

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Блинова Светлана Павловна
Должность: Заместитель директора по учебно-воспитательной работе
Дата подписания: 22.03.2023 05:21:45
Уникальный программный ключ:
1cafd4e102a27ce11a89a2a7ceb20237f5ab5c65

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Норильский государственный индустриальный институт»

Политехнический колледж

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
ДЛЯ СТУДЕНТОВ ЗАОЧНОГО ОТДЕЛЕНИЯ
УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
«ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭЛЕКТРОНИКА»**

для специальности
15.02.07 Автоматизация технологических процессов и производств
(по отраслям)

Методические указания для студентов заочного отделения по учебной дисциплине «Промышленная электроника» разработаны на основе рабочей программы и Федерального государственного образовательного стандарта по специальности среднего профессионального образования 15.02.07 Автоматизация технологических процессов и производств (по отраслям).

Организация-разработчик: Политехнический колледж ФГБОУ ВО «Норильский государственный индустриальный институт»

Разработчик:
Петухова А.В. - преподаватель

Рассмотрена на заседании цикловой комиссии автоматизации технологических процессов

Председатель комиссии: _____ Е.А. Колупаева

Утверждена методическим советом Политехнического ФГБОУ ВО «Норильский государственный индустриальный институт

Зам.директора по УР: _____ С.П. Блинова

Протокол заседания № __ от «__» _____ 20__ г.

Программой учебной дисциплины «Промышленная электроника» предусматривается изучение обучающимися устройства, принципа действия, параметров и характеристик радиоэлементов и электронных приборов, типовых узлов, применяемых в системах управления производственными процессами.

В результате освоения дисциплины обучающийся должен уметь:

- рассчитывать и выбирать современные электронные элементы радиоэлектронных устройств из имеющейся номенклатуры.

- комплектовать устройства и оборудование функциональными электронными модулями, используя технические решения с современными разработками и электронной базой.

- правильно определять параметры элементов электронных устройств, режимы работы.

В результате освоения дисциплины обучающийся должен знать:

2 Комплектовать

- технические характеристики электронных элементов, узлов и блоков применяющихся в промышленности, бытовых приборах.

- приборы и методы контроля параметров и определения режимов работы электронных устройств, электрооборудования.

- пользоваться технической и справочной литературой.

В результате освоения учебной дисциплины у обучающийся формируются следующие общие и профессиональные компетенции:

ОК 1. Понимать сущность и социальную значимость своей будущей профессии, проявлять к ней устойчивый интерес.

ОК 2. Организовывать собственную деятельность, выбирать типовые методы и способы выполнения профессиональных задач, оценивать их эффективность и качество.

ОК 3. Принимать решения в стандартных и нестандартных ситуациях и нести за них ответственность.

ОК 4. Осуществлять поиск и использование информации, необходимой для эффективного выполнения профессиональных задач, профессионального и личностного развития.

ОК 5. Использовать информационно-коммуникационные технологии в профессиональной деятельности.

ОК 6. Работать в коллективе и команде, эффективно общаться с коллегами, руководством, потребителями.

ОК 7. Брать на себя ответственность за работу членов команды (подчиненных), результат выполнения заданий.

ОК 8. Самостоятельно определять задачи профессионального и личностного развития, заниматься самообразованием, осознанно планировать повышение квалификации.

ОК 9. Ориентироваться в условиях частой смены технологий в профессиональной деятельности.

ПК 2.1. Выполнять работы по монтажу систем автоматического управления с учетом специфики технологического процесса.

ПК 2.2. Проводить ремонт технических средств и систем автоматического управления.

ПК 2.3. Выполнять работы по наладке систем автоматического управления.

ПК 2.4. Организовывать работу исполнителей.

Изучение предмета основывается на знаниях, полученных учащимися по общеобразовательным дисциплинам, а также по дисциплинам «Теоретические основы электротехники», «Электротехнические материалы», «Электрические измерения».

В свою очередь данная дисциплина является базой для изучения профилирующих предметов, выполнения курсового и дипломного проектов.

При изучении учебного материала необходимо соблюдать Международную систему единиц, Единую Систему конструкторской документации, единство терминологии и обозначений в соответствии с действующими нормами.

Для закрепления теоретических знаний и приобретения необходимых практических навыков и умений программой предмета предусматривается проведение лабораторных работ и одной домашней контрольной работы.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

Целью выполнения учащимися контрольной работы является:

- закрепление полученных знаний по основным разделам курса предмета;
- проверка умения учащихся самостоятельно решать поставленные задачи описательного и расчётного характера;
- выработка умений использования технической и справочной литературы.

Контрольная работа включает в себя пять заданий по основным разделам предмета: одно теоретическое задание и четыре задания расчетного характера.

При выполнении контрольной работы необходимо соблюдать следующие требования:

- контрольная работа выполняется в тетради объёмом 12 - 18 листов;
- на титульном листе обязательно указывается номер варианта контрольной работы;
- в тетради необходимо оставить поля и место в конце для рецензии проверяющего;
- внимательно читать требования к содержанию ответа на каждое задание;
- выполнение заданий может производиться в произвольном порядке;
- при выполнении расчётов необходимо приводить формулу, а затем вычисления в развёрнутом виде, с указанием размерности получаемых величин;
- в конце работы обязательно должен быть приведён список используемой литературы;
- оформление контрольной работы должно быть аккуратным и в соответствии с требованиями ЕСКД;
- контрольная работа сдаётся не позднее, чем за две недели перед началом сессии или в соответствии с графиком.

Правильность выполнения контрольной работы оценивается по системе зачтено/незачтено.

При определенном количестве ошибок и недочетов работа может быть зачтена с условием доработки, что требует от учащегося выполнения работы над ошибками.

Вариант контрольной работы определяет номер учащегося по списку в учебном журнале

ЗАДАНИЯ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

ЗАДАНИЕ 1 - Элементы электронных устройств

Для создания узлов электронной аппаратуры используются пассивные радиоэлементы (резисторы, конденсаторы, катушки индуктивности), электронные приборы - электровакуумные, ионные, полупроводниковые (диоды, транзисторы, тиристоры, интегральные микросхемы), элементы коммутации и др. Используя эти комплектующие элементы создаются устройства, осуществляющие усиление, генерирование, выпрямление и другие преобразования электрических сигналов.

В соответствии с вариантом (таблица 1.1) кратко опишите пять типов элементов электронных устройств. Ответ должен включать:

— для пассивных элементов (резисторы, конденсаторы, катушки индуктивности) и коммутационных устройств - назначение, основные параметры, классификация, условно-графические обозначения;

— для полупроводниковых приборов (диоды, транзисторы, тиристоры, фотоприборы) - назначение, принцип работы, основные параметры, схема включения, вольтамперная характеристика, условно-графическое обозначение;

— для интегральных микросхем (ИМС) - определение, классификация, особенности конструкции;

— для приборов индикации - назначение, принцип работы, достоинства и недостатки по сравнению с другими видами индикаторов.

Таблица 1.1 - Варианты заданий - элементы электронных устройств

| № Вар | Пассивные элементы | Диоды | Транзисторы | Тиристоры и ИМС | Приборы индикации |
|-------|---------------------------|----------------------|--|-----------------------|----------------------|
| 1 | Резисторы | Выпрямительные диоды | Биполярные | Динисторы | Газоразрядные |
| 2 | Конденсаторы | Стабилитроны | Полевые с затвором в виде р-р-перехода | Тринисторы | Электронно лучевые |
| 3 | Катушки индуктивности | Варикапы | МДП- со встроенным каналом | Гибридные ИМС | Полупроводниковые |
| 4 | Коммутационные устройства | Фотодиоды | МДП- с индуцированным каналом | Полупроводниковые ИМС | Жидкокристаллические |
| 5 | Резисторы | Стабилитроны | МДП- со встроенным каналом | Тринисторы | Полупроводниковые |
| 6 | Конденсаторы | Выпрямительные диоды | МДП- с индуцированным каналом | Динисторы | Газоразрядные |
| 7 | Катушки индуктивности | Фотодиоды | Биполярные | Полупроводниковые ИМС | Жидкокристаллические |
| 8 | Коммутационные устройства | Варикапы | Полевые с затвором в виде р-р-перехода | Гибридные ИМС | Электронно лучевые |

