

**МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА И КОММУНИКАЦИЙ  
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**  
**УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ**  
**«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА»**

**Кафедра электротехники**

**В. Н. ГАЛУШКО, В. А. ПАЦКЕВИЧ, А. В. ДРОБОВ**

# **ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ**

## **ПРАКТИКУМ**

**Учебно-методическое пособие  
для самостоятельной проработки курса**

**Гомель 2016**

МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА И КОММУНИКАЦИЙ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ  
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА»

Кафедра электротехники

В. Н. ГАЛУШКО, В. А. ПАЦКЕВИЧ, А. В. ДРОБОВ

# ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ

## ПРАКТИКУМ

*Одобрено научно-методическим советом механического факультета  
в качестве учебно-методического пособия  
для самостоятельной проработки курса*

Гомель 2016

УДК 621.3 (075.8)  
ББК 31.261  
Г16

Р е ц е н з е н т – заведующий кафедрой «Электрический подвижной состав»  
канд. техн. наук, доцент *В. С. Могила* ( УО «БелГУТ»)

**Галушко, В. Н.**

Г16        Электрические машины. Практикум : учеб.-метод. пособие для самостоятельной проработки курса. / В. Н. Галушко, В. А. Пацкевич, А. В. Дробов ; М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2016. – 133 с.  
ISBN 978-985-554-487-7

Практикум содержит в себе материалы, необходимые обучающимся для эффективного усвоения и проверки полученных знаний по всем разделам курса. В пособии приведены практические задания, сопровождающиеся необходимыми методическими указаниями при их решении.

Предназначено для студентов механического факультета дневной и заочной формы обучения.

**УДК 621.3 (075.8)**  
**ББК 31.261**

**ISBN 978-985-554-487-7**  
**ISBN 978-985-468-782-7**

© Галушко В. Н., Пацкевич В. А., Дробов А. А., 2016  
© Оформление. УО «БелГУТ», 2016

## ВВЕДЕНИЕ

Целью настоящей расчетно-графической (контрольной) работы является развитие у студентов дневного и заочного отделений практических навыков решения задач по курсу «Электрические машины», углубление и закрепление теоретических знаний по курсу. Также пособие предназначено для поддержки лекционного курса и предполагает контроль знаний студентов по всем разделам курса. Практикум является логическим продолжением учебно-методических пособий [1] и [2].

Материал пособия позволит сформировать базу теоретических знаний по соответствующим разделам электрических машин, необходимых в инженерной деятельности, подготовит к успешному решению инженерных вопросов на основе знаний качественных и количественных сторон электромагнитных процессов в электрических машинах.

Учебно-методические материалы для самостоятельной проработки курса обеспечивают самоконтроль усвоения информации и исправление возможных ошибок. Кроме того, программы самоконтроля практикума могут быть использованы для рубежного контроля знаний обучающихся в компьютерной аудитории или путем личного опроса обучающихся преподавателем. Ряд заданий самоконтроля составлен в форме задач, для решения которых не требуется много времени, так как основное внимание в них уделяется электротехнической стороне решения, а математические операции сведены к минимуму. Решение некоторых задач выполняется без цифрового расчета, что является одним из способов, заставляющих обучающихся глубже познавать взаимные связи между различными величинами и явлениями и приучающих их к логическому мышлению.

Предполагается следующий порядок работы с пособием:

– выполнение заданий самоконтроля, касающихся рассмотренных подразделов теоретических сведений. Номера заданий берутся и записываются из Программы самоконтроля по соответствующему разделу курса;

– после выбора ответов на все задания рассмотренных подразделов теоретического материала необходимо убедиться в правильности их выбора или обнаружить ошибку. Сам выбор правильных ответов делается по записи номера задания и номера консультации, соответствующего выбранному ответу. Каждое задание имеет максимум пять ответов (пять консультаций).

Например, отвечая на задания 1–7 подраздела 1.1 раздела «Трансформаторы», необходимо записать номера заданий и выбрать ответы, которым соответствуют следующие номера консультаций: 1–46, 2–56, 3–121, 4–5, ..., 7–88.

Имея запись всех ответов на семь заданий, можно теперь убедиться в их правильности, для чего необходимо обратиться к разделу «Консультации». При неправильном ответе на какое-то задание необходимо обратиться к соответствующей консультации по данному вопросу. После ознакомления с консультацией необходимо вновь прочитать рекомендуемый подраздел теоретического материала [1] или [2], который указан в Программе самоконтроля, и повторить выбор правильного ответа с последующим обращением к разделу «Консультации», который позволяет убедиться в правильности выбранного ответа.

Студентам настоятельно не рекомендуется обращаться к разделу «Консультации», пока самостоятельно не осуществлен выбор ответов на задания самоконтроля. Следует помнить, что ответы на задания самоконтроля не цель работы, а лишь средство убедиться в правильности понимания информационного материала.

В каждом задании Программы самоконтроля сообщается условие, приводятся, если необходимо, схема или график и дается несколько ответов. В одних заданиях даны правильные ответы, кроме одного неправильного, в других, наоборот, неправильные, кроме одного правильного. В соответствии с этим в одних случаях студент должен определить неправильный, в других заданиях – правильный ответ. Неправильные ответы соответствуют в большинстве случаев типичным ошибкам, допускаемым студентами при ответе на данные задания.

Приведенные задания в Программах самоконтроля, конечно, не исчерпывают всего их возможного многообразия. Вместе с тем, данные задания подобраны так, что освоение содержащегося в них материала необходимо для успешного изучения курса электрических машин.

При выполнении расчетно-графической (контрольной) работы студентам необходимо ознакомиться с курсом лекций и соответствующими разделами рекомендованной литературы.

Расчетно-графическая (контрольная) работа содержит исходный текст задания и варианты для расчета однофазного и трехфазного трансформатора, трехфазного асинхронного двигателя, обмоток коллекторных машин постоянного тока, двигателя постоянного тока параллельного и последовательного возбуждения, трехфазного синхронного генератора и двигателя. Вариант задания определяет преподаватель.

## 1 ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

### 1.1 Программа самоконтроля по разделу «Трансформаторы»

Задание	Ответ	Номер консультации	При неправильном ответе повторить подраздел [1]
1 На каком законе электротехники основан принцип действия трансформатора?	1) на законе электромагнитной силы; 2) на законе Ома; 3) на законе электромагнитной индукции; 4) на первом законе Кирхгофа; 5) на втором законе Кирхгофа	1 46 55 61 69	1.1
2 Какая ЭДС возникла в контуре, если магнитный поток, пронизывающий контур, равномерно уменьшился от 10 Вб до нуля в течение 2 с?	1) постоянная 5 В; 2) переменная с максимальным значением 5 В; 3) для решения задачи недостаточно данных	2 48 56	1.1
3 Что преобразует трансформатор? Укажите вариант полного ответа	1) ток; 2) напряжение; 3) частоту; 4) ток и напряжение	4 50 114 121	1.1
4 Определите приближенное значение тока $I_2$ однофазного трансформатора при $U_1= 200$ В, $I_1= 5$ А, $U_2= 100$ В	1) 20 А; 2) 10 А; 3) 2,5 А	5 53 66	1.1
5 Увеличить вторичное напряжение однофазного трансформатора при неизменном первичном напряжении можно	1) за счет увеличения $w_1$ ; 2) за счет уменьшения $w_2$ ; 3) за счет увеличения $w_2$ ; 4) за счет увеличения как $w_1$ , так и $w_2$ . Причем это увеличение выполнить в равных пропорциях	8 98 105 112	1.1
6 Определите действующие значения ЭДС $E_1$ и $E_2$ в обмотках трансформатора, если $\Phi_m = 0,02$ Вб, $f = 50$ Гц, $w_1 = 100$ , $w_2 = 50$	1) $E_1 = 444$ В; $E_2 = 222$ В; 2) $E_1 = 444$ В; $E_2 = 0$ В; 3) для решения задачи недостаточно данных	9 52 67	1.1
7 Определите номинальный ток первичной обмотки трехфазного трансформатора, если $S_{н}= 180$ кВА, $U_{1н}= 20$ кВ	1) $I_{1н}= 9$ А; 2) $I_{1н}= 5,2$ А; 3) $I_{1н}= 3$ А	10 80 88	1.1

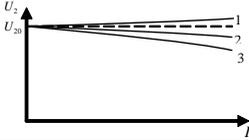
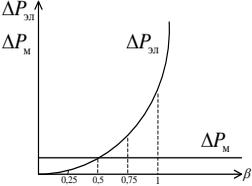


Задание	Ответ	Номер консультации	При неправильном ответе повторить подраздел [1]
8 Что произойдет с трансформатором, если его включить в сеть постоянного напряжения той же величины?	1) ничего не произойдет; 2) уменьшится основной магнитный поток $\Phi$ ; 3) уменьшится поток рассеяния $\Phi_{\sigma 1}$ первичной обмотки; 4) может сгореть	11 57 70 81	1.1
9 Какое из приведенных условий <i>не определяет режим холостого хода</i> трансформатора?	1) ток нагрузки $I_2$ равен нулю; 2) ток в первичной обмотке равен нулю; 3) к первичной обмотке подведено номинальное напряжение; 4) частота тока в обмотках равна номинальной частоте	12 49 59 65	1.2
10 Чему пропорциональны <i>потери в стали</i> трансформатора?	1) току холостого хода; 2) частоте тока; 3) приложенному напряжению; 4) квадрату приложенного напряжения	7 99 108 125	1.2
11 Ток холостого хода трансформатора $I_0$ : а) <i>совпадает ли по фазе</i> с основным магнитным потоком $\Phi$ ; б) <i>что произойдет с током <math>I_0</math>, если сердечник трансформатора выполнить из той же стали, но больших по толщине пластин?</i> Укажите вариант <i>полного правильного ответа</i>	1) а – <i>отстаёт</i> от основного потока на угол $\alpha$ ; б – $I_0$ не изменится; 2) а – <i>совпадает по фазе</i> с $\Phi$ ; б – $I_0$ возрастет; 3) а – <i>опережает</i> по фазе основной поток $\Phi$ на угол $\alpha$ ; б – $I_0$ возрастет, так как увеличиваются потери в стали; 4) а – <i>отстаёт</i> от потока на угол $\alpha$ ; б – $I_0$ уменьшится	13 54 64 76	1.2
12 Как соотносятся по величине токи холостого хода $I_0$ и номинальный $I_{1н}$ в трансформаторах <i>средней мощности?</i>	1) $I_0 \approx 0,05 I_{1н}$ ; 2) $I_0 \approx 0,5 I_{1н}$ ; 3) $I_0 \approx 0,7 I_{1н}$	14 63 83	1.2
13 При $U_1 = \text{const}$ и $f = \text{const}$ изменится ли индукция в сердечнике трансформатора, если <i>увеличить</i> число витков $w_1$ в 2 раза?	1) увеличится в 2 раза; 2) не изменится; 3) уменьшится в 2 раза; 4) для ответа недостаточно данных	15 91 102 110	1.2

Задание	Ответ	Номер консультации	При неправильном ответе повторить подраздел [1]
14 Во вторичной обмотке однофазного трансформатора $E_2 = 100$ В с частотой $f = 50$ Гц. Чему будет равно $E_2$ , если амплитуда напряжения $U_{1m}$ на первичной обмотке не изменится, а частота возрастет до 400 Гц?	1) 800 В; 2) 100 В; 3) 400 В; 4) 12,5 В	16 95 104 116	1.2
15 Определите величины $I_{0a}$ , $I_{0p}$ однофазного трансформатора, если в режиме холостого хода $P_0 = 5$ Вт, а напряжение $U_1 = 500$ В, ток $I_0 = 0,2$ А	1) $I_{0a} = 0,01$ А; $I_{0p} \approx 0,2$ А; 2) $I_{0a} = 0,01$ А; $I_{0p} \approx 0,1$ А; 3) $I_{0a} = 0,1$ А; $I_{0p} = 0,1$ А; 4) $I_{0a} = 0,1$ А; $I_{0p} = 0,01$ А	17 86 93 107	1.2
16 На чем отразится увеличение магнитного сопротивления потоку $R_\mu$ из-за некачественной сборки сердечника трансформатора?	1) возрастут потери в стали; 2) уменьшится магнитный поток $\Phi$ ; 3) возрастет намагничивающий ток $I_\mu$ в режиме холостого хода, где $I_\mu = I_{0p}$ ; 4) возрастет активная составляющая $I_{0a}$ тока холостого хода	18 103 113 126	1.2
17 В каком из уравнений, характеризующих работу трансформатора, допущена ошибка?	1) $\underline{U}_1 = -\underline{E}_1 + \underline{I}_1 \underline{z}_1$ ; 2) $\underline{I}'_2 \underline{z}'_H = \underline{E}'_2 - \underline{I}'_2 \underline{z}'_2$ ; 3) $\underline{I}_0 = \underline{I}_1 + \underline{I}'_2$ ; 4) $E_1 = 4,44 f w_1 \Phi$	19 51 62 75	1.1, 1.4
18 С увеличением тока нагрузки $I_2$ магнитный поток в сердечнике	1) возрастает; 2) уменьшается; 3) практически не изменяется	20 77 89	1.3
19 Изменится ли результирующая МДС обмоток трансформатора при уменьшении тока во вторичной обмотке в 2 раза?	1) увеличится на 50 %; 2) уменьшится на 50 %; 3) практически не изменится	21 150 165	1.3
20 На основе схемы замещения потери в стали однофазного трансформатора равны:	1) $I_0^2 r_1$ ; 2) $I_0^2 r_0$ ; 3) $I_0^2 r_k$ ; 4) $I_0^2 r'_2$	24 106 115 137	1.5

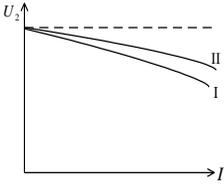


Задание	Ответ	Номер консультации	При неправильном ответе повторить подраздел [1]
<p>21 Напряжение на зажимах вторичной обмотки однофазного понижающего трансформатора равно 400 В, коэффициент трансформации <math>k = 10</math>, сопротивление нагрузки <math>z_H = 20</math> Ом. Чему равны приведенные значения <math>\underline{U}_2</math>, <math>z_H</math> и <math>I_2'</math> для схемы замещения трансформатора? Укажите вариант <i>всех правильных ответов</i></p>	<p>1) <math>U_2' = 4000</math> В; <math>z_H' = 2000</math> Ом; <math>I_2' = 2</math> А; 2) <math>U_2' = 400</math> В; <math>z_H' = 200</math> Ом; <math>I_2' = 20</math> А; 3) <math>U_2' = 40</math> В; <math>z_H = 20</math> Ом; <math>I_2' = 0,2</math> А; 4) <math>U_2' = 4000</math> В; <math>z_H' = 200</math> Ом; <math>I_2' = 0,2</math> А</p>	<p>22 79 92 100</p>	<p>1.4</p>
<p>22 Какие из указанных параметров Т-образной схемы замещения трансформатора определяются из опыта холостого хода? Укажите вариант <i>полного правильного ответа</i></p>	<p>1) <math>r_0, r_1</math>; 2) <math>x_0, r_1</math>; 3) <math>r_2', x_2'</math>; 4) <math>r_0, x_0</math>; 5) <math>r_1, x_1</math></p>	<p>23 58 71 82 90</p>	<p>1.6</p>
<p>23 Какие из указанных параметров Т-образной схемы замещения трансформатора определяются из <i>опыта короткого замыкания</i>? Укажите вариант <i>полного правильного ответа</i></p>	<p>1) <math>r_0, r_1</math>; 2) <math>x_0, r_2'</math>; 3) <math>r_2', x_2'</math>; 4) <math>r_0, x_0</math></p>	<p>25 73 84 94</p>	<p>1.6</p>
<p>24 У однофазного трансформатора <math>S_n = 2200</math> ВА, <math>U_{1n} = 220</math> В. Из опыта короткого замыкания получили <math>P_{кз} = 80</math> Вт. Определите активное сопротивление первичной обмотки <math>r_1</math></p>	<p>1) <math>r_1 = 8</math> Ом; 2) <math>r_1 = 0,8</math> Ом; 3) <math>r_1 = 0,4</math> Ом</p>	<p>27 78 87</p>	<p>1.6</p>
<p>25 Изменение вторичного напряжения трансформатора <math>\Delta u\%</math> при увеличении тока нагрузки зависит от: Укажите вариант <i>полного правильного ответа</i></p>	<p>1) сопротивления короткого замыкания <math>Z_K</math>; 2) коэффициента нагрузки <math>\beta</math>; 3) характера нагрузки <math>\cos\varphi_2</math>; 4) коэффициента нагрузки <math>\beta</math> и характера нагрузки <math>\cos\varphi_2</math></p>	<p>29 177 166 154</p>	<p>1.7</p>
<p>26 Нагрузка трансформатора имеет индуктивный характер. Как изменится напряжение на нагрузке при уменьшении тока?</p>	<p>1) уменьшится; 2) не изменится; 3) увеличится; 4) это зависит от степени насыщения сердечника трансформатора</p>	<p>26 74 85 97</p>	<p>1.7</p>

Задание	Ответ	Номер консультации	При неправильном ответе повторить подраздел [1]
<p>27 Нагрузка трансформатора средней мощности имеет емкостной характер. Как изменится напряжение на нагрузке при увеличении тока?</p>	<p>1) увеличится; 2) уменьшится; 3) не изменится; 4) это зависит от коэффициента трансформации</p>	<p>28 111 129 138</p>	<p>1.7</p>
<p>28 На рисунке показаны внешние характеристики однофазного трансформатора средней мощности для различных видов нагрузки. Выберите комбинацию характеристик, которая соответствует последовательности: активной, активно-индуктивной и активно-емкостной нагрузкам</p> 	<p>1) 1, 2, 3; 2) 1, 3, 2; 3) 2, 1, 3; 4) 2, 3, 1</p>	<p>30 139 172 119</p>	<p>1.7</p>
<p>29 На рисунке приведены зависимости потерь в обмотках трансформатора <math>\Delta P_{эл}</math> и стали <math>\Delta P_{ст}</math> от коэффициента нагрузки <math>\beta</math>. При каком значении <math>\beta</math> КПД трансформатора будет максимальным?</p> 	<p>1) <math>\beta = 0</math>; 2) <math>\beta = 0,5</math>; 3) <math>\beta = 0,75</math>; 4) <math>\beta = 1</math></p>	<p>31 178 164 151</p>	<p>1.8</p>
<p>30 В каком случае трансформатор нагревается больше?</p>	<p>1) в опыте холостого хода; 2) в опыте короткого замыкания; 3) при номинальной нагрузке; 4) Во всех перечисленных выше случаях нагрев трансформатора примерно одинаков</p>	<p>32 179 163 142</p>	<p>1.8</p>
<p>31 Как зависят от коэффициента нагрузки трансформатора <math>\beta</math> потери в меди <math>\Delta P_{эл}</math> и потери в стали <math>\Delta P_{ст}</math>? Укажите вариант полного правильного ответа</p>	<p>1) <math>\Delta P_{эл} \equiv \beta^2</math>; <math>\Delta P_{ст} \equiv \beta^2</math>; 2) <math>\Delta P_{эл} \equiv \beta^2</math>; <math>\Delta P_{ст}</math> не зависят от <math>\beta</math>; 3) <math>\Delta P_{эл}</math> не зависят от <math>\beta</math>; <math>\Delta P_{ст} \equiv \beta^2</math>; 4) <math>\Delta P_{эл}</math> не зависят от <math>\beta</math>; <math>\Delta P_{ст}</math> не зависят от <math>\beta</math></p>	<p>33 109 117 143</p>	<p>1.8</p>

Задание	Ответ	Номер консультации	При неправильном ответе повторить подраздел [1]
<p>32 Однофазный трансформатор имеет: <math>P_0 = 400</math> Вт, <math>P_{кн} = 1600</math> Вт. Определите оптимальный коэффициент нагрузки <math>\beta_{опт}</math>, при котором КПД имеет максимальное значение?</p>	<p>1) <math>\beta_{опт} = 0,25</math>;  2) <math>\beta_{опт} = 0,5</math>;  3) <math>\beta_{опт} = 0,75</math>;  4) <math>\beta_{опт} = 1</math></p>	<p>34 120 127 168</p>	<p>1.8</p>
<p>33 Определите КПД однофазного трансформатора для номинальной нагрузки, если <math>P_0 = 0,4</math> кВт, <math>P_{кн} = 6</math> кВт, <math>S_n = 100</math> кВА, <math>\cos\varphi_2 = 0,8</math></p>	<p>1) <math>\eta = 0,981</math>;  2) <math>\eta = 0,972</math>;  3) <math>\eta = 0,926</math>;  4) <math>\eta = 0,915</math></p>	<p>35 169 155 170</p>	<p>1.8</p>
<p>34 При номинальном режиме работы потери в стали сердечника трансформатора составляют 400 Вт. <i>Определите потери в стали при опыте короткого замыкания, если <math>u_k = 5\%</math></i></p>	<p>1) 1 Вт;  2) 20 Вт;  3) 50 Вт;  4) 400 Вт</p>	<p>36 118 135 146</p>	<p>1.6</p>
<p>35 Трансформатор имеет следующие данные: <math>P_0 = 100</math> Вт, <math>P_{кн} = 400</math> Вт. Определите суммарные потери <math>\Sigma\Delta P</math> в данном трансформаторе при его загрузке на 50 %</p>	<p>1) <math>\Sigma\Delta P = 200</math> Вт;  2) <math>\Sigma\Delta P = 250</math> Вт;  3) <math>\Sigma\Delta P = 300</math> Вт;  4) <math>\Sigma\Delta P = 450</math> Вт</p>	<p>38 175 134 128</p>	<p>1.8</p>
<p>36 Два трансформатора имеют равные значения <math>P_0</math> и <math>P_{кн}</math>, <math>P_{0I} = P_{0II} = 200</math> Вт, <math>P_{кнI} = P_{кнII} = 1000</math> Вт. У первого трансформатора коэффициент загрузки <math>\beta_I = 1</math>, у второго – <math>\beta_{II} = 0,632</math>. Во сколько раз суммарные потери первого трансформатора больше аналогичных потерь второго?</p>	<p>1) в 1,44 раза;  2) в 2 раза;  3) в 2,56 раза</p>	<p>96 152 159</p>	<p>1.8</p>
<p>37 Обмотки трехфазного трансформатора соединены по схеме У/Δ. Фазные обмотки на каждом стержне намотаны встречно. Определите группу соединения трансформатора</p>	<p>1) 11;  2) 1;  3) 5;  4) 6</p>	<p>40 140 161 171</p>	<p>1.9</p>

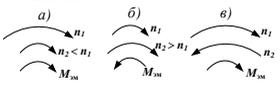
Задание	Ответ	Номер консультации	При неправильном ответе повторить подраздел [1]
38 Группа соединения трансформатора характеризуется:	1) величиной угла смещения вектора линейного напряжения обмотки НН относительно соответствующего вектора линейного напряжения обмотки ВН; 2) величиной угла, на который вектор фазного напряжения обмотки НН отстает от соответствующего вектора фазного напряжения обмотки ВН; 3) величиной угла, на который вектор фазного напряжения обмотки НН опережает соответствующий вектор фазного напряжения обмотки ВН; 4) схемой соединения обмоток	39 123 132 141	1.9
39 Два трансформатора с равными мощностями, коэффициентами трансформации и одинаковыми группами соединений, но различными величинами $u_k$ включены на параллельную работу. Будут ли они иметь одинаковые внешние характеристики и одинаковую загрузку? Укажите вариант полного правильного ответа	1) характеристики одинаковы и токи нагрузок у них равны; 2) у трансформатора с большим $u_k$ внешняя характеристика более крутопадающая и он при параллельной работе имеет меньший ток $I_2$ ; 3) у трансформатора с меньшим $u_k$ внешняя характеристика менее крутопадающая и он при параллельной работе имеет меньший ток $I_2$ ; 4) у трансформатора с большим $u_k$ внешняя характеристика более крутопадающая и его ток $I_2$ будет больше, чем у другого трансформатора	41 130 122 136	1.10
40 ЭДС вторичных обмоток параллельно работающих трансформаторов одинаковы, т. е. $k_1 = k_2$ . Сопротивления короткого замыкания трансформаторов известны: $z_{к1} = 0,5 \text{ Ом}$ , $z_{к2} = 0,4 \text{ Ом}$ . Ток первого трансформатора $I_{11} = 12 \text{ А}$ . Определите ток второго трансформатора $I_{12}$	1) $I_{12} = 12 \text{ А}$ ; 2) $I_{12} = 9,6 \text{ А}$ ; 3) $I_{12} = 15 \text{ А}$ ; 4) $I_{12} = 14 \text{ А}$	42 145 148 174	1.10

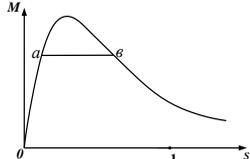
Задание	Ответ	Номер консультации	При неправильном ответе повторить подраздел [1]
<p>41 Изображены внешние характеристики двух трансформаторов. У какого трансформатора <math>z_k</math> больше и какой из них будет более загружен при параллельной работе?</p> 	<p>1) <math>z_{кI} &lt; z_{кII}</math>, <math>I_{2I} &gt; I_{2II}</math>;  2) <math>z_{кI} = z_{кII}</math>, <math>I_{2I} = I_{2II}</math>;  3) <math>z_{кI} &gt; z_{кII}</math>, <math>I_{2I} &lt; I_{2II}</math>;  4) <math>z_{кI} &lt; z_{кII}</math>, <math>I_{2I} = I_{2II}</math></p>	<p>43 167 144 153</p>	<p>1.10</p>
<p>42 Два трехфазных трансформатора одинаковых номинальных мощностей с равными напряжениями короткого замыкания и одной группой соединения имеют коэффициенты трансформации:  <math>k_I = 25</math>; <math>k_{II} = 25,3</math>.  Можно ли эти трансформаторы включать на параллельную работу?</p>	<p>1) можно;  2) нельзя;  3) для ответа недостаточно данных</p>	<p>44 156 149</p>	<p>1.10</p>
<p>43 Мощности параллельно работающих трансформаторов одинаковы. Но из-за некоторого различия коэффициентов трансформации <math>E_{2I} &gt; E_{2II}</math>. Где протекает больший ток?  Дайте более полный ответ</p>	<p>1) в обмотках первого трансформатора;  2) в обмотках второго трансформатора;  3) во вторичной обмотке первого трансформатора;  4) во вторичной обмотке второго трансформатора</p>	<p>45 162 158 176</p>	<p>1.10</p>
<p>44 Какой из приведенных недостатков не свойствен автотрансформатору?</p>	<p>1) малый коэффициент трансформации;  2) большой ток короткого замыкания;  3) электрическая связь первичной и вторичной обмоток;  4) невозможность применения в цепях трехфазного тока</p>	<p>3 47 60 68</p>	<p>1.11</p>

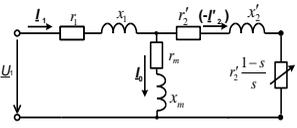
Задание	Ответ	Номер консультации	При неправильном ответе повторить подраздел [1]
45 В каком из указанных случаев <i>не применяются</i> автотрансформаторы?	1) в лабораториях для плавного регулирования напряжения; 2) для питания измерительных приборов в высоковольтных сетях; 3) для пуска синхронных и асинхронных двигателей; 4) для регулирования напряжения бытовых электроприборов	6 124 133 147	1.11
46 Для какой цели <i>не служат</i> измерительные трансформаторы?	1) повышение точности измерительных приборов; 2) расширение пределов измерений приборов; 3) обеспечение безопасности измерений в высоковольтных сетях	37 160 131	1.11
47 Первичные обмотки измерительных трансформаторов включены в нагруженную высоковольтную сеть. <i>Можно ли разомкнуть вторичные обмотки:</i> а) трансформатора тока; б) трансформатора напряжения? Укажите вариант <i>полного правильного ответа</i>	1) а – можно; б – нельзя; 2) а – можно; б – можно; 3) а – нельзя; б – можно; 4) а – нельзя; б – нельзя	101 72 173 157	1.11

## 1.2 Программа самоконтроля по разделу «Асинхронные машины»

Задание	Ответы	Номер консультации	При неправильном ответе повторить подраздел [1]
<p>1 Выберите <i>правильную</i> формулу для угловой частоты вращения магнитного поля статора</p>	<p>1) <math>\omega_1 = \frac{2 \pi p}{f_1}</math>;</p> <p>2) <math>\omega_1 = \frac{f_1}{2 \pi p}</math>;</p> <p>3) <math>\omega_1 = 2 \pi f_1 p</math>;</p> <p>4) <math>\omega_1 = \frac{f_1 p}{2 \pi}</math>;</p> <p>5) <math>\omega_1 = \frac{2 \pi f_1}{p}</math></p>	<p>181</p> <p>228</p> <p>238</p> <p>248</p> <p>258</p>	<p>2.2</p>
<p>2 Выберите <i>правильную</i> формулу для скольжения <math>s</math></p>	<p>1) <math>s = \frac{n_1 - n_2}{n_2}</math>;</p> <p>2) <math>s = \frac{n_1 - n_2}{n_1}</math>;</p> <p>3) <math>s = \frac{n_2 - n_1}{n_2}</math>;</p> <p>4) <math>s = \frac{n_2 - n_1}{n_1}</math></p>	<p>182</p> <p>229</p> <p>239</p> <p>249</p>	<p>2.2</p>
<p>3 Трехфазная асинхронная машина при работе может иметь следующие величины скольжений:</p> <p>а) <math>s = 1,1</math>;</p> <p>б) <math>s = -0,1</math>;</p> <p>в) <math>s = 0,1</math>.</p> <p>Каким режимам работы машины соответствуют данные скольжения? <i>Укажите вариант полного правильного ответа</i></p>	<p>1) а – генераторный; б – электромагнитный тормоз; в – двигательный;</p> <p>2) а – электромагнитный тормоз; б – генераторный; в – двигательный;</p> <p>3) а – электромагнитный тормоз; б – двигательный; в – генераторный;</p> <p>4) а – двигательный; б – генераторный; в – электромагнитный тормоз;</p> <p>5) а – генераторный; б – двигательный; в – электромагнитный тормоз</p>	<p>183</p> <p>233</p> <p>242</p> <p>250</p> <p>262</p>	<p>2.2</p>

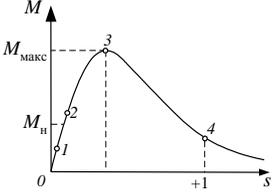
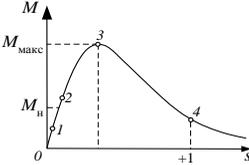
Задание	Ответы	Номер консультации	При неправильном ответе повторить подраздел [1]
4 Какой магнитный поток создается обмоткой статора трехфазного асинхронного двигателя?	1) изменяющийся по направлению, постоянный по величине; 2) изменяющийся по величине и направлению; 3) изменяющийся по величине, постоянный по направлению	184 231 241	2.2
5 Асинхронная машина с $p = 3$ , работая в режиме двигателя, имеет $n_{2н} = 960$ об/мин при $f_1 = 50$ Гц. Что необходимо выполнить, чтобы перевести её в режим генератора?	1) необходимо увеличить $n_2$ , более чем на 40 об/мин; 2) необходимо увеличить $n_2$ на 40 об/мин; 3) необходимо увеличить $n_2$ на 30 об/мин; 4) необходимо уменьшить нагрузку на валу	185 230 243 255	2.2
<p>Представлены три рисунка (а, б, в), соответствующие трем режимам работы асинхронной машины</p>  <p>Укажите, какие из них характеризуют режимы в такой последовательности: – генераторный; – двигательный; – электромагнитного тормоза</p>	1) а – генераторный; в – двигательный; б – электромагнитного тормоза; 2) б – генераторный а – двигательный; в – электромагнитного тормоза; 3) б – генераторный в – двигательный; а – электромагнитного тормоза; 4) а – генераторный; б – двигательный; в – электромагнитного тормоза; 5) в – генераторный; б – двигательный; а – электромагнитного тормоза	186 232 244 259 268	2.2
7 Определите частоту вращения магнитного поля и номинальную частоту вращения ротора двигателей, имеющих следующие данные: 1) $p = 4; f_1 = 50$ Гц; $s_n = 0,04$ ; 2) $p = 1; f_1 = 500$ Гц; $s_n = 0,05$ ; 3) $p = 2; f_1 = 1000$ Гц; $s_n = 0,03$ ; 4) $p = 12; f_1 = 50$ Гц; $s_n = 0,06$ . Укажите неправильный ответ	1) $n_1 = 750$ об/мин; $n_{2н} = 720$ об/мин; 2) $n_1 = 30000$ об/мин; $n_{2н} = 28500$ об/мин; 3) $n_1 = 60000$ об/мин; $n_{2н} = 58200$ об/мин; 4) $n_1 = 250$ об/мин; $n_{2н} = 235$ об/мин	187 235 245 256	2.2

Задание	Ответы	Номер консультации	При неправильном ответе повторить подраздел [1]
<p>8 Почему намагничивающий ток <math>I_{\mu}</math> асинхронного двигателя составляет <math>(0,25...0,5)I_{1н}</math>, в то время как у трансформатора он равен <math>(0,03...0,1)I_{1н}</math> ? Укажите <i>главную причину</i> такого соотношения</p>	<p>1) на отдельных участках магнитной цепи двигателя амплитудное значение индукции <math>B_m</math> больше, чем у трансформатора; 2) среднее значение <math>B_m</math> вдоль всего магнитопровода асинхронного двигателя больше, чем у трансформатора; 3) в магнитопроводе двигателя на пути магнитного потока имеется значительно больший воздушный промежуток (зазор между статором и ротором), чем у трансформатора</p>	<p>188  240  253</p>	<p>2.3</p>
<p>9 Как изменятся ток холостого хода <math>I_0</math> и номинальный <math>\cos\phi_n</math> двигателя, если увеличить воздушный зазор между ротором и статором? Какой из ответов <i>правильный</i>?</p>	<p>1) <math>I_0</math> не изменится; 2) <math>I_0</math> уменьшится; 3) <math>\cos\phi_n</math> не изменится; 4) <math>\cos\phi_n</math> уменьшится</p>	<p>189 234 246 254</p>	<p>2.3</p>
<p>10 Что происходит с сопротивлениями <math>r_{2s}</math> и <math>x_{2s}</math> асинхронного двигателя при возрастании нагрузки на валу?</p>	<p>1) оба сопротивления не меняются; 2) оба сопротивления увеличиваются; 3) оба сопротивления уменьшаются; 4) <math>r_{2s}</math> – увеличивается, <math>x_{2s}</math> – уменьшается; 5) <math>r_{2s}</math> – практически не меняется, а <math>x_{2s}</math> – возрастает</p>	<p>190 236 247 260 180</p>	<p>2.3</p>
<p>11 В каком соотношении находятся ЭДС <math>E_{2a}</math> и токи ротора двигателя в точках <i>a</i> и <i>b</i> характеристики <math>M = f(s)</math>? Укажите <i>вариант</i> <i>полного правильного ответа</i></p> 	<p>1) <math>I_{2a} &lt; I_{2b}, E_{2Sa} &gt; E_{2Sb}</math>; 2) <math>I_{2a} = I_{2b}, E_{2Sa} = E_{2Sb}</math>; 3) <math>I_{2a} &gt; I_{2b}, E_{2Sa} &gt; E_{2Sb}</math>; 4) <math>I_{2a} &lt; I_{2b}, E_{2Sa} &gt; E_{2Sb}</math></p>	<p>191 237 251 261</p>	<p>2.4</p>

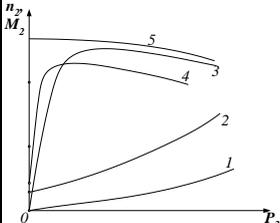
Задание	Ответы	Номер консультации	При неправильном ответе повторить подраздел [1]
<p>12 Чему равна частота тока в роторной обмотке асинхронного двигателя при пуске и что с ней происходит по мере увеличения оборотов?</p>	<p>1) при пуске <math>f_2 = 0</math> и с увеличением оборотов она возрастает;  2) при пуске <math>f_2 = 50</math> Гц и с увеличением оборотов она возрастает;  3) при пуске <math>f_2 = 50</math> Гц и с ростом оборотов она уменьшается;  4) при пуске <math>f_2 = 50</math> Гц и с ростом оборотов она не изменяется</p>	<p>192  252  263  274</p>	<p>2.4</p>
<p>13 Что происходит с ЭДС фазной обмотки ротора асинхронного двигателя по мере увеличения оборотов при пуске и чему равна эта ЭДС при <math>n_{2н} = 955</math> об/мин, если <math>E_{2S} = 390</math> В?</p>	<p>1) ЭДС уменьшается и при <math>n_{2н}</math> она равна 17,55 В;  2) ЭДС уменьшается и при <math>n_{2н}</math> она равна 345,3 В;  3) ЭДС не изменяется;  4) ЭДС увеличивается и при <math>n_{2н}</math> она равна 408,3 В</p>	<p>193  264  273  282</p>	<p>2.4</p>
<p>14 Какое из соотношений <i>не соответствует действительности</i> для асинхронного двигателя?</p>	<p>1) <math>s = (n_1 - n_2) / n_1</math>;  2) <math>E_{2S} = E_2 s</math>;  3) <math>I_2 = I_{2нск} s</math>;  4) <math>f_{2S} = f_1 s</math>;  5) <math>x_{2S} = x_2 s</math></p>	<p>194  265  276  285  296</p>	<p>2.4</p>
<p>15 Объяснение какого из параметров Т-образной схемы замещения асинхронного двигателя <i>неправильно</i>?</p> 	<p>1) <math>r_1</math> – активное сопротивление фазы обмотки статора;  2) <math>x'_2</math> – приведенное индуктивное сопротивление фазы обмотки ротора;  3) <math>r'_2 \frac{1-s}{s}</math> – эквивалентное сопротивление, потери мощности в котором равны механической мощности, развиваемой двигателем;  4) <math>x_m</math> – индуктивное сопротивление фазы статора;  5) <math>r_m</math> – сопротивление, потери мощности в котором равны мощности, теряемой в сердечнике статора</p>	<p>195  266  278  289  303</p>	<p>2.5</p>

