МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ

УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

«ИЖЕВСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ»

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе

профессор \_\_\_\_\_\_\_\_\_ П.Б.Акмаров

«\_\_\_» \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 2014 г.

##### ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА

Методические указания и задание на контрольную работу

для студентов направлений бакалавриата

«Агроинженерия», «Техносферная безопасность»

очной и заочной форм обучения

###### Составители

Т.А.Родыгина

Г.М. Белова

##### Ижевск

ФГБОУ ВПО Ижевская ГСХА

##### 2014

УДК 621.3(075)

ББК 31.2

Э45

Методические указания составлены на основе ФГОС ВПО по направлению подготовки «Агроинженерия» (бакалавриат), утвержденный приказом МОН РФ № 552 «09» ноября 2009 г., ФГОС ВПО «Техносферная безопасность» (бакалавриат), утвержденный приказом МОН РФ № 723 «14» декабря 2009 г.

Рекомендованы к изданию редакционно-издательским советом ФГБОУ ВПО Ижевская ГСХА, протокол № \_\_\_\_ от \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 2014 г.

Рецензент

Кондратьева Н.П. – д.т.н., профессор кафедры АЭП

ФГБОУ ВПО Ижевская ГСХА

Составители:

Т.А.Родыгина – к.п.н., доцент кафедры «Электротехника, электрооборудование и электроснабжение»

Г.М.Белова - к.п.н., доцент кафедры «Электротехника, электрооборудование и электроснабжение»

Э45 Электротехника и электроника: методические указания / Сост. Т.А.Родыгина, Г.М.Белова. – 2-е изд., испр. и допол. - Ижевск: ФГБОУ ВПО Ижевская ГСХА, 2014. – 44с.

Методические указания содержат варианты заданий, необходимые указания и рекомендации по выполнению контрольной работы, а также вопросы для подготовки к зачету по дисциплине «Электротехника и электроника». Предназначены для студентов, обучающихся по профилям бакалавриата: **«**Технические системы в агробизнесе»; «Технический сервис в АПК» «Технологическое оборудование для хранения и переработки сельскохозяйственной продукции, «Безопасность технологических процессов и производств»

УДК 621.3(075)

ББК 31.2

© ФГОУ ВПО Ижевская ГСХА, 2009

© Родыгина Т.А., 2009

© ФГБОУ ВПО Ижевская ГСХА, 2014

© Родыгина Т.А., Белова Г.М., 2014

**СОДЕРЖАНИЕ**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 1  2  3  4  5  6  7  8  9 | Введение……………………………………………………………………  Варианты заданий к задаче 1………………………………………..........  Методические рекомендации по расчету линейных  электрических цепей постоянного тока  2.1 Метод преобразования схемы………………………………………..  2.2 Законы Кирхгофа……………………………………………….……  2.3 Метод контурных токов…………………………………………......  2.4 Метод двух узлов…………………………………………………….  Варианты заданий к задаче ………………………………………….....  Методические рекомендации по расчету цепей  синусоидального тока…………………………………………………….  Варианты заданий к задаче 3…………………………………………….  Методические рекомендации по расчету трехфазных цепей………….  Варианты заданий к задаче 4…………………………………………….  Методические рекомендации по расчету асинхронного  двигателя………………………………………………………………..….  Тест для подготовки к зачету по дисциплине «Электротехника и электроника»………………………………………………………………  Литература…………………………………………………………............  Приложение А. Форма титульного листа  Расчетно-графической работы………………………………….............. | ….4  ….4  ..10  ...11  ..12  ..14  ..15  ...21  ..24  ..27  ..31  ..32  ..37  ..42  ..43 |

**ВВЕДЕНИЕ**

Курс «Электротехника и электроника» должен обеспечить комплексную подготовку будущих бакалавров - профессиональную подготовку, развитие творческих способностей, умение формулировать и решать проблемы изучаемого направления, умение применять свои знания и самостоятельно повышать свою квалификацию. Расчетно-графическая работа является составной частью учебно-методического комплекса курса.

Процесс выполнения расчетно-графической работы направлен на формирование у студентов следующих компетенций:

способность к обобщению, анализу, восприятию информации, постановке цели и выбору путей ее достижения (ОК-1);

готовность к самостоятельной, индивидуальной работе, принятию решений в рамках своей профессиональной компетенции (ОК -7);

способность демонстрировать базовые знания в области естественнонаучных дисциплин и готовность использовать основные законы в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования (ПК-2);

готовность выявить естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, и способность привлечь для их решения соответствующий физико-математический аппарат (ПК-3)

Требования к оформлению расчетно-графической работы:

1. Вариант РГР выбирается по двум последним цифрам учебного шифра студента. Если эта цифра больше 50, то для получения номера варианта необходимо вычесть 50.
2. Расчетно-графическая работа выполняется на одной стороне листа формата А-4. На листах оставляются поля: с левой стороны – 35 мм, с правой - 10 мм, сверху и снизу – 20 мм. Все страницы текста должны иметь сквозную нумерацию. Номер страницы проставляется внизу посередине листа, на титульном листе номер страницы 1 не проставляется.
3. Необходимые для выполнения работы схемы, векторные диаграммы и графики выполняются карандашом с применением чертежных инструментов с соблюдением требований ЕСКД. Допускается при оформлении расчетно-графической работы использовать компьютер (текстовый и графический редактор). Форма титульного листа расчетно–графической работы приведена в приложении А.

**1 ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЙ К ЗАДАЧЕ № 1**

Для электрической цепи, схема которой изображена на рис. 1.1 – 1.50, по заданным в таблице 1.1 сопротивлениям и эдс выполнить следующее:

1. Составить систему уравнений, необходимых для определения токов по первому и второму законам Кирхгофа;
2. Найти все токи, пользуясь методом контурных токов;
3. Проверить правильность решения, применив метод двух узлов. Предварительно упростить схему, заменив треугольник сопротивлений R4, R5, R6 эквивалентной звездой. Начертить расчетную схему с эквивалентной звездой и показать на ней токи;
4. Определить показание вольтметра и составить баланс мощностей для заданной схемы;
5. Построить в масштабе потенциальную диаграмму для внешнего контура.