| | | | | | |
|----|---------------------------|----------------------|--------------------------------------|-----------------------|----------------------|
| 9 | Резисторы | Варикапы | МДП- со встроенным каналом | Полупроводниковые ИМС | Электронно лучевые |
| 10 | Конденсаторы | Фотодиоды | Биполярные | Гибридные ИМС | Жидкокристаллические |
| 11 | Катушки индуктивности | Выпрямительные диоды | Полевые затвором в виде р-п-перехода | Динисторы | Полупроводниковые |
| 12 | Коммутационные устройства | Стабилитроны | МДП- с индуцированным каналом | Тринисторы | Газоразрядные |
| 13 | Резисторы | Фотодиоды | Полевые затвором в виде р-п-перехода | Полупроводниковые ИМС | Жидкокристаллические |
| 14 | Конденсаторы | Варикапы | Биполярные | Гибридные ИМС | Полупроводниковые |
| 15 | Катушки индуктивности | Стабилитроны | мдп-с индуцированным каналом | Тринисторы | Электронно лучевые |
| 16 | Коммутационные устройства | Выпрямительные диоды | МДП- со встроенным каналом | Динисторы | Газоразрядные |
| 17 | Резисторы | Фотодиоды | Полевые затвором в виде р-п-перехода | Динисторы | Полупроводниковые |
| 18 | Конденсаторы | Стабилитроны | Биполярные | Тринисторы | Электронно лучевые |
| 19 | Катушки индуктивности | Варикапы | Полевые затвором в виде р-п-перехода | Гибридные ИМС | Газоразрядные |
| 20 | Коммутационные устройства | Варикапы | МДП- со встроенным каналом | Полупроводниковые ИМС | Жидкокристаллические |
| 21 | Резисторы | Выпрямительные диоды | МДП-с индуцированным каналом | Тринисторы | Электронно лучевые |
| 22 | Конденсаторы | Фотодиоды | МДП- со встроенным каналом | Динисторы | Полупроводниковые |
| 23 | Катушки индуктивности | Стабилитроны | Биполярные | Полупроводниковые ИМС | Жидкокристаллические |
| 24 | Коммутационные устройства | Фотодиоды | Полевые затвором в виде р-п-перехода | Гибридные ИМС | Газоразрядные |
| 25 | Резисторы | Варикапы | МДП- с индуцированным каналом | Полупроводниковые ИМС | Газоразрядные |
| 26 | Конденсаторы | Выпрямительные диоды | Биполярные | Гибридные ИМС | Жидкокристаллические |
| 27 | Катушки индуктивности | Фотодиоды | мдп-с индуцированным каналом | Динисторы | Полупроводниковые |
| 28 | Коммутационные устройства | Стабилитроны | МДП- со встроенным каналом | Тринисторы | Электронно лучевые |
| 29 | Резисторы | Стабилитроны | Биполярные | Полупроводниковые ИМС | Жидкокристаллические |

| | | | | | |
|----|--------------|---------------------------|---------------------------------|------------|------------------------|
| 30 | Конденсаторы | Выпрямитель- ные диоды | МДП- со встроен- ным каналом | Тринисторы | Полупроводни- ковые |
|----|--------------|---------------------------|---------------------------------|------------|------------------------|

ЗАДАНИЕ 2 - Электронные усилители

Общие сведения

Электронные усилители - это устройства, предназначенные для усиления напряжения, тока и мощности электрического сигнала.

Использование усилителей вызвано тем, что обычно электрические сигналы (напряжения и токи), поступающие в электронные устройства, контроля, управления и преобразования, малы по амплитуде и возникает необходимость увеличивать их до требуемой величины, достаточной для дальнейшего использования (преобразования, передачи, подачи на нагрузку).



Рисунок 1.1 – Структурная схема усилителя

Источниками входного сигнала могут быть: измерительные датчики, приёмная антенна, микрофон и др.

Нагрузка: акустическая система, исполнительные устройства (электродвигатели, электромагнитные реле и клапаны), передающая антенна, устройства индикации и др.

Мощность, выделяющаяся на нагрузке усилителя, является преобразованной мощностью его источника питания, а входной сигнал только управляет ею.

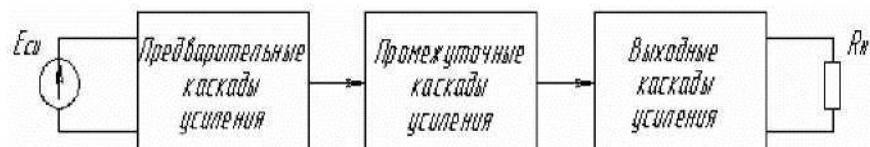


Рисунок 1.2 – Многокаскадный усилитель

Обычно усилитель состоит из нескольких каскадов усиления, соединенных между собой межкаскадными связями, с помощью которых выходной сигнал одного каскада усиления передается на вход следующего. Первые каскады усиления, предназначенные, главным образом для усиления напряжения сигнала, называют предварительными. Их схемное построение определяется типом источника входного сигнала. Каскад, служащий для усиления мощности сигнала, называют оконечным или выходным. Их схемотехника определяется видом нагрузки. Так же, в состав усилителя могут входить промежуточные каскады, предназначенные для получения необходимого коэффициента усиления и (или) формирования необходимых характеристик усиливаемого

сигнала.

Классификация усилителей:

- 1) в зависимости от усиливаемого параметра входного сигнала усилители напряжения, тока, мощности
- 2) по роду усиливаемых сигналов
 - усилители гармонических (непрерывных) сигналов;
 - усилители импульсных сигналов.
- 3) по полосе усиливаемых частот
 - усилители постоянного тока;
 - усилители переменного тока - низкой частоты, высокой, сверхвысокой и т.д.
- 4) по характеру частотной характеристики
 - резонансные (усиливают сигналы в узкой полосе частот);
 - полосовые (усиливают определенную полосу частот);
 - широкополосные (усиливают весь диапазон частот).
- 5) по числу каскадов усиления однокаскадные, двухкаскадные, многокаскадные
- 6) по типу усилительных элементов
 - на электровакуумных лампах;
 - на полупроводниковых приборах;
 - на интегральных микросхемах.

Основные параметры усилителей:

- 1) Коэффициенты усиления по мощности, по напряжению, по току
 - коэффициент усиления по мощности - это отношение мощности, отдаваемой усилителем нагрузке к мощности, подводимой ко входной цепи.

$$K_P = \frac{P_{\text{ВЫХ}}}{P_{\text{ВХ}}}; \quad K_P(\text{dB}) = 10 \lg \left(\frac{P_{\text{ВЫХ}}}{P_{\text{ВХ}}} \right);$$

- коэффициент усиления по напряжению (по току)

$$K_U = \frac{U_{\text{ВЫХ}}}{U_{\text{ВХ}}}; \quad K_I = \frac{I_{\text{ВЫХ}}}{I_{\text{ВХ}}}; \quad K_U \cdot K_I = K_P$$

$$K_{U(I)}(\text{dB}) = 20 \lg \left(\frac{U(I)_{\text{ВЫХ}}}{U(I)_{\text{ВХ}}} \right)$$

(коэффициент усиления сильно зависит от f усиливаемого сигнала);

- 2) Линейные (частотные) искажения - характеризуют неравномерность усиления в полосе пропускания;
- 3) Нелинейные искажения - характеризуют искажение формы усиливаемого сигнала;
- 4) Рабочий диапазон частот;
- 5) Чувствительность - наименьшая величина входного сигнала, при которой на выходе создается номинальная мощность;
- 6) Выходная мощность;
- 7) Входное и выходное сопротивления;
- 8) Уровень собственных шумов.

В основном используются интегральные усилители, что объясняется их более высокой технологичностью, надёжностью, дешевизной и меньшими

массогабаритными характеристиками по сравнению с усилителями на дискретных элементах.

Интегральные операционные усилители

Операционный усилитель (ОУ) представляет собой усилитель постоянного и переменного тока с большим коэффициентом усиления и глубокой отрицательной обратной связью. За счёт наличия глубокой отрицательной обратной связи коэффициент усиления, свойства и параметры ОУ зависят только от параметров и структуры цепи обратной связи и структуры входной цепи.

Широкое распространение операционных усилителей связано с их универсальностью (возможность построения на их основе различных электронных устройств, причём, как аналоговых, так и импульсных), широким диапазоном частот (усиление сигналов постоянного и переменного токов), независимость основных параметров от внешних дестабилизирующих факторов (изменение температуры, напряжения питания и др.).

