МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное
бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Автономные преобразователи

Учебная программа
для студентов заочной формы обучения
по образовательной программе «Промышленная электроника»
направления подготовки 11.03.04 «Электроника
и наноэлектроника»

Казань 2017

УДК 621.314 (075)
ББК 31.264.5
А 22

А 22 Автономные преобразователи: учебная программа / сост.: В.И. Кротов. – Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2017. – 30 с.

Приведены общие рекомендации по работе над дисциплиной «Автономные преобразователи», программа, методические указания по изучению дисциплины.

Предназначена для студентов заочной формы обучения по образовательной программе «Промышленная электроника» направления подготовки 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника».

УДК 621.314 (075)
ББК 31.264.5

© Казанский государственный энергетический университет, 2017

ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью освоения дисциплины «Автономные преобразователи» является изучение схемотехники и методов расчета автономных силовых преобразовательных устройств для последующего их использования в проектировании.

Задачи дисциплины:

– познакомить обучающихся со схемными решениями современных автономных преобразовательных устройств;

– дать информацию о современной элементной базе автономных преобразователей и перспективах ее развития;

– научить принимать и обосновывать конкретные технические решения при последующем конструировании силовых электронных устройств.

МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Дисциплина «Автономные преобразователи» относится к вариативной части образовательной программы «Промышленная электроника» направления подготовки 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника».

До освоения дисциплины «Автономные преобразователи» у студента должны быть сформированы следующие компетенции:

– способность решать задачи анализа и расчета характеристик электрических цепей (ОПК-3);

– способность использовать основные приемы обработки и представления экспериментальных данных (ОПК-5);

– готовность выполнять расчет и проектирование электронных приборов, схем и устройств различного функционального назначения в соответствии с техническим заданием с использованием средств автоматизации проектирования (ПК-5);

знать:

– основные физические законы в области электричества и магнетизма (ОПК-1);

– основные понятия и утверждения теории обыкновенных дифференциальных уравнений (ОПК-1);

– методы решения задач анализа и расчета электрических цепей и базовых схем, используемых в устройствах современной электроники (ОПК-3);

– параметры, характеристики и методы моделирования приборов и устройств твердотельной электроники (ОПК-3);

уметь:

– решать системы линейных алгебраических уравнений (ОПК-2);

– решать задачи с применением дифференциального и интегрального исчисления (ОПК-2);

– решать задачи анализа и расчета электрических цепей и базовых схем, используемых в устройствах современной электроники (ОПК-3);

– пользоваться методами сбора, обработки, анализа и систематизации научно-технической информации по приборам и устройствам современной электроники (ОПК-6);

владеть:

– основными аналитическими и численными методами решения алгебраических уравнений и систем алгебраических уравнений (ОПК-1, ОПК-2);

– терминологией в области аналоговой электроники (ОК-5);

– информацией об электрических параметрах электронных устройств (ПК-5);

– современными методами расчета, моделирования и проектирования электронных устройств на базе аналоговой и цифровой элементной базы (ОПК-6);

– навыками решения задач анализа и расчета электрических цепей и базовых схем, используемых в устройствах современной электроники (ОПК-3);

– опытом сбора, обработки, анализа и систематизации научно-технической информации по приборам и устройствам современной электроники (ОПК-6).

КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

В процессе освоения дисциплины «Автономные преобразователи» у студента формируются:

– способность осуществлять поиск, хранение, обработку и анализ информации из различных источников и баз данных, представлять ее в требуемом формате с использованием информационных, компьютерных и сетевых технологий (ОПК-6);

– способность строить простейшие физические и математические модели приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения, а также использовать стандартные программные средства их компьютерного моделирования (ПК - 1);

– готовность к участию в монтаже, испытаниях и сдаче в эксплуатацию опытных образцов материалов и изделий электронной техники (ПК-14).

В результате освоения дисциплины «Автономные преобразователи» обучающийся должен демонстрировать следующие результаты образования:

знать:

– порядок расчета процессов, протекающих в электронных компонентах, цепях, устройствах силовой электроники и автономных преобразователях (ОПК-3);

– основы математических приемов обработки и представления экспериментальных данных при измерении характеристик автономных преобразователей (ОПК-5);

– основы сбора, необходимой для расчетов автономных преобразователей информации, о параметрах электронных компонентов: систему параметров и их обозначений, включая принятые в зарубежной практике; порядок работы со справочной литературой и сайтами производителей электронных компонентов, автономных преобразователей (в том числе знакомство с меню сайтов, заметками по применению и т.д.) (ОПК-6);

– простейшие физические и математические модели автономных преобразователей и стандартные программные средства компьютерного моделирования (ПК-1);

– применение средств автоматизации проектирования для расчета схем и автономных преобразователей (ПК-5);

– монтаж, испытания и сдачу в эксплуатацию опытных образцов автономных преобразователей (ПК-14);

уметь:

– решать задачи анализа и расчета электронных компонентов, цепей и автономных преобразователей (ОПК-3);

– использовать математические приемы обработки и представления экспериментальных данных при измерении характеристик автономных преобразователей (ОПК-5);

– работать с необходимой для расчетов автономных преобразователей информацией о параметрах электронных компонентов, пользоваться справочной литературой и сетью Интернет для поиска информации о параметрах и характеристиках компонентов; выбирать компоненты по главным и критическим параметрам и характеристикам; сравнивать компоненты, выбирая оптимальные по совокупности качеств (ОПК-6);

– строить модели узлов и автономных преобразователей, осуществлять их моделирование стандартными компьютерными средствами (ПК-1);

– производить расчет и проектирование узлов и автономных преобразователей с использованием средств автоматизации проектирования (ПК-5);

– производить монтаж, испытывать и сдавать в эксплуатацию опытные образцы автономных преобразователей (ПК-14);

владеть:

- методами анализа и расчета автономных преобразователей (ОПК-3);

– методами математических приемов обработки и представления экспериментальных данных при измерении характеристик автономных преобразователей (ОПК-5);

– навыками использования справочной литературы и сети Интернет для поиска необходимой для расчетов автономных преобразователей информации (ОПК-6);

– современными программными средствами моделирования базовых автономных преобразователей и процессов их работы (ПК-1);

– навыками расчета и проектирования автономных преобразователей в соответствии с техническим заданием с использованием средств автоматизации проектирования (ПК-5);

– навыками монтажа, испытаний и сдачу в эксплуатацию опытных образцов автономных преобразователей (ПК-14).

ОБЩИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО РАБОТЕ НАД ДИСЦИПЛИНОЙ «АВТОНОМНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ»

Работа студента над дисциплиной состоит из следующих обязательных составляющих: аудиторная работа на лекциях, практические занятия, самостоятельное изучение разделов дисциплины с использованием конспекта лекций, учебников и учебных пособий с последующей самопроверкой и решением типовых заданий; индивидуальные очные или письменные консультации; сдача зачета по всей дисциплине.

САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА НАД КНИГОЙ

Изучение дисциплины нужно начинать с рассмотрения ее содержания по программе. После этого следует ознакомиться с вопросами к каждому разделу, их последовательностью, а затем приступить к изучению раздела. В ходе изучения лекционного материала каждого из разделов необходимо составлять по каждому вопросу краткий конспект, в котором отражаются основные составляющие вопроса: гипотезы, понятия, теоремы и их доказательства, определения и термины.

САМОПРОВЕРКА

Завершив изучение очередной части лекционного материала или вопросов раздела программы дисциплины для самостоятельного изучения, следует ответить на вопросы для самопроверки, не обращаясь к учебным материалам. Кроме того, для эффективной подготовки к сдаче зачета необходимо выполнить самостоятельное краткое конспектирование, не используя при этом материалов конспекта лекций или учебной литературы. В таком кратком конспекте необходимо отразить основные определения и понятия раздела. Затруднения в составлении краткого конспекта свидетельствуют о недостаточной проработке материала соответствующего раздела и необходимости его повторного изучения.

Полное изучение вопросов каждого предыдущего раздела и выполнение самопроверки дает возможность с большей эффективностью изучать следующие разделы программы дисциплины и в итоге лучше систематизировать изучаемый материал.

ВЫПОЛНЕНИЕ УПРАЖНЕНИЙ И РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ

Полноценное освоение теоретического материала и получение навыков практического применения автономных преобразователей возможно только выполнением упражнений и решением типовых задач в конце каждого раздела программы дисциплины.

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА

Дисциплина «Автономные преобразователи» имеет ярко выраженную практическую направленность и прикладную ценность. Получение практических навыков применения автономных преобразователей во многом связано с целенаправленной работой над типовыми прикладными задачами, которые предлагаются студентам в качестве заданий контрольной работы. Решение этих задач должно выполняться систематично в ходе семестра по мере изучения основных разделов дисциплины с учетом приобретенных теоретических сведений.

Задания должны выполняться самостоятельно, поскольку являются одним из средств контроля за эффективностью процесса обучения и полнотой освоения материала.