R1

R2

R3

R4

R5

R6

R03

R01

Е1

Е2

Е3

V

R1

R2

R3

R4

R5

R01

Е3, R03

Е2

Е1

V

R6

R1

R2

R3

R4

R5

R6

R03

R02

Е2

Е1

Е3

V

# Рис. 1.1 Рис. 1.2 Рис. 1.3

R2

R6

Е2, R02

R4

R5

R3

Е3,

R03

R1

Е1

V

R3

Е3,

V

R03

R2

Е2

R5

R4

R6

R1

Е1

R01

R3

Е3

R1

Е1

R01

V

R5

R6

R4

Е2, R02

R2

**Рис. 1.4 Рис. 1.5 Рис. 1.6**

Е2

Е1

V

R1

R5

R6

R4

R2

R3

Е3

R03

R6

R4

R5

R1

Е1

R2

Е2, R02

Е3,

R03

R3

V

V

R4

Е3

R2

Е2

R02

R4

R6

R5

R1

Е1, R01

**Рис. 1.7 Рис. 1.8 Рис. 1.9**

R3

Е3

V

Е2

R02

R2

R1

Е1

R01

R5

R6

R4

Е3,

R03

V

R4

R5

R6

R3

R2

Е2

R1

Е1

R01

V

R3

Е3

R03

R4

R6

R5

R1

Е1

R01

R2

Е2

**Рис. 1.10 Рис. 1.11 Рис. 1.12**

R4

R02

R5

R6

Е3

Е1

R01

R1

V

R3

Е2

R2

R02

R5

R4

R6

R2

V

Е3

R03

R1

Е1

R3

Е2

Е3

R4

R5

R6

Е1

R01

V

R1

R2

Е2, R02

R3

**Рис. 1.13 Рис. 1.14 Рис. 1.15**

V

Е2, R02

R2

Е3

R3

R03

R5

R4

R6

Е1

R1

V

R4

R5

R6

Е3

R3

R2

Е2, R02

R1

Е1

R01

R2

Е2

V

R4

R5

R6

R3

Е3, R03

R1

Е1, R01

# Рис. 1.16 Рис. 1.17 Рис. 1.18

V

R3

Е3, R03

R1

Е1

R01

Е2

R2

R4

R6

R5

R01

R5

V

R4

R6

R2

Е2

R3

Е3

R03

R1

Е1

R5

R6

R4

V

R1

Е1

R2

Е2

R02

R3

Е3, R03

**Рис. 1.19 Рис. 1.20 Рис. 1.21**

R4

R6

R5

R1

Е1

R01

Е3

R3

R2

Е2

R02

V

R4

R5

R6

R1

Е1

V

R2

Е2, R02

R3

Е3, R03

Е3

V

R2

Е2

R02

R4

R5

R6

R1

Е1

R3

R03

**Рис. 1.22 Рис. 1.23 Рис. 1.24**

R3

Е3

R1

Е1

R4

R5

R6

R2

Е2

V

R03

R4

R6

R5

R02

Е2

V

R2

R01

Е1

R1

R3

Е3

R6

R4

R5

R1

Е1, R01

V

R2

Е2, R02

R3

Е3

**Рис. 1.25 Рис. 1.26 Рис. 1.27**

R3

Е3

V

Е1

R01

R1

R4

R5

R6

R2

Е2

R02

R5

R4

R6

R2

Е2

Е1

R01

R1

V

R3

Е3

R03

R1

Е1

R4

R5

R6

R3

Е3, R03

R2

Е2

R02

V

**Рис. 1.28 Рис. 1.29 Рис. 1.30**

R4

R2

Е2

Е3

R03

R1

Е1

R5

R6

V

R3

R01

R3

R02

V

R4

R6

R5

R1

Е1

Е3

R03

R2

Е2

R1

R3

R5

R4

R6

R2

Е2

Е3, R03

Е1

R01

V

**Рис. 1.31 Рис. 1.32 Рис. 1.33**

R3

Е1

R01

R4

R5

R6

V

R2

Е2

Е3

R03

R1

R3

Е3

V

R4

R5

R5

R2

R02

Е2

R1

Е1

R01

R6

R4

R5

R1

Е1

R2

Е2, R02

V

R3

Е3,

R03

**Рис. 1.34 Рис. 1.35 Рис. 1.36**

Е2

R6

R4

R5

R3

Е3,

R03

R1

Е1

V

R2

R02

Е2

R3

R03

R5

R6

R4

Е3

R1

Е1

V

R2

R02

R01

R4

R5

R6

R3

Е3

R03

R2

Е2

V

R1

Е1

**Рис. 1.37 Рис. 1.38 Рис. 1.39**

R3

R03

R4

R6

R5

R1

Е1

R01

R2

Е2

Е3

V

Е1

R1

R4

R6

R5

R3

Е3

R2

Е2

R02

V

R1

Е1

R01

R01

V

R3

R4

R03

Е3

R6

Е2

R2

**Рис. 1.40 Рис. 1.41 Рис. 1.42**

R4

R5

R6

R2

Е2

R02

V

R3

Е3

R1

Е1

R01

Е1

R4

R5

R6

Е2

R02

V

R2

R3

Е3

R1

R01

R4

R5

R6

R2

Е2

R02

R3

Е3

R03

V

Е1

R1

**Рис. 1.43 Рис. 1.44 Рис. 1.45**

R5

R4

R6

R2

Е2

R02

R3

Е3

V

R1

Е1

R01

Е1

R1

R4

R5

R6

R3

Е3

R03

R2

V

Е2

R02

R4

R5

R6

R2

Е2

Е3, R03

R3

R1

Е1, R01

V

**Рис. 1.46 Рис. 1.47 Рис. 1.4**

R03

V

R5

R4

R6

Е2

R2

R3

Е3

R1

Е1

R01

R4

R1

Е1

V

R6

R5

R2

Е2

R02

R3

Е3, R03

**Рис. 1.49 Рис. 1.50**

Таблица 1.1 - **Исходные данные к задаче 1**

| **Номер** | | **Е1,**  **В** | **Е2,**  **В** | **Е3,**  **В** | **R01,**  **Ом** | **R02,**  **Ом** | **R03,**  **Ом** | **R1,**  **Ом** | **R2,**  **Ом** | **R3,**  **Ом** | **R4,**  **Ом** | **R5,**  **Ом** | **R6,**  **Ом** |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **варианта** | **рисунка** |
| 0  1  2  3  4  5  6  7  8  9  10  11  12  13  14  15  16  17  18  19  20  21  22  23  24  25  26  27  28  29  30  31  32  33  34  35  36  37  38  39  40  41  42  43  44  45  46  47  48  49  50 | 1.1  1.2  1.3  1.4  1.5  1.1  1.6  1.7  1.8  1.9  1.10  1.11  1.12  1.13  1.14  1.15  1.16  1.17  1.18  1.19  1.20  1.21  1.22  1.23  1.24  1.25  1.26  1.27  1.28  1.29  1.30  1.31  1.32  1.33  1.34  1.35  1.36  1.37  1.38  1.39  1.40  1.41  1.42  1.43  1.44  1.45  1.46  1.47  1.48  1.49  1.50 | 22  55  36  16  14  20  5  10  6  21  4  4  16  48  12  12  8  72  12  12  9  15  54  36  3  12  30  10  5  40  8  22  55  36  16  14  5  10  6  21  4  4  16  48  12  12  8  72  12  12  9 | 24  18  10  5  25  22  16  6  20  4  9  24  8  12  36  6  6  12  48  30  6  63  27  9  66  30  16  32  10  25  40  24  18  10  5  25  16  6  20  4  9  24  8  12  36  6  6  12  48  30  6 | 10  4  25  32  28  9  30  24  4  10  18  6  9  6  12  40  36  4  6  9  27  6  3  24  9  25  10  10  36  8  10  10  4  25  32  28  30  24  4  10  18  6  9  6  12  40  36  4  6  9  27 | 0,2  0,8  -  -  0,9  0,1  0,4  0,8  -  -  0,8  0,9  0,2  0,8  -  1,2  1,3  0,7  -  0,5  -  1,0  1,2  -  -  1,0  0,6  0,6  0,3  -  0,8  0,2  0,8  -  -  0,9  0,4  0,8  -  -  0,8  0,9  0,2  0,8  -  1,2  1,3  0,7  -  0,5  - | -  -  0,4  0,6  1,2  -  -  0,3  0,8  0,2  -  -  0,6  1,4  0,4  0,6  -  1,5  0,4  -  1,0  -  0,9  0,8  0,7  0,4  0,8  -  -  0,2  1,0  -  -  0,4  0,6  1,2  -  0,3  0,8  0,2  -  -  0,6  1,4  0,4  0,6  -  1,5  0,4  -  1,0 | 1,2  0,8  0,5  0,8  -  1,1  0,7  -  1,2  0,6  0,7  0,5  -  -  1,2  -  1,2  -  0,4  0,5  0,8  1,2  -  0,8  1,2  -  -  1,0  0,8  0,2  -  1,2  0,8  0,5  0,8  -  0,7  -  1,2  0,6  0,7  0,5  -  -  1,2  -  1,2  -  0,4  0,5  0,8 | 2  8  4  9  5  1  6  3,5  4  5  2,7  9,0  2,5  4,2  3,5  2,0  3,0  6,0  2,5  3,5  4,5  5,0  8,0  3,0  1,0  1,0  2,0  1,5  1,2  3,0  5,0  2  8  4  9  5  6  3,5  4  5  2,7  9,0  2,5  4,2  3,5  2,0  3,0  6,0  2,5  3,5  4,5 | 1  4  8  3  2  2  4  5  6  7  10  8  6  4  5  3  2  1  1  2  2  3  3  4  4  5  5  6  6  3  3  1  4  8  3  2  4  5  6  7  10  8  6  4  5  3  2  1  1  2  2 | 8  3  3  2  8  6  3  6  4  2  4  1  6  2  1  8  1  10  4  3  8  1  1  2  2  1  3  1  3  2  3  8  3  3  2  8  3  6  4  2  4  1  6  2  1  8  1  10  4  3  8 | 4  2  1  4  2  3  2  6  4  8  8  6  5  12  5  5  6  4  15  3  13  2  4  1  2  1  1  7  2  4  3  4  2  1  4  2  2  6  4  8  8  6  5  12  5  5  6  4  15  3  13 | 10  4  2  1  2  8  5  3  3  1  10  10  10  6  6  7  8  12  2  1  4  12  2  5  7  6  8  1  2  3  2  10  4  2  1  2  5  3  3  1  10  10  10  6  6  7  8  12  2  1  4 | 6  4  7  5  6  4  3  1  3  1  2  4  5  2  9  8  6  4  2  3  3  3  2  1  3  4  5  5  2  2  1  6  4  7  5  6  3  1  3  1  2  4  5  2  9  8  6  4  2  3  3 |

**2 МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО РАСЧЕТУ ЛИНЕЙНЫХ**

**ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ ПОСТОЯННОГО ТОКА**

**2.1 Метод преобразования схемы**

Рассмотрим электрическую цепь, изображенную на рис. 2.1. Пусть известны величины сопротивлений резисторов *r1, r2*, *r3, r4, r5, r6*, эдс Е и ее внутреннее сопротивление *r*0. Требуется определить токи во всех участках цепи и напряжение, которое покажет вольтметр (сопротивление его бесконечно велико). Такие задачи решаются методом свертывания схемы, по которому отдельные участки схемы упрощают и постепенным преобразованием приводят схему к одному эквивалентному сопротивлению относительно зажимов источника питания. Схема упрощается с помощью замены группы последовательно или параллельно сое­диненных сопротивлений одним эквивалентным сопротивлением. Так, сопротивления *r4* и *r5* соединены последовательно и их эквивалент­ное сопротивление



Сопротивления r45 и r6 соединены параллельно и, следовательно, их эквивалентное сопротивление





**Рис. 2.1 Рис. 2.2**

После произведенных преобразований цепь принимает вид, по­казанный на рис. 2.2, а эквивалентное сопротивление всей цепи най­дем из уравнения

.