Присутствие в названии слова "операционные" объясняется возможностью выполнения данными усилителями ряда математических операций - суммирования, вычитания, дифференцирования, интегрирования и др.

В основном используются интегральные усилители (ИОУ), что объясняется их более высокой технологичностью, надёжностью, дешёвизной и меньшими массогабаритными характеристиками по сравнению с усилителями на дискретных элементах.

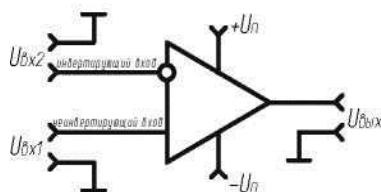
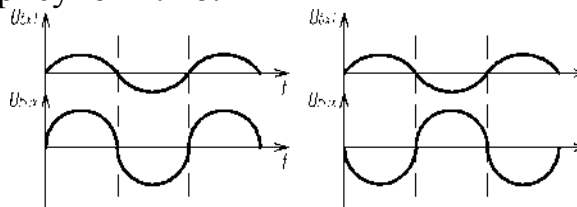


Рисунок 2.1 - Условно-графическое обозначение и основные выводы ИОУ

На рисунке 2.1 изображено условно-графическое обозначение и основные выводы ИОУ. Усилитель имеет два входа (входная цепь ОУ построена на дифференциальном усилителе) и один выход. При подаче входного сигнала на неинвертирующий вход, выходной сигнал той же полярности (фазы)-рис 2.2 а

При использовании инвертирующего входа фаза выходного сигнала будет сдвинута на 180° по отношению к фазе входного сигнала (полярность изменится на противоположную) - рисунок 2.2 б.



- а) $U_{вх}$ подано на неинвертирующий вход
б) $U_{вх}$ подано на инвертирующий вход

Рисунок 2.2 - Временные диаграммы ОУ

Питание ОУ чаще всего осуществляется от двухполярного источника питания, обычно $+15V - 15V$ /

В случае использования обоих входов выходное напряжение пропорционально разности входных напряжений

$$U_{\text{ВЫХ}} = K(U_{\text{ВХ1}} - U_{\text{ВХ2}}),$$

где K - коэффициент усиления.

Рассмотрим работу ИОУ на основании амплитудной (передаточной) характеристики - рисунок 2.3.

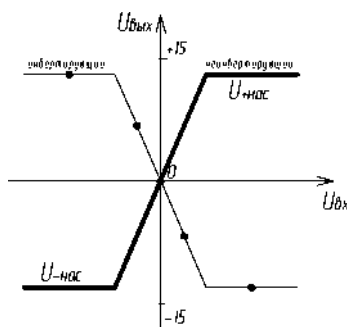


Рисунок 2.3 - Амплитудная характеристика ИОУ

На характеристике можно выделить линейный или рабочий участок, на котором с увеличением входного напряжения пропорционально увеличивается выходное, и два участка насыщения $U_{\text{нас}}^+$ и $U_{\text{нас}}^-$. При определённом значении входного напряжения $U_{\text{ВХmax}}$ усилитель переходит в режим насыщения, при котором выходное напряжение принимает максимальное значение (при значении $U_{\text{н}} = 15\text{В}$ примерно $U_{\text{НАС}} = 13\text{В}$) и остаётся неизменным при дальнейшем увеличении входного сигнала.

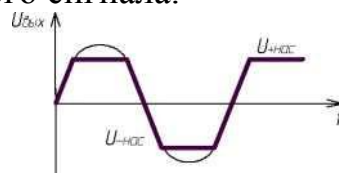


Рисунок 2.4 - Временные диаграммы ОУ в режиме насыщения

Переход усилителя в насыщения приводит к большим нелинейным искажениям (рисунок 2.4), поэтому данный режим используется только в импульсных устройствах на ОУ.

При наличии обратной связи на входе усилителя действует входное напряжение и напряжение обратной связи, и коэффициент усиления находится по формуле

$$K = U_{\text{ВЫХ}} / U_{\text{У}},$$

где $U_{\text{У}} = U_{\text{ВХ}} - U_{\text{ОС}}$.

Отрицательная ОС - напряжение обратной связи имеет противоположную полярность (фазу) по отношению к входному сигналу, и поэтому имеет знак «минус». Т.о. отрицательная обратная связь (ООС) уменьшает коэффициент усиления, но при этом повышает стабильность работы усилителя, уменьшает нелинейные искажения и расширяет полосу пропускания. При глубокой ООС коэффициент усиления зависит только от коэффициента обратной связи, что позволяет избавиться от влияния нестабильности параметров полупроводникового материала, на котором выполняются усилители.

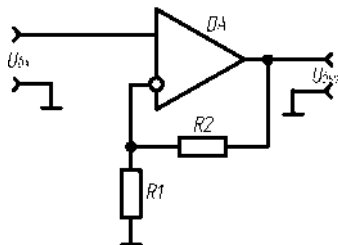


Рисунок 2.5 - Неинвертирующий усилитель

Неинвертирующий усилитель - (рисунок 2.5) не переворачивает фазу входного сигнала. Напряжение ООС через делитель на резисторах R1 и R2 подаётся на инвертирующий вход. Коэффициент усиления определяется по формуле

$$K = U_{mBBыI} / U_{mвв} = 1 + R2 / R1$$

Для обеспечения заданного коэффициент усиления необходимо задать соответствующие значения R1 и R2. Значение R1 выбирается в диапазоне 2 - 10 кОм. Задавшись значением R1, определяется значение R2.

Данные соотношения относятся и к другим типам ОУ.

Инвертирующий усилитель - (рисунок 2.6) не только усиливает входной сигнал, но и инвертирует (переворачивает) фазу сигнала на 180°. Цепь обратной связи выполнена на резисторах R1 и R2. Коэффициент усиления определяется по формуле

$$K = U_{mBBыI} / U_{mвв} = -R2 / R1$$

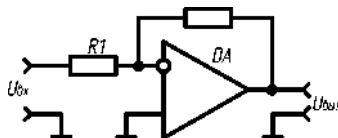


Рисунок 2.6 - Инвертирующий усилитель

Знак минус показывает инвертирование фазы (изменение полярности).

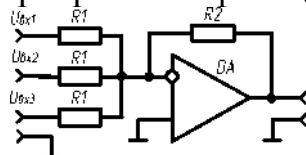


Рисунок 2.7 - Суммирующий усилитель

Суммирующий усилитель - (рисунок 2.7) выполняет операцию сложения с усилением суммы в K раз. При равенстве входных сопротивлений выходное напряжение определяется по формуле

$$U_{mBBыI} = -R2 / R1 (U_{mBBы1} + U_{mBBы2} + U_{mBBы3})$$

Сложение входных сигналов происходит с учётом их полярности.

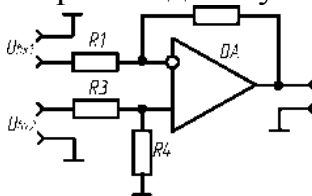


Рисунок 2.8 - Вычитающий усилитель

Вычитающий усилитель - (рисунок 2.8) выполняет операцию вычитания двух напряжений с усилением разности в K раз. При условии $R2/R1 = R4/R3$

выходное напряжение определяется по формуле

$$U_{МВЫ1} = -R2 / R1(U_{МВВ2} - U_{МВВ1})$$

Также с учётом полярности входных напряжений.

В соответствии с вариантом (таблица 2.1) выполните следующие задания:

- 1) Начертите схему усилителя заданного варианта;
- 2) Рассчитайте параметры элементов усилителя - сопротивление резисторов R1, R2 и коэффициент усиления K;
- 3) Рассчитайте и постройте амплитудную (передаточную) характеристику усилителя;
- 4) Кратко опишите работу усилителя с использованием временных диаграмм входных и выходного напряжений. Временные диаграммы работы строятся в масштабе по осям напряжения и времени, и синхронно во времени, т.е. друг под другом;
- 5) Постройте АХ и временные диаграммы, отражающие работу усилителя при увеличении сопротивления R2 в 2 раза.