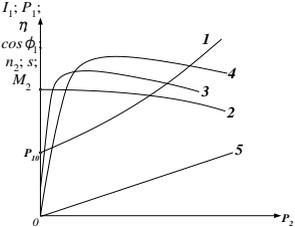
Задание	Ответы	Номер консультации	При неправильно м ответе повторить подраздел [1]
16 Какой параметр в упрощенной Г-образной схеме замещения асинхронного двигателя выполняет роль нагрузки?	1) $\left(r_1 + \frac{r_2'}{s}\right)$ ; 2) $r_2'(1-s)/s$ ; 3) $\sqrt{(r_2')^2 + (x_2')^2}$ ; 4) $r_2'/s$	196 267 279 290	2.5
17 Известны электромагнитная $P_{эм}$ и полная механическая $P_{мех}$ мощности асинхронного двигателя. На основании данных мощностей какие потери в асинхронном двигателе можно определить? Укажите <i>правильный ответ</i>	1) потери в стали сердечника статора; 2) потери в обмотке статора; 3) потери в обмотке ротора; 4) механические и добавочные потери	197 271 283 294	2.6
18 Трехфазный асинхронный двигатель подключен к сети переменного тока с фазным напряжением 220 В. При номинальной нагрузке активная мощность, потребляемая двигателем из сети $P_{ин} = 250$ Вт, а фазный ток при этом равен 0,5 А. Определите $\cos\varphi_{ин}$ двигателя при номинальной нагрузке	1) $\cos\varphi_{ин} \approx 0,44$ ; 2) $\cos\varphi_{ин} \approx 0,87$ ; 3) $\cos\varphi_{ин} \approx 0,76$ ; 4) $\cos\varphi_{ин} \approx 0,57$	198 269 280 291	2.6
19 Определить фазовый номинальный ток статорной обмотки асинхронного двигателя, имеющего следующие паспортные данные: $P_{н} = 20$ кВт, $U_{ин} = 380/220$ В, $\eta_{н} = 0,86$ , $\cos\varphi_{н} = 0,84$ . Линейное напряжение сети 380 В	1) 36 А; 2) 42 А; 3) 24,3 А; 4) 30,3 А	199 270 281 293	2.6
20 Почему при анализе работы асинхронного двигателя пренебрегают потерями в стали ротора?	1) потому что мощность потерь холостого хода $P_0$ мала; 2) потому что частота перемагничивания ротора $f_{2s}$ мала; 3) потому что поток в зазоре машины практически неизменен; 4) потому что частота вращения магнитного поля статора $n_1$ неизменна	200 272 284 297	2.6

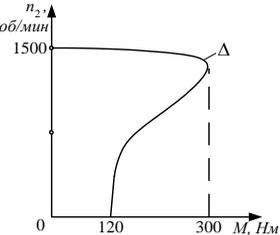
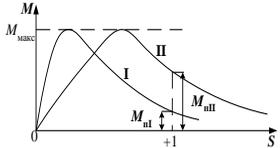
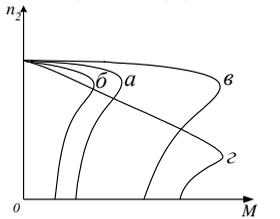


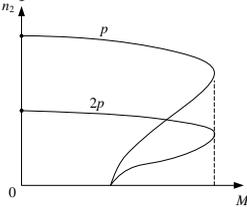
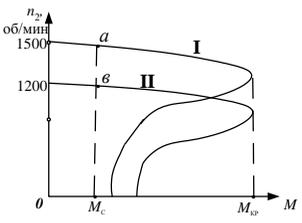
Задание	Ответы	Номер консультации	При неправильно м ответе повторить подраздел [1]
21 Мощность на валу двигателя $P_2 = 350$ Вт. Суммарные потери в двигателе 150 Вт. Определите КПД двигателя	1) $\eta \approx 43\%$ ; 2) $\eta \approx 57\%$ ; 3) $\eta = 70\%$	201 275 286	2.6
22 Какой участок механической характеристики асинхронного двигателя является <i>устойчивым</i> ? 	1) 0–1; 2) 0–2; 3) 1–2; 4) 1–3	202 277 292 302	2.7
23 В каком из уравнений <i>допущена ошибка</i> ?	1 $M = 2M_{\max} / \left( \frac{s}{s_{\text{кр}}} + \frac{s_{\text{кр}}}{s} \right)$ ; 2 $s_{\text{н}} = \frac{n_1 - n_{2\text{н}}}{n_1}$ ; 3 $s_{\text{кр}} = r_2' / x_{\text{к}}$ , где $x_{\text{к}} = x_1 + x_2'$ ; 4 $s_{\text{кр}} = s_{\text{н}} \left( k_{\text{м}} + \sqrt{k_{\text{м}}^2 - 1} \right)$ , где $k_{\text{м}} = M_{\max} / M_{\text{н}}$ ; 5 $M \equiv U_{1\phi}$	203 287 298 307 319	2.7
24 На рисунке представлена механическая характеристика асинхронного двигателя. Двигатель имеет $M_c = M_{\text{н}}$ .  В какой точке характеристики окажется двигатель, если момент сопротивления $M_c$ на валу окажется больше $M_{\max}$ ?	1) в точке 0; 2) в точке 1; 3) в точке 3; 4) в точке 4	204 288 299 308	2.7

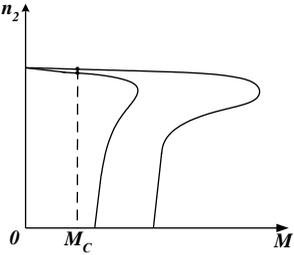
Задание	Ответы	Номер консультации	При неправильно м ответе повторить подраздел [1]
<p>25 Трехфазный асинхронный двигатель с фазным ротором имеет: <math>x_k = 0,905 \text{ Ом}</math> (<math>x_k = x_1 + x_2'</math>), <math>s_{кр} = 0,146</math>.</p> <p>Каково должно быть приведенное сопротивление пускового реостата, чтобы в момент пуска <math>M_n</math> был равен <math>M_{\text{макс}}</math>?</p>	<p>1) <math>r'_{\text{пуск}} = 1,143 \text{ Ом}</math> ;</p> <p>2) <math>r'_{\text{пуск}} = 0,773 \text{ Ом}</math> ;</p> <p>3) <math>r'_{\text{пуск}} = 0,641 \text{ Ом}</math> ;</p> <p>4) <math>r'_{\text{пуск}} = 0,905 \text{ Ом}</math></p>	<p>205</p> <p>295</p> <p>306</p> <p>318</p>	<p>2.7</p>
<p>26 Трехфазный асинхронный двигатель с <math>p = 3</math>, <math>f_1 = 50 \text{ Гц}</math> и <math>s_{кр} = 0,2</math> работает с нагрузкой на валу, при которой скольжение <math>s = 0,1</math>. Определите частоту вращения ротора <math>n_2</math>, если нагрузка на валу уменьшилась в 2 раза.</p> <p>Укажите <i>правильный ответ</i></p>	<p>1) <math>n_2 = 900 \text{ об/мин}</math>;</p> <p>2) <math>n_2 = 950 \text{ об/мин}</math>;</p> <p>3) <math>n_2 = 1000 \text{ об/мин}</math>;</p> <p>4) <math>n_2 = 500 \text{ об/мин}</math></p>	<p>206</p> <p>300</p> <p>311</p> <p>322</p>	<p>2.7</p>
<p>27 Как изменятся ток ротора <math>I_2</math> и частота вращения ротора <math>n_2</math>, если уменьшить напряжение <math>U_1</math> на обмотке статора на 5–10 %, при номинальном моменте нагрузки на валу двигателя?</p> <p>Какой из ответов <i>верный</i>?</p>	<p>1) ток <math>I_2</math> не изменится;</p> <p>2) ток <math>I_2</math> увеличится;</p> <p>3) частота вращения ротора не изменится;</p> <p>4) увеличится пусковой момент</p>	<p>207</p> <p>301</p> <p>315</p> <p>330</p>	<p>2.7</p>
<p>28 У асинхронного двигателя с фазным ротором какой из параметров <i>не зависит</i> от величины включенного в цепь ротора дополнительного сопротивления?</p>	<p>1) критическое скольжение <math>s_{кр}</math>;</p> <p>2) пусковой ток роторной обмотки <math>I_{2\text{пуск}}</math>;</p> <p>3) пусковой ток статорной обмотки <math>I_{1\text{пуск}}</math>;</p> <p>4) максимальный момент <math>M_{\text{макс}}</math>;</p> <p>5) пусковой момент <math>M_n</math></p>	<p>208</p> <p>354</p> <p>317</p> <p>331</p> <p>346</p>	<p>2.7</p>
<p>29 Что произойдет с частотой тока ротора, если при снижении <math>U_1</math> на 20 % момент сопротивления на валу двигателя оставить без изменения?</p>	<p>1) уменьшится на 20 %;</p> <p>2) уменьшится на 36 %;</p> <p>3) не изменится;</p> <p>4) увеличится</p>	<p>209</p> <p>305</p> <p>320</p> <p>340</p>	<p>2.7</p>

Задание	Ответы	Номер консультации	При неправильно м ответе повторить подраздел [1]
<p>30 В каком из указанных значений величин, характерных для асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором общего назначения, <i>допущена ошибка</i>?</p>	<p>1) <math>s_n = 2...8 \%</math>;            2) <math>M_n = (0,8...1,5) M_n</math>;            3) <math>M_{\max} = (1,7...3,4) M_n</math>;            4) <math>I_0 = (0,05...0,1) I_n</math>;            5) <math>I_{\text{пуск}} = (5...7) I_n</math></p>	<p>210 304 321 336 350</p>	<p>2.2–2.3, 2.7</p>
<p>31 На сколько процентов уменьшатся <math>M_n</math> и <math>M_{\max}</math>, ток статорной обмотки <math>I_{\text{пуск}}</math> и критическое скольжение, если напряжение <math>U_1</math> уменьшится на 20 % по сравнению с номинальным? Какой из ответов <i>неправильный</i>?</p>	<p>1) <math>M_n</math> на 36 %;            2) <math>M_{\max}</math> на 36 %;            3) <math>I_{\text{пуск}}</math> на 36 %;            4) <math>s_{\text{кр}}</math> не изменится</p>	<p>211 309 324 339</p>	<p>2.7</p>
<p>32 Какие из представленных рабочих характеристик асинхронного двигателя соответствуют зависимостям <math>n_2 = f(P_2)</math> и <math>M_2 = f(P_2)</math>? <math>M_2</math> – момент на валу двигателя.</p>  <p>Укажите <i>полный правильный ответ</i></p>	<p>1) 2 – <math>n_2 = f(P_2)</math>;            4 – <math>M_2 = f(P_2)</math>;            2) 5 – <math>n_2 = f(P_2)</math>;            2 – <math>M_2 = f(P_2)</math>;            3) 4 – <math>n_2 = f(P_2)</math>;            5 – <math>M_2 = f(P_2)</math>;            4) 5 – <math>n_2 = f(P_2)</math>;            1 – <math>M_2 = f(P_2)</math></p>	<p>212 310 327 343</p>	<p>2.8</p>
<p>33 Чем объяснить <i>практически линейную зависимость</i> <math>M_2 = f(P_2)</math>?</p>	<p>1) с изменением <math>P_2</math> магнитный поток в зазоре машины по величине практически не меняется;            2) с изменением <math>P_2</math> напряжение сети <math>U_1</math> постоянно;            3) с изменением <math>P_2</math> частота вращения ротора изменяется очень незначительно;            4) с изменением <math>P_2</math> частота тока в статорной обмотке <math>f_1</math> не меняется</p>	<p>213 313 328 348</p>	<p>2.8</p>
<p>34 Какие величины <i>должны быть постоянными</i> при получении рабочих характеристик асинхронного двигателя? Укажите вариант <i>полного правильного ответа</i></p>	<p>1) <math>U_1; I_1</math>;            2) <math>M_2; n_2</math>;            3) <math>s; n</math>;            4) <math>U_1; f_1</math></p>	<p>214 312 329 352</p>	<p>2.8</p>

Задание	Ответы	Номер консультации	При неправильно м ответе повторить подраздел [1]
<p>35 На рисунке представлены рабочие характеристики асинхронного двигателя.</p>  <p>Укажите, какая из характеристик обозначена <i>неверно</i></p>	<p>1) <math>I_1 = f(P_2)</math>;  2) <math>n_2 = f(P_2)</math>;  3) <math>\cos \varphi_1 = f(P_2)</math>;  4) <math>\eta = f(P_2)</math>;  5) <math>P_1 = f(P_2)</math></p>	<p>215  316  335  351  368</p>	<p>2.8</p>
<p>36 Пуск асинхронных двигателей средних и больших мощностей производится по схеме звезда с последующим переключением на схему треугольника такого пуска?  <i>Достоинства такого пуска?</i></p>	<p>Чтобы при пуске:  1) уменьшить <math>M_{\max}</math> в три раза;  2) уменьшить пусковой ток <math>I_{\text{пуск}}</math> в три раза;  3) уменьшить пусковой момент <math>M_n</math> в три раза;  4) увеличить пусковой момент <math>M_n</math> в три раза</p>	<p>215  323  338  356</p>	<p>2.9</p>
<p>37 Во сколько раз <i>уменьшается</i> начальный пусковой фазовый и линейный токи обмотки статора асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором, а также <math>M_n</math> и <math>M_{\max}</math>, если при пуске обмотку статора соединить звездой вместо треугольника?  Указать, какой из ответов <i>неправильный</i></p>	<p>1) фазовый ток в <math>\sqrt{3}</math> раз;  2) линейный ток в <math>\sqrt{3}</math> раз;  3) пусковой момент в 3 раза;  4) максимальный момент в 3 раза</p>	<p>217  325  341  360</p>	<p>2.9</p>
<p>38 К чему приводит включение пускового реостата при пуске асинхронного двигателя с фазным ротором?  Укажите <i>неправильный ответ</i></p>	<p>1) уменьшается угол между <math>\underline{U}_1</math> и <math>(-\underline{I}_2)</math>;  2) уменьшается ток <math>\underline{I}_2</math>;  3) уменьшается активная составляющая тока ротора <math>\underline{I}_{2a}</math>;  4) увеличивается пусковой момент</p>	<p>218  326  344  366</p>	<p>2.9</p>

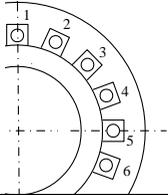
Задание	Ответы	Номер консультации	При неправильно м ответе повторить подраздел [1]
<p>39 Трехфазный асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором и схемой соединения треугольник имеет механическую характеристику, изображенную на рисунке.</p>  <p>Укажите нагрузку на валу <math>M_c</math>, при которой двигатель <i>не запускается</i>, если включить его по схеме звезда</p>	<p>1) <math>M_c = 15</math> Нм;</p> <p>2) <math>M_c = 25</math> Нм;</p> <p>3) <math>M_c = 35</math> Нм;</p> <p>4) <math>M_c = 45</math> Нм</p>	<p>219</p> <p>334</p> <p>355</p> <p>365</p>	<p>2.9</p>
<p>40 Дана механическая характеристика трехфазного двигателя с фазным ротором (кривая I). За счет изменения какого параметра произошла вариация данной характеристики (кривая II)?</p> 	<p>1) напряжение питания;</p> <p>2) активного сопротивления роторной цепи;</p> <p>3) частоты сети;</p> <p>4) числа пар полюсов</p>	<p>220</p> <p>332</p> <p>353</p> <p>362</p>	<p>2.10</p>
<p>41 Естественная механическая характеристика асинхронного двигателя представлена на рисунке кривой <i>a</i>. Какую характеристику будет иметь двигатель, если напряжение будет меньше номинального?</p> 	<p>1) <i>в</i>;</p> <p>2) <i>б</i>;</p> <p>3) <i>з</i></p>	<p>221</p> <p>333</p> <p>370</p>	<p>2.10</p>

Задание	Ответы	Номер консультации	При неправильно м ответе повторить подраздел [1]
<p>42 Какой из способов регулирования оборотов у трехфазных асинхронных двигателей наиболее экономичен?</p>	<p>1) за счет изменения частоты <math>f_1</math>;</p> <p>2) за счет изменения числа пар полюсов <math>p</math>;</p> <p>3) реостатный способ – у двигателей с фазным ротором;</p> <p>4) за счет изменения <math>U_{1\phi}</math></p>	<p>222</p> <p>337</p> <p>361</p> <p>382</p>	<p>2.10</p>
<p>43 За счет изменения какого параметра произошло изменение механической характеристики асинхронного двигателя?</p> 	<p>1) напряжения питания;</p> <p>2) активного сопротивления роторной цепи;</p> <p>3) частоты сети;</p> <p>4) числа пар полюсов</p>	<p>223</p> <p>342</p> <p>363</p> <p>372</p>	<p>2.10</p>
<p>44 У асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором регулирование оборотов осуществляется частотным методом. Механические характеристики при этом имеют вид, представленный на рисунке. Число пар полюсов статорной обмотки <math>p = 2</math>.</p>  <p>В точке <math>a</math> двигатель имеет: <math>f_1 = 50</math> Гц, <math>U_{1\phi} = 220</math> В. Чему равны отмеченные величины в точке <math>б</math> при той же нагрузке?</p>	<p>1) <math>f_1 = 50</math> Гц, <math>U_{1\phi} = 220</math> В;</p> <p>2) <math>f_1 = 40</math> Гц, <math>U_{1\phi} = 176</math> В;</p> <p>3) <math>f_1 = 30</math> Гц, <math>U_{1\phi} = 132</math> В;</p> <p>4) <math>f_1 = 25</math> Гц, <math>U_{1\phi} = 220</math> В</p>	<p>224</p> <p>345</p> <p>358</p> <p>364</p>	<p>2.10</p>

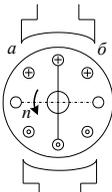
Задание	Ответы	Номер консультации	При неправильно м ответе повторить подраздел [1]
<p>45 За счет изменения какого параметра произошло уменьшение оборотов асинхронного двигателя при неизменной нагрузке <math>M_c</math>?</p> 	<p>1) за счет частоты тока;</p> <p>2) за счет числа пар полюсов;</p> <p>3) за счет напряжения питания;</p> <p>4) за счет активного сопротивления роторной цепи</p>	<p>225</p> <p>347</p> <p>369</p> <p>359</p>	<p>2.10</p>
<p>46 Почему двигатели с однофазной обмоткой на статоре не имеют начального пускового момента? Укажите <i>правильный ответ</i></p>	<p>1) однофазная обмотка при пуске двигателя создает круговое вращающееся магнитное поле, для которого <math>M_n = 0</math>;</p> <p>2) однофазная обмотка при пуске двигателя создает эллиптическое вращающееся магнитное поле, для которого <math>M_n = 0</math>;</p> <p>3) однофазная обмотка при пуске двигателя создает пульсирующее магнитное поле, для которого <math>M_n = 0</math></p>	<p>226</p> <p>349</p> <p>372</p>	<p>2.11</p>
<p>47 В однофазном асинхронном двигателе магнитный поток пульсирует с частотой 50 Гц, ротор вращается с частотой <math>n = 2850</math> об/мин. Определите скольжения относительно прямого и обратного поля. Укажите <i>полный правильный ответ</i></p>	<p>1) <math>s_{пр} = 0,05</math>; <math>s_{обр} = 1,95</math>;</p> <p>2) <math>s_{пр} = 0,05</math>; <math>s_{обр} = 0,05</math>;</p> <p>3) <math>s_{пр} = 0,05</math>; <math>s_{обр} = 0,1</math></p>	<p>227</p> <p>350</p> <p>367</p>	<p>2.11</p>

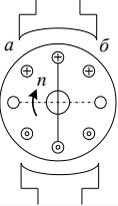
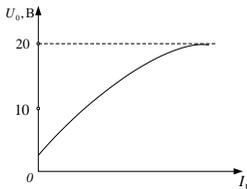
### 1.3 Программа самоконтроля по разделу «Машины постоянного тока»

Задание	Ответ	Номер консультации	При неправильном ответе повторить подраздел [2]
1 Чему равна индуктированная в проводнике ЭДС, если $B = 1$ Тл, $l = 10$ см, $v = 1$ м/с?	1) 0,1 В; 2) 1 В; 3) 10 В; 4) 0	18 44 66 93	1.1
2 Какая ЭДС возникла в контуре, если магнитный поток, пронизывающий контур, равномерно уменьшился от 10 Вб до нуля в течение 2 с?	1) постоянная 5 В; 2) переменная с максимальным значением 5 В; 3) для решения задачи недостаточно данных	91 67 40	1.1
3 У какого генератора больше пульсация напряжения на щетках, если при прочих равных условиях второй генератор имеет в два раза больше коллекторных пластин, чем первый?	1) у первого; 2) у второго; 3) пульсации одинаковы; 4) для определенного ответа недостаточно данных	46 24 92 101	1.1
4 Что произойдет, если у ДПТ коллектор заменить двумя кольцами, через которые напряжение будет подводиться к витку?	1) частота вращения витка увеличится; 2) виток не будет вращаться; 3) частота вращения витка не изменится	37 68 105	1.1
5 Какое из уравнений 1) $E = U + I_a r_a$ ; 2) $I_a r_a = U - E$ характеризует: а) генератор; б) двигатель?	1) а) первое; б) второе; 2) а) второе; б) первое; 3) а) первое; б) первое	98 47 79	1.1
6 Назовите деталь, не принадлежащую коллектору?	1) ламель; 2) миканитовая прокладка; 3) втулка; 4) пружина	3 36 15 62	1.1
7 Определите напряжение сети, если номинальный ток двигателя 10 А, противоЭДС двигателя при номинальной скорости вращения 99 В, сопротивления цепи якоря 0,1 Ом?	1) 100 В; 2) 99 В; 3) 101	82 6 21	1.1

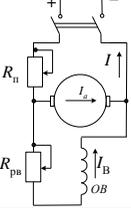
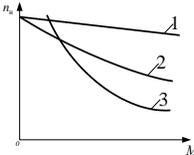
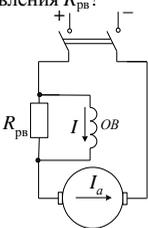
Задание	Ответ	Номер консультации	При неправильном ответе повторить подраздел [2]
<p>8 Секция уложена в первом и четвертом пазах. Определите ширину секции.</p> 	<p>1) 1; 2) 2; 3) 3; 4) 4</p>	<p>56 89 13 27</p>	<p>1.2</p>
<p>9 Простая петлевая обмотка четырехполюсной машины постоянного тока имеет 16 секций. Определите шаги обмотки</p>	<p>1) <math>y_k = 1; y = 1; y_1 = 8; y_2 = 7;</math>; 2) <math>y_k = 1; y = 1; y_1 = 4; y_2 = 3;</math>; 3) <math>y_k = 1; y = 1; y_1 = 4; y_2 = 5</math></p>	<p>70 108 72</p>	<p>1.2</p>
<p>10 Начало первой секции, рассматриваемой выше обмотки уложено в паз I. Укажите: а) номер паза, в котором лежит конец первой секции; б) номер паза, в который уложено начало второй секции</p>	<p>1) а) 4; б) 2; 2) а) 5; б) 2; 3) а) 4; б) 1</p>	<p>73 102 32</p>	<p>1.2</p>
<p>11 В простой волновой двухслойной обмотке четырехполюсной машины, имеющей 15 секций, начало первой секции припаяно к коллекторной пластине I. Укажите номер коллекторной пластины, к которой припаяны: а) конец первой секции; б) начало второй секции</p>	<p>1) а) 8; б) 15; 2) а) 7; б) 15; 3) а) 9; б) 9; 4) а) 4; б) 4</p>	<p>8 41 54 12</p>	<p>1.2</p>
<p>12 При прочих равных условиях частота вращения генератора увеличилась в 2 раза. Как изменилась ЭДС на зажимах машины?</p>	<p>1) не изменилась; 2) увеличилась в 2 раза; 3) для ответа на вопрос недостаточно данных</p>	<p>107 97 74</p>	<p>1.2</p>



Задание	Ответ	Номер консультации	При неправильном ответе повторить подраздел [2]
13 Как изменился вращающий момент двигателя, если ток якоря и магнитный поток возбуждения увеличились в 2 раза?	1) увеличился в 2 раза; 2) увеличился в 4 раза; 3) не изменился	476 467 468	1.2
14 Реакцией якоря называют:	1) уменьшение магнитного поля машины при увеличении нагрузки; 2) искажение магнитного поля машины при увеличении нагрузки; 3) воздействие магнитного поля якоря на основное магнитное поле полюсов; 4) увеличение искрения под щетками машины	417 428 452 471	1.3
15 У двигателя без дополнительных полюсов при увеличении механической нагрузки на валу искрение под щетками увеличилось. Как уменьшить искрение?	1) повернуть щетки против направления вращения якоря; 2) повернуть щетки по направлению вращения якоря; 3) уменьшить механическую нагрузку на валу	436 405 392	1.3
16 Где должны находиться щетки машины, не имеющей дополнительных полюсов, чтобы коммутация была прямолинейной?	1) на геометрической нейтральной; 2) на физической нейтральной; 3) за физической нейтральной	455 457 410	1.3
17 Как изменяется напряжение на зажимах генератора при увеличении нагрузки?	1) не изменяется; 2) увеличивается; 3) уменьшается	431 389 377	1.3
18 Якорь нагруженного генератора вращается против часовой стрелки. В какой из точек ( <i>a</i> или <i>b</i> ) результирующее магнитное поле слабее? 	1) в точке <i>a</i> ; 2) в точке <i>b</i> ; 3) ответить не представляется возможным, так как не обозначена полярность полюсов машины; 4) магнитное поле в обеих точках одинаково	447 472 443 432	1.3

Задание	Ответ	Номер консультации	При неправильном ответе повторить подраздел [2]
<p>19 Якорь нагруженного двигателя вращается по часовой стрелке. В какой из точек (<i>a</i> или <i>b</i>) результирующее магнитное поле слабее?</p> 	<p>1) в точке <i>a</i>;</p> <p>2) в точке <i>b</i>;</p> <p>3) ответить не представляется возможным, так как не обозначена полярность полюсов машины;</p> <p>4) магнитное поле в обеих точках одинаково</p>	<p>403</p> <p>424</p> <p>437</p> <p>433</p>	<p>1.3</p>
<p>20 У генератора с параллельным возбуждением при увеличении нагрузки (укажите неверное продолжение фразы):</p>	<p>1) уменьшается ЭДС из-за увеличения реакции якоря;</p> <p>2) уменьшается напряжение на зажимах вследствие увеличения падения напряжения в обмотке якоря;</p> <p>3) уменьшается магнитный поток, создаваемый током возбуждения;</p> <p>4) уменьшается ЭДС остаточного магнетизма</p>	<p>397</p> <p>425</p> <p>441</p> <p>381</p>	<p>1.3 и 1.4</p>
<p>21 Какое из приведенных условий не является условием самовозбуждения генератора с параллельным возбуждением?</p>	<p>1) наличие ЭДС остаточного магнетизма;</p> <p>2) правильная полярность тока в обмотке возбуждения;</p> <p>3) малое сопротивление обмотки возбуждения;</p> <p>4) большое сопротивление обмотки якоря</p>	<p>414</p> <p>437</p> <p>421</p> <p>456</p>	<p>1.4</p>
<p>22 Определите ЭДС остаточного магнетизма генератора по характеристике холостого хода?</p> 	<p>1) около 2 В;</p> <p>2) около 20 В;</p> <p>3) для ответа на данный вопрос недостаточно данных</p>	<p>374</p> <p>391</p> <p>423</p>	<p>1.4</p>



Задание	Ответ	Номер консультации	При неправильном ответе повторить подраздел [2]
<p>23 Что произойдет с двигателем параллельного возбуждения, если рукоятку пускового реостата оставить в среднем положении после запуска двигателя?</p>	<p>1) магнитный поток возбуждения не достигнет номинального значения;</p> <p>2) секции пускового реостата перегреются и сгорят;</p> <p>3) сгорят предохранители, защищающие двигатель от перегрузок</p>	<p>449</p> <p>460</p> <p>458</p>	<p>1.5</p>
<p>24 Как изменится частота вращения двигателя параллельного возбуждения при уменьшении: а) <math>R_{рв}</math>; б) <math>R_{п}</math>?</p> 	<p>1) а) увеличится; б) уменьшится;</p> <p>2) а) уменьшится; б) увеличится;</p> <p>3) а) не изменится; б) увеличится</p>	<p>402</p> <p>481</p> <p>453</p>	<p>1.5</p>
<p>25 Приведены скоростные характеристики двигателей параллельного, последовательного и смешанного возбуждения. Укажите характеристику двигателя смешанного возбуждения.</p> 	<p>1) кривая 1;</p> <p>2) кривая 2;</p> <p>3) кривая 3;</p> <p>4) на графике ее нет</p>	<p>376</p> <p>422</p> <p>395</p> <p>462</p>	<p>1.5</p>
<p>26 Как изменится частота вращения двигателя последовательного возбуждения при увеличении сопротивления <math>R_{рв}</math>?</p> 	<p>1) увеличится;</p> <p>2) уменьшится;</p> <p>3) не изменится</p>	<p>373</p> <p>401</p> <p>482</p>	<p>1.5</p>



Задание	Ответ	Номер консультации	При неправильном ответе повторить подраздел [2]
27 Что произойдет, если двигатель последовательного возбуждения подключить к сети при отключенной механической нагрузке на валу?	1) двигатель не запустится; 2) обмотка якоря перегреется; 3) двигатель пойдет «вразнос»; 4) будет вращаться с частотой, соответствующей частоте холостого хода.	388 414 430 420	1.5
28 Во сколько раз пусковой момент двигателя последовательного возбуждения больше номинального, если пусковой ток двигателя превышает номинальный в 3 раза? (Насыщением стали пренебречь)	1) в 3 раза; 2) в $\sqrt{3}$ раз; 3) в 9 раз	382 398 427	1.5
29 Что произойдет, если момент нагрузки на валу двигателя последовательного возбуждения уменьшить до нуля?	1) двигатель остановится; 2) якорь двигателя будет вращаться по инерции с постоянной частотой; 3) двигатель пойдет «вразнос»	383 394 478	1.5
30 Номинальный ток двигателя 10 А, противоЭДС двигателя при номинальной скорости вращения 99 В, сопротивления цепи якоря 0,1 Ом. Определите пусковой ток двигателя ( $n = 0$ )?	2) 110 А; 2) 100 А; 3) 1000 А	475 459 379	1.6
31 В каком случае направление вращения двигателя не изменится?	3) при изменении направления тока якоря; 2) при изменении направления тока возбуждения; 3) при одновременном изменении направления тока якоря и тока возбуждения	435 466 386	1.6
32 Как изменились потери на вихревые токи в стали якоря, если частота вращения двигателя увеличилась в 2 раза?	1) увеличились в 2 раза; 2) увеличились в 4 раза; 3) не изменились	407 400 448	1.7
33 Как влияет увеличение напряжения на якоре двигателя на магнитные потери?	1) магнитные потери увеличиваются; 2) магнитные потери не изменяются	450 411	1.7

## **1.4 Программа самоконтроля по разделу «Синхронные машины»**

Задание	Ответ	Номер консультации	При неправильном ответе повторить подраздел [2]
1 Якорем называется	1) неподвижная часть генератора; 2) та часть генератора, где индуцируется ЭДС; 3) та часть генератора, где создается магнитный поток; 4) ротор генератора	492 506 517 542	2.1
2 Каким образом делают зазор между магнитопроводом статора и полюсным наконечником ротора явнополюсной синхронной машины для обеспечения синусоидальной формы индуцируемой ЭДС?	1) меньшим у середины полюсного наконечника, большим по краям; 2) большим у середины полюсного наконечника, меньшим по краям; 3) одинаковым по всей окружности полюсного наконечника	514 493 526	2.1
3 Якорь трехфазного синхронного генератора имеет 90 пазов. Определите угол между пазами в электрических градусах.	1) 10°; 2) 4°; 3) для ответа на вопрос недостаточно данных;	496 515 537	2.2
4 Определите ЭДС индуцируемую в витке обмотки якоря синхронного генератора, если $f = 50$ Гц, $\Phi = 0,02$ Вб	1) 1,11 В; 2) 4,44 В; 3) задача не определена, т. к. неизвестна частота вращения ротора	522 497 544	2.2
5 Определите шаг однофазной распределенной обмотки, если задано $q = 4$ ; $2p = 2$ ; $z = 24$ ; $y = \tau$	1) 6; 2) 12; 3) 24	519 491 543	2.2
6 Укажите номер паза, в котором лежит конец первой секции для рассмотренной выше обмотки.	1) 7; 2) для решения задачи недостаточно данных; 3) 13	501 549 524	2.2
7 Определите смещение обмоток соседних фаз четырёхполюсного синхронного генератора. Укажите вариант <i>полного правильного ответа</i>	1) на 60 пространственных градусов; 2) на 120 электрических градусов; 3) на 120 электрических градусов или 60 пространственных градусов	532 548 511	2.2

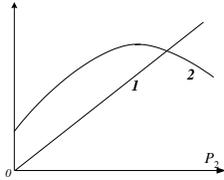


Задание	Ответ	Номер консультации	При неправильном ответе повторить подраздел [2]
<p>8 Известны данные трехфазной сосредоточенной обмотки СГ: <math>q = 1</math>; <math>m = 3</math>; <math>z = 18</math>; <math>p = 3</math>. Начало первой фазы в пазу 1. В каком пазу лежит конец первой катушки первой фазы?</p>	<p>1) 3; 2) 4; 3) 7; 4) 18</p>	<p>545 502 536 516</p>	<p>2.2</p>
<p>9 Почему фазы якорной обмотки трёхфазного синхронного генератора предпочитают соединять звездой?</p>	<p>1) чтобы увеличить ЭДС генератора; 2) чтобы устранить влияние третьей гармоники ЭДС; 3) чтобы устранить влияние пятой и седьмой гармоники ЭДС</p>	<p>546 520 503</p>	<p>2.2</p>
<p>10 В неподвижных обмотках якоря трёхфазного синхронного генератора образуется магнитное поле, вращающееся с частотой 1500 об/мин. С какой частотой вращается ротор генератора?</p>	<p>1) задача неопределенна, так как неизвестна частота тока в обмотках якоря; 2) задача неопределенна, так как неизвестно число полюсов ротора; 3) 3000 об/мин; 4) 1500 об/мин</p>	<p>541 504 527 507</p>	<p>2.3</p>
<p>11 Магнитный поток реакции якоря при активной нагрузке и насыщенном магнитопроводе</p>	<p>1) увеличивает поле под сбегающим краем полюсного наконечника и настолько же уменьшает под набегающим; 2) увеличивает магнитное поле машины; 3) уменьшает магнитное поле машины</p>	<p>529 505 547</p>	<p>2.3</p>
<p>12 При увеличении индуктивной нагрузки напряжение на зажимах синхронного генератора</p>	<p>1) увеличивается; 2) уменьшается; 3) не изменяется</p>	<p>533 509 531</p>	<p>2.3</p>
<p>13 Магнитный поток реакции якоря при емкостной нагрузке</p>	<p>1) искажает магнитное поле машины; 2) увеличивает магнитное поле машины; 3) уменьшает магнитное поле машины</p>	<p>510 530 550</p>	<p>2.3</p>
<p>14 При увеличении активно-индуктивной нагрузки магнитное поле полюсов ротора синхронного генератора</p>	<p>1) увеличивается; 2) уменьшается; 3) увеличивается и искажается; 4) уменьшается и искажается</p>	<p>494 528 551 518</p>	<p>2.3</p>



Задание	Ответ	Номер консультации	При неправильном ответе повторить подраздел [2]
15 Зависимость $I_B = f(I)$ будет регулировочной характеристикой генератора, если	1) $f = \text{const}$ ; 2) $\cos\varphi = \text{const}$ ; 3) $U = \text{const}$ ; 4) выполняются все перечисленные выше условия	521 552 498 534	2.3
16 Как изменить ток возбуждения генератора, чтобы при увеличении тока нагрузки напряжение на ней оставалось неизменным?	1) увеличить; 2) не изменять; 3) уменьшить; 4) для ответа на вопрос недостаточно данных	540 525 495 553	2.3
17 Почему при увеличении активно-индуктивной нагрузки напряжение на зажимах генератора уменьшается?	1) Вследствие увеличения падения напряжения на внутреннем сопротивлении якоря; 2) вследствие увеличения размагничивающего действия реакции якоря; 3) вследствие действия двух причин, указанных выше	538 499 554	2.3
18 Все условия включения на параллельную работу выполнены, кроме равенства напряжений генераторов: $U_1 \neq U_2$ . Что произойдет, если генераторы включить на параллельную работу?	1) появится реактивный уравнивающий ток; 2) появится уравнивающий ток с большей активной составляющей; 3) появится уравнивающий ток, изменяющийся по амплитуде; 4) в двух фазах появится уравнивающий ток	539 500 555 535	2.3
19 В какой момент производится включение генераторов на параллельную работу, если лампы синхроноскопа включены «на погасание»?	1) когда лампа накаливания горит с полным накалом; 2) когда все лампы накаливания горят вполнакала; 3) когда все лампы накаливания гаснут; 4) когда вольтметр, подключенный к одноименным фазам, показывает нуль	508 556 523 513	2.3
20 Можно ли изменить: а) активную и б) реактивную мощности, отдаваемые генератором, изменив его ток возбуждения?	а) можно; б) можно; а) можно; б) нельзя; а) нельзя; б) можно	512 490 557	2.3



Задание	Ответ	Номер консультации	При неправильном ответе повторить подраздел [2]
21 Как увеличить активную мощность, отдаваемую синхронным генератором в сеть?	1) увеличить ток возбуждения; 2) увеличить вращающий момент двигателя или турбины, приводящей генератор в действие; 3) увеличить коэффициент мощности нагрузки	489 558 570	2.3
22 Какой угол не принято обозначать $\theta$ ?	1) угол между осью полюсов и осью результирующего магнитного потока; 2) угол между векторами ЭДС и напряжением генератора; 3) угол между векторами напряжения и тока генератора	559 485 569	2.4
23 Как изменится угол $\theta$ , если активная мощность синхронного генератора увеличилась?	1) увеличится; 2) не изменится; 3) уменьшится	568 486 560	2.4
24 Синхронный двигатель развивает номинальный момент при $\theta=30^\circ$ . Определите перегрузочную способность двигателя $k_n = \frac{M_{\max}}{M_n}$ .	1) $k_n = 2$ ; 2) $k_n = 3$ ; 3) для решения задачи необходимо знать начальный момент; 4) для решения задачи необходимо знать максимальный момент	561 487 571 567	2.4
25 Какие зависимости отображают рабочие характеристики синхронного двигателя? 	1) $I - I = f(P_2)$ ; $2 - \cos = f(P_2)$ ; 2) $I - I = f(P_2)$ ; $2 - \eta = f(P_2)$ ; 3) $I - M_2 = f(P_2)$ ; $2 - \cos = f(P_2)$	566 488 562	2.4
26 Какая машина используется в качестве синхронного компенсатора?	1) перевозбужденный синхронный двигатель; 2) перевозбужденный синхронный генератор; 3) недовозбужденный синхронный двигатель	484 572 563	2.4
27 Какие из указанных потерь не относятся к постоянным?	1) механические потери; 2) потери на гистерезис; 3) потери на вихревые токи; 4) потери на нагрев обмотки статора	573 564 483 565	2.4

## РАЗДЕЛ 2 ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАДАНИЯ

### 2.1 Трансформаторы

#### *Задача № 1. Расчёт параметров однофазного трансформатора*

Однофазный трансформатор малой мощности характеризуется следующими номинальными величинами: мощность  $S_{\text{н}}$ , первичное напряжение  $U_{1\text{н}}$ , вторичное напряжение  $U_{2\text{н}}$ , процентное значение тока холостого хода  $i_0$  %, мощность потерь в сердечнике трансформатора  $P_{\sigma}$ , процентное значение напряжения короткого замыкания  $u_k$  %, мощность потерь короткого замыкания  $P_{\text{кн}}$ . Числовые значения заданных величин исходных данных для каждого из вариантов указаны в таблице 2.1.

