**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ**

**"КАМЧАТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ"**

С.Ю. Труднев

**«Электротехника и электроника»**

**ПРАКТИКУМ**

*для курсантов и студентов*

*направлений 220400.62 «Управление в технических системах», 280200.62 «Защита окружающей среды»,280700.62 «Техносферная безопасность»*

*очной и заочной формы обучения.*

**Петропавловск-Камчатский**

**2012**

УДК

ББК

Рецензент:

Портнягин Н.Н.

д.т.н., профессор кафедры электротехники

Московского Российского Государственного университета нефти и газа имени Н.М. Губкина.

Труднев С.Ю.

Электротехника и электроника.

Практикум: Программа курса и методические указания к изучению дисциплины «Электротехника и электроника» – Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ, 2012. –\_\_ с.

Программа курса и методические указания по изучению дисциплины составлена в соответствии с требованиями к освоению основной образовательной программы подготовки бакалавров по направлению подготовки 220400.62 «Управление в технических системах», 280200.62 «Защита окружающей среды»,280700.62 «Техносферная безопасность» очной и заочной формы обучения федерального государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования.

Программа курса и методические указания к изучению дисциплины рассмотрены и утверждены на заседании УМС (протокол № \_\_ от «\_\_»\_\_\_\_\_20\_\_г.)

**УДК**

**ББК**

©КамчатГТУ, 2012

©Труднев С.Ю, 2012

**СОДЕРЖАНИЕ**

[Введение 4](#_Toc358991032)

[1. Требования к результатам освоения программы 4](#_Toc358991033)

[2. Требования к оформлению пояснительной записки РГЗ 6](#_Toc358991034)

[3. Требования к содержанию пояснительной записки РГЗ 6](#_Toc358991035)

[Раздел 1. ЗАДАЧИ ПО ТЕМЕ 8](#_Toc358991036)

[″ЦЕПИ ПОСТОЯННОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА″ 8](#_Toc358991037)

[Задача № 1.1 8](#_Toc358991038)

[Раздел2.ЗАДАЧИ ПО ТЕМЕ 11](#_Toc358991039)

[″ЦЕПИ ПеременнОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА″ 11](#_Toc358991040)

[Задача №2.1 11](#_Toc358991041)

[Задача №2.2 14](#_Toc358991042)

[Задача №2.3 17](#_Toc358991043)

[Задача №2.4 20](#_Toc358991044)

[Задача №2.5 22](#_Toc358991045)

[Задача №2.6 24](#_Toc358991046)

[Раздел 3. ЗАДАЧИ ПО ТЕМЕ 30](#_Toc358991047)

[″ТРАНСФОРМАТОРЫ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ″ 30](#_Toc358991048)

[Задача № 3.1 30](#_Toc358991049)

[Задача № 3.2 32](#_Toc358991050)

[Задача № 3.3 34](#_Toc358991052)

[Задача № 3.4 36](#_Toc358991054)

[Задача № 3.5 39](#_Toc358991057)

[Раздел 4. ЗАДАЧИ ПО ТЕМЕ ″АНАЛОГОВЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ схем″ 43](#_Toc358991058)

[Задача № 4.1 ″Расчет параметрического стабилизатора на стабилитроне″ 43](#_Toc358991059)

[Задача № 4.2 ″Расчет усилительного каскада на транзисторах″ 45](#_Toc358991060)

[Задача № 4.2.1″Расчет параметров каскада по схеме ОЭ″ 45](#_Toc358991061)

[Задача № 4.2.2 ″Расчет параметров каскада по схеме ОИ″ 52](#_Toc358991062)

[Литература 60](#_Toc358991063)

Введение

Практикумвключает задания к выполнению контрольных, расчетно-графических работ (РГЗ) по курсу″Электротехника и электроника″ и методы их решения.

Учебное пособие представляет материалы и рекомендации по самостоятельной работе по курсу ″Электротехника и электроника″.

Студенты различных специальностей выполняют необходимое количество контрольных работ (РГЗ), в строгом соответствии с указанием преподавателя, который определяет:

−сроки представления работ,

−перечень задач и этапов, выполняемых в течение семестра.

Каждый студент выполняет один из *N* вариантов, предлагаемых в соответствующем задании. Номер варианта выбирается по указанию преподавателя или по двум последним цифрам шифра зачетной книжки (для заочников).

Для повышения понимания, степени усвоения материала и проверки решения каждая задача решается поэтапно и имеет пример решения. Студентам предлагается по мере решения индивидуального варианта сверять свои действия с решенным примером.

В конце решения каждой задачи должна быть приведена таблица с окончательными ответами к каждому пункту этапа решения.

1. Требования к результатам освоения программы

*Выпускник должен обладать следующими общекультурными компетенциями (ОК):*

способностью владеть культурой мышления, способностью к обобщению, анализу, восприятию информации, постановке цели и выбору путей ее достижения (ОК-1);

способностью логически верно, аргументированно и ясно строить устную и письменную речь (ОК-2);

способностью к кооперации с коллегами, работе в коллективе (ОК-3);

способностью находить организационно-управленческие решения в нестандартных ситуациях и готовностью нести за них ответственность (ОК-4);

способностью использовать нормативные правовые документы в своей деятельности (ОК-5);

способностью стремиться к саморазвитию, повышению своей квалификации и мастерства (ОК-6);

способностью критически оценивать свои достоинства и недостатки, намечать пути и выбирать средства развития достоинств и устранения недостатков (ОК-7);

способностью осознавать социальную значимость своей будущей профессии, обладать высокой мотивацией к выполнению профессиональной деятельности (ОК-8);

способностью использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования (ОК-10);

способностью понимать сущность и значение информации в развитии современного информационного общества, сознавать опасности и угрозы, возникающие в этом процессе, соблюдать основные требования информационной безопасности, в том числе защиты государственной тайны (ОК-11);

способностью владеть основными методами, способами и средствами получения, хранения, переработки информации, иметь навыки работы с компьютером как средством управления информацией (ОК-12);

способностью работать с информацией в глобальных компьютерных сетях (ОК-13);

способностью владеть одним из иностранных языков на уровне не ниже разговорного (ОК-14);

способностью владеть основными методами защиты производственного персонала и населения от возможных последствий аварий, катастроф, стихийных бедствий (ОК-15);

способностью владеть средствами самостоятельного, методически правильного использования методов физического воспитания и укрепления здоровья, готовностью к достижению должного уровня физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности (ОК-16);

способностью уважительно и бережно относиться к историческому наследию и культурным традициям, толерантно воспринимать социальные и культурные различия (ОК-17);

способностью понимать движущие силы и закономерности исторического процесса; роль насилия и ненасилия в истории, место человека в историческом процессе, политической организации общества (ОК-18);

способностью понимать и анализировать мировоззренческие, социально и личностно значимые философские проблемы (ОК-19).

*Выпускник должен обладать следующими профессиональными компетенциями (ПК):*

*общепрофессиональные компетенции:*

способностью представить адекватную современному уровню знаний научную картину мира на основе знания основных положений, законов и методов естественных наук и математики (ПК-1);

способностью выявить естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлечь для их решения соответствующий физико-математический аппарат (ПК-2);

готовностью учитывать современные тенденции развития электроники, измерительной и вычислительной техники, информационных технологий в своей профессиональной деятельности (ПК-3);

способностью владеть методами решения задач анализа и расчета характеристик электрических цепей (ПК-4);

способностью владеть основными приемами обработки и представления экспериментальных данных (ПК-5);

способностью собирать, обрабатывать, анализировать и систематизировать научно-техническую информацию по тематике исследования, использовать достижения отечественной и зарубежной науки, техники и технологии (ПК-6);

способностью владеть элементами начертательной геометрии и инженерной графики, применять современные программные средства выполнения и редактирования изображений и чертежей и подготовки конструкторско-технологической документации (ПК-7).

2. Требования к оформлению пояснительной записки РГЗ

1.1. Запрещается выполнять контрольные работы путем ксеро- или копирования текстов на ЭВМ и распечатыванием их на принтерах. Материалы, представленные в форме машинной распечатки, к рассмотрению не принимаются и не рассматриваются преподавателем.

1.2. РГЗ выполняется в стандартной тетради (в клеточку) с полями не менее 30 мм.

1.3. Обложка работы оформляется (можно ручкой) в соответствии с образцом (см. приложение), на котором ставится дата сдачи работы, роспись студента и т.п.

3. Требования к содержанию пояснительной записки РГЗ

2.1.При решении задачи, приведенной в перечне задач, необходимых для решения в течение семестра в Пояснительной записке (далее, Записка) первоначально приводятся:полное условие (текст) поставленной задачи, исходная схема, номер варианта, задание варианта (данные для расчета), краткая запись задачи и т.п.

2.2.Номер варианта выбирается по последним двум цифрам зачетной книжки. Решение задачи начинается с расчетной схемы, включающей в себя указание на положительные направления токов и напряжений, обозначений потенциалов узлов и т.п.

Все схемы должны быть выполнены аккуратно, в крупном масштабе, при помощи чертежных элементов на обычных листах тетради или миллиметровой бумаги, вклеиваемой в записку.

При вычерчивании схемы (под линейку) необходимо пользоваться соответствующими ГОСТами. Условные обозначения элементов схемы, как правило, располагаются над элементами или справа от них.

2.3. Расчеты следует проводить поэтапно, в соответствии с предлагаемым алгоритмом (по пунктам таблицы этапа), не пропуская каждый пункт и выделяя каждый этап (пункт) соответствующим номером и подзаголовком, например: ″3. Расчет переходного процесса в цепи классическим способом″, ″3.3. Составление характеристического уравнения″ и т.д. Каждый пункт должен сопровождаться пояснением, например: ″из выражения… следует…; производим расчет …″.

2.4. Все уравнения и формулы следует записывать в общем виде, затем производить подстановку числовых значений, приводя все промежуточные вычисления.

Запись окончательного ответа без промежуточных значений не допускается.

2.5. Любая физическая величина должна быть приведена со своей размерностью (в СИ или производных единицах).

2.6. Все параметры, постоянные, переменные, входящие в используемые формулы, рисунки и схемы должны быть подробно описаны, включая их размерности.

2.7. В тексте не допускаются сокращения слов, кроме общепринятых.

2.8. В том случае, когда производится расчет промежуточной схемы, то эта часть схемы должна быть приведена перед началом расчета.

2.9. Промежуточные результаты расчетов и конечный результат (с точностью до второй-третьей значащей цифры) необходимо приводить в отдельных строках и выделять из общего текста.

2.10. Графические зависимости (графики) следует строить на миллиметровой бумаге в масштабе, выбранном в соответствии с ГОСТом.

При построении графиков следует по осям координат наносить равномерные шкалы, указывать величины, откладываемые по осям и единицы их измерения. Весь график в целом и отдельные кривые, показываемый на нем, должны иметь названия. Если на графике приведено несколько функций, то они подписываются и поясняются.

Для графиков, построенных по точкам, составляют и приводят таблицу, в которой приведены все числовые значения (до третьей значащей цифры). Таблица должна иметь название и располагаться рядом с графиком.

2.11. При построении графиков в формате *Excel*выполняются все требования п. 2.10.Допускается представление таблиц и графиков в формате *Excel*, моделей схем и осциллограмм в формате *Workbench*, *Matlab*, вклеенных в пояснительную записку.

2.12. Все математические расчеты, схемы, графики, которые получены в ходе расчета РГЗ, должны сопровождаться текстом, который объясняет те или иные преобразования и формулы, выбор масштабов и т.п.

2.13. Векторные и топографические диаграммы токов и напряжений, требуемые в условии задачи, должны быть построены в соответствии с выбранным масштабом осей с помощью линейки и транспортира.

2.14. Каждая задача Записки должна заканчиваться выводами и приведением таблицы, в которой и в полной мере, но лаконично, описаны все искомые параметры и элементы, заданные в алгоритме задания.

2.15. В том случае, когда рекомендуется использование какой либо инженерной программы, необходимо приложить напечатанные схемы, результаты исследования, временные диаграммы и т.п., к пояснительной записке.

2.16. Пояснительная записка сдается в сроки, определяемые графиком учебного процесса.

2.17. После проверки, материалы РГЗ защищаются лично учащимся в сроки, определяемые графиком учебного процесса.

2.18.Защита РГЗ предполагает безусловное понимание теоретического материала, умение оперативно производить вычисления по этапам, предлагаемым в пособии.

Раздел 1. ЗАДАЧИ ПО ТЕМЕ

″ЦЕПИ ПОСТОЯННОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА″

Задача № 1.1

Параметры схемы, показанной на рис. 1.1, *а*, приведены в таблице 1.1.

Таблица 1.1

Задание к задаче 1.1

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Параметры** | **Последняя цифра номера зачетки** | **Пример** |
| **0** | **1** | **2** | **3** | **4** | **5** | **6** | **7** | **8** | **9** |
| ***E*1, В** | 100 | 100 | 50 | 100 | 100 | 50 | 100 | 100 | 50 | 100 | 100 |
| ***E*2,В** | 50 | 50 | 70 | 50 | 50 | 80 | 70 | 100 | 50 | 50 | 0 |
| ***E*3,В** | 80 | 60 | 50 | 50 | 40 | 10 | 50 | 50 | 80 | 90 | 100 |
| ***I*эг** | *I*3 | *I*2 | *I*1 | *I*3 | *I*2 | *I*1 | *I*3 | *I*3 | *I*1 | *I*2 | *I*2 |
|  | **Предпоследняя цифра номера зачетки** |  |
| **0** | **1** | **2** | **3** | **4** | **5** | **6** | **7** | **8** | **9** |
| ***R*1, Oм** | 3 | 4 | 10 | 6 | 4 | 5 | 4 | 6 | 6 | 7 | 7 |
| ***R*2, Ом** | 4 | 5 | 8 | 8 | 5 | 3 | 4 | 10 | 8 | 10 | 25 |
| ***R*3, Ом** | 5 | 4 | 8 | 10 | 3 | 4 | 5 | 8 | 6 | 6 | 24 |

Определить:

− значения токов всех ветвей электрической схемы, пользуясь методами: применения законов Кирхгофа, узлового напряжения (двух узлов), эквивалентного генератора (в цепи с током *I*эг);

− баланс активной мощности источников и приемников энергии.