Таблица 2.1 - Варианты заданий для расчёта ИОУ

| № варианта | Исходные данные | | | | |
|------------|-----------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|--------|
| | Тип ИОУ | U _{МВХ1} , В | U _{МВХ2} , В | U _{МВЫХ} , В | f, кГц |
| 1 | неинвертирующий | 0.8 | - | 8 | 2 |
| 2 | инвертирующий | 4.1 | - | 11.5 | 1.1 |
| 3 | суммирующий | 2 | 1.5 | 10.5 | 0.5 |
| 4 | вычитающий | 4.3 | 3 | 11 | 0.4 |
| 5 | неинвертирующий | 6 | - | 12.5 | 0.3 |
| 6 | инвертирующий | 3.3 | - | 7.5 | 0.2 |
| 7 | инвертирующий | 2.5 | - | 10.5 | 1.3 |
| 8 | суммирующий | 1.8 | 1.5 | 9.8 | 1.4 |
| 9 | вычитающий | 3.8 | 1 | 10 | 1.5 |
| 10 | неинвертирующий | 3.2 | - | 8.8 | 2.6 |
| 11 | неинвертирующий | 3.4 | - | 9.3 | 1.6 |
| 12 | неинвертирующий | 2.7 | - | 7.5 | 1.8 |
| 13 | инвертирующий | 3.1 | - | 13 | 1.7 |
| 14 | инвертирующий | 2.6 | - | 5.5 | 1.9 |
| 15 | суммирующий | 2.9 | 3.1 | 14 | 2.1 |
| 16 | суммирующий | 1.7 | 2.2 | 12.5 | 2.3 |
| 17 | суммирующий | 1 | 2 | 14 | 2.4 |
| 18 | вычитающий | 6 | 2 | 13 | 2.2 |
| 19 | вычитающий | 5 | 2 | 12 | 2.5 |
| 20 | вычитающий | 4 | 1.5 | 11 | 2.7 |
| 21 | неинвертирующий | 1.1 | - | 6 | 2.8 |
| 22 | неинвертирующий | 1.2 | - | 7 | 2.9 |
| 23 | неинвертирующий | 2 | - | 8 | 3.1 |
| 24 | инвертирующий | 4 | - | 10 | 3.2 |
| 25 | неинвертирующий | 2 | - | 10 | 3.7 |
| 26 | инвертирующий | 5 | - | 12 | 3.3 |
| 27 | вычитающий | 5.5 | 4 | 13 | 3.8 |
| 28 | суммирующий | 1 | 2 | 6 | 3.1 |
| 29 | суммирующий | 1.2 | 2.5 | 8 | 3.4 |
| 30 | суммирующий | 1.4 | 1.8 | 9.5 | 1.7 |

ЗАДАНИЕ 3 - Электронные генераторы

Общие сведения

Генераторами называются электронные устройства, преобразующие энергию источника постоянного тока в энергию переменного тока (электромагнитных колебаний) различной формы требуемой частоты и мощности.

Генераторы применяются в радиовещании, радиолокации, обработке металлов, для формирования сигналов заданной формы: для питания параметрических датчиков; для микропроцессорных систем и т. д.

Классификация генераторов:

- по форме выходных сигналов: генераторы синусоидальных сигналов, генераторы сигналов прямоугольной формы (мультивибраторы), генераторы сигналов треугольной формы, генераторы сигналов линейно изменяющегося напряжения (ГЛИН) или их еще называют генераторами пилообразного напряжения, сигналов специальной формы;

- по частоте генерируемых колебаний генераторы подразделяют условно на генераторы низкой частоты (до 100 кГц) и генераторы высокой частоты (свыше 100 кГц);

- по способу возбуждения: генераторы с независимым (внешним) возбуждением и генераторы с самовозбуждением (автогенераторы).

Условия самовозбуждения генераторов

Для самовозбуждения генераторов сигналов любой формы необходимо наличие цепи положительной обратной связи (ПОС) соответствующей структуры для каждой формы сигнала (рисунок 3.1). Заданная частота колебаний обеспечивается частотозадающей LC или RC-цепью, в которой перезаряд конденсатора происходит во времени с заданной скоростью.

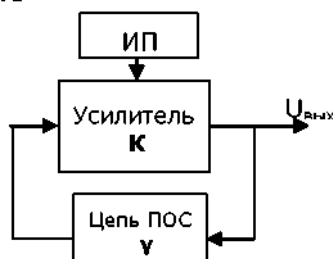


Рисунок 3.1 - Структурная схема генератора

Для возникновения автоколебательного процесса необходимо выполнение двух условий (балансов):

- 1) в генераторе должна быть положительная обратная связь (ПОС), т. е. сигнал, проходя через цепь ПОС, сдвигается по фазе на угол π , а проходя через усилитель, сдвигается на тот же угол и возвращается на выход усилителя в той же фазе, в какой начинался цикл прохождения сигнала по петле ПОС. Это условие называют балансом фаз.

- 2) сигнал, проходя по цепи ПОС, ослабляется в K раз, а проходя через усилитель, увеличивается в K раз и приходит на выход усилителя с той же самой амплитудой. Это условие называют балансом амплитуд.

Генераторы RC-типа

В генераторах RC-типа для обеспечения заданной частоты f_0 синусоидальных колебаний используют различные RC-цепи, имеющих наибольший

коэффициент передачи на резонансной частоте f_0 . При этом f_0 определяется:
$$f_0 = 1/(2\pi RC).$$

Для создания генераторов низкой частоты обычно используют ИОУ, в качестве цепи ПОС у которых устанавливают RC-цепи.

На рисунке 3.2 приведена схема синусоидального генератора. Для выполнения баланса фаз необходимо, чтобы в усилителе сдвиг по фазе был $\varphi = 0$, а для выполнения баланса амплитуд необходимо установить коэффициент усилителя $K = 1/\mu = 3$. Для обеспечения сдвига по фазе $\varphi = 0$, цепь ПОС подключена между выходом усилителя и его неинвертирующим входом. Необходимый коэффициент усиления задаётся с помощью цепи ООС на резисторах R_1, R_2 .

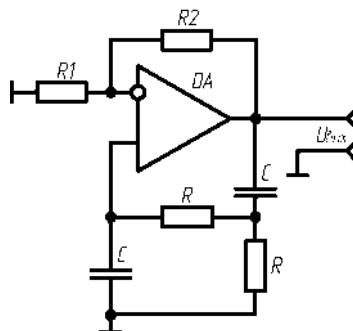


Рисунок 3.2 - RC-генератор

При упрощенном расчете RC-генератора для заданного значения частоты колебаний f_0 из уравнения (3.1) определяют $\tau = RC$, затем задаются стандартным значением C (или R), определяют величину $R = \tau/C$ (или C) и выбирают ближайшее стандартное значение R (или C). Обычно величину R выбирают в пределах нескольких единиц или десятков кОм.

Расчет сопротивлений резисторов R_1 и R_2 осуществляют на основе равенства $K = 1 + R_2/R_1$ для неинвертирующего усилителя. Так как $K = 3$, то отношение $R_2/R_1 = 2$. Задаваясь R_1 (единицы-десятки кОм), определяют R_2 . При таком соотношении амплитуда выходного напряжения принимает максимальное значение (при значении $U_n = 15V$ примерно $U_{нас} = 13V$).

Мультивибраторы

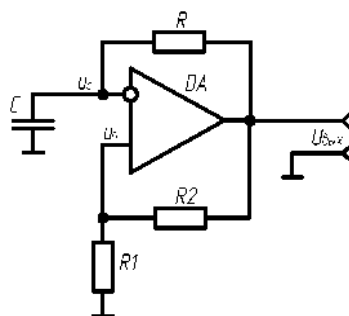


Рисунок 3.3 - Мультивибратор

Мультивибраторы - это генераторы сигналов прямоугольной формы.

На рисунке 3.3 приведена схема симметричного мультивибратора на ИОУ, широко используемого в импульсных устройствах. Симметричный - время импульса равно времени паузы $t_{ИМП} = t_{паузы}$.

ИОУ охвачен положительной обратной связью - цепь R_1, R_2 с коэффициентом передачи y , действующей одинаково на всех частотах. Входное напряжение мультивибратора формируется при помощи ООС через цепочку RC .