Определить:

1. Коэффициент трансформации трансформатора  $k$ , номинальные токи первичной  $I_{1\text{н}}$  и вторичной  $I_{2\text{н}}$  обмоток.

2. Начертить схему замещения трансформатора и определить параметры Т-образной схемы замещения.

3. КПД при коэффициенте нагрузки  $\beta = (0; 0,25; 0,5; 0,75; 1,0)$  и коэффициенте мощности  $\cos\varphi_2 = 0,8$ . На основании расчетов построить зависимость  $\eta = f(\beta)$ .

4. Процентное изменение вторичного напряжения  $\Delta u$  % и вторичное напряжение  $U_2$  при  $\beta = (0; 0,25; 0,5; 0,75; 1,0)$  и  $\cos\varphi_2 = 0,8$ . На основании расчетов построить зависимость  $U_2 = f(\beta)$ .

5. Характер нагрузки, при котором вторичное напряжение не зависит от коэффициента  $\beta$ .

Таблица 2.1 – Исходные данные к задаче 1

Вариант	Тип трансформатора	$S_{н}$ , ВА	$U_{1н}$ , В	$U_{2н}$ , В	$i_0$ , %	$P_0$ , Вт	$u_k$ , %	$P_{кн}$ , Вт
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	ОМ-О,3/6	300	6300	230	30	23	8	20
2	ОМ-0,66/6	660	6000	230	20	25	8	46
3	ОМ-1,2/6	1200	5150	230	20	32	7	66
4	ОМ-0,66/10	660	10500	230	30	25	8	46
5	ОМ-1,2/10	1200	10000	230	20	32	7	66
6	ОМ-1,2/6	1200	5700	115	20	32	7	66
7	ОМ-1,2/6	1200	5400	115	20	32	7	66
8	ОМ-1,2/10	1200	9500	115	20	32	7	66
9	ОМ-1,2/10	1200	9000	115	20	32	7	66
10	ОМ-1,2/10	1200	8590	115	20	32	7	66
11	ОМ-0,63/6	630	6000	230	34	18	6,8	42
12	ОМ-0,63/10	630	10000	230	34	18	6,8	42
13	ОМ-1,25/6	1250	6000	230	23	23	6	60
14	ОМ-1,25/10	1250	10000	230	23	23	6	60
15	ОМ-0,3/6	630	6000	115	34	18	6,8	42
16	ОМ-0,63/10	630	10000	115	34	18	6,8	42
17	ОМ-1,25/6	1250	600	115	23	23	6	60
18	ОМ-1,25/10	1250	1000	115	23	23	6	60
19	ПОБС-2АУЗ	300	220	17,6	14	20	12	20
20	ПОБС-3АУЗ	300	220	247,5	14	20	10	25
21	ПОБС-5АУЗ	300	220	44	14	18	11	20
22	ПРТ-АУЗ	65	220	12	4,4	3	15	5
23	ПТ-25АУЗ	65	220	60	4,4	3	14	4
24	ПТИУЗ	80	220	11,2	27	4,5	13	4
25	СОБСЗА	50	110	82,6	8	3	12	3
26	СТ-3	13	110	13	53	1	25	2
27	СТ-2	25	165	13	27	2	18	2
28	СТ-3	13	220	13	42	1,5	17	1,5
29	СКТ-1	12	220	165	50	3	17	1
30	СТ-2	25	165	13	29	1	15	2

Продолжение таблицы 2.1

Вариант	Тип трансформатора	$S_n$ , ВА	$U_{1н}$ , В	$U_{2н}$ , В	$i_0$ , %	$P_0$ , Вт	$\mu_k$ , %	$P_{кн}$ , Вт
1	2	3	4	5	6	7	8	9
31	ТБС	63	220	24	24	12,75	12	6,15
32	ТБС	100	220	24	24	20,23	9	6,6
33	ТБС	160	220	24	23	21,7	7	7,9
34	ТБС	250	220	24	22	31,25	5,5	9
35	ТБС	400	220	24	20	42,3	4,5	10,75
36	ТБС	630	220	24	19	59,2	3,5	12,1
37	ТБС	1000	220	24	18	83,7	2,5	12,5
38	ТБС	63	380	36	24	11,81	12	5,75
39	ТБС	100	380	36	24	17,85	9	6,2
40	ТБС	160	380	36	23	19,6	7	6,9
41	ТБС	250	380	36	22	38,3	5,5	7,75
42	ТБС	400	380	36	20	38,3	4,5	9,1
43	ТБС	630	380	36	19	50,3	3,5	10,7
44	ТБС	1000	380	36	18	66,7	2,5	11,46
45		63	660	42	24	10,86	12	5,35
46		100	660	42	24	15,47	9	5,8
47		160	660	42	23	17,5	7	5,8
48		250	660	42	22	25	5,5	6,45
49		400	660	42	20	34,4	4,5	7,44
50		630	660	42	19	41,4	3,5	9,1
51		1000	660	42	18	50,2	2,5	10,4
52	ТБС	63	220	36	24	9,92	12	4,92
53	ТБС	100	220	42	24	13,1	9	5,4
54	ТБС	160	380	24	23	15,4	7	4,8
55	ТБС	250	380	42	22	21,9	5,5	5,16
56	ТБС	400	380	24	20	35,7	4,5	8,7
57	ТБС	630	380	42	19	49,7	3,5	11,2
58		1000	660	36	18	71,4	2,5	12,3
59		63	660	36	24	11,3	12	5,75
60		100	660	24	24	16,7	9	6,1

## Пример решения задачи 1

Однофазный трансформатор малой мощности характеризуется следующими номинальными величинами: мощность  $S_n = 250$  ВА, первичное напряжение  $U_{1н} = 220$  В, вторичное напряжение  $U_{2н} = 24$  В, процентное значение тока холостого хода  $i_0 = 20$  %, мощность потерь в сердечнике трансформатора  $P_0 = 10$  Вт, процентное значение напряжения короткого замыкания  $u_k$  составляет 7%, мощность потерь короткого замыкания  $P_{кз} = 15$  Вт

Определить:

1. Коэффициент трансформации трансформатора  $k$ , номинальные токи первичной  $I_{1н}$  и вторичной  $I_{2н}$  обмоток.

2. Начертить схему замещения трансформатора и определить параметры Т-образной схемы замещения.

3. КПД при коэффициенте нагрузки  $\beta = (0; 0,25; 0,5; 0,75; 1,0)$  и коэффициенте мощности  $\cos\varphi_2 = 0,8$ . На основании расчетов построить зависимость  $\eta = f(\beta)$ .

4. Процентное изменение вторичного напряжения  $\Delta u\%$  и вторичное напряжение  $U_2$  при  $\beta = (0; 0,25; 0,5; 0,75; 1,0)$  и  $\cos\varphi_2 = 0,8$ . На основании расчетов построить зависимость  $U_2 = f(\beta)$ .

5. Характер нагрузки, при котором вторичное напряжение не зависит от коэффициента  $\beta$ .

*Решение.* 1. Коэффициент трансформации однофазного трансформатора  $k = U_{1н} / U_{2н} = 220 / 24 = 9,17$ .

Номинальный ток первичной обмотки

$$I_{1н} = S_n / U_{1н} = 250 / 220 = 1,14 \text{ А.}$$

Номинальный ток вторичной обмотки

$$I_{2н} = S_n / U_{2н} = 250 / 24 = 10,42 \text{ А.}$$

2. Т-образная схема замещения однофазного трансформатора приведена на рисунке 2.1.

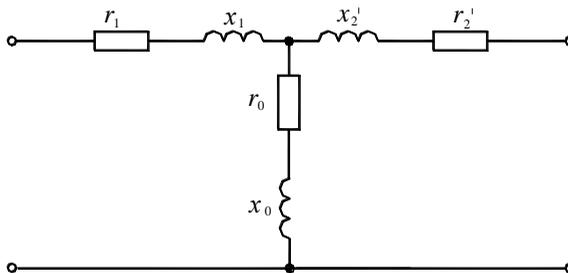


Рисунок 2.1 – Т-образная схема замещения однофазного трансформатора

Определение параметров схемы замещения начинаем с расчёта тока холостого хода

$$I_o = \frac{i_o \cdot I_H}{100} = \frac{20}{100} \cdot 1,14 = 0,23 \text{ А,}$$

тогда полное сопротивление намагничивающей ветви:

$$z_o = U_{1H} / I_o = 220 / 0,23 = 956,5 \text{ Ом.}$$

Активное сопротивление намагничивающей ветви

$$r_o = \frac{P_o}{I_o^2} = \frac{10}{0,23^2} = 189,04 \text{ Ом.}$$

Индуктивное сопротивление намагничивающей ветви

$$x_o = \sqrt{z_o^2 - r_o^2} = \sqrt{956,5^2 - 189,04^2} = 937,63 \text{ Ом.}$$

Полное сопротивление короткого замыкания

$$z_k = \frac{u_k}{100} \cdot \frac{U_{1H}^2}{S_H} = \frac{7}{100} \cdot \frac{220^2}{250} = 13,55 \text{ Ом.}$$

Активное сопротивление короткого замыкания

$$r_k = P_k / I_{1H}^2 = 15 / 1,14^2 = 11,62 \text{ Ом.}$$

Индуктивное сопротивление короткого замыкания

$$x_k = \sqrt{z_k^2 - r_k^2} = \sqrt{13,55^2 - 11,62^2} = 6,98 \text{ Ом.}$$

Активные сопротивления обмоток приведенного трансформатора

$$r_1 = r_2' = r_k / 2 = 11,62 / 2 = 5,81 \text{ Ом.}$$

Индуктивное сопротивление обмоток трансформатора

$$x_1 = x_2' = x_k / 2 = 6,98 / 2 = 3,49 \text{ Ом.}$$

Сопротивления вторичной обмотки реального трансформатора

$$r_2 = r_2' / k^2, \quad x_2 = x_2' / k^2.$$

3. КПД при коэффициенте нагрузки  $\beta = (0; 0,25; 0,5; 0,75; 1,0)$  и коэффициенте мощности  $\cos \varphi_2 = 0,8$  можно определить из выражения:

$$\eta = 1 - \frac{P_o + \beta^2 P_{KH}}{\beta S_H \cos \varphi_2 + P_o + \beta^2 P_{KH}}.$$

Результаты расчета КПД представлены в таблице 6.2.

Таблица 2.2 – Результаты расчета КПД

$\beta$	0	0,25	0,5	0,75	1
$\eta$	0	0,82	0,88	0,89	0,89

На основании результатов расчета, представленных в таблице 2.2, построим зависимость  $\eta = f(\beta)$ , представленную на рисунке 2.2.

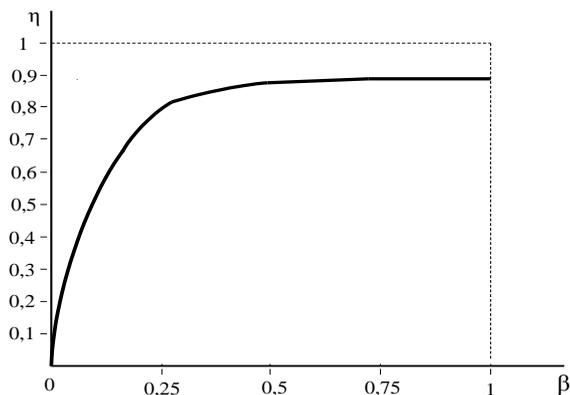


Рисунок 2.2 – Зависимость  $\eta = f(\beta)$

4. Процентное изменение вторичного напряжения  $\Delta u\%$  и вторичное напряжение  $U_2$  при  $\beta = (0; 0,25; 0,5; 0,75; 1,0)$  для активно-индуктивной нагрузки  $\cos\varphi_2 = 0,8$  определяем, используя выражение:

$$\Delta u\% = \beta \left( \frac{I_{\text{лн}} r_{\text{к}} \cos\varphi_2 + I_{\text{лн}} x_{\text{к}} \sin\varphi_2}{U_{\text{лн}}} \right) \cdot 100\%, U_2 = \left( 1 - \frac{\Delta u\%}{100\%} \right) U_{2\text{н}}$$

Результаты расчета  $\Delta u\%$  и  $U_2$  представлены в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Результаты расчета КПД

$\beta$	0	0,25	0,5	0,75	1
$\Delta u\%$	0	1,74	3,48	5,22	6,96
$U_2, \text{В}$	24	23,58	23,16	22,75	22,33

На основании результатов расчета, представленных в таблице 2.3, построим зависимость  $U_2 = f(\beta)$ , представленную на рисунке 2.3.

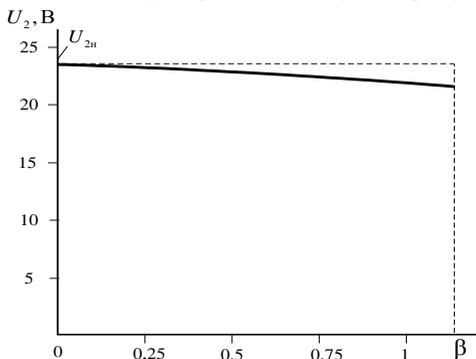


Рисунок 2.3 – Внешняя характеристика однофазного трансформатора

4. Напряжение  $U_2$  на зажимах вторичной обмотки не будет зависеть от коэффициента нагрузки  $\beta$  при выполнении условия

$$I_{1н} r_k \cos \varphi_2 + I_{1н} x_k \sin \varphi_2 = 0,$$

значит

$$\operatorname{tg} \varphi_2 = -r_k/x_k.$$

Отрицательный знак в правой части уравнения указывает на активно-емкостной характер нагрузки, а величина угла

$$\varphi_2 = -\operatorname{arctg}(r_k/x_k) = -\operatorname{arctg}(11,62/6,98) = -59^\circ.$$

### **Задача № 2. Расчёт параметров трехфазного трансформатора**

Трехфазный двухобмоточный трансформатор имеет: номинальную полную мощность  $S_n$ ; высшее линейное напряжение  $U_{вн}$ ; низшее линейное напряжение  $U_{1н}$ ; мощность потерь холостого хода  $P_o$ ; мощность потерь короткого замыкания  $P_{кн}$ ; относительное значение напряжения короткого замыкания  $u_k\%$ ; относительное значение активной составляющей напряжения короткого замыкания  $u_{ка}\%$ ; процентное изменение напряжения  $\Delta u\%$ ; относительное значение тока холостого хода  $i_o, \%$ ; коэффициент полезного действия  $\eta$  определенный при коэффициенте нагрузки  $\beta = 1$  и  $\cos \varphi_2 = 0,8$ ; параметры упрощенной схемы замещения  $r_k$  и  $x_k$ ; параметры намагничивающей ветви  $r_o$  и  $x_o$ . Числовые значения заданных величин и номера пунктов задания, подлежащих выполнению, указаны в таблицах 2.4–2.13. Необходимо сформулировать условие задачи в соответствии с перечнем пунктов задания, приведённого в таблице для своего варианта, и выполнить решение.

*Примечание* – Решаемый вариант выбирают по двум цифрам шифра. Предпоследняя цифра шифра должна совпадать с номером группы заданий в названии таблицы для данной задачи, а по последней цифре шифра выбирают строку числовых данных в таблице.

Перечень пунктов задания, необходимых для формирования условия задачи:

- 1 Начертить схему трансформатора.
- 2 Определить номинальные токи в обмотках трансформатора.
- 3 Определить коэффициенты трансформации фазных и линейных напряжений.
- 4 Рассчитать мощность потерь холостого хода  $P_o$ .
- 5 Рассчитать мощность потерь короткого замыкания  $P_{кн}$ .
- 6 Определить параметры упрощенной схемы замещения трансформатора, активное и реактивное сопротивления фазы первичной и вторичной обмоток, полагая, что  $r_1 = r_2' = r_k/2$  и  $x_1 = x_2' = x_k/2$ .
- 7 Начертить упрощенную схему замещения трансформатора.
- 8 Начертить T-образную схему замещения трансформатора и определить ее параметры.

9 Построить векторную диаграмму для упрощенной схемы замещения при значении коэффициента нагрузки  $\beta = 0,75$  и  $\cos\varphi_2 = 0,8$  ( $\varphi_2 > 0$ ).

10 Построить векторную диаграмму для упрощенной схемы замещения при  $\beta = 1$  и  $\cos\varphi_2 = 0,8$  ( $\varphi_2 < 0$ ).

11 Определить значения процентного изменения вторичного напряжения  $\Delta u_2$  при коэффициенте нагрузки  $\beta = 1$  и значениях  $\varphi_2$ :  $-90^\circ$ ;  $-60^\circ$ ;  $-30^\circ$ ;  $0^\circ$ ;  $30^\circ$ ;  $60^\circ$ ;  $90^\circ$ . Построить график зависимости  $\Delta u_2 = f(\varphi_2)$ .

12 Определить процентное изменение вторичного напряжения  $\Delta u_2$  и напряжение  $U_2$  на зажимах вторичной обмотки при  $\beta$ :  $0,25$ ;  $0,5$ ;  $0,75$ ;  $1$  и значении  $\varphi_2$ , указанном в таблице. Построить график внешней характеристики трансформатора.

13 Определить процентное изменение вторичного напряжения  $\Delta u_2$  при значениях коэффициента нагрузки  $\beta = (0; 0,25; 0,5; 0,75; 1,0)$  и  $\cos\varphi_2 = 0,8$  ( $\varphi_2 > 0$  и  $\varphi_2 < 0$ ). Определить максимальное значение КПД трансформатора  $\eta$  при  $\cos\varphi_2 = 0,8$ .

14 Вычислить КПД трансформатора  $\eta$  при значениях коэффициента нагрузки  $\beta = (0; 0,25; 0,5; 0,75; 1,0)$  и  $\cos\varphi_2 = 0,8$ .

15 Определить напряжение  $U_2$  на зажимах вторичной обмотки при значениях коэффициента нагрузки  $\beta = (0; 0,25; 0,5; 0,75; 1,0)$  и  $\cos\varphi_2 = 0,8$  ( $\varphi_2 > 0$ ). Построить график зависимости  $U_2 = f(\beta)$ .

16 Определить характер нагрузки, при котором напряжение  $U_2$  на зажимах вторичной обмотки не зависит от коэффициента нагрузки  $\beta$ .

17 Определить напряжение  $U_2$  на зажимах вторичной обмотки и КПД трансформатора  $\eta$  при значениях коэффициента нагрузки  $\beta$ :  $0,25$ ;  $0,5$ ;  $0,75$ ;  $1$  и  $\cos\varphi_2 = 0,8$  ( $\varphi_2 > 0$ ). Построить графики зависимостей  $U_2 = f(\beta)$  и  $\eta = f(\beta)$ .

18 Определить характер нагрузки, при котором напряжение  $U_2$  на зажимах вторичной обмотки не зависит от коэффициента нагрузки  $\beta$ , и для этого случая построить график зависимости  $\eta = f(\beta)$  при изменении  $\beta$  от  $0$  до  $1$  через  $0,25$ .

19 Построить в общей системе координатных осей графики зависимостей  $U_2 = f(I_2)$  при  $\cos\varphi_2 = 0,8$  для  $\varphi_2 > 0$  и  $\varphi_2 < 0$ , а также  $\eta = f(I_2)$  при  $\cos\varphi_2 = 0,8$ .

20 Определить значения КПД  $\eta$  трансформатора при значениях коэффициента нагрузки  $\beta$ :  $0,25$ ;  $0,5$ ;  $0,75$ ;  $1$  и  $\cos\varphi_2 = 0,8$  и построить график зависимости  $\eta = f(\beta)$ .

21 Определить напряжение  $U_2$  на зажимах вторичной обмотки и КПД трансформатора при значениях коэффициента нагрузки  $\beta$ :  $0,25$ ;  $0,5$ ;  $0,75$ ;  $1$  и  $\cos\varphi_2 = 0,8$  ( $\varphi_2 < 0$ ). Построить в общей системе координатных осей графики зависимостей  $U_2 = f(\beta)$  и  $\eta = f(\beta)$ .

Таблица 2.4 – Числовые значения исходных данных к нулевой группе заданий

Вариант	$S_{нн}$ , кВА	$U$ , кВ		$u_{ка}$ , %	$\eta$ , %	$x_k$ , Ом	$i_0$ , %	Способ соединения обмоток
		ВН	НН					
1	180	35	10,5	2,3	96,3	414,4	8	Y/Y
2	100	35	0,525	2,4	96,0	740,1	8	Y/Δ
3	50	10	0,4	2,6	95,8	96,46	8	Y/Y
4	30	6,3	0,4	2,8	95,6	62,41	8	Y/Y
5	20	10	0,4	3,0	95,1	230,7	10	Y/Y
6	10	6	0,4	3,3	94,8	157,3	10	Y/Y
7	180	6,3	0,525	2,2	96,6	11,1	6	Y/Δ
8	100	10	0,525	2,4	96,2	49,51	7,5	Y/Δ
9	50	6,3	0,525	2,6	96,0	38,28	7	Y/Δ
0	30	10	0,4	2,8	95,4	157,5	9	Y/Δ

Примечание – Пункты задания, подлежащие выполнению, – 1, 2, 4, 17.

Таблица 2.5 – Числовые значения исходных данных к первой группе заданий

Вариант	Схема соединения обмоток трансформатора Y/Δ						
	$S_{нн}$ , кВА	$U$ , кВ		$P_0$ , кВт	$P_{кнн}$ , кВт	$u_k$ , %	$i_0$ , %
		ВН	НН				
1	25	6,3	0,4	0,105	0,600	4,5	3,2
2	40	6,3	0,23	0,240	0,880	4,5	4,5
3	40	10	0,4	0,160	0,940	4,6	3,0
4	63	6,3	0,4	0,360	1,350	4,7	4,5
5	100	6,3	0,4	0,330	2,100	4,6	2,6
6	100	35	0,4	0,430	2,100	6,6	4,16
7	160	35	0,4	0,610	2,800	6,6	2,4
8	250	10	0,4	1,050	3,900	4,6	3,0
9	250	35	0,4	0,960	3,900	6,6	2,3
0	320	10	0,525	1,250	4,650	4,5	2,5

Примечание – Пункты задания, подлежащие выполнению, – 1, 2, 13, 15, 20.

**Таблица 2.6 – Числовые значения исходных данных ко второй группе заданий**

Вариант	Схема соединения обмоток трансформатора Y/Δ						
	$S_n$ , кВА	$U$ , кВ		$P_o$ , кВт	$P_{кн}$ , кВт	$u_k$ , %	$i_o$ , %
		ВН	НН				
1	1000	10	0,4	2,45	12,2	5,5	1,4
2	1600	10	0,4	3,30	18,0	5,5	1,3
3	1000	35	0,4	2,75	12,2	6,5	1,5
4	1600	35	0,4	3,65	18,0	6,5	1,4
5	2500	10	0,4	4,60	25,0	5,5	1,0
6	2500	35	0,4	5,10	25,0	6,5	1,1
7	1000	10	0,23	2,45	12,8	5,5	1,4
8	1600	10	0,23	3,30	18,9	5,5	1,3
9	1000	35	0,23	2,75	12,8	6,5	1,5
0	1600	35	0,23	3,65	18,9	6,5	1,4

*Примечание* – Пункты задания, подлежащие выполнению, – 1, 6, 10, 11.

**Таблица 2.7 – Числовые значения исходных данных к третьей группе заданий**

Вариант	$S_n$ , кВА	$U$ , кВ		$P_{кн}$ , кВт	$r_k$ , Ом	$x_k$ , Ом	Способ соединения обмоток
		ВН	НН				
1	25	6,3	0,4	0,105	38,14	60,41	Y/Δ
2	40	10	0,4	0,160	59,23	98,57	Y/Y
3	100	35	0,23	0,465	253,4	755,6	Y/Δ
4	160	10	0,23	0,565	10,84	25,92	Y/Δ
5	250	10	0,23	0,820	6,20	16,90	Y/Δ
6	250	35	0,23	1,000	75,9	301,2	Y/Δ
7	25	10	0,4	0,135	95,12	152,8	Y/Y
8	160	35	0,4	0,610	133,9	487,7	Y/Y
9	100	6,3	0,4	0,330	8,30	16,25	Y/Y
0	63	6,3	0,4	0,360	13,47	26,36	Y/Y

*Примечание* – Пункты задания, подлежащие выполнению, – 1–3, 7, 18.

Таблица 2.8 – Числовые значения исходных данных к четвертой группе заданий

Вариант	Схема соединения обмоток обмоток трансформатора Y/Δ						
	S <sub>н</sub> , кВА	U, кВ		P <sub>о</sub> , кВт	r <sub>к</sub> , Ом	x <sub>к</sub> , Ом	η, %
		ВН	НН				
1	25	6,3	0,4	0,105	38,14	60,41	98,1
2	40	10	0,4	0,160	59,23	98,57	98,2
3	100	35	0,23	0,465	253,4	755,6	98,1
4	160	10	0,23	0,565	10,84	25,92	98,8
5	250	10	0,23	0,820	6,20	16,90	97,7
6	50	35	0,23	1,000	75,9	301,2	97,3
7	25	10	0,4	0,135	95,12	152,8	98,0
8	160	35	0,4	0,610	133,9	487,7	98,5
9	100	6,3	0,4	0,330	8,30	16,25	97,2
0	63	6,3	0,4	0,360	13,47	26,36	97,5

*Примечания*  
 1 КПД определен при коэффициенте нагрузки  $\beta = 0,5$  и  $\cos \varphi_2 = 0,8$ .  
 2 Пункты задания, подлежащие выполнению, – 1–4, 6, 9.

Таблица 2.9 – Числовые значения исходных данных к пятой группе заданий

Вариант	S <sub>н</sub> , кВА	U, кВ		r <sub>к</sub>	x <sub>к</sub>	r <sub>0</sub>	x <sub>0</sub>	Способ соединения обмоток
		ВН	НН					
1	180	10	0,525	12,64	27,84	755	7904	Y/Y
2	100	10	0,525	23,95	49,51	1295	1327	Y/Δ
3	100	6,3	0,525	9,5	19,65	562	5918	Y/Y
4	20	6,3	0,4	59,4	91,57	2200	21940	Y/Δ
5	10	10	0,4	334,2	436,78	13969	99026	Y/Δ
6	63	6,3	0,4	13,47	26,36	1775	13893	Y/Y
7	100	6,3	0,4	8,3	16,35	1931	15134	Y/Y
8	160	35	0,4	133,9	487,7	50650	315263	Y/Δ
9	50	6,3	0,525	20,98	38,28	1131	11282	Y/Y
0	30	6,3	0,4	37,38	62,41	1718	16446	Y/Δ

*Примечание* – Пункты задания, подлежащие выполнению, – 1, 8, 17.

Таблица 2.10 – Числовые значения исходных данных к шестой группе заданий

Вариант	$S_n$ , кВА	$U$ , кВ		$P_0$ , кВт	$u_k$ , %	$i_0$ , %	$\eta$ , %	$\varphi_2$
		ВН	НН					
1	25	6,3	0,4	0,105	4,5	3,2	96,6	0
2	25	6,3	0,23	0,105	4,5	3,2	96,5	-90°
3	40	6,6	0,23	0,240	4,5	4,5	96,6	-60°
4	40	10	0,4	0,160	4,6	4,6	96,7	-30°
5	25	10	0,4	0,135	4,5	4,5	96,5	30°
6	100	35	0,4	0,465	6,5	6,5	97,0	60°
7	100	5	0,23	0,465	6,5	6,5	96,9	90°
8	160	10	0,23	0,565	4,5	4,5	97,5	-45°
9	250	10	0,23	0,820	4,5	4,5	97,7	45°
0	250	35	0,23	1,000	6,5	6,5	97,6	-15°

*Примечания*  
 1 Пункты задания, подлежащие выполнению, – 1, 5, 12, 14.  
 2 Схема соединения обмоток Y/Δ.

Таблица 2.11 – Числовые значения исходных данных к седьмой группе заданий

Вариант	$S_n$ , кВА	$U$ , кВ		$P_0$ , кВт	$u_k$ , %	$x_k$ , Ом	$i_0$ , %	Способ соединения обмоток
		ВН	НН					
1	25	6,3	0,23	0,105	4,5	59,16	3,2	Y/Δ
2	40	10	0,4	0,160	4,6	98,57	3,0	Y/Y
3	100	35	0,4	0,465	6,5	759,0	2,6	Y/Y
4	160	10	0,23	0,565	4,5	25,92	2,4	Y/Δ
5	250	35	0,23	1,000	6,5	309,0	2,3	Y/Δ
6	1600	10	0,4	3,300	5,5	3,37	1,3	Y/Y
7	2500	10	0,4	1,600	5,5	2,16	1,0	Y/Y
8	1000	10	0,23	2,400	5,5	5,35	1,4	Y/Δ
9	160	35	0,4	0,610	6,6	488,0	2,4	Y/Y
0	63	6,3	0,4	0,360	4,7	26,36	4,5	Y/Y

*Примечание* – Пункты задания, подлежащие выполнению, – 1–3, 7, 18.

Таблица 2.12 – Числовые значения исходных данных к восьмой группе заданий

Вариант	$S_{нв}$ , кВА	$U$ , кВ		$u_k$ , %	$\eta$ , %	$x_k$ , Ом	$i_0$ , %	Способ соединения обмоток
		ВН	НН					
1	1600	35	0,23	6,5	98,2	9,03	1,4	Y/Δ
2	1000	10	0,23	6,5	98,1	1,28	1,4	Y/Δ
3	2500	35	0,4	6,5	98,5	4,89	1,1	Y/Δ
4	1600	10	0,4	5,5	98,3	0,70	1,3	Y/Y
5	250	10	0,23	4,5	97,7	6,20	2,3	Y/Δ
6	25	6,3	0,4	4,5	96,5	38,14	3,2	Y/Y
7	40	6,3	0,23	4,5	96,6	21,78	4,5	Y/Δ
8	25	10	0,4	4,5	96,4	95,12	3,2	Y/Y
9	100	35	0,23	6,5	96,9	253,44	2,6	Y/Y
0	165	35	0,4	6,5	97,4	133,9	2,4	Y/Y

Примечание – Пункты задания, подлежащие выполнению, – 1, 2, 4, 5, 16, 21.

Таблица 2.13 – Числовые значения исходных данных к девятой группе заданий

Вариант	$S_{нв}$ , кВА	$U$ , кВ		$P_0$ , кВт	$P_k$ , кВт	$\Delta u$ , %	$i_0$ , %
		ВН	НН				
1	160	35	0,4	0,610	2,800	6,6	2,4
2	100	6,3	0,4	0,330	2,100	4,6	2,6
3	63	6,3	0,4	0,360	1,350	4,7	4,5
4	10	6	0,4	0,105	0,335	5,5	10,0
5	20	10	0,4	0,220	0,600	5,5	10,0
6	30	6,3	0,4	0,250	0,850	5,5	8,0
7	50	6,3	0,525	0,350	1,325	5,5	7,0
8	180	35	10,5	1,50	4,100	6,5	8,0
9	100	10	0,525	0,730	2,400	5,5	7,5
0	180	6,3	0,525	1,00	4,000	5,5	6,0

Примечания  
 1 Пункты задания, подлежащие выполнению, – 1, 8, 19.  
 2 Схема соединения обмоток Y/Δ.

## Пример решения задачи 2

Трёхфазный трансформатор имеет следующие данные: номинальная мощность  $S_n = 63000$  ВА, номинальные напряжения  $U_{1н} = 10000$  В и  $U_{2н} = U_{20} = 400$  В, потери холостого хода  $P_0 = 265$  Вт, потери короткого замыкания  $P_{кн} = 1280$  Вт, напряжение короткого замыкания  $u_k$  составляет 5,5 % от номинального значения, ток холостого хода  $i_0$  составляет 2,8 % от номинальной величины. Определить: а) номинальные фазные напряжения первичной  $U_{1нф}$  и вторичной  $U_{2нф}$  обмоток при схеме соединения Y/Δ; б) фазный  $k_f$  и линейный  $k_l$  коэффициенты трансформации; в) номинальные токи первичной  $I_{1н}$  и вторичной  $I_{2н}$  обмоток; г) КПД при коэффициенте нагрузки  $\beta = 0,5$  и  $\cos\varphi_2 = 0,8$ ; д) абсолютное значение напряжения короткого замыкания; е) параметры схемы замещения трансформатора; ж) процентное изменение напряжения на вторичной обмотке при  $\cos\varphi_2 = 0,8$  ( $\varphi_2 > 0$  и  $\varphi_2 < 0$ ) и номинальном токе; рассчитать и построить внешнюю характеристику для указанных в предыдущем пункте видов нагрузки.

*Решение.* Так как первичная обмотка соединена звездой, то фазное напряжение первичной обмотки

$$U_{1нф} = U_{1н} / \sqrt{3} = 10000 / \sqrt{3} = 5780 \text{ В.}$$

При соединении вторичных обмоток треугольником имеем

$$U_{2нф} = U_{2н} = 400 \text{ В.}$$

Коэффициент трансформации фазных напряжений

$$k_f = U_{1нф} / U_{2нф} = 5780 / 400 = 14,45.$$

Коэффициент трансформации линейных напряжений

$$k_l = U_{1н} / U_{2н} = 10000 / 400 = 25.$$

Линейный номинальный ток первичной обмотки

$$I_{1н} = S_n / (\sqrt{3} U_{1н}) = 63000 / (\sqrt{3} \cdot 10000) = 3,64 \text{ А.}$$

Линейный номинальный ток вторичной обмотки

$$I_{2н} = S_n / (\sqrt{3} U_{2н}) = 63000 / (\sqrt{3} \cdot 400) = 91 \text{ А.}$$

КПД трансформатора при заданной нагрузке с  $\beta = 0,5$  и  $\cos\varphi_2 = 0,8$  можно определить из выражения:

$$\eta = 1 - \frac{P_0 + \beta^2 P_{кн}}{\beta S_n \cos\varphi_2 + P_0 + \beta^2 P_{кн}} = 1 - \frac{265 + 0,5^2 \cdot 1280}{0,5 \cdot 63000 \cdot 0,8 + 265 + 0,5^2 \cdot 1280} = 0,81.$$

Абсолютное значение фазного напряжения короткого замыкания

$$U_{фкн} = u_k U_{1нф} / 100 = 5,5 \cdot 5780 / 100 = 317,9 \text{ В.}$$

Схема замещения трансформатора приведена на рисунке 2.4.

Определение параметров схемы замещения начинаем с расчёта полного сопротивления намагничивающей ветви:

$$z_0 = 100 U_{1нф} / (i_0 I_{1н}) = 100 \cdot 5780 / (2,8 \cdot 3,64) = 56711 \text{ Ом.}$$

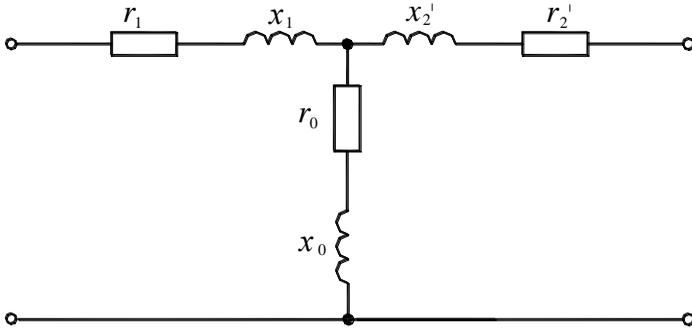


Рисунок 2.4 – Схема замещения одной фазы трёхфазного трансформатора

Активное сопротивление намагничивающей ветви

$$r_0 = P_0 / (3I_0^2) = 10^4 P_0 / (3I_0^2 I_{1Н}^2) = 10^4 \cdot 265 / (3 \cdot 2,8^2 \cdot 3,64^2) = 8503 \text{ Ом}.$$

Индуктивное сопротивление намагничивающей ветви

$$x_0 = \sqrt{z_0^2 - r_0^2} = \sqrt{56711^2 - 8503^2} = 56070 \text{ Ом}.$$

Полное сопротивление короткого замыкания

$$z_k = U_{\text{фкн}} / I_{1Н} = 317,9 / 3,64 = 87,3 \text{ Ом}.$$

Активное сопротивление короткого замыкания

$$r_k = P_k / (3I_{1Н}^2) = 1280 / (3 \cdot 3,64^2) = 32,2 \text{ Ом}.$$

Индуктивное сопротивление короткого замыкания

$$x_k = \sqrt{z_k^2 - r_k^2} = \sqrt{87,3^2 - 32,2^2} = 81,1 \text{ Ом}.$$

Активные сопротивления обмоток приведенного трансформатора

$$r_1 = r_2' = r_k / 2 = 32,2 / 2 = 16,1 \text{ Ом}.$$

Индуктивное сопротивление обмоток трансформатора

$$x_1 = x_2' = x_k / 2 = 81,1 / 2 = 40,5 \text{ Ом}.$$

Сопротивления вторичной обмотки реального трансформатора

$$r_2 = \frac{r_2'}{k_\Phi^2}, \quad x_2 = \frac{x_2'}{k_\Phi^2}.$$

Процентное изменение напряжения при номинальном токе ( $\beta = 1$  и  $\cos\varphi_2 = 0,8$ ) для активно-индуктивной нагрузки ( $\varphi_2 > 0$ )

$$\Delta u \% = \beta \left( \frac{I_{1Н} r_k \cos \varphi_2}{U_{1Н\Phi}} + \frac{I_{1Н} x_k \sin \varphi_2}{U_{1Н\Phi}} \right) \cdot 100 \% =$$

$$= 1 \cdot \sqrt{3} \left( \frac{3,64 \cdot 32,2 \cdot 0,8}{10000} + \frac{3,64 \cdot 81,1 \cdot 0,6}{10000} \right) \cdot 100 \% = 4,68 \%,$$

для активно-ёмкостной нагрузки ( $\varphi_2 < 0$ )

$$\Delta u \% = \beta \left( \frac{I_{1н} r_k \cos \varphi_2}{U_{1нф}} + \frac{I_{1н} x_k \sin \varphi_2}{U_{1нф}} \right) \cdot 100 \% =$$

$$= 1 \cdot \sqrt{3} \left( \frac{3,64 \cdot 32,2 \cdot 0,8}{10000} - \frac{3,64 \cdot 81,1 \cdot 0,6}{10000} \right) \cdot 100 \% = -1,44 \%.$$

Напряжение на вторичной обмотке при активно-индуктивной нагрузке находим из выражения:

$$U_2 = \frac{U_{1нф}}{k_\phi} \left( 1 - \frac{\Delta u \%}{100} \right) = \frac{5780}{14,45} \left( 1 - \frac{4,68}{100} \right) = 381,2 \text{ В},$$

при активно-ёмкостной нагрузке

$$U_2 = \frac{U_{1нф}}{k_\phi} \left( 1 + \frac{\Delta u \%}{100} \right) = \frac{5780}{14,45} \left( 1 + \frac{1,44}{100} \right) = 405,7 \text{ В}.$$

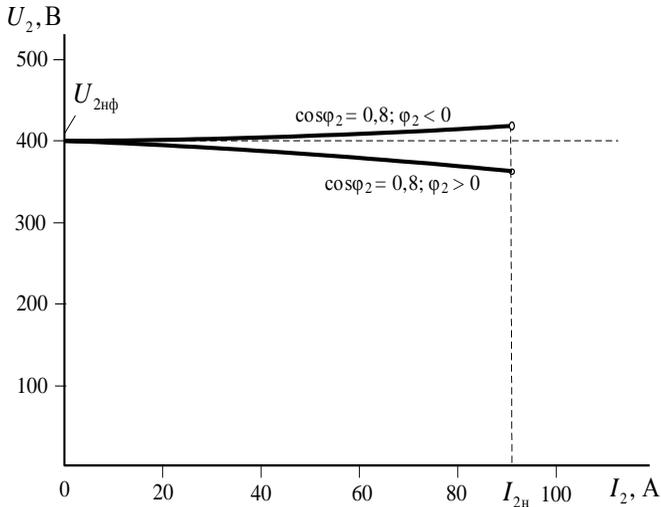


Рисунок 2.5 – Внешние характеристики при различных характерах нагрузки

### Контрольные вопросы

1. Каковы условия проведения и назначение опыта холостого хода трансформатора?