Рис. 1.1. Схемы (а, б, в) задаче № 1.1

**Методические рекомендации по решению задачи № 1.1**

1. Зарисовать схему и записать задание, соответствующее номеру варианта

(рис. 1.1, а; табл. 1.1)

1. Определение токов в ветвях с различными методами

**Метод с использованием законов Кирхгофа предполагает составление**

**уравнений по I и II законам Кирхгофа**

1. Определяем положительные направления токов в ветвях *cda*, *abca*(рис. 1.1, а)
2. Записываем уравнение по I закону Кирхгофа для токов в узле *а*

*I*1− *I*2 *+ I*3 =0 (1)

1. Выбираем положительное направление обхода выделенных контуров *аесda* и *abсеa*по часовой стрелке
2. Записываем уравнение по II закону Кирхгофа для контура *аесda*

*−Е*2+*Е*1=*I*1*R*1+*I*2*R*2  (2)

1. Записываем уравнение по II закону Кирхгофа для контура *аbcеa*

*+Е*2−*Е*3=−*I*3*R*3−*I*2*R*2 (3)

1. Из (1) выражаем *I*3 и подставляем в (2)

*I*1 =*−I*3+ *I*2 (4)

*Е*1=(*−I*3+ *I*2)*R*1+*I*2*R*2 +*Е*2 =*−I*3*R*1 +*I*2(*R*2 + *R*1)+*Е*2  (5)

1. Учтем, что в данном варианте *E*2=0

*Е*1=*−I*3*R*1 +*I*2(*R*2 + *R*1) (6)

1. Из (6) выражаем*I*3

*I*3=[−*Е*1+*I*2(*R*2 + *R*1)]/*R*1 (7)

1. Из (3) выражаем*I*3

*I*3*=*(*Е*3−*I*2*R*2)/*R*3 (8)

1. Объединяем (7) и (8) и выражаем *E*1

[−*Е*1+*I*2(*R*2 + *R*1)]/*R*1*=*(*Е*3−*I*2*R*2)/*R*3 (9)

*Е*1 = −(*Е*3+*I*2*R*2)*R*1/*R*3 *+I*2(*R*2 + *R*1) (10)

*Е*1 = −*Е*3*R*1/*R*3 *+I*2(*R*2 + *R*1 *+R*2*R*1/*R*3) (11)

1. Из (11) выражаем *I*2

*I*2=(*Е*1 +*Е*3*R*1/*R*3)/(*R*2 +*R*1 *+R*2*R*1/*R*3) (12)

1. В выражение (12) подставляем значения ЭДС и сопротивлений ветвей, и,

преобразуя, находим *I*2

*I*2=3,287 A (13)

1. Используя (13) определяем *I*3 с учетом (8)

*I*3*=*0,742A (14)

1. Используя (14) определяем *I*1 с учетом (1)

*I*1*=*2,545 A (15)

**Определение токов в ветвях методом узлового напряжения (метод двух узлов)**

1. Для определения напряжения между точками *а* и *с* используем метод двух узлов, согласно которому

*Uaс=*(*E*1*G*1+ *E*2*G*2+*E*3*G*3)/(*G*1+*G*2+*G*3), где *G*1 , *G*2, *G*3 − проводимости ветвей (16)

1. Проводимость G1

*G*1=1/*R*1

*G*1 = 0,1429Cм

1. Проводимость G2

*G*2=1/*R*2

*G*2 = 0,04Cм

1. Проводимость G3

*G*3=1/*R*3

*G*3 = 0,04167Cм

1. Напряжение *Uaс* между точками *а* и *с* (вектор *Uaс*направлен от *а* к *с*) (по 16)

*Uaс =* 82,184 В

1. Рассчитываем токи в ветвях с учетом направлений токов и ЭДС
2. Определение *I*1

*I*1= (*E*1-*Uaс*)/*R*1

*I*1 = 2,545 A

1. Определение*I*2

*I*2= *Uaс*/ *R*2

*I*2*=* 3,287 A

1. Определение*I*3

*I*3= (*E*3-*Uaс*)/ *R*1

*I*3= 0,742 A

**Определение токов в ветвях методом эквивалентного генератора метод предполагает, что в ветви, содержащей искомый ток, имеется разрыв, так что между точками *а* и *с* действует напряжение холостого хода *U*хх**

1. Исследуем схему (рис. 1.1, а), размыкая ветвь *aec* (разрыв между точками *а* и *с*), получаем схемы (б, в)
2. Согласно этапам метода с учетом выбранных положительных направлений токов, напряжения *Ů*хх и ЭДС, необходимо определить:

− определить ЭДС эквивалентного генератора, равное напряжению холостого хода

*E*ген*=U*хх;

− внутреннее сопротивление эквивалентного генератора *R*ген как входное

сопротивление цепи с разрывом;

− ток в искомой ветви равен: *I*2=(*E*ген−*Е*2)/(*Rас* + *R*2) (17)

1. Рассчитываем *E*ген*=U*хх, используя метод двух узлов, аналогично п. 18

*U*хх*=*(*E*3*G*3+ *E*1*G*1)/(*G*1+*G*3)

*E*ген*=* 100 В

1. В этом режиме входная проводимость *G*экв цепи

*G*экв =*G*1+*G*3

*G*экв = 0,1845 См

1. Внутреннее сопротивление генератора *R*ген

*R*ген=1/*G*экв

*R*ген= 5,419 Ом

1. Для схемы с эквивалентным генератором, приведенной на рис. 1.1, *в*, рассчитываем *I*г =*I*2 (с учетом того, что в варианте *E*2=0)

*I*г =*I*2==(*E*ген- *E*2)/(*R*ген+ *R*2)

*I*г =*I*2=3,28 А

1. Сравнивая результаты расчета, делаем вывод,
что значениятоков, полученные различными методами, идентичны друг другу

**Оценка баланса мощностей**

1. Суммарная активная мощность источников *E*1, *E*2, *E*3

*РЕ=*∑*EiIi*

*РЕ* = 328,8 Вт

1. Суммарная активная мощность приемников

*Р =* ∑*RiIi*2

*Р*= 328,8 Вт

В результате расчета делаем вывод, что суммарная активная мощность источников равна активной мощности, выделяемой на приемниках.

Раздел2.ЗАДАЧИ ПО ТЕМЕ

″ЦЕПИ ПеременнОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА″

Задача №2.1

Имеется цепь переменного тока частотой *f* = 50 Гц с активно-индуктивной нагрузкой (рис. 2.1). Показания приборов (амперметра, вольтметра, ваттметра) приведены в таблице 2.1.



а) б) в)

Рис. 2.1. Схема (а) и векторные (б, в) диаграммы к задаче 2.1

Необходимо определить (рассчитать):

− параметры резистора *r*1 и индуктивности *L*1 катушки;

− величины напряжений на резисторах и на участке *bd*;

− углы сдвига фаз между напряжением и током на входе цепи и на участке*bd*;

− параметры схемы для построения векторной диаграммы.

Таблица 2.1

Задание к задаче №2.1

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Параметр** | **Последняя цифра номера зачетки** | **Пример** |
| **0** | **1** | **2** | **3** | **4** | **5** | **6** | **7** | **8** | **9** |
| ***I*, А** | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 5 | 7 | 8 | 9 | 10 | 2 |
| ***U*, В** | 220 | 380 | 127 | 660 | 220 | 220 | 127 | 660 | 220 | 380 | 380 |
| ***P*, Вт** | 210 | 420 | 300 | 740 | 940 | 940 | 400 | 520 | 720 | 820 | 450 |
|  | **Предпоследняя цифра номера зачетки** |  |
| **0** | **1** | **2** | **3** | **4** | **5** | **6** | **7** | **8** | **9** |
| ***r*2, Ом** | 8 | 7 | 6 | 4 | 3 | 2 | 6 | 8 | 3 | 5 | 7 |

**Методические рекомендации по решению задачи№2.1**

1. Зарисовать схему и записать задание, соответствующее номеру варианта

(рис. 2.1, табл. 2.1)

**Определить (рассчитать)**

1. Значение *cos* с учетом показания приборов

*P* = *UIcos*

*cos* =0,59

1. Значение угла , рад

 = 0,94 рад

1. Значение угла , град

 = 53,72 град

1. Общее активное сопротивление *R*, учитывая, что ваттметр показывает активную мощность *Р*

*P* = *I*2(*r*1 + *r*2) =*I*2*R*

*R* = 112,5 Ом

1. Сопротивление *r*1

*R = r*1 + *r*2

*r*1 = 105,5 Ом

1. Модуль *Z* полного комплексного сопротивления

*Z =U*/*I*

*Z* = 190 Ом

1. Индуктивное сопротивление *XL*

*Z*2 = *R*2 + *XL*2

*XL* = 153,11 Ом

1. Величина индуктивности *L*

*XL* = 2*fL*

*L* = 0,49 Гн

1. Модуль полного сопротивления участка *bd*

*Zbd*= (*r*12 + *XL*2)0,5

185,94 Ом

1. Модуль комплексного напряжения *Ů*1 на резисторе *R*1

*U*1*=IR*1

*U*1=211 В

1. Модуль комплексного напряжения *Ů*2 на резисторе *R*2

*U*2*=IR*2

*U*2 *=*14 В

1. Модуль комплексного напряжения *Ů*Lна индуктивности сопротивлением *XL*

*UL=IXL*

*UL* =306,23 В

1. Проверить правильность расчета напряжений, сравнив модуль суммарного расчетного напряжения *U*расчс заданным *U*

*U*расч*=*[(*U*1+*U*2)2+*U*L2]0,5

*U*расч*=*380 В

1. Модуль комплексного напряжения *Ubd* на участке *bd*

*Ubd* = *IZbd*

*Ubd* = 371,88 В

1. Сдвиг фаз  = 1

1= arctg(*XL*/*r*1)

1=0,98 рад

1. Сдвиг фаз  = 1 в градусах

1=55,46 град

1. Построение векторной диаграммы токов и напряжений цепи

Векторная диаграмма строится по следующим этапам:

− выбираем масштабы для векторов напряжения и тока (рис. 2.2, *б, в*), например, 1см -1 А; 0,5 см -100 В:

- рисуем оси +1 и +*j* (ось +*j* направляем, например, вверх);

− на комплексной плоскости отмечаем точку, от которой будем строить вектора напряжений и токов (этой точке соответствует точка*а* схемы);

− поскольку в задаче не дается начальный угол вектора тока *İ*, по умолчанию, принимаем его равным нулю, поэтому вектор *İ* направлены по оси +1;

− поскольку сдвига фаз между током и напряжением на резисторах нет, то вектора *Ů*1,*Ů*2 направлены по оси +1;

− поскольку вектор напряжения *ŮL* опережает ток İ на 90 о (идеальная индуктивность), то направляем вектор *ŮL* по оси +j;

−геометрическая сумма векторов *Ů*1,*Ů*2 направлена по оси +1;

геометрическая сумма векторов *Ů*1,*Ů*2,*ŮL* дает суммарный вектор *Ů*; после построения с помощью транспортира, проверяем равен ли угол геом, расчетному значению значению

− вектор *Ůbd* находим, откладывая его из конца вектора *Ů*2 в конец вектора *Ů.*

Задача №2.2

К генератору переменного тока с фиксированным напряжением *U* подключена цепь, состоящая из последовательно соединенных катушки c активным сопротивлением *R* и индуктивностью *L*, а также конденсатора с емкостью *С*. Параметры цепи приведены в таблице 2.3. Частота генератора = 2*f*может изменяться в широких пределах, так что при частоте *f*0 наступает режим резонанса напряжения.



Рис. 2.2. Схема (а) и характеристики к задаче №2.2

При изменении частоты питающего генератора в пределах 0 <*f*0< 2*f*0 рассчитать и построить:

− частотные характеристики элементов цепи *R*(*f*), *XL*(*f*), X*C*(*f*) и всей цепи в целом *Z*(*f*);

− зависимости *I*(*f*), *UR*(*f*), *UL*(*f*), *UC*(*С*), представив их анализ от рода нагрузки;

− фaзочастотную характеристику – зависимость сдвига фаз между напряжением *U* на клеммах генератора и током *I* в цепи от частоты *f* генератора;

− рассчитать коэффициент усиления напряжения*К*, добротность волновое сопротивление цепи ;

− параметры схемы для построения векторной диаграммы.

Таблица 2.2

Задание к задаче №2.2

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Параметры** | **Последняя цифра номера зачетки** | **Пример** |
| **0** | **1** | **2** | **3** | **4** | **5** | **6** | **7** | **8** | **9** |
| ***U*,B** | 100 | 150 | 60 | 120 | 60 | 80 | 70 | 100 | 120 | 150 | 140 |
| ***R*, Ом** | 10 | 20 | 5 | 8 | 12 | 7 | 10 | 15 | 20 | 9 | 10 |
|  | **Предпоследняя цифра номера зачетки** |  |
| **0** | **1** | **2** | **3** | **4** | **5** | **6** | **7** | **8** | **9** |
| ***L*, мГн** | 100 | 120 | 150 | 80 | 90 | 110 | 140 | 80 | 60 | 50 | 40 |
| ***С*, мкФ** | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 60 | 35 |

**Методические рекомендации по решению задачи№2.2**

|  |
| --- |
| 1. Зарисовать схему и записать задание, соответствующее номеру варианта

(рис. 2.2; табл. 2.2)**Определить (рассчитать):**1. Значения всех параметров в системе СИ
2. Какой резонанс наблюдается в исследуемой цепи резонанс напряжений
3. Значение частоты резонанса *f*0

*XC*0=1/0*C*=*ХL*0=0*L*;*f*0=0/2=1/2*CL*)0,5*f*0=134,58 Гц1. Значение реактивного индуктивного сопротивления *ХL*0(*f*0) при резонансе

*ХL*0 =0*L**ХL*0(*f*0) =33,81 Ом1. Значение реактивного емкостного сопротивления *ХС*0(*f*0) при резонансе

*XC*0=1/0*C**ХС*0(*f*0) =33,81 Ом1. Модуль полного комплексного сопротивления цепи при резонансе

*Z*(*f*0) =[*R*2 +(*ХL*0−*XC*0)2]0,5*Z*(*f*0) =10 Ом1. Модуль тока *İ* при резонансе

*I*(*f*0)= *U*/*Z*(*f*0)*I*(*f*0)=14 А1. Модуль напряжения на индуктивности в режиме резонанса

*UL*((*f*0) = *I*(*f*0)*XL*(*f*0)*UL*((*f*0)=472,29 В1. Модуль напряжения на конденсаторе

*UС*((*f*0) = *I*(*f*0)*XС*(*f*0)*UС*((*f*0)=472,29 В1. Коэффициент усиления напряжения*К*

*К* = *UL*/*U= UС*/*U**К* = 3,381. Величина добротности Θ

Θ = /*R= XL*/*R = XLI*рез/*RI*рез= *К*Θ = 3,381. Построить (табличным способом или в программе EXCEL) частотные характеристики элементов цепи *R*(*f*), *XL*(*f*), *XC*(*f*) и всей цепи в целом *Z*(*f*) в диапазоне частот 0<*f*<2*f*0 (рис. 2,2, б)
2. Построить зависимости *I*(*f*), *UR*(*f*), *UL*(*f*), *UC*(*С*) и провести их анализ в различных диапазонах частот (рис.2.2, в)
3. Построить фaзочастотную характеристику – зависимость сдвига фаз между напряжением *U* на клеммах генератора и током *I* в цепи от частоты *f* генератора: *f*) = arctg[(*XL−XC*)/*R*] (рис. 2.2, г)
4. Провести анализ полученных данных с точки зрения режима нагрузки (активно-индуктивная, активно-емкостная) при различных частотах.Объяснить, на каких частотах схема представляется активной, активно-емкостной, активно-индуктивной нагрузкой
5. Построение векторной диаграммы токов и напряжений при различных режимах: при *f*<*f*0; *f* =*f*0;*f*>,*f*0 описано в конспекте лекций
 |

Задача №2.3

Комплексы действующих значений напряжения *Ůk*и тока *İk*цепи (рис. 2.3) с комплексной нагрузкой*Zk*представлены в показательной и алгебраической форме в таблице 2.3. В каждом варианте представлено по два значения напряжения и тока (например, *Ů*1, *İ*1и *Ů*2, *İ*2),записанных в соответствующей форме. Соответственно, каждому варианту соответствует комплексная нагрузка, например, *Z*k, имеющая активную *ReZk* и реактивную*ImZ*kсоставляющие. На этой нагрузке выделяются мощности: полная комплексная *Sk*, активная *Pk* и реактивная*Qk*.