КОНСУЛЬТАЦИИ

В ходе изучения теоретических разделов, в частности, при работе над материалами конспекта лекций у студентов могут возникнуть затруднения в понимании некоторых наиболее сложных вопросов. В этом случае следует обратиться за консультациями к преподавателю. Для получения полноценных консультаций обучающийся должен в развернутом виде, в устной или письменной форме, сформулировать суть вопросов, которые вызывают затруднения, указав при этом место в конспекте лекций или ссылку на внешний литературный источник.

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

Лабораторный практикум необходим для более глубокого изучения дисциплины, закрепления теоретических знаний и практических умений. Лабораторные работы выполняются по расписанию в лабораториях кафедры «Промышленная электроника» во время лабораторно-экзаменационной сессии.

ЛЕКЦИИ

Для студентов заочной формы обучения в период установочной или лабораторно-экзаменационной сессии читаются обзорные лекции, материал которых акцентирует внимание на наиболее важных темах каждого из разделов дисциплины. На установочных лекциях рассматриваются наиболее сложные вопросы, как правило, вызывающие затруднения у большинства студентов при самостоятельном изучении.

ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ

Для более глубокого изучения дисциплины, получения навыков анализа и расчета схем проводятся практические занятия.

ИТОГОВЫЙ ЗАЧЕТ

К сдаче зачета по дисциплине «Автономные преобразователи» допускаются студенты, имеющие зачтенную контрольную работу и зачет по практическим и лабораторным занятиям.

ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ «АВТОНОМНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ»

1. Структура дисциплины

Семестр	Форма промежуточной аттестации (З, Э)	КСР (К, Р, РГР, эссе, КР, КП)	Часы учебных занятий						Примечания
			Всего	Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	Самостоятельная работа	из них, проводимые в интерактивной форме	
9	З	К	108	4	8	4	91		

2. Содержание разделов дисциплины

Раздел 1. Элементная база автономных преобразователей

Силовые полупроводниковые ключи. Электрические конденсаторы. Резисторы. Индуктивности.

Раздел 2. Преобразователи постоянного тока в постоянный

Нереверсивный импульсный преобразователь постоянного тока (НИППТ) понижающего типа. НИППТ с рекуперацией энергии. НИППТ повышающего типа. Многофазный ИППТ. ИППТ с трансформаторной связью. ИППТ повышающе-понижающего типа. Преобразователь Кука. Прямоходовый преобразователь. Обратноходовый преобразователь. Реверсивный ИППТ. Несимметричный способ управления реверсивным ИППТ. Поочередный способ управления реверсивным ИППТ.

Раздел 3. Инверторы тока

Параллельные инверторы тока. Однофазный мостовой инвертор тока с отсекающими вентилями. Однофазный параллельный инвертор тока со средней точкой. Однофазный инвертор со средней точкой с отсекающими венти-

лями. Трехфазный мостовой инвертор тока. Последовательный инвертор тока. Последовательно-параллельный инвертор тока.

Раздел 4. Резонансные инверторы

Полумостовая схема резонансного инвертора тока. Режимы работы полумостовой схемы резонансного инвертора тока. Характеристики основных зависимостей последовательного резонансного инвертора.

Раздел 5. Инверторы напряжения

Однофазный инвертор напряжения. Однофазный мостовой инвертор напряжения с отсекающими вентилями. Однофазный инвертор напряжения со средней точкой и отсекающими вентилями. Трехфазный мостовой инвертор напряжения с отсекающими вентилями. Инвертор напряжения с двухступенчатой коммутацией. Широтно-импульсная модуляция первого рода. Широтно-импульсная модуляция второго рода.

3. Содержание лекций

Студентам заочной формы обучения читаются установочные лекции обзорного характера по основным разделам дисциплины в объеме 8 часов.

Лекция 1. Основные понятия преобразователей постоянного тока. Нереверсивные импульсные преобразователи постоянного тока. Реверсивные импульсные преобразователи постоянного тока (2 часа).

Лекция 2. Принципы построения автономных инверторов. Схемы для коммутации тиристоров (2 часа).

Лекция 3. Параллельные инверторы тока. Последовательные инверторы тока. Последовательно-параллельные инверторы тока (2 часа).

Лекция 4. Резонансные инверторы. Инверторы напряжения (2 часа).

4. Содержание практических занятий

Практическое занятие 1. Преобразователи постоянного тока в постоянный (2 часа).

Практическое занятие 2. Инверторы тока (2 часа).

Практическое занятие 3. Резонансные инверторы (2 часа).

Практическое занятие 4. Инверторы напряжения (2 часа).

5. Содержание лабораторных занятий

Лабораторная работа выполняется в объеме 4 часов аудиторных занятий.

Лабораторная работа. Автономные инверторы тока и резонансные инверторы.

6. Учебно-методическое обеспечение дисциплины

Основная

1. Розанов Ю.К. Силовая электроника: учебник для вузов / Ю.К. Розанов, М.В. Рябчицкий, А.А. Кваснюк. – М.: Издательский дом МЭИ, 2007. – 632 с.

Дополнительная

2. Петрович В.П. Силовые преобразователи электрической энергии: учеб. пособие / В.П. Петрович, А.В. Воронина, А.В. Глазачев. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. – 240 с.

3. Попков О.З. Основы преобразовательной техники: учеб. пособие для вузов / О.З. Попков. – М.: Издательский дом МЭИ, 2007. – 200 с.

4. Силовая электроника: Примеры и расчеты / Ф.Чаки и др.; пер. с англ. – М.: Энергоиздат, 1982. – 384 с.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ИЗУЧЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ «АВТОНОМНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ»

Для облегчения самостоятельного изучения дисциплины ниже приводится рекомендуемая литература по разделам программы, а также перечень вопросов для самоконтроля. Номер литературы, указанный в квадратных скобках, соответствует его номеру в списке литературы.

Раздел 1. Элементная база автономных преобразователей

Литература:

[1] гл. 1, с. 31-93;

[2] гл. 1. С. 7-52.

Вопросы для самопроверки

1. Опишите принципы построения управления силовыми ключами.
2. Опишите силовой ключ на основе биполярного транзистора.
3. Опишите силовой ключ на основе *MOSFET*.
4. Опишите силовой ключ на основе *IGBT*.
5. Опишите силовой ключ на основе *SCR* (однооперационного тиристора).
6. Опишите силовой ключ на основе *GTO*-тиристора (запираемого тиристора).
7. Найдите статические и динамические параметры силовых ключей.
8. Опишите особенности параллельного соединения силовых полупроводниковых ключей.
9. Опишите особенности последовательного соединения силовых полупроводниковых ключей.
10. Что такое область безопасной работы силового полупроводникового ключа?
11. Объясните основные параметры постоянных резисторов.
12. Опишите маркировку современных постоянных резисторов.
13. Перечислите виды функциональных характеристик переменных резисторов.
14. Опишите виды включения переменных резисторов.
15. Опишите влияние высших гармоник напряжения на работу конденсатора.
16. Опишите основные технические параметры, характеризующие режим работы конденсатора.
17. Объясните причину возникновения потоков рассеяния в индуктивных элементах.
18. Объясните влияние частоты на массогабаритные показатели индуктивных элементов.
19. Разъясните влияние высших гармоник на работу индуктивных элементов.
20. Опишите влияние постоянного подмагничивания на работу индуктивных элементов.

Раздел 2. Преобразователи постоянного тока в постоянный

Литература:
[1] гл. 6, с. 296-328;
[2] гл. 6, с. 166-187;
[3] гл. 15, с. 183-188.

Вопросы для самопроверки

1. Поясните принцип работы простейшего импульсного преобразователя постоянного тока (ИППТ).

2. Объясните особенности работы ИППТ на двигательную нагрузку.

3. Поясните процесс рекуперативного торможения двигателя в нереверсивном ИППТ.

4.. Объясните принцип действия ИППТ повышающего типа.

5. Объясните особенности работы многофазных ИППТ.

6. Особенности ИППТ с трансформаторной связью.

7. Опишите ИППТ повышающе-понижающего типа.

8. Что такое схема Кука и назовите ее основные особенности?

9. Разъясните схему преобразователя тока *SEPIC* и ее основные особенности.

10. Опишите ИППТ с трансформаторной развязкой входа и выхода, прямоходовый преобразователь. Назовите их основные особенности.

11. Что такое обратноходовый преобразователь? Его основные особенности.

12. Объясните принцип симметричного управления реверсивным ИППТ.

13. Объясните принцип несимметричного управления реверсивным ИППТ.

14. Объясните принцип поочередного управления реверсивным ИППТ.

Раздел 3. Инверторы тока

Литература:
[1] гл. 7, с. 370-378;
[2] гл. 4, с. 130-141;
[3] гл. 13, с. 167-174.

Вопросы для самопроверки

1. Назовите отличительные особенности автономного инвертора тока.
2. Почему параллельный инвертор тока неустойчиво работает с большой нагрузкой?
3. Почему последовательный инвертор тока неустойчиво работает с малой нагрузкой?
4. Объясните вид внешней характеристики параллельного инвертора тока.
5. Зачем в схемы автономных инверторов тока иногда вводят отсекающие вентили?

Раздел 4. Резонансные инверторы

Литература:
[1] гл. 9, с. 461-483;
[2] гл. 4, с. 141-144;
[3] гл. 14, с. 175-182.

