	1	1	1	2	2	2	3	3	3	3
$\cos(\varphi_{ном})$	0.88	0.88	0.90	0.88	0.88	0.88	0.86	0.86	0.87	0.87
$\eta_{ном}$	0.88	0.88	0.90	0.88	0.88	0.88	0.86	0.86	0.87	0.87
k_i	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
k_{max}	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2
$k_{п}$	1.2	1.2	1.1	1.3	1.3	1.3	1.2	1.2	1.2	1.2

Пример решения:

Дано: $P_{1,ном} = 17$ кВт, $U_{ном} = 380$ В, $s_{ном} = 3.2$ %, $p = 2$, $\cos(\varphi_{ном}) = 0.88$, $\eta_{ном} = 0.88$,
 $k_i = 7$, $k_{max} = 2.2$, $k_{п} = 1.2$

Решение:

Асинхронный двигатель представляет для трехфазной сети симметричную активно-индуктивную нагрузку.

Активная мощность, потребляемая двигателем от сети при номинальной нагрузке на его валу, $P_{1,ном}$, определяется из соотношения:

$$P_{1,ном} = \sqrt{3} \cdot U_{ном} \cdot I_{ном} \cdot \cos(\varphi_{ном})$$

Отсюда ток, потребляемый двигателем из сети при номинальной нагрузке на его валу, $I_{ном}$, определяется из выражения:

$$I_{\text{НОМ}} = \frac{P_{1,\text{НОМ}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ}} \cdot \cos(\varphi_{\text{НОМ}})} = \frac{17000}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0.88} = 29.35 \text{ A}$$

Частота вращения магнитного поля двигателя, n_1 :

$$n_1 = \frac{60 \cdot f}{p} = \frac{60 \cdot 50}{2} = 1500 \text{ об/мин}$$

Здесь:

f – частота тока в обмотке статора (частота сети), $f = 50 \text{ с}^{-1}$;

p – число пар полюсов вращающегося магнитного поля.

Номинальная частота вращения двигателя $n_{2,\text{НОМ}}$:

$$n_{2,\text{НОМ}} = n_1 \cdot \left(1 - \frac{s_{\text{НОМ}}}{100}\right) = 1500 \cdot \left(1 - \frac{3,2}{100}\right) = 1452 \text{ об/мин}$$

Здесь: $s_{\text{НОМ}}$ – номинальное скольжение, скольжение при номинальной нагрузке на валу двигателя.

Номинальный вращающий момент двигателя, $M_{\text{НОМ}}$, определяется из выражения:

$$M_{\text{НОМ}} = \frac{9550 \cdot P_{\text{НОМ}}}{n_{2,\text{НОМ}}}$$

Здесь:

$P_{\text{НОМ}}$ – номинальная механическая мощность, мощность на валу, определяется по известному КПД ($\eta_{\text{НОМ}}$) и потребляемой от сети активной мощности, $P_{1,\text{НОМ}}$, потребляемой двигателем при номинальной нагрузке на его валу:

$$\eta_{\text{НОМ}} = \frac{P_{\text{НОМ}}}{P_{1,\text{НОМ}}};$$

$$P_{\text{НОМ}} = \eta_{\text{НОМ}} \cdot P_{1,\text{НОМ}} = 0.88 \cdot 17 = 14.96 \text{ кВт}$$

$$M_{\text{НОМ}} = \frac{9550 \cdot P_{\text{НОМ}}}{n_{2,\text{НОМ}}} = \frac{9550 \cdot 14.96}{1452} = 98.4 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Здесь номинальная механическая мощность $P_{\text{НОМ}}$ в [кВт].

Максимальный вращающий момент двигателя определяется из выражения:

$$M_{\text{max}} = k_{\text{max}} \cdot M_{\text{НОМ}} = 2.2 \cdot 98.4 = 216.5 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

k_{max} – перегрузочная способность двигателя, запас по моменту: $k_{\text{max}} = M_{\text{max}}/M_{\text{НОМ}}$

Пусковой момент двигателя определяется из выражения:

$$M_{\text{п}} = k_{\text{п}} \cdot M_{\text{ном}} = 1.2 \cdot 98.4 = 118.1 \text{ Н}\cdot\text{м};$$

$k_{\text{п}}$ – кратность пускового момента: $k_{\text{п}} = M_{\text{п}}/M_{\text{ном}}$.

Пусковой ток двигателя, $I_{\text{п}}$:

$$I_{\text{п}} = k_{\text{и}} \cdot I_{\text{ном}} = 7 \cdot 29.35 = 205.5 \text{ А}$$

$k_{\text{и}}$ - кратность пускового тока: $k_{\text{и}} = I_{\text{п}}/I_{\text{ном}}$.

Список литературы

1. Иванов И. И. Электротехника : учеб. для неэлектротехн. направ. и спец. вузов : учеб. пособие для вузов (направ. и спец. "Техн. и технолог."). - СПб. : Лань, 2006. - 496с. : ил. - ISBN 5-8114-0523-5 (в пер.)
2. Касаткин А.С. Курс электротехники : учебник для вузов / А. С. Касаткин, М. В. Немцов. - 8-е изд., стер. - Москва : Высшая школа, 2005. - 544с. : ил. - ISBN 5-06-005276-1 (в пер.). - Библиогр.: с. 530
3. Электротехника и электроника. Учебник для вузов. - В 3-х книгах / В.И. Киселев, А.И. Копылов, Э.В. Кузнецов и др. // Под ред. проф. В.Г. Герасимова. -М.: Энергоатомиздат, 1997.
4. Опадчий Ю.Ф., Глудкин О.П., Гуров А.И. Аналоговая и цифровая электроника. Учебник для вузов. - М.: Радио и связь, 1998.
5. Рекус Г.Г., Чесноков В.Н. Лабораторные работы по электротехнике и основам электроники. - М.: Высшая школа, 1993.
6. Воробьев А.В. Электротехника и электрооборудование строительных процессов. М.: Высш. шк., 1995.
7. Березкина Т.Ф., Гусев Н.Г., Масленников В.В. Задачник по общей электротехнике с основами электроники: Учеб.пособие - - М.: Высш. шк., 1998.