а) б)в)г) д)

Рис. 2.3. Схемы и векторные диаграммы для примера задачи № 2.3

Необходимо рассчитать значения:

− действующих значений напряжений *Uk* и тока *Ik*;

− начальные фазы напряжения *Uk* и тока *Ik*, сдвиг фаз между током и напряжением *k*= *Uk*−*Ik*, град;

− комплексное сопротивление Z*k* в алгебраической и показательной формах;

− активные *ReZk* и реактивные *ImZ*k составляющие комплексных сопротивлений нагрузки Z*k*;

−полные *Sk* в алгебраической и показательной формах, активные *Pk*, и реактивные *Q*k мощности;

- параметры схемы для построения векторной диаграммы для исследуемой цепи;

Таблица 2.3

Задание к задаче № 2.3

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Параметр** | **Последняя цифра номера зачетки** | **Пример** |
| **0** | **1** | **2** | **3** | **4** |
| ***t*** | ***n*** | ***t*** | ***n*** | ***t*** | ***n*** | ***t*** | ***n*** | ***t*** | ***n*** | ***t*** | ***n*** |
| ***Ů*1, B** | 60 | 80 | 70 | 90 | 10 | 50 | 90 | 15 | 40 | 54 | 70 | 80 |
| ***İ*1,A** | 25 | 60 | 73 | 25 | 20 | 10 | 50 | 90 | 50 | 45 | 35 | 20 |
| ***Ů*2, B** | 100 | 20 | 68 | 35 | 35 | 45 | 200 | 20 | 150 | 65 | 70 | 30 |
| ***İ*2,A** | 20 | 30 | 60 | 21 | 45 | 20 | 45 | 15 | 10 | 25 | 40 | 50 |
|  | **Последняя цифра номера зачетки** |  |
| **5** | **6** | **7** | **8** | **9** |
| ***t*** | ***n*** | ***t*** | ***n*** | ***t*** | ***n*** | ***t*** | ***n*** | ***t*** | ***n*** |
| ***Ů*3, B** | 70 | 32 | 59 | 34 | 90 | 90 | 25 | 75 | 76 | 34 | cм. *U*1 |
| ***İ*3,A** | 68 | 24 | 78 | 25 | 56 | 90 | 20 | 35 | 10 | 54 | cм. *I*1 |
| ***Ů*4, B** | 200 | 45 | 45 | 89 | 210 | 21 | 59 | 21 | 65 | 50 | cм. *U*2 |
| ***İ*4,A** | 23 | 45 | 20 | 65 | 30 | 35 | 0 | 25 | 15 | 37 | cм. *I*2 |
| Выбор условия варианта:*Ů*1 = *t* + *jn*; *İ*1 = *t* + *jn*; *Ů*3 = *t* + *jn*; *İ*3 = *t* + *jn*;*Ů*2 = *tejn*; *İ*2 = *t* + *jn*; *Ů*4 = *tejn*; *Ů*4 = *t* + *jn.* |
| **Методические указания по решению задачи № 2.3**1. Записать задание, соответствующее номеру варианта

*Ů*1= 70+ *j*80, В; *I*1= 35+ *j*20, A; *Ů*2=70e*j*30В; *I*1= 40+ *j*50, A**Определить (рассчитать):**1. **Цепь с напряжением *Ů*1 и *İ*1**
2. Комплексное напряжение *Ů*1 в алгебраической форме

*Ů*1= 70+ +*j*80 В1. Комплексное напряжение *Ů*1 в показательной форме

*Ů*1=*U*e*j**u*1==(*t*2+*n*2)0,5exp[*j*arctg(*n*/*t*)]*Ů*1=106,3е *j*48,84В1. Комплексный ток *İ*1 в алгебраической форме

*I*1=35+*j*20 A1. Комплексный ток *İ*1 в показательной форме

*İ*1=*I*e*j**i*1==(*t*2+*n*2)0,5exp[*j*arctg(*n*/*t*)]*İ*1=40,3е *j*29,75 A1. Угол сдвига фазы = 1 между напряжением *Ů*1 и током *İ*1

= 1=*U*1−*I*1 = 19,08 град1. Величина комплексного сопротивления Z1

Z*k* = *Ůk*/*İk*= *U*eju/*I*ej*I* =(*U*/*I*)ej= *Z*ej*Z*cos*jZ*sin*ReZ* + j*ImZ**Z*1=2,49+*j*1,89 Ом1. Величина активной составляющей комплексного сопротивления Z1

*ReZ*1= 2,49 Ом1. Величина мнимой составляющей комплексного сопротивления Z1

*ImZ*1= 1,89 Ом1. Полная комплексная мощность*S*1

*S*1= *Ůİ\** = *S*e j =*UI*ej=*Р* + *jQ**S*1*=* 4285*еj*19,1*=*= 4050+j1400 ВА1. Активная мощность *Р*1

*Р*1= *UIcos**Р*1*=* 4050Вт1. Реактивная мощность*Q*1

*Q*1=*UIsin**Q*1*=*1400 ВАр1. **Построение векторной диаграммы токов и напряжений для исследуемой цепи:**

Векторная диаграмма строится по следующим этапам:−выбраем масштабы для векторов напряжения и тока (рис. 2.3, *б*), например, 1см - 50 А; 1 см -50 В:- рисуем оси +1 и +j (ось +j направляем, например, вверх);− на комплексной плоскости отмечаем точку, от которой будем строить вектора напряжений и токов (этой точке соответствует точка*а* схемы);− поскольку в задаче задается значения вектора тока *İ*1, то строим его в выбранном масштабе токов с помощью транспортира под углом 29,8о к оси +1;− поскольку в задаче задается значения вектора напряжения *Ů*1, то строим его в выбранном масштабе напряжений под углом 48,8о к оси +1;− определяем, чему равен угол между этими векторами 1. Нарисовать схему замещения для исследуемого варианта

Поскольку вектор *Ů*1 опережает вектор *İ*1 на угол 19о, то делаем вывод, что нагрузка активно-индуктивная, т.е. содержит идеальную индуктивность и резистор (рис*.* 2.3, *в*)1. **Цепь с напряжением *Ů*2 и *İ*2**
2. Комплексное напряжение *Ů*2 в показательной форме

*Ů*2 = 70e*j*30 В1. Комплексное напряжение *Ů*2 в алгебраической форме

*Ů*2 = 60,6 + *j*35 В1. Комплексный ток *İ*2 в алгебраической форме

*I*2 = 40 +*j*50 A1. Комплексный ток *İ*2 в показательной форме

*İ*2=64е *j*51 A1. Угол сдвига фазы = 2 между напряжением *Ů*2 и током *İ*2

= 2=*U*2−*I*2 =-21,37 град1. Величина комплексного сопротивления Z2

Z*k* = *Ůk*/*İk*= *U*eju/*I*ej*I* =(*U*/*I*)ej= *Z*ej*Z*cos*jZ*sin*ReZ* + j*ImZ**Z*2 =1,02−*j*0,39 Ом1. Величина активной составляющей комплексного сопротивления Z2

*ReZ*2 =1,02 Ом1. Величина мнимой составляющей комплексного сопротивления Z2

*ImZ*2 =−0,39 Ом1. Полная комплексная мощность*S*2

*S*2= *Ůİ\** = *S* e j =*UI* e j=*Р* + *jQ**S*2 *=* 4482*е−j*21*=**=*4174−j1632 ВА1. Активная мощность *Р*2

*Р*2= *Uicos**Р*2*=* 4171Вт1. Реактивная мощность*Q*2

*Q*2*= Uisin**Q*2 *=−*1632 вар1. Построить векторную диаграмму токов и напряжений для исследуемой цепи

рис*.* 2.3*, г, д*;нагрузка активно-емкостная1. Нарисовать схему замещения для исследуемого варианта
 |

Задача №2.4

Электрическая энергия мощностью *Р*1 подводится к потребителю (приемнику) с активно-индуктивной нагрузкой (рис. 2.4, *а*) по двужильному кабелю с поперечным сечением*S*. В данном режиме через кабель протекает ток*I*(частота питающего напряжения 50 Гц), значение которого, естественно, меньшенормативно допустимого (предельного) тока*I*прдля используемого кабеля. Действующее значение напряжения на входе сети равно *U*=220 В при коэффициенте мощности соs1

К сети (кабелю), параметры которой представлены в таблице 2.4, требуется подключить дополнительно (параллельно) осветительную (активную) нагрузку мощностью *P*доп. Однако при существующем режиме работы кабеля этого делать нельзя, так как ток нагрузки в подводящем кабеле, естественно, может превысить предельное значение, равное*I*пр.

Увеличение активной мощности сети до заданного значения (*Р*1+ *P*доп) при условии неизменного тока *I* в подводящем кабеле возможно повышением значения коэффициента мощности сети до величины соs2. Это достигается подключением реактивной нагрузки с помощью конденсаторной батареи емкостью*С*, подключаемой параллельно нагрузке (рис. 2.4, *б*). В данном случае до компенсации через кабель протекает ток *İ*, равный *İR* (рис. 2.4, *а*, *в*). После подключения ветвей с активным сопротивлением *R*доп и емкостью*С* (рис. 2.4, *б*) результирующий ток *İ* (ток кабеля) остается прежним, уменьшается лишь сдвиг фаз между *Ů* и *İ* от 1 до 2.



а) б) в)

Рис. 2.4. Схема без (а) и с батареей конденсаторов (б) и векторная диаграмма (в) сети

Таблица 2.4

Задание к задаче № 2.4

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Параметры** | **Последняя цифра номера зачетки** | **Пример** |
| **0** | **1** | **2** | **3** | **4** | **5** | **6** | **7** | **8** | **9** |
| ***I*пр, A** | 156 | 199 | 258 | 321 | 406 | 480 | 199 | 258 | 321 | 406 | 325 |
| ***I*, А** | 145 | 180 | 242 | 300 | 395 | 472 | 184 | 241 | 318 | 399 | 318 |
|  | **Предпоследняя цифра номера зачетки** |  |
| **0** | **1** | **2** | **3** | **4** | **5** | **6** | **7** | **8** | **9** |
| ***Р*1, кВт** | 4 | 6 | 8 | 10 | 15 | 20 | 8 | 9 | 7 | 5 | 42 |
| ***Р*доп, кВт** | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 20 |

Необходимо определить:

- коэффициент мощности соs1 исходной схемы;

- коэффициент мощности соs2 схемы с дополнительной конденсаторной батареей, обеспечивающей работу схемы при дополнительной осветительной нагрузке, но неизменном токе *I* в подводящем кабеле.

**Методические рекомендации по решению задачи№2.4**

|  |
| --- |
| 1. Зарисовать схему и записать задание, соответствующее номеру варианта (рис. 2.5, табл. 2.4)
2. **Определить (рассчитать)**
3. Полная мощность *S*1 цепи до улучшения коэффициента мощности

*S*1=*UI**S*1 = 69960 ВА1. Начальный коэффициент мощности cos1

*P*1*=S*1cos1cos1 = 0,601. Значение 1

1 = 53,13 град1. Реактивная мощность цепи до улучшения коэффициента мощности

*Q*1*= S*1sin1*Q*1 = 559549,99 ВАр1. Суммарную активную мощность, необходимую после подключения новой

нагрузки*P*2*=P*1*+P*доп*P*2 = 62000 Вт1. Улучшенное значение коэффициента мощности cos2 при неизменной полной мощности сети

*P*2*=S*1cos2cos2=0,8861. Значение 2

2 = 27,61 град1. Добавочный ток осветительной нагрузки

*I*доб=*P*доп/*U**I*до б= 90,91 A1. Величина реактивной мощности *Q*2, потребляемой из сети после изменения

*Q*2=*S*1sin2*Q*2=32419,9 вар1. Изменение реактивной мощности *Q*

*Q*=*Q*1−*Q*2*Q*= 23540,09 вар1. Необходимая дополнительная реактивная мощность *QС*, обеспечиваемая батареей конденсаторов

*QС* =*Q**QС*= 23540 вар1. Значение емкости*С* батареи конденсаторов

*QС*= *U*2*C**C*= 1548,93 мкФ1. Нарисовать и письменно объяснить векторную диаграмму (рис. 2.8, *в*)*.*
 |

Задача №2.5

Цепь, представленная на рис. 2.5, *а*, находится в режиме резонанса тока.На входе цепи действует переменное напряжение*u*(*t*), оригинал которого равен *u*(*t*) = *Um*sin(*t* + *U*). При этом мгновенный ток *i*(*t*) в цепи изменяется по закону: *i*(*t*) = *im*sin(*t* + *I*).

Требуется определить:

− значение емкости конденсатора*С*;

− выражения для оригиналов токов *i*1(*t*), *i*2(*t*), *u*(*t*);

− мощности, потребляемые цепью в режиме резонанса;

− параметры схемы для построения векторной диаграммы токов цепи при резонансе.



а) б)

Рис. 2.5. Схема (а) и векторная диаграмма токов и напряжения (б) к задаче №2.5

Таблица 2.5

Задание к задаче №2.5

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Параметры** | **Последняя цифра номера зачетки** | **Пример** |
| **0** | **1** | **2** | **3** | **4** | **5** | **6** | **7** | **8** | **9** |
| ***im*,A** | 10 | 18 | 34 | 42 | 60 | 46 | 34 | 28 | 16 | 10 | 11 |
| ***I* ,град** | 30 | 40 | 60 | 80 | 70 | 50 | 60 | 40 | 30 | 20 | 15 |
| ***R*,Ом** | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 9 |
|  | **Предпоследняя цифра номера зачетки** |  |
| **0** | **1** | **2** | **3** | **4** | **5** | **6** | **7** | **8** | **9** |
| ***XL*, Ом** | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 2 |
| **0, рад/с** | 104 |

**Методические рекомендации по решению задачи№2.5**

1. Зарисовать схему и записать задание, соответствующее номеру варианта (рис. 2.6, а; табл. 2.5)

**Определить (рассчитать)**

1. Оригинал тока*i*(*t*), в соответствии с заданием варианта.

*i*(*t*) = 11sin(104*t*+15о) А

1. Выражение для комплекса действующего значения тока *İ* (комплексного тока), соответствующего оригиналу в алгебраической и показательной формах

*İ* = (11/√2)e*j*15 = 7,778 e*j*15 = 7,51+j2,01 A

1. Поскольку в цепи выполняется режим резонанса токов, учесть, что условие резонанса токов характеризуется равенством модулей реактивных проводимостей параллельных ветвей*ImYbce* = *ImYbde*. Для этого рассчитываются величины
2. Комплексное сопротивление *Z*1 ветви *bce*

*Z*1*= R+ j**L*

*Z*1*=*9*+j*2=9,22e*j*12,54Ом

1. Комплексная проводимость *Y*1 ветви *bce*

*Y*1=1/*Z*1

*Y*1=0,108e−j12,54= 0,106−*j*0,0235 Cм

1. Модуль реактивной *Y*2 комплексной проводимости ветви *bde*

*ImY*2 = *ImY*3.

*ImY*2 = 0,0235 См

1. Величина емкости*С*

*ImY*2 =1/*X*C= 0C

*C*= 2,353 мкФ

1. Комплексное сопротивление Z2 ветви *bde*

*Z*2*=* 0*−jX*C *=−j*/*C*

*Z*2*=* 42,5e−*j*90= 0−*j*42,5 Ом

1. Комплексная проводимость *Y*2 ветви *bde*

*Y*2= 1/Z2

*Y*2= 0,0235еj90 = 0+*j*0,0235 Ом

1. Полная комплексная проводимость *Y*цепи *ae*

*Y* =*Y*1+ *Y*2

*Y*=0,106еj0 = 0,106 + j0 Cм

1. Комплексное напряжение *Ů* (комплекс действующего напряжения)

*Ů* = *İ*/*Y*

*Ů* =73,46еj15=70,96+*j*19,004 B

1. Комплекс напряжения *Ům* (комплексная амплитуда)

*Ům* = *Ů√2*

*Ů* =103,89еj15= 100,4+*j*26,875 B

1. Оригинал *u*(*t*)

*u*(*t*)= 103,89sin(104*t*+15о) B

1. Комплексный ток *İ*1

*İ*1= *Ů*/*Z*1

*İ*1=7,97еj2,46= 7,96+*j*0,3425 А

1. Комплекс *İ*1*m*

*İ*1*m*= *İ*1√2

*İ*1*m*=11,27еj2,46A

1. Оригинал*i*1(*t*)

*i*1(*t*)=11,27sin(104*t*+2,46о) A

1. Комплексный ток *İ*2

*İ*2= *Ů*/*Z*2

*İ*2 = 1,723еj105,1= −0,449+*j*1,669 А

1. Комплекс *İ*2*m*

*İ*2m= *İ*2*√2*

*İ*2m=2,4еj105 A

1. Оригинал*i*2(*t*)

*i*2(*t*)=2,44sin(104*t*+105,1о) A

1. Активная мощность при резонансе c учетом =0

*P=UI*cos

*P=*7,8⋅73,5 = 571,39 Вт

1. Реактивная мощность при резонансе c учетом =0

*P=UIsin*

*Q=*0 вар

1. Полная мощность при резонансе

*S=*(*P*2*+Q*2)0,5

*S=*571,39 ВА

1. Зарисовать векторные диаграммы токов цепи при резонансе (рис. 2.6, б)

Задача №2.6

Параметры схемы, показанной на рис. 2.6,*а*, приведены в таблице 2.6. Значения ЭДС и сопротивлений электрической цепи заданы в комплексной форме. Частота синусоидальных источников ЭДС равна *f* = 50 Гц.