2. Напишите уравнение токов трансформатора и объясните физический смысл составляющих тока первичной обмотки.

3. Что называют приведенными величинами вторичной обмотки? Как производится приведение параметров вторичной обмотки к параметрам первичной?

4. Какие величины определяются в опыте холостого хода; по какой схеме он производится?

5. Начертите схему опыта короткого замыкания трансформатора. Какие величины определяются в этом опыте?

6. Что называется напряжением короткого замыкания? Каков его физический смысл?

7. Что изменится в работе трансформатора, если на первичную обмотку подать постоянное напряжение, равное номинальному? Почему этот режим приводит к аварии?

8. Начертите принципиальную схему однофазного трансформатора и объясните принцип его работы.

9. Какой магнитный поток называется основным, какой – потоком рассеяния? Как выражаются ЭДС рассеяния обмоток?

10. Напишите уравнения напряжения для первичной и вторичной обмоток и объясните смысл каждого из членов этих уравнений.

11. Как изменится вторичное напряжение трансформатора, если его индуктивную нагрузку заменить емкостной?

12. Почему в качестве номинальной мощности трансформатора задается полная мощность в  $kB \cdot A$ ?

13. В каких случаях целесообразно применение автотрансформаторов? Каковы их преимущества? Недостатки?

14. Какие трансформаторы используются для расширения пределов измерительных приборов? Как подключаются к ним несколько однотипных измерительных приборов?

15. Почему в опыте холостого хода можно пренебречь потерями в меди, а опыте короткого замыкания – потерями в стали?

16. Какие потери в трансформаторе являются постоянными, какие переменными, и почему?

17. Объясните, почему магнитный поток в трансформаторе практически не зависит от нагрузки.

18. Как устроены трехфазные трансформаторы и какие схемы соединения могут они иметь?

19. Для какой цели на электрических станциях в начале линии электропередачи устанавливают повышающие трансформаторы?

20. С какой целью в трансформаторе используется ферромагнитный сердечник? Почему сердечник трансформатора собирается из отдельных изолированных листов электротехнической стали?

21. Почему ток холостого хода имеет малую величину и как он определяется?

22. Какими элементами в схеме замещения учитываются первичная и вторичная обмотки, магнитопровод трансформатора?

23. Как рассчитываются параметры схемы замещения трансформатора?

24. При какой нагрузке (активной, активно-индуктивной или активно-емкостной) напряжение на зажимах потребителей – минимальное?

25. Каковы причины изменения вторичного напряжения трансформатора при увеличении нагрузки?

26. Что вызывает нагрев трансформатора и почему ограничивается температура нагрева?

27. Почему у большинства трансформаторов максимальный КПД имеет место при нагрузке 0,5 – 0,75 от номинальной? Определить  $\beta$ , при котором КПД рассчитываемого трансформатора максимален.

28. В чем преимущества трехстержневого трехфазного трансформатора перед однотипным, выполненным из трех однофазных?

29. В каком режиме работают измерительные трансформаторы напряжения и в каком – трансформаторы тока?

## 2.2 Трехфазные асинхронные электродвигатели

### **Задача № 3. Расчёт трехфазного асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором**

Трехфазный асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором характеризуется следующими величинами: номинальной мощностью  $P_n$ ; номинальным током  $I_n$ ; номинальной частотой вращения ротора  $n_n$ ; номинальным скольжением  $s_n$ ; коэффициентом полезного действия  $\eta_n$ ; мощностью, потребляемой из сети в номинальном режиме,  $P_{1n}$ ; коэффициентом мощности при номинальной нагрузке  $\cos\varphi_{1n}$ ; номинальным моментом  $M_n$ ; кратностью максимального момента относительно номинального  $M_{\max}/M_n$ ; кратностью пускового момента относительно номинального  $M_{п}/M_n$ ; кратностью пускового тока относительно номинального  $I_{п}/I_n$ ; критическим скольжением  $s_{кр}$ ; числом пар полюсов обмотки статора  $p$ ; синхронной частотой вращения  $n_1$ . Двигатель питается от сети с линейным напряжением  $U_n$ . Номинальное фазное напряжение обмотки статора  $U_{1ф} = 220$  В. Числовые значения заданных величин и номера пунктов задания, подлежащих выполнению, указаны в таблицах 2.14–2.23. Необходимо сформулировать условие задачи в соответствии с

перечнем пунктов задания, приведённого в таблице для своего варианта, и выполнить решение.

*Примечание* – Решаемый вариант выбирается по двум цифрам шифра. Предпоследняя цифра шифра должна совпадать с номером группы заданий в названии таблицы для данной задачи, а по последней цифре шифра выбирается строка числовых данных в таблице.

Перечень пунктов задания, необходимых для формирования условия задачи:

- 1 Определить схему соединения обмотки статора.
- 2 Начертить схему.
- 3 Определить число пар полюсов обмотки статора.
- 4 Определить значение пускового тока.
- 5 Вычислить частоту вращения двигателя при моменте сопротивления  $M_c = 0,9 M_{max}$ .
- 6 Определить частоту вращения двигателя при моменте сопротивления  $M_c = 1,4 M_n$ .
- 7 Определить значение максимального момента.
- 8 Рассчитать значения момента, развиваемого двигателем при скольжениях:  $s_n$ ;  $s_{кр}$ ; 0,1; 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1, и построить график механической характеристики двигателя  $n = f(M)$ .
- 9 Определить максимальный момент и соответствующее ему критическое скольжение.
- 10 Определить значение пускового момента при снижении напряжения на 15 % относительно номинального.
- 11 Вычислить значение максимального момента при снижении напряжения на 10 % относительно номинального.
- 12 Рассчитать установившуюся частоту вращения ротора при моменте нагрузки  $M_c = 1,5 M_n$ .
- 13 Определить коэффициент мощности двигателя при номинальной нагрузке.
- 14 Определить коэффициент полезного действия двигателя при номинальной нагрузке.
- 15 Рассчитать мощность на валу и коэффициент полезного действия при номинальной нагрузке.
- 16 Определить мощность, потребляемую двигателем из сети при номинальной нагрузке.
- 17 Выяснить, можно ли запустить двигатель под нагрузкой при напряжении сети, пониженном на 15 % относительно номинального, если статический момент сопротивления нагрузки  $M_c = M_n$ .

Таблица 2.14 – Числовые значения исходных данных к нулевой группе заданий

Вариант	$P_n$ , кВт	$n_n$ , об/мин	$\eta_n$ , %	$\cos\varphi_{1n}$	$\frac{M_{\max}}{M_n}$	$\frac{I_n}{I_n}$	$U_n$ , В
1	5,5	2880	87,5	0,91	2,5	7,5	380
2	7,5	1455	87,5	0,86	3,0	7,5	220
3	11,0	975	86,0	0,86	2,0	6,0	380
4	15,0	730	87,0	0,82	2,0	6,0	220
5	18,5	975	88,0	0,87	2,0	5,0	380
6	22,0	1470	90,0	0,90	2,3	6,5	220
7	30,0	590	88,0	0,81	1,9	6,0	380
8	37,0	980	91,0	0,89	2,3	6,5	220
9	45,0	1475	92,0	0,90	2,5	7,0	380
0	55,0	490	91,0	0,75	1,8	6,0	220

Примечание – Пункты задания, подлежащие выполнению, – 1–4, 8, 17.

Таблица 2.15 – Числовые значения исходных данных к первой группе заданий

Вариант	$U_n$ , В	$M_n$ , Нм	$n_n$ , об/мин	$I_n$ , А	$\cos\varphi_{1n}$	$\frac{M_{\max}}{M_n}$
1	220	490	585	109	0,80	1,7
2	380	260	1470	75	0,89	2,0
3	220	402	2970	388	0,90	2,2
4	380	536	980	101	0,90	1,8
5	220	516	740	130	0,89	1,7
6	380	180	2925	102	0,90	2,2
7	220	71.5	2940	72	0,91	2,5
8	380	288	730	45	0,84	2,0
9	220	143	1470	71,5	0,90	2,3
0	380	731	980	137	0,90	1,8

Примечание – Пункты задания, подлежащие выполнению, – 1–3, 6, 14, 17.

**Таблица 2.16 – Числовые значения исходных данных ко второй группе заданий**

Вариант	$U_n$ , В	$p$	$M_n$ , Нм	$I_n$ , А	$\cos\varphi_{1n}$	$s_n$ , %	$s_{кр}$ , %
1	380	5	728	96	0,78	1,67	5,47
2	380	1	60	34,5	0,92	2,0	8,30
3	380	2	487	134	0,92	2,00	7,46
4	220	5	890	199	0,79	1,67	5,47
5	220	4	516	130	0,89	1,33	3,99
6	220	3	536	175	0,390	2,00	6,59
7	380	1	120	70	0,89	1,83	8,60
8	380	4	715	101	0,90	2,00	6,15
9	220	5	653	145	0,80	2,50	7,68
0	220	2	650	307	0,92	2,00	7,46
<i>Примечание – Пункты задания, подлежащие выполнению, – 1, 2, 5, 7, 14, 17.</i>							

**Таблица 2.17 – Числовые значения исходных данных к третьей группе заданий**

Вариант	$U_n$ , В	$n_n$ , об/мин	$I_n$ , А	$\cos\varphi_{1n}$	$\eta_n$ , %	$\frac{M_{max}}{M_T}$
1	220	1435	11,6	0,83	82,0	2,4
2	380	950	9,2	0,81	82,0	2,5
3	220	2900	25,6	0,88	87,5	2,8
4	380	720	13,6	0,74	83,0	2,6
5	220	1460	38,0	0,83	87,5	3,0
6	380	970	16,5	0,81	85,5	2,5
7	220	2940	71,9	0,91	88,5	2,5
8	380	590	79,2	0,78	91,0	1,8
9	380	735	37,9	0,84	88,5	2,2
0	220	1470	96,4	0,90	91,0	2,3
<i>Примечание – Пункты задания, подлежащие выполнению, – 1–3, 8, 10, 17.</i>						

**Таблица 2.18 – Числовые значения исходных данных к четвёртой группе заданий**

Вариант	$U_n$ , В	$M_{max}$ , Нм	$s_{кр}$ , %	$n_n$ , об/мин	$I_n$ , А	$\cos\varphi_{1n}$
1	220	1311	5,47	590	166	0,78
2	220	243	8,60	2945	97	0,90
3	220	965	6,59	980	175	0,90
4	220	974	7,46	1470	232	0,92
5	380	1602	5,47	590	115	0,79
6	380	877	3,99	740	75	0,89
7	380	726	6,20	2960	165	0,90

Окончание таблицы 2.18

Вариант	$U_n$ , В	$M_{\max}$ , Нм	$s_{кр}$ , %	$n_n$ , об/мин	$I_n$ , А	$\cos\varphi_{In}$
8	380	1290	4,85	1480	177	0,92
9	220	2185	5,47	590	286	0,80
0	380	1207	3,99	740	101	0,90
<i>Примечание</i> – Пункты задания, подлежащие выполнению, – 1–3, 11, 14, 17.						

Таблица 2.19 – Числовые значения исходных данных к пятой группе заданий

Вариант	$U_n$ , В	$P_{In}$ , кВт	$\eta_n$ , %	$M_{\max}/M_n$	$n_n$ , об/мин
1	380	12,79	86,0	2,0	975
2	380	25,00	88,0	2,2	2915
3	380	33,33	90,0	2,1	735
4	380	40,66	91,0	2,5	1475
5	220	50,00	90,0	1,8	585
6	380	60,77	90,5	1,8	490
7	220	80,65	93,0	2,3	1480
8	220	97,29	92,5	2,0	980
9	220	118,27	93,0	2,3	740
0	220	97,83	92,0	2,2	2945
<i>Примечание</i> – Пункты задания, подлежащие выполнению, – 1–3, 12, 17.					

Таблица 2.20 – Числовые значения исходных данных к шестой группе заданий

Вариант	$U_n$ , В	$P_{In}$ , кВт	$I_n$ , А	$\eta_n$ , %	$s_n$ , %	$n_1$ , об/мин	$s_{кр}$ , %
1	380	40,18	95,7	91,5	1,66	600	5,47
2	220	41,11	121,6	90,0	1,8	3000	8,60
3	380	43,72	75,0	91,5	2,0	750	6,15
4	220	50,78	175,0	90,0	2,0	1000	6,59
5	380	80,65	136,0	93,0	1,3	1500	4,85
6	220	33,15	109,0	90,5	2,5	600	7,68
7	380	107,53	184,0	93,0	1,3	3000	5,40
8	220	106,95	305,0	93,5	14,3	1500	4,85
9	380	81,52	155,0	92,0	1,66	600	5,47
0	220	60,41	172,0	91,0	1,8	3000	8,60
<i>Примечание</i> – Пункты задания, подлежащие выполнению, – 1, 2, 8, 13, 17.							

**Таблица 2.21 – Числовые значения исходных данных к седьмой группе заданий**

Вариант	$U_n$ , В	$n_n$ , об/мин	$I_n$ , А	$\cos\varphi_{1n}$	$M_{\max}$ , Нм	$s_{кр}$ , %	$M_{\max} / M_n$
1	380	2880	7,9	0,89	33,15	19,0	2,0
2	380	720	10,47	0,70	137,96	20,0	1,9
3	380	590	64,0	0,81	922,6	5,86	1,2
4	380	1470	134,0	0,92	974,0	7,46	1,1
5	380	980	99,0	0,92	964,8	6,59	1,1
6	220	2850	8,0	0,87	19,16	25,0	2,1
7	220	590	165	0,78	1311	5,47	1,0
8	220	1480	235	0,90	968,0	4,85	1,1
9	220	740	130	0,89	877,2	3,99	1,1
0	220	965	21,28	0,80	136,07	16,77	2,0

*Примечание* – Пункты задания, подлежащие выполнению, – 1–2, 15–17.

**Таблица 2.22 – Числовые значения исходных данных к восьмой группе заданий**

Вариант	$U_n$ , В	$P_n$ , кВт	$n_n$ , об/мин	$\cos\varphi_{1n}$	$I_n$ , А	$I_n / I_n$	$M_{\max} / M_n$
1	220	100,0	2960	0,90	220	7,0	2,2
2	220	15,0	2940	0,91	345	7,0	2,2
3	380	30,0	735	0,81	376	6,0	2,1
4	380	45,0	740	0,84	537	6,0	2,0
5	220	22,0	2940	0,91	539	7,5	2,5
6	220	37,0	2945	0,89	912	7,5	2,5
7	380	55,0	2945	0,92	749	7,5	2,5
8	380	110,0	740	0,85	1376	6,5	2,3
9	220	90,0	1480	0,91	1959	7,0	2,3
0	380	75,0	590	0,80	930	6,0	1,8

*Примечание* – Пункты задания, подлежащие выполнению, – 1–2, 8, 14, 17.

**Таблица 2.23 – Числовые значения исходных данных к девятой группе заданий**

Вариант	$U_n$ , В	$P_n$ , кВт	$n_n$ , об/мин	$\cos\varphi_{1n}$	$\eta_n$ , %	$I_n / I_n$	$M_{\max} / M_n$
1	380	15,0	1465	0,88	88,5	7,0	2,3
2	220	18,5	975	0,85	87,0	6,0	2,0
3	380	22,0	730	0,84	89,0	5,5	2,0
4	220	30,0	590	0,81	88,0	6,0	1,9
5	380	55,0	490	0,78	90,5	5,5	1,8
6	220	45,0	2945	0,91	91,0	7,0	2,2

Окончание таблицы 2.23

Вариант	$U_n$ , В	$P_n$ , кВт	$n_n$ , об/мин	$\cos\varphi_{1n}$	$\eta_n$ , %	$I_n / I_n$	$M_{\max} / M_n$
7	380	37,0	1475	0,90	91,0	7,0	2,5
8	220	55,0	985	0,89	91,5	6,5	2,1
9	380	75,0	735	0,85	92,0	5,5	1,9
0	220	90,0	590	0,82	91,5	5,5	1,8

*Примечание* – Пункты задания, подлежащие выполнению, – 1, 2, 4, 5, 9, 16, 17.

### Пример решения задачи 3

Трехфазный асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором характеризуется следующими номинальными данными: мощность  $P_n = 10$  кВт, напряжение  $U_1 = 380$  В, частота вращения  $n_n = 1420$  об/мин, КПД  $\eta_n = 0,84$ , коэффициент мощности  $\cos\varphi_{1n} = 0,85$ . Кратность максимального момента (перегрузочная способность двигателя)  $\lambda = \frac{M_{\max}}{M_n} = 1,8$ .

Определить:

- 1) потребляемую активную мощность из сети при номинальной нагрузке;
- 2) номинальный и максимальный вращающие моменты;
- 3) номинальный ток;
- 4) номинальное и критическое скольжение;
- 5) построить механические характеристики  $n = f(M)$  и  $M = f(s)$ ;
- 6) определить электромагнитную мощность и потери энергии в статоре при номинальной нагрузке;
- 7) общие потери в двигателе при номинальной нагрузке;
- 8) электрические потери в роторе при номинальной нагрузке;
- 9) установить возможность пуска двигателя при полной его нагрузке на валу, т. е. когда  $M_c = M_n$ ;
- 10) установить возможность работы двигателя при кратковременной перегрузке  $M_c = 110$  Нм;
- 11) определить кратность пускового момента  $k_{п}$ ;
- 12) используя график  $n = f(M)$ , определить полезную мощность на валу двигателя  $P_2$  при  $n = 1450$  об/мин.

*Решение.* Потребляемая активная мощность при номинальной нагрузке

$$P_{1n} = \frac{P_n}{\eta} = \frac{10}{0,84} = 11,9 \text{ кВт.}$$

Номинальный и максимальный моменты:

$$M_n = 9,55 \frac{P_n}{n_n} = 9,55 \frac{10 \cdot 10^3}{1420} = 67,3 \text{ Нм; } M_{кр} = \lambda M_n = 1,8 \cdot 67,3 = 121 \text{ Нм.}$$

Номинальный ток

$$I_{1н} = \frac{P_{1н}}{\sqrt{3} U_1 \cos\varphi_{1н}} = \frac{11,9 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,85} = 21,3 \text{ А.}$$

Номинальное и критическое скольжения:

$$s_n = \frac{n_1 - n_n}{n_1} = \frac{1500 - 1420}{1500} = 0,053,$$

$$s_{кр} = s_n \left( \lambda + \sqrt{\lambda^2 - 1} \right) = 0,053 \left( 1,8 + \sqrt{1,8^2 - 1} \right) = 0,175.$$

Механическую характеристику  $M = f(s)$  строим по уравнению Клосса, а для построения  $n = f(M)$  дополнительно используем зависимость  $n = n_1(1 - s)$ . Результаты расчёта заносим в таблицу 2.24.

Таблица 2.24 – Результаты расчёта характеристик асинхронного двигателя

$s$	0,033	0,053	0,1	0,175	0,2	0,3	0,4	0,6	0,8	1,0
$n$ , об/мин	1450	1420	1350	1238	1200	1050	900	600	300	0
$M$ , Нм	44	67,3	104,3	121	120	105,3	88,38	65,2	50,5	41,2

Электромагнитная мощность при номинальной нагрузке

$$P_{эм} = M_n \omega_1 = M_n \frac{2\pi n_1}{60} = \frac{M_n n_1}{9,55} = \frac{67,3 \cdot 1500}{9,55} = 10570 \text{ Вт.}$$

Потери энергии в статоре при номинальной нагрузке

$$\Delta P_c = P_{1н} - P_{эм} = 11900 - 10570 = 1330 \text{ Вт.}$$

Электрические потери в роторе при номинальной нагрузке

$$\Delta P_{эл2} = P_{эм} s_n = 10570 \cdot 0,0533 = 560 \text{ Вт.}$$

Общие потери энергии в двигателе при номинальной нагрузке

$$P_\Sigma = P_{1н} - P_n = 11900 - 10000 = 1900 \text{ Вт.}$$

На основании табличных данных строим характеристики  $M = f(s)$  и  $n = f(M)$ , изображённые на рисунках 2.6 и 2.7.

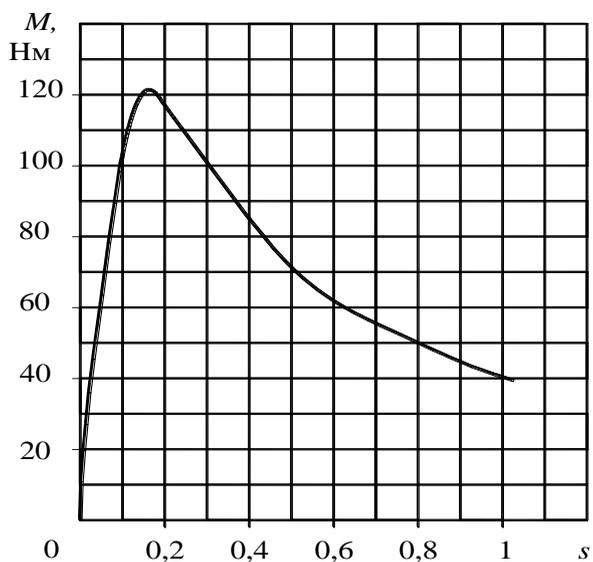


Рисунок 2.6 – Расчётная зависимость вращающего момента двигателя от скольжения

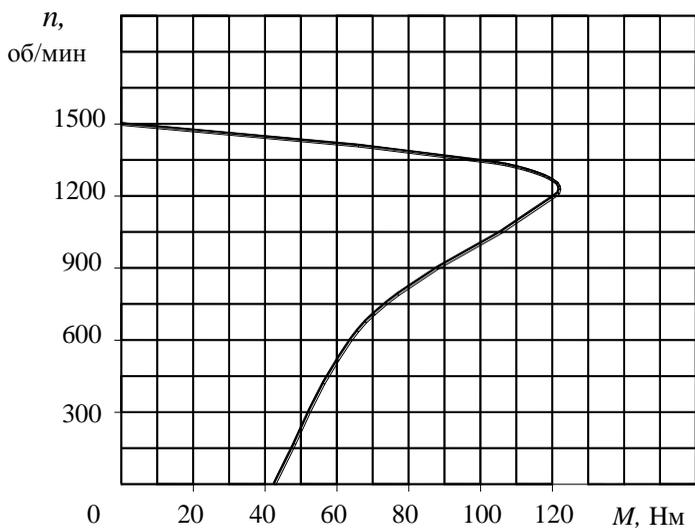


Рисунок 2.7 – Расчётная зависимость частоты вращения двигателя от вращающего момента

Из расчетной таблицы имеем при пуске двигателя  $s = 1$  и  $M_n = 41,2$  Нм. Так как  $M_c = 67,3$  Нм  $> M_n$ , то запустить двигатель нельзя. Работа двигателя при кратковременной перегрузке, равной 110 Нм, возможна, так как при этом  $M_{кр} > M_c$  ( $M_{кр} = 121$  Нм).

Кратность пускового момента

$$k_n = \frac{M_n}{M_n} = \frac{41,2}{67,3} = 0,61.$$

Полезная мощность  $P_2'$ , Вт, на валу двигателя при частоте вращения ротора  $n = 1450$  об/мин

$$P_2' = 0,104 M n = 0,104 \cdot 44 \cdot 1450 = 6635 \text{ Вт},$$

где  $M$ , Нм, берётся из рассчитанной выше таблицы для заданного  $n$ .

### Контрольные вопросы

1. Как изменится ток холостого хода  $I_0$  и номинальный коэффициент мощности двигателя  $\cos\phi_n$ , если увеличить воздушный зазор между ротором и статором?

2. Почему ток холостого хода двигателя меньше, чем ток номинального режима?

3. Почему в момент пуска двигателя ток статора имеет максимальное значение? Чему при этом равны скольжение  $s$  и частота тока ротора  $f_2$ ?

4. С какой целью вводится добавочное сопротивление реостата  $R_p$  в цепь ротора двигателя с фазным ротором?

5. Начертите искусственные механические характеристики при регулировании частоты вращения посредством изменения частоты питающей сети.

6. Почему намагничивающий ток АД составляет (25...50%)  $I_n$ , а у трансформатора он составляет (3...10%)  $I_n$ ?

7. В каком режиме ток обмотки короткозамкнутого ротора имеет максимальное значение? Чему при этом равно скольжение?

8. Чему равна частота тока ротора в момент пуска? Постройте зависимость  $f_2(s)$ .

9. Как влияет на процесс пуска двигателя момент нагрузки?

10. Как повлияет переключение обмотки статора с  $\Delta$  на  $Y$  на величину пускового момента?

11. Почему пусковые свойства двигателя с фазным ротором лучше, чем у двигателя с короткозамкнутым ротором?

12. Каким образом можно уменьшить пусковой ток двигателя с короткозамкнутым ротором?

13. Зависит ли пусковой момент асинхронного двигателя от величины напряжения сети? Постройте качественные механические характеристики двигателя при  $U_c = U_n$  и  $U_c = 0,9U_n$ .

14. Как зависит ЭДС ротора  $E_2$  от частоты его вращения  $n_2$ ? Когда в роторе наводится максимальная ЭДС?

15. Во сколько раз изменится максимальное значение момента  $M_{\max}$ , если напряжение сети снизится на 10%?

16. Начертите рабочие характеристики АД и поясните их характер.

17. Поясните вид механической характеристики трехфазного асинхронного двигателя.

18. Как изменятся величины максимального момента  $M_{\max}$  и критического скольжения  $s_{\text{кр}}$  при введении пускового реостата в цепь ротора двигателя с фазным ротором?

20. Как изменятся величина тока статора,  $\cos\phi$  и частота тока ротора  $f_2$  при уменьшении противодействующего момента на валу двигателя?

21. Напишите уравнения намагничивающих сил и электрического состояния цепей ротора и статора АД.

22. Почему при введении реостата в цепь ротора АД с фазным ротором пусковой ток уменьшается, а пусковой момент увеличивается?

23. Каковы основные достоинства асинхронного двигателя? Начертите искусственные механические характеристики АД при регулировании частоты вращения изменением числа пар полюсов.

24. Как изменяется величина критического скольжения  $s_{\text{кр}}$  с изменением величины добавочного сопротивления, введенного в цепь ротора?

26. Перечислите способы регулирования частоты вращения АД и указать наиболее экономичные из них.

27. Каково соотношение индуктивного сопротивления фазы ротора при пуске и в номинальном режиме?

28. Для чего последовательно с пусковой обмоткой однофазного АД включается конденсатор?

29. Сравните магнитные потери в статоре и роторе и укажите способы их уменьшения.

## 2.3 Машины постоянного тока

### Задача 4. Расчет обмоток якоря

По данным, приведенным в таблице 2.25, рассчитать параметры и начертить развернутую схему простой двухслойной петлевой (ПП) или простой двухслойной волновой (ПВ) обмотки якоря на основании обмоточной таблицы. На схеме обозначить полюсы, расставить щетки. Выполнить намотку обмотки на стенде, предоставленном преподавателем.

Таблица 2.25 – Исходные данные к задаче 4

Величины	Варианты							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Число пазов $Z$	35	35	35	35	35	35	35	35
$2p$	2	4	6	8	2	4	6	8
Тип обмотки	ПП	ПП	ПП	ПП	ПВ	ПВ	ПВ	ПВ

### Теоретические сведения для решения задачи 4

#### Простая петлевая обмотка

Петлевой обмотку называют потому, что ее секции имеют форму петли (рисунок 2.8). В простой петлевой обмотке начало и конец секции присоединены к рядом расположенным коллекторным пластинам.

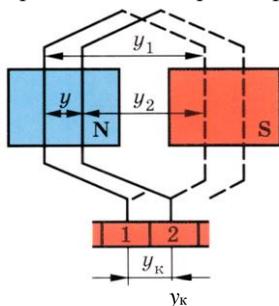


Рисунок 2.8 –  
Петлевая обмотка

Обмотку якоря машин постоянного тока делают двухслойной. В каждом пазу такой обмотки располагаются две активные стороны двух различных секций: начальная сторона одной секции вверху паза и конечная сторона другой – внизу.

При расчетах многослойных обмоток применяют понятие элементарного паза, под которым понимают паз с двумя активными сторонами. В многослойной обмотке в одном реальном пазу может быть несколько элементарных пазов.

Так как в секции есть две активные стороны, то каждой секции соответствует один элементарный паз, и на каждую секцию приходится одна коллекторная пластина, поскольку к каждой пластине присоединяют начало одной секции и конец другой. Поэтому для любой многослойной обмотки

$$S = K = Z_{эл},$$

где  $S$  – число секций в обмотке якоря;

$K$  – число коллекторных пластин;

$Z_{эл}$  – число элементарных пазов.

Расчетные формулы для простой двухслойной петлевой обмотки:

$$y_1 = \frac{Z_{эл}}{2p} \pm b; \quad y = y_k = 1; \quad y = y_1 - y_2,$$

где  $b$  – число, которое отнимают или добавляют, чтобы при делении  $y_1$  было целым числом.

Схема-развертка якорной обмотки представляет собой вид на якорь сверху (полюса находятся над якорем) после разрезания цилиндрической поверхности якоря по образующей и развертывания ее на плоскость.

Рекомендуется схему-развертку выполнять в следующем порядке:

1 На листе миллиметровой или клетчатой бумаги изображают  $Z_{эл}$  элементарных пазов в виде отрезков вертикальных линий – сплошного (слева), который изображает верхнюю сторону, и пунктирного (справа), изображающего нижнюю активную сторону.

2 Нумеруют элементарные пазы по порядку, начиная с первого и заканчивая последним ( $Z_{эл}$ ). Эта нумерация является основной нумерацией всех элементов обмотки: номер паза является номером секции, начало которой лежит в верхнем слое паза, и коллекторной пластине, с которой соединено начало секции. Так как в каждом пазу лежат две активные стороны, то верхнюю сторону обозначают номером паза без штриха, а нижнюю – номером паза со штрихом.

3 Производят разметку положения и нумерацию коллекторных пластин. Для этого посередине между элементарными пазами  $N_1 = 1$  и  $N_n = 1 + y_1$  (рисунок 2.9) проводят вертикальную линию  $ab$ , на которой находится вершина верхней лобовой части секции № 1.

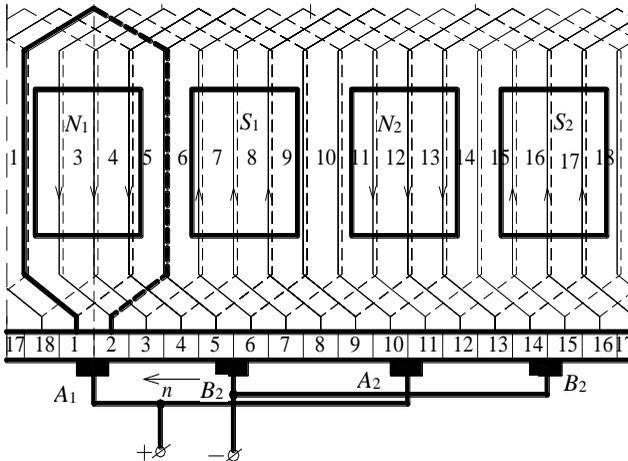


Рисунок 2.9 – Схема-развертка простой двухслойной петлевой обмотки при  $Z_{эл} = S = K = 18; p = 2; y_1 = 4; y_k = 1$

В случае простой петлевой обмотки (см. рисунок 2.9) на этой же линии  $ab$  находится граница (изоляционный промежуток) между коллекторными пластинами 1 и 2. Найдя положение пластин 1 и 2, размечают остальные пластины, приняв их ширину  $t_k$  равной расстоянию между элементарными пазами.

Наносят на схему-развертку контуры главных полюсов. Щетки должны быть расположены напротив середины полюсов на расстоянии  $K/2p$  коллекторных делений друг от друга. Задавшись направлением вращения (рекомендуется взять против вращения часовой стрелки) и полярностью главных полюсов, определяют полярность щеток (с учетом режима работы машины – генераторный или двигательный). Все щетки одинаковой полярности соединяются друг с другом.

Для определения полярности щеток необходимо выявить направление ЭДС в какой-либо секции и перенести это направление на схему параллельных ветвей (рисунок 1.10). Схема параллельных ветвей представляет собой электрическую схему соединения секций, которые изображаются в виде полуокружностей. Схема показывается для того момента времени, для которого выполнена схема-развертка. Щетки образуют  $2a$  параллельных ветвей и замыкают накоротко секции, проходящие коммутацию (одновременно соединенные щетками).

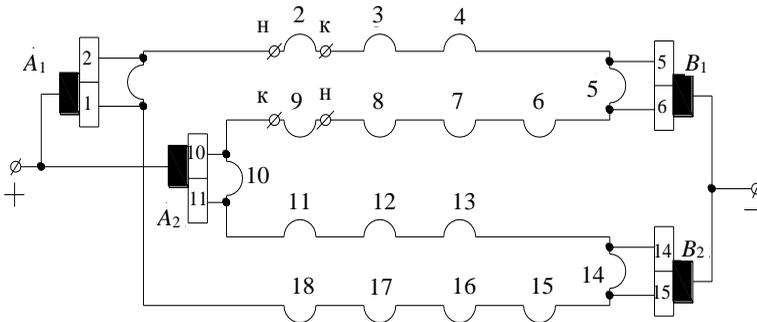


Рисунок 2.10 – Схема параллельных ветвей простой двухслойной петлевой обмотки, изображенной на рисунке 2.9

Выполнение петлевой обмотки рассмотрим на примере 1.1.

**Пример.** Рассчитать и вычертить простую двухслойную петлевую обмотку, если известно, что  $2p = 4; Z_{эл} = 12$ .

**Решение.** Для простой петлевой двухслойной обмотки

$$y = y_k = 1; \quad Z_{эл} = K = S = 12; \quad y_1 = Z_{эл} / (2p) \pm b = 12 / 4 \pm 0 = 3.$$

Производим нумерацию пазов, произвольно выбрав первый. При определении номера паза, в который нужно укладывать конец первой секции, прибавляем  $y_1$ :  $1 + 3 = 4$ . По приведенной выше методике размечаем положения коллекторных пластин. Начинаем выполнять обмотку с первой коллекторной пластины, затем укладываем ее в паз 1 (рисунок 1.17, а). Конец секции укладываем в паз 4 и присоединяем ее ко второй коллекторной пластине, так как  $y_k = 1$ , т. е. между началом и концом секции по коллектору находится один изоляционный промежуток.

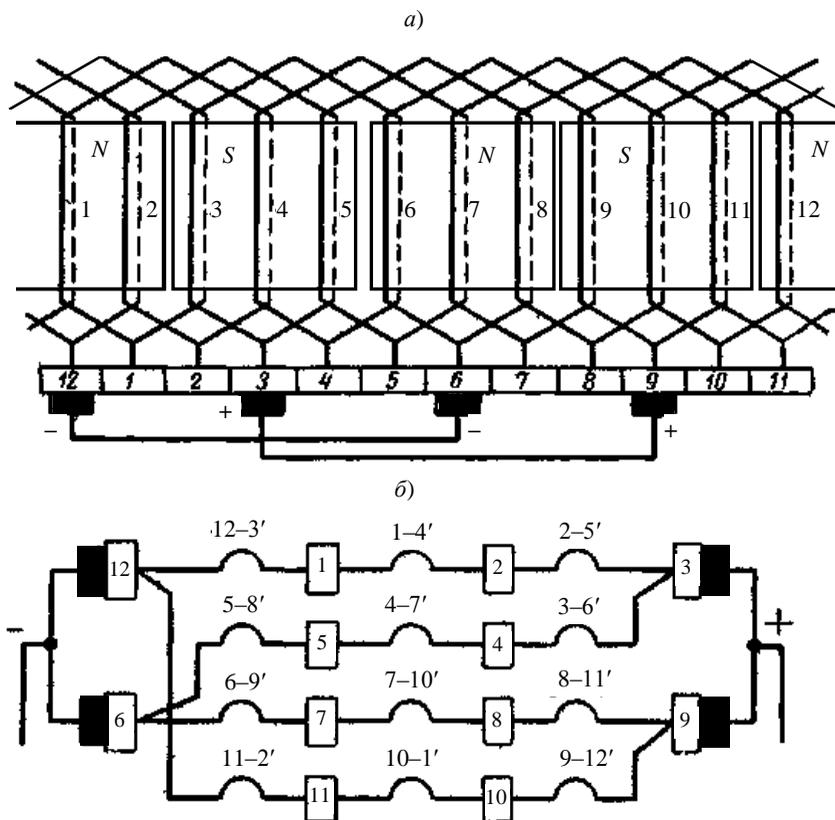


Рисунок 2.11 – Простая петлевая двухслойная обмотка:  
 а – развертка обмотки; б – схема параллельных ветвей

Вторую секцию начинаем со второй коллекторной пластины. Для определения номера паза, в который нужно уложить начало второй секции, к номеру паза, в котором лежит начало первой секции, прибавляем  $y$ :  $1 + 1 = 2$ . Начало второй секции находится в пазу 2. В дальнейшем обмотка

рассчитывается по тому же принципу. Для облегчения выполнения обмотки составляем обмоточную таблицу (таблица 2.26). Номера сторон секций, лежащих внизу паза, снабдим в обмоточной таблице штрихом.