Напряжение на неинвертирующем входе постоянно и равно

$$\pm U_H = yU_{\text{вых}} = y\pm U_{\text{нас}}$$

Если напряжение выхода $U_{\text{Вых}} = +U_{\text{нас}}$ конденсатор заряжается и напряжение U_c , действующее на инвертирующем входе возрастает по экспоненциальному закону (рисунок 3.4). При равенстве $U_H = U_c$ произойдет скачкообразное изменение выходного напряжения $U_{\text{Вых}} = -U_{\text{нас}}$, что вызовет перезаряд конденсатора.

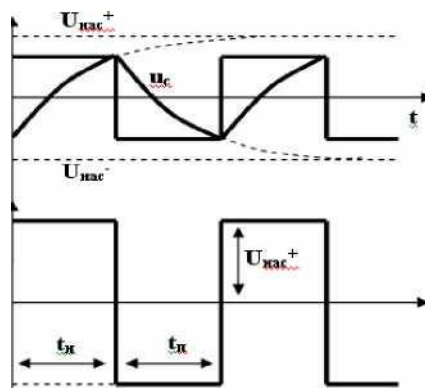


Рисунок 3.4 - Временные диаграммы работы мультивибратора

При достижении равенства $-U_H = -U_c$ снова произойдет изменение состояние $U_{\text{Вых}}$

Процесс повторяется.

Изменение постоянной времени τ RC -цепи приводит к изменению времени заряда и разряда конденсатора, а значит и частоты колебаний мультивибратора.

Кроме того, частота зависит от параметров ПОС и определяется по и формуле:

$$f = 1/T = 1/2t_{и} = 1/[2\tau \ln(1+2 R_1/R_2)]$$

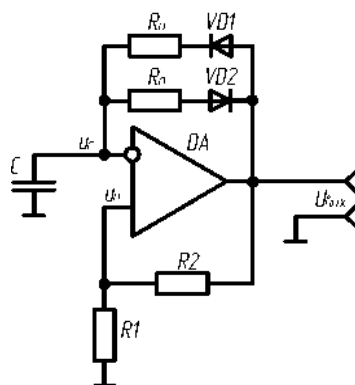


Рисунок 3.4 - Несимметричный мультивибратор

При необходимости получить несимметричные прямоугольные колебания для $t_{и} \neq t_{л}$, используют несимметричные мультивибраторы (рисунок 3.5), в которых перезаряд конденсатора происходит по разным цепочкам с различными постоянными времени.

Для перезаряда конденсатора при $U_{\text{Вых}} = +U_{\text{нас}}$ VD_2 закрыт и $\tau_n = R_n C$, а

для перезаряда конденсатора при $U_{\text{ВЫХ}} = -U_{\text{нас}}$ диод VD1 закрыт и $\tau_{\text{п}} = R_{\text{п}}C$. При этом длительности импульса и паузы определяются:

$$t_{\text{И}} = T_{\text{И}} \ln(1+2 R1/R2)$$

$$t_{\text{п}} = T_{\text{п}} \ln(1+2 R1/R2)$$

Частота колебаний:

$$f = 1/[(\tau_{\text{и}} + \tau_{\text{п}}) \ln(1+2 R1/R2)]$$

При расчете симметричного мультивибратора обычно известна требуемая частота f колебаний. Задаваясь отношением $R1/R2 < 0.5$, из уравнения определяют $\tau = RC$. В свою очередь, задаваясь величиной C (или R), определяют R (или C).

При расчете несимметричного мультивибратора обычно известны длительность импульса $t_{\text{И}}$ и паузы $t_{\text{п}}$. Тогда, определив период T , находят частоту f . Из уравнений (3.4) и (3.5) определяют $t_{\text{и}}$ и $t_{\text{п}}$. Задаваясь значением C , определяют $R_{\text{И}}$ и $R_{\text{п}}$. А из заданного значения $R1/R2 < 0.5$, определяют величину $R2$, задаваясь $R1$ (или наоборот). Значения $R1$, $R2$, $R_{\text{И}}$, $R_{\text{п}}$ надо выбирать не менее десятка кОм.

В соответствии с вариантом (таблица 3.1) выполните следующие задания:

- 1) Начертите схему генератора заданного варианта;
- 2) Рассчитайте параметры элементов схемы генератора;
- 3) Постройте временные диаграммы работы: для RC- генератора - и В\X, для мультивибратора - по аналогии с рисунком 3.4. Временные диаграммы работы строятся в масштабе по осям напряжения и времени, и синхронно во времени, т.е. друг под другом;
- 4) Кратко опишите работу генератора;
- 5) Постройте временные диаграммы, отражающие работу генератора при увеличении (для нечетного номера варианта) или при уменьшении (для четного) сопротивления резистора R в 2 раза для RC- генератора и $R2$ в 2 раза для мультивибратора. Проанализируйте работу генератора с изменённым значением сопротивления резистора.

Таблица 3.1 - Варианты заданий для расчёта схемы генератора

| № варианта | Исходные данные | | | |
|------------|-------------------------------|----------------------------|------------------------------|-----------------|
| | Тип генератора | $t_{\text{имп}}, \text{В}$ | $t_{\text{паузы}}, \text{В}$ | $f, \text{кГц}$ |
| 1 | RC-генератор | - | - | 1 |
| 2 | симметричный мультивибратор | - | - | 10 |
| 3 | несимметричный мультивибратор | 2 | 4 | - |
| 4 | RC-генератор | - | - | 2 |
| 5 | симметричный мультивибратор | - | - | 15 |
| 6 | несимметричный мультивибратор | 1 | 5 | - |
| 7 | RC-генератор | - | - | 1.5 |
| 8 | симметричный мультивибратор | - | - | 7 |
| 9 | несимметричный мультивибратор | 3 | 6 | - |
| 10 | RC-генератор | - | - | 0.1 |
| 11 | симметричный мультивибратор | - | - | 20 |
| 12 | несимметричный мультивибратор | 4 | 8 | - |
| 13 | RC-генератор | - | - | 2.5 |
| 14 | симметричный мультивибратор | - | - | 12 |
| 15 | несимметричный мультивибратор | 4 | 3 | - |
| 16 | RC-генератор | - | - | 0.5 |

| | | | | |
|----|-------------------------------|---|---|-----|
| 17 | симметричный мультивибратор | - | - | 30 |
| 18 | несимметричный мультивибратор | 3 | 9 | - |
| 19 | RC-генератор | - | - | 3 |
| 20 | симметричный мультивибратор | - | - | 25 |
| 21 | несимметричный мультивибратор | 2 | 5 | - |
| 22 | RC-генератор | - | - | 2.7 |
| 23 | симметричный мультивибратор | - | - | 18 |
| 24 | несимметричный мультивибратор | 2 | 6 | - |
| 25 | RC-генератор | - | - | 1.2 |
| 26 | симметричный мультивибратор | - | - | 8 |
| 27 | несимметричный мультивибратор | 1 | 7 | - |
| 28 | RC-генератор | - | - | 5 |
| 29 | симметричный мультивибратор | - | - | 23 |
| 30 | несимметричный мультивибратор | 5 | 2 | - |

ЗАДАНИЕ 4 - Цифровые и логические устройства

Общая характеристика импульсных устройств

При использовании в качестве носителя информации электрических сигналов (напряжений и токов) возможны две формы представления численного значения какой-либо переменной, например, X :

1) в виде одного сигнала - напряжение (ток), которое сравнимо с величиной X (аналогично ей) - например, при $X = 1845$ единиц на вход электронного устройства можно подать напряжение 1,845 В;

2) в виде нескольких сигналов - нескольких напряжений постоянного тока, которые, например, сравнимы с числом единиц в X , числом десятков в X , числом сотен в X и т. д.

Первая форма представления информации называется аналоговой или непрерывной (с помощью сходной величины - аналога). Величины, представленные в такой форме, могут принимать принципиально любые значения в каком-то диапазоне. Количество значений, которые может принимать такая величина, бесконечно велико. Отсюда названия - непрерывная величина, аналоговая информация, аналоговые устройства.

Вторая форма представления информации называется цифровой или дискретной (с помощью набора напряжений, каждое из которых соответствует одной из цифр представляемой величины). Такие величины, принимающие не все возможные, а лишь вполне определенные значения, называются дискретными (прерывистыми). В отличие от непрерывной величины количество значений дискретной величины всегда будет конечным.

Импульсный режим работы

Соответственно, наряду с непрерывным режимом работы электронных устройств используется импульсный (дискретный) режим, при котором кратковременное воздействие сигнала чередуется с паузой.