Таблица 2.6

Задание к задаче 2.6

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Параметры** | **Последняя цифра номера зачетки** | **Пример** |
| **0** | **1** | **2** | **3** | **4** | **5** | **6** | **7** | **8** | **9** |
| ***Ė*1,В** | 100 | 100 | 0 | 100 | 100 | 0 | 100 | 100 | 0 | 100 | 100 |
| ***Ė*2,В** | 100*j* | 0 | 100 | −100 | 0 | 100 | −100*j* | 100*j* | 100 | 0 | 0 |
| ***Ė*3,В** | 100 | 100*j* | 100*j* | 0 | −100 | −100 | 0 | 0 | 100*j* | 100 | −100*j* |
| ***İ*эг** | *İ*3 | *İ*2 | *İ*1 | *İ*3 | *İ*2 | *İ*1 | *İ*3 | *İ*3 | *İ*1 | *İ*2 | *İ*2 |
|  | **Предпоследняя цифра номера зачетки** |  |
| **0** | **1** | **2** | **3** | **4** | **5** | **6** | **7** | **8** | **9** |
| ***Z*1, Ом** | 3+j4 | 3+j4 | 10 | 6+j8 | 4+j3 | j5 | 4-j3 | 6-j8 | 8+j6 | 8-j6 | 7+j24 |
| ***Z*2Ом** | 3+j4 | j5 | 6+j8 | 6-j8 | -j5 | 4+j3 | 3+j4 | 10 | 10j | 10j | 25 |
| ***Z*3Ом** | j5 | 3+j4 | 6+j8 | 10j | 4-j3 | 3-j4 | 5 | 8+j6 | 6-j8 | 6+j8 | 7-j24 |



Рис. 2.6. Схемы (*а*, *б*, *в*) и векторные диаграммы токов и напряжений задаче № 2.6

Определить:

− действующие и комплексные значения токов всех ветвей электрической схемы, пользуясь методами: применения законов Кирхгофа, узлового напряжения (двух узлов), эквивалентного генератора (в цепи с током *İ*эг);

− составить баланс активной и реактивной мощности источников и приемников энергии;

− записать выражения оригиналов (для мгновенных значений) ЭДС, всех токов и напряжения *Uас*.

− построить в одном масштабе на одном рисунке векторную диаграмму токов и падений напряжений на всех участках электрической цепи по внешнему контуру.

**Методические рекомендации по решению задачи№2.6**

1. Зарисовать схему и записать задание, соответствующее номеру варианта

**Определить (рассчитать)**

1. Комплексное значение ЭДС *Ė*1

*Ė*1 =100+*j*0 = 100ej0 В

1. Комплексное значение ЭДС *Ė*2

*Ė*2 = 0 + *j*0 = 0 В

1. Комплексное значение ЭДС *Ė*3

*Ė*3 = 0 −*j*100 = 100e−j90 В

1. Комплексное сопротивление *Z*1

*Z*1 = 7+*j*24 = 25ej73,78 Ом

1. Комплексное сопротивление *Z*2

*Z*2 = 25+*j*0 = 25ej0 Ом

1. Комплексное сопротивление *Z*3

*Z*3 = 7−*j*24 =25e−j73,78 Ом

**Определение токов в ветвях с различными методами.**

**Метод с использованием законов Кирхгофа предполагает составление уравнений по I и II законам Кирхгофа**

1. Определяем положительные направления токов в ветвях *cda*, *abca*(рис. 2.7, а)
2. Записываем уравнение по I закону Кирхгофа для комплексных токов в узле *а*

*İ*1− *İ*2 *+İ*3 =0 (1)

1. Выбираем положительное направление обхода выделенных контуров *аесda* и *abсеa*

по часовой стрелке

1. Записываем уравнение по II закону Кирхгофа для контура *аесda*

*−Ė*2+*Ė*1= *İ*1*Z*1+*İ*2*Z*2 (2)

1. Записываем уравнение по II закону Кирхгофа для контура *аbcеa*

*+Ė*2−*Ė*3 = −*İ*3*Z*3−*İ*2*Z*2 (3)

1. Из (1) выражаем *İ*3 и подставляем в (2)

*İ*1 =*−İ*3+ *İ*2 (4)

*Ė*1=(*−İ*3+ *İ*2)*Z*1+*İ*2*Z*2 +*Ė*2 =

=*−İ*3*Z*1 +*İ*2(*Z*2 +*Z*1)+*Ė*2  (5)

1. Учтем, что в данном варианте *Ė*2=0

*Ė*1=*−İ*3*Z*1 +*İ*2(*Z*2 +*Z*1) (6)

1. Из (6) выражаем *İ*3

*İ*3 = [−*Ė*1+*İ*2(*Z*2 +*Z*1)]/*Z*1 (7)

1. Из (3) выражаем *İ*3

*İ*3*=*(*Ė*3−*İ*2*Z*2)/*Z*3 (8)

1. Объединяем (7) и (8) и выражаем *Ė*1

[−*Ė*1+*İ*2(*Z*2 +*Z*1)]/*Z*1*=*(*Ė*3−*İ*2*Z*2)/*Z*3 (9)

*Ė*1 = −(*Ė*3−*İ*2*Z*2)*Z*1/*Z*3 *+İ*2(*Z*2 +*Z*1) (10)

*Ė*1 = −*Ė*3*Z*1/*Z*3 *+İ*2(*Z*2 +*Z*1 *+Z*2*Z*1/*Z*3) (11)

1. Из (11) выражаем *İ*2

*İ*2=(*Ė*1 +*Ė*3*Z*1/*Z*3)/(*Z*2 +*Z*1 *+Z*2*Z*1/*Z*3) (12)

1. В выражение (12) подставляем комплексные значения ЭДС и сопротивлений ветвей, и, преобразуя, находим *İ*2

*İ*2*=*3,1804−j3,1828= 4,497е−j45,01A (13)

1. Используя (13) определяем *İ*3 с учетом (7)

*İ*3*=*−0,1087−j3,2819 =3,284е−j91,86A (14)

1. Используя (14) определяем *İ*1 с учетом (1)

*İ*1*=*3,286 + j0,1004 =3,2881еj1,75A (15)

1. Комплексное напряжение *Ů*1

*Ů*1*=İ*1*Z*1

*Ů*1*=*82,19e*j*75,5=

20,54+j79,58 В

1. Комплексное напряжение *Ů*2

*Ů*2*=İ*2*Z*2

*Ů*2*=*112,44e−*j*45=
=79,49−j79,53 В

1. Комплексное напряжение *Ů*3

*Ů*3*=İ*3*Z*3

*Ů*3*=*82,08e−*j*165,6=
=−79,52−-j20,33 В

**Определение токов в ветвях методом узлового напряжения
(метод двух узлов)**

1. Для определения напряжения между точками *а* и *с* используем метод двух узлов, согласно которому

*Ůaс=*(*Ė*1*Y*1+ *Ė*2*Y*2+*Ė*3*Y*3)/(*Y*1+*Y*2+*Y*3), (16)

где *Y*1 , *Y*2, *Y*3 − проводимости ветвей

1. Проводимость Y1

*Y*1=1/*Z*1

Y1=0,04e−j73,78=

= 0,01117-j0,0384 Cм

1. Проводимость Y2

*Y*2=1/*Z*2

Y2=0,04ej0=

= 0,04-j0 Cм

1. Проводимость Y3

Y3=1/*Z*3

Y3=0,04ej73,78 = =0,01117+j0,0384 Cм

1. Напряжение *Ůaс* между точками *а* и *с*(вектор *Ůaс*направлен от *а* к *с*)(по 16)

*Ůaс=*112,46е−j45,05

=79,49-j79,55 В

1. Рассчитываем токи в ветвях с учетом направлений токов и действующих ЭДС
2. Определение *İ*1

*İ*1= (*Ė*1- *Ůaс*)/*Z*1

*İ*1=3,284+j0,1035= =3,288еj1,805A

1. Определение *İ*2

*İ*2= *Ůaс*/*Z*2

*İ*2*=*3,178−j3,183=
=4,5е−j45,05A

1. Определение *İ*3

*İ*3= (*Ė*3-*Ůaс*)/*Z*3

*İ*3*=*−0,108−j3,28= =3,283е−j91,9A

1. Определение токов в ветвях методом эквивалентного генератора

Метод предполагает, что в ветви, содержащей искомый ток, имеется разрыв, так что между точками *а* и *с* приложено напряжение холостого хода *U*хх

1. Исследуем схему (рис. 2.6, а), размыкая ветвь *aec* (разрыв между точками *а* и *с*), получаем схемы (б, в)
2. Согласно этапам метода с учетом выбранных положительных направлений токов, напряжения *Ů*хх и ЭДС, необходимо определить:

− определить ЭДС эквивалентного генератора, равное напряжению холостого хода *Ė*ген*=Ů*хх;

− внутреннее сопротивление эквивалентного генератора Zген как входное сопротивление цепи с разрывом; − ток в искомой ветви *İ*2=*Ė*ген/(*Zас* + *Z*2) (16)

1. Рассчитываем *Ė*ген*=Ů*хх, используя метод двух узлов аналогично (16)

*Ů*хх*=* (*Ė*3*Y*3+ *Ė*1*Y*1)/(*Y*1+*Y*3)

*Ė*ген*=Ů*хх=313,74е−j45,02 =
= 221,76−j221,03 В

1. При этом режиме входная проводимость *Y*экв цепи

*Y*экв=*Y*1+*Y*3

*Y*экв= 0,022еj0=

= 0,022 + j0 См

1. Внутреннее сопротивление генератора Zген

Zген = 1/*Y*экв

Zген = 44,7еj0 =
= 44,74 + j0 Ом

1. Для схемы с эквивалентным генератором, приведенной на рис. 2.6, *в*, рассчитываем
*İ*г =*İ*2 (с учетом того, что в варианте *Ė*2=0)

*İ*г = *İ*2= (*Ė*ген− *Ė*2)/(Zген+ Z2)

*İ*г = *İ*2= 4,5e*−j*45 =
=3,178−j3,183 А

1. Сравнивая результаты расчета, делаем вывод, что значениятоков, полученные различными методами, идентичны друг другу
2. Для построения векторной диаграммы необходимо учесть значения и направления векторов комплексных токов и напряжений(рис. 2.6, *г*)
3. Составление баланса мощностей
4. Комплексная полная мощность *S*1 источника *Ė*1

*S*1=*Ė*1*I*1\*

*S*1=328,77e−*j*1,75=
=328,62−-j10,05 ВА

1. Комплексная полная мощность *S*2 источника *Ė*2

*S*2=*Ė*2*I*2\*

*S*2 = 0 ВА

1. Комплексная полная мощность *S*3 источника *Ė*3

*S*3=*Ė*3*I*3\*

*S*3=328,33e*j*1,86=
=328,2 + j10,67 ВА

1. Активная составляющая мощности источников

*Р*ист*=*∑*ReSi*

*Р*ист*=*656,77 Вт

1. Реактивная составляющая мощности источников

*Q*ист*=*∑*ImSi*

*Q*ист*=* 0,621 вар

1. Активная мощность потребителей

*P*пот*=*∑*I*i2*ReZi*

*P*пот*=*3,32⋅7+4,52⋅25+

+3,32⋅7= 656,48 Вт

1. Реактивная мощность потребителей

*Q*пот*=*∑*I*i2*ImZi*

*Q*пот*=*259,47+0−258,46 = 0,71 вар

1. Сравнивая результаты расчета, делаем выводы:

− сумма активных мощностей источников и потребителей равны;

− сумма реактивных мощностей источников и потребителей равны

1. Запись оригиналов токов, ЭДС и напряжений
2. Оригинал *e*1(*t*)

*e*1(*t*)=*Em*1sin(*t*+1)

*e*1(*t*) =141,4 sin(314*t*) В

1. Оригинал *e*2(*t*)

*e*2(*t*)=*Em*2sin(*t*+2)

*e*2(*t*)= 0 В

1. Оригинал*e*3(*t*)

*e*3(*t*)=*Em*3sin(*t*+3)

*e*3(*t*) = 141,4sin(314*t*− 90o)В

1. Оригинал*i*1(*t*)

*i*1(*t*)=*Im*1sin(*t*+i1)

*i*1(*t*)=4,64sin(314*t+*1,75 o) A

1. Оригинал*i*2(*t*)

*i*2(*t*)=*Im*2sin(*t*+i2)

*i*2(*t*)=6,36sin(314*t−*45,05 o) A

1. Оригинал*i*3(*t*)

*i*3(*t*)=*Im*3sin(*t*+i3)

*i*3(*t*)=4,64sin(314*t−*91,88 o) A

1. Оригинал*u*xx(*t*)

*u*xx(*t*)=*Um*xxsin(*t*+i2)

*U*xx(*t*) = 443,69sin(314*t −*45o) В

Раздел 3. ЗАДАЧИ ПО ТЕМЕ

″ТРАНСФОРМАТОРЫ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ″

Задача № 3.1

Однофазный трансформатор типа ОСЗМ-6,3-74.ОМ5 и трехфазный типа ТСЗМ-25-74.ОМ5 работают как понижающие трансформаторы.

Таблица 3.1

Параметры исследуемых трансформаторов

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Тип трансформатора** | ***S*н, кВА** | ***U*1н, В** | ***U*2н, В** | ***Р*0, Вт** | ***Р*кз, Вт** | ***u*кз, %** | ***I*0, %** |
| **ТСЗМ-25-74.ОМ5** | 25 | 220 | 133 | 157 | 576 | 3,15 | 2,5 |
| **ОСЗМ-6,3-74.ОМ5** | 6,3 | 400 | 230 | 45,2 | 156 | 2,65 | 4 |

Пользуясь техническими данными (табл. 3.1), рассчитайте:

− коэффициент трансформации *n*;

− токи вторичных обмоток;

− напряжение на вторичной обмотке *U*2 при активно-индуктивной нагрузке, составляющей 1 от номинальной нагрузки;

− значения сos1, КПД при cos2 и нагрузке, составляющей 2 от номинальной;

− годовой КПД, если с полной нагрузкой ( = 1) при cos1 трансформатор работает *t*р = 7000 часов.