Принцип составления обмоточной таблицы заключается в следующем. В первой графе по вертикали к каждой цифре прибавляем  $y_k$ , по второй по вертикали –  $y$ , а по горизонтали –  $y_1$  в третьей по вертикали –  $y_k$ .

Таблица 2.26 – Обмоточная таблица

Номер коллекторной пластины, к которой припаяно начало секции	Номера пазов, в которых лежит секция	Номер коллекторной пластины, к которой припаян конец секции
↓ $y_k$	→ $y_1$	↓ $y_k$
1	1–4'	2
2	2–5'	3
3	3–6'	4
4	4–7'	5
5	5–8'	6
6	6–9'	7
7	7–10'	8
8	8–11'	9
9	9–12'	10
10	10–1'	11
11	11–2'	12
12	12–3'	1

Составим схему параллельных ветвей простой петлевой двухслойной обмотки (рисунок 2.11, б). Если начать вычерчивать параллельную ветвь с положительной щетки, то закончится она на отрицательной. Начертим параллельную ветвь, начиная с коллекторной пластины 3, на которой расположена щетка. Обходя обмотку по часовой стрелке, наносим на схему секцию 3–6', которая заканчивается на коллекторной пластине 4. Далее вычерчиваем секцию 4–7', выходящую из коллекторной пластины 4. Секция 4–7' заканчивается на коллекторной пластине 4. После этого следует секция 5–5', конец ее присоединен к коллекторной пластине 6, на которой стоит отрицательная щетка. Далее, обходя обмотку по часовой стрелке, составляем схему параллельных ветвей, которых в данной обмотке четыре.

### Простая волновая обмотка

Волновой обмотку называют потому, что по форме секция обмотки

напоминает волну. Шаги простой волновой обмотки представлены на рисунке 2.12.

Расчетные формулы для простой двухслойной волновой обмотки:

$$y = y_1 + y_2; \quad y_k = \frac{K \pm 1}{p}; \quad 2a = 2; \quad y_1 = \frac{Z_{\text{эл}}}{2p} \pm b.$$

Число параллельных ветвей  $2a$  простой волновой обмотки независимо от числа полюсов машины всегда равно двум.

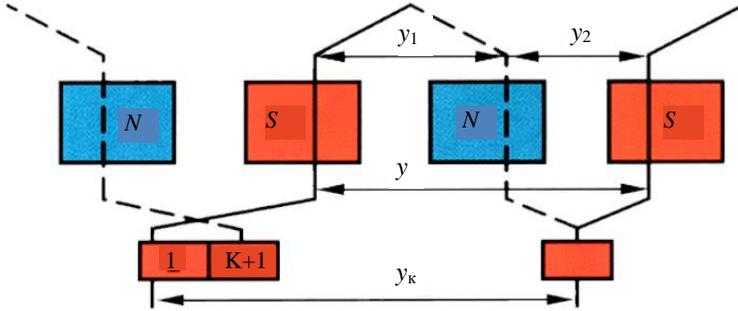


Рисунок 2.12 – Волновая обмотка

Пример выполнения простой двухслойной волновой обмотки для  $Z_{\text{эл}} = S = K = 19; p = 2; y_1 = 4; y_k = 9$  приведен на рисунке 1.19, а ее схема параллельных ветвей на рисунке 1.20.

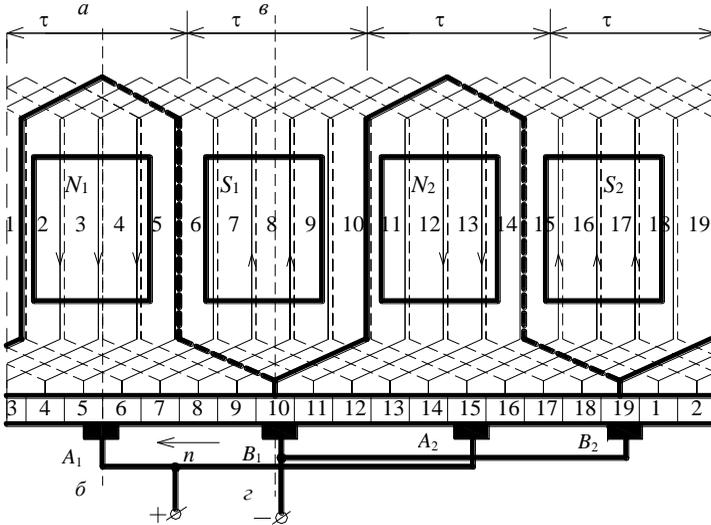


Рисунок 2.13 – Схема-развертка простой двухслойной волновой обмотки при  $Z_{\text{эл}} = S = K = 19; p = 2; y_1 = 4; y_k = 9$

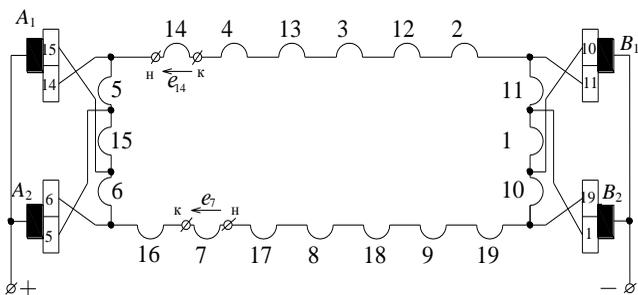


Рисунок 2.14 – Схема параллельных ветвей простой двухслойной волновой обмотки, соответствующая рисунку 1.19

Для разметки положения и нумерации коллекторных пластин посередине между элементарными пазами  $N_1 = 1$  и  $N_n = 1 + y_1$  (см. рисунок 2.13) проводят вертикальную линию  $ab$ , на которой находится вершина верхней лобовой части секции № 1. В случае простой волновой обмотки для разметки пластин коллектора необходимо найти элементарный паз  $N_n$ , в котором лежит начало следующей за первой секции ( $N_n = N_1 + y_k = 1 + y_k$ ).

Посередине между пазами  $(1 + y_1)$  и  $(1 + y_k)$  (см. рисунок 2.13) проводят линию  $вz$ , которая делит коллекторную пластину с номером  $N_n$  пополам. Найдя положение коллекторной пластины  $N_n$ , размечают остальные пластины в порядке дальнейшей последовательности цифр.

**Пример.** Рассчитать и вычертить простую двухслойную волновую обмотку, составить обмоточную таблицу, если известно, что  $2p = 4$ ;  $Z_{эл} = K = S = 9$ .

$$\text{Решение. } y_k = \frac{K \pm 1}{p} = \frac{9 - 1}{2} = 4; \quad y_1 = \frac{Z_{эл} \pm b}{2p} = \frac{9}{4} - \frac{1}{4} = 2; \quad y_2 = y - y_1 = 4 - 2 = 2.$$

Обмотку выполняем аналогично петлевой, но с шагом по коллектору  $y_k = 4$  (например, если начало первой секции присоединить к коллекторной пластине 1, то конец этой секции присоединяем к коллекторной пластине 5; начала секций располагаем также на расстоянии  $y = 4$ ). Развернутая схема обмотки приведена на рисунке 2.15. Для облегчения выполнения обмотки составляем обмоточную таблицу (таблица 2.27). При данном положении якоря в схеме обмотки секции 2–4', 7–9' и 9–2' замкнуты накоротко проводниками, соединяющими щетки одноименной полярности.

Число щеток к обмотке должно быть не меньше одной на каждую параллельную ветвь. Поэтому в данном случае можно было бы ограничиться и двумя щетками, но принято ставить столько щеток в машине, сколько в ней полюсов, что сопровождается снижением тока,

приходящегося на одну щетку, уменьшением размеров коллектора и позволяет достигнуть большей симметрии обмоток.

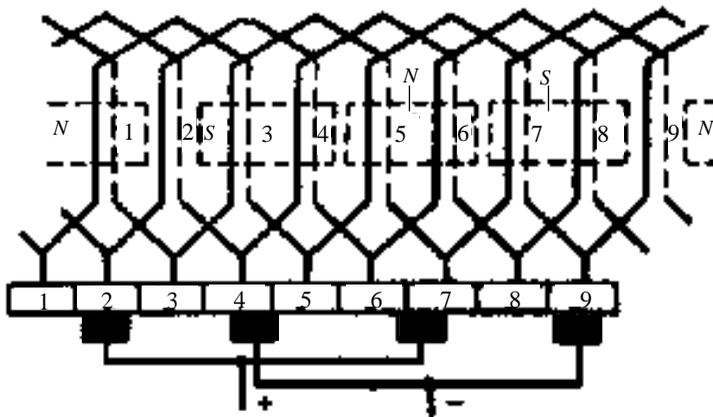


Рисунок 2.15 – Развертка простой волновой двухслойной обмотки

Таблица 2.27 – Обмоточная таблица

Номер коллекторной пластины, к которой припаяно начало секции	Номера пазов, в которых лежит секция	Номер коллекторной пластины, к которой припаян конец секции	
$\downarrow$ $U_k$	$\rightarrow y_1$ 1-3' 5-7' 9-2' 4-6' 8-1' $y$ 3-5' 7-9' 2-4' 6-8'	$\downarrow$ $U_k$	
	1		5
	5		9
	9		4
	4		8
	8		3
	3		7
	7		2
	2		6
6	1		

**Задача 5. Расчет двигателя постоянного тока параллельного возбуждения**

Двигатель постоянного тока параллельного возбуждения характеризуется следующими номинальными величинами: мощность на валу  $P_n$ , напряжение на зажимах двигателя  $U_n$ , частота вращения  $n_n$ , потери мощности в цепях

якоря  $\Delta P_{ан}$ , коэффициент полезного действия  $\eta_n$ , процентное значение тока возбуждения  $i_{вн}\%$ . Необходимо:

1 Определить для номинального режима работы момент на валу двигателя  $M_n$ , ток якоря  $I_{ан}$ , ток обмотки возбуждения  $I_{вн}$  и ток, потребляемый из сети  $I_n$ .

2 Выбрать сопротивление пускового реостата  $R_{пуск}$  из условия, чтобы пусковой ток был в 2,5 раза больше номинального  $I_{ан}$ .

3 Рассчитать и построить графики зависимостей  $n = f(I_a)$ ,  $n = f(M)$ ,  $\eta = f(I_a)$ .

4 Определить пределы изменения частоты вращения двигателя при регулировании добавочного сопротивления в цепи якоря от 0 до  $4 R_a$  и токе  $I_a = I_{ан}$ .

Числовые значения заданных величин исходных данных для каждого из вариантов указаны в таблице 2.28.

Таблица 2.28 – Исходные данные к задаче 5

Номер варианта	$U_n$ , В	$P_n$ , кВт	$n_n$ , об/мин	$\eta_n$ , %	$i_{вн}$ , %	$\Delta P_{ан}$ , Вт
1	110	0,7	3000	73,5	10	100
2	220	0,3	1500	64	9	80
3	110	0,13	1000	59	10	50
4	110	1,0	3000	76	9	120
5	220	0,45	1500	70	8	75
6	110	0,2	1000	65,5	12	40
7	110	1,5	3000	76	8	200
8	220	0,7	1500	74	10	80
9	110	0,3	1000	80,5	5	32
10	110	2,2	3000	80	9	200
11	220	1,0	1500	76,5	8	145
12	110	0,45	1000	72	10	75
13	110	3,2	3000	83	6	250
14	220	1,5	1500	78,5	10	160
15	110	0,7	1000	75	7	120
16	110	1,0	3000	86	5	60
17	220	0,37	1500	66	14	87
18	110	0,25	1500	75	7	40
19	110	0,17	750	73	8	28
20	220	2,0	3000	75	10	250
21	110	0,75	1500	64	8	150
22	110	0,5	1000	62	12	100
23	220	1,3	3000	71	10	200
24	110	0,55	1500	76	9	70
25	220	0,34	1000	77	10	35

26	110	0,2	750	67	7	34
27	220	2,5	1140	85	8	180

Окончание таблицы 2.28

Номер варианта	$U_{ш}$ , В	$P_{ш}$ , кВт	$n_{ш}$ , об/мин	$\eta_{ш}$ , %	$i_{ш}$ , %	$\Delta P_{ш}$ , Вт
28	220	4,5	1030	82,5	5	400
29	220	5,5	1440	83	5	450
30	220	6,0	1100	85	4	470
31	220	1,5	3000	75	4	141
32	220	1,5	1500	78	5,3	166
33	220	2,2	1500	83	5	156
34	220	2,2	3000	80	2,5	153
35	220	3,2	3000	83	4,4	180
36	220	4,5	1000	81	4,7	364
37	220	4,5	1500	80	3,8	465
38	220	4,5	3000	84	3,4	194
39	220	6,0	1500	82	5	469
40	220	6,0	1000	83	4,3	481
41	220	6,2	3000	85	2,4	374
42	220	6,6	2200	85,7	1,7	359
43	220	8,0	1000	84,5	3,4	562
44	220	9,0	1500	85	1,6	535
45	220	10,0	1000	72	4,1	1095
46	220	10,0	750	78,4	4	1104
47	220	12,5	1000	74,7	2,7	1297
48	220	14,0	750	80	3	1432
49	220	17,0	750	83	3,2	1272
50	220	19,0	600	81,5	4,7	2020
51	220	20,5	970	84,7	1,7	1005
52	220	25,0	750	83,5	3,6	1750
53	220	25,0	600	83	3,3	1918
54	220	32,0	750	87,6	3	2644
55	220	42,0	600	93,6	5	1852
56	220	55,0	600	87	2,4	2827
57	220	70,0	600	88	2,5	2500
58	220	3,2	1500	79	6	308

### Пример решения задачи 5

Двигатель постоянного тока параллельного возбуждения характеризуется следующими номинальными величинами: мощность на валу  $P_n = 70$  кВт, напряжение на зажимах двигателя  $U_n = 220$  В, номинальная частота вращения якоря  $n = 600$  об/мин, коэффициент полезного действия  $\eta_n = 88\%$ , ток возбуждения  $i_{вн} = 0,025 I_n$ , потери мощности в цепи якоря  $\Delta P_{ан} = 2500$  Вт. Механические потери в стали и добавочные потери считаем постоянными.

Необходимо:

1 Определить для номинального режима работы момент на валу двигателя  $M_n$ , ток якоря  $I_{ан}$ , ток обмотки возбуждения  $I_{вн}$  и ток, потребляемый из сети  $I_n$ .

2 Найти сопротивление цепи возбуждения  $r_b$  и цепи якоря  $r_a$ , сопротивление пускового реостата  $r_{пуск}$ , чтобы пусковой ток был в 2,5 раза больше номинального  $I_{ан}$ .

3 Рассчитать и построить графики зависимостей  $n = f(I_a)$ ,  $n = f(M)$ ,  $\eta = f(I_a)$ .

4 Определить пределы изменения частоты вращения двигателя при регулировании добавочного сопротивления в цепи якоря от 0 до  $4r_a$  и токе в обмотке якоря  $I_a = I_{ан}$ .

*Решение.* Номинальный момент на валу двигателя

$$M_n = 9,55 \frac{P_n}{n_n} = 9,55 \frac{70 \cdot 10^3}{600} = 1114 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Мощность, потребляемая двигателем из сети,

$$P_{1н} = \frac{P_n}{\eta_n} = \frac{70 \cdot 10^3}{0,88} = 79545 \text{ Вт}.$$

Ток, потребляемый из сети в номинальном режиме,

$$I_n = \frac{P_{1н}}{U_n} = \frac{79,545 \cdot 10^3}{220} = 361,57 \text{ А}.$$

Ток обмотки возбуждения в номинальном режиме работы

$$I_b = i_b I_n = 0,025 \cdot 361,57 = 9,04 \text{ А}.$$

Номинальный ток якоря

$$I_{ан} = I_n - I_b = 361,57 - 9,04 = 352,53 \text{ А}.$$

Сопротивление цепи возбуждения

$$r_b = \frac{U_n}{I_b} = \frac{220}{9,04} = 24,33 \text{ Ом}.$$

Сопrotивление цепи якоря

$$r_a = \frac{\Delta P_{ан}}{I_{ан}^2} = \frac{2500}{352,53^2} = 0,02 \text{ Ом.}$$

Сопrotивление пускового реостата, ограничивающего пусковой ток в 2,5 раза больше номинального,

$$r_{пуск} = \frac{U_n}{I_{анпуск}} - r_a = \frac{U_n}{2,5I_{ан}} - r_a = \frac{220}{2,5 \cdot 352,53} - 0,02 = 0,226 \text{ Ом.}$$

ПротивоЭДС, индуцируемая в обмотке якоря при номинальной частоте вращения,

$$E_n = U_n - r_a I_{ан} = 220 - 0,02 \cdot 352,53 = 212,9 \text{ В.}$$

Частота вращения якоря в режиме идеального холостого хода

$$n_0 = \frac{n_n U_n}{E_n} = \frac{600 \cdot 220}{212,9} = 620 \frac{\text{об}}{\text{мин}}.$$

Определим частоту вращения двигателя при сопротивлении в цепи якоря  $r_d = 4r_a$  и токе  $I_a = I_{ан}$ :

$$n = n_n \frac{U_n - (r_a + 4r_a)I_{ан}}{E_n} = 600 \frac{220 - (0,02 + 4 \cdot 0,02) \cdot 352,53}{212,9} = 520 \frac{\text{об}}{\text{мин}}.$$

Рассчитаем мощности потерь двигателя в номинальном режиме:  
– суммарные

$$P_{\Sigma} = P_{мех} - P_n = 79,545 \cdot 10^3 - 70 \cdot 10^3 = 9545 \text{ Вт.}$$

– в цепи возбуждения

$$P_{вн} = r_{вн} I_{вн}^2 = 24,33 \cdot 9,04^2 = 1988,3 \text{ Вт.}$$

– в цепи якоря (из условия задачи)

$$\Delta P_{ан} = 2500 \text{ Вт.}$$

– механические, добавочные и потери в стали

$$P_{ост} = (P_{мех} + P_{ст} + P_{доб}) = P_{\Sigma} - P_{вн} - P_{ан} = 9545 - 1988,3 - 2500 = 5056,7 \text{ Вт.}$$

На рисунке 2.16 представлена механическая естественная характеристика двигателя параллельного возбуждения  $n = f(M)$ , построенная по двум точкам:

– холостой ход ( $M = 0$ ;  $n_0 = 620$  об/мин);

– номинальный режим работы ( $M_n = 1114$  Нм;  $n_n = 600$  об/мин).

На рисунке 2.17 представлена зависимость  $n = f(I_a)$ , построенная по двум точкам:

– холостой ход ( $I_a = 0$ ;  $n_0 = 620$  об/мин);

– номинальный режим работы ( $I_{ан} = 352,53$  А;  $n_n = 600$  об/мин).

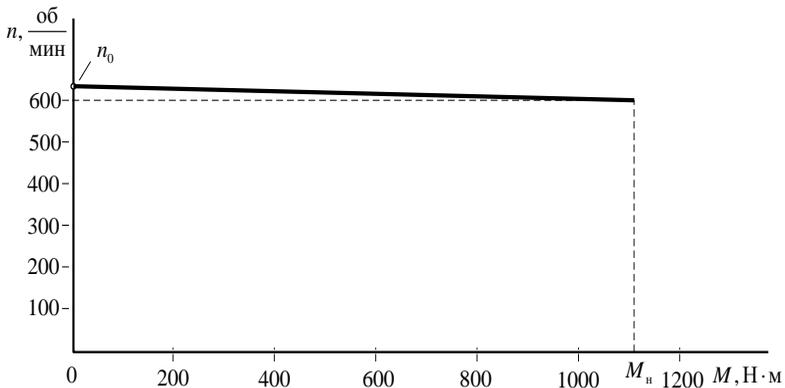


Рисунок 2.16 – Механическая естественная характеристика  $n = f(M)$

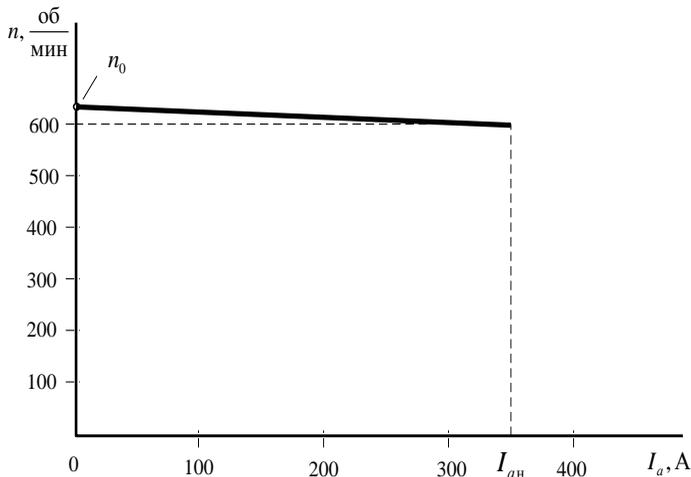


Рисунок 2.17 – Зависимость  $n = f(I_a)$

Рассчитаем график зависимости  $\eta = f(I_a)$ , задаваясь значениями 0, 0,25; 0,5; 0,75; 1;  $1,25I_{ан}$ . В расчетах (например, для значения  $0,25I_{ан}$ ) используем следующие формулы:

– мощность потребляемая из сети

$$P'_1 = U_n (0,25I_{ан} + I_{Вн}) = 220 \cdot (0,25 \cdot 352,53 + 9,04) = 21378 \text{ Вт};$$

– мощность на валу двигателя

$$P'_2 = P'_1 - P_{Вн} - (P_{мех} + P_{ст} + P_{доб}) - 0,25^2 P_{ан} = 21378 - 1988,3 - 5056,7 - 0,25^2 \cdot 2500 = 14177 \text{ Вт};$$

– КПД при  $0,25I_{ан}$

$$\eta = \frac{P'_2}{P'_1} = \frac{14177}{21378} = 0,663.$$

Результаты расчета зависимости  $\eta = f(I_a)$  представлены в таблице 2.29 и на рисунке 2.18.

Таблица 2.29 – Результаты расчета зависимости  $\eta = f(I_a)$

$I_a, A$	0	88,1	176,27	264,4	352,53	440,66
$\eta$	0	0,663	0,812	0,86	0,88	0,889

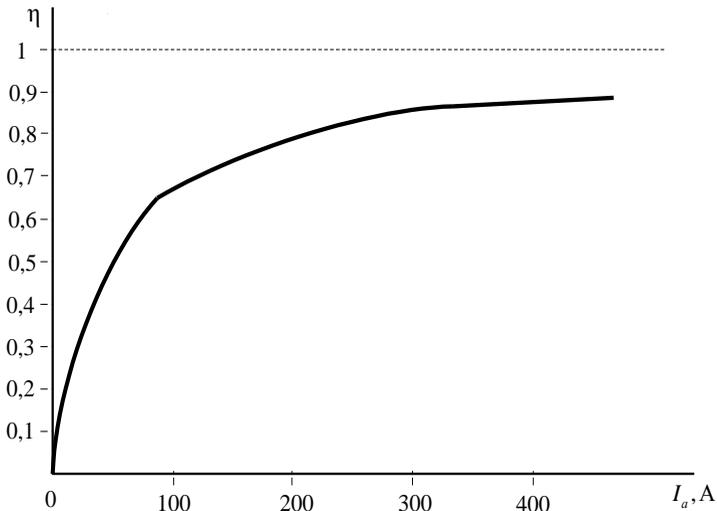


Рисунок 2.18 – Зависимость  $\eta = f(I_a)$

### Задача 6. Расчет двигателя постоянного тока последовательного возбуждения

Двигатель постоянного тока последовательного возбуждения при номинальном режиме работы имеет: напряжение на зажимах двигателя  $U_n$ , мощность на валу  $P_n$ , частоту вращения  $n_n$ , потери мощности в обмотке якоря  $\Delta P_{ан}$  и в обмотке возбуждения  $\Delta P_{вн}$ , прочие потери мощности  $\Delta P_M$ .

Определить:

- 1 Мощность, потребляемую из сети  $P_{1н}$ , ток двигателя  $I_n$ , момент  $M_n$ .
- 2 Сопротивление якорной обмотки  $R_a$  и обмотки возбуждения  $R_b$ .
- 3 Построить зависимости частоты вращения якоря и момента от тока якоря, т.е.  $n = f(I_a)$  и  $M = f(I_a)$ . Используя указанные зависимости, рассчитать и построить механическую характеристику двигателя  $n = f(M)$ .

*Примечание* – При выполнении п. 3 воспользоваться зависимостью  $\phi\% = f(i_B\%)$ , приведенной в таблице:

$\phi, \%$	5	26	48	70	90	100
$i_B, \%$	0	20	40	60	80	100

Числовые значения заданных величин исходных данных для каждого из вариантов указаны в таблице 2.29.

**Таблица 2.29 – Исходные данные к задаче 6**

Номер варианта	$P_{из}, \text{Вт}$	$U_{из}, \text{В}$	$n, \text{об/мин}$	$\Delta P_{ан}, \text{Вт}$	$\Delta P_{вн}, \text{Вт}$	$\Delta P_{м}, \text{Вт}$
1	250	30	1460	37	34	44
2	250	100	1700	29	15	56
3	550	200	3600	33	17	87
4	250	160	1700	44	24	32
5	150	30	850	27	21	62
6	150	110	850	35	22	65
7	150	160	850	27	25	65
8	100	30	1300	50	47	23
9	100	100	1500	26	26	18
10	100	160	1500	26	33	12
11	2500	220	1100	310	300	50
12	4500	220	900	650	560	90
13	6000	220	850	600	580	120
14	5500	220	1200	620	47	110
15	4000	440	1050	500	420	80
16	6700	440	800	650	620	130
17	7000	440	1180	660	600	140
18	8000	220	800	740	700	160
19	12000	220	675	650	550	240
20	16000	220	650	800	760	320
21	12000	220	1100	600	590	240
22	18000	220	960	1520	1480	360
23	15000	440	660	1400	1300	300

Окончание таблицы 2.29

Номер варианта	$P_{и}, \text{Вт}$	$U_{и}, \text{В}$	$n, \text{об/мин}$	$\Delta P_{ам}, \text{Вт}$	$\Delta P_{вн}, \text{Вт}$	$\Delta P_{м}, \text{Вт}$
24	17000	440	970	1360	1300	340
25	22000	220	575	1660	1600	440
26	14000	220	970	1770	1680	480
27	32000	220	900	2160	2000	640
28	37000	220	525	2560	2200	740
29	37000	440	500	2500	2300	700
30	32000	4402	950	1800	1780	650
31	19000	20	600	2225	46	2042
32	10000	220	750	1201	67	1471
33	4500	220	1000	401	21	634
34	1500	220	1500	185	16	209
35	1500	220	3000	161	16	296
36	25000	220	600	2053	89	2798
37	14000	220	750	1523	62	1807
38	6000	220	1000	525	10	651
39	2200	220	1500	173	13	248
40	2200	220	3000	161	9	380
41	42000	220	600	845	30	6247
42	17000	220	750	1358	76	2048
43	8000	220	1000	606	13	792
44	3200	220	1500	349	11	491
45	3200	220	3000	197	13	445
46	55000	220	600	2965	165	5088
47	25000	220	750	1887	74	2980
48	10000	220	1000	1191	42	1346
49	4500	220	1500	503	3	584
50	4500	220	3000	208	13	636
51	70000	220	600	3414	156	5975
52	32000	220	750	571	1171	3467
53	12500	220	1000	1142	67	1423
54	6000	220	1500	520	8	789
55	6000	220	3000	392	8	873
56	6000	220	1000	576	9	823
57	8000	220	3000	836	11	733
58	11000	220	1500	1097	28	969
59	14000	220	1500	1571	325	289
60	19000	220	1500	1665	52	1769

### Пример решения задачи 6

Двигатель постоянного тока последовательного возбуждения характеризуется следующими номинальными величинами: мощность на валу  $P_n = 2500$  Вт, напряжение на зажимах двигателя  $U_n = 220$  В, номинальная частота вращения якоря  $n = 1100$  об/мин, потери мощности в цепях обмотки якоря  $\Delta P_{ан} = 310$  Вт и обмотки возбуждения якоря  $\Delta P_{вн} = 300$  Вт, прочие потери мощности  $\Delta P_m = 50$  Вт.

Необходимо:

1 Найти мощность, потребляемую из сети  $P_{1н}$ , ток двигателя  $I_n$ , момент на валу  $M_n$ .

2 Сопротивление якорной обмотки  $r_a$  и обмотки возбуждения  $r_b$ .

3 Построить зависимости частоты вращения якоря и момента от тока якоря, т. е.  $n = f(I_a)$  и  $M = f(I_a)$ . Используя указанные зависимости, рассчитать и построить механическую характеристику двигателя  $n = f(M)$ .

При выполнении п. 3 необходимо учесть насыщение магнитопровода, используя зависимость  $\frac{\Phi}{\Phi_n} = f\left(\frac{I_b}{I_{бн}}\right)$ , приведенную в таблице 2.30.

Таблица 2.30 – Зависимость магнитного потока от тока возбуждения

$\frac{\Phi}{\Phi_n}$	0,05	0,26	0,48	0,7	0,9	1
$\frac{I_b}{I_{бн}}$	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1

*Решение.* Номинальный момент на валу двигателя

$$M_n = 9,55 \frac{P_n}{n_n} = 9,55 \frac{2500}{1100} = 21,7 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Мощность, потребляемая двигателем из сети, при номинальном режиме работы

$$P_{1н} = P_n + \Delta P_{ан} + \Delta P_{вн} + \Delta P_m = 2500 + 300 + 310 + 50 = 3160 \text{ Вт}.$$

Ток, потребляемый из сети в номинальном режиме,

$$I_n = \frac{P_{1н}}{U_n} = \frac{3160}{220} = 14,36 \text{ А}.$$

Сопротивление цепи возбуждения

$$r_b = \frac{\Delta P_{вн}}{I_n^2} = \frac{300}{14,36^2} = 1,454 \text{ Ом}.$$

Сопротивление цепи якоря

$$r_a = \frac{\Delta P_{ан}}{I_n^2} = \frac{310}{14,36^2} = 1,5 \text{ Ом}.$$

Для определения частоты вращения якоря при токах  $I_a = (0,2; 0,4; 0,6; 0,8)I_n$  необходимо воспользоваться зависимостью  $\frac{\Phi}{\Phi_n} = f\left(\frac{I_B}{I_{Bn}}\right)$ , приведенную в таблице 2.30.

Учитывая, что у двигателя последовательного возбуждения  $I_a = I_B$ , то, задаваясь значениями тока и данными из условия для номинальной частоты вращения двигателя, определяем частоту вращения по формуле

$$n = n_n \left( \frac{\Phi_n}{\Phi} \right) \frac{U_n - \left( \frac{I_B}{I_{Bn}} \right) (r_a + r_B) I_n}{U_n - (r_a + r_B) I_n}.$$

Выполним подстановку чисел для расчета частоты вращения при  $I_a = 0,2I_n$ :

$$n = 1100 \cdot \left( \frac{1}{0,26} \right) \cdot \frac{220 - 0,2 \cdot (1,454 + 1,5) \cdot 14,36}{220 - (1,454 + 1,5) \cdot 14,36} = 5039,3 \frac{\text{об}}{\text{мин}}.$$

Для расчета момента на валу используем формулу  $M = c_M \Phi I_a$ , с учетом номинального режима выразим  $c_M \Phi_n = M_n / I_n$ . Тогда при любом режиме работы двигателя (при любом токе  $I_a$ )

$$M = c_M \Phi I_a = M_n \left( \frac{\Phi}{\Phi_n} \right) \left( \frac{I_B}{I_{Bn}} \right).$$

Выполним подстановку чисел для расчета частоты вращения при  $I_a = 0,2I_n$ :

$$M = 21,7 \cdot 0,26 \cdot 0,2 = 1,128 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Результаты расчета тока в обмотке якоря, частоты вращения и момента представлены в таблице 2.31.

Таблица 2.31 – Результаты расчета

$\Phi/\Phi_n$	0,26	0,48	0,7	0,9	1
$I_B/I_{Bn}$	0,2	0,4	0,6	0,8	1
$I_a, \text{А}$	2,87	5,74	8,62	11,49	14,36
$M, \text{Нм}$	1,128	4,17	9,12	15,63	21,7
$n, \text{об/мин}$	5039,3	2620,6	1721,8	1280,7	1100

На основании результатов расчета, представленных в таблице 2.31, построим зависимости  $n = f(M)$ ,  $n = f(I_a)$  и  $M = f(I_a)$ , представленные соответственно на рисунках 2.19–2.21.

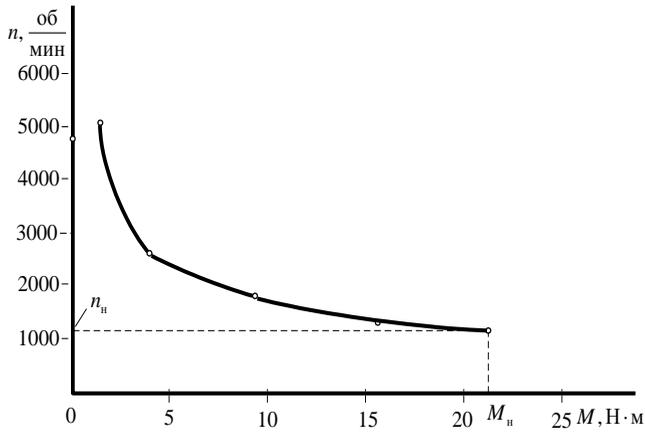


Рисунок 2.19 – Механическая характеристика  $n = f(M)$

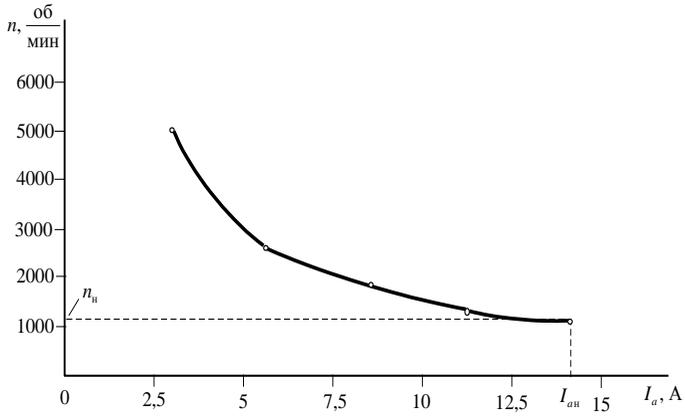


Рисунок 2.20 – Зависимость  $n = f(I_a)$

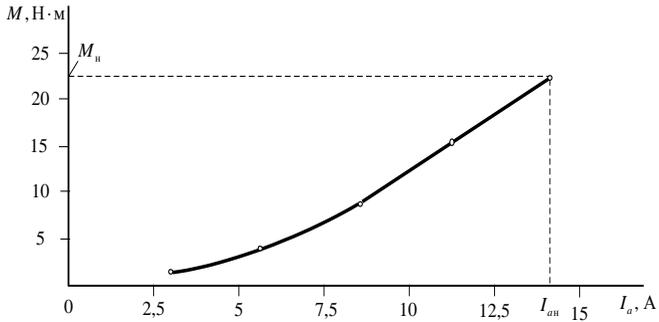


Рисунок 2.21 – Зависимость  $M = f(I_a)$

## Контрольные вопросы

1. Каково назначение дополнительных полюсов в машинах постоянного тока?
2. Какие условия нужно выполнить, чтобы произошло самовозбуждение генератора постоянного тока параллельного возбуждения?
3. Для чего в цепи обмотки якоря при пуске двигателя необходимо включать дополнительные сопротивления?
4. Почему нельзя включать в сеть двигатель последовательного возбуждения без нагрузки? Каким при этом должно быть соединение двигателя с рабочим механизмом?
5. Назовите основные части машины постоянного тока и поясните их конструкцию.
6. Каково назначение коллектора у генератора и двигателя?
7. Каким образом можно регулировать ЭДС генератора?
8. Объясните влияние реакции якоря на величину ЭДС машины постоянного тока.
9. Поясните сущность коммутации машины постоянного тока.
10. Как уменьшить вредное влияние реакции якоря на работу машины постоянного тока?
11. Чем определяется конечное напряжение, до которого самовозбуждается генератор с параллельным возбуждением?
12. Каковы достоинства и недостатки генератора с последовательным возбуждением?
13. Каковы особенности внешней характеристики генератора с параллельным возбуждением?
14. Какой вид имеет внешняя характеристика генератора со смешанным возбуждением при согласном и встречном включении обмоток возбуждения?
15. Поясните, как осуществляется регулирование частоты вращения двигателя с параллельным возбуждением.
16. Как осуществляется регулирование частоты вращения двигателя с последовательным возбуждением?
17. Зачем необходим реостат в цепи якоря двигателя постоянного тока при его запуске?
18. Поясните, почему с увеличением нагрузки частота вращения двигателя последовательного возбуждения уменьшается, а с уменьшением нагрузки – увеличивается.
19. От чего зависит частота вращения двигателя и как ее регулировать?
20. От каких факторов зависит ЭДС генератора смешанного возбуждения?
21. Почему реакция якоря может вызвать искрение под щетками?

22. Почему ток короткого замыкания генератора параллельного возбуждения очень быстро снижается до величин, меньших номинального тока?

23. Что произойдет при обрыве обмотки возбуждения двигателя с параллельным возбуждением, если он работал с номинальным моментом на валу?

24. То же, но в условиях, когда двигатель постоянного тока с параллельным возбуждением работал в режиме холостого хода.

25. Какова распространенная ошибка при подключении двигателя с параллельным возбуждением к сети? К чему она приводит?

26. Как изменяется частота вращения двигателя с параллельным возбуждением при увеличении нагрузки?

27. Приведите схему реостатного пуска двигателя постоянного тока параллельного возбуждения, если используется пусковой реостат.

28. Как скажется снижение напряжения питающей сети на частоте вращения и токе якоря при неизменной нагрузке на валу двигателя параллельного возбуждения?

29. Как скажется снижение напряжения питающей сети на частоте вращения и токе якоря при неизменной нагрузке на валу двигателя последовательного возбуждения?

30. Как зависит пусковой ток двигателя от нагрузки на валу и момента инерции устройства, приводимого во вращение?

## 2.4 Синхронные машины

### Задача 7. Расчет трехфазного синхронного генератора

Трехфазный синхронный генератор мощностью  $S_n$  и номинальным напряжением  $U_{лн}$  работает с коэффициентом мощности  $\cos\varphi_{лн}$ . Обмотка фазы статора соединена звездой. При этом частота вращения  $n$ , КПД генератора при номинальной нагрузке  $\eta_n$ .

Для нечетных номеров вариантов следует принять соединение фазных обмоток статора по схеме  $Y$ , для четных – по схеме  $\Delta$ .

Требуется определить активную и реактивную мощность генератора при номинальной нагрузке, ток в обмотке статора, требуемую первичному двигателю мощность и вращающий момент при непосредственном механическом соединении валов генератора и первичного двигателя.