Современная электроника характеризуется широким применением импульсных устройств. Многие производственные процессы имеют импульсный характер: пуск и остановка, изменение скорости и торможение, срабатывание защиты и т. д. Большинство технологических процессов разбивается на ряд

операций - «тактов», и их чередование также обуславливает импульсный характер работы устройств. Для управления работой таких агрегатов требуется создание импульсных электронных узлов.

По сравнению с аналоговым импульсный режим работы имеет ряд значительных преимуществ:

- значительная выходная мощность при малом значении средней мощности из-за отсутствия постоянной составляющей тока, что позволяет уменьшить массу и габариты аппаратуры;
- повышение пропускной способности - возможность одновременной передачи нескольких потоков информации;
- повышение помехоустойчивости, точности и надежности электронных устройств;
- уменьшение влияния температур и разброса параметров полупроводниковых приборов на работу устройств, так как работа осуществляется в двух режимах: "включено" - "выключено";
- реализация импульсных устройств на однотипных элементах, легко выполняемых методом интегральной технологии.

Цифровой режим работы

Наибольшую точность и помехоустойчивость обеспечивают число - импульсные (цифровые) методы: информация передается в виде числа, которому соответствует определенный набор импульсов (код).

Цифровые устройства чаще всего работают только с двумя значениями сигналов - нулём «0» (обычно низкий уровень напряжения или отсутствие импульса) и «1» (обычно высокий уровень напряжения или наличие прямоугольного импульса), т.е. информация представляется в двоичной системе счисления.

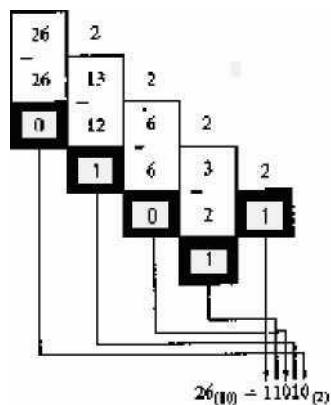
Это обусловлено удобством создания, обработки, хранения и передачи сигналов, представленных в двоичной системе: ключ замкнут - разомкнут, транзистор открыт - закрыт, конденсатор заряжен - разряжен, магнитный материал намагничен - размагничен и т.д.

Наименьшая единица информации, которая выражает логическое значение да или нет и обозначаемая двоичным числом 0 или 1 называется битом. Группа из восьми битов называется байтом (256 значений).

Совокупность приёмов и правил обозначения чисел цифровыми знаками называется системой счисления. Количество знаков, используемых для изображения числа, называется основанием системы счисления.

В десятичной системе счисления основанием является 10, и для записи чисел используют символы 0...9.

Системы счисления, применяемые в цифровых устройствах, ориентированы на двоичную систему, т.к. основой цифровых устройств является элемент, имеющий два устойчивых состояния. В двоичной системе основанием является 2. Для записи чисел используются символы 0 и 1. Для перевода числа из десятичной системы в двоичную надо последовательно делить на два и результат записывать справа налево, начиная с последнего частного, включая остатки от деления.



1) Для перевода целого числа из десятичной системы в любую другую необходимо последовательно делить на основание системы, в которую производится перевод: для двоичной - на 2, для шестнадцатеричной - на 16 и т.д., до тех пор, пока частное от деления не станет меньше делителя. При этом частное от деления должно остаться целым числом. Тогда искомое число в иной системе счисления формируется начиная с последнего частного, включая остатки от деления, начиная с

последнего (справа налево).

Пример 1 - Перевод числа 26 из десятичной системы счисления в двоичную.

2) Для перевода целого числа из любой системы в десятичную

Десятичное число можно представить в виде суммы единиц, десятков, сотен и т.д. (т.е. степеней 10), умноженных на соответствующие коэффициенты. По аналогии разлагается числа других систем счисления.

Правила двоичной арифметики

$$0+0=0 \quad 0+1=1 \quad 1+1=10$$

$$10+1=11$$

Таблица 4.2 - Запись чисел в различных системах счисления

| 10 | 2 | 16 |
|----|-------|----|
| A | 0 | 0 |
| 1 | 1 | 1 |
| 2 | 10 | 2 |
| 3 | 11 | 3 |
| A | 100 | A |
| 5 | 101 | 5 |
| 6 | 110 | 6 |
| 7 | 111 | 7 |
| 8 | 1000 | 8 |
| 9 | 1001 | 9 |
| 10 | 1010 | A |
| 11 | 1011 | B |
| 12 | 1100 | C |
| 13 | 1101 | D |
| 1A | 1110 | E |
| 15 | 1111 | F |
| 16 | 10000 | 10 |

Расчёт электронного реле времени

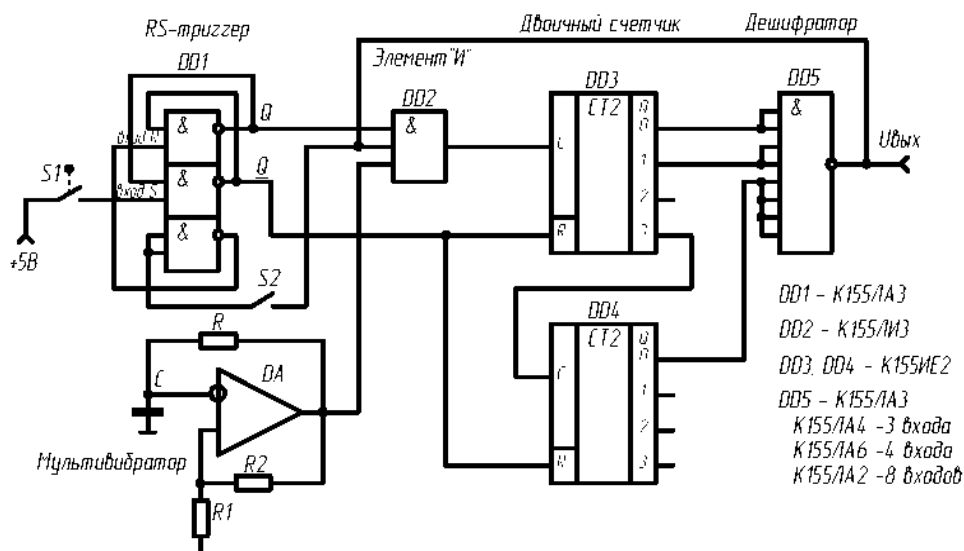


Рисунок 4.1 - Схема электронного реле времени

Схема электронного реле времени состоит из RS-триггера DD1, состояние которого изменяется внешним импульсом (например при срабатывании путевого выключателя $S1$), элемента «И» на ИМС DD2, запрещающего или разрешающего прохождение импульсов от мультивибратора, двоичного счётчика DD3 и DD4, дешифратора DD5 (элемент И-НЕ) и мультивибратора на ОУ DA.

Работа схемы

В исходном состоянии RS-триггер сброшен в «0» ($Q=0$, $Q=1$), счётчик обнулён и на выходе дешифратора уровень «1».

При срабатывании путевого выключателя $S1$ на вход установки «S» триггера DD1 подаётся импульс и триггер устанавливается в единичное состояние ($Q=1$, $Q=0$). Это обеспечивает наличие на 1-м входе ИМС DD2 уровень «1», на 2-й вход также поступает «1» с выхода, что позволяет проходить прямоугольным импульсам с мультивибратора на вход «C» счётчика DD3.

По приходу определённого числа импульсов на выходах счётчика устанавливается цифровой код, при котором на выходе дешифратора появится уровень «0». При этом дальнейший подсчёт импульсов прекратится, т. к. на 2-й вход элемента «И» поступит уровень «0». Для возврата схемы в исходное состояние служит выключатель $S2$, при замыкании которого на вход сброса «R» триггера подаётся уровень «1» и счётчики обнуляются.

Время срабатывания реле (реле с выдержкой на размыкание) определяется необходимым количеством импульсов для задания требуемого цифрового кода на входах дешифратора и частотой следования импульсов, т.е. частотой мультивибратора.

В соответствии с вариантом (таблица 4.1) выполните следующие задания:

- 1) Изучите схемное построение и работу электронного реле времени;
- 2) Рассчитайте основные параметры реле;
- 3) Постройте схему электронного реле времени.