Таблица 3.2

Задание к задаче № 3.1

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Параметр** | **Последняя цифра номера зачетки** | **Пример** |
| **0** | **1** | **2** | **3** | **4** | **5** | **6** | **7** | **8** | **9** |
| **1** | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,8 | 0,7 | 0,5 | 0,7 | 0,6 | 0,8 | 0,7 |
| **cos1** | 0,8 | 0,7 | 0,65 | 0,7 | 0,8 | 0,7 | 0,8 | 0,8 | 0,7 | 0,9 | 0,6 |
|  | **Предпоследняя цифра номера зачетки** |  |
| **0** | **1** | **2** | **3** | **4** | **5** | **6** | **7** | **8** | **9** |
| **2** | 0,75 | 0,8 | 0,7 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,6 | 0,95 | 0,9 | 0,6 | 0,7 |
| **cos2** | 0,9 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,8 | 0,5 | 0,8 | 0,7 | 0,5 | 0,8 | 0,5 |

**Методические рекомендации по решению задачи№ 3.1**

1. Записать задание, соответствующее номеру варианта. Письменно пояснить физическое значение параметров*S*н, *U*1н, *U*2н,*Р*0, *Р*кз, *u*кз, *I*0,1, соs1, 2, соs2 (табл. 3.1)
2. **Определить (рассчитать) параметры трансформаторов**

**ОСЗМ-**

**ТСЗМ**

1. Коэффициент трансформации *n*

*n*= *U*1н/*U*2н

*n*= 1,74

*n*=1,65

1. Номинальный ток *I*1н первичной обмотки

– для однофазного:*I*1н *= S*н*/U*1н

– для трехфазного:*I*1н *= S*н*/√*3*U*1н

*I*1н = 15,75 А

*I*1н = 15,75 А

1. Номинальный ток *I*2н вторичной обмотки

– для однофазного:*I*2н*=S*н*/U*2н

– для трехфазного:*I*2н*=S*н*/√*3*U*2н

*I*2н = 27,4 А

*I*2н = 108,5 А

1. **Расчет напряжения на вторичной обмотке *U*2 при активно-индуктивной нагрузке**
2. Процент активной части напряжения короткого замыкания *u*ка,%

*u*ка= Ркз100/*S*н

*u*ка= 2,48 %

*u*ка=2,3 %

1. Процент реактивной части напряжения короткого замыкания *u*кр,%

*u*кр = (*u*кз2 - *u*ка2)0,5

*u*кр = 0,94 %

*u*кр = 2,1 %

1. Относительные потери напряжения*u*2,%

*u*2=1(*u*каcos1 + *u*крsin2)

*u*2 = 1,44 %

*u*2 = 2,1 %

1. Напряжениe на вторичной обмотке *U*2

*U*2 =*U*2н(1 −*u*2/100)

*U*2=227 В

*U*2=225 В

1. Значение КПД при cos2 и нагрузкой 2

η=2*S*нcos2/(2Sнcos2+*P*0+22*P*кз)

η = 0,95

η = 0,83

1. **Расчет годовой (за*Т* = 8760 час) КПД** η**г при полной нагрузке ( = 1) при cos1**
2. Полезная мощность, отдаваемая трансформатором потребителю электроэнергии при номинальной нагрузке

*Р*2н = Sнcos2

*Р*2н = 3,15 кВт

*Р*2н = 12,5 кВт

1. Энергия, отдаваемая трансформатором потребителю за год

*W*2 *= Р*2н*t*р

*W*2 *=* 22050 кВт⋅ч

*W*2 *=* 87500 кВт⋅ч

1. Энергия, потребляемая трансформатором за год в режиме ХХ хода

*W*0 *= Р*0*Т*

*W*0=390 кВт⋅ч

*W*0=1356 кВт⋅ч

1. Энергия, теряемая в проводах обмотки трансформатора при номинальной нагрузке за время *t*р

*W*кз*= t*р*P*кз

*W*кз*=*1092 кВт⋅ч

*W*кз*=*4032 кВт⋅ч

1. Суммарная энергия, потребляемая трансформатором за год

*W= W*2 *+ W*0 *+ W*кз

*W*= 23538 кВт⋅ч

*W*= 92888 кВт⋅ч

1. Годовой КПД ηг

ηг = *W*2/ *W*

ηг =93,7 %

ηг = 94,2 %

Задача № 3.2

В таблице 3.3 представлены паспортные данные трехфазного короткозамкнутого асинхронного двигателя АД, длительно работающего на промышленной частоте *f*1 = 50 Гц при частоте вращения ротора *n*. Двигатель исполняется на напряжение *U*1ф/*U*1л =220/380 В (фазное/линейное).



Рис. 3.1. Схема к задаче № 3.2

Таблица 3.3

Задание к задаче № 3.2

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Параметры** | **Последняя цифра номера зачетки** | **Пример** |
| **0** | **1** | **2** | **3** | **4** | **5** | **6** | **7** | **8** | **9** |
| **Параметры асинхронного двигателя** |  |
| **Р, кВт** | 17 | 30 | 13 | 40 | 100 | 10 | 17 | 75 | 17 | 55 | 17 |
| ***n*н, об/мин** | 2900 | 2900 | 1450 | 1460 | 1470 | 965 | 965 | 725 | 725 | 730 | 965 |
| **Км*M*max/*М*н** | 2,2 | 2,2 | 2 | 2 | 2 | 1,8 | 1,8 | 1,7 | 1,7 | 1,7 | 1,8 |
| ***r*20,Ом** | 0,19 | 0,12 | 0,27 | 0,07 | 0,02 | 0,46 | 0,25 | 0,59 | 0,23 | 0,06 | 0,25 |
|  | **Предпоследняя цифра номера зачетки** |  |
| **0** | **1** | **2** | **3** | **4** | **5** | **6** | **7** | **8** | **9** |
| ***t,* o*C*** | 75 | 80 | 78 | 82 | 85 | 65 | 72 | 78 | 82 | 69 | 75 |

С учетом данных требуется определить:

− электромеханические моменты двигателя *М*max и*М*н;

− параметры упрощенной Г-образной схемы замещения (рис. 3.1) асинхронного двигателя:

− активное сопротивления *r*1фазы обмотки статора в нагретом состоянии с учетом температурного коэффициента сопротивления  меди ;

*−*приведенное сопротивление фазы обмотки ротора*r*2′ в нагретом состоянии;

*−*реактивное сопротивление *x*к, равное *x*к *=x*1 *+ x*2′.

Таблица 3.4

Зависимость синхронной частоты Ω вращения ротора от числа полюсов *р*

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| ***р*** | **1** | **2** | **3** | **4** | **5** |
| ***n*0, об/мин** | 3000 | 1500 | 1000 | 750 | 600 |
| **Ω, рад/с** | 314 | 157 | 105 | 78,5 | 63 |

**Методические рекомендации по решению задачи№ 3.2**

1. Записать задание, соответствующее номеру варианта. Письменно пояснить схему замещения, физическое значение параметров*Р*, Км*M*max, *М*н, *р,r*20, *r*1,*r*2′, *x*1,*x*2′, *x*к, *x*0*, r*0 (рис. 3.1, табл. 3.3)
2. **Определить (рассчитать)**
3. Активное сопротивление *r*1 обмотки статора машины в нагретом состоянии c учетом  = 0,00428 град−1

*r*1(*t*) = *r*20[1 + (*t*- 20)]

*r*1(*t*) = 0,313 Ом

**Определение величины скольжения *s*и частоты тока *f*2в роторе**

1. Зная, что ротор двигателя при номинальной нагрузке вращется с частотой *n*н, близкой к частоте врашения поля *n*1, находим в ряду возможных частот (табл. 3.4) ближайшую к номинальной частоте вращения ротора

*n*1 = 1000 об/мин

1. Определение числа полюсов в асинхронном двигателе

*n*1 = 60*f*1/p

*p =* 3

1. Определение синхронной угловой частоты вращения

2*f*1/*p*

104,6 рад/с

1. Определение величины номинального скольжения *s*н

*s*н*=* (*n*1−*n*)/*n*1

*s*н= 0,035

1. Определение частоты *f*2 тока в роторе

*f*2=*s*н*f*1

*f*2=1,75 Гц

**Определение электромагнитной мощности** *Р*эм **и электромагнитных моментов**

1. Определение электромагнитной мощности двигателя *Р*эм при номинальной нагрузке с учетом, того что *Р*2≡*P*

*Р*эм = *Р*2/(1- *s*н)

*Р*эм = 17617 Вт

1. Определение электромагнитного момента*М*н при номинальной нагрузке

*М*н= *Р*эм/

*М*н= 168 нм

1. Определение максимального электромагнитного момента *М*max при критической нагрузке

*М*max= Км*М*н

*М*max= 303 нм

**Определение реактивного сопротивления *Х*к и приведенного активного сопротивления *r*2**′

1. Используя формулу, описывающую максимальный электромагнитный момент *М*mах, определить значение *Х*к

*М*mах = 3*U*1ф2/{[*r*1+(*r*12+*Х*к2)0,5]}

*Х*к= 1,95 Ом

1. Используя формулу, описывающую номинальный электромагнитный момент*М*н, определить значение *r*2′

*М*н= 3*U*1ф2(*r*2′/s)/{[(*r*1 +*r*2′/s)2 +*Х*к2]}

*r*2′= 0,25 Ом

Задача № 3.3

Трехфазный асинхронный двигатель серии А4 с короткозамкнутым ротором имеет номинальные данные, представленные в таблице. 3.6: частота сети *f*1= 50 Гц, номинальная мощность на валу *Р*2н; линейное напряжение *U*л (катушки статора соединены звездой), коэффициенты кратности Км = *М*мах/*М*н, Кп= *М*п/*М*н, К*I*=*I*лп/*I*лн, номинальная частота вращения ротора *n*н.

Таблица 3.6

Задание к задаче № 3.3

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Параметры** | **Последняя цифра номера зачетки** | **Пример** |
| **0** | **1** | **2** | **3** | **4** | **5** | **6** | **7** | **8** | **9** |
| **Параметры асинхронного двигателя** |  |
| ***Р*2н, кВт** | 3 | 4 | 5,5 | 11 | 7,5 | 2,2 | 4 | 3,5 | 4 | 5,5 | 2,2 |
| **сos1н** | 0,83 | 0,84 | 0,86 | 0,87 | 0,86 | 0,88 | 0,86 | 0,85 | 0,84 | 0,87 | 0,83 |
| ****н** | 0,82 | 0,84 | 0,86 | 0,88 | 0,87 | 0,89 | 0,87 | 0,82 | 0,85 | 0,88 | 0,80 |
| ***U*л*,* В** | 220 | 380 | 220 | 380 | 220 | 380 | 220 | 380 | 220 | 380 | 380 |
| ***n*н, об/мин** | 1420 | 1145 | 965 | 945 | 690 | 945 | 1455 | 700 | 1455 | 1450 | 945 |
|  | **Предпоследняя цифра номера зачетки** |  |
| **0** | **1** | **2** | **3** | **4** | **5** | **6** | **7** | **8** | **9** |
| **Км** | 2,2 | 2,1 | 2,2 | 2,0 | 2,2 | 2,1 | 2,2 | 2,1 | 2,2 | 2,2 | 2,0 |
| **Кп** | 2,0 | 2,0 | 2,2 | 2,0 | 2,2 | 1,5 | 2 | 1,9 | 2,2 | 1,3 | 1,6 |
| **К*I*** | 6,5 | 7,0 | 7,0 | 6 | 6,5 | 8 | 7,5 | 7 | 6,5 | 7 | 7 |
| ***k*** | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 30 | 25 | 20 | 15 | 10 |

Определить:

− линейные токи *I*1н в питающей сети;

−число пар комплектов *р* катушек в фазах статора;

− номинальное *s*н и критическое *s*кр скольжение;

− номинальный вращающий момент*М*н на валу ротора двигателя;

−критический *М*мах = *М*кр и пусковой *М*п моменты;

− полную мощность *S*1н, потребляемую двигателем из сети;

− пусковой ток *I*лп двигателя;

− оценить пусковой и номинальный вращающие моменты, если двигатель запускают от сети, напряжение которой на *k* % меньше номинальной.

**Методические рекомендации по решению задачи№ 3.3**

1. Записать задание, соответствующее номеру варианта (табл. 3.6)
2. **Определить (рассчитать)**
3. Зная, что ротор двигателя при номинальной нагрузке вращается с частотой *n*н, близкой к частоте вращения поля *n*1, находим в ряду возможных частот (табл. 3.4) ближайшую к номинальной частоте вращения ротора

*n*1=1000 об/мин

1. Номинальный момент на валу двигателя

*M*н *=* 9550*Р*н/*n*н

*M*н *=* 22,23нм

1. Критический момент *М*кр = *M*max на валу двигателя

Км = *M*max/*M*н

*М*кр = 44,5 нм

1. Пусковой момент *М*п

Кп = *M*п/*M*н

*M*п = 35,6нм

1. Номинальное скольжение

*s*н*=* (*n*1−*n*н)/*n*1

*s*н*=* 0,055

1. Критическое скольжение*s*кр1 и*s*кр2 (*s*кр2− не имеет физического смысла, т.к. *s*кр>sн)

*s*кр1,2*= s*н[Км± ( Км2 0,5]

*s*кр1*=* 0,205

1. Число *р* пар полюсов

*n*1 = 60*f*1/p

*p =*3

1. Активную электрическую мощность, потребляемую двигателем из сети

*Р*1*= Р*2н/

*Р*1*=*2,7 кВт

1. Полную мощность *S*1н, потребляемую двигателем из сети в номинальном режиме

*S*1н=*Р*1/cosн1 =*P*2н/cosн1

*S*1н = 3313 ВА

1. Ток линии *I*л (линейный ток), потребляемый двигателем из сети, при соединении статора звездой

*I*лн= *S*1н/√3*U*л

*I*лн=5,03 A

1. Пусковой ток *I*лп

К*I*= *I*лп/*I*лн

*I*лп=35,24 А

1. При изменении напряжения линии*U*с на *k*% изменятся все величины вращающих моментов в (1-*k*)2 раз (см. задачу3.3)

*М*кр−*k*= (1 - *k*)2Ммах

*М*п*−k*=28,8нм*М*мах−*k*= 18нм

Задача № 3.4

Асинхронный двигатель с фазным ротором (рис. 3.2) по схеме включения фазных обмоток статора звездой и линейных напряжениях *U*л=380 В в сети *f*1=50 Гц имеет номинальные данные, представленные в табл. 3.7: сопротивления фазы статора и ротора *r*1, *r*2, *X*1, *X*2 (см. задачу № 3.2), число витков на фазу w1, w2, число пар полюсов *р*, номинальное скольжение *s*н.



а) б)

Рис. 3.2. Схема включения асинхронного двигателя и его механические характеристики

Принимая число фаз ротора, равным числу фаз статора, и пренебрегая током *I*10 холостого хода, требуется определить:

− пусковой ток в цепи ротора *I*2п и пусковой момент *М*п,

− коэффициент мощности cos при пуске двигателя с замкнутым накоротко ротором (без реостата);

− токи статора *I*1*s* и ротора *I*2*s*, электромагнитный момент *М*1*s*, номинальную частоту *n*н вращения ротора в отсутствие в цепи ротора добавочных сопротивлений;

− критический момент *М*к и критическую скорость вращения *n*к;

−величину добавочного сопротивления *R*д (пускового реостата), который необходимо ввести в цепь ротора, чтобы получить пусковой момент *М*п, равный критическому *М*к, пусковые токи*I*1п, *I*2п и коэффициент мощности cosд;

− построить кривые *М*(*s*) для случаев работы двигателя: а) с закороченным ротором; б) с сопротивлением *R*д,, включенным в цепь ротора.

Таблица 3.7

Задание к задаче №3.4

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Параметры** | **Последняя цифра номера зачетки** | **Пример** |
| **0** | **1** | **2** | **3** | **4** | **5** | **6** | **7** | **8** | **9** |
| **Параметры асинхронного двигателя** |  |
| ***r*1**,**Ом** | 0,39 | 0,43 | 0,45 | 0,48 | 0,52 | 0,55 | 0,48 | 0,38 | 0,44 | 0,59 | 0,41 |
| ***r*2**,**Ом** | 0,19 | 0,23 | 0,25 | 0,32 | 0,28 | 0,32 | 0,29 | 0,27 | 0,25 | 0,33 | 0,21 |
| ***Х*1**,**Ом** | 1,19 | 1,18 | 1,21 | 1,1 | 1,05 | 1,08 | 1,15 | 1,13 | 1,12 | 1,16 | 1,22 |
| ***Х*2**,**Ом** | 0,6 | 0,55 | 0,65 | 0,67 | 0,63 | 0,72 | 0,68 | 0,58 | 0,62 | 0,55 | 0,64 |
| ***s*н, %** | 5 | 3 | 4 | 6 | 5 | 4 | 5 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| ***p*** | 4 | 3 | 4 | 5 | 2 | 1 | 2 | 3 | 5 | 4 | 6 |
|  | **Предпоследняя цифра номера зачетки** |  |
| **0** | **1** | **2** | **3** | **4** | **5** | **6** | **7** | **8** | **9** |
| **w1** | 150 | 155 | 160 | 165 | 170 | 160 | 169 | 170 | 155 | 161 | 162 |
| **w2** | 100 | 90 | 95 | 98 | 95 | 105 | 112 | 155 | 148 | 88 | 100 |

**Методические рекомендации по решению задачи№3.4**

1. Зарисовать схему (рис. 3.2, а) и записать задание, соответствующее номеру варианта (табл. 3.7)
2. **Определить (рассчитать)**
3. Синхронную частоту вращения поля

*n*1 = 60*f*1/*p*

*n*1 = 500 об/мин

1. Угловая синхронная частота

= 2*n*1/60

= 52,3 рад/с

1. Номинальную скорость вращения ротора *n*н

*n*н =*n*1(1-*s*н)

*n*н = 470 об/мин

1. **Параметры схемы замещения двигателя**
2. Приведенное активное сопротивление *r*2′фазы ротора при одинаковом числе фаз статора и ротора

*r*2′= *R*2(w1/w2)2

*r*2′= 0,55 Ом

1. Приведенное реактивное сопротивление *Х*2′фазы ротора при одинаковом числе фаз статора и ротора