Числовые значения заданных величин исходных данных для каждого из вариантов указаны в таблице 2.32.

Таблица 2.32 – Исходные данные к задаче 7

Вариант	$S_{н}, \text{кВ} \cdot \text{А}$	$U_{лн}, \text{кВ}$	$\cos\varphi_{лн}$	$n, \text{об/мин}$	$\eta_{ном}, \%$
1	12500	10,5	0,80	600	92,1
2	10000	6,3	0,85	750	92,3
3	8000	10,5	0,87	1000	91,4
4	63000	6,3	0,90	1500	92,5
5	5000	10,5	0,92	600	92,2
6	4000	6,3	0,95	750	91,3
7	630	10,5	0,98	1000	92,6
8	800	6,3	1	1500	92,4
9	10000	10,5	0,80	600	91,9
10	12800	6,3	0,85	750	92,2
11	63000	10,5	0,87	1000	90,7
12	8000	6,3	0,90	1500	90,8
13	4000	10,5	0,92	600	92
14	5000	6,3	0,95	750	90,9
15	3150	10,5	0,98	1000	90,8
16	2500	6,3	1	1500	92,1
17	2000	10,5	0,80	600	92,3
18	1600	6,3	0,85	750	92,4
19	1250	10,5	0,87	1000	92,2
20	1000	6,3	0,90	1500	91,1
21	800	10,0	0,92	600	90,7
22	630	6,3	0,95	750	90,8
23	630	10,5	0,98	1000	92,4
24	800	6,3	1	1500	92,1
25	1000	10,5	0,80	600	90,4
26	1250	6,3	0,85	750	90,5
27	1600	10,5	0,87	1000	90,8
28	2000	6,3	0,90	1500	90,9
29	2500	10,5	0,92	600	92,1
30	3150	6,3	0,95	750	92,3

### Пример решения задачи 7

Трехфазный синхронный генератор мощностью  $S_n = 500$  кВА и номинальным напряжением  $U_{\text{лн}} = 3,2$  кВ работает с коэффициентом мощности  $\cos\varphi_{1n} = 0,9$ . Обмотка фазы статора соединена звездой. При этом частота вращения  $n = 600$  об/мин, КПД генератора при номинальной нагрузке  $\eta_n = 92\%$ . Соединение фазных обмоток статора по схеме Y.

Требуется определить активную и реактивную мощность генератора при номинальной нагрузке, ток в обмотке статора, требуемую первичному двигателю мощность и вращающий момент при непосредственном механическом соединении валов генератора и первичного двигателя.

*Решение.* Для определения номинальной активной и реактивной мощности генератора используем выражения

$$P_n = S_n \cos\varphi_{1n} = 500 \cdot 0,9 = 450 \text{ кВт},$$

$$Q_n = S_n \sin\varphi_{1n} = S_n \sin(\arccos\varphi_{1n}) = 500 \cdot \sin(\arccos 0,9) = 217,94 \text{ кВт}.$$

Номинальный ток в линейном проводе генератора

$$I_n = S_n / U_{\text{лн}} = \cos\varphi_{1n} = 500 / 3,2 = 156,25 \text{ А}.$$

Для соединения фазных обмоток по схеме звезда Y ток в фазах обмотки статора  $I_{\text{фн}}$  найдем через величину линейного тока  $I_{\text{лн}}$

$$I_{\text{фн}} = I_{\text{лн}} / \sqrt{3} = 156,25 / 1,73 = 90,32 \text{ А}.$$

Мощность первичного двигателя при непосредственном механическом соединении валов генератора и первичного двигателя выразим из формулы

$$\eta_n = 100\% P_n / P_{\text{дв}},$$

значит  $P_{\text{дв}} = 100\% P_n / \eta_n = 100\% 450 / 92 = 489,1$  кВт.

Электромагнитный момент первичного двигателя при непосредственном соединении валов генератора и первичного двигателя

$$M_{\text{эм}} = P_{\text{дв}} / \omega = 60 P_{\text{дв}} / (2\pi n) = 60 489,1 \cdot 10^3 / (2 \cdot 3,14 \cdot 600) = 7788,7 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

### Задача 8. Расчет трехфазного синхронного электродвигателя

Трехфазный синхронный двигатель, номинальные данные которого приведены в таблице 2.34, служит для привода компрессора и во время работы развивает на валу мощность, равную номинальной. Обмотка статора соединена звездой. Частота напряжения питающей сети – 50 Гц. Ток в обмотке возбуждения ротора установлен таким, что ЭДС фазы статора  $E_o = 1,4U_{\text{ф}}$ , где  $U_{\text{ф}}$  – фазное напряжение статора.

Задание:

1. Определить число пар полюсов ротора и номинальный ток в фазе статора синхронного двигателя.

2. Пренебрегая активным сопротивлением обмотки статора, построить векторную диаграмму фазы синхронного двигателя.

3. По векторной диаграмме определить величину угла рассогласования  $\theta$  между векторами напряжения  $U_\phi$  и ЭДС  $E_o$  и значение синхронного реактивного сопротивления машины.

4. Рассчитать коэффициент мощности промышленного предприятия, если суммарная активная мощность электроприемников предприятия без учета синхронного двигателя  $P_{пр}$  дана в таблице 2.34.

Варианты значений коэффициентов мощности синхронного двигателя  $\cos\varphi_n$  ( $\varphi < 0$ , режим перевозбуждения) и предприятия  $\cos\varphi_{пр}$  без учета синхронного двигателя указываются преподавателем на основании таблицы 2.33.

Таблица 2.33 – Значения коэффициентов мощности

Вариант	1	2	3	4
$\cos\varphi_n$	0,9	0,85	0,85	0,9
$\cos\varphi_{пр}$	0,75	0,7	0,8	0,75

Таблица 2.34 – Исходные данные к задаче 8

Вариант	$P_n$ , кВт	$n$ , мин <sup>-1</sup>	$\eta_n$ , %	$U_n$ , В	$P_{пр}$ , кВт
1	75	1500	90,0	380	150
2	75	1000	90,5	660	200
3	125	500	90,0	380	250
4	125	600	90,5	660	175
5	160	500	90,5	660	300
6	160	600	91,0	3000	350
7	200	750	90,5	660	500
8	200	600	91,0	3000	375
9	250	1000	91,0	660	500
10	250	750	91,5	3000	550
11	320	1000	91,5	3000	600
12	320	750	92,0	6000	750
13	400	1000	92,0	3000	800
14	400	750	92,5	6000	700
15	500	750	92,5	3000	1000
16	500	600	93,0	6000	900
17	630	750	93,0	3000	1200
18	630	600	93,5	6000	1400
19	800	600	93,5	3000	1600
20	800	500	94,0	6000	1400



Продолжение таблицы 2.34

Вариант	$P_n$ , кВт	$n_n$ , мин <sup>-1</sup>	$\eta_n$ , %	$U_n$ , В	$P_{пр}$ , кВт
21	1000	750	94,0	3000	2000
22	1000	600	94,5	6000	2250
23	1250	500	94,5	3000	2500
24	1250	600	95,0	6000	2600
25	1600	500	95,0	3000	3000
26	1600	375	95,0	6000	3500
27	2000	500	95,5	6000	4000
28	2000	375	95,0	3000	5500
29	3200	500	96,0	6000	6000
30	3200	375	95,5	3000	5000

### Пример решения задачи 8

Трехфазный синхронный двигатель характеризуется номинальными величинами:  $P_n = 320$  кВт; частота вращения  $n = 1500$  мин<sup>-1</sup>; КПД  $\eta_n = 0,93$ ; коэффициент мощности  $\cos\varphi_n = 0,9$  ( $\varphi < 0$ , режим перевозбуждения). Обмотка статора соединена звездой. Электродвигатель присоединен к сети с линейным напряжением  $U_n = 3000$  В, частотой  $f = 50$  Гц и жестко соединен с валом компрессора, развивая при этом мощность, равную номинальной. Индуцированная потоком возбуждения ЭДС  $E_o$  на 40 % превышает фазное напряжение обмотки статора.

Задание:

1. Определить число пар полюсов ротора и номинальный ток фазы статора синхронного двигателя.

2. Построить для заданного режима работы синхронного двигателя векторную диаграмму, пренебрегая активным сопротивлением обмотки статора.

3. По диаграмме определить угол  $\theta$  между векторами напряжения  $U_\phi$  и ЭДС  $E_o$ , падение напряжения в обмотке статора и ее синхронное реактивное сопротивление.

4. Определить коэффициент мощности промышленного предприятия после установки на нем синхронного двигателя, если до установки двигателя суммарная активная мощность электроприемников предприятия  $P_{пр} = 700$  кВт, а их коэффициент мощности  $\cos\varphi_{пр} = 0,75$ .

*Решение.* 1. Для синхронного двигателя частота вращения ротора равна частоте вращения магнитного поля статора и остается постоянной независимо от нагрузки на его валу  $n = 60 f / p$ . Отсюда число пар полюсов ротора

$$p = \frac{60 \cdot f}{n} = \frac{60 \cdot 50}{1500} = 2.$$

Так как потребляемая двигателем мощность из сети

$$P_1 = P_n / \eta = \sqrt{3} \cdot U_{\text{л}} \cdot I_{\text{л}} \cdot \cos \varphi_n,$$

то номинальный ток фазы статора

$$I_n = \frac{P_n}{\sqrt{3} U_{\text{л}} \eta_n \cos \varphi_n} = \frac{320000}{1,732 \cdot 3000 \cdot 0,93 \cdot 0,9} = 73,6 \text{ A}.$$

2. Фазное напряжение статора

$$U_{\phi} = U_{\text{л}} / \sqrt{3} = 3000 / \sqrt{3} = 1732 \text{ В};$$

ЭДС, индуцированная в фазной обмотке статора,

$$E_o = 1,4 \cdot U_{\phi} = 1,4 \cdot 1732 = 2424,87 \text{ В}.$$

Для построения векторной диаграммы задаемся масштабом:

$$m_U = 300 \text{ В / см}, \quad m_I = 20 \text{ А / см}.$$

Откладываем вектор фазного напряжения  $\underline{U}_{\phi}$  на векторной диаграмме синхронного двигателя (рисунок 2.22).

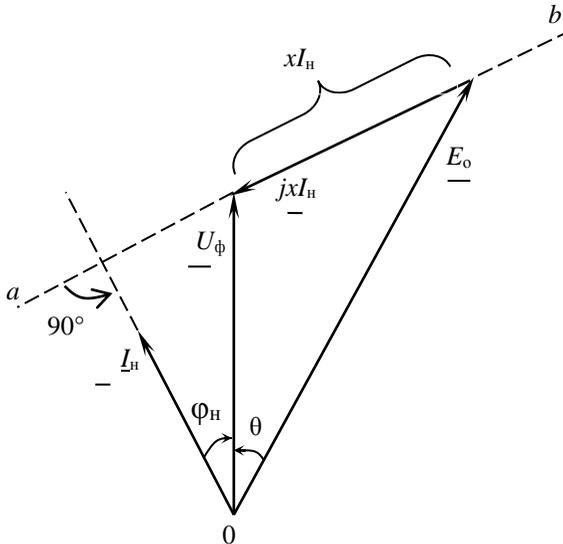


Рисунок 2.22 – Векторная диаграмма синхронного двигателя

Вектор тока  $\underline{I}_н$  в обмотке статора опережает  $\underline{U}_\phi$  на угол  $\varphi_n = 25^\circ 50'$ . Дальнейшее построение выполняем согласно уравнению напряжений фазы статора  $\underline{U}_\phi = \underline{E}_o + jx \cdot \underline{I}_н$ : с конца  $\underline{U}_\phi$  под углом  $90^\circ$  к  $\underline{I}_н$  проводим линию  $ab$ , затем из точки «0» циркулем откладываем отрезок длиной  $E_o$  до пересечения с линией  $ab$ . Измерив длину вектора и умножив ее на масштаб, получим вектор падения напряжения

$$|xI_n| = 1110 \text{ В,} \quad \text{затем } x = \frac{|xI_n|}{I_n} = \frac{1110}{73,6} = 15,06 \text{ Ом.}$$

3. Угол между векторами  $\underline{E}_o$  и  $\underline{U}_\phi$  является искомым углом  $\theta = 24^\circ$ .

4. Синхронный двигатель, установленный на промышленном предприятии, для питающей сети является активно-емкостной нагрузкой ( $\varphi < 0$ , режим перевозбуждения).

Реактивная мощность, вырабатываемая синхронным двигателем,

$$Q_n = P_n \cdot \operatorname{tg} \varphi_n = 320 \cdot (-0,484) = -155 \text{ квар,}$$

где  $\operatorname{tg} \varphi_n = \operatorname{tg} (-25^\circ 50') = -0,484$ .

Суммарная реактивная мощность электроприемников предприятия

$$Q_{np} = P_{np} \cdot \operatorname{tg} \varphi_{np} = 700 \cdot 0,882 = 617,34 \text{ квар,}$$

где  $\operatorname{tg} \varphi_{np} = \operatorname{tg} 41^\circ 25' = 0,882$ .

Суммарная активная и реактивная мощность всей нагрузки после установки синхронного двигателя

$$P = P_{np} + P_n = 700 + 320 = 1020 \text{ кВт;}$$

$$Q = Q_{np} + Q_n = 617,34 - 155 = 462,34 \text{ квар.}$$

Коэффициент мощности промышленного предприятия

$$\cos \varphi = P / \sqrt{P^2 + Q^2} = 1020 / \sqrt{1020^2 + 462,32^2} = 0,911.$$

### Контрольные вопросы

1. Каковы устройство и принцип действия синхронного двигателя?
2. Какие типы роторов используются в турбо- и гидрогенераторах и почему?
3. Что называется угловой характеристикой синхронной машины и какое значение она имеет для оценки статической устойчивости машины при параллельной работе с сетью?
4. Что является обязательным условием преобразования энергии в синхронной машине?
5. При каких условиях синхронный двигатель представляет собой активно-емкостную нагрузку?

6. Как отражается на режиме работы элементов электропередачи уменьшение мощности потребителя?

7. Почему не разрешается работа потребителей электрической энергии с малым коэффициентом мощности?

8. Как используются синхронные двигатели для улучшения коэффициента мощности предприятий?

10. Как образуется вращающий электромагнитный момент синхронных двигателей?

11. Как влияет регулирование тока возбуждения  $I_b$  синхронного двигателя на изменение угла  $\theta$ ?

12. Как реагирует трехфазный синхронный двигатель на увеличение нагрузки на его валу?

13. Какой ток возбуждения синхронного двигателя называется нормальным; исходя из каких соображений выбирается его величина?

14. Как осуществляется пуск синхронных двигателей?

15. Почему при пуске синхронных двигателей обмотка возбуждения ротора замыкается на внешнее активное сопротивление?

17. В каких условиях и почему применяется синхронный электропривод?

18. Как осуществляется быстрая остановка синхронных двигателей?

20. В каких условиях и где синхронный двигатель работает в качестве синхронного компенсатора?

21. Сравните свойства, конструкцию и характеристики синхронного и асинхронного двигателей.

22. Как влияет на механическую характеристику синхронного двигателя снижение питающего напряжения?

23. Каковы устройство и принцип действия реактивного синхронного двигателя?

24. Каковы устройство и принцип действия гистерезисного синхронного двигателя?

25. Перечислите условия и порядок включения синхронных машин на параллельную работу с трехфазной системой.

26. Какие явления сопровождают выпадение синхронных машин из синхронизма?

27. Как избежать выпадения из синхронизма синхронных машин?

28. Как осуществляется регулирование реактивной мощности синхронных машин?

29. Возможна ли работа синхронного двигателя с  $\cos\varphi = 1$ ?

30. Почему трехфазная обмотка переменного тока располагается на статоре, электромагниты постоянного тока – на роторе, а не наоборот?

## 3 КОНСУЛЬТАЦИИ ПО ПРОГРАММАМ САМОКОНТРОЛЯ

### 3.1 По разделу «Трансформаторы»

(Теоретический материал представлен в пособии [1])

1 Работа трансформатора основана на законе электромагнитной индукции. Суть его – в контуре, который пронизывается переменным магнитным потоком, всегда наводится ЭДС. Закон же электромагнитной силы определяет электромагнитную силу  $F_{эм}$ , действующую на проводник с током, помещенный в магнитное поле.

2 Правильно. Согласно закона электромагнитной индукции для контура  $e = -\frac{d\Phi}{dt}$ . По условию задачи скорость изменения магнитного потока постоянна (поток уменьшается равномерно), следовательно, ЭДС постоянная,  $|e| = \Delta\Phi / \Delta t = 10/2 = 5$  В.

3 У всех автотрансформаторов коэффициент трансформации мал (не превышает 2), т. е. этот недостаток свойственен автотрансформатору. Вам же надо определить недостаток, который не характерен ему.

4 Это неполный ответ. См. подразд. 1.1.

5 Воспользуйтесь формулой  $U_1 I_1 \approx U_2 I_2$ ,  $I_2 \neq 20$  А.

6 Автотрансформаторы, типа ЛАТР, находят широкое применение в лабораториях для плавного регулирования напряжения, но необходим ответ, где они не применяются. Поэтому повторите подразд. 1.1.

7 Потери в стали трансформатора  $\Delta P_M = k_{уд} \left( \frac{B_{m \text{ дейст}}}{B_{m \text{ табл}}} \right)^2 \left( \frac{f_{\text{дейст}}}{f_{\text{табл}}} \right)^{1,5} m$ ,

т. е. зависят от индукции в квадрате при неизменных значениях частоты тока и массы стали.  $B_{m \text{ дейст}} \equiv U_1$ , следовательно  $\Delta P_M \equiv U_1^2$ .

8 С увеличением  $w_1$  уменьшается  $\Phi_m$ , а, следовательно, уменьшаются  $E_2$  и  $U_2$ . Вам же надо указать, за счет чего можно увеличить  $U_2$ .

9 Правильно. Значение ЭДС  $E_1$  и  $E_2$  определены верно:  $E_1 = 4,44 f w_1 \Phi_m = 444$  В,  $E_2 = 4,44 f w_2 \Phi_m = 222$  В.

10  $I_{1н} \neq 9$  А. Обратите внимание на то, что трансформатор трехфазный и его полная мощность  $S_{н} = \sqrt{3} U_{1н} I_{1н}$ .

11 При включении на постоянное напряжение ток первичной обмотки резко возрастает и трансформатор может сгореть, так как отсутствуют ЭДС  $E_1$  и  $E_{ст}$ . При этом  $I_1 = U_{1н} / r_1 \gg I_{1н}$ .

12 При холостом ходе ток нагрузки равен нулю, а необходимо указать условие, которое не определяет режим холостого хода.

13 Ток холостого хода трансформатора  $I_0$ :

а) по фазе не отстает от основного магнитного потока;

б) по величине он изменится. См. подразд. 1.2.

14 Правильно. В трансформаторах средней мощности  $I_0 \approx (0,05...0,06) I_{1н}$ .

15 Индукция не увеличится в 2 раза. Для трансформатора  $\underline{U}_1 = -E_1 + I_1 z_1$ . Из-за малого значения  $I_1 z_1$  принимается  $U_1 \approx E_1 = 4,44 f w_1 B_m Q_{ст}$ , где  $B_m Q_{ст} = \Phi_m$ ,  $Q_{ст}$  – площадь поперечного сечения стержня трансформатора. Откуда  $B_m \approx U_1 / (4,44 f w_1 Q_{ст})$ . С увеличением  $w_1$  в 2 раза,  $B_m$  уменьшится в 2 раза.

16  $E_2 \neq 800$  В. При заданных условиях  $E_2 = 4,44 f w_2 \Phi_m$  и с увеличением  $f$  в 8 раз поток  $\Phi_m$  уменьшается во столько же раз, так как

$\Phi_m \approx \frac{U_1}{4,44 f w_1}$  и  $U_1 = \text{const}$ . Поэтому величина  $E_2$  не изменится.

17 Правильно.  $I_{0а} = P_0 / U_1 = 0,01$  А;  $I_{0р} = \sqrt{I_0^2 - I_{0а}^2} \approx 0,2$  А.

18 Потери в стали зависят от индукции, частоты, массы и марки стали. Зависимость от индукции  $\Delta P_{ст} \equiv B_c^2$ . Так как указанные параметры при заданных условиях не меняются, следовательно, потери не возрастут. Повторите подразд. 1.2.

19 Уравнение баланса напряжения для первичной обмотки трансформатора представлено верно.

20 Поток  $\Phi$  в сердечнике трансформатора практически не зависит от тока нагрузки. Его величина определяется по формуле  $\Phi_m = E_1 / (4,44 f w_1)$ . Исходя из того, что  $U_1 \approx E_1 = \text{const}$  поток  $\Phi \approx \text{const}$ .

21 При изменении тока нагрузки результирующая МДС практически остается равной МДС холостого хода  $F_0$ . См. подразд. 1.3.

22 Ответили правильно:

$$U'_2 = kU_2 = 4000 \text{ В}, \quad z'_н = k^2 z_н = 2000 \text{ Ом}, \quad I'_2 = \frac{I_2}{k} = 2 \text{ А}.$$

23 Из опыта холостого хода можно определить  $r_0$ , но  $r_1$  нельзя. См. подразд. 1.6.

24 Величина  $I_0^2 r_1$  – это потери на активном сопротивлении первичной обмотки в режиме холостого хода.  $I_0^2 r_1 \ll \Delta P_{ст}$ , поэтому они не учитываются. См. подразд. 1.5.

25 Из опыта короткого замыкания  $r_0$  определить нельзя. См. подразд. 1.6.

26 При индуктивном характере нагрузки  $\varphi_2 = 90^\circ$  и с уменьшением тока  $I_2$  (коэффициента нагрузки  $\beta$ ) уменьшается  $\Delta u_{\%}$ , а следовательно,  $U_2$  не будет уменьшаться. Для правильного ответа проанализируйте уравнения:

$$\Delta u_{\%} = \beta (u_{ка\%} \cos \varphi_2 + u_{кр\%} \sin \varphi_2), \quad U_2 = U_{20} \left( 1 - \frac{\Delta u_{\%}}{100} \right).$$

27 На основании опыта короткого замыкания имеем  $r_k = \frac{P_{\text{кн}}}{I_{1\text{н}}^2}$ , где

$I_{1\text{н}} = S_{\text{н}}/U_{1\text{н}}$ . Так как у приведенного трансформатора  $r_1 = r_2' = r_k/2$ , то при заданных условиях  $r_1 \neq 8$  Ом. Определите правильно  $r_1$ .

28 Правильно. При емкостном характере нагрузки трансформатора с ростом  $I_2$  увеличивается коэффициент нагрузки  $\beta$ , возрастает отрицательное  $\Delta u\%$  и увеличивается  $U_2$ ;  $\Delta u\% = \beta (-\Delta u_{\text{кр}}\%)$ ,

$$U_2 = U_{20} \left( 1 - \frac{(-\Delta u\%)}{100} \right).$$

29 При увеличении тока  $I_2$  величина  $z_k$  у трансформатора не меняется. См. подраз. 1.7.

30 Ответы ошибочны. Все указанные характеристики (1–3) не соответствуют заданным условиям. См. подразд. 1.7.

31 При холостом ходе ( $\beta = 0$ ) КПД трансформатора равен нулю, так как  $P_2 = 0$ ,  $\eta = P_2/P_1$ . См. подразд. 1.8.

32 Ответ ошибочен. В режиме холостого хода трансформатор имеет только потери в стали сердечника. Они очень малы, поэтому и нагрев трансформатора незначителен.

33  $\Delta P_{\text{эл}} \equiv \beta^2$ , а потери в стали не зависят от коэффициента нагрузки. Разберитесь с теорией вопроса. См. подразд. 1.8.

34  $\beta_{\text{опт}} \neq 0,25$ . Оптимальное значение коэффициента имеем, когда  $\Delta P_{\text{эл}} = \Delta P_{\text{м}}$ . При этом  $\Delta P_{\text{эл}} = \beta^2 P_{\text{кн}}$ ,  $\Delta P_{\text{м}} = P_0$ . При максимальном КПД  $\beta_{\text{опт}}^2 P_{\text{кн}} = P_0$  или  $\beta_{\text{опт}} = \sqrt{P_0/P_{\text{кн}}} \neq 0,25$ . Определите правильно  $\beta_{\text{опт}}$ .

35  $\eta = 1 - (P_0 + \beta^2 P_{\text{кн}})/(\beta S_{\text{н}} \cos \varphi_2 + P_0 + \beta^2 P_{\text{кн}}) \neq 0,981$  при номинальной нагрузке, когда  $\beta = 1$ . Определите правильно  $\eta$ .

36 Правильно. Потери в стали  $\Delta P_{\text{м}} \equiv B_c^2$ , а индукция в сердечнике  $B_c \equiv U_1$ , поэтому  $\Delta P_{\text{м}} \equiv U_1^2$ . Поскольку  $U_{\text{кн}} = 0,05 U_{1\text{н}}$ , то потери в стали при опыте короткого замыкания  $\Delta P_{\text{м}} = 0,05^2 \cdot 400 = 1$  Вт, т. е. в 400 раз меньше, чем при номинальном режиме. На основании отмеченного, потери в стали при опыте короткого замыкания не учитываются.

37 Правильно. Измерительные трансформаторы не только не повышают точность измерений, но вносят еще добавочную погрешность.

38 Правильно.  $\Sigma \Delta P = P_0 + \beta^2 P_{\text{кн}} = 100 + 0,5^2 \cdot 400 = 200$  Вт.

39 Определение группы соединения дано верно.

40 Группа соединения не равна 11. Найдите угол между векторами.

41 Характеристики и токи нагрузок различны. Трансформатор, имею-

щий меньше  $u_k$ , будет иметь менее крутопадающую внешнюю характеристику и больший ток нагрузки. У трансформатора с большим  $u_k$  – наоборот. См. подразд. 1.10.

42 Помните, что при параллельном включении трансформаторов отношение их токов обратно пропорционально отношению сопротивлений

короткого замыкания, т. е.  $\frac{I_{1I}}{I_{1II}} = \frac{z_{кII}}{z_{кI}}$ ,  $I_{1II} \neq 12$  А. Определите  $I_{1II}$ .

43 Ответ ошибочен. Чем больше  $z_k$  трансформатора, тем его внешняя характеристика будет более крутопадающей, при параллельной работе ( $U_2 = \text{const}$ ) его ток  $I_2$  будет меньше и наоборот.

44 Ответ ошибочен. Разница коэффициентов трансформации не должна превышать  $\pm 0,5\%$  их среднеарифметического значения,  $\Delta k\% = \frac{k_1 - k_{II}}{k_{cp}} \cdot 100\%$ , где  $k_{cp} = \frac{k_1 + k_{II}}{2}$ . В данном случае  $\Delta k\% > 1\%$ .

Следовательно, включать на параллельную работу нельзя.

45 Правильно. Первый трансформатор будет перегружен, второй – недогружен, так как  $E_{2I} > E_{2II}$ . Большой ток будет в обмотках первого трансформатора.

46 Работа трансформатора не основана на законе Ома. См. подразд. 1.1.

47 Большой ток короткого замыкания – этот недостаток присущ автотрансформаторам. Вам необходимо указать недостаток, который не свойственен автотрансформатору. См. подразд. 1.11.

48 Обратите внимание на то, что магнитный поток, пронизывающий контур, уменьшается равномерно, т. е. изменяется с постоянной скоростью в одном направлении. Повторите выбор правильного ответа.

49 Правильно. Для получения магнитного потока в сердечнике, а также вследствие потерь в стали сердечника, трансформатор в режиме холостого хода потребляет из сети некоторый ток  $I_0$ , поэтому условие  $I_0 = 0$  не определяет режим холостого хода.

50 Это неполный ответ. См. подразд. 1.1.

51 Уравнение баланса напряжения для вторичной обмотки трансформатора представлено верно. Вам необходимо выбрать ответ, в котором допущена ошибка. См. подразд. 1.4 и 1.11.

52 Во вторичной обмотке тоже индуцируется ЭДС, поэтому в действительности  $E_2 \neq 0$ .  $E_2 = 4,44 f w_2 \Phi_m$ . Определите числовое значение  $E_2$ .

53 Правильно  $U_1 I_1 \approx U_2 I_2$ , следовательно,  $I_2 \approx U_1 I_1 / U_2 = 10$  А.

54 Ток холостого хода трансформатора  $I_0$ :

а) не совпадает по фазе с  $\Phi$ ;

б) верно, возрастет. См. подразд. 1.2.

55 Ответ правильный. Согласно закона электромагнитной индукции, ЭДС, наведенная в обмотке, пропорциональна числу витков обмотки  $w$  и скорости изменения магнитного потока  $\Phi$ , пронизывающего эту обмотку,  $e = -w \, d\Phi/dt$ .

56 Ответ ошибочен. В соответствии с законом электромагнитной индукции в контуре, который пронизывается переменным магнитным потоком, всегда наводится ЭДС,  $e = -d\Phi/dt$ .

57 Основной магнитный поток в трансформаторе является переменным. При включении на постоянное напряжение поток в сердечнике не будет изменяться по величине, поэтому не является основным. См. подразд. 1.1.

58 Из опыта холостого хода определить  $x_0$  можно, но  $r_1$  нельзя. См. подразд. 1.6.

59 Это одно из условий режима холостого хода трансформатора, а необходимо указать условие, которое не определяет этот режим.

60 Этот недостаток свойственен автотрансформатору. Вам же необходимо указать на то, что не характерно ему.

61 Принцип действия трансформатора не основан на первом законе Кирхгофа. См. подразд. 1.1.

62 Уравнение токов трансформатора представлено верно.

63  $I_0 \ll 0,5 I_{н.}$  См. подразд. 1.2.

64 Правильно:

а) ток  $I_0$  опережает  $\Phi_m$  на угол магнитного запаздывания  $\alpha$ ;

б) при больших по толщине пластинах сердечника возрастают потери от вихревых токов, увеличивается  $I_{0a}$ , а следовательно, и  $I_0$ .

65 Это одно из условий режима холостого хода трансформатора, а необходимо указать условие, которое не определяет этот режим.

66 Воспользуйтесь равенством  $U_1 I_1 \approx U_2 I_2$ , откуда  $I_2 \neq 2,5 \text{ А}$ . Определите правильно  $I_2$ .

67 Воспользуйтесь формулой трансформаторной ЭДС  $E = 4,44 f w \Phi_m$  и определите величины  $E_1$  и  $E_2$ .

68 Правильно. Данный недостаток не свойственен автотрансформатору. Трехфазные автотрансформаторы изготавливаются и находят применение (например, при пуске асинхронных двигателей).

69 Принцип действия трансформатора не основан на втором законе Кирхгофа. См. подразд. 1.1.

70 Поток рассеяния первичной обмотки трансформатора является переменным. См. подразд. 1.1.

71 Из опыта холостого хода определить параметры  $r_2'$  и  $x_2'$  нельзя. Они определяются из опыта короткого замыкания. См. подразд. 1.6.

72 Вторичную обмотку трансформатора тока размыкать нельзя, трансформатора напряжения – можно. См. подразд. 1.11.

73 Из опыта короткого замыкания  $x_0$  определить нельзя,  $r_2'$  – можно. См. подразд. 1.6.

74 При уменьшении тока  $I_2$  напряжение  $U_2$  не будет оставаться постоянным, оно будет изменяться. Проанализируйте уравнения:  $\beta = I_2 / I_{21}$ ;  $\Delta u_{\%} = \beta (\Delta u_{\text{ка}\%} \cos \varphi_2 + \Delta u_{\text{кр}\%} \sin \varphi_2)$ ,  $U_2 = U_{20} (1 - \Delta u_{\%} / 100)$ .

75 Правильно. В данном уравнении допущена ошибка, в действительности  $E_1 = 4,44 f w_1 \Phi_m$ .

76 Ток холостого хода трансформатора  $I_0$ :

а) не отстает по фазе от  $\Phi_m$ ;

б) не уменьшится, а наоборот, возрастет. См. подразд. 1.2.

77 Ответ ошибочен. Разберитесь с работой трансформатора под нагрузкой. См. подразд. 1.3.

78  $r_1 \neq 0,8$  Ом. Определите правильно  $r_1$ :  $r_1 = r_k / 2$ , где  $r_k = P_{\text{кн}} / I_{1\text{н}}^2$ ,  $I_{1\text{н}} = S_{\text{н}} / U_{1\text{н}}$ .

79 Ответы ошибочны. Повторите подразд. 1.4 и сделайте правильный выбор ответа.

80 Правильно.  $I_{1\text{н}} = S_{\text{н}} / (\sqrt{3} U_{1\text{н}}) = 5,2$  А, где  $I_{1\text{н}}$  – номинальное значение линейного тока.

81 Правильно. При нормальной работе трансформатора  $\underline{U}_1 = -\underline{E}_1 + I_1 z_1$ .

Если включить на постоянное напряжение, то  $E_1 = 0$ ,  $x_1 = 0$  и  $I_1 = U_1 / r_1 \gg I_{1\text{н}}$ , трансформатор может сгореть.

82 Правильно. Из опыта холостого хода имеем:  $r_0 = P_0 / I_0^2$  (для однофазного трансформатора),  $z_0 \approx U_{1\text{н}} / I_0$ ,  $x_0 = \sqrt{z_0^2 - r_0^2}$ .

83  $I_0 \ll 0,7 I_{1\text{н}}$ . См. подразд. 1.2.

84 Правильно. Из опыта короткого замыкания можно определить  $r_2'$  и  $x_2'$ ,  $r_2' = r_k / 2$ ,  $x_2' = x_k / 2$ , где  $r_k = P_{\text{кн}} / I_{1\text{н}}^2$ ,  $x_k = \sqrt{z_k^2 - r_k^2}$ .

85 Правильно. С уменьшением  $I_2$  при индуктивном характере нагрузки уменьшается  $\Delta u_{\%}$  и  $U_2$  увеличивается,  $U_2 = U_{20} (1 - \Delta u_{\%} / 100)$ .

86  $I_{0\text{а}} = 0,01$  А, но  $I_{0\text{р}} \neq 0,1$  А,  $I_{0\text{р}} = \sqrt{I_0^2 - I_{0\text{а}}^2}$ . Повторно определите ток  $I_{0\text{р}}$ .

87 Правильно.  $r_1 = 0,4$  Ом,  $r_1 = r_k / 2$ , где  $r_k = P_{\text{кн}} / I_{1\text{н}}^2$ ,  $I_{1\text{н}} = S_{\text{н}} / U_{1\text{н}}$ .

88  $I_{1н} \neq 3$  А. Воспользуйтесь для трехфазного трансформатора формулой  $S_n = \sqrt{3} U_{1н} I_{1н}$  и определите повторно  $I_{1н}$ .

89 Правильно. С изменением нагрузки основной поток  $\Phi$  трансформатора остается практически неизменным, так как  $U_1 \approx E_1 = 4,44 f w_1 \Phi_m$ , а  $U_1 \approx \text{const}$ .

90  $r_1$  и  $x_1$  можно определить только из опыта короткого замыкания. См. подразд. 1.6.

91 Ответ ошибочен.  $B_m \approx \frac{U_1}{4,44 f w_1 Q_{ст}}$ , где  $Q_{ст}$  – площадь поперечного сечения стержня трансформатора. При изменении  $w_1$  изменяется и величина  $B_m$ , если  $U_1 \approx \text{const}$  и  $f \approx \text{const}$ .

92 Ответы ошибочны. См. подразд. 1.4.

93  $I_{0а} \neq 0,1$  А,  $I_{0р} \neq 0,1$  А. Определите токи по формулам:

$$I_{0а} = P_0 / U_1, I_{0р} = \sqrt{I_0^2 - I_{0а}^2}. \text{ См. подразд. 1.2.}$$

94 Параметры  $r_0$  и  $x_0$  определяются только из опыта холостого хода. См. подразд. 1.6.

95 Правильно.  $E_2$  не изменится и будет равна 100 В. При  $U_{1м} \approx \text{const}$  с увеличением  $f$  в 8 раз во столько же раз уменьшится  $\Phi_m$ , а  $E_2 = 4,44 f w_2 \Phi_m$ , останется тем же.

96 Суммарные потери в трансформаторе  $\Sigma \Delta P$ .  $\Sigma \Delta P_1 / \Sigma \Delta P_{II} \neq 1,44$ , для первого трансформатора суммарные потери  $\Sigma \Delta P_1 = P_0 + \beta_1^2 P_{кн}$ , для второго –  $\Sigma \Delta P_{II} = P_0 + \beta_{II}^2 P_{кн}$ . Повторно определите  $\Sigma \Delta P_1 / \Sigma \Delta P_{II}$ .

97 Характер зависимости  $U_2 = f(I_2)$  при  $\cos \varphi_2 = \text{const}$  не зависит от степени насыщения сердечника трансформатора. Для правильного ответа повторите подразд. 1.7.

98 С уменьшением  $w_2$  уменьшается  $E_2$  и  $U_2$ ,  $\underline{U}_2 = \underline{E}_2 - \underline{I}_2 z_2$ . Вам же необходимо указать, за счет чего можно увеличить  $U_2$ . Повторите подразд. 1.1.

99 Потери в стали  $\Delta P_M$  пропорциональны  $U_1^2$ .

100  $z'_н$  и  $I'_2$  определены неверно:  $z'_н = k^2 z_н$ ,  $I'_2 = I_2 / k$ .

101 Нельзя размыкать вторичную обмотку трансформатора тока, включенного в сеть. Это приведет к его перегреву и резкому увеличению вторичного напряжения, опасного для изоляции. Вторичную обмотку трансформатора напряжения можно разомкнуть, при этом режим работы трансформатора практически не изменится.

102 Правильно, индукция в сердечнике уменьшится в 2 раза, так как  $B_m \approx \frac{U_1}{4,44 f w_1 Q_{ст}}$ .

103 Ответ ошибочен. Величина потока в сердечнике определяется параметрами  $U_1, f, w_1$   $\left( \Phi_m \approx \frac{U_1}{4,44 f w_1} \right)$ , поэтому она практически не зависит от величины магнитного сопротивления.

104  $E_2 \neq 400$  В. При  $U_{1m} \approx \text{const}$  с увеличением  $f$  в 8 раз во столько же раз уменьшится  $\Phi_m$ , а  $E_2 = 4,44 f w_2 \Phi_m$  останется тем же.

105 Правильно, с увеличением  $w_2$  уменьшается коэффициент трансформации  $k$ , возрастают  $E_2$  и  $U_2$ ,  $U_{20} = U_1 / k$ .

106 Правильно. На основе схемы замещения потери в стали  $\Delta P_M = I_0^2 r_0$ .

107 Токи определены неверно,  $I_{0a} = P_0 / U_1 \neq 0,1$  А,  $I_{0p} = \sqrt{I_0^2 - I_{0a}^2} \neq 0,1$  А.

108 Потери в стали трансформатора  $\Delta P_M \neq U_1$ . См. подразд. 1.2.