Таблица 4.1 - Варианты заданий (значения $t_{уст}$ и f_0)

| № | Время | Частота | № | Время | Частота |
|---|-------|---------|---|-------|---------|
|---|-------|---------|---|-------|---------|

| | установки $t_{уст}, С.$ | мультивибра- тора $f_0, кГц$ | | установки $t_{уст}/ С.$ | мультивибратора $f_0, кГц$ |
|----|----------------------------|---------------------------------|----|----------------------------|-------------------------------|
| 1 | 10 | 2,5 | 16 | 2 | 14 |
| 2 | 5,8 | 5 | 17 | 2,4 | 30 |
| 3 | 3 | 10 | 18 | 3,5 | 19 |
| 4 | 30 | 5 | 19 | 6 | 10 |
| 5 | 19 | 4,5 | 20 | 27 | 2,9 |
| 6 | 40 | 1 | 21 | 8 | 7,5 |
| 7 | 25 | 4 | 22 | 4 | 18 |
| 8 | 5 | 12 | 23 | 4 | 12 |
| 9 | 45 | 1,5 | 24 | 12 | 6 |
| 10 | 6 | 3 | 25 | 15 | 5,5 |
| 11 | 5 | 9 | 26 | 11 | 6,5 |
| 12 | 17 | 3,5 | 27 | 7 | 8 |
| 13 | 1 | 33 | 28 | 4,8 | 9 |
| 14 | 4,6 | 8 | 29 | 22 | 3 |
| 15 | 5,4 | 4 | 30 | 9 | 7 |

Алгоритм и пример расчёта

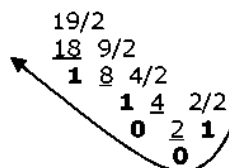
Исходные данные: $t_{уст} = 0,019 с$ $f_0 = 1 кГц$

1) Рассчитываем требуемое число импульсов n

$$n = f_0 \cdot t_{уст} \quad n = 0,019 \cdot 1000 = 19$$

2) Переводим полученное число импульсов в двоичную систему счисления

$$19_{10} = 1^4 0^3 0^2 1^1 1^0$$



Количество разрядов двоичного числа определяет необходимую разрядность счётчика. Т.к. число разрядов 5, а используемые в схеме ИМС счётчиков четырёхразрядные, необходимо два счётчика, соединённых последовательно.

3) Определяем количество единичных разрядов в двоичном числе. Количество разрядов соответствует количеству входов дешифратора.

В числе 10011 три единичных разряда. Те выходы счётчика, на которых при подсчёте 19-го импульса устанавливается уровень «1», соединяются со входами дешифратора. При этом по приходу 19-го импульса на выходе дешифратора установится уровень «0» - рисунок 4.1.

В случае превышения числа единичных разрядов свыше 8, устанавливается две микросхемы дешифратора.

4) В соответствии с расчётом строим схему электронного реле (рис 4.1).

ЗАДАНИЕ 5 - Выпрямительные устройства Общие сведения

Выпрямителем называется статическое устройство, предназначенное для преобразования электрической энергии переменного тока в постоянный. Необходимость в таком преобразовании возникает, когда питание потребителя осуществляется постоянным током, а источником электрической энергии является источник переменного тока, например промышленная сеть частотой 50 Гц.

Выпрямители классифицируются:

- по числу фаз первичной обмотки трансформатора - однофазные и трехфазные;
- по числу выпрямленных полупериодов - однополупериодные и двухполупериодные;
- по принципу регулирования выпрямленного напряжения - управляемые и неуправляемые;
- по мощности - малой (до сотен ватт), средней (до 5 кВт), большой (свыше 5 кВт).

В настоящее время разработано и применяется на практике много схем выпрямителей однофазного и трехфазного тока. Выбор той или иной схемы определяется свойствами применяемых вентилях (обычно полупроводниковых диодов и тиристоров) и условиями работы выпрямителя.

Рассмотрим работу основных схем выпрямления однофазного и трехфазного тока, предполагая для простоты расчетов параметров и облегчения понимания физической сущности процессов в элементах схем, что выпрямитель работает на активную нагрузку и состоит из идеальных вентилях и трансформаторов, в которых можно пренебречь падениями напряжения, а также обратными токами вентилях, индуктивностями и намагничивающим током трансформатора.

Основными элементами, параметры которых подлежат расчету в схемах выпрямления, являются вентиляные элементы и трансформатор. Исходными данными при расчете служат выпрямленные напряжения U_d (напряжение в нагрузке U_n) и ток I_d (ток в нагрузке I_n), а также действующее значение напряжения питающей сети U_1 .

Устройство и основные элементы выпрямителей

В общем случае выпрямитель состоит из:

- силового трансформатора, служащего для получения заданного напряжения на выходе выпрямителя, а также для электрического разделения цепи выпрямленного тока с питающей сетью;
- блока вентилях, соединенных по определенной схеме и обеспечивающих протекание тока в цепи нагрузки в одном направлении, в результате чего переменное напряжение преобразуется в пульсирующее;
- сглаживающего фильтра, который ослабляет пульсации выпрямленного напряжения в цепи нагрузки;

Если выпрямитель управляемый, то в него входит система управления вентилями. Для поддержания с определенной точностью значения $U_{\text{вых}}$ при изменениях напряжения питающей сети U_c и сопротивления нагрузки R_n — стабилизатор напряжения или тока.

В некоторых случаях в схеме могут отсутствовать отдельные элементы, например фильтр при работе выпрямителя на нагрузку индуктивного характера или силовой трансформатор в случае бестрансформаторного включения выпрямителя, что может иметь место в мостовых схемах выпрямления.

Выпрямители однофазного тока

При небольшой мощности нагрузки (до нескольких сотен ватт) преоб-

разование переменного тока в постоянный осуществляют с помощью однофазных выпрямителей, питающихся от однофазной сети переменного тока. Такие выпрямители предназначены для питания постоянным током различных устройств промышленной электроники, обмоток возбуждения двигателей постоянного тока небольшой и средней мощности и т.д.

Однофазная однопериодная схема выпрямления

В этой схеме (рисунок 5.1) трансформатор имеет одну вторичную обмотку, напряжение u_2 которой изменяется по синусоидальному закону. Ток в цепи нагрузки проходит только в положительные полупериоды, когда точка a вторичной обмотки, к которой присоединен анод вентиля $V1$, имеет положительный потенциал относительно точки b , к которой через нагрузку присоединен катод.

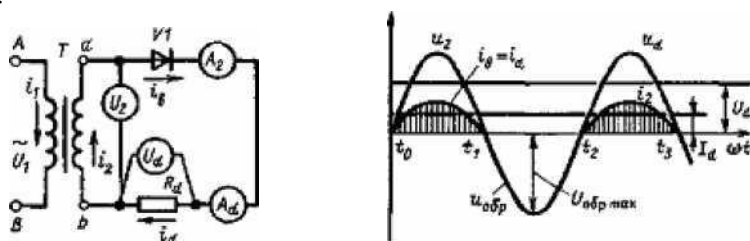


Рисунок 5.1 - Однофазный однополупериодный выпрямитель: схема и диаграммы напряжений и токов на элементах схемы

В результате напряжение u_2 оказывается приложенным к резистору R_d , через который начинает протекать ток нагрузки i_d .

Поскольку при активной нагрузке ток по фазе совпадает с напряжением, вентиль $V1$ будет пропускать ток до тех пор, пока напряжение u_2 не снизится до нуля. В отрицательные полупериоды (интервал времени $t_1 - t_2$ на рисунке 5.1) к вентилю $V1$ прикладывается все напряжение источника U_2 . Оно является для диода обратным, и он будет закрыт.

Таким образом, на резисторе R_d будет пульсирующее напряжение u_d только одной полярности, т.е. выпрямленное напряжение, которое будет описываться положительными полуволнами напряжения u_2 вторичной обмотки трансформатора T . Ток в нагрузке i_d проходит в одном направлении, но имеет также пульсирующий характер и представляет собой выпрямленный ток.

Выпрямленные напряжения u_d и ток i_d содержат постоянную (полезную) составляющую U_d , I_d и переменную составляющую (пульсации). Качественная сторона работы выпрямителя оценивается соотношениями между полезной составляющей и пульсациями напряжения и тока. Коэффициент пульсаций данной схемы составляет 1,57.