*Х*2′= *Х*2(w1/w2)2

*Х*2′= 1,68 Ом

1. **Расчетные формулы механической характеристики (см. задачу № 3.2):**

**для короткозамкнутого ротора:** *М*н= 3*U*1ф2(*r*2′/s)/{[(*r*1 + *r*2′/s)2 + *Х*к2] (1)

**для фазного ротора:** *М*н= 3*U*1ф2[(*r*2′+*r*д′′)/s]/{{[*r*1 + (*r*2′+*r*д′)/s]2 + *Х*к2} (2)

1. **Короткозамкнутый ротор при пуске**
2. Сопротивление *Z*фп при пуске s = 1

*Z*фп= [(*r*1 + *r*2′)2 + *Х*к2]

*Z*ф = 3,05 Ом

1. Ток статора *I*1п при пуске АД с замкнутым накоротко ротором

*I*1п = *U*ф/[(*r*1 + *r*2′/*s*)2 + *Х*к2];

*U*ф = *U*л/√3; *Х*к= *Х*1 + *Х*2′; *s*п =1

*I*1п = 71,8 А

1. Ток ротора *I*2п при пуске АД с замкнутым накоротко ротором

*I*2п= (*I*1п− *I*10)(w1/w2)

*I*2п= 116,35А

1. Вращающий момент *M*п при пуске по (1)

*M*п *=* 162,9нм

1. Коэффициент мощности cosп

cosп = (*r*1 + *r*2′)/[(*r*1 + *r*2′)2 + *Х*к2]

cosп = 0,31

1. **Ротор при номинальном скольжении *s*н без дополнительного сопротивления**
2. Комплексное сопротивление *Z*фs при *s*н

*Z*фs= [(*r*1 + *r*2′/*s*н)2+ *Х*к2]

*Z*фs= 10,02 Ом

1. Ток статора *I*1sy АД с замкнутым накоротко ротором

*I*1п= *U*ф/[(*r*1+*r*2′/*s*)2+*Х*к2];

*U*ф= *U*л/√3; *Х*к= *Х*1+*Х*2′; *s*= sн

*I*1п = 21,88 А

1. Ток ротора *I*2sн АД с замкнутым накоротко ротором

*I*2п= (*I*1п− *I*10)(w1/w2)

*I*2п= 35,46А

1. Номинальный электромагнитный момент М1sн (по 1)

*М*1sн = 252,2 нм

1. **Построить естественную механическую характеристику *n*(*M*) по соотношению (1) (рис. 3.2, б)**
2. **Фазный ротор с дополнительным сопротивлением, при котором пусковой момент *М*пд = *М*к**
3. Пусковой момент достигает максимального значения при включении в цепь ротора сопротивления *R*д, при котором *s*к = 1;

При этом выполняется соотношение
*s*к *=* (*r*д′+ *r*2′)/(*Х*1+  *Х*2′) = 1,

где *r*доп′ - приведенное значение

*r*д′= 2,35 Ом

1. Значение *r*д

*r*д = (*Х*1 +  *Х*2′ *- r*2′)/(w1/w2)2

*r*д = 0,89 Ом

1. Расчет пускового тока *I*1пд в обмотке статора при включенном*R*д

*I*1п= *U*ф/[(*r*1 + *r*2 ′+ *r*д′)2 + *Х*к2];

*U*ф = *U*л/√3; *Х*к= *Х*1 + *Х*2′; *s*= sп = 1

*I*1п = 49,9 А

1. Расчет пускового тока *I*2пд в обмотке ротора при включенном*R*д

*I*2пд= (*I*1пд− *I*10)(w1/w2)

*I*2пд= 80,77А

1. Вращающий пусковой момент*M*к, равный критическому при пуске по (2) при s=1

*M*к *=* 413,2нм

1. Коэффициент мощности cosп

cosпд= (*r*1+*r*2′*+r*д′)/[(*r*1+*r*2′*+r*д′)2+*Х*к2]

cosпд= 0,75

1. Величина критического скольжения *s*к

*s*к=*r*2′/[(*r*2′2 + *Х*к2]

*s*к= 0,186

1. Построить искусственную механическую характеристику

*n*(*M*) по соотношению (2) (рис. 3.2, б)

Задача № 3.5

Двигатель постоянного тока с параллельной обмоткой возбуждения имеет номинальные характеристики, представленные в таблице 3.8. Номинальное напряжение *U*н = 220 В. Для увеличения скорости вращения якоря в цепь параллельной обмотки возбуждения введен регулировочный реостат (рис. 3.3, *а*), обеспечивающий ослабление магнитного потока Ф до величины, равной 0,7 от номинального значения Фн. Сопротивление обмотки якоря в нагретом состоянии *r*я известно.

Таблица 3.8

Задание к задаче №3.5

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Параметры** | **Последняя цифра номера зачетки** | **Пример** |
| **0** | **1** | **2** | **3** | **4** | **5** | **6** | **7** | **8** | **9** |
| **Параметры двигателя постоянного тока** |
| **Р, кВт** | 8 | 8,5 | 7,0 | 5,0 | 4,2 | 8,8 | 12 | 6,4 | 10 | 13 | 9,0 |
| ***n*н, об/мин** | 1500 | 1000 | 900 | 1000 | 1000 | 1500 | 1500 | 1500 | 2500 | 2500 | 900 |
| ***k*** | 0,35 | 0,3 | 0,5 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,5 | 0,7 | 0,8 | 0,4 | 0,4 |
|  | **Предпоследняя цифра номера зачетки** |  |
| **0** | **1** | **2** | **3** | **4** | **5** | **6** | **7** | **8** | **9** |
| ***I*н*,* А** | 48 | 46,4 | 39,4 | 29,2 | 25,6 | 48 | 65 | 36,6 | 54,5 | 73 | 48 |
| ***I*вн, А** | 1,45 | 1,21 | 1,02 | 0,76 | 0,67 | 1,25 | 1,69 | 0,95 | 1,42 | 1,89 | 1,25 |
| ***r*я, Ом** | 0,55 | 0,47 | 0,56 | 0,75 | 0,86 | 0,45 | 0,34 | 0,61 | 0,41 | 0,31 | 0,405 |

Пренебрегая реакций якоря, определить:

−сопротивление *R*в регулировочного реостата, введенного в цепь обмотки возбуждения;

− частоту вращения *n*1′′;

− ток *I*я в цепи якоря при работе двигателя с моментом на валу *М*1= *kМ*н;

− частоту вращения *n*0′′ якоря двигателя, работающего при ослабленном магнитном потоке в режиме холостого хода;

параметры схемы для построения естественной и искусственной механических характеристик.



Рис. 3.3. Схема (а) и характеристики (б, в) к задаче № 3.5

**Методические рекомендации по решению задачи№3.5**

1. Записать схему (рис. 3.5, а) и задание, соответствующее номеру варианта (табл. 3.8)
2. **Определить (рассчитать)**
3. Сопротивление *r*в нагретой обмотки возбуждения в номинальном режиме

*r*в= *U*в/*I*вн

*r*в= 176 Ом

1. **Определение сопротивления регулировочного реостата**
2. Определить ток в цепи возбуждения, при котором поток полюса Ф двигателя равен Ф = 0,7Фн, с помощью универсальной (средней) кривой намагничивания двигателей постоянного тока (рис.3.3, б). Поток полюса Ф и ток возбуждения *I*в выражены в долях номинального потока Фн и номинального тока возбуждения *I*вн: при Ф = 0,7Фн  имеем, что *I*в/*I*вн= 0,45
3. Расчет тока возбуждения*I*в

*I*в = 0,45*I*вн

*I*в = 0,563 А

1. Расчет общего сопротивления цепи возбуждения

*r*в+ *R*в = *U*в/*I*в

*r*в+ *R*в= 391Ом

1. Расчет сопротивления регулировочного реостата *R*вв цепи возбуждения

*R*в=*U*в/*I*в−*r*в

*R*в= 215 Ом

1. **Расчет частоты вращения*n*0 якоря в режиме холостого хода при номинальном потоке**
2. Определение тока *I*ян в цепи якоря в номинальном режиме работы при Ф = Фн;*I*в = *I*вн; *М*= *М*н; *n*= *n*н

*I*ян=*I*н−*I*вн

*I*ян = 46,8 А

1. Расчет величины противо-эдс*Е*н

*Е*н= *U*н −*r*я*I*ян

*Е*н= 201,07 B

1. Расчет частоты вращения *n*0 якоря в режиме холостого хода при номинальном потоке

*n*0 =*U*н/*C*eФн=*U*н*n*н/*Е*н

*n*0 = 985 об/мин

1. **Расчет частоты вращения*n*1**′′ **якоря в режиме холостого хода при пониженном потоке**
2. Расчет тока *I*я1 вцепи якоря двигателя, развивающего вращающий момент

*М*1= *kM*н

*I*я1 = *М*1/*C*мФн= *kM*н/*C*мФн= *kI*ян

*I*я1 = 18,7 А

1. Расчет тока *I*я1′′вцепи якоря двигателя, развивающего вращающий момент *М*1= *kM*н, но при ослабленном магнитном потоке Ф = 0,7Фн

*I*я1′′= *М*1/*C*м0,7Фн= *kI*Ян/0,7

*I*я1′′= 26,7 А

1. Расчет величины противо-эдс*Е*1′′ при Ф = 0,7Фн и *М*1 = *kM*н

*Е*1′′= *U*н−*r*я*I*я1′′

*Е*1′′= 209,2 B

1. Расчет частоты *n*1′′вращения якоря двигателя, работающего при Ф = 0,7Фн и *М*1= *kM*н

*n*1′′= *Е*1′′/*C*e0,7Фн= *Е*1′′*n*н/*Е*н

*n*1′′= 1338 об/мин

1. Расчет частоты *n*0′′вращения якоря двигателя, работающего ослабленном потоке при Ф = 0,7Фн в режимехолостого хода

*n*0′′=*Uн*/*C*e0,7Фн=*n*0/0,7

*n*0′′= 1406 об/мин

1. **Построение механических характеристик**
2. Расчет угловой частоты вращения 0 якоря в режиме холостого хода при номинальном потоке

0 =*n*02/60

0 = 103 рад/с

1. Расчет угловой частоты вращения н якоря в номинальном режиме при номинальном потоке

н = *n*н2/60

н = 94,2 рад/с

1. Расчет угловой частоты вращения 0′′ якоря в режиме холостого хода при пониженном потоке

0′′=*n*0′′2/60

0′′= 147 рад/с

1. Расчет угловой частоты вращения 1′′ якоря под нагрузкой при пониженном потоке

1′′ =*n*1′′2/60

1′′= 140 рад/с

1. Естественная механическая характеристика строится (рис. 3.3, *в*) в виде прямой линии, проведенной через точки с кординатами0′′= 147 рад/с при *М*/*М*н= 0 и н = 94,2 рад/с при *М*/*М*н= 1

Естественная механическая характеристика строится (рис. 3.3, *в*) в виде прямой линии, проведенной через точки с координатами 0 = 103 рад/с при *М*/*М*н= 0 и 1′′= 140 рад/с при *М*/*М*н= *k*= 0,4

Раздел 4. ЗАДАЧИ ПО ТЕМЕ ″АНАЛОГОВЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ схем″

Задача № 4.1 ″Расчет параметрического стабилизатора на стабилитроне″

Для стабилизации напряжения на нагрузке *R*н используется полупроводниковый кремниевый стабилитрон (рис. 4.1), имеющий напряжение стабилизации *U*ст.

Известно, что при температуре*Т* максимальный и минимальный токи стабилитрона *I*стmin, *I*стmах, сопротивление нагрузки *R*н, напряжение *U*п источника питания изменяется от (*U*min до *U*mах); масштаб по оси напряжений *U*обр задается параметром *u*(таблица 3.1).

******

Рис. 4.1. Схема параметрического стабилизатора (а) ВАХ стабилитрона (б, в)

Необходимо определить:

− сопротивление ограничительного (балластного) резистора *R*б, при температуре*Т*;

− обеспечивается ли стабилизация во всем диапазоне изменений *U*п;

− графоаналитическим методом рабочий режим стабилитрона (*U*ст, *I*ст), подключенного в цепь совместно с балластным резистором;

− параметры статического*R*0 и дифференциального *r*диф сопротивлений стабилитрона для среднего значения напряжения питания *U*пср;

− значение ТКН стабилитрона;

− определить падение напряжения на балластном резисторе при *U*вх=*U*mах и *U*вх= *U*min.

Таблица 4.1

Задание к задаче № 4.1

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Параметры** | **Последняя цифра номера зачетки** | **Пример** |
| **0** | **1** | **2** | **3** | **4** | **5** | **6** | **7** | **8** | **9** |
| ***R*н, кОм** | 2,1 | 2,2 | 2,3 | 2,4 | 1,8 | 1,9 | 2,0 | 2,1 | 2,2 | 2,3 | 2,2 |
| ***I*стmin, мА** | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 2 | 1 |
| ***I*стmах, мА** | 20 | 25 | 30 | 25 | 30 | 24 | 25 | 30 | 32 | 25 | 20 |
|  | **Предпоследняя цифра номера зачетки** |  |
| **0** | **1** | **2** | **3** | **4** | **5** | **6** | **7** | **8** | **9** |
| ***Т*, оС** | 25 | 30 | 35 | 40 | 10 | 15 | 55 | 0 | 30 | 50 | 40 |
| ***U*min, В**  | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 30 | 16 |
| ***U*mах, В** | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 20 | 18 | 16 | 24 |

**Методические рекомендации по решению задачи№ 4.1**

1. Зарисовать схему стабилизатора, статические характеристики стабилитрона и записать задание, соответствующее номеру варианта (рис. 4.1, табл. 4.1)
2. **Определить (рассчитать)**
3. Среднее значение тока стабилизации *I*стср, соответствующего режиму стабилизации

*I*ст.ср= (*I*стmах *+I*стmin)/2

*I*ст.ср= 10,5 мА

1. При токе *I*ст.ср значения *U*ст1 при
20 оС, *U*ст2 при 120 оС*U*ст3 при
−40 оС равны (рис. 5.1, *б*):

точка П1 при*Т*= 20 оС

точка П2 при*Т*= 120 оС

точка П3 при*Т*= −40 оС

*U*ст1 = 8,3 В;

*U*ст2 = 8,7 В;

*U*ст3 = 7,9 В;

1. Значение ТКН с учетом знака и особенностей видов пробоя: ТКН>0 при *U*ст> 6В; ТКН<0 при *U*ст< 5 В

ТКН = (1/*U*ст20)(*U*ст/*T*)

(рис. 5.1, *б*)

ТКН = +(1/8,3)(8,8−7,6)/(120−20)=

= + 0,060⋅10−3 К-1

1. Напряжение стабилизации для искомого значения температуры 40 оС

*U*стТ= *U*ст20(*T⋅*ТКН +1)

*U*стТ=40= 8,4 В

1. Значение тока *I*н через нагрузку

*I*н =*U*стТ/*R*н

*I*н = 3,82 мА

1. Среднее напряжение *U*ср на входе схемы

*U*ср =(*U*min+*U*max)/2

*U*ср = 20 В

1. Статическое сопротивление *R*0стибилитрона в точке П

*R*0 = *U*стТ/*I*стср

*R*0 = 0,828 кОм

1. Значение дифференциального сопротивления *r*диф на участке стабилизаци

*r*диф=*dU*/*dI*

Рис. 5.1, б

*r*диф= *U*/*I*≈ 0,5/20 10−3 = 25 Ом

1. **Расчет параметров ограничительного (балластного) резистора*R*б**
2. Сопротивление ограничительного резистора *R*б

*R*б = (*U*ср−*U*cтТ)/(*I*ст.ср+ *I*н)

*R*б = 810 Ом

1. Мощность, рассеиваемая на *R*б при средних значениях тока

*РR*б = *R*б(*I*н+*I*ст.ср)2

*РR*б = 0,166 Вт

1. **Оценка диапазона входных напряжений, при которых реализуется стабилизация**
2. Расчетное минимальное значение входного напряжения *U*minр

*U*minр = *U*cт + (*I*стmin+ *I*н)*R*б

*U*minр = 12,3 В

1. Расчетное максимальное значение входного напряжения *U*maxр

*U*maxр = *U*cт + (*I*стmax+ *I*н)*R*б

*U*max= 36,2 В

1. Делаем вывод, что стабилизация реализуется во всем диапазоне изменений входных напряжений *U.*

Задача № 4.2 ″Расчет усилительного каскада на транзисторах″

Усилительные каскады на биполярных и полевых транзисторах приведены на рис. 4.2, 4.3. Характеристики транзисторов приведены в таблицах 4.3, 4.5. Рассчитать усилительный каскад на транзисторе с необходимыми параметрами усиления класса А.