Ток *I1* в неразветвленной части схемы определим по закону Ома:

*I1 = E/rэкв*.

Воспользовавшись схемой на рис. 2.2, найдем токи *I2* и *I3*:



Переходя к рис. 2.1, определим токи *I4*, *I5* и *I6*  по аналогичным уравнениям:



Зная ток *I1,* можно найти ток *I2* другим способом. Согласно второму закону Кирхгофа, *Uаb = Е -* (r0 + r1) *I1*, тогда *I2* = *Uаb*/*r*2.

Показание вольтметра можно определить, составив уравнение по второму закону Кирхгофа, например, для контура *acda*:

*r3 I3 + r4 I4 = Uаd.*

Для проверки правильности решения можно воспользоваться уравнением баланса мощностей, которое для схемы, изображенной на рис. 2.1, имеет вид

*E•I1 = (r0 + r1)I12 + r2I22 + r3I32 + (r4 + r5)I42 + r6I62.*

**2.2 Законы Кирхгофа**

Важным вопросом этого раздела является расчет распределения токов в сложных линейных цепях снесколькими источниками. Классическим методом расчета таких цепей является непосредственное применение законов Кирхгофа.



**Рис. 2.3 Рис.2.4**

Рассмотрим сложную электрическую цепь (рис. 2.3), которая содержит 6 ветвей. Если будут заданы величины всех эдс и сопротивлений, а по условию задачи требуется определить токи в ветвях, мы будем иметь задачу с шестью неизвестными. Такие задачи решаются при помощи законов Кирхгофа. В этом случае должно быть составлено столько уравнений, сколько неизвестных токов.

Порядок расчета:

1. Если цепь содержит последовательные и параллельные соединения, ее упрощают, заменяя эти соединения эквивалентными.
2. Произвольноуказывают направления токов во всех ветвях. Если принятое направление тока не совпадает с действительным, то при расчете такие токи получаются со знаком “минус”.
3. Составляют *(п – 1)* уравнений по первому закону Кирхгофа *(п* - число узлов).
4. Недостающие уравнения составляют по второму закону Кирхгофа, при этом обход контура можно производить как по часовой стрелке, так и против нее. *За положительные э. д. с. и токи принимаются такие, направление которых совпадает с направлением об­хода контура*. Направление действия э. д. с. внутри источника всегда принимают от минуса к плюсу.
5. Полученную систему уравнений решают относительно неизве­стных токов. Составим расчетные уравнения для электрической цепи, изображенной на рис. 2.3. Выбрав произвольно направление токов в ветвях цепи, составляем уравнения по первому закону Кирхгофа для узлов *а*, *b* и *с. При этом, токи, входящие в узел, записываем со знаком +, токи, выходящие из узла, записываем со знаком -* :

I1 + I2 + I3 = 0

I5 – I1 – I4 = 0 (2.1)

I4 – I2 – I6 = 0

Приняв направление обхода контуров по часовой стрелке, составляем уравнения по второму закону Кирхгофа для трех произвольно выбранных контуров:

для контура *adkb*:

 (2.2)

для контура *bacldkb*:

 (2.3)

для контура *bmncab*:

 (2.4)

Решая совместно уравнения (2.1), (2.2), (2.3) и (2.4), определяем токи в ветвях электрической цепи.

Легко заметить, что решение полученной системы из шести уравнений является весьма трудоемкой операцией.

**2.3 Метод контурных токов**

При расчете сложных электрических цепей целесообразно применить метод контурных токов. При решении методом контурных токов количество уравнений определяется числом независимых контуров. В нашем случае таких контуров три: *bаdkb, асlda* и *mncabm.* Расчет сложных электрических цепей методом контурных токов ведется следующим образом:

1. Вводя понятие «контурный ток», произвольно задаемся на­правлением этих токов. Удобнее все токи указать в одном направлении, например, по часовой стрелке (рис. 2.4) .
2. Составляем для каждого контура уравнение по второ­му закону Кирхгофа. Обход контуров производим по часовой стрелке:

первый контур:

 (2.5)

второй контур:

 (2.6)

третий контур:

 (2.7)

1. Решая совместно уравнения (2.5), (2.6), (2.7), определяем контурные токи. В том случае, когда контурный ток получается со знаком «минус», это означает, что его направление противоположно выбранному на схеме.
2. Токи во внутренних ветвях схемы определяются как сумма или разность соответствующих контурных токов. В том случае, когда контурные токи в ветви совпадают, берут сумму, а когда направле­ны навстречу - токи вычитают.
3. Токи во внешних ветвях схемы равны по величине соответствующим контурным токам.

**Пример**. Рассчитать сложную цепь постоянного тока для схемы, изображенной на рис. 2.4. Задано: *Е1* = 100 В, *Е2*= 120 В, *r01 = = r02* = 0,5 Ом, *r1*= 5 Ом, *r2 =* 10 Ом, *r3 =* 2 Ом, *r4* = 10 Ом. Определить токи в ветвях цепи.

Решение. Используя уравнения (2.5), (2.6) и (2.7), получаем:



Выразив *Ik3* через *Ik1* и *Ik2*:



и произведя соответствующие подстановки, получаем:



Совместное решение полученных уравнений дает:



Определяем токи в ветвях:

*I1 = Ik1 - Ik3*= - 5,2 + 14,4 = 9,2 А;

*I2= Ik3 - Ik2* = - 14,4 +33,5 = 19,1 А;

*I3= Ik1 - Ik2* = -5,2 +33,5 =28,3 А;

*I4= - Ik3* = 14,4 А; *I5*= *- Ik1 =*5,2 А;

*I6 = - Ik2* = 33,5 А.

**2.4 Метод двух узлов**

На практике часто используются цепи, в которых параллельно включены несколько источников энергии и приемных устройств. Такие цепи удобно анализировать с помощью метода узлового напряжения (напряжения между двумя узлами).



**Рис. 2.5**

**Пример.** Найти токи цепи (рис. 2.5) и показание вольтметра, если *r1 = r2 = r3 = r4 = 10* Ом. *Е1 = 10* В, *Е2* = 18 В, *Е3* = 10 В.

Решение. Найдем узловое напряжение *Uab* (показание вольтметра):



При этом учитываем, что с плюсом записываются эдс, направленные к узлу «а», с минусом – эдс, направленные от узла «а».

Токи в ветвях определяются по закону Ома:





Знаки «плюс» или «минус» выбираются в соответствии с зако­ном Ома для ветви с источником. Если направление эдс и напряжения сов­падают с направлением тока, то берется знак «плюс», в противном случае – знак «минус».

Проверяем правильность расчета токов по первому закону Кирхгофа для узла «а»

I1 – I2 + I3 – I4 = 0

**3 ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЙ К ЗАДАЧЕ № 2**

Для электрической цепи, схема которой изображена на рис. 3.1 – 3.50, по заданным в табл. 3.1 параметрам определить токи во всех ветвях цепи и напряжения на отдельных участках. Составить баланс активной и реактивной мощности. Построить в масштабе на комплексной плоскости векторную диаграмму токов и топографическую диаграмму напряжений по внешнему контуру. Определить показание вольтметра и активную мощность, измеряемую ваттметром.