Вопросы для самопроверки

1. Что такое «резонансные инверторы»?
2. Назовите отличительные особенности автономных резонансных инверторов.

Раздел 5. Инверторы напряжения

Литература:
[1] гл. 7. С. 349-364;
[2] гл. 4. С. 144-155;
[3] гл. 12, с. 132-164;
[4] гл. 5, с. 181-186.

Вопросы для самопроверки

1. Опишите отличительные особенности автономного инвертора напряжения.

2. Объясните назначения вентилей обратного тока в автономных инверторах напряжения.

3. Зачем вентили обратного тока в автономных инверторах напряжения иногда делают управляемыми?

4. Опишите способы построения коммутационных узлов в автономных инверторах.

5. Опишите способы регулирования выходного напряжения автономных инверторов.

6. Что такое широтно-импульсное регулирование и широтно-импульсная модуляция?

ВАРИАНТЫ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

Каждый студент выполняет контрольную работу в соответствии со своим вариантом (смотри таблицу). Номер варианта обозначен последней цифрой номера зачетной книжки.

Номер варианта	Номера заданий		
1	1	11	21
2	2	12	22
3	3	13	23
4	4	14	24
5	5	15	25
6	6	16	26
7	7	17	27
8	8	18	28
9	9	19	29
0	10	20	30

КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ

1. Однофазный автономный инвертор напряжения (АИН) собран по схеме, представленной на рис. 1. К активно-индуктивной нагрузке $R_{\text{н}} = 10$ Ом, $L_{\text{н}} = 0{,}064$ Гн приложено постоянное напряжение источника питания $E_d = 100$ В. Частота выходного напряжения АИН $f_{\text{н}} = 50$ Гц. Определите максимальное значение тока нагрузки $I_{\text{н max}}$.

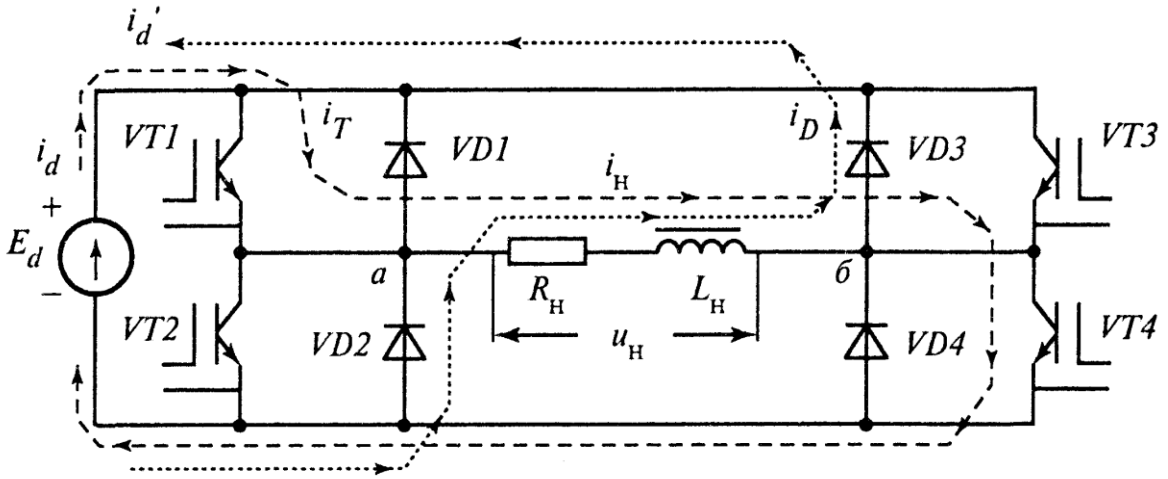

Рис. 1. Принципиальная схема однофазного мостового АИН

2. Однофазный автономный инвертор напряжения (АИН) собран по схеме, представленной на рис. 1. К активно-индуктивной нагрузке $R_н = 10$ Ом, $L_н = 0{,}064$ Гн приложено постоянное напряжение источника питания $E_d = 100$ В. Частота выходного напряжения АИН $f_н = 50$ Гц. Определите минимальное значение тока нагрузки $I_{н\,min}$.

3. Однофазный АИН собран по схеме, представленной на рис. 1. Используя метод основной гармоники (считая, что потребляемый от инвертора ток имеет синусоидальную форму), рассчитайте, на какие средние значения токов должны быть выбраны силовые транзисторы (I_{VT}), обратные диоды (I_{VD}). Определите среднее значение тока, потребляемого от источника постоянного напряжения E_d, максимальное значение напряжения, прикладываемого к транзисторам $U_{VT\,max}$ и обратным диодам $U_{VD\,max}$, если действующее значение выходного тока инвертора $I_{вых} = 10$ А, угол сдвига между током и напряжением φ = 30° и напряжение источника питания $E_d = 100$ В.

4. Однофазный АИН собран по схеме, представленной на рис. 1, и формирует кривую выходного напряжения в виде меандра. Определите необходимое значение напряжения источника питания E_d и E_d' для получения действующего значения напряжения на нагрузке: а) $U_н = 100$ В; б) $U_н' = 50$ В.

5. Однофазный АИН собран по схеме, представленной на рис. 1, и формирует кривую выходного напряжения в виде меандра. Определите необходимое значение коэффициента трансформации выходного трансформатора (рис. 2) $K_т$ для получения действующего значения на-

пряжения на нагрузке $U_{\text{н}} = 100\,\text{В}$, если напряжение источника питания $E_d = 50\,\text{В}$.

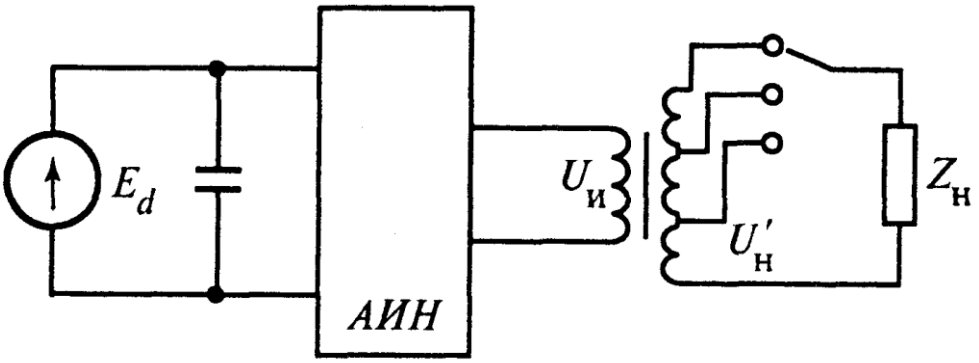

Рис. 2. АИН с трансформаторным выходом

6. Однофазный АИН собран по схеме, представленной на рис. 3. Регулирование выходного напряжения осуществляется методом ШИР (широтно-импульсное регулирование). Определите значение угла регулирования α для уменьшения значения выходного напряжения в 2 раза по сравнению с максимально возможным значением.

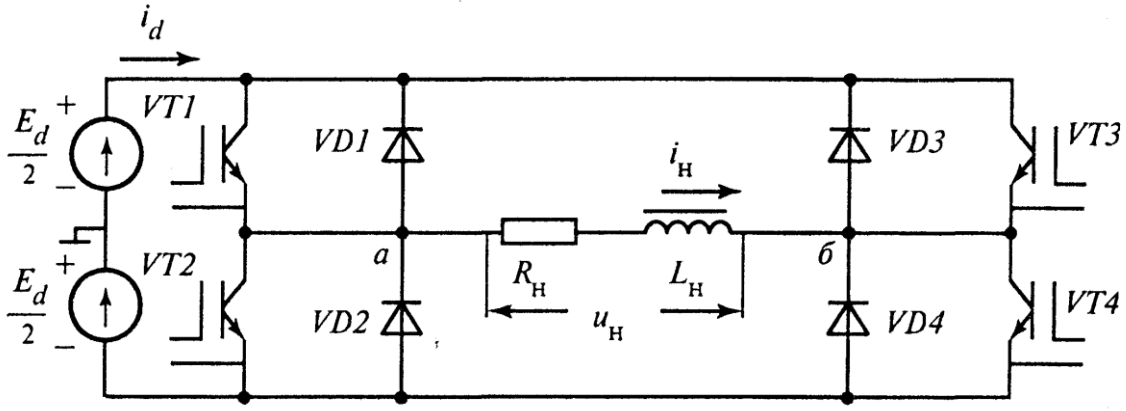

Рис. 3. АИН с широтно-импульсным регулированием

7. Однофазный АИН собран по схеме, представленной на рис. 3. Регулирование выходного напряжения осуществляется методом ШИР. Определите значение угла регулирования α для уменьшения значения выходного напряжения в 3 раза по сравнению с максимально возможным значением.

8. На выходе автономного инвертора напряжения поставлен *LC*-фильтр (рис. 4). Определите: а) параметры *LC*-фильтра, если $R_{\text{н}} = 100\,\text{Ом}$, $\rho = R_{\text{н}}$, $f_{\text{н}} = 50\,\text{Гц}$; б) коэффициент передачи основной гармоники $K_{\text{ф}(1)}$ и коэффициенты передачи третьей $K_{\text{ф}(3)}$ и пятой

$K_{ф(5)}$ гармоники.