Задача № 4.2.1″Расчет параметров каскада по схеме ОЭ″

Транзистор включен в усилительный каскад (класс усиления *А*) по схеме с общим эмиттером (рис. 4.2) при ЭДС источника питания *Е*к. Характеристики транзистора приведены в таблице 4.2 и на рис. 4.3. Известны параметры усилительного каскада и усиливаемого сигнала: постоянная составляющая тока базы *I*б0, амплитуда переменной составляющей тока базы *I*бm, величины сопротивления *R*к, сопротивление нагрузки *R*н, максимально допустимая мощность *Р*кmax, нижняя *f*пн и верхняя *f*пв частоты полосы пропускания усиливаемых сигналов.

Таблица 4.2

Задание к задаче № 4.2

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Параметры** | **Последняя цифра номера зачетки** | **Пример** |
| **0** | **1** | **2** | **3** | **4** | **5** | **6** | **7** | **8** | **9** |
| ***Е*к, В** | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 12 | 13 | 14 | 14 |
| ***I*б0, мА** | 0,4 | 0,35 | 0,3 | 0,25 | 0,3 | 0,35 | 0,4 | 0,45 | 0,4 | 0,35 | 0,3 |
| ***r*к, Ом** | 800 | 900 | 1100 | 700 | 800 | 900 | 1000 | 900 | 1200 | 900 | 1000 |
| ***R*н, Ом** | 500 | 400 | 600 | 800 | 700 | 800 | 900 | 1000 | 900 | 700 | 1000 |
|  | **Предпоследняя цифра номера зачетки** |  |
| **0** | **1** | **2** | **3** | **4** | **5** | **6** | **7** | **8** | **9** |
| ***I*бm, мА** | 0,2 | 0,25 | 0,3 | 0,35 | 0,3 | 0,25 | 0,2 | 0,25 | 0,3 | 0,35 | 0,2 |
| ***Р*кmax, мВт** | 180 | 170 | 160 | 150 | 160 | 170 | 180 | 150 | 170 | 180 | 150 |
| ***f*пн, Гц** | 90 | 100 | 150 | 200 | 150 | 100 | 90 | 70 | 90 | 110 | 80 |
| ***f*пв, кГц** | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 4 | 5 |

Принять, что каскад работает в нормальных стационарных условиях, поэтому влиянием температуры на режим транзистора можно пренебречь.

Допускается проводить линии характеристик между линиями, представленными на рис. 4.2.



а) б)

Рис. 4.2. Схема с ОЭ (а) и необходимые временные диаграммы (б) к задаче 4.2



Необходимо:

− построить линию *Р*кmax(*U*кэ), как функцию напряжения *U*кэ;

− построить линию нагрузки как функцию *I*кэ(*R*к, *U*кэ) по постоянному и переменному току;

− определить постоянные составляющие тока *I*к0 и напряжения *U*кэ0 коллектора;

− амплитуду переменной составляющей тока коллектора *I*к0m;

− амплитуду выходного напряжения *U*выхm;

− коэффициенты усиления *KI*, *KU*, *KP*;

− выходную мощность *Р*вых.к, мощность, рассеиваемую на нагрузке постоянной составляющей тока коллектора *Рк*0, полную потребляемую мощность в коллекторной цепи *Р*0;

− КПД  коллекторной цепи;



Рис. 4.3. Входные (а) и выходные (б) статические характеристики транзистора к задаче № 4.2

− напряжение смещения *U*бэ0 и амплитуду входного сигнала *U*бэm;

− входную мощность *Р*вх;

− входное сопротивление сигнала *R*вх;

− сопротивление резисторов *R*1 и *R*2;

− емкость разделительных конденсаторов *С*1 и *С*2, конденсатора в цепи эмиттера *С*э с учетом того, что диапазон усиливаемых колебаний *f*пн−*f*пв;

- рассчитать и объяснить физический смысл малосигнальных*h*-параметров транзистора *VТ* с учетом его характеристик.

**Методические рекомендации по решению задачи№ 4.2.1**

1. Зарисовать схему усилительного каскада, входные и выходные статические характеристики транзистора и записать задание, соответствующее номеру варианта (рис. 4.3, табл. 4.3)
2. **Определить (рассчитать)**
3. Оценить, соответствует ли выбранный тип транзистора по его предельным рабочим параметрам *U*кэдоп и *I*кдоп (*U*кэдоп - наибольшее допустимое напряжение между коллектором и эмиттером транзистора) руководствуясь соотношением

*U*кэдоп≥ (1,3...1,3)*Е*

Изрис. 4.3, б:

*U*кэдоп= 18 В

1. **Построение линии максимально допустимой мощности *Р*кmax(*U*кэ)**
2. На семействе выходных характеристик строим линию максимально допустимой мощности*Р*кmax(*U*кэ), используя соотношение *Р*кmax=*I*кmах |*U*кэ| (рис 4.3, б)

*I*кmах =*Р*кmax/|*U*кэ|

Расчет по точкам:

*U*кэ: 7,5; 10; 15; 20

*I*кmах =150⋅10−3/|*U*кэ|, A

1. **Построение линии нагрузки EПМ по постоянному току производится по двум точкам: (*I*кмах; 0) и
(0; *Е*к)с учетом уравнения *U*кэ= *E*к** −***I*к(*R*к *+ R*э)**
2. Определение сопротивления *R*э, с учетом, что *R*э = (0,15-0,2)*R*к

Выбираем *R*э = 0,2*R*к

*R*э =200 Ом

1. Определяем общее сопротивление в цепи эмиттер-коллектор транзистора

*R = R*э+*R*к

*R*= 1200 Ом

1. Определяем максимальный ток в цепи эмиттер-коллектор

*Iк*max= *E*к/*R*

*Iк*max= 11,8 мА

1. **Проводим линию нагрузки по постоянному току через точки: (11,8 мА; 0) и (0; 14 В)**
2. **Выбор положения точки покоя *П* производится с учетом величины постоянной составляющей тока базы *I*б0 = 0,3 мА= 300 мкА (с учетом класса усиления А рабочая точка должна быть примерно посередине линии нагрузки)**
3. С учетом положения точки *П* определяем значение постоянной составляющей тока *I*к0

*I*к0 = 6 мА

1. С учетом положения точки *П* определяем значения постоянной составляющей напряжения *U*кэ0 коллектора

*U*кэ0 = 7 В

1. **Построение линии нагрузки по переменному току**
2. Определение сопротивления нагрузки *R*н~ по переменному току

*R*н~ = *R*к||*R*н =
=*R*к*R*н/(*R*к + *R*н).

*R*н~ = 500 Ом

1. Определяем максимальный ток в цепи эмиттер-коллектор

*Iк*max~= *E*к/(*R*~*+ R*э)

*Iк*max= 20 мА

1. Полагая, что переменный ток коллектора изменяется от тока покоя *I*к0 до нуля на величину ∆*I*к, определяем соответствующее ему переменную составляющую приращения напряжения "коллектор – эмиттер" ∆*U*кэ~на нагрузке *R*н~

∆*U*кэ~ = ∆*I*к*R*н ~=*I*к0*R*н ~

∆*U*кэ~ = 3 В

1. Откладывая значение ∆*U*кэ~ от абсциссы *U*кэ0 вправо (рис. 4.3, *б*), из точки*Т* с новой абсциссой (*U*кэ0 + ∆*U*кэ~) под углом~ проводят прямую линию нагрузки, которая должна пройти через точку П. Таким образом, линия, проведенная через найденные две точки, является линией нагрузки каскада по переменному току, которая показывает, как перемещается рабочая точкаП(*i*к, *u*кэ) при изменении мгновенных значений *i*к(*t*) и *u*кэ(*t*) переменного коллекторного тока.
2. **Расчет амплитуды переменной составляющей тока коллектора производим с учетом линии нагрузки по переменному току (рис. 5.3, б) и условия, что амплитуда переменной составляющей тока базы равна *I*бm**
3. Определяем значение *I*кmax при *I*б =*I*б0+*I*бm

Точка*А*

*I*кmax= 9 мА

1. Определяем значение *I*кmin при *I*б =*I*б0−*I*бm

Точка*Б*

*I*кmin= 2 мА

1. Определяем амплитуду переменной составляющей тока *I*кm коллектора при возможных изменениях тока базы

*I*кm= (*I*кmax−*I*кmin)/2

*I*кm= 3,5 мА

1. **Расчет параметров каскада**
2. Амплитуда переменного напряжения на нагрузке (с учетом линии нагрузки по переменному току)

*UmRн~* =*Umкэ*=*I*кm*R*н~

*UmRн~* =*Umкэ*=1,75 В.

1. Коэффициент усиления каскада по току *КI*(по переменной составляющей тока)

*КI= I*кm/*I*бm

*КI=* 17,5

1. Выходная мощность *Р*вых. к

*Р*вых. к = *I*к*mU*к*m*/2 =
= *U*2к*m*/2*R*н~

*Р*вых. к = 3 мВт

1. Полная потребляемая мощность в коллекторной цепи *Р*0

*Р*0 = *E*к*I*к0

*Р*к0 = 84 мВт

1. КПД коллекторной цепи

*= Р*вых. к/*Р*к0

=3,65 %

1. Мощность *Р*к0, рассеиваемая на коллекторе постоянной составляющей тока

*Р*к0 =*I*к0|*U*кэ0|

*Р*к0 = 42 мВт <*Р*кmax=150 Вт, т.е. режим работы допустим

1. **Учет входной характеристики и расчет входных параметров**

Поскольку у биполярных транзисторов входные характеристики расположены близко друг к другу, то в качестве рабочей входной характеристики можно принять одну из статических входных характеристик, соответствующую активному режиму, например, характеристику при *U*кэ=5 В и для сравнения, рассмотреть характеристику при *U*кэ=0В (рис. 4.3, а)

1. Определяем напряжение смещения *U*бэ0 при токе *I*б0 (точка *П*)

*U*бэ0 ≈ 260 мВ

1. Определяем значение *U*бэmax при *I*б = *I*б0 + *I*бm

Точка*А*

*U*бэmax= 277 мВ

1. Определяем значение *U*бэminпри *I*б = *I*б0 −*I*бm

Точка*Б*

*U*бэmin= 187 мВ

1. Определяем амплитуду переменной составляющей входного напряжения *U*бэкm базы при возможных изменениях тока базы

*U*бэm= (*U*бэmax−*U*бэmin)/2

*U*бэm= 45 мВ

1. Модуль коэффициента усиления по напряжению*KU*.

*|KU*| =*UmRн~*/*U*бэm

*|KU*| = 38,9

1. Коэффициент усиления по мощности *KP*.

*KP*= *|KU КI* |

*KP*= 680,6

1. Входная мощность *Р*вх

*Р*вх=*I*бm*U*бэm/2

*Р*вх= 4,5 мкВт

1. Входное сопротивление *R*вх~ (по переменному току)

*R*вх~= *U*бэm/*I*бm

*R*вх~= 225 Ом

1. **Определение параметров делителя напряжения на резисторах *R*1 и *R*2**
2. Из практических соображений выбираем значение тока *I*д через резистор *R*2

*I*д = 10*I*б0

*I*д = 3 мА

1. Определяем величину резистора *R*2



*R*2 ≈ 1 кОм

1. Определяем величину резистора *R*1



*R*1 ≈ 3,3 кОм

1. **Расчет емкостей**

Выбор значений емкостей конденсаторов *С*1, *С*2, *С*э обуславливается требованием: реактивное сопротивление *X*С=1/*C* на низшей частоте пропускания *f*пн на порядок меньше соответствующих сопротивлений *Ri*

1. Определение значения емкости конденсатора *С*1

*С*1=10/2*f*пн*R*1

*С*1≈ 88,5 мкФ

1. Определение емкости конденсатора *С*э цепи эмиттера

*С*э=10/2*f*пн*R*э

*С*э≈ 99,5 мкФ

1. Определение емкости разделительного конденсатора *С*2 цепи нагрузки

*С*2=10/2*f*пн*R*2

*С*2≈ 39,8 мкФ

1. **Расчет *h*-параметров усилителя в рабочей точке**

Экспериментальное определение *h*−параметров может быть произведено путем анализа статических вольтамперных характеристик транзистора. Рассмотрим статические характеристики транзистора *n−p*−*n*-типа в схеме с общим эмиттером (Рис. 4.3) в рабочей точке *П* с параметрами: *U*кэ=7 В, *I*к0= 6 мА,*I*б0 = 0,3 мА. Выбрав на статической характеристике рабочую точку *П*, выделим вблизи ее приращения тока базы *I*б, а также *U*бэ, *U*кэ(Рис. 4.3), характеризующие малые (переменные) приращения параметров схемы. Соотношения между малыми приращениями характеризуют *h*−параметры схемы.

1. Параметр *h*11э, характеризующий входное сопротивление транзистора *R*вх по переменному току, может быть определен по входной характеристике в области точки *П* (Рис. 5.3) по точкам *М* и *N*

*h*11э = |*U*бэ|/|*I*б|
при *U*кэ0=соnst

*h*11э = *R*вх=

= (275−225)мВ/(390−190) мкА =

= 50⋅10−3/0,2⋅10−3 = 250 Ом

1. Параметр *h*12э характеризующий коэффициент обратной связи по напряжению, может быть определен по входной характеристике в области точки *П* по точкам *П* и *L*

*h*12э = (*U*бэ*U*кэ)
при *I*б0 = const

*h*12э = (240-260)мВ/(0-5)В=

= 20⋅10−3/5 = 0,004⋅

1. Параметр *h*22э, характеризующий выходную проводимость транзистора, может быть определен по выходной характеристике по точкам*Д* и *С*

*h*22э =(**к*U*кэ)
при *I*б= const

*h*22э = (6,4-5,7)мА/(10-4)В=

= 0,7⋅10−3/6 = 117 мкСм⋅

1. Выходное сопротивление *R*вых~ по переменному току

*R*вых~=1/*h*22э

*R*вых~= 8,57 кОм

1. Параметр *h*21э, характеризует коэффициент передачи тока базы в схеме с ОЭ, может быть определен выходной характеристике по точкам *Г* и*В*

*h*21э == (*I*к*I*б)при *U*кэ=const

*h*21э = (7,5 − 4)мА/(0,4 − 0,2) мА = =17,5

1. Крутизна транзистора *S*определяется с учетом соотношения

*S* = *i*э/*u*бэ ≈ *i*к/*u*бэ *=*

*=*(*I*к*I*б)//|*U*бэ|/|*I*б|)= *h*21э/*h*11э

*S* = 82,9 мА/В

1. Построить временные зависимости токов и напряжений (2-3 периода колебаний) в различных точках схемы с учетом их постоянных и переменных составляющих (рис. 4.3, б) в режимах усиления*А*, *В* (рабочая точка в области отсечки и насыщения). Обратить внимание, что ряд напряжений и токов могут иметь как постоянные, так и переменные составляющие [2].
2. **Задание по расчету программы по EWB**
3. Выбрать транзисторы и схему включения в соответствии с вариантом
4. Из примеров схем, представленных в литературе

[EWB: common-e.ewb; bootdtra.ewb], выбрать схему в качестве прототипа

1. Сформировать исследуемую схему ОЭ. Допускается произвести подбором выбор значений напряжений источников питания, резисторов, емкостей для получения устойчивого сигнала
2. Получить устойчивое изображение сигнала на выходе, считая, что усилитель работает в классе усиления А
3. Подавая на схему фиксированную частоту, меняя различные входные напряжения, получить данные для амплитудной характеристики
4. Подавая на схему фиксированное входное напряжение, меняя частоту, получить данные для амплитудно-частотной характеристики
5. Получить амплитудную характеристику, используя элемент EWB″Боде – плоттер″ [10], [11]
6. Получить фазочастотную характеристику, используя элемент ″Боде – плоттер″
7. Представить файл схемы (название файла:Иванов.ewb). Желательно представить распечатку схемы и осциллограммы
8. Представить исследуемые характеристики
9. Дать ссылки на используемую литературу и схему, выбранную в качестве прототипа

Задача № 4.2.2 ″Расчет параметров каскада по схеме ОИ″

Полевой МОП-транзистор с каналом *n*-типа (ПТИЗ) имеет максимальную мощность *Р*mах, включен в усилительный каскад по схеме с общим истоком (рис. 4.4) при ЭДС источника питания *Е*с. Сопротивление резистора нагрузки *R*н. Переменная составляющая напряжения затвор-исток равна *U*вх = *U*зи.