R1

R2

R3

L3

L2

С1

Е

W

V

W

Е

R1

L1

R2

L2

R3

L3

С3

V

## Рис. 3.1 Рис. 3.2

R1

R2

R3

L3

С1

Е

W

V

С2

V

Е

W

R1

L1

R2

С2

R3

L3

## Рис. 3.3 Рис. 3.4

Е

W

V

R1

L3

L1

R3

С2

С1

Е

W

V

L2

С1

R1

R3

С3

**Рис. 3.5 Рис. 3.6**

V

R2

С2

R1

R3

L3

W

Е

Е

W

V

L1

L3

R1

С3

R3

**Рис. 3.7 Рис. 3.8**

Е

W

R1

L1

V

L3

R3

С2

Е

W

V

R1

L1

С2

R3

R2

**Рис. 3.9 Рис. 3.10**

Е

W

V

С1

С3

R3

L2

R2

Е

W

L1

R1

R3

С2

С3

V

**Рис. 3.11 Рис. 3.12**

Е

W

V

R1

L1

С3

R3

R2

Е

W

V

R1

С1

С3

R3

R2

L2

**Рис. 3.13 Рис. 3.14**

R1

Е

W

V

С3

R2

L2

С1

R3

Е

W

L1

R2

R3

С2

С3

V

**Рис. 3.15 Рис. 3.16**

Е

W

V

R3

С3

R2

L2

С1

С3

Е

W

V

R1

С1

R3

R2

L2

**Рис. 3.17 Рис. 3.18**

Е

W

L1

R1

R2

С2

L3

V

R3

Е

W

L1

R1

R2

С2

V

L3

**Рис. 3.19 Рис. 3.20**

Е

W

L1

R2

С2

С3

V

R3

R3

Е

W

V

С3

С2

R1

L1

**Рис. 3.21 Рис. 3.22**

Е

W

R1

С1

V

L2

R3

С3

Е

W

V

L3

R3

R2

С2

С1

**Рис. 3.23 Рис. 3.24**

Е

W

L1

R1

R2

С2

V

L3

R3

Е

W

С1

V

R1

R3

С2

L3

**Рис. 3.25 Рис. 3.26**

Е

W

L1

R1

R3

С2

V

L3

Е

W

L1

R1

R2

С2

V

L3

**Рис. 3.27 Рис. 3.28**

Е

W

V

R3

С1

L3

R2

С2

Е

W

V

R3

С3

R1

С1

L2

**Рис. 3.29 Рис. 3.30**

Е

W

L1

R1

С3

V

L3

R3

L2

Е

W

R2

L3

С1

R3

С3

V

**Рис. 3.31 Рис. 3.32**

Е

W

V

L2

R2

R3

L3

С3

С1

Е

W

V

R3

С3

L2

R2

R1

С1

**Рис. 3.33 Рис. 3.34**

Е

W

V

L2

R1

R3

L3

С3

С1

R3

Е

W

V

L1

R1

R2

С2

L3

**Рис. 3.35 Рис. 3.36**

V

Е

W

R1

L1

R3

С2

С3

L3

С3

Е

W

V

R1

С1

R3

R2

L2

**Рис. 3.37 Рис. 3.38**

Е

W

V

R3

С3

L2

R2

R1

С1

L3

Е

W

R3

L3

С3

V

L2

L1

R1

**Рис. 3.39 Рис. 3.40**

Е

W

R1

С1

V

L2

R3

L3

V

Е

W

R1

R3

С2

С3

L1

R2

**Рис. 3.41 Рис. 3.42**

Е

W

V

L2

R1

R3

С3

С1

R2

V

Е

W

R2

L1

R3

С2

С3

L3

**Рис. 3.43 Рис. 3.44**

Е

W

R1

С1

L2

R3

L3

V

Е

W

R3

L3

V

С2

С1

R1

R2

С3

**Рис. 3.45 Рис. 3.46**

V

Е

W

R1

R3

С2

С3

L3

С1

Е

W

R1

L1

R3

С2

L3

V

R2

**Рис. 3.47 Рис. 3.48**

Е

W

V

R3

С3

L2

R2

R1

С1

L3

R3

Е

W

V

L1

R1

R2

С2

L3

**Рис. 3.49 Рис. 3.50**

Таблица 3.1 - **Исходные данные к задаче 2**

| **Номер** | | **Е,**  **В** | ***f*,**  **Гц** | **С1,**  **мкФ** | **С2,**  **мкФ** | **С3,**  **мкФ** | **L1,**  **мГн** | **L2,**  **мГн** | **L3,**  **мГн** | **R1,**  **Ом** | **R2,**  **Ом** | **R3,**  **Ом** |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Вари-анта** | **Рисун-ка** |
| 0  1  2  3  4  5  6  7  8  9  10  11  12  13  14  15  16  17  18  19  20  21  22  23  24  25  26  27  28  29  30  31  32  33  34  35  36  37  38  39  40  41  42  43  44  45  46  47  48  49  50 | 3.1  3.2  3.3  3.4  3.5  3.1  3.6  3.7  3.8  3.9  3.10  3.11  3.12  3.13  3.14  3.15  3.16  3.17  3.18  3.19  3.20  3.21  3.22  3.23  3.24  3.25  3.26  3.27  3.28  3.29  3.30  3.31  3.32  3.33  3.34  3.35  3.36  3.37  3.38  3.39  3.40  3.41  3.42  3.43  3.44  3.45  3.46  3.47  3.48  3.49  3.50 | 150  100  120  200  220  50  100  120  200  220  50  100  120  200  220  150  100  120  200  220  50  100  120  200  220  150  100  100  200  220  50  100  120  200  220  50  100  150  200  220  50  100  120  200  220  50  100  120  200  220  50 | 50  50  50  50  50  50  50  50  50  50  50  50  50  50  50  50  50  50  50  50  50  50  50  50  50  50  50  50  50  50  50  50  50  50  50  50  50  50  50  50  50  50  50  50  50  50  50  50  50  50  50 | 637  -  637  -  637  100  157  -  -  -  -  637  -  -  637  100  -  100  637  -  -  -  -  637  637  -  637  -  -  637  318  318  -  318  318  -  637  637  -  -  637  -  500  500  -  500  500  -  318  318  - | -  -  319  300  -  -  300  -  159  318  637  -  300  -  -  -  1600  -  -  1600  159  159  159  -  159  159  159  159  637  -  637  -  -  -  -  318  -  -  318  -  -  318  -  -  318  159  -  159  318  -  318 | -  100  -  -  100  -  -  100  -  -  -  100  100  100  200  200  200  200  200  -  -  200  200  200  -  -  -  -  -  637  -  300  300  300  300  -  200  200  200  200  200  200  -  159  159  159  -  -  159  159  - | -  15,9  -  31,9  -  -  15,9  15,9  -  15,9  15,9  -  31,8  31,8  -  -  31,8  -  -  31,8  31,8  15,9  15,9  -  -  25  -  25  25  -  -  -  19,1  -  -  19,5  -  -  15,9  15,9  -  9,55  -  -  9,55  -  -  15,9  -  -  15,9 | 31,8  9  -  -  47,7  47,7  -  -  -  -  -  15,7  -  -  15,9  15,9  -  15,9  31,8  -  -  -  -  31,8  -  -  -  -  -  9  -  -  15,9  15,9  15,9  -  31,8  31,8  -  31,8  31,8  -  15,9  15,9  -  -  15,9  -  -  31,8  - | 15,9  15,9  15,9  15,9  -  115  115  115  115  -  6,37  -  -  -  -  -  -  -  -  95  95  -  -  -  95  95  95  95  95  -  31,8  31,8  31,8  -  31,8  31,8  95  -  95  95  95  -  95  -  95  31,8  31,8  31,8  31,8  31,8  31,8 | 2  8  8  8  8  10  10  4  10  10  5  -  5  5  5  10  -  10  -  10  15  15  -  15  -  6  6  6  6  6  -  -  40  10  -  8  8  8  8  8  4  4  4  40  -  35  35  35  35  35  5 | 3  3  3  3  -  4  -  -  4  4  -  10  -  10  10  2  8  8  8  8  10  -  10  -  10  10  -  4  -  -  10  10  -  10  10  10  -  10  -  -  40  40  -  10  10  20  -  20  -  20  10 | 4  4  4  4  4  100  100  100  100  100  8  8  8  8  8  10  10  10  10  -  10  10  20  20  20  20  20  -  20  20  40  10  10  40  10  4  4  4  4  4  40  4  4  40  40  40  40  80  80  80  80 |

**4 МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО РАСЧЕТУ ЦЕПЕЙ**

**СИНУСОИДАЛЬНОГО ТОКА**

**Пример.** Рассчитать электрическую цепь синусоидального тока со смешанным соединением приемников.

Для схемы, изображенной на рис. 4.1, известно, что

*U* = 120 B, *r1* = 10 Ом, *r2* = 24 Ом, *r3* = 15 Ом,

*L1* = 19,1 мГн, *L3* = 63,5 мГн, *С2* = 455 мкФ, *f* = 50 Гц.



**Рис. 4.1**

Определить токи , , в ветвях цепи, активную, реактивную и полную мощности и построить векторную диаграмму.

Решение. Выражаем сопротивления ветвей цепи в комплексной форме:

*= r ± jx =* ;

*1 = r1+jωL1 = 10+j2π•50•19,1•10-3 = 10+j6 Ом.*

Переходя от алгебраической формы записи комплексного числа к показательной, получаем: *1 = z1e jφ1= 11,6e j31˚*Ом,

где

=24 - j7=25e-j16˚ Ом;

*3 = r3+jωL3 = 15+j2π•50•63,5•10-3 = 15+j20* Ом =25e j53˚  Ом.

Выражаем заданное напряжение *U* в комплексной форме. Если начальная фаза напряжения не задана, то её можно принять равной нулю и располагать вектор напряжения, совпадающим с положительным направлением действительной оси. В этом случае мнимая составляющая комплексного числа будет отсутствовать (рис. 4.2): = *U* = 120 В.

Рис.4.2

Полное комплексное сопротивление цепи

(Ом)

Определяем ток в неразветвленной части цепи:

(A)

Токи и в параллельных ветвях могут быть выражены через ток в неразветвленной части цепи:

(A)

(A)

Найдем полную мощность всей цепи:

(BA)

Для определения активной и реактивной мощностей полную мощность, выраженную комплексным числом в показательной форме, переводим в алгебраическую форму. Тогда действительная часть комплекса будет представлять собой активную мощность, а мнимая – реактивную:

Р = 493,3 Вт; Q = 219,6 вар.

Для проверки баланса мощностей определим мощности, потребляемые в отдельных ветвях схемы:

Вт; Вт

Вт.

Проверка показывает, что Р Р1 + Р2 + Р3.