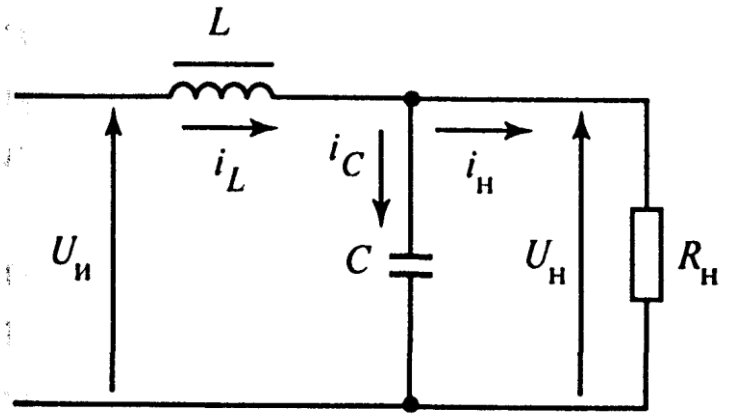

Рис. 4. *LC*- фильтр

9. В схеме, представленной на рис. 5, напряжение питания $E_d = 100$ В, $R_н = 10$ Ом, частота выходного напряжения f = 1000 Гц, в схеме используются тиристоры с временем восстановления $t_{восст} = 100$ мкс. Определите: а) необходимое значение емкости коммутирующего конденсатора $C_к$; б) значение напряжения на нагрузке $U_н$; в) действующее значение тока нагрузки $I_н$; г) значение тока, протекающего через коммутирующий конденсатор, $I_с$; д) значение выходного тока инвертора I_i; е) ток, отбираемый от источника питания I_d; ж) мощность источника питания P_d.

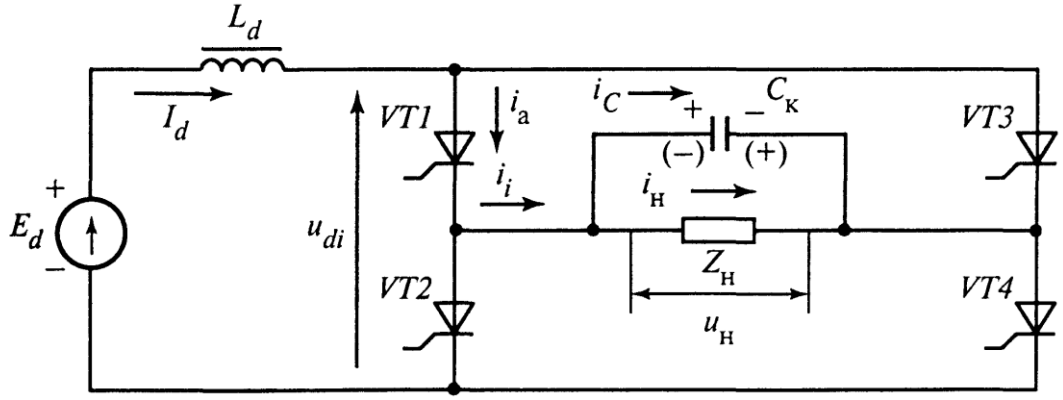

Рис. 5. Однофазный автономный инвертор тока

10. Напряжение источника питания ИРПН (импульсный регулятор постоянного напряжения) первого типа (рис. 6) $E_d = 12$ В и изменяется от E_d до $0{,}8E_d$, ток нагрузки $I_н = 1$ А, напряжение на нагрузке $U_н = 5$ В, частота переключения ключа *K* f = 1000 Гц. Определите: 1) изменение коэффициента

заполнения $\gamma_{min} - \gamma_{max}$ для получения стабильного напряжения на нагрузке; 2) время импульса $t_и$ и время паузы $t_п$ при $E_d = 12$ В; 3) необходимое значение индуктивности L, обеспечивающее колебания тока нагрузки $I_{max} - I_{min} = 0{,}01 I_н$ при $E_d = 12$ В.

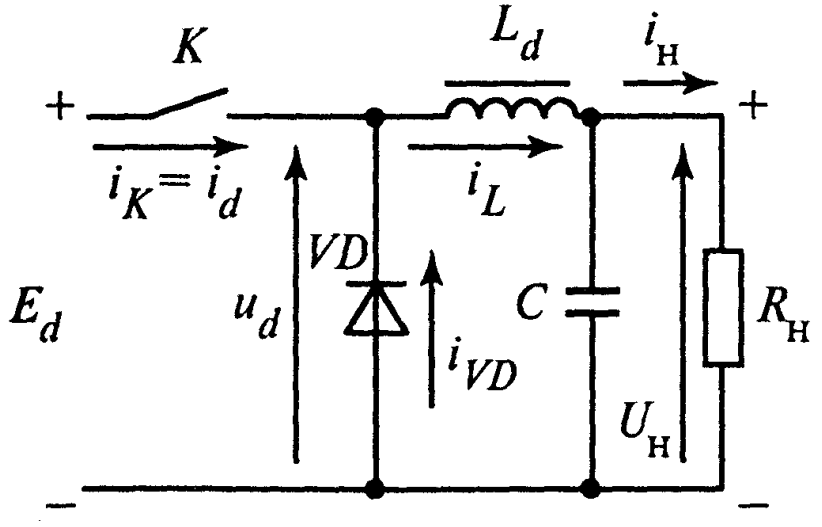

Рис. 6. Импульсный регулятор постоянного напряжения первого типа

11. Напряжение источника питания ИРПН второго типа (рис. 7) $E_d = 12$ В, сопротивление нагрузки $R_н = 24$ Ом, напряжение на нагрузке $U_н = 24$ В, частота переключения ключа K f = 1000 Гц. Определите: 1) коэффициент заполнения γ; 2) среднее значение тока ключа $I_к$ и среднее значение тока диода I_{vd}, пренебрегая пульсациями тока в катушке индуктивности и нагрузке.

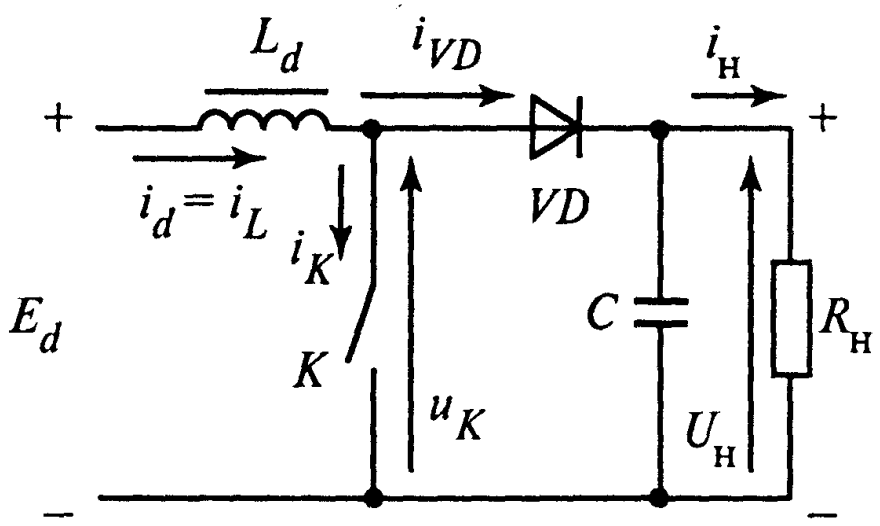

Рис. 7. Импульсный регулятор постоянного напряжения второго типа

12. В схеме идеального однофазного инвертора (рис. 8) тиристоры заменены соединенными последовательно диодами и ключами. Это позволяет не рассматривать коммутационные емкость $C_к$ и индуктивность $L_к$. Нагрузкой инвертора является реактор с индуктивностью L. Постройте кривые токов $i_d, i, i_{д1}, i_{д2}, i_{д3}, i_{д4}, i_{т1}, i_{т2}, i_{т3}, i_{т4}$ и напряжения u, вычислите среднее значение тока тиристора $I_{т.ср}$ и среднее значение тока диода $I_{д.ср}$, если $E_d = 10$ В, $L = 1$ мГн, $f = 100$ Гц.

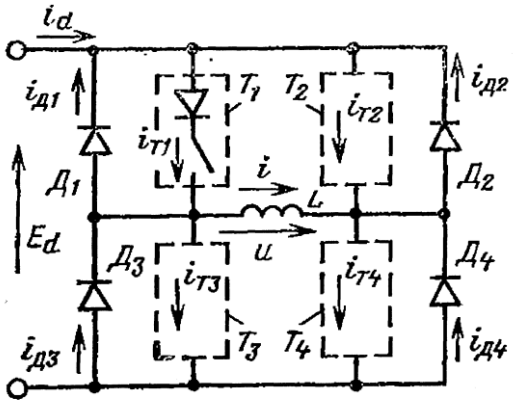

Рис. 8. Схема идеального однофазного мостового инвертора

13. На рис. 9 показана схема однофазного инвертора, в которой тиристоры заменены диодами и ключами, соединенными последовательно. Нагрузка состоит из параллельно соединенных резистора и реактора. Постройте кривые токов $i_d, i, i_{д1}, i_{д2}, i_{д3}, i_{д4}, i_{т1}, i_{т2}, i_{т3}, i_{т4}$ и напряжения u, найдите средние значения токов тиристоров и диодов, если $E_d = 10$ В, $L = 1$ мГн, $f = 100$ Гц и сопротивление: а) $R = 1$ Ом, б) $R = 0{,}4$ Ом, в) $R = 0{,}1$ Ом.