Характеристики транзистора приведены в таблице 4.3 и на рис. 45.5. Известны нижняя *f*пн и верхняя *f*пв частоты полосы пропускания усиливаемых сигналов.

Определить:

− параметры элементов схемы ОИ, необходимые для работы в классе усиления А в выбранном диапазоне частот;

− параметры линии нагрузки по постоянному и переменному току;

− характеристики схемы: коэффициент усиления напряжения, мощность, КПД;

− параметры стокозатворной характеристики; значение крутизны и напряжения отсечки.

Таблица 4.3

Задание к задаче № 4.2.2

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Параметры** | **Последняя цифра номера зачетки** | **Пример** |
| **0** | **1** | **2** | **3** | **4** | **5** | **6** | **7** | **8** | **9** |
| ***Е*к, В** | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 13 | 14 | 12 | 13 | 14 | 14 |
| ***r*с, Ом** | 900 | 950 | 1000 | 1050 | 1100 | 1050 | 1000 | 950 | 900 | 1000 | 1030 |
| ***R*н, кОм** | 5 | 4 | 6 | 8 | 7 | 8 | 9 | 10 | 9 | 7 | 65 |
|  | **Предпоследняя цифра номера зачетки** |  |
|  | **0** | **1** | **2** | **3** | **4** | **5** | **6** | **7** | **8** | **9** |  |
| ***U*вх*=U*зи, В** | 0,5 | 0,25 | 0,5 | 0,25 | 0,5 | 0,25 | 0,5 | 0,25 | 0,5 | 0,25 | 0,25 |
| ***P*max*,* Вт** | 120 | 130 | 140 | 120 | 130 | 140 | 150 | 160 | 170 | 150 | 150 |
| ***f*пн, Гц** | 90 | 100 | 150 | 200 | 150 | 100 | 90 | 70 | 90 | 110 | 80 |
| ***f*пв, кГц** | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 4 | 5 |



а) б)

Рис. 4.4. Схема с ОИ необходимые временные диаграммы (б) к задаче № 4.2.2 Принять, что каскад работает в нормальных стационарных условиях, поэтому влиянием температуры на режим транзистора можно пренебречь.

Допускается проводить линии характеристик между линиями, представленными на рис. 4.5.



Рис. 4.5. Стоковые и стоко-затворная характеристики ПТИЗ с *n*-каналом

**Методические рекомендации по решению задачи№ 4.2.2**

1. Зарисовать схему усилительного каскада, входные и выходные статические характеристики транзистора и записать задание, соответствующее номеру варианта (рис. 4.5, табл. 4.3)
2. **Определить (рассчитать)**
3. Оценить, соответствует ли выбранный тип транзистора по его предельным рабочим параметрам *U*сидоп и *I*сдоп (*U*сидоп - наибольшее допустимое напряжение между коллектором и эмиттером транзистора) руководствуясь соотношением *U*сидоп≈ (1,1...1,3)*Е*с

изрис. 4.5:

*U*сидоп= 14⋅0,2 = 16,8 В

1. **Построение линии нагрузки по постоянному току производится с учетом уравнения**

***U*си =*E*с −*I*с(*R*с *+ R*и)по двум точкам: (*I*смах; 0) и (0; *Е*с)**

1. Определение сопротивления *R*и

*R*и = 0,2*R*с

*R*и = 206 Ом

1. Определяем общее сопротивление в цепи сток-исток транзистора

*R = R*и+*R*с

*R*= 1236 Ом

1. Определяем максимальный ток в цепи сток-исток

*Iс*max= *E*с/*R*

*Iс*max= 11,32 мА

1. **Проводим линию нагрузки АБ по постоянному току через точки: (11,3 мА; 0) и (0; 14 В) (рис. 5.5)**
2. **Выбор положения точки покоя *П* производится с учетом с учетом того, что при классе усиления А рабочая точка должна быть примерно посередине линии нагрузки. Поэтому выбираем, например, точку П с координатами (6 мА; 6,6 В) при *U*зи= -0,75 В**
3. С учетом положения точки *П* определяем значение постоянной составляющей тока *I*си0

При*U*зи= −0,75В

*I*си0 = 6 мА

1. С учетом положения точки *П* определяем значения постоянной составляющей напряжения *U*си0 коллектора

При*U*зи = −0,75В

*U*си0 = 6,3 В

1. **Построение линии нагрузки по переменному току**
2. Определение сопротивления нагрузки *R*н~ по переменному току

*R*н~ = *R*с||*R*н =*R*с*R*н/(*R*с+*R*н).

*R*н~ = 1014 Ом

1. Определяем максимальный ток в цепи сток-исток (по переменному току)

*Iс*max= *E*с/(*R*н~+*R*и*)*

*Iс*max= 11,5 мА

1. **Проводим линию нагрузки по переменному току через точки ГВ (рис. 5.5)**
2. **Расчет амплитуды переменной составляющей тока стока производим с учетом линии нагрузки по переменному току (рис. 4.5) и условия, что амплитуда переменной составляющей входного напряжения *U*зи**
3. Определяем значение *I*сmax при

*U*зи=*U*зи0+*U*вх*I*бm

Точка*С*

*I*сmax= 8 мА

1. Определяем значение *I*сmin при

*U*зи=*U*зи0−*U*вх*I*бm

Точка*Д*

*I*сmin= 4 мА

1. **Расчет параметров каскада**
2. Определяем амплитуду переменной составляющей тока *I*сm стока при возможных изменениях входного напряжения по данным точек*С* и *Д*

*I*сm= (*I*сmax−*I*сmin)/2

*I*сm=2 мА

1. Определяем амплитуду переменной составляющей напряжения *U*сm стока при возможных изменениях входного напряжения по данным точек*С* и *Д*

*U*сm= (*U*сmax−*U*сmin)/2

*I*сm= (8,2-4,2)/2 = 2 В

1. Коэффициент усиления каскада по напряжению *КU*(по переменной составляющей тока) при *U*зиm

*КU= U*cm/*U*вх

*КU=* 2/0,25 = 8

1. Выходная мощность *Р*вых. с

*Р*вых. с = *I*с*mU*с*m*/2 = *U*2с*m*/2*R*н~

*Р*вых. с = 2 мВт

1. Полная потребляемая мощность в стоковой цепи *Р*0

*Р*0 = *E*с*I*с0

*Р*с0 = 84 мВт

1. КПД стоковой цепи

*= Р*вых. с/*Р*с0

= 2,38 %

1. Мощность *Р*с0, рассеиваемая на стоке постоянной составляющей тока

*Р*с0 =*I*с0|*U*си0|

*Р*с0 =37,8 мВт <<*Р*сmax= 150 Вт,
т.е. режим работы допустим

1. **Определение параметров резисторов *R*1 и *R*2**
2. Сопротивление резистора *R*2 выбирается в пределах 1-2 МОм.

*R*2= 1 МОм

1. Напряжение на резисторе *R*и при токе *I*си0

*R*и = |*UR*и|/*I*си0 = *|U*зи0|/*I*си0

*UR*и *=* 1,24 В

1. Для расчета *R*1 используем тот факт, что напряжение на затворе *U*з0 должно быть меньше, чем напряжение *UR*и на величину *U*зи0, т.е. выполняются соотношения: *U*зи0 = *UR*и – *U*з0 = *UR*и – *UR*20 = *I*си0*R*и – *Е*с*R*2/(*R*2 + *R*1)
2. Величина резистора *R*1

*R*1 = *Е*с*R*2/(*UR*и – *U*зи0) −*R*2.

*R*1 = 27,8 МОм

1. **Расчет емкостей**

Выбор значений емкостей конденсаторов *С*1, *С*2, *С*э обуславливается требованием: реактивное сопротивление *X*С=1/*C* на низшей частоте пропускания *f*пн на порядок меньше соответствующих сопротивлений *Ri*

1. Входное сопротивление по переменному току

*R*вх~= *R*1||*R*2

*R*вх~= 0,965 Мом

1. Определение значения емкости конденсатора *С*1

*С*э=10/2*f*пн*R*1

*С*1≈ 0,02 мкФ

1. Определение емкости конденсатора *С*и цепи истока

*С*и=10/2*f*пн*R*и

*С*э≈ 100 мкФ

1. Определение емкости разделительного конденсатора *С*2 цепи нагрузки 

*С*2=10/2*f*пн*R*2

*С*2≈ 19,6 мкФ

1. **Расчет параметров каскада**
2. **Построение стокозатворной характеристики *I*с(*U*зи)** (вторая четверть рис. 5.5, 6)

производится с учетом точек линии нагрузки (А, Д,…Б) и стоковых характеристик. Во второй четверти проводится линия стокозатворной характеристики через точки *М*, *N*, П, О, К

1. Путем продолжения (экстраполяции) стокозатворной характеристики определяется максимальный ток стока*I*мах (точка E) при *U*зи= 0

(по графику)

*I*мах *=* 12,5 мА

1. Определение максимальной крутизны *S*mах

*S*mах = *dI*c/*dU*зи
при *U*зи= 0

*S*mах ≈ (12-10)/(0+0,25) =

= 2,5/0,25 = 10 мА/В

1. Напряжение отсечки *U*отс

*U*отс= 2*I*мах/*S*mах

*U*отс= 2,5 В

Построить временные зависимости токов и напряжений (2-3 периода колебаний) в различных точках схемы с учетом их постоянных и переменных составляющих (рис. 4.5, б) в режимах усиления*А*, *В* (рабочая точка в области отсечки и насыщения). Обратить внимание, что ряд напряжений и токов могут иметь как постоянные, так и переменные составляющие [6]

Контрольные вопросы по дисциплине

1. Определение электрической цепи, ее основные характеристики: напряжение, ток, энергия, мощность.
2. Режимы электрических цепей. Основные структурные понятия электрической цепи: ветвь, узел, контур. Последовательное и параллельное соединение цепей.
3. Первый и второй закон Кирхгофа.
4. Получение синусоидального тока.
5. Активный, индуктивный, емкостной элементы электрической цепи.
6. Среднее, максимальное и действующее значение синусоидальной величины.
7. Представление синусоидальных величин в виде тригонометрических функций, графиков изменений функций во времени, вращающихся векторов, комплексных чисел.
8. Активное, индуктивное и емкостное сопротивление.
9. Неразветвленная цепь переменного тока. Резонанс напряжений.
10. Электрическая цепь с параллельным соединением ветвей. Резонанс токов.
11. Трехфазная цепь переменного тока. Соединение фаз "звездой".
12. Трехфазная цепь переменного тока. Соединение фаз "треугольником".
13. Мощность в трехфазных цепях.
14. Различные режимы работы трехфазной цепи.
15. Законы коммутации. Переходной процесс в цепи, содержащей R и L элементы.
16. Переходной процесс в цепи, содержащей R и С элементы.
17. Принцип действия однофазного трансформатора.
18. Режимы работы трансформатора.
19. Трехфазные трансформаторы, измерительные трансформаторы, автотрансформаторы.
20. Системы электроизмерительных приборов.
21. Измерение тока, напряжения и сопротивления.
22. Электрические методы измерения неэлектрических величин.
23. Устройство и принцип действия асинхронного электродвигателя.
24. Способы пуска, реверсирование и регулирование скорости асинхронного электродвигателя.
25. Устройство и принцип действия синхронного генератора.
26. Магнитные потоки в синхронной машине. Характеристики синхронного генератора.
27. Генератор постоянного тока с независимым возбуждением.
28. Генератор постоянного тока с параллельным возбуждением.
29. Генератор постоянного тока со смешанным возбуждением.
30. Устройство и принцип действия двигателя постоянного тока.
31. Механические характеристики двигателя постоянного тока.
32. Регулирование частоты вращения и реверсирование двигателей постоянного тока.
33. Образование и свойства *p-n* перехода.
34. Полупроводниковые диоды.
35. Структурная схема выпрямителя. Однофазные и трехфазные схемы выпрямления. Управляемые выпрямители.
36. Устройство и принцип действия полупроводникового триода.
37. Схемы включения, характеристики и параметры полупроводникового триода.
38. Усилительные каскады с общим эмиттером, общим коллектором и общей базой. Режимы работы усилительных каскадов.
39. Принцип действия и характеристики тиристора.

Литература

*Основная:*

1. Электроника и электротехника :учебное пособие для вузов/под. ред. В.В. Кононенко; В.В. Кононенко и др.. ̶ 3-е издание, испр. и доп. ̶ Ростов н/д : Феникс, 2007. ̶ 784с.
2. Электроника и микропроцессорная техника : учебник для вузов / В.Г. Гусев, Ю.М. Гусев. ̶ 5-е издание, стер. ̶ М.: Высшая школа, 2008. ̶ 798с.
3. Касаткин А.С., Немцов М.В. Электротехника.: учеб.6-е изд., перераб.-М.:Высшая школа, 2006-542с.
4. Немцов М.В. Электротехника – Ростов-на-Дону, Феникс, 2006-567с.
5. Евдокимов Ф.Е. Теоретические основы электротехники. Учебник – 9-е изд.- М.: Академия, 2007-560с.

*Дополнительная:*

1. Кардашев, Г.А. Виртуальная электроника. Компьтерное моделирование аналоговых устройств / Г.А. Кардашев. − М. : Горячая линия-Телеком, 2003. − 260 с.
2. Карлащук В.И. Электронная лаборатория на IBMPC. М. : Солон-Пресс, в 2-х т. − 2006,
3. Касаткин А.С. Электротехника : учеб.пособие для вузов/ А.С. Касаткин, М.В. Немцов.− М. :Энергоатомиздат, 1983. − 440 с.
4. Общая электротехника : учеб.пособие / под ред. А.Т. Блажкина. − Л. :Энергоатомиздат, 1986. − 592 с.
5. Общая электротехника : учебник/ под ред В.С. Пантюшина. М. :Высш. школа, 1970. − 586 с.
6. Полупроводниковые приборы : диоды, тиристоры, оптоэлектронные приборы : справочник / под ред. Н.Н. Горюнова. −М. :Энергоатомиздат, 1984. − 744 с.
7. Полупроводниковые приборы : транзисторы : справочник / под ред. Н.Н. Горюнова. − М. : Энергия, 1983. − 904 с.
8. Расчет электронных схем. Примеры и задачи: Учебное пособие для вузов / Г.И. Изъюрова, Г.В. Королев, А.В. Терехов и др. −М.: Высшая шк., 1987. −335 с.
9. Сборник задач по электротехнике и основам электроники: учеб.пособие/ М. Ю. Анвельт, В.Г. Герасимов, В.П. Данильченко и др.; под ред. В.С. Пантюшина.− М. :Высш. шк., 1979. − 253 с.
10. Сборник задач по электротехнике и основам электроники: учеб.пособие/ В.Г. Герасимов, Х.Э. Зайдель, В.В. Коген-Далин и др.; под ред. В.Г. Герасимова.− М. :Высш. шк., 1987. − 288 с.
11. Сборник задач по электротехнике и основам электротехники / Г.Г. Рекус, А.И. Белоусов. − М. :Высш. шк., 1993. −416 с.
12. Транзисторы для аппаратуры широкого применения: Справочник / под ред. Перельмана Б.Л. − М. : Радио и связь, 1981 − 659 с.
13. Усаченко, С.Т. Выполнение электрических схем по ЕСКД: справочник/ С.Т. Усаченко, Т.К. Каченюк, М.В. Терехова. −М. : Изд. стандартов, 1989. − 325 с.