вар 5вар;

вар.

Учитывая, что *Q*1 и *Q*3 положительны (реактивная мощность индуктивных катушек), а *Q*2 отрицательно (реактивная мощность конденсатора), получим

*Q = Q1 + Q2 + Q3*= 218 вар.

На рис. 4.3 приведена векторная диаграмма токов и напряжений, построенная по расчетным данным. Порядок её построения следующий: по результатам расчетов отложены векторы токов и затем по направлению тока отложен вектор и перпендикулярно к нему в сторону опережения – вектор . Их сумма дает вектор Z1. Далее в фазе с построен вектор и перпендикулярно к нему в сторону отставания вектор , а их сумма дает вектор напряжения на параллельном участке . Тот же вектор может быть получен, если в фазе с отложить и к нему прибавить вектор , опережающий на 900. Cумма векторов Z1I1 и *U*bc дает вектор приложенного напряжения U.



**Рис. 4.3**

**5 ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЙ К ЗАДАЧЕ № 3**

Для электрической цепи, схема которой изображена на рис. 5.1 – 5.17, по заданным в табл. 5.1 параметрам и линейному напряжению определить фазные и линейные токи, ток в нейтральном проводе (для четырехпроводной схемы), активную мощность всей цепи и каждой схемы отдельно. Построить векторную диаграмму токов и напряжений.

R*a*

R*b*

R*с*

Х*с*

Х*b*

Х*a*

n

*b*

*с*

*a*

R*a*

R*b*

R*с*

Х*с*

Х*b*

Х*a*

n

*b*

*с*

*a*

**Рис. 5.1 Рис. 5.2**

R*a*

R*b*

R*с*

Х*с*

Х*b*

Х*a*

n

*b*

*с*

*a*

R*a*

R*b*

R*с*

Х*с*

Х*b*

Х*a*

n

*b*

*с*

*a*

**Рис. 5.3 Рис. 5.4**

R*a*

Х*с*

Х*b*

n

*b*

*с*

*a*

R*bс*

R*са*

Х*са*

Х*bс*

Х*ab*

*b*

*с*

*a*

R*ab*

**Рис. 5.5 Рис. 5.6**

R*bс*

R*са*

Х*са*

Х*bс*

Х*ab*

*b*

*с*

*a*

R*ab*

R*bс*

R*са*

Х*са*

Х*bс*

Х*ab*

*b*

*с*

*a*

R*ab*

**Рис. 5.7 Рис. 5.8**

R*bс*

R*са*

Х*са*

Х*bс*

Х*ab*

*b*

*с*

*a*

R*ab*

Х*са*

Х*bс*

*b*

*с*

*a*

R*ab*

**Рис. 5.9 Рис. 5.10**

R*a*

Х*с*

Х*b*

n

*b*

*с*

*a*

R*a*

Х*с*

Х*b*

n

*b*

*с*

*a*

**Рис. 5.11 Рис. 5.12**

R*bс*

R*са*

Х*са*

Х*bс*

Х*ab*

*b*

*с*

*a*

R*bс*

R*са*

Х*са*

Х*bс*

*b*

*с*

*a*

R*ab*

**Рис. 5.13 Рис. 5.14**

R*bс*

R*са*

Х*са*

Х*bс*

Х*ab*

*b*

*с*

*a*

R*ab*

R*са*

Х*са*

Х*bс*

Х*ab*

*b*

*с*

*a*

**Рис. 5.15**   **Рис. 5.16**

Х*a*

Х*с*

R*b*

n

*b*

*с*

*a*

**Рис. 5.17**

Таблица 5.1 - **Исходные данные к задаче 3**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Номер** | | **UЛ,**  **В** | **R*a*,**  **Ом** | **R*b*,**  **Ом** | **R*c*,**  **Ом** | **Х*a*,**  **Ом** | **Х*b*,**  **Ом** | **Х*c*,**  **Ом** | **R*ab*,**  **Ом** | **R*bс*,**  **Ом** | **R*cа*,**  **Ом** | **Х*ab*,**  **Ом** | **Х*bс*,**  **Ом** | **Х*cа*,**  **Ом** |
| **варианта** | **Рисун-ка** |
| 0  1  2  3  4  5  6  7  8  9  10  11  12  13  14  15  16  17  18  19  20  21  22  23  24  25  26  27  28  29  30  31  32  33  34  35  36  37  38  39  40  41  42  43  44  45  46  47  48  49  50 | 5.1  5.1  5.1  5.2  5.2  5.2  5.3  5.3  5.3  5.4  5.4  5.4  5.5  5.5  5.5  5.6  5.6  5.6  5.7  5.7  5.7  5.8  5.8  5.8  5.9  5.9  5.9  5.10  5.10  5.10  5.11  5.11  5.11  5.12  5.12  5.12  5.13  5.13  5.13  5.14  5.14  5.14  5.15  5.15  5.15  5.16  5.16  5.16  5.17  5.17  5.17 | 127  220  380  127  220  380  127  220  380  127  220  380  127  220  380  127  220  380  127  220  380  127  220  380  127  220  380  127  220  380  127  220  380  127  220  380  127  220  380  127  220  380  127  220  380  127  220  380  127  220  380 | 8  4  8  4  8  8  6  4  6  16  8  16  10  8  6  -  -  -  -  -  -  -  -  -  -  -  -  -  -  -  10  5  10  15  15  15  -  -  -  -  -  -  -  -  -  -  -  -  -  -  - | 8  8  4  4  4  4  8  6  3  8  4  -  -  -  -  -  -  -  -  -  -  -  -  -  -  -  -  -  -  -  -  -  -  -  -  -  -  -  -  -  -  -  -  -  -  -  -  3  10  3 | 8  8  8  6  6  6  6  8  6  8  4  8  -  -  -  -  -  -  -  -  -  -  -  -  -  -  -  -  -  -  -  -  -  -  -  -  -  -  -  -  -  -  -  -  -  -  -  -  -  -  - | 6  4  6  3  4  8  4  3  3  14  2  8  -  -  -  -  -  -  -  -  -  -  -  -  -  -  -  -  -  -  -  -  -  -  -  -  -  -  -  -  -  -  -  -  -  -  -  -  20  15  15 | 6  6  8  3  3  3  3  4  8  6  6  6  10  6  8  -  -  -  -  -  -  -  -  -  -  -  -  -  -  -  5  10  20  15  5  5  -  -  -  -  -  -  -  -  -  -  -  -  -  -  - | 6  6  6  8  8  3  8  9  8  4  4  4  10  8  6  -  -  -  -  -  -  -  -  -  -  -  -  -  -  -  10  5  10  5  13  5  -  -  -  -  -  -  -  -  -  -  -  -  10  5  10 | -  -  -  -  -  -  -  -  -  -  -  -  -  -  -  8  8  8  8  8  8  4  4  4  16  8  6  10  6  10  -  -  -  -  -  -  -  -  -  8  4  8  -  -  -  5  5  10  -  -  - | -  -  -  -  -  -  -  -  -  -  -  -  -  -  -  4  8  6  4  6  8  8  6  2  8  8  8  -  -  -  -  -  -  -  -  -  3  3  3  4  4  4  10  5  5  -  -  -  -  -  - | -  -  -  -  -  -  -  -  -  -  -  -  -  -  -  8  8  8  6  6  6  6  6  6  3  3  3  -  -  -  -  -  -  -  -  -  8  3  8  8  8  4  6  10  6  10  6  8  -  -  - | -  -  -  -  -  -  -  -  -  -  -  -  -  -  -  6  6  6  4  4  4  3  3  3  14  2  4  -  -  -  -  -  -  -  -  -  4  4  3  -  -  -  5  5  10  10  6  10  -  -  - | -  -  -  -  -  -  -  -  -  -  -  -  -  -  -  6  4  8  3  8  3  4  3  4  6  4  6  8  10  8  -  -  -  -  -  -  6  6  8  8  6  6  8  8  8  8  8  8  -  -  - | -  -  -  -  -  -  -  -  -  -  -  -  -  -  -  6  6  6  8  8  8  8  8  6  4  4  6  10  10  10  -  -  -  -  -  -  8  4  8  10  6  10  4  8  4  4  8  4  -  -  - |

**6 МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО РАСЧЕТУ**

**ТРЕХФАЗНЫХ ЦЕПЕЙ**

**Пример 6.1**. В трехфазную сеть с линейным напряжением *Uл*= 220 В включен приемник, соединенный треугольником, сопротив­ление каждой фазы которого Z = (10+*j*10) Ом (рис. 6.1). Найти то­ки в каждой фазе нагрузки и линии и показания каждого ваттмет­ра. Построить векторную диаграмму. Найти те же величины в слу­чае обрыва цепи в точке *d.*

Решение. Расчет токов в трехфазных цепях производится комп­лексным методом. Примем, что вектор линейного напряжения UАВ направлен по действительной оси, тогда

*U*AB = *U*ab = 220 B; *U*BC = *U*bc = 220e-j120˚ B; *U*CA = *U*ca =220ej120˚ B.