109 Правильно,  $\Delta P_{эл} \equiv \beta^2$ ,  $\Delta P_M$  – не зависит от  $\beta$ .

110 Для ответа достаточно данных. При  $U_1 = \text{const}$  и  $f = \text{const}$  с увеличением  $w_1$  индукция изменится, т. к.  $B_m \approx \frac{U_1}{4,44 f w_1 Q_{ст}}$ .

Проанализируйте уравнение и дайте правильный ответ.

111 С ростом  $I_2$  напряжение  $U_2$  не уменьшается. Для ответа проанализируйте уравнения:

$\Delta u_{\%} = \beta (u_{ка\%} \cos \varphi_2 + u_{кр\%} \sin \varphi_2)$ ,  $U_2 = U_{20} (1 - \Delta u_{\%} / 100)$ , где при емкостном характере нагрузки  $\varphi_2 = -90^\circ$   $\Delta u_{\%}$  будет отрицательным.

112 Пропорциональное увеличение  $w_1$  и  $w_2$  не изменяет коэффициент трансформации  $k$ , поэтому  $U_2$  остается без изменения. Повторите выбор ответа.

113 Правильно. С ростом магнитного сопротивления возрастает намагничивающий ток в режиме холостого хода, так как  $\Phi = I_{\mu} w_1 / R_{\mu} \approx \text{const}$ . Постоянство  $\Phi$  вызывается неизменными величинами  $U_1, f, w_1$   $\left( \Phi_m \approx \frac{U_1}{4,44 f w_1} \right)$ .

114 Трансформатор не изменяет частоту. Повторите выбор ответа.

115 На основании схемы замещения потери в стали  $\Delta P_M \neq I_0^2 r_k$ . См. подразд. 1.5.

116  $E_2 \neq 12,5$  В. С увеличением частоты в 8 раз при  $U_1 = \text{const}$  поток  $\Phi_m$  уменьшается во столько же раз, поэтому  $E_2$  не изменится ( $E_2 = 4,44 f w_2 \Phi_m$ ).

117 Потери в меди зависят от  $\beta$ , а в стали – не зависят. См. подразд. 1.8.

118 Потери в стали пропорциональны квадрату напряжения. В режиме короткого замыкания  $\Delta P_M = (0,05)^2 \cdot 400 \neq 20$  Вт.

119 Правильно. У однофазных трансформаторов средней мощности при  $r$  – нагрузке с ростом  $I_2$  напряжение уменьшается (характеристика 2), при  $r - L$  нагрузке внешняя характеристика более крутопадающая, чем при  $r - C$  нагрузке, а при  $r - C$  нагрузке с ростом  $I_2$  напряжение  $U_2$  может возрасть.

120 Правильно.  $\beta_{\text{опт}} = \sqrt{P_0/P_{\text{кн}}} = 0,5$ .

121 Правильно. У силовых трансформаторов КПД высок, поэтому  $S_1 \approx S_2$ . Так для однофазного трансформатора  $U_1 I_1 \approx U_2 I_2$  и  $U_1 / U_2 \approx I_2 / I_1$ , т. е. имеем преобразование величин как напряжения, так и тока.

122 Ответ ошибочен. См. подразд. 1.10.

123 Ответ ошибочен. Группа соединения трансформатора характеризуется величиной угла смещения вектора линейного напряжения обмотки НН относительно соответствующего вектора линейного напряжения обмотки ВН. Номер группы определяется делением отмеченного угла на  $30^\circ$ .

124 Правильно. В целях безопасности автотрансформаторы для питания измерительных приборов в высоковольтных сетях не применяют.

125 Правильно. Потери в стали  $\Delta P_M \equiv U_1^2$ .

126 Активная составляющая тока холостого хода  $I_{0a}$  не зависит от магнитного сопротивления. Она обусловлена потерями в стали от вихревых токов. См. подразд. 1.2.

127 Оптимальный коэффициент нагрузки  $\beta_{\text{опт}} \neq 0,75$ ,  $\beta_{\text{опт}} = \sqrt{P_0/P_{\text{кн}}}$ .  
Дайте верный ответ.

128 Суммарные потери в трансформаторе при  $\beta = 0,5$ :  $\Sigma \Delta P = P_0 + \beta^2 P_{\text{кн}}$ .  
Определите правильно  $\Sigma \Delta P$ .

129 С ростом  $I_2$  напряжение  $U_2$  не будет оставаться неизменным, оно изменяется. Проанализируйте уравнения:  $\Delta u_{\%} = \beta (\Delta u_{\text{кв}\%} \cos \varphi_2 + \Delta u_{\text{кр}\%} \sin \varphi_2)$ ,  $U_2 = U_{20} (1 - \Delta u_{\%} / 100)$  и дайте правильный ответ.

130 Правильно. При параллельной работе трансформатор с большим  $u_{\text{к}}$  будет меньше загружен.

131 Одно из назначений измерительных трансформаторов – повысить безопасность измерений в высоковольтных сетях. Но вам необходимо указать цель, которой не служат измерительные трансформаторы. См. подразд. 1.11.

132 Ответ ошибочен. См. подразд. 1.9.

133 Автотрансформаторы применяются для понижения напряжения, подводимого к синхронным и асинхронным двигателям при их запуске. Но

вам необходимо указать случай, когда автотрансформаторы не применяются. См. подразд. 1.11.

134 Суммарные потери в трансформаторе при  $\beta = 0,5$   $\Sigma\Delta P \neq 300$  Вт. Определите правильно данные потери по формуле  $\Sigma\Delta P = P_0 + \beta^2 P_{\text{кн}}$ .

135 При уменьшении напряжения потери в стали  $\Delta P_{\text{м}}$  уменьшаются, но они не равны 50 Вт. В опыте короткого замыкания  $\Delta P_{\text{м}} = (0,05)^2 \cdot 400 = 1$  Вт.

136 При параллельной работе трансформатор с большим  $u_{\text{к}}$  имеет более крутопадающую характеристику и меньший ток  $I_2$ . См. подразд. 1.10.

137 На основе схемы замещения потери в стали  $\Delta P_{\text{м}} \neq I_0^2 r_2'$ . См. подразд. 1.5.

138 Характер зависимости  $U_2 = f(I_2)$  при  $\cos \varphi_2 = \text{const}$  не зависит от коэффициента трансформации. Для ответа см. подразд. 1.7.

139 Для заданных условий характеристики 1 и 2 не соответствуют действительности, что отражено в подразд. 1.7.

140 Ответ ошибочен. Постройте векторную диаграмму и найдите угол между соответствующими векторами линейных напряжений первичной и вторичной обмоток, а затем определяйте номер группы соединения путем деления данного угла на  $30^\circ$ .

141 Ответ ошибочен. См. подразд. 1.9.

142 Ответ ошибочен. При номинальной нагрузке трансформатор нагревается больше, чем в других приведенных случаях, так как суммарные потери в нем наибольшие  $\Sigma\Delta P = P_0 + \beta^2 P_{\text{кн}}$ ,  $\beta = 1$ .

143 Ответ ошибочен, так как  $\Delta P_{\text{эл}}$  зависит от  $\beta$  ( $\Delta P_{\text{эл}} \equiv \beta^2$ ). Потери же в стали  $\Delta P_{\text{м}}$  от  $\beta$  не зависят.

144 Правильно. Чем больше у трансформатора  $z_{\text{к}}$ , тем меньше он будет загружен при параллельной работе.

145  $I_{1\text{II}} \neq 9,6$  А. При параллельной работе трансформаторов  $\frac{I_{1\text{I}}}{I_{1\text{II}}} = \frac{z_{\text{кII}}}{z_{\text{кI}}}$ .

Из данного соотношения определяйте  $I_{1\text{II}}$ .

146 Потери в стали при опыте короткого замыкания  $\Delta P_{\text{м}} \neq 400$  Вт,  $\Delta P_{\text{м}} = (0,05)^2 \cdot 400 = 1$  Вт.

147 Автотрансформаторы широко используются для регулирования напряжения бытовых потребителей, но вам необходимо указать случай, когда автотрансформаторы не применяют.

148 Правильно. Отношение токов обратно пропорционально отношению сопротивлений короткого замыкания, поэтому  $I_{1\text{II}} = 15$  А.

149 Для ответа достаточно данных. Включать нельзя, так как

$$\Delta k\% = \frac{k_1 - k_{11}}{k_{cp}} \cdot 100\% > 1\%.$$

150 Ответ ошибочен. Результирующая МДС не изменится. См. подразд. 1.3.

151 Ответ ошибочен. Максимальный КПД будет при условии, когда  $\Delta P_{эл} = \Delta P_m$ . Определите при этом  $\beta$ .

152 Правильно. Суммарные потери в трансформаторе  $\Sigma \Delta P$ ,

$$\frac{\Sigma \Delta P_I}{\Sigma \Delta P_{II}} = \frac{P_0 + \beta_1^2 P_{кн}}{P_0 + \beta_{II}^2 P_{кн}} = \frac{200 + 1,0 \cdot 1000}{200 + 0,632^2 \cdot 1000} = 2.$$

153 Ответ не соответствует характеристикам. В действительности  $z_{кI} > z_{кII}$  и  $I_{2I} < I_{2II}$ . См. подразд. 1.10.

154 Правильно.  $\Delta u\%$  зависит как от  $\beta$ , так и от  $\cos \varphi_2$ ,

$$\Delta u\% = \beta (u_{ка} \cos \varphi_2 + u_{кр} \sin \varphi_2).$$

155 Правильно.  $\eta = 1 - \frac{P_0 + \beta^2 P_{кн}}{\beta S_n \cos \varphi_2 + P_0 + \beta^2 P_{кн}} = 0,926$ , так как при номинальной нагрузке  $\beta = 1$ .

156 Правильно, так как  $\Delta k\% = \frac{k_1 - k_{11}}{k_{cp}} \cdot 100\% = \frac{k_1 - k_{11}}{\left(\frac{k_1 + k_{11}}{2}\right)} \cdot 100\% > 1\%$  и

включать трансформатор на параллельную работу нельзя. Допустимое значение  $\Delta k\% = \pm 0,5\%$ .

157 Ответ ошибочен. Разомкнуть вторичную обмотку у трансформатора тока нельзя, у трансформатора напряжения – можно. См. подразд. 1.11.

158 Дайте более полный ответ. При  $E_{2I} > E_{2II}$  больший ток будет в обеих обмотках первого трансформатора.

159 Ответ не соответствует действительности. Суммарные потери в трансформаторе  $\Sigma \Delta P$ .  $\Sigma \Delta P_I / \Sigma \Delta P_{II} \neq 2,56$ , где  $\Sigma \Delta P_I = P_0 + \beta_1^2 P_{кн}$ ,

$$\Sigma \Delta P_{II} = P_0 + \beta_{II}^2 P_{кн}. \text{ Выполните расчет и повторите выбор ответа.}$$

160 Измерительные трансформаторы предназначены для расширения пределов измерений приборов переменного тока, но вам необходимо указать, для какой цели они не служат.

161 Правильно. Угол между векторами линейных напряжений первичной и вторичной обмоток равен  $150^\circ$ . Поделив его на  $30^\circ$ , получим группу 5.

162 Ответ ошибочен. Большую нагрузку берет на себя тот трансформатор, у которого  $E_2$  больше. При этом у него будет больший как ток  $I_2$ , так и ток  $I_1$ . В заданных условиях это будет первый трансформатор.

163 Правильно. При номинальной нагрузке суммарные потери наибольшие  $\Sigma \Delta P = \Delta P_{\text{м}} + \Delta P_{\text{эл}} = P_0 + P_{\text{кн}}$ , поэтому и нагрев будет также наибольшим.

164 Учтите, что КПД максимален при  $\beta$ , когда  $\Delta P_{\text{эл}} = \Delta P_{\text{м}}$ . Определите правильно  $\beta$ .

165 Правильно. При изменении тока нагрузки трансформатора его результирующая МДС практически не меняется,  $I_1 w_1 + I_2 w_2 = I_0 w_1 \approx \text{const}$ .

166 Ответ неполный.  $\Delta u_{\%}$  зависит от  $\cos \varphi_2$ , но этого недостаточно. Дайте более полный ответ.

167 Сопротивления  $z_{\text{к}}$  и токи  $I_2$  различны. См. подразд. 1.10.

168  $\beta_{\text{онт}} \neq 1,0$ .  $\beta_{\text{онт}} = \sqrt{P_0/P_{\text{кн}}}$ . Правильно определите  $\beta_{\text{онт}}$ .

169  $\eta \neq 0,972$ ,  $\eta = 1 - \frac{P_0 + \beta^2 P_{\text{кн}}}{\beta S_{\text{н}} \cos \varphi_2 + P_0 + \beta^2 P_{\text{кн}}}$ . Выполните расчет при  $\beta = 1$ ,

так как нагрузка номинальная.

170  $\eta \neq 0,915$ . Определите КПД при  $\beta = 1$  по формуле  $\eta = 1 - \frac{P_0 + \beta^2 P_{\text{кн}}}{\beta S_{\text{н}} \cos \varphi_2 + P_0 + \beta^2 P_{\text{кн}}}$ .

171 При схеме соединения  $Y/\Delta$  возможны только нечетные группы соединений, группа 6 не может быть.

172 Для заданных условий характеристики 1 и 2 не соответствуют действительности. См. подразд. 1.7.

173 Правильно. Обрыв вторичной обмотки трансформатора тока приводит к его перегреву и резкому увеличению вторичного напряжения, обрыв вторичной обмотки трансформатора напряжения практически не меняет режим его работы.

174  $I_{1\text{II}} \neq 14 \text{ А}$ . Отношение токов должно быть обратно пропорционально отношению сопротивлений короткого замыкания, т. е.  $I_{1\text{I}}/I_{1\text{II}} = z_{\text{кII}}/z_{\text{кI}}$ . Из последнего условия определяется  $I_{1\text{II}}$ . Определите правильно  $I_{1\text{II}}$ .

175 Суммарные потери в трансформаторе включают в себя потери в стали  $\Delta P_{\text{м}}$ , которые не зависят от нагрузки и равны потерям  $P_0$ , и потери в меди  $\Delta P_{\text{эл}}$ . Последние зависят от нагрузки и равны  $\beta^2 P_{\text{кн}}$ . В данном примере  $\beta = 0,5$  и  $\Sigma \Delta P \neq 250 \text{ Вт}$ . Определите правильно  $\Sigma \Delta P$ .

176 Ответ ошибочен. См. подразд. 1.10.

177 Ответ неполный.  $\Delta u_{\%}$  действительно зависит от коэффициента нагрузки  $\beta$ , но этого недостаточно. Ответ дайте на основании уравнения  $\Delta u_{\%} = \beta (\Delta u_{\text{ка}\%} \cos \varphi_2 + \Delta u_{\text{кр}\%} \sin \varphi_2)$ .

178 Правильно. КПД максимален, когда  $\Delta P_{эл} = \Delta P_{м}$ . На графике это соответствует  $\beta = 0,5$ .

179 Нагрев трансформатора зависит от суммарных потерь в нем. В опыте короткого замыкания будут только потери в меди  $\Delta P_{эл}$ , поэтому нагрев трансформатора не будет наибольшим.

### 3.2 По разделу «Асинхронные машины»

(Теоретический материал представлен в пособии [1])

180 Ответили правильно.

181 Угловая частота вращения магнитного поля статора  $\omega_1 \neq 2 \pi p / f_1$ .

Определите  $\omega_1$  из уравнения  $\omega_1 = \frac{2 \pi n_1}{60}$ , где  $n_1 = \frac{60 f_1}{p}$  – частота вращения магнитного поля статора.

182 Скольжение  $s \neq \frac{n_1 - n_2}{n_2}$ . См. подразд. 2.2.

183 Ответы  $a$  и  $b$  – не соответствуют действительности. Ответ  $v$  – правильный. См. подразд. 2.2.

184 Правильно. Магнитный поток обмотки статора трехфазного асинхронного двигателя является вращающимся и неизменным по величине.

185 Правильно. При  $n_{2н} = 960$  об/мин частота вращения поля статора  $n_1 = 1000$  об/мин. Если увеличить  $n_2$  более чем на 40 об/мин, то машина перейдет в генераторный режим, так как получим  $n_2 > n_1$ .

186 Все три ответа ( $a$ ,  $b$ ,  $v$ ) – ошибочные. См. подразд. 2.2.

187  $n_1 = \frac{60 f_1}{p} = \frac{60 \cdot 50}{4} = 750$  об/мин;

$n_{2н} = n_1 (1 - s_n) = 750 \cdot (1 - 0,04) = 720$  об/мин. Ответ правильный.

188 Главная причина, по которой относительное значение намагничивающего тока у асинхронного двигателя больше, чем у трансформатора, другая. См. подразд. 2.3.

189 С увеличением воздушного зазора между статором и ротором ток холостого хода  $I_0$  изменится из-за возрастания намагничивающей составляющей тока. См. подразд. 2.3.

190 Активное сопротивление фазы роторной обмотки  $r_{2s} = r_2$ , т. е. не зависит от скольжения, а  $x_{2s}$  с ростом нагрузки и увеличением скольжения – изменяется. См. подразд. 2.3.

191 Правильно.  $E_{2s} = E_2 s$ , поэтому  $E_{2s6} > E_{2s5}$  и  $I_{26} > I_{25}$ .

192 Ответ неверный. При пуске двигателя  $n_2 = 0$  и  $s = 1$ ,  $f_{2s} = f_2 s = 50$  Гц. С увеличением оборотов уменьшается  $s$ , а, следовательно, и  $f_{2s}$ . См. подразд. 2.4.

193 Правильно. ЭДС уменьшается и при  $n_{2н}$   $E_{2с} = 17,55$  В.

194 Уравнение  $s = \frac{n_1 - n_2}{n_1}$  соответствует действительности.

195 Правильно,  $r_1$  – активное сопротивление фазы обмотки статора.

196 Параметр  $\left( r_1 + \frac{r'_2}{s} \right)$  в упрощенной Г-образной схеме замещения асинхронного двигателя не выполняет роль нагрузки. См. подразд. 2.5.

197 Потери в стали сердечника статора определить нельзя,  $\Delta P_{м1} \neq P_{эм} - P_{мех}$ . См. подразд. 2.6.

198  $\cos \varphi_{1н} \neq 0,44$ . Вам указаны фазные величины, поэтому  $P_{1н} = 3 U_{1Фн} I_{1Фн} \cos \varphi_{1н}$ . Из приведенного уравнения определите  $\cos \varphi_{1н}$ . См. подразд. 2.6.

199  $I_{1Фн} \neq 36$  А. При  $U_{1н} = 380/220$  В и  $U_{сети} = 380$  В обмотка статора двигателя должна быть соединена по схеме звезда. Активная мощность  $P_{1н} = P_n / \eta_n = \sqrt{3} U_{1н} I_{1н} \cos \varphi_{1н}$ , где  $P_n$  – номинальная полезная мощность на валу двигателя;  $U_{1н}$  и  $I_{1н}$  – соответственно линейные номинальные напряжение и ток. При схеме соединения статорной обмотки звезда  $I_{1н} = I_{1Фн}$ . Из вышеприведенного уравнения определите  $I_{1н}$ . См. подразд. 2.6.

200 Ответ ошибочен. Потерями в стали ротора  $\Delta P_{м2}$  пренебрегают не из-за того, что  $P_0$  мало. См. подразд. 2.6.

201  $\eta = \frac{P_2 \cdot 100 \%}{P_2 + \Sigma \Delta P}$ , где  $\Sigma \Delta P$  – суммарные потери в двигателе.  $\eta \neq 43$  %.

См. подразд. 2.6.

202 Участок 0–1 механической характеристики является только частью устойчивого участка. См. подразд. 2.7.

203 Уравнение  $M = 2M_{\max} / \left( \frac{s}{s_{кр}} + \frac{s_{кр}}{s} \right)$  представлено верно.

204 Ответ не соответствует действительности. В точке О двигатель имеет режим идеального холостого хода. См. подразд. 2.7.

205  $r'_{пущ} \neq 1,143$  Ом.  $s_{кр} = r'_2 / x_k$ , откуда  $r'_2 = x_k s_{кр}$ . При  $M_n = M_{\max}$  новое значение критического скольжения  $s_{кр} = \frac{r'_2 + r'_{пущ}}{x_k} = 1$ . Из последнего

уравнения определите  $r'_{пущ}$ . См. подразд. 2.7.

206  $n_2 \neq 900$  об/мин. При  $p = 3$ ,  $f_1 = 50$  Гц,  $n_1 = 60 f_1 / p = 1000$  об/мин. Если при нагрузке двигатель имеет  $s = 0,1$ , а  $s_{кр} = 0,2$ , то он работает на устойчивом участке механической характеристики, который является

практически линейным. С уменьшением нагрузки на валу в 2 раза, во столько же раз уменьшится и  $s$ . Определите правильно  $n_2$ . См. подразд. 2.7.

207 Так как момент двигателя  $M \equiv U_1^2$ , то с уменьшением  $U_1$  уменьшается и  $M$ . При новом значении  $U_1$  будет  $M < M_c$ , обороты ротора уменьшатся, возрастет скольжение  $s$ , изменится и ток  $I_2$ . См. подразд. 2.7.

208 Критическое скольжение зависит от дополнительного сопротивления, включенного в цепь ротора. См. подразд. 2.7.

209 При снижении  $U_1$  на 20 % вращающий момент двигателя уменьшится и при  $M_c = \text{const}$  снизятся обороты ротора. При этом частота тока ротора не уменьшится, а наоборот, увеличится. См. подразд. 2.7.

210 Асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором имеют  $s_{н} = 2...8\%$ .

211 При снижении  $U_1$  на 20 % пусковой момент действительно уменьшится на 36 %, так как  $M_{\text{пуск}} \equiv U_1^2$ .

212 Рабочие характеристики 2 и 4 асинхронного двигателя не соответствуют зависимостям  $n_2 = f(P_2)$  и  $M_2 = f(P_2)$ . См. подразд. 2.8.

213 С изменением  $P_2$  магнитный поток в зазоре машины по величине действительно не меняется, но практически линейная зависимость  $M_2 = f(P_2)$  объясняется другой причиной. См. подразд. 2.8.

214 Напряжение сети  $U_1$  действительно должно быть постоянным по величине, а ток  $I_1$  с изменением  $P_2$  будет изменяться. См. подразд. 2.8.

215 Характеристика 1 обозначена верно.

216 При отмеченном способе пуска действительно  $M_{\text{макс}}$  уменьшается в 3 раза, но это является не достоинством, а недостатком. См. подразд. 2.9.

217 Фазовый ток действительно уменьшится в  $\sqrt{3}$  раз.

218 Включение пускового реостата действительно приводит к уменьшению угла между  $\underline{U}_1$  и  $(-I_2')$ .

219 При  $M_c = 15$  Нм двигатель запускается, так как при схеме звезда  $M_{\text{пуск}} = 40$  Нм  $> M_c$ .

220 Ответ ошибочен. См. подразд. 2.10.

221 При уменьшении напряжения  $U_1$  двигатель не будет иметь характеристику  $v$ . См. подразд. 2.10.

222 Способ регулирования оборотов за счет изменения частоты  $f_1$  требует относительно дорогой частотный преобразователь, поэтому не является наиболее экономичным. См. подразд. 2.10.

223 Отмеченное изменение механической характеристики произошло не за счет изменения напряжения питания. См. подразд. 2.10.

224 Ответ ошибочен. В точке  $b$   $n_{1e} = 1200$  об/мин, следовательно,  
 $f_{1e} = \frac{p n_{1e}}{60} = \frac{2 \cdot 1200}{60} = 40$  Гц. При частотном регулировании  $\frac{U_1}{f_1} = \text{const}$ . В

точке  $a$   $\frac{U_{1a}}{f_{1a}} = \frac{220}{50} = 4,4$ , в точке  $b$   $U_{1e} = 4,4 f_{1e} = 176$  В.

225 Уменьшение оборотов двигателя в данном случае не может быть выполнено за счет изменения частоты тока  $f_1$ . См. подразд. 2.10.

226 Однофазная обмотка при пуске двигателя не создает кругового вращающегося магнитного поля. См. подразд. 2.11.

227 Правильно.  $n_{1\text{пр}} = n_{1\text{обр}} = 3000$  об/мин;

$$s_{\text{пр}} = \frac{n_{1\text{пр}} - n}{n_{1\text{пр}}} = \frac{3000 - 2850}{3000} = 0,05; \quad s_{\text{обр}} = 2 - s_{\text{пр}} = 2 - 0,05 = 1,95.$$

228 Угловая частота вращения магнитного поля статора  $\omega_1 \neq 2\pi p / f_1$ .  
Определите  $\omega_1$  из уравнения  $\omega_1 = 2\pi n_1 / 60$ , где  $n_1 = 60 f_1 / p$  – частота вращения магнитного поля статора.

229 Скольжение  $s$  указано верно.

230 При увеличении  $n_2$  на 40 об/мин получим  $n_2 = n_1$ . Это будет не генераторный режим, а идеальный холостой ход, так как у данной машины  $n_1 = 1000$  об/мин. См. подразд. 2.2.

231 Магнитный поток обмотки статора трехфазного асинхронного двигателя является вращающимся, но по величине он не изменяется. См. подразд. 2.2.

232 Правильно. Все три ответа ( $a, b, в$ ) – верны.

233 Правильно. Все три ответа ( $a, b, в$ ) – верны.

234 С увеличением воздушного зазора между статором и ротором ток холостого хода  $I_0$  не уменьшится, а наоборот – возрастет из-за увеличения намагничивающей составляющей тока. См. подразд. 2.3.

$$235 \quad n_1 = \frac{60 f_1}{p} = \frac{60 \cdot 500}{1} = 30000 \text{ об/мин};$$

$n_{2н} = n_1 (1 - s_n) = 30000 \cdot (1 - 0,05) = 28500$  об/мин. Ответ правильный.

236 Сопротивление фазы роторной обмотки  $r_{2s}$  не изменяется, а  $x_{2s}$ , правильно, увеличивается. См. подразд. 2.3.

237 При различных скольжениях  $E_{2Sb} \neq E_{2Sa}$ , поэтому и  $I_{2b} \neq I_{2a}$ . См. подразд. 2.4.

238 Угловая частота вращения магнитного поля статора  $\omega_1 \neq 2\pi f_1 p$ .  
Определите  $\omega_1$  из уравнения  $\omega_1 = 2\pi n_1 / 60$ , где  $n_1 = 60 f_1 / p$  – частота вращения магнитного поля статора.

239 Скольжение  $s \neq (n_2 - n_1) / n_2$ . См. подразд. 2.2.

240 Главная причина, по которой относительное значение намагничивающего тока у асинхронного двигателя больше, чем у трансформатора, другая. См. подразд. 2.3.

241 Ответ полностью ошибочен. См. подразд. 2.2.

242 Ответы  $a$  – правильный,  $b$  и  $в$  – ошибочны. См. подразд. 2.2.

243 При увеличении  $n_2$  на 30 об/мин генераторного режима не будет, так как  $n_2 < n_1$  ( $n_2 = 990$  об/мин,  $n_1 = 1000$  об/мин). См. подразд. 2.2.

244 Ответы  $a$  и  $в$  – ошибочные,  $b$  – правильный. См. подразд. 2.2.

245  $n_1 = 60f_1 / p = 60 \cdot 1000 / 2 = 30000$  об/мин;

$n_{2н} = n_1 (1 - s_n) = 30000 \cdot (1 - 0,03) = 29100$  об/мин. В ответе дается  $n_1 = 60000$  об/мин,  $n_{2н} = 58200$  об/мин, следовательно, ответ 3 неправильный, его вы и должны указать.

246 С увеличением воздушного зазора между статором и ротором  $\cos\phi_n$  изменится из-за увеличения намагничивающей составляющей тока. См. подразд. 2.3.

247 Сопротивление фазы роторной обмотки  $r_{2s}$  не изменяется, а  $x_{2s}$  – не уменьшается, а наоборот, возрастает. См. подразд. 2.3.

248 Угловая частота вращения магнитного поля статора  $\omega_1 \neq f_1 p / (2\pi)$ . Определите  $\omega_1$  из уравнения  $\omega_1 = 2\pi n_1 / 60$ , где  $n_1 = 60f_1 / p$  – частота вращения магнитного поля статора.

249 Скольжение  $s \neq (n_2 - n_1) / n_1$ . См. подразд. 2.2.

250 Ответы  $a$  и  $в$  – ошибочные,  $b$  – правильный. См. подразд. 2.2.

251 В точке  $a$  скольжение меньше, чем в точке  $в$ , поэтому не может быть  $E_{2sa} > E_{2sv}$ , и соответственно  $I_{2a} > I_{2v}$ . См. подразд. 2.4.

252 При пуске двигателя частота тока в роторной обмотке действительно равна 50 Гц, но по мере увеличения оборотов она не возрастает, а уменьшается. См. подразд. 2.4.

253 Ответ правильный.

254 Правильно. С увеличением воздушного зазора между статором и ротором  $\cos\phi_n$  уменьшится из-за возрастания намагничивающей составляющей тока  $I_0$ .

255 С уменьшением нагрузки на валу обороты ротора несколько возрастут, но асинхронная машина по-прежнему будет оставаться в двигательном режиме. См. подразд. 2.2.

256  $n_1 = \frac{60f_1}{p} = \frac{60 \cdot 50}{12} = 250$  об/мин;

$n_{2н} = n_1 (1 - s_n) = 250 \cdot (1 - 0,06) = 235$  об/мин. Ответ правильный.

257 Ответили правильно.

258 Ответ правильный. С увеличением  $p$  угловая частота вращения поля статора  $\omega_1$  уменьшается.

- 259 Ответы  $a$  и  $b$  – ошибочные,  $\epsilon$  – правильный. См. подразд. 2.2.
- 260 Спротивление фазы роторной обмотки  $r_{2s}$  не изменяется, а  $x_{2s}$  – не уменьшается, а наоборот, возрастает. См. подразд. 2.3.
- 261 В точке  $a$  скольжение меньше, чем в точке  $\epsilon$ .  $E_{2s} = E_2 s$ , поэтому не может быть  $E_{2sa} > E_{2se}$ . В действительности  $E_{2sa} < E_{2se}$  и  $I_{2a} < I_{2e}$ . См. подразд. 2.4.
- 262 Все три ответа ( $a$ ,  $b$ ,  $\epsilon$ ) неправильны. См. подразд. 2.2.
- 263 Ответ правильный.
- 264 ЭДС уменьшается, но при  $n_{2н}$   $E_{2s} \neq 345,3$  В. Правильно определите ЭДС из уравнения  $E_{2s} = E_2 s$ , где  $s = (n_1 - n_{2н}) / n_1$ . См. подразд. 2.4.
- 265 Уравнение  $E_{2s} = E_2 s$  соответствует действительности.
- 266 Правильно,  $x'_2$  – приведенное индуктивное сопротивление фазы обмотки ротора.
- 267 Правильно. Параметр  $r'_2(1-s)/s$  в упрощенной Г-образной схеме замещения асинхронного двигателя выполняет роль нагрузки.
- 268 Все три ответа ( $a$ ,  $b$ ,  $\epsilon$ ) – ошибочные. См. подразд. 2.2.
- 269  $\cos \varphi_{1н} \neq 0,87$ . Активная мощность  $P_{1н} = 3 U_{1Фн} I_{1Фн} \cos \varphi_{1н}$ , из данного уравнения определите  $\cos \varphi_{1н}$ . См. подразд. 2.6.
- 270 Правильно.  $I_{1Фн} = I_{1н} = \frac{P_n}{\sqrt{3} U_{1н} \eta_n \cos \varphi_n} = \frac{20 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,86 \cdot 0,84} = 42$  А.
- 271 Потери в обмотке статора  $\Delta P_{эл1}$  определить нельзя. Проанализируйте энергетическую диаграмму асинхронного двигателя. См. подразд. 2.6.
- 272 Правильно. Потери в стали ротора  $\Delta P_{м2}$  зависят от частоты тока в роторной обмотке  $f_{2s}$ . При работе двигателя эта частота очень мала (1–2 Гц), поэтому  $\Delta P_{м2}$  малы и ими пренебрегают. См. подразд. 2.6.
- 273 Ответ ошибочен.  $E_{2s}$  изменяется. См. подразд. 2.4.
- 274 При пуске двигателя частота тока в роторной обмотке действительно равна 50 Гц, но по мере увеличения оборотов она изменяется. См. подразд. 2.4.
- 275  $\eta = \frac{P_2 \cdot 100 \%}{P_2 + \Sigma \Delta P}$ , где  $\Sigma \Delta P$  – суммарные потери в двигателе.
- $\eta \neq 57$  %. См. подразд. 2.6.
- 276 Уравнение  $I_2 = I_{2пуск} s$  не соответствует действительности. См. подразд. 2.4.
- 277 Участок 0–2 механической характеристики является только частью устойчивого участка. См. подразд. 2.7.

278 Правильно,  $r'_2 \frac{1-s}{s}$  – эквивалентное сопротивление, потери мощности в котором равны механической мощности, развиваемой двигателем.

279 Параметр  $\sqrt{(r'_2)^2 + (x'_2)^2}$  в упрощенной Г-образной схеме замещения асинхронного двигателя не выполняет роль нагрузки. См. подразд. 2.5.

280 Правильно.  $\cos \varphi_{1н} = P_{1н} / (3 U_{1Фн} I_{1Фн}) = 250 / (3 \cdot 220 \cdot 0,5) = 0,76$ .

281  $I_{1Фн} \neq 24,3$  А, при  $U_{1н} = 380/220$  В и  $U_{сети} = 380$  В обмотка статора двигателя должна быть соединена по схеме звезда. Активная мощность  $P_{1н} = P_n / \eta_n = \sqrt{3} U_{1н} I_{1н} \cos \varphi_{1н}$ , где  $P_n$  – номинальная полезная мощность на валу двигателя;  $U_{1н}$  и  $I_{1н}$  – соответственно номинальные линейные напряжение и ток. При схеме соединения статорной обмотки звезда  $I_{1н} = I_{1Фн}$ . Из вышеприведенного уравнения определите  $I_{1н}$ . См. подразд. 2.6.

282 С ростом оборотов  $E_{2S}$  не увеличивается. При  $n_{2н}$   $E_{2S} \neq 408,3$  В. См. подразд. 2.4.

283 Ответили правильно.  $\Delta P_{эл2} = P_{эм} - P_{мех}$ .

284 Поток в зазоре машины действительно практически неизменен, но не из-за этого величиной  $\Delta P_{м2}$  пренебрегают. См. подразд. 2.6.

285 Уравнение  $f_{2s} = f_1 s$  соответствует действительности.

286 Правильно.  $\eta = \frac{P_2 \cdot 100 \%}{P_2 + \Sigma \Delta P} = \frac{350}{350 + 150} \cdot 100 \% = 70 \%$ .

287 Уравнение  $s_n = \frac{n_1 - n_{2н}}{n_1}$  представлено верно.

288 При  $M_c > M_{макс}$  двигатель не может быть в точке 1 механической характеристики. См. подразд. 2.7.

289 Ответ ошибочен.  $x_m$  – это не индуктивное сопротивление фазы обмотки статора. См. подразд. 2.5.

290 Параметр  $r'_2 / s$  в упрощенной Г-образной схеме замещения асинхронного двигателя не выполняет роль нагрузки. См. подразд. 2.5.

291  $\cos \varphi_{1н} \neq 0,57$ . Активная мощность  $P_{1н} = 3 U_{1Фн} I_{1Фн} \cos \varphi_{1н}$ . Из приведенного уравнения определите  $\cos \varphi_{1н}$ . См. подразд. 2.6.

292 Участок 1 – 2 механической характеристики – это часть устойчивого участка. См. подразд. 2.7.

293  $I_{1Фн} \neq 30,3$  А, при  $U_{1н} = 380/220$  В и  $U_{сети} = 380$  В обмотка статора двигателя должна быть соединена по схеме звезда. Активная мощность

$P_{1н} = P_n / \eta_n = \sqrt{3} U_{1н} I_{1н} \cos \varphi_{1н}$ , где  $P_n$  – номинальная полезная мощность на валу двигателя;  $U_{1н}$  и  $I_{1н}$  – соответственно номинальные линейные напряжение и ток. При схеме соединения статорной обмотки звезда  $I_{1н} = I_{1Фн}$ . Из вышеприведенного уравнения определите  $I_{1н}$ . См. подразд. 2.6.

294 Механические и добавочные потери определить нельзя.  $\Delta P_{\text{мех}} + \Delta P_{\text{доб}} = P_{\text{мех}} - P_2$ . См. подразд. 2.6.

295 Правильно.  $r'_{\text{пуск}} = 0,773$  Ом. Порядок определения  $r'_{\text{пуск}}$  :

1) Из уравнения  $s_{\text{кр}} = r'_2 / x_k$  находим  $r'_2 = x_k s_{\text{кр}} = 0,905 \cdot 0,146 = 0,132$  Ом.

2) Если при пуске двигателя  $M_n = M_{\text{макс}}$ , то новое значение критического скольжения  $s_{\text{кр}} = \frac{r'_2 + r'_{\text{пуск}}}{x_k} = 1$ , откуда  $r'_{\text{пуск}} = x_k - r'_2 = 0,905 - 0,132 = 0,773$  Ом.

296 Уравнение  $x_{2s} = x_2 s$  соответствует действительности.

297 Частота вращения магнитного поля статора  $n_1$  действительно неизменна, но потери в стали ротора  $\Delta P_{\text{м2}}$  зависят от  $f_{2s}$ . Разберитесь, как изменится величина  $f_{2s}$  при работе двигателя. См. подразд. 2.6.

298 Уравнение  $s_{\text{кр}} = r'_2 / x_k$ , где  $x_k = x_1 + x'_2$  представлено верно.

299 При  $M_c > M_{\text{макс}}$  двигатель не может быть в точке 3 механической характеристики. См. подразд. 2.7.

300 Правильно,  $n_2 = 950$  об/мин. Двигатель работает на устойчивом участке механической характеристики при  $s = 0,1$  и  $s_{\text{кр}} = 0,2$ , который является практически линейным. Если нагрузка на валу уменьшилась в 2 раза, то во столько же раз уменьшится и  $s$ . Теперь оно будет равно 0,05 и  $n_2 = n_1 (1 - s) = 1000 \cdot (1 - 0,05) = 950$  об/мин, где  $n_1 = 60 f_1 / p = 1000$  об/мин.

301 Правильно. С уменьшением  $U_1$  уменьшается и момент двигателя. При  $M < M_c$ , обороты ротора уменьшатся, возрастут скольжение  $s$ , ЭДС  $E_{2s}$  и ток  $I_2$ .

302 Участок 1 – 3 механической характеристики действительно является устойчивым участком.

303 Правильно,  $r_m$  – сопротивление, потери мощности в котором равны мощности, теряемой в сердечнике статора.

304 У асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором  $M_n = (0,8 \dots 1,5) M_n$ .