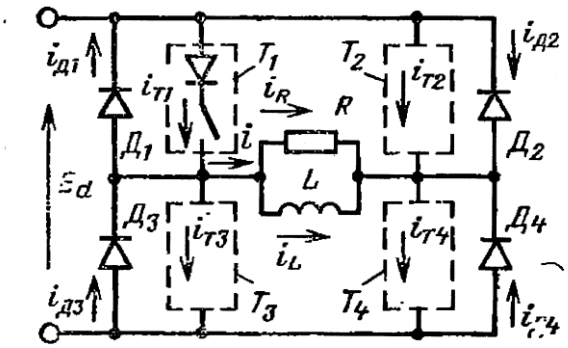

Рис. 9. Схема идеального однофазного мостового инвертора

14. На рис. 10 показана схема идеального однофазного инвертора, в которой тиристоры заменены диодами и ключами, соединенными последовательно. Нагрузка состоит из активного сопротивления R и индуктивности L, соединенных последовательно. Постройте кривые токов $i_d, i, i_{д1}, i_{д2}, i_{д3}, i_{д4}, i_{т1}, i_{т2}, i_{т3}, i_{т4}$ и напряжения u, вычислите средние значе-

ния токов тиристоров и диодов, если $E_d = 10$ В, $L = 1$ мГн, $R = 0{,}4$ Ом и $f = 100$ Гц.

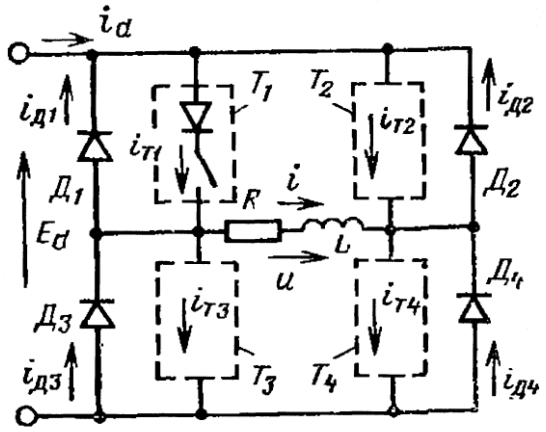

Рис. 10. Схема идеального однофазного мостового инвертора

15. В схеме идеального однофазного инвертора, представленной на рис. 11, тиристоры заменены диодами и ключами, соединенными последовательно. Инвертор питает чисто индуктивную нагрузку через трансформатор. Постройте кривые токов i_d, i, $i_{д1}$, $i_{д2}$, i_{11}, i_{12} и напряжения u, найдите средние значения токов диодов и тиристоров, если $E_d = 10$ В, $L = 1$ мГн, $f = 100$ Гц. Трансформатор идеальный, его коэффициент трансформации, отнесенный к одной полуобмотке, равен 1:1.

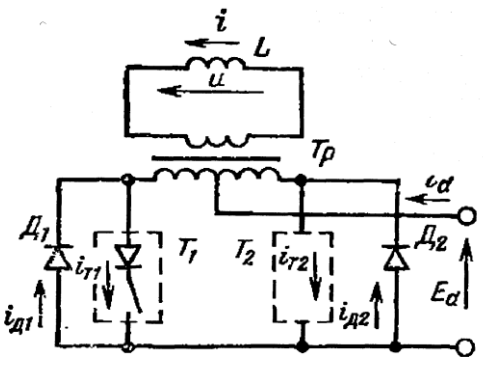

Рис. 11. Схема идеального однофазного инвертора

16. В идеализированной схеме однофазного инвертора, показанной на рис. 12, тиристоры заменены ключами и диодами, соединенными последовательно. Нагрузка состоит из индуктивности L. Постройте кривые токов i_{d1}, i_{d2}, i, $i_{д1}$, $i_{д2}$, $i_{т1}$, $i_{т2}$ и напряжения u, вычислите средние значения токов тиристоров и диодов, если $E_d = 10$ В, $L = 1$ мГн, $f = 100$ Гц.

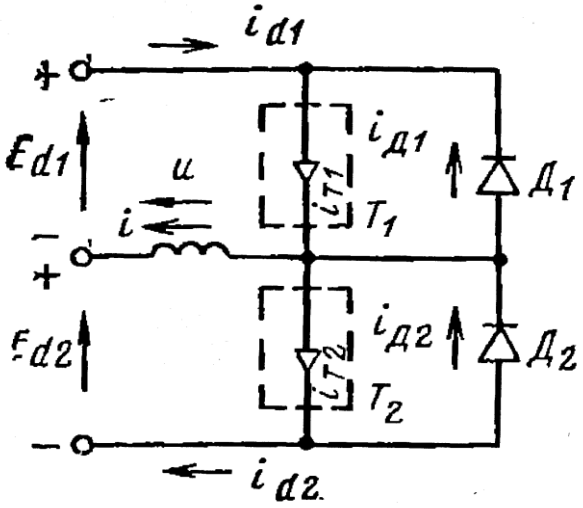

Рис. 12. Схема идеального однофазного инвертора с двумя источниками питания

17. В схеме идеального трехфазного инвертора, показанной на рис. 13, тиристоры заменены диодами и ключами, соединенными последовательно. Постройте кривые фазных напряжений на нагрузке, токов вентилей и источника питания и вычислите средние значения токов вентилей, если $E_d = 10$ В, $f = 100$ Гц и а) нагрузка чисто активная, $R_1 = R_2 = R_3 = R = 1$ Ом, б) нагрузка чисто индуктивная, $L_1 = L_2 = L_3 = L = 1$ мГн. Каждый ключ включается на один полупериод.

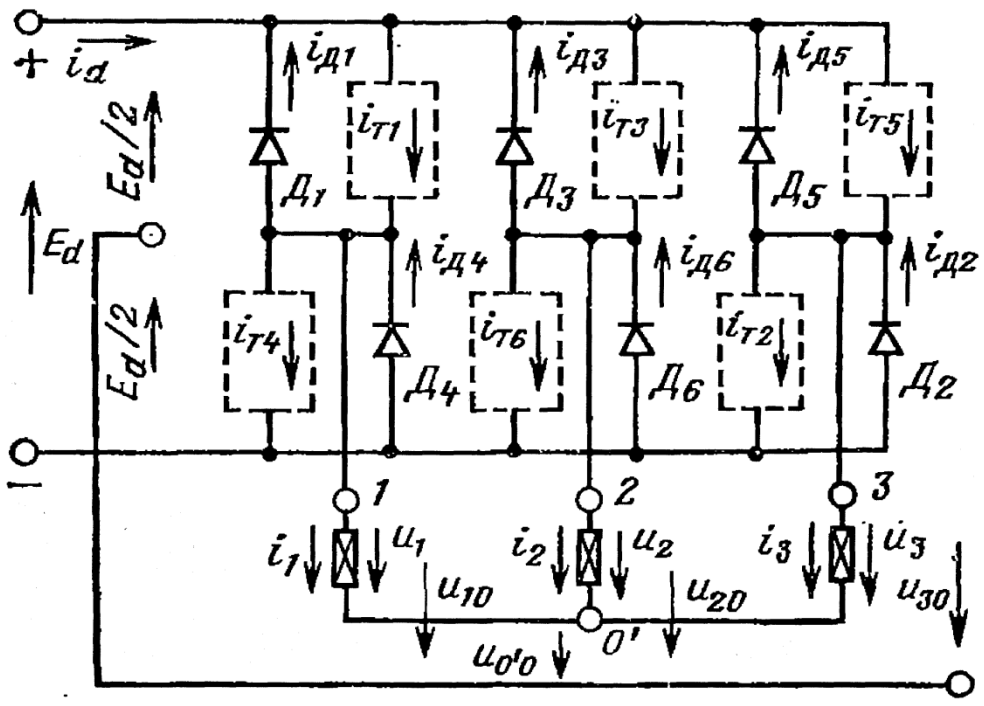

Рис. 13. Схема идеального трехфазного инвертора

18. Выводы двух одинаковых однофазных инверторов соединены последовательно с целью регулирования напряжения (рис. 14). Требуется ис-

следовать условия работы схемы, если отдельные инверторы управляются так, что их выходные напряжения сдвинуты на 90 градусов одно относительно другого. Постройте кривые напряжений u, u_1 и u_2 и токов $i_д, i_т, i_d, i_{d1}$ и i_{d2}, найдите средние значения токов, если $E_d = 10$ В, $f = 100$ Гц, а) нагрузка R = 1 Ом, б) нагрузка L = 1 мГн.