**Рис. 6.1**

Определяем фазные токи:

(A)

(A);

.

Находим линейные токи:

A;

A;

A.

Определим показания ваттметров:

Вт

Вт.

Активная мощность цепи (алгебраическая сумма показаний ваттметров) Р равна:

*Р = Р1 + Р2* = 1530 + 5730 = 7260 Вт.

Векторная диаграмма токов и напряжений представлена на рис. 6.2



**Рис. 6.2**

**Пример 6.2.** В четырехпроводную трехфазную сеть с линейным на­пряжением *Uл*= 220 В включен звездой приемник, активные и индук­тивные сопротивления фаз которого соответственно равны: *r*а = 3 Ом, *ха*= 4 Ом, *rb* = 3 Ом, *xb* = 5,2 Ом, *rс*= 4 Ом, *хс*= 3 Ом (рис. 6.3). Определить токи в линейных и нейтральном проводах и построить векторную диаграмму.

Решение. Считаем, что вектор фазного напряжения *UА* направлен по действительной оси, тогда

В, B, B



**Рис. 6.3 Рис.6.4**

Находим линейные токи:

A;

A;

A.

Ток в нейтральном проводе определяется как геометрическая сумма линейных токов:

A

Векторная диаграмма показана на рис. 6.4.

При несимметричной нагрузке для определения активной мощности находят мощность каждой фазы отдельно:

Pф = Uф Iф cos φ,

а мощность трехфазной системы получают как сумму мощностей всех фаз или используют схему включения двух ваттметров.

**Пример 6.3**. В трехфазную сеть с линейным напряжением *Uл = =* 380В включен звездой приемник, активное, индуктивное и емкостное сопротивление фаз которого равны: *r = хL = xC* = 22 Ом (рис. 6.5).



**Рис. 6.5 Рис. 6.6**

Решение. Расчет токов производится комплексным методом. Находим фазные напряжения:

В;;

Определяем напряжение между нейтральными точками приемника и источника питания:

.

Определяем напряжения на зажимах фаз приемника:

*U*an = 220 - 602 = – 382 B;

*U*bn = (-110 - j191) – 602 = (-712 – j191) B;

*U*cn = (-110 + j191) – 602 = (- 712 + j191) B.

Определяем фазные (линейные) токи:

A;

Правильность расчета токов проверяем по первому закону Кирхгофа:

Векторная диаграмма изображена на рис. 6.6.

Из рассмотрения этой задачи следует, что напряжения на зажимах фаз приемника получаются неодинаковыми. Поэтому несимметричные приемники (бытовые и др.) соединяют либо четырехпроводной звездой, либо треугольником.

**7 ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЙ К ЗАДАЧЕ № 4**

**Варианты 0 – 25.** Трехфазный асинхронный двигатель с фазным ротором, сопротивление фаз обмоток которого R1, R2, X1, X2, соединен треугольником и работает при напряжении Uном с частотой *f* = 50 Гц. Число витков на фазу обмоток *W*1, *W*2, число пар полюсов *р*. Определить: пусковые токи статора и ротора, пусковой вращающий момент, коэффициент мощности при пуске двигателя без пускового реостата, значение сопротивления пускового реостата, обеспечивающего максимальный пусковой момент; величину максимального пускового момента и коэффициент мощности при пуске двигателя с реостатом. При расчете током холостого хода пренебречь. Построить естественную механическую характеристику двигателя. Данные для расчета приведены в табл. 7.1.

**Варианты 26 – 50.**  Трехфазный асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором, номинальная мощность *Р*ном, включен в сеть на номинальное напряжение Uном частотой *f* = 50 Гц. Определить номинальный Iном и пусковой Iпуск токи, номинальный Мном, пусковой Мпуск и максимальный Мmax моменты, полные потери в двигатели при номинальной нагрузке ∆Рном. Как изменится пусковой момент двигателя при снижении напряжения на его зажимах на 15% и возможен ли пуск двигателя при этих условиях с номинальной нагрузкой? Построить механическую характеристику двигателя. Данные для расчета приведены в табл. 7.2

Таблица 7.1 - **Исходные данные к задаче 4 (варианты 0 – 25)**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Номер варианта** | **Данные для расчета** | | | | | | | | |
| **Uном,**  **В** | **R1,**  **Ом** | **R2,**  **Ом** | **Х1,**  **Ом** | **Х2,**  **Ом** | ***W*1** | ***W*2** | ***р*** | **Sном,**  **%** |
| 0  1  2  3  4  5  6  7  8  9  10  11  12  13  14 | 220  220  380  380  380  220  220  220  220  380  380  380  380  220  220 | 0,46  0,58  0,62  0,74  0,78  0,36  0,42  0,64  0,82  0,84  0,78  0,86  0,76  0,48  0,52 | 0,07  0,06  0,04  0,07  0,06  0,045  0,05  0,06  0,07  0,06  0,04  0,05  0,065  0,03  0,055 | 1,52  2,32  1,84  3,52  4,12  3,62  2,82  3,12  3,82  4,24  3,64  3,48  2,24  3,48  2,94 | 0,22  0,35  0,42  0,37  0,62  0,48  0,34  0,65  0,48  0,52  0,48  0,78  0,54  0,62  0,36 | 190  260  362  216  424  358  184  412  362  254  228  316  272  458  162 | 64  82  72  48  74  62  42  82  65  46  42  54  78  92  43 | 2  2  2  3  3  3  2  2  2  3  3  2  2  2  2 | 3,0  3,5  3,5  2,5  2,5  4,0  4,5  5,0  5,0  3,0  3,0  2,5  2,5  2,5  3,0 |

Окончание таблицы 7.1

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Номер варианта** | **Данные для расчета** | | | | | | | | |
| **Uном,**  **В** | **R1,**  **Ом** | **R2,**  **Ом** | **Х1,**  **Ом** | **Х2,**  **Ом** | ***W*1** | ***W*2** | ***р*** | **Sном,**  **%** |
| 15  16  17  18  19  20  21  22  23  24  25 | 220  380  380  380  220  220  220  380  380  220  220 | 0,56  0,62  0,76  0,66  0,58  0,60  0,68  0,42  0,82  0,54  0,42 | 0,045  0,06  0,045  0,05  0,035  0,055  0,075  0,065  0,07  0,045  0,03 | 4,42  3,54  3,72  2,92  2,56  2,64  3,48  1,82  2,52  2,38  3,68 | 0,64  0,46  0,54  0,64  0,48  0,56  0,32  0,45  0,64  0,45  0,32 | 288  204  356  384  452  412  282  368  180  254  322 | 54  62  72  68  82  68  54  48  45  48  58 | 3  3  3  2  2  2  3  3  2  2  2 | 3,0  3,0  5,0  5,0  5,0  2,0  2,0  4,0  4,0  3,0  3,0 |

Таблица 7.2 - **Исходные данные к задаче 4 (варианты 26-50)**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Номер варианта** | **Данные для расчета** | | | | | | | | |
| **Uном,**  **В** | ***Р*ном,**  **кВт** | **Sном,**  **%** | **ηном** | ***cos* φном** | ***р*** | **Мmax/**  **Мном** | **Мпуск/**  **Мном** | **Iпуск/**  **Iном** |
| 26  27  28  29  30  31  32  33  34  35  36  37  38  39  40  41  42  43  44  45  46  47  48  49  50 | 220  220  220  220  220  220  220  220  220  220  220  220  220  220  220  220  220  380  380  380  380  380  380  380  380 | 0,8  0,1  1,5  2,2  3,0  4,0  5,5  7,5  10  13  17  22  30  40  55  75  100  10  13  17  22  30  40  55  75 | 3,0  3,0  4,0  4,5  3,5  2,0  3,0  3,5  4,0  3,5  3,5  3,5  3,0  3,0  3,0  3,0  2,5  3,0  3,0  3,0  3,0  3,0  3,0  3,0  3,0 | 0,78  0,795  0,805  0,83  0,845  0,855  0,86  0,87  0,88  0,88  0,88  0,88  0,89  0,89  0,90  0,90  0,915  0,885  0,885  0,89  0,90  0,91  0,925  0,925  0,925 | 0,86  0,87  0,88  0,89  0,89  0,89  0,89  0,89  0,89  0,89  0,90  0,90  0,90  0,91  0,92  0,92  0,92  0,87  0,89  0,89  0,90  0,91  0,92  0,92  0,92 | 1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  2  2  2  2  2  2  2  2 | 2,2  2,2  2,2  2,2  2,2  2,2  2,2  2,2  2,2  2,2  2,2  2,2  2,2  2,2  2,2  2,2  2,2  2,0  2,0  2,0  2,0  2,0  2,0  2,0  2,0 | 1,9  1,9  1,8  1,8  1,7  1,7  1,7  1,6  1,5  1,5  1,2  1,1  1,1  1,0  1,0  1,0  1,0  1,4  1,3  1,3  1,2  1,2  1,1  1,1  1,1 | 7,0  7,0  7,0  7,0  7,0  7,0  7,0  7,0  7,0  7,0  7,0  7,0  7,0  7,0  7,0  7,0  7,0  7,0  7,0  7,0  7,0  7,0  7,0  7,0  7,0 |

8 МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО РАСЧЕТУ

АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ

**Пример 8.1**. Номинальная мощность трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором *Р*н = 10 кВт, номинальное напряжение *U*н = 380 В, номинальное число оборотов ротора *п*н = 1420 об/мин, номинальный к. п. д. ηн = 0,84 и номинальный коэффициент мощности cosφн = 0,85. Кратность пускового тока *I*п/*I*н  = 6,5, а перегрузочная способность двигателя λ = 1,8. Определить: 1) потребляемую мощность; 2) номинальный и максимальный (критический) вращающие моменты; 3) пусковой ток; 4) номинальное и критическое скольжения. Построить механические характеристики *М = f(s)* и *п = f(М)*.