305 При снижении  $U_1$  на 20 %  $f_{2s}$  не уменьшится, а, наоборот, возрастет. См. подразд. 2.7.

306  $r'_{\text{пуск}} \neq 0,641$  Ом.  $s_{\text{кр}} = r'_2 / x_k$ , откуда  $r'_2 = x_k s_{\text{кр}}$ . Если при пуске  $M_n = M_{\text{макс}}$ , то новое значение критического скольжения  $s_{\text{кр}} = \frac{r'_2 + r'_{\text{пуск}}}{x_k} = 1$ . Из

последнего уравнения определите  $r'_{\text{пуск}}$ . См. подразд. 2.7.

307 Уравнение  $s_{кр} = s_n (k_m + \sqrt{k_m^2 - 1})$ , где  $k_m = M_{\max} / M_n$ , представлено верно.

308 Правильно. При  $M_c > M_{\max}$  двигатель остановится, окажется в точке 4 механической характеристики. В этой точке  $s = 1$ .

309 При снижении  $U_1$  на 20 % максимальный момент действительно уменьшится на 36 %, так как  $M_{\max} \equiv U_1^2$ .

310 Характеристика 5 соответствует зависимости  $n_2 = f(P_2)$ , а характеристика 2 зависимости  $M_2 = f(P_2)$  не соответствует. См. подразд. 2.8.

311 В двигательном режиме  $n_2 \neq n_1$ . См. подразд. 2.7 и консультацию 300.

312 С изменением  $P_2$  величины  $M_2$  и  $n_2$  будут изменяться. См. подразд. 2.8.

313 С изменением  $P_2$  напряжение сети  $U_1$  действительно постоянно, но не это является причиной практически линейной зависимости  $M_2 = f(P_2)$ . См. подразд. 2.8.

314 Участок (1 – 3) механической характеристики не является устойчивым. См. подразд. 2.7.

315 С уменьшением  $U_1$  уменьшается и момент двигателя. При  $M < M_c$ , частота вращения ротора изменится. См. подразд. 2.7.

316 Характеристика 2 обозначена верно.

317 Пусковой ток статорной обмотки  $I_{1\text{пуск}}$  зависит от дополнительного сопротивления, включенного в цепь ротора. См. подразд. 2.7.

318  $r'_{\text{пуск}} \neq 0,905 \text{ Ом}$ .  $s_{кр} = r'_2 / x_k$ , откуда  $r'_2 = x_k s_{кр}$ . Если при пуске  $M_{\Pi} = M_{\max}$ , то новое значение критического скольжения  $s_{кр} = \frac{r'_2 + r'_{\text{пуск}}}{x_k} = 1$ . Из последнего уравнения определите  $r'_{\text{пуск}}$ . См. подразд. 2.7.

319 В уравнении  $M \equiv U_{1\phi}$  допущена ошибка, необходимо  $M \equiv U_{1\phi}^2$ . См. подразд. 2.7.

320 При снижении  $U_1$  на 20 % вращающий момент двигателя уменьшится на 36 %. При  $M_c = \text{const}$  уменьшатся и обороты ротора, что приведет к изменению  $f_2$ . См. подразд. 2.7.

321 У асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором  $M_{\max} = (1,7 \dots 3,4) M_n$ .

322  $n_2 \neq 500 \text{ об/мин}$ .  $n_1 = \frac{60 f_1}{p} = 1000 \text{ об/мин}$ ,  $n_2 = n_1 (1 - s)$ . Двигатель работает на устойчивом участке механической характеристики при  $s = 0,1$  и  $s_{кр} = 0,2$ , который является практически линейным. Если нагрузка на валу уменьшилась в 2 раза, то во столько же раз уменьшится и  $s$ . Определите правильно  $n_2$ . См. подразд. 2.7.

323 Правильно. При таком пуске двигателя ток  $I_{1\text{пуск}}$  уменьшается в 3 раза, что является достоинством этого пуска.

324 Данный ответ неправильный. При снижении  $U_1$  на 20 % пусковой ток  $I_{\text{пуск}}$  уменьшится не на 36 %, а только на 20 %. См. подразд. 2.7.

325 Данный ответ неправильный. Линейный ток уменьшается не в  $\sqrt{3}$  раз, а в 3 раза. См. подразд. 2.9.

326 Правильно, данный ответ неверен, так как включение пускового реостата действительно уменьшает ток  $I'_2$ .

327 Характеристики 4 и 5 указанным зависимостям не соответствуют. См. подразд. 2.8.

328 Правильно. С изменением  $P_2$  частота вращения ротора  $n_2$  изменяется очень незначительно, а  $M_2 = 9,55 P_2 / n_2$ .

329 Частота вращения магнитного поля статора  $n_1$  постоянна, а скольжение  $s$  будет изменяться. См. подразд. 2.8.

330 С уменьшением  $U_1$  пусковой момент не увеличивается, так как  $M \equiv U_1^2$ . См. подразд. 2.7.

331 Правильно. Максимальный момент  $M_{\text{макс}}$  не зависит от дополнительного сопротивления, включенного в цепь ротора,

$$M_{\text{макс}} = \frac{3 U_1^2}{2\omega_1 (x_1 + x'_2)}.$$

332 Правильно. С увеличением активного сопротивления роторной цепи  $M_{\text{макс}}$  смещается в сторону бóльших скольжений, при этом возрастает пусковой момент.

333 Правильно. При уменьшении напряжения  $U_1$  двигатель имеет характеристику  $b$ , так как  $M \equiv U_1^2$ .

334 При  $M_c = 25$  Нм двигатель запускается, так как при схеме звезда  $M_{\text{п}} = 40$  Нм  $>$   $M_c$ .

335 Характеристика 3 обозначена верно.

336 У асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором  $I_0 \neq (0,05...0,1) I_{\text{н}}$ . Данное соотношение справедливо для трансформаторов. У указанных асинхронных двигателей из-за относительно большого воздушного зазора между статором и ротором  $I_0 = (0,2...0,5) I_{\text{н}}$ . См. подразд. 2.2–2.3, 2.7.

337 Правильно. Способ регулирования оборотов двигателя за счет изменения числа пар полюсов  $p$  является наиболее экономичным, но его недостаток – ступенчатое регулирование.

338 При отмеченном способе пуска действительно пусковой момент  $M_{\text{п}}$  уменьшается в 3 раза, но это недостаток такого пуска. См. подразд. 2.9.

339  $s_{\text{кр}}$  действительно не изменится, так как она не зависит от  $U_1$ . Вам же необходимо указать неправильный ответ.

340 Правильно при снижении  $U_1$  на 20 % и  $M_c = \text{const}$  обороты ротора уменьшатся, возрастут скольжение  $s$  и частота тока ротора  $f_{2s}$ .

341 Пусковой момент действительно уменьшается в 3 раза.

342 Отмеченное изменение механической характеристики произошло не за счет изменения активного сопротивления роторной цепи. См. подразд. 2.10.

343 Правильно. Характеристики 5 и 1 соответствуют зависимостям  $n_2 = f(P_2)$  и  $M_2 = f(P_2)$ .

344 Этот ответ неправильный. Включение пускового реостата приводит не к уменьшению активной составляющей тока ротора  $I'_{2a}$ , а к ее увеличению. См. подразд. 2.9.

345 Правильно. В точке *в*  $n_{1e} = 1200$  об/мин, следовательно,  $f_{1e} = p n_{1e} / 60 = 2 \cdot 1200 / 60 = 40$  Гц. При частотном регулировании  $U_1 / f_1 = \text{const}$ . В точке *а*  $U_{1a} / f_{1a} = 220 / 50 = 4,4$ , в точке *в*  $U_{1e} = 4,4 f_{1e} = 176$  В.

346 Пусковой момент  $M_{п}$  зависит от дополнительного сопротивления, включенного в цепь ротора. См. подразд. 2.7.

347 Уменьшение оборотов двигателя в данном случае не может быть вызвано изменением числа пар полюсов. См. подразд. 2.10.

348 С изменением  $P_2$  частота тока в статорной обмотке  $f_1$  действительно не меняется, но не это является причиной практически линейной зависимости  $M_2 = f(P_2)$ . См. подразд. 2.8.

349 Однофазная обмотка при пуске двигателя не создает эллиптического вращающегося магнитного поля. См. подразд. 2.11.

350 У однофазного двигателя  $n_{1пр} = n_{1обр} = 3000$  об/мин;

$s_{пр} = (n_{1пр} - n) / n_{1пр} = (3000 - 2850) / 3000 = 0,05$ ;  $s_{обр}$  определено ошибочно.

См. подразд. 2.11.

351 Характеристика 4 обозначена верно.

352 Правильно. Величины  $U_1$  и  $f_1$  должны быть постоянными при получении рабочих характеристик асинхронного двигателя.

353 Ответ ошибочен. См. подразд. 2.10.

354 Пусковой ток роторной обмотки  $I_{2пуск}$  зависит от дополнительного сопротивления, включенного в цепь ротора. См. подразд. 2.7.

355 При  $M_c = 35$  Нм двигатель запускается, так как при схеме звезда  $M_{п} = 40$  Нм  $> M_c$ .

356 При отмеченном способе пуска действительно пусковой момент  $M_{п}$  не возрастает, а наоборот, уменьшается в три раза, что является недостатком. См. подразд. 2.9.

357 У однофазного двигателя  $n_{1пр} = n_{1обр} = 3000$  об/мин;

$s_{пр} = \frac{n_{1пр} - n}{n_{1пр}} = \frac{3000 - 2850}{3000} = 0,05$ ;  $s_{обр}$  определено ошибочно. См.

подразд. 2.11.

358 Ответ ошибочен. См. подразд. 2.10 и консультацию 345.

359 Уменьшение оборотов двигателя в данном случае не может быть вызвано изменением активного сопротивления роторной цепи. См. подразд. 2.10.

360 Максимальный момент действительно уменьшается в 3 раза.

361 Реостатный способ регулирования оборотов у двигателей с фазным ротором не может быть самым экономичным, так как сопровождается большими потерями энергии в реостатах. См. подразд. 2.10.

362 Ответ ошибочен. Такое изменение механической характеристики за счет числа пар полюсов невозможно. См. подразд. 2.10.

363 Отмеченное изменение механической характеристики не может быть вызвано изменением частоты сети  $f_1$ . См. подразд. 2.10.

364 Ответ ошибочен. См. подразд. 2.10 и консультацию 345.

365 Правильно. При  $M_c = 45$  Нм двигатель не запустится, так как при схеме звезда  $M_n = 40$  Нм и будет меньше  $M_c$ . См. подразд. 2.9.

366 Включение пускового реостата действительно приводит к увеличению пускового момента.

367 У однофазного двигателя  $n_{1np} = n_{1обр} = 3000$  об/мин;

$$s_{np} = (n_{1np} - n) / n_{1np} = (3000 - 2850) / 3000 = 0,05; \quad s_{обр} \text{ определено ошибочно.}$$

См. подразд. 2.11.

368 Характеристика 5 обозначена неверно. При  $P_2 = 0$ :  $P_1 = P_0$ , на графике этого нет. См. подразд. 2.8.

369 Правильно. Данное уменьшение оборотов двигателя может быть осуществлено только за счет уменьшения напряжения питания  $U_1$ .

370 При уменьшении напряжения  $U_1$  двигатель не может иметь характеристику  $\gamma$ . Такую характеристику имеет двигатель с фазным ротором при включении в цепь ротора дополнительного сопротивления. См. подразд. 2.10.

371 Способ регулирования оборотов за счет изменения  $U_{1\phi}$  не может быть самым экономичным, так как для его осуществления требуется относительно дорогой регулятор напряжения. См. подразд. 2.10.

372 Правильно. Данное изменение может быть вызвано только за счет числа пар полюсов.

### 3.3 По разделу «Машины постоянного тока»

(Теоретический материал представлен в пособии [2])

373 Ток возбуждения увеличивается, а частота вращения двигателя уменьшается. См. подразд. 1.5.

374 Правильно. ЭДС определяется непосредственно по графику при условии, что ток возбуждения равен нулю.

375 Коллектор набирают из ламелей, которые изготавливают из меди; поверхность их специально обрабатывают для повышения устойчивости к истиранию. К ламелям припаивают секции обмотки якоря. См. подразд. 1.2.

376 Это механическая характеристика двигателя с параллельным подключением обмотки возбуждения. См. подразд. 1.5.

377 Правильно. При увеличении нагрузки ЭДС и напряжение генератора уменьшаются.

378 Воспользуйтесь формулой  $U = E + I_a r_a$ .

379 Правильно. В момент пуска  $E = 0$ , поэтому  $I_a = U / r_a = 100 / 0,1 = 1000$  А.

380 Вы неправильно определили номер коллекторной пластины, к которой припаяно начало второй секции. См. подразд. 1.2.

381 Правильно. ЭДС остаточного магнетизма не зависит от нагрузки.

382 Для двигателей параллельного возбуждения  $M \sim I_a$ , а у двигателей последовательного возбуждения  $M \sim I_a^2$ , и двигатели последовательного возбуждения по сравнению с двигателями параллельного возбуждения развивают значительно больший пусковой момент.

383 При уменьшении нагрузки частота двигателя увеличивается.

384 Для ответа на вопрос к номеру коллекторной пластины, припаянной к началу первой секции, прибавьте шаг по коллектору. См. подразд. 1.2.

385 Правильно. Ширина секции равна трем пазам.

386 Правильно. При переключении и цепи возбуждения и якоря направление вращения останется прежним.

387 Втулка представляет собой основную конструктивную деталь коллектора. На втулке крепятся ламели, электрически изолированные друг от друга миканитовыми прокладками.

388 Наоборот, условия пуска будут более легкими.

389 Правильно. ЭДС уменьшается, так как уменьшается общий магнитный поток.

390 Значение индуктируемой в проводнике обмотки якоря ЭДС  $e_{пр} = B l v = 1 \cdot 0,1 \cdot 1 = 0,1$  В.

391 Такую ЭДС машина развивает при больших токах возбуждения. См. подразд. 1.4.

392 Механическая нагрузка определяется потребителем, и если она не больше номинальной, уменьшать ее не нужно. Повторите выбор ответа.

393 Воспользуйтесь формулой не для генераторного, а для двигательного режима работы машины постоянного тока:  $U = E + I_a r_a$ . См. подразд. 1.1.

394 Частота будет увеличиваться, так как  $M_{вр} > M_{торм}$ . См. подразд. 1.6.

395 Это механическая характеристика двигателя с последовательным подключением обмотки возбуждения. См. подразд. 1.5.

396 При увеличении числа коллекторных пластин пульсации напряжения на щетках уменьшаются. См. подразд. 1.1.

397 Реакция якоря действительно уменьшает ЭДС.

398 Воспользуйтесь зависимостью между моментом и током якоря для двигателя последовательного возбуждения  $M \sim I_a^2$ . См. подразд. 1.5.

399 Ширина секции измеряется разностью номеров пазов, в которых уложены начало и конец секции.

400 Правильно. Потери на вихревые токи пропорциональны квадрату частоты перемagnetивания, которая, в свою очередь, пропорциональна скорости вращения якоря.

401 Правильно.

402 Ответы ошибочны. При рассуждениях используйте формулу  $n = \frac{U - I_a r_a}{c_E \Phi}$ . См. подразд. 1.5.

403 У двигателя ослабление магнитного поля наблюдается под сбегаящим краем полюса. См. подразд. 1.3.

404 Ответ ошибочен. Вспомните определения первого и второго частичных шагов петлевой обмотки. См. подразд. 1.2.

405 Щетки надо повернуть в сторону смещения физической нейтрали.

406 Ответ ошибочен. При рассуждениях используйте формулу  $n = \frac{U - I_a r_a}{c_E \Phi}$ . См. подразд. 1.5.

407 Потери на вихревые токи пропорциональны квадрату частоты перемagnetивания, которая пропорциональна скорости вращения якоря. См. подразд. 1.8.

408 При помощи миканитовых прокладок ламели коллектора электрически изолируют друг от друга. См. подразд. 1.1.

409 Виток займет положение, при котором его плоскость будет перпендикулярна магнитным силовым линиям.

410 Правильно. В этом случае ЭДС вращения компенсирует ЭДС самоиндукции  $e_s$  и ЭДС взаимной индукции  $e_m$ .

411 Напряжение пропорционально изменению магнитной индукции при отсутствии насыщения магнитопровода, а для определения магнитных потерь используются формулы  $P_r = \sigma_r \frac{f}{100} B_m^2 m$  и  $P_{вх} = \sigma_{вх} \left( \frac{f}{100} \right)^2 B_m^2 m$ .

412 Необходимо воспользоваться законом электромагнитной индукции  $e = -\frac{d\Phi}{dt}$ . По условию задачи скорость изменения магнитного потока постоянна (поток уменьшается равномерно), следовательно, ЭДС постоянная,  $|e| = \Delta\Phi / \Delta t = 10/2 = 5$  В.

413 Воспользуйтесь следующими формулами для простой двухслойной волновой обмотки:  $y = y_1 + y_2$ ;  $y_1 = y_k = \frac{K \pm 1}{p}$ ;  $2a = 2$ ;

$$y_1 = \frac{Z_{\text{эл}}}{2p} \pm b.$$

414 Для самовозбуждения необходимо выполнение следующих условий: 1) наличие остаточного магнитного потока полюсов; 2) правильное подключение концов обмотки возбуждения или правильное направление вращения; 3) сопротивление цепи возбуждения  $r_b$  при данной скорости вращения  $n$  должно быть ниже некоторого критического значения.

415 При отключенной нагрузке ток якоря будет небольшим, сравнительно малым будет и количество тепла, выделяющегося в обмотке якоря.

416 Ответ ошибочен. Значение индуктируемой в проводнике обмотки якоря ЭДС  $e_{\text{пр}} = B l v$ . См. подразд. 1.1.

417 Это следствие реакции якоря при наличии насыщения магнитной системы машины. См. подразд. 1.3.

418 Правильно. При уменьшении числа коллекторных пластин пульсации напряжения на щетках увеличиваются. У первого генератора число коллекторных пластин меньше, следовательно, пульсации больше, чем у второго.

419 Напряжение постоянного тока на зажимах якоря генератора будет меньше  $E$  на величину падения напряжения в сопротивлении обмотки якоря  $r_a$ , то есть  $E = U + I_a r_a$ . Приложенное к якорю двигателя напряжение уравнивается противоЭДС  $E$  и падением напряжения в обмотке якоря:  $U = E + I_a r_a$ .

420 Ответы ошибочны. При рассуждениях используйте формулу  $n = \frac{U - I_a r_a}{c_E \Phi}$ . См. подразд. 1.5.

421 Для самовозбуждения необходимо выполнение следующих условий: 1) наличие остаточного магнитного потока полюсов; 2) правильное подключение концов обмотки возбуждения или правильное направление вращения; 3) сопротивление цепи возбуждения  $r_b$  при данной скорости вращения  $n$  должно быть ниже некоторого критического значения.

422 Правильно. При согласном включении последовательной обмотки возбуждения двигатель смешанного возбуждения имеет более мягкую механическую характеристику по сравнению с двигателем параллельного возбуждения, но более жесткую по сравнению с двигателем последовательного возбуждения.

423 Это неправильный ответ. См. подразд. 1.4.

424 Правильно. У двигателя ослабляется магнитное поле под сбегающим краем полюса.

425 С увеличением нагрузки напряжение на зажимах генератора действительно уменьшается.

426 Правильно. Конец первой секции и начало второй секции припаяны к одной и той же коллекторной пластине.

427 Правильно, так как  $M \sim I_a^2$ .

428 Это следствие реакции якоря.

429 Ширина секции измеряется разностью номеров пазов, в которых уложены начало и конец секции.

430 Правильно. При уменьшении механической нагрузки на валу, а следовательно, и тока якоря, равного току возбуждения, частота серийного двигателя резко увеличивается.

431 Вспомните, что результирующий магнитный поток уменьшится. Реакция якоря размагничивает генератор и снижает его ЭДС.

432 У генератора под набегающим краем полюса магнитное поле ослабляется, под сбегающим – усиливается. Дайте верный ответ.

433 Реакция якоря искажает магнитное поле электрической машины. См. подразд. 1.4.

434 Вы правы, пружина не является деталью коллектора. Пружины устанавливаются в щеткодержателях и обеспечивают постоянное давление в скользящем контакте между коллектором и щеткой.

435 Необходимо либо изменить направление магнитного потока, т. е. переключить обмотку возбуждения, либо изменить направление тока в якоре. При переключении и цепи возбуждения, и якоря направление вращения останется прежним. См. подразд. 1.6.

436 Правильно. Нужно совместить щетки с физической нейтралью.

437 При неправильной полярности тока в обмотке возбуждения генератор не возбуждается. См. подразд. 1.4.

438 В формулу для индуцируемой в проводнике обмотки якоря ЭДС  $e_{пр} = B l v$  активную длину проводника необходимо подставлять в метрах. См. подразд. 1.1.

439 Обратите внимание на равномерность уменьшения магнитного потока, пронизывающего контур, т.е. он изменяется с равномерной скоростью.

440 Правильно.

441 Магнитный поток возбуждения с увеличением нагрузки действительно уменьшается, так как уменьшаются напряжение на зажимах генератора и ток возбуждения.

442 Обратите внимание, что машина имеет четыре полюса ( $2p = 4$ ). См. подразд. 1.2.

443 При любой полярности полюсов ослабление магнитного потока у генератора происходит под набегающим краем каждого полюса. См. подразд. 1.3.

444 Воспользуйтесь формулами следующими расчета простой двухслойной петлевой обмотки:  $y = y_k = 1$ ;  $y_1 = \frac{Z_{эл}}{2p} \pm b$ ;  $y = y_1 - y_2$ . См. подразд. 1.2.

445 Вы неправильно определили номер паза, в котором лежит конец первой секции. См. подразд. 1.2.

446 Для ответа на данный вопрос воспользуйтесь формулой  $E = c_E n \Phi$ .

447 Магнитное поле у генератора ослабляется под набегающим краем полюса.

448 Потери на вихревые токи пропорциональны квадрату частоты перемагничивания, которая, в свою очередь, пропорциональна скорости вращения якоря. См. подразд. 1.7.

449 Пусковой реостат включается в цепь якоря, а не в цепь возбуждения.

450 Правильно.

451 Ответы ошибочны. Повторите подразд. 1.1 и сделайте правильный выбор ответа.

452 Правильно.

453 При рассуждениях используйте формулу  $n = \frac{U - I_a r_a}{c_E \Phi}$ . Обратите внимание, что при уменьшении сопротивления в цепи возбуждения магнитный поток увеличится. См. подразд. 1.5.

454 Правильно.  $U = E + I_a r_a = 99 + 10 \cdot 0,1 = 100$  В.

455 В этом случае ЭДС вращения имеет тот же знак, что и реактивная ЭДС, а значит их сумма будет больше нуля. См. подразд. 1.3.

456 Правильно. Сопротивление обмотки якоря практически не влияет на процесс самовозбуждения генератора.

457 В этом случае ЭДС вращения равна нулю, а ЭДС самоиндукции  $e_s$  и ЭДС взаимной индукции  $e_m$  не равны нулю. См. подразд. 1.3.

458 Сгорит пусковой реостат, так как он не рассчитан на работу в длительном режиме.

459 В момент пуска  $E = 0$ , воспользуйтесь формулой  $I_a = U / r_a$ .

460 Правильно. Пусковой реостат рассчитан на кратковременную работу.

461 Ширина секции измеряется разностью номеров пазов, в которых уложены начало и конец секции и равна трем пазам.

462 Необходимо повторить подраздел 1.5.

463 Правильно. Согласно закону электромагнитной индукции для контура  $e = -\frac{d\Phi}{dt}$ . По условию задачи скорость изменения магнитного потока постоянна (поток уменьшается равномерно), следовательно, ЭДС постоянная,  $|e| = \Delta\Phi/\Delta t = 10/2 = 5$  В. См. подразд. 1.1.

464 Величина пульсаций зависит от числа коллекторных пластин. Чем больше коллекторных пластин, тем меньше пульсации.

465 Необходимо воспользоваться формулой для индуцируемой в проводнике обмотки якоря ЭДС  $e_{пр} = Blv$ . См. подразд. 1.1.

466 При изменении направления тока возбуждения изменяется на обратное направление силовых линий магнитного поля, создаваемого этим током. См. подразд. 1.6.

467 Правильно, так как  $M_{эм} = c_M I_a \Phi$ .

468 Вращающий момент пропорционален произведению магнитного потока на ток якоря:  $M_{эм} = c_M I_a \Phi$ .

469 Правильно. При прочих равных условиях  $E \equiv n$ .

470 Правильно. Для генератора –  $E = U + I_a r_a$ , для двигателя –  $U = E + I_a r_a$ .

471 Это следствие реакции якоря, вызывающей искажение магнитного поля.

472 Набегающий край полюса помечен буквой  $\beta$ . Правильно, здесь магнитное поле основных полюсов ослабляется из-за размагничивающего действия реакции якоря.

473 Вы ошибаетесь. Пульсации напряжения на щетках определенным образом зависят от числа коллекторных пластин. Чем меньше коллекторных пластин, тем больше пульсации.

474 Правильно.

475 Ответ ошибочен. В момент пуска  $E = 0$  и  $n = 0$ , воспользуйтесь формулой  $I_a = U / r_a$ .

476 Вращающий момент пропорционален произведению магнитного потока на ток якоря:  $M_{эм} = c_M I_a \Phi$ .

477 Виток не будет вращаться и займет положение, при котором его плоскость будет перпендикулярна магнитным силовым линиям.

478 Правильно. Обычно минимально допустимая нагрузка  $P_2 \approx 0,2P_n$ , при которой частота может достигнуть значения  $n > n_{пред}$ , опасная для целостности двигателя.

479 ЭДС прямо пропорциональна скорости вращения. См. подразд. 1.1.

480 Правильно.

481 Правильно.

482 При уменьшении тока возбуждения *частота* вращения двигателя последовательного возбуждения увеличивается. См. подразд. 1.5.

### 3.4 По разделу «Синхронные машины»

(Теоретический материал представлен в пособии [2])

483 Потери на вихревые токи относят к постоянным потерям синхронной машины.

484 Правильно.

485 Физически угол  $\theta$  означает, что в двигателе полюсы ротора отстают от вращающегося магнитного поля. См. подразд. 2.4.

486 При нагрузке ротор синхронного двигателя отстает на некоторый угол от вращающегося магнитного поля, причем с увеличением нагрузки угол  $\theta$  возрастает.

487 Вращающий момент синхронной машины и ее мощность пропорциональны синусу угла сдвига между осями полюсов ротора и результирующего магнитного поля машины. См. подразд. 2.4.

488 Вы перепутали кривые, изображающие данные зависимости. Изучите более внимательно рабочие характеристики синхронного двигателя. См. подразд. 2.4.

489 Изменяя ток возбуждения, можно менять лишь величину реактивной мощности синхронного генератора.

490 Изменяя ток возбуждения, можно изменить величину реактивной мощности генератора, но нельзя изменить величину его активной мощности. См. подразд. 2.3.

491 Правильно.  $y = \tau = \frac{z}{2p} = \frac{24}{2} = 12$ .

492 Эта часть машины называется статором.

493 Ответ ошибочен. Необходимо обратить внимание, что при прочих равных условиях чем больше зазор, тем меньше величина магнитной индукции.

494 При увеличении активно-индуктивной нагрузки также увеличивается размагничивающее действие реакции якоря. См. подразд. 2.3.

495 Чтобы поддерживать напряжение синхронного генератора постоянным при увеличении индуктивной или активной нагрузки ток возбуждения надо увеличивать. См. подразд. 2.3.

496 Для ответа на вопрос недостаточно данных, так как неизвестно число полюсов генератора.

497 Правильно.  $E_{\text{витка ср}} = 4,44f\Phi = 4,44 \cdot 50 \cdot 0,02 = 4,44 \text{ В}$ .

498 Необходимо выполнение всех трех условий:  $U = \text{const}$ ,  $\cos\phi = \text{const}$ ,  $f = \text{const}$ . См. подразд. 2.3.

499 Это правильный, но неполный ответ.

500 Если напряжения генераторов не равны, а остальные условия выдержаны, то в обмотках генераторов возникает уравнивающий ток  $I_{ур}$ . См. рисунок 2.18, а.

501 Необходимо учесть, что между первым пазом и пазом, в котором лежит конец первой секции, находится 12 пазов (шаг обмотки). См. пример 2.2.

502 Правильно:  $y = \tau = \frac{z}{2p} = \frac{18}{2 \cdot 3} = 3$ , затем прибавляем найденный шаг к номеру паза, в котором лежит начало катушки.

503 Действие пятой и седьмой гармоник ослабляют, укорачивая шаг обмотки.

504 Ответ неверный. Задачу можно решить, не зная числа полюсов ротора. См. подразд. 2.3.

505 При активной нагрузке и насыщенном магнитопроводе поток реакции якоря несколько уменьшает магнитное поле машины.

506 Правильно.

507 Правильно, частота вращения магнитного поля якоря генератора равна частоте вращения индуктора.

508 Вспомните, что на параллельную работу включают генераторы, напряжения которых находятся в противофазе. См. подразд. 2.3.

509 Правильно.

510 При емкостной нагрузке магнитный поток реакции якоря и магнитный поток индуктора совпадают по направлению. См. подразд. 2.3.

511 Правильно. В четырехполюсной машине один пространственный градус равен двум электрическим.

512 Изменяя ток возбуждения, нельзя изменить величину активной мощности генератора. См. подразд. 2.3.

513 Правильно, нулевое показание вольтметра свидетельствует о том, что напряжения генераторов находятся строго в противофазе (сдвинуты по фазе на  $180^\circ$ ).

514 Правильно. В этом случае создается близкое к синусоидальному распределение магнитной индукции по длине воздушного зазора.

515 Для решения задачи необходимо знать число полюсов генератора.

516 Для определения номера паза, в который следует уложить конец первой катушки первой фазы, к номеру паза, где находится начало секции, прибавляем  $y$ :  $1 + y = 1 + 18/6 = 4$ .

517 Эту часть машины называют индуктором.

518 Правильно.

519 Вы ошиблись.  $y = \tau = \frac{z}{2p} = \frac{24}{2} = 12$ . См. подразд. 2.2.

520 Правильно. При соединении треугольником ЭДС третьей гармоники складываются и создают ток, дополнительно нагревающий

обмотку, при соединении звездой ЭДС третьей гармоники взаимно уравновешиваются.

521 Это условие необходимо, но недостаточно. См. подразд. 2.3.

522 Ответ ошибочен.  $E_{\text{витка ср}} = 4,44f\Phi = 4,44 \cdot 50 \cdot 0,02 = 4,44$  В. См. подразд. 2.2.

523 Подумайте, как более точно определить момент включения.

524 Правильно. Между первым пазом и пазом, в котором лежит конец первой секции, находится 12 пазов (шаг обмотки).

525 Чтобы поддерживать напряжение синхронного генератора постоянным, ток возбуждения надо изменять. См. подразд. 2.3.

526 В этом случае магнитная индукция по ширине воздушного зазора была бы распределена равномерно, а для получения синусоидальной ЭДС необходимо синусоидальное распределение магнитной индукции. См. подразд. 2.1.

527 Частота вращения магнитного поля статора равна частоте вращения ротора генератора. См. подразд. 2.3.

528 Правильно, с повышением нагрузки увеличивается размагничивающее действие реакции якоря.

529 Из-за нелинейных свойств электротехнической стали уменьшение магнитного потока под сбегающим краем полюсного наконечника не компенсируется увеличением потока под набегающим краем. В результате результирующий магнитный поток уменьшается. См. подразд. 2.3.

530 Правильно, при емкостной нагрузке магнитный поток реакции якоря и магнитный поток индуктора совпадают по направлению.

531 С увеличением индуктивной нагрузки увеличивается размагничивающее действие реакции якоря. См. подразд. 2.3.

532 Укажите также смещение обмоток в электрических градусах.

533 При индуктивной нагрузке существует значительная продольная размагничивающая реакция якоря, которая растет с увеличением тока нагрузки, и поэтому напряжение уменьшается.

534 Правильно. Необходимо выполнение всех трех условий:  $U = \text{const}$ ,  $\cos\phi = \text{const}$ ,  $f = \text{const}$ .

535 Уравнительный ток появляется в двух фазах, когда на параллельную работу включают синхронные генераторы, у которых различен порядок следования фаз.

536 Ошибочный ответ, необходимо воспользоваться формулой  $y = \tau = \frac{z}{2p}$ , затем прибавляем найденный шаг к номеру паза, в котором лежит начало катушки. См. подразд. 2.2.

537 Правильно. Неизвестно число полюсов генератора.

538 Это только одна из причин, вызывающих падение напряжения.

539 Правильно. Этот ток будет размагничивать один генератор и подмагничивать другой.

540 Чтобы поддерживать напряжение синхронного генератора постоянным при увеличении емкостной нагрузки, ток возбуждения надо уменьшать. См. подразд. 2.3.

541 Задачу можно решить, не обладая сведениями о частоте тока в обмотках якоря. См. подразд. 2.3.

542 Ротор может быть якорем, но может быть и индуктором. Чаще всего в синхронных генераторах ротор обычно является индуктором.

543 Ответ ошибочен. Воспользуйтесь формулой  $y = \tau = \frac{z}{2p}$ .

544 Воспользуйтесь формулой  $E_{\text{витка ср}} = 4,44f\Phi$ , приняв  $w = 1$ .

545 Определите шаг обмотки и прибавьте его к номеру паза, в котором лежит начало фазы. См. пример 2.2.

546 Расчетная величина ЭДС генератора обеспечивается выбором размеров генератора, значений магнитной индукции, частоты вращения генератора и числа витков в катушке. См. подразд. 2.2.

547 Правильно.

548 Необходимо указать полный ответ.

549 Выполняем обмотку с паза 1. Для определения номера паза, в который следует уложить конец первой секции, к номеру паза, где находится начало секции, прибавляем  $y$ :  $1 + y = 1 + 12 = 13$ . См. пример 2.2.

550 Магнитное поле генератора уменьшается при увеличении индуктивной, а не емкостной нагрузки.

551 Магнитное поле увеличивается и искажается при активно-емкостной нагрузке. См. подразд. 2.3.

552 Только этого условия недостаточно. См. подразд. 2.3.

553 Правильно. Необходимо знать характер нагрузки.

554 Правильно, суммарное действие двух названных причин приводит к быстрому уменьшению напряжения при увеличении нагрузки.

555 Такой ток появится, если частоты генераторов не равны между собой. См. подразд. 2.3.

556 Помните, что векторы напряжений параллельно работающих генераторов должны быть сдвинуты по фазе на угол  $180^\circ$ . См. подразд. 2.3.

557 Правильно.

558 Правильно. При этом увеличивается и механическая мощность, поступающая от приводного двигателя к генератору.

559 Именно этот угол между осью полюсов и осью результирующего магнитного потока принято обозначать буквой  $\theta$ .

560 Перевозбужденный, а не недовозбужденный синхронный двигатель. См. подразд. 2.4.

561 Правильно.  $M = M_{\max} \sin \theta = M_{\max} \sin 30^\circ = \frac{1}{2} M_{\max}$ .

562 Правильно.

563 Для улучшения коэффициента мощности сети синхронные двигатели, присоединенные к ней, перевозбуждают. См. подразд. 2.4.

564 Потери на гистерезис являются одной из составляющих постоянных потерь синхронной машины.

565 Правильно. Эти потери изменяются при изменении нагрузки синхронной машины.

566 Изучите более внимательно рабочие характеристики синхронного двигателя, представленные на рисунке 2.23.

567 Перегрузочную способность  $k_{\text{п}} = M_{\max} / M_{\text{н}}$  можно определить, воспользовавшись формулой  $M = M_{\max} \sin \theta$ . См. подразд. 2.4.

568 Правильно.

569 Этот угол обычно обозначают как  $\varphi$ . См. подразд. 2.4.

570 Надо увеличить вращающий момент на валу приводного двигателя, а следовательно, и мощность, поступающую от приводного двигателя к генератору.

571 Воспользуйтесь формулой  $k_{\text{п}} = M_{\max} / M_{\text{н}}$  и  $M = M_{\max} \sin \theta$ .

572 В качестве синхронного компенсатора используется не генератор, а двигатель. См. подразд. 2.4.

573 Механические потери составляют часть постоянных потерь.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 **Черномашенцев В. Г.**, Электрические машины : учеб.-метод. пособие для самостоятельной проработки курса : в 2 ч. Ч. I. Трансформаторы. Асинхронные машины / В. Г. Черномашенцев, В. А. Пацкевич, В. Н. Галушко ; под ред. В. Г. Черномашенцева ; М-во образования Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп.– Гомель : БелГУТ, 2011. – 129 с.

2 **Галушко В. Н.**, Электрические машины : учеб.-метод. пособие для самостоятельной проработки курса. В 2 ч. Ч. II. Машины постоянного тока. Синхронные машины / В. Н. Галушко, В. А. Пацкевич, В. Г. Черномашенцев ; М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2015. – 117 с.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....	
<b>1 ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ</b> .....	
1.1 Программа самоконтроля по разделу «Трансформаторы».....	
1.2 Программа самоконтроля по разделу «Асинхронные машины».....	
1.3 Программа самоконтроля по разделу «Машины постоянного тока».....	
1.4 Программа самоконтроля по разделу «Синхронные машины».....	
<b>2 ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАДАНИЯ</b> .....	
2.1 Трансформаторы.....	
2.2 Трёхфазные асинхронные электродвигатели.....	
2.3 Машины постоянного тока.....	
2.4 Синхронные машины.....	
<b>3 КОНСУЛЬТАЦИИ ПО ПРОГРАММАМ САМОКОНТРОЛЯ</b> .....	
3.1 По разделу «Трансформаторы».....	
3.2 По разделу «Асинхронные машины».....	
3.3 По разделу «Машины постоянного тока».....	
3.4 По разделу «Синхронные машины».....	
<b>СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ</b> .....	

Учебное издание

*ГАЛУШКО Виктор Николаевич*  
*ПАЦКЕВИЧ Валерий Анатольевич*  
*ДРОБОВ Андрей Владимирович*

**ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ**  
Практикум

Учебно-методическое пособие для самостоятельной работы  
студентов механического факультета

Редактор И. И. Э в е н т о в  
Технический редактор В. Н. К у ч е р о в а

Подписано в печать . . . . . 2016 г. Формат 60x84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>.  
Бумага офсетная. Гарнитура Times New Roman. Печать на ризографе.  
Усл. печ. л. . . . . Уч.-изд. л. . . . . Тираж 100 экз.  
Зак. № . . . . . Изд. № 84.

Издатель и полиграфическое исполнение:  
Белорусский государственный университет транспорта.  
Свидетельство о государственной регистрации издателя,  
изготовителя, распространителя печатных изданий  
№ 1/361 от 13.06.2014.  
№ 2/104 от 01.04.2014.  
Ул. Кирова, 34, 246653 г. Гомель