Коэффициент трансформации, отнесенный к одной полуобмотке, равен 1:1. Вентили и трансформатор идеальные.

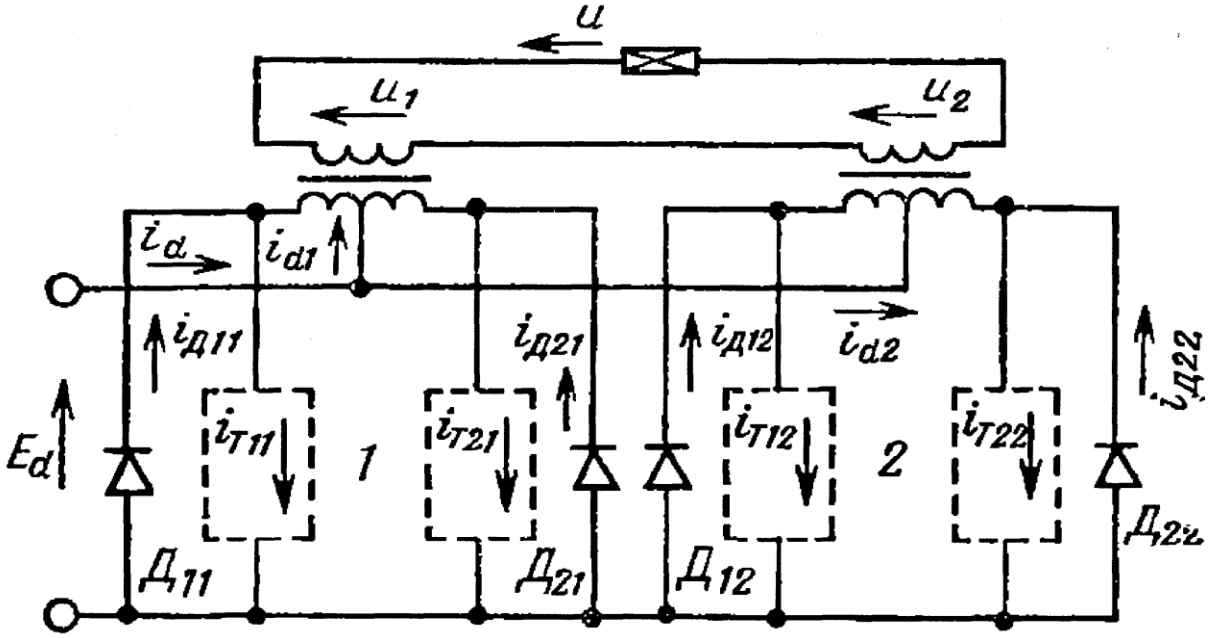

Рис. 14. Схема двух идеальных однофазных последовательно соединенных инверторов

19. На пары тиристоров $T_1 - T_4$ и $T_2 - T_3$ однофазного мостового инвертора подаются управляющие импульсы со сдвигом по фазе на 90 градусов с целью регулирования напряжения. Тиристоры заменены диодами и ключами (рис. 15). Постройте кривые напряжения u и токов $i_д, i_т$ и i_d и найдите средние значения токов, если $E_d = 10$ В, $f = 100$ Гц и нагрузка а) R = 1 Ом, б) L = 1 мГн. Вентили идеальные.

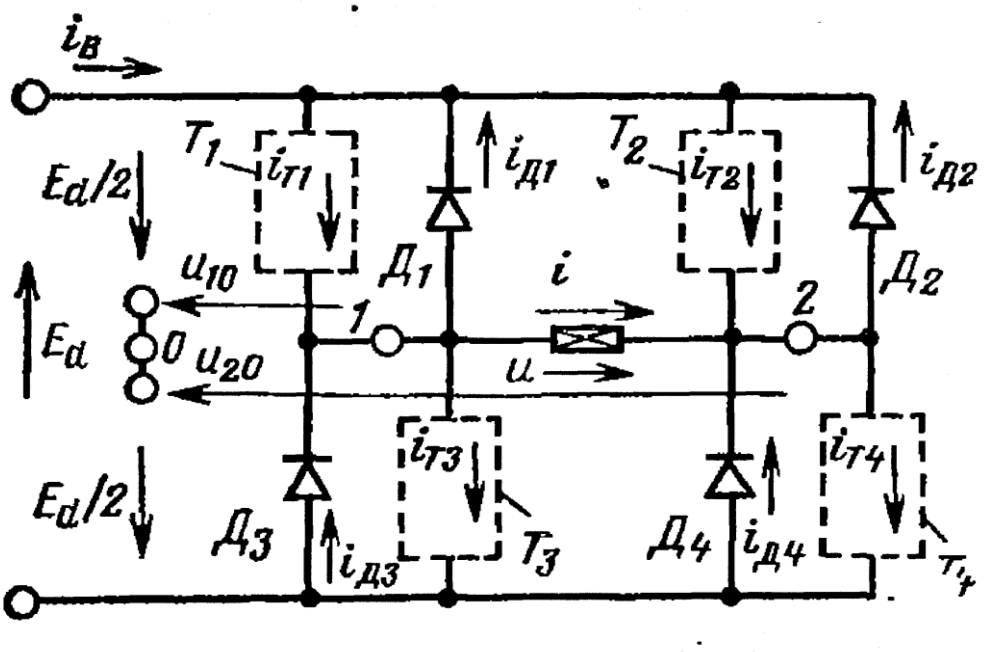

Рис. 15. Схема идеального однофазного мостового инвертора

20. Постройте кривые напряжения u и тока i_d в однофазном мостовом инверторе (рис. 16), не имеющем нагрузки, если $L_к = 1$ мГн, $f = 100$ Гц и $C_к = 1$ мкФ. Вентили идеальные.

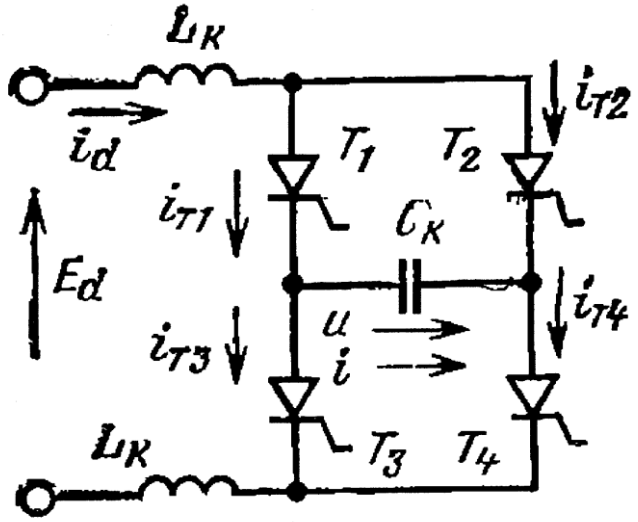

Рис. 16. Схема ненагруженного однофазного мостового инвертора без обратных диодов

21. Исключите из схемы ненагруженного однофазного мостового инвертора без обратных диодов одну индуктивность $L_к$ (Рис. 16). Постройте кривые напряжения u и тока i_d для этой схемы, если $L_к = 1$ мГн, $f = 100$ Гц и $C_к = 1$ мкФ. Вентили идеальные.

22. Постройте кривые напряжения u и тока i_L ненагруженного однофазного мостового инвертора (рис. 17), если $E_d = 10$ В, $L_к = 1$ мГн, $f = 100$ Гц и $C_к = 0{,}1$ мкФ. Вентили идеальные.

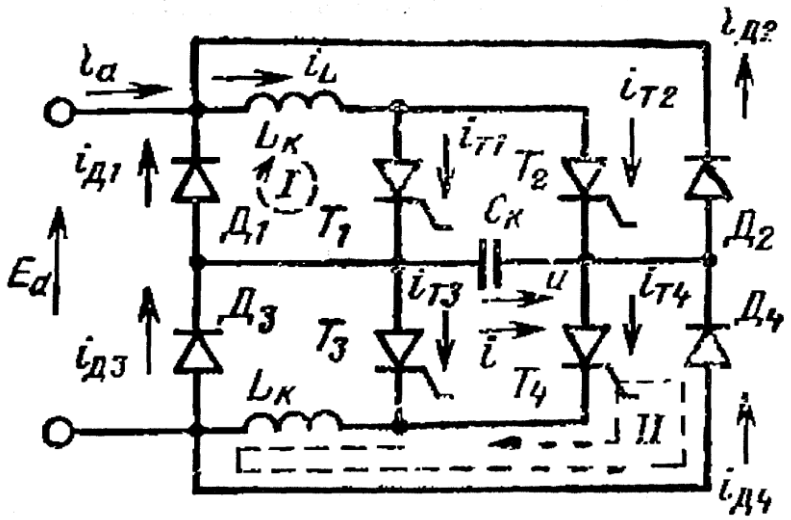

Рис. 17. Схема ненагруженного однофазного мостового инвертора

23. Определите потери при коммутации ненагруженного мостового инвертора (рис. 18), если циркулирующий ток затухает до нуля к концу каждого полупериода и $E_d = 10$ В, $L_к = 1$ мГн, $f = 100$ Гц и $C_к = 1$ мкФ. Вентили идеальные. Определите наименьшее значение сопротивления, при котором будет происходить затухание.