Решение. Потребляемая мощность



Номинальный и максимальный моменты:





Номинальный и пусковой токи:





Номинальное и критические скольжения:





Механические характеристики *М = f(s)* строятся по уравнению:

 (8.1)



Таблица 8.3 - **Результаты расчета механической характеристики**

**асинхронного двигателя**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **№ п/п** | ***s*** | ***п*, об/мин** | **М, Н•м** |
| 1  2  3  4  5  6  7  8  9  10  11  12 | sном = 0,053  0,1  sкр = 0,175  0,2  0,3  0,4  0,5  0,6  0,7  0,8  0,9  1,0 | 1420  1350  1238  1200  1050  900  750  600  450  300  150  0 | 67,3  104,3  121,0  120,5  105,3  88,8  75,5  65,2  57,0  50,5  45,5  41,2 |

Частоту вращения двигателя определяем по формуле

n = n0(1 – s) (8.2)

Задаваясь скольжением s от 0 до 1, подсчитываем вращающий момент. Расчетные данные приведены в табл. 8.3. Характеристики, построенные по данным табл.8.3, изображены на рис.8.1*а, б.*



**а) б)**

**Рис. 8.1**

**Пример 8.2.** Трехфазный асинхронный двигатель с фазным ротором сопротивление фаз обмоток которого *r*1 = 0,46 Ом, *r*2 = 0,02 Ом, *х*1 = 2,24 Ом, *х*2 = 0,08 Ом, соединен треугольником и работает при напряжении *U*н = 220 В с частотой *f* = 50 Гц. Число витков на фазу обмоток *W*1= 192, *W*2= 36. Обмоточные коэффициенты k1 = 0,932, k2 = 0,955. Число пар полюсов *p* = 3.

Определить:

1) пусковые токи статора и ротора, пусковой вращающий момент, коэффициент мощности (cosφп) при пуске двигателя с замкнутым накоротко ротором;

2) токи ротора и статора и вращающий момент при работе двигателя со скольжением *s* = 0,03;

3) критическое скольжение и критический (максимальный) момент;

4) величину сопротивления фазы пускового реостата для получения пускового момента, равного максимальному, а также пусковые токи статора и ротора при этом сопротивлении.

Решение.



Для приведения сопротивления обмотки ротора к обмотке статора коэффициент трансформации:



**Рис.8.2**

На рис.8.2 представлена Т-образная схема замещения фазы асинхронного двигателя.

Приведенные значения сопротивлений роторной обмотки:



Сопротивления короткого замыкания:







Пусковые токи, пусковой момент и соsφп при пуске двигателя с замкнутым накоротко ротором:



 

где *m*2 - число фаз ротора; Ω0 - угловая скорость вращения магнитного поля:



Определяем коэффициент мощности:



Токи и вращающий момент при работе двигателя со скольжением *s* = 0,03:









Критическое скольжение и критический (максимальный) момент:





Определяем сопротивление пускового реостата. Известно, что пусковой вращающий момент достигает максимального значения при условии, что



где  - приведенное значение сопротивления пускового реостата:





Пусковые токи при пуске двигателя с реостатом:







Расчеты для построения механических характеристик *М = f(s)* провести по уравнению 8.1, используя значения sкр и Мmax, полученные выше. Результаты свести в таблицу, аналогичную табл. 8.3

**9 ТЕСТ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ К ЗАЧЕТУ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

**«ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА»**

*Укажите номер правильного ответа:*

# 1*.* ПРИ НАПРЯЖЕНИИ Uab=10 В ТОК В ЗАДАННОЙ ЦЕПИ РАВЕН:

3 Ом 10В 2 Ом 5В 1) 1А 2) 5А

а

в

I

3) 3А 4) 0,8А

2. АМПЕРМЕТР В ЗАДАННОЙ ЦЕПИ ПОКАЗЫВАЕТ:

А

U=10В

1 Ом

1 Ом

1 Ом

2 Ом

+

-

1) 10А 2) 5А

3) 3,3А 4) 2А

3**.** ПРИ ЗАПИСИ УРАВНЕНИЙ ПО ЗАКОНАМ КИРХГОФА ДОПУЩЕНА ОШИБКА

Е1

Е2

R1

R2

R3

R4

I1

I2

I3

В УРАВНЕНИИ:

1) I1 – I2 + I3 = 0

### 2) I1 (R1 +R4) + I2R3 = E1

### 3) I1R1 - I2R3+ I3R2 = E1 - E2

###### 4. ЕМКОСТНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ КОНДЕНСАТОРА ЕМКОСТЬЮ 200 мкФ ПРИ ЧАСТОТЕ 50 Гц СОСТАВЛЯЕТ:

1) 10000 Ом 2) 100 Ом

3) 15,9 Ом 4) 0,0628 Ом

5. ПОКАЗАНИЯ ВОЛЬТМЕТРОВ: V1= 3B; V2= 4B; V3= 8В; ПОКАЗАНИЯ ВОЛЬТМЕТРА V4:

V1

V2

V3

V4

1) 15В 2) 1В

3) 7В 4) 5В

###### 6. В ЗАДАННОЙ ЦЕПИ COSϕ = 1 ПРИ ЗНАЧЕНИИ Xc, РАВНОМ:

R

ХL

###### 

###### 1) XL 2) R

###### XC 3) R + XL 4) 0

###### 7. В ЗАДАННОЙ ЦЕПИ ПОКАЗАНИЕ ВАТТМЕТРА:

\*

\*

4 Ом 4Ом 1) 144Вт 2) 28Вт

3) 24Вт 4) 16Вт

~U=30B 7Ом

8. В ТРЕХФАЗНОЙ СИММЕТРИЧНОЙ ЦЕПИ ПОКАЗАНИЕ ВОЛЬТМЕТРА V1= 380В, ЗНАЧЕНИЕ RФ =10 Ом. ПОКАЗАНИЯ ВОЛЬТМЕТРА V2 И АМПЕРМЕТРОВ А1, А2 СООТВЕТСТВЕННО РАВНЫ:

А

В

С

N

А1

А2

V1

V2

RФ

RФ

RФ

1) 380В; 38А; 38А

2) 220В; 22А; 0А

3) 380В; 38А; 0А

4) 220В; 22А; 66А

9. ПРИ ПЕРЕКЛЮЧЕНИИ СИММЕТРИЧНОГО ПРИЕМНИКА СО СХЕМЫ “ЗВЕЗДА” НА СХЕМУ “ТРЕУГОЛЬНИК” ПРИ НЕИЗМЕННОМ ЛИНЕЙНОМ НАПРЯЖЕНИИ ВЕЛИЧИНА АКТИВНОЙ МОЩНОСТИ:

1) увеличится в 3 раза 2) увеличится в  раз

3) уменьшится в  раз 4) уменьшится в 3 раза

5) останется неизменной

10. ДЛЯ СОЗДАНИЯ В МАГНИТОПРОВОДЕ (lСР= 0,5м) МАГНИТНОЙ ИНДУКЦИИ В=0,8Тл ПО ОБМОТКЕ (w = 100витков) НЕОБХОДИМО ПРОПУСТИТЬ ТОК :

B(Tл) 1) 500А 2) 80А

I

ℓср

1.2 3) 0,05А 4) 0,08А

0.8

0.4 H(A)

5 15 25

11. ОБОЗНАЧЕНИЕ ПРИБОРОВ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПОКАЗАНО НА РИСУНКЕ :

1) 2) 3) 4)

12. ОТНОСИТЕЛЬНАЯ ПОГРЕШНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЙ ПРИБОРА С РАВНОМЕРНОЙ ШКАЛОЙ БУДЕТ НАИБОЛЬШЕЙ В

1) начале шкалы 2) середине шкалы 3) конце шкалы

13. ВАТТМЕТР С ЧИСЛОМ ДЕЛЕНИЙ N=150, ВКЛЮЧЕННЫЙ НА ПРЕДЕЛЫ: ПО НАПРЯЖЕНИЮ 300В, ПО ТОКУ 2,5А, ПОКАЗЫВАЕТ 50 ДЕЛЕНИЙ. ПРИ ЭТОМ ИЗМЕРЯЕТСЯ МОЩНОСТЬ:

1) 1500Вт 2) 250Вт

3) 100Вт 4) 125Вт

14. ЦЕНА ДЕЛЕНИЯ АМПЕРМЕТРА С Iном =5А, ЧИСЛОМ ДЕЛЕНИЙ N=100, RA =0,1 Ом, ВКЛЮЧЕННОГО С ШУНТОМ Rш = 0,01 Ом, СОСТАВЛЯЕТ:

1) 0,05А 2) 0,055А

3) 0,5 А 4) 0,55А

15. ТРАНСФОРМАТОР ТОКА (ТТ) И ТРАНСФОРМАТОР НАПРЯЖЕНИЯ (ТН) РАБОТАЮТ В РЕЖИМАХ:

1) ТТ- короткого замыкания; ТН- холостого хода

2) ТТ- холостого хода; ТН- короткого замыкания

3) оба в режиме холостого хода

4) оба в режиме короткого замыкания

16. С ОШИБКОЙ ЗАПИСАНО ВЫРАЖЕНИЕ ДЛЯ ТРАНСФОРМАТОРА :

1) 1 = -Ė1 +İ1 Z1 2) 2 = Ė2 – İ2 Z2

3) İ1 + İ'2 = İ0 4) E1 = 4,44f w1 Ф

17. ПЕРВИЧНАЯ ОБМОТКА ТРАНСФОРМАТОРА РАССЧИТАНА НА 220В И ИМЕЕТ 110 ВИТКОВ, ВТОРИЧНАЯ – НА 22В И ИМЕЕТ ВИТКОВ:

1) 1100 2) 11 3) 10 4) 2

18.ПРИ РЕЗУЛЬТАТАХ ОПЫТА КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ U1к = 30B; I1ном =2A; Pк =20 Вт ПАРАМЕТРЫ СХЕМЫ ЗАМЕЩЕНИЯ ТРАНСФОРМАТОРА Rк И Xк РАВНЫ:

1) 15 Ом ; 5Ом 2) 5 Ом ; 10 Ом

3) 10 Ом ; 15Ом 4) 10 Ом ; 5 Ом

19. ЭДС ГЕНЕРАТОРА ПОСТОЯННОГО ТОКА Ея =110 В; ТОК ЯКОРЯ Iя =2 А;

СОПРОТИВЛЕНИЕ ЯКОРЯ Rя =5 Ом, НАПРЯЖЕНИЕ НА ЗАЖИМАХ ГЕНЕРАТОРА РАВНО:

1) 120 В 2) 110В 3) 105 В 4) 100В

20. ДЛЯ ЗАДАННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ДВИГАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА

ВЕРНЫ СООТНОШЕНИЯ:

n 1) Ф1 >Ф2 >Ф3 >Ф4

2

естеств.(Фном)

1

3

4

2) Ф1 = Ф2 =Ф3 =Ф4

3) Ф1 <Ф2 <Ф3 <Ф4

4) Ф1 <Ф2 <Фном; Ф3 =Ф4 =Фном

5) Ф1 >Ф2 >Фном; Ф3 =Ф4 =Фном

М

21. ДЛЯ ПУСКА ДВИГАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА С ПАРАЛЛЕЛЬНЫМ ВОЗБУЖДЕНИЕМ С НАЧАЛЬНЫМ ПУСКОВЫМ ТОКОМ Iп=2Iном НЕОБХОДИМО ВКЛЮЧИТЬ В ЦЕПЬ ЯКОРЯ ПУСКОВОЙ РЕОСТАТ СОПРОТИВЛЕНИЕМ:

Данные двигателя:

Pном =10 кВт ;Uном =110 B 1) 0,85 Ом 2) 0,55 Ом

Iном =100 A ; Rя =0,2 Ом 3) 0,35 Ом 4) 1,1 Ом

22. ХАРАКТЕРИСТИКИ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ а ,б ,в ПОСТРОЕНЫ ДЛЯ СЛУЧАЯ:

M

а

б

в

1) Ua >Uб >Uв

2) Ua < Uб< Uв

s 3) Rдоб а>Rдоб б >Rдоб.в

4) Rдоб а<Rдоб б <Rдоб в

23.ФАЗНЫЙ НОМИНАЛЬНЫЙ ТОК СТАТОРА АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С ДАННЫМИ P = 10 кВт; U = 380/220 B η = 0,86; cosϕ =0,84 РАВЕН:

1) 18 А 2) 21,15А 3) 21 А 4)15,15А

24. АСИНХРОННАЯ МАШИНА А2-72-4, ЧАСТОТА ВРАЩЕНИЯ КОТОРОЙ n = 1580 об/мин, РАБОТАЕТ В РЕЖИМЕ

1) генератор 2) электромагнитного тормоза

3) двигателя 4) определить нельзя

25.СИНХРОННЫЙ ГЕНЕРАТОР, ВЫРАБАТЫВАЮЩИЙ ЭНЕРГИЮ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА ƒ= 50 Гц, ЧАСТОТА ВРАЩЕНИЯ РОТОРА КОТОРОГО СОСТАВЛЯЕТ 1500 об/мин, ИМЕЕТ ЧИСЛО ПАР ПОЛЮСОВ:

1) p=1 2) p=4 3) p=2 4) p=20

*Установите соответствие:*

26. МЕХАНИЧЕСКАЯ ТИП

ХАРАКТЕРИСТИКА ДВИГАТЕЛЯ

1) n 2) n А) асинхронный

Б) синхронный

В) постоянного тока с парал-

M M лельным возбуждением

3) n 4) n Г) постоянного тока с после-

довательным возбуждением

Д) постоянного тока со сме-

M M шанным возбуждением

Ответ: 1-\_\_, 2-\_\_, 3-\_\_, 4-\_\_.

*Укажите номер правильного ответа:*

27. ПОЛУПРОВОДНИКОВОМУ БИПОЛЯРНОМУ ТРАНЗИСТОРУ СООТВЕТСТВУЕТ УСЛОВНОЕ ОБОЗНАЧЕНИЕ:

1. 2)

3) 4)

28. ФОРМА КРИВОЙ ВЫПРЯМЛЕННОГО НАПРЯЖЕНИЯ Uн ср ДЛЯ ПРИВЕДЕНОЙ СХЕМЫ ПОКАЗАНА НА РИСУНКЕ:

1) Uн ср 2) Uн ср

ωt ωt

~U

3) 3) Uн ср 4) Uн ср

Uн ср  ωt ωt

29.В ЗАДАННОЙ СХЕМЕ ВЫПРЯМЛЕННАЯ ВЕЛИЧИНА НАПРЯЖЕНИЯ НА НАГРУЗКЕ UН.СР. СОСТАВЛЯЕТ:

1) 20 В 2) 10 В

E=20B RH UН.СР. 3) 14,1 В 4) 9 В

30. В ЗАДАННОЙ ЦЕПИ ПЕРЕХОДЫ:

1) Э-Б открыт; К-Б закрыт

+

+

-

-

Э

К

Б

ЕК

ЕЭ

2) Э-Б закрыт; К-Б открыт

3) оба открыты

4) оба закрыты

**ЛИТЕРАТУРА**

***а) основная литература***

1. Касаткин, А.С. Электротехника/А.С.Касаткин, М.В. Немцов. – М.: Высшая школа, 2008.

2. Рекус, Г.Г. Сборник задач по электротехнике и основам электроники/Г.Г.Рекус, А.И.Белоусов – М.: Высшая школа, 2007.

***б) дополнительная литература***

1. Электротехника /Под ред. П.А.Бутырина - М.: изд. ЮУрГУ, 2003г.

2. Электротехника и основы электроники/Под ред. О.П. Глудкина. – М.: Высшая школа, 2001.

3. Электротехника. Компьютерные технологии практических занятий/Под ред. А.В. Кравцова. – М.: МГАУ им. В.П. Горячкина, 2000.

**ПРИЛОЖЕНИЕ А**

**Форма титульного листа расчетно-графической работы**

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное

учреждение высшего профессионального образования

«Ижевская государственная сельскохозяйственная академия»

Кафедра «Электротехника, электрооборудование и электроснабжение»

Контрольная работа

по дисциплине «ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА»

на тему:

РАСЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ

И ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

Выполнил студент \_\_\_гр. \_\_\_\_\_\_\_\_ \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

(подпись) (фамилия, и.о.)

Проверил \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

(подпись) (фамилия, и.о.)

##### Ижевск 20\_\_

Учебное издание

##### ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА

Методические указания и задание на контрольную

работу для студентов направлений бакалавриата

«Агроинженерия», «Техносферная безопасность»

очной и заочной форм обучения

Составители

**Родыгина** Тамара Александровна

**Белова** Галина Михайловна

Технический редактор Николаева Е.Ф.

Компьютерный набор Т.А.Родыгина

Подписано в печать \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 2014г.

Формат 60х84/16

Усл. печ. л. 2,4. Уч.-изд. л. 1,9.

Тираж 50 экз. Заказ \_\_\_\_\_\_\_\_\_

ФГБОУ ВПО Ижевская ГСХА

426069, г. Ижевск, ул. Студенческая, 11.