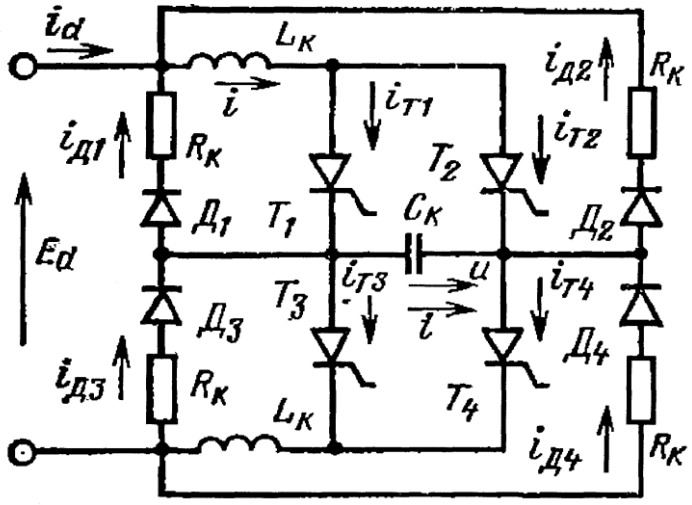

Рис. 18. Схема однофазного мостового инвертора с резисторами, демпфирующими циркулирующие токи

24. Однофазный мостовой инвертор питает нагрузку с сопротивлением R = 1 Ом (рис. 19). Время восстановления запирающей способности тиристора $t_{вос}$ = 50 мкс, допустимый максимальный ток $I_{макс.к}$ = 20 А. Определите параметры элементов цепи коммутации, если $E_d = 10$ В, $f = 10$ Гц. Про-

верьте, удовлетворительно ли работает цепь коммутации, когда обратные диоды ограничивают напряжение. Проверку затухания тока произведите для случая, когда падения напряжения на обратных диодах и тиристорах не зависят от тока и равны:

$$\Delta U_{\text{т}} = \Delta U_{\text{д}} = 1\,\text{В}.$$

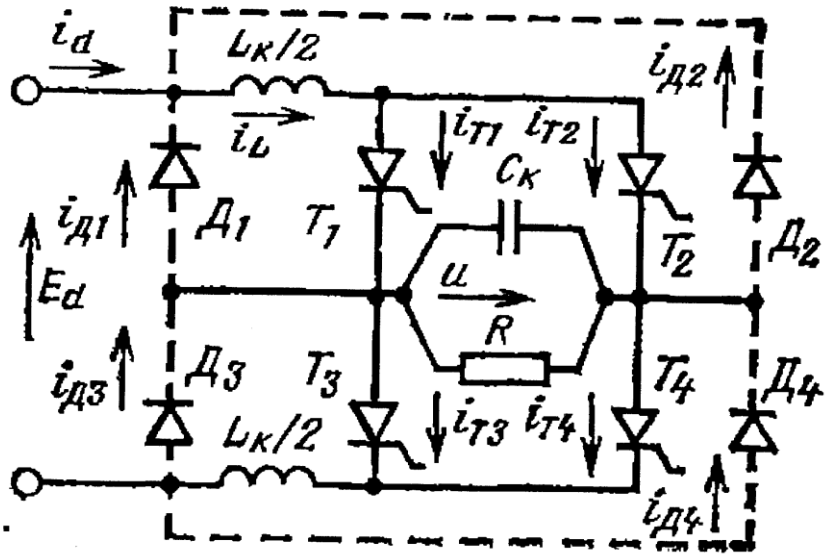

Рис. 19. Схема однофазного мостового инвертора, работающего на активную нагрузку

25. Однофазный мостовой инвертор с обратными диодами работает на постоянную нагрузку L = 10 мГн. Время восстановления запирающей способности тиристоров $t_{\text{вос}}$ = 50 мкс, а их допустимый максимальный ток $I_{\text{макс.к}}$ = 3,5 А. Определите параметры цепи коммутации при $E_d = 10\,\text{В},\ f = 100\,\text{Гц}.$

Проверьте, обеспечивает ли падение напряжения $\Delta U_{\text{т}} = \Delta U_{\text{д}} = 1\,\text{В}$ на диодах и тиристорах достаточное затухание циркулирующих токов.

26. Инвертор с параллельной схемой выключения тиристоров (рис. 20) работает на нагрузку R = 1 Ом. Коэффициент трансформации трансформатора $k_{\text{тр}} = w_s / w_p = 2,$ время восстановления запирающей способности тиристора $t_{\text{вос}}$ = 25 мкс. Определите параметры цепи коммутации, если максимально допустимый ток тиристоров $I_{\text{макс.к}}$ = 80 А.

Проверьте, достаточны ли напряжения $\Delta U_{\text{т}} = \Delta U_{\text{д}} = 1\,\text{В}$ тиристоров и диодов для затухания циркулирующих токов. Трансформатор идеальный, $E_d = 10\,\text{В},\ f = 100\,\text{Гц}.$

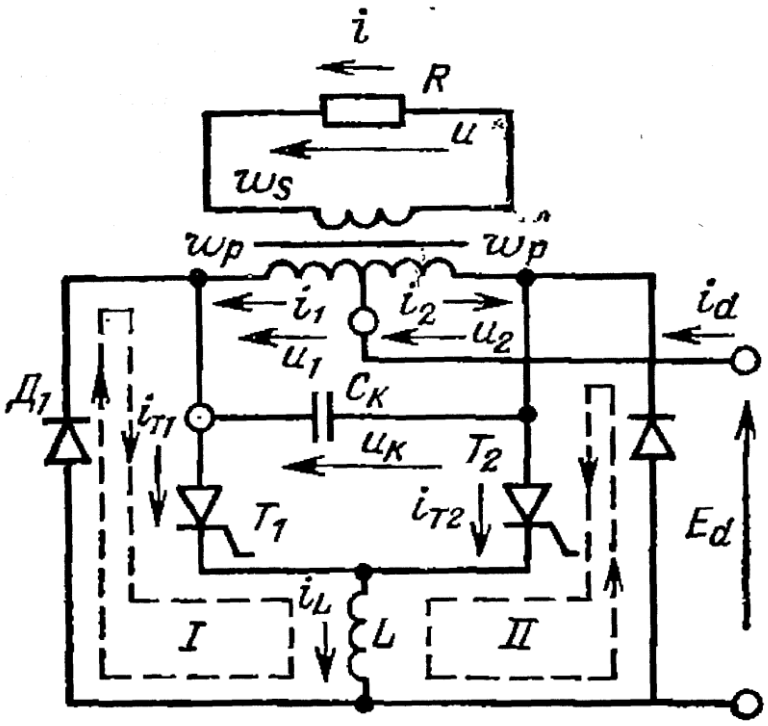

Рис. 20. Схема однофазного инвертора, работающего на активную нагрузку

27. Инвертор с параллельной схемой выключения тиристоров (рис. 21) питает нагрузку, состоящую из последовательно соединенных резистора R = = 10 Ом и индуктивности L = 100 мГн. Коэффициент трансформации трансформатора $k_{\text{тр}} = w_s / w_p = 2$, время восстановления запирающей способности тиристора $t_{\text{вос}}$ = 25 мкс. Определите параметры цепи коммутации, если допустимый максимальный ток тиристоров $I_{\text{макс.к}}$ = 20 А. Проверьте, достаточно ли падение напряжения $\Delta U_{\text{т}} = \Delta U_{\text{д}} = 1\,\text{В}$ на тиристорах и обратных диодах для затухания циркулирующих токов. Трансформатор идеальный; $E_d = 10\,\text{В}$, $f = 100\,\text{Гц}$.

28. Инвертор с параллельной схемой выключения тиристоров (рис. 21) работает на чисто активную нагрузку с сопротивлением R = 20 Ом. Коэффициент трансформации трансформатора $k_{\text{тр}} = 2$, время восстановления запирающей способности тиристора $t_{\text{вос}}$ = 25 мкс. Определите параметры цепи коммутации, если допустимый максимальный ток тиристора $I_{\text{макс.к}}$ = 40 А.

Коэффициент трансформации ответвления трансформатора $k_{\text{отв}} = w'_p / w_p = 0{,}95$. Проверьте, достаточно ли напряжение на этом ответвлении для демпфирования циркулирующего тока. Трансформатор и полупроводниковые элементы идеальные, $E_d = 100\,\text{В}$, $f = 500\,\text{Гц}$.

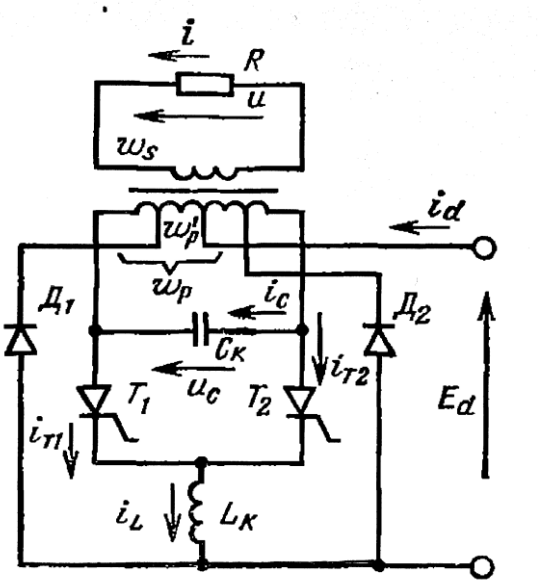

Рис. 21. Однофазный инвертор со схемой выключения тиристоров параллельного типа и обратными диодами, присоединенными к ответвлениям обмотки трансформатора

29. Трехфазный инвертор с последовательной схемой выключения тиристоров (рис. 22) питает индуктивную нагрузку, соединенную в звезду. Определите параметры коммутирующих конденсаторов $C_к$ и индуктивности цепи коммутации $L_к$, если $E_d = 100$ В, $L = 10$ мГн, $f = 500$ Гц и $t_{вос}$ = 50 мкс.

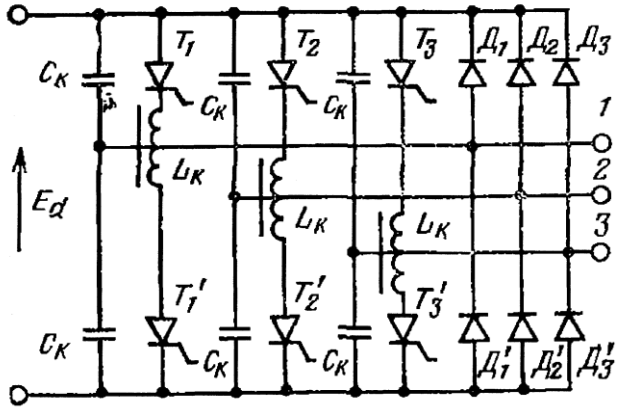

Рис. 22. Трехфазный инвертор со схемой выключения тиристоров последовательного типа

30. Однофазный инвертор со схемой, представленной на рис. 23, питает индуктивную нагрузку с незначительным активным сопротивлением. Тиристоры управляются таким образом, что кривая напряжения на нагрузке соответствует кривой, показанной на рис. 24. Вообще же система управления такого инвертора может обеспечивать коммутации в отдельных ветвях в разные интервалы времени, при этом исключается взаимное влияние коммута-

ций в различных ветвях. Определите параметры цепи коммутации, если $E_d = 10$ В, $L = 1$ мГн, $f = 100$ Гц и $t_{\text{вос}} = 50$ мкс.

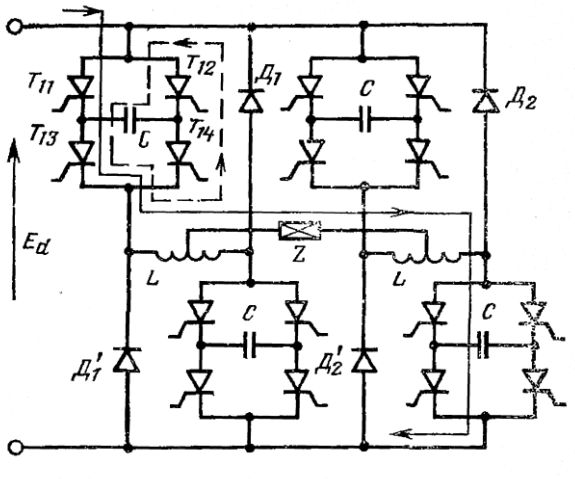

Рис. 23. Однофазный инвертор с раздельным выключением тиристоров

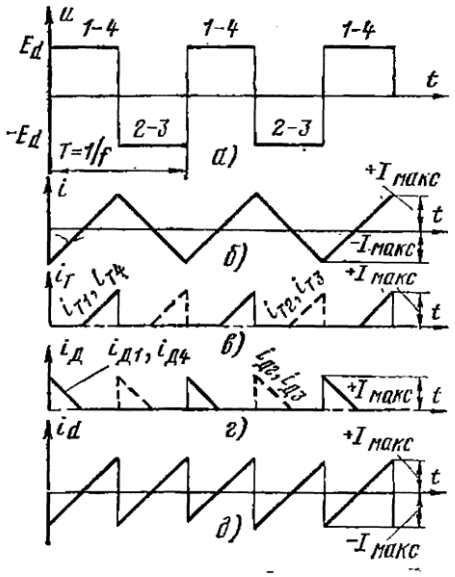

Рис 24. Диаграмма характерных величин в схеме на рис. 8

ПРАВИЛА ВЫПОЛНЕНИЯ И ОФОРМЛЕНИЯ КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ

При выполнении контрольной работы необходимо строго придерживаться указанных ниже правил. Работа, выполненная без соблюдения этих правил, не засчитывается и возвращается студенту для переработки.

1. Каждая контрольная работа должна быть выполнена на отдельной тетради в клетку чернилами любого цвета, кроме красного.

2. Титульный лист контрольной работы оформляется в соответствии с образцом, приведенным в Приложении.

3. В заголовке работы указываются номера задач в том порядке, как они расположены в варианте. При выполнении работы необходимо оставлять поля шириной 4-5 см с правой стороны листа для замечаний преподавателя.

4. В работу должны быть включены все задачи, указанные в задании строго по варианту. Решения задач следует располагать в порядке номеров варианта. Контрольная работа, содержащая не все задачи задания, а также задачи не своего варианта, не засчитывается.

5. Перед решением каждой задачи необходимо полностью выписать ее условие.

6. Решение задач следует излагать подробно и аккуратно, объясняя и мотивируя все действия по ходу решения и делая необходимые чертежи.

7. Срок выполнения контрольной работы составляет 1,5 месяца с момента выдачи задания.

8. После получения проверенной незачтенной работы студент должен исправить все отмеченные преподавателем ошибки и недочеты и выполнить все рекомендации преподавателя. Если преподаватель предлагает внести в решение задач те или иные исправления или дополнения и прислать их для повторной проверки, это необходимо сделать в короткий срок. В случае незачета работы и отсутствия прямого указания преподавателя на то, что студент может ограничиться представлением исправленных решений отдельных задач, вся работа должна быть выполнена заново. При высылаемых исправлениях должна обязательно находиться проверенная работа и замечания на нее. Поэтому рекомендуется при выполнении контрольной работы оставлять в конце тетради несколько чистых листов для всех дополнений в соответствии с указаниями преподавателя. Вносить исправления в сам текст работы после ее проверки запрещается.

9. Зачтенные контрольные работы хранятся на кафедре.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ К ЗАЧЕТУ

1. Опишите однофазный автономный инвертор напряжения (АИН).
2. Найдите гармонический состав кривой выходного напряжения (АИН).
3. Как осуществляется регулирование выходного напряжения АИН (по цепи источника питания, по цепи нагрузки, внутренними средствами)?
4. Объясните улучшение гармонического состава кривой выходного напряжения АИН (выходные фильтры, LC – фильтр).

5. Объясните амплитудную модуляцию в АИН (использование нескольких источников питания).
6. Что такое широтно-импульсная модуляция в АИН?
7. Укажите способы выборочного исключения гармоник из кривой выходного напряжения АИН.
8. Опишите трехфазный АИН.
9. Опишите автономный инвертор тока.
10. Поясните принцип работы автономных резонансных инверторов без обратных диодов.
11. Зачем в автономных резонансных инверторах применяются обратные диоды?
12. Объясните принцип работы импульсного регулятора с последовательным ключом.
13. Опишите импульсный регулятор с параллельным ключом.

Приложение

Образец оформления титульного листа

КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра промышленной электроники и светотехники

Контрольная работа
по дисциплине «Автономные преобразователи»

Выполнил студент _____ _____
Ф.И.О. подпись

Дата_____

Группа_____

Шифр студента_____

Адрес студента _____
_____

Проверил преподаватель ____ _____ _____
Ф.И.О. подпись

Содержание

1. Цель и задачи освоения дисциплины……... 3
2. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины……. 4
3. Общие рекомендации по работе над дисциплиной «Автономные преобразователи»……... 6
4. Программа дисциплины «Автономные преобразователи»…… 9
5. Учебно-методическое обеспечение дисциплины……..… 11
6. Варианты контрольной работы……..….. 14
7. Контрольные задания…….... 15
8. Правила выполнения и оформления контрольных работ…….. 29
9. Контрольные вопросы для подготовки к зачету...…… 30

Учебное издание

АВТОНОМНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ
Учебная программа

Составитель: **Кротов Владимир Иванович**

Кафедра промышленной электроники и светотехники

Редакционная подготовка Е.С. Дремичева
Компьютерная верстка Т.И. Лунченкова

Изд. лиц. ИД № 03480 от 08.12.00. Подписано в печать . . .
Формат 60x84/16. Гарнитура «Times». Вид печати РОМ.
Физ. печ. л. 2,06 Усл. печ. л. 1,92 Уч.-изд. л. 2,12.
Тираж 500 экз. Заказ №

Редакционно-издательский отдел КГЭУ
420066, Казань, Красносельская, 51