Среднее за период значение выпрямленного напряжения при идеальных вентилях и трансформаторе

$$U_d = 0,45 U_2$$

Максимальное значение обратного напряжения на вентиле в непроводящую часть периода

$$U_{обр.макс} = \sqrt{2}U_2 = 3,14U_d$$

где U_2 - действующее значение напряжения вторичной обмотки трансформатора T .

Среднее значение тока, протекающего через вентиль и нагрузку

$$I_{в.ср} = I_d = I_m/n,$$

где $I_m = U_m/R_d$ - амплитуда тока цепи.

Действующее значение тока цепи

$$I_2 = I_m/2$$

Таким образом, в однополупериодной схеме выпрямления среднее значение выпрямленного тока в n раз меньше его амплитуды, а действующее значение — в 2 раза меньше амплитуды тока.

Средняя мощность, отдаваемая в нагрузку, определяется

$$P_d = U_d I_d$$

Расчетную (типовую) мощность S , трансформатора, определяющую его габариты, можно представить как полусумму расчетных мощностей первичной $S_1 = U_1 I_1$ и вторичной $S_2 = U_2 I_2$ обмоток, т.е.

$$S_T = (S_1 + S_2)/2 = 3,09P_d$$

Следовательно, расчетная мощность трансформатора, работающего на выпрямитель, больше мощности в нагрузке в 3,09 раза, так как во вторичной обмотке проходит несинусоидальный ток, имеющий постоянную и переменные составляющие, а в первичной обмотке кроме тока основной частоты f_1 токи высших гармоник. По отношению к сети питания эти токи являются реактивными и, не создавая полезной мощности, лишь нагревают обмотки трансформатора выпрямителя. Наличие во вторичной обмотке постоянной составляющей тока I_d увеличивает степень насыщения магнитпровода трансформатора, что вызывает возрастание тока холостого хода, и как следствие этого возникает необходимость в завышении расчетной мощности трансформатора.

Действующее значение тока вторичной обмотки трансформатора определяется формулой

$$I_2 = 1,57I_d$$

Действующее значение напряжения вторичной обмотки

$$U_2 = 2,22U_d$$

Действующее значение тока первичной обмотки с учетом коэффициента трансформации трансформатора $n = U_1/U_2$ равно

$$I_1 = I_2/n$$

Недостатки этой схемы выпрямления следующие: плохое использование трансформатора, большое обратное напряжение на вентилях, большой коэффициент пульсации выпрямленного напряжения. Достоинства выпрямителя: простота схемы и питающего трансформатора; применяется только один вентиль или одна группа последовательно соединенных вентилях.

Двухполупериодная однофазная схема со средней точкой

Схема представлена на рисунке 5.2. Состоит из трансформатора T , имеющего одну первичную и две последовательно соединенные вторичные обмотки с выводом общей (нулевой) точки у этих обмоток. Коэффициент трансформации n определяется отношением U_1/U_2 , где U_2 - напряжение каждой из вторичных обмоток (фазные напряжения), сдвинутые относительно друг друга на 180° .

Свободные концы вторичных обмоток a и b присоединяются к анодам вентилях $V1$ и $V2$, катоды которых соединяются вместе. Нагрузка R_d включается

между катодами вентилях, которые являются положительным полюсом выпрямителя, и нулевым выводом 0 трансформатора, который служит отрицательным полюсом.

Вентили в этой схеме, как и вторичные обмотки трансформатора, работают поочередно, пропуская в нагрузку ток при положительных значениях анодных напряжений U_{2a} и U_{2b} (рисунок 5.2).

Действительно, при изменении напряжения в точках a и b , в тот полупериод, когда напряжение в обмотке $0a$ положительно, ток проводит вентиль $V1$, анод которого положителен по отношению к катоду, связанному через резистор R_d с точкой 0 вторичных обмоток. Анод вентиля $V2$, так же как вывод b обмотки $0b$, в этот полупериод (t_0-t_1) отрицателен по отношению к нулевому выводу 0 и, следовательно, тока не пропускает.

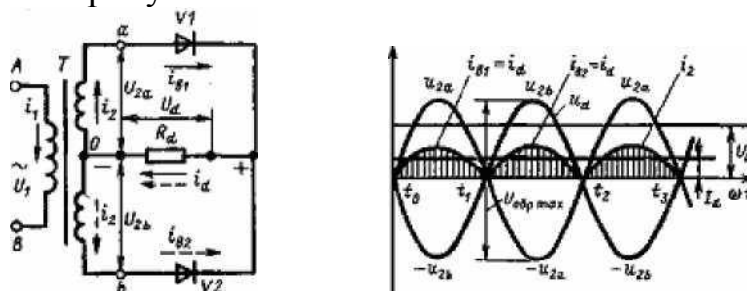


Рисунок 5.2 - Однофазный двухполупериодный выпрямитель со средней точкой: схема и диаграммы напряжений и токов на элементах схемы

В следующий полупериод (интервал времени t_1-t_2 на рисунке 5.2), когда напряжения на первичной и вторичной обмотках трансформатора изменяют свою полярность на обратную, ток будет пропускать вентиль $V2$. В результате к нагрузке R_d будет теперь приложено напряжение U_{2b} , а ток i_d будет равен току i_{b2} вентиля $V2$. Вентиль $V1$ выключится, так как к нему будет приложено обратное напряжение. Спустя полупериод, начиная с момента времени t_2 , процесс повторяется: ток будет проводить вентиль $V1$, а вентиль $V2$ выключится и т.д.

Ток i_d в нагрузке все время течет в одном направлении - от катодов вентилях к нулевой точке 0 вторичных обмоток трансформатора, и на резисторе R_d появляется выпрямленное пульсирующее напряжение u_d содержащее постоянную и переменную составляющие.

Среднее значение выпрямленного напряжения

$$U_d = 0,9U_2,$$

где U_2 - действующее значение напряжения на вторичной полуобмотке,

$$U_2 = 1,11 U_d$$

Среднее значение выпрямленного тока в нагрузке

$$I_d = U_d / R_d$$

Среднее значение тока через каждый вентиль в 2 раза меньше тока I_d , проходящего через нагрузку, т.е.

$$I_{B,cp} = 0,5I_d$$

Действующее значение тока вентиля I_B равно действующему значению тока вторичной обмотки трансформатора I_2 и определяется формулой

$$I_2 = 1,57 I_{B,cp}$$

Вентиль, не работающий в отрицательную часть периода, оказывается под

воздействием обратного напряжения, равного двойному фазному напряжению $2U_2$. Максимальное значение обратного напряжения

$$U_{обр.маx} = 2\sqrt{2}U_2 = 3,14U_d$$

Действующее значение тока первичной обмотки с учетом коэффициента трансформации n , выраженное через ток I_d ,

$$I_1 = \sqrt{2} I_2/n = 1.11 I_d/n$$

Расчетные мощности обмоток трансформатора определяют по произведениям действующих значений токов и напряжений: $S_1 = U_1 I_1 = 1,23 P_d$ и $S_2 = 2U_2 I_2 = 1,74 P_d$, а типовую мощность — как полусумму мощностей S_1 и S_2 , т.е.

$$S_T = (S_1 + S_2)/2 = 1,48 P_d$$

Оценка качества выпрямленного напряжения производится посредством коэффициента пульсации, который представляет собой отношение амплитуды первой (основной) гармонической U_{d1m} , как наибольшей из всех остальных к среднему значению напряжения U_d и определяется по формуле

$$q = U_{d1m} / U_d = 2/(m^2 - 1)$$

где m - число фаз выпрямления, т.е. число полуволн выпрямленного напряжения, приходящихся на один период переменного тока, питающего выпрямитель.

Для рассматриваемой схемы частота первой гармоники пульсации $f_{n1} = 2fc$ при частоте питающей сети $fc = 50$ Гц составляет 100 Гц. Подставляя $m = 2$, определяем коэффициент пульсации: $q = 0,67$.

Однофазная мостовая схема

Состоит из трансформатора T с двумя обмотками и четырех диодов $V1 - V4$, соединенных по схеме моста (рисунок 5.3, а). К одной диагонали моста (точки 1,3) присоединяется вторичная обмотка, а в другую (точки 2, 4) включается нагрузка R_d . Общая точка катодов вентилей $V1$ и $V2$ является положительным полюсом выпрямителя, а отрицательным - точка связи анодов вентилей $V3$ и $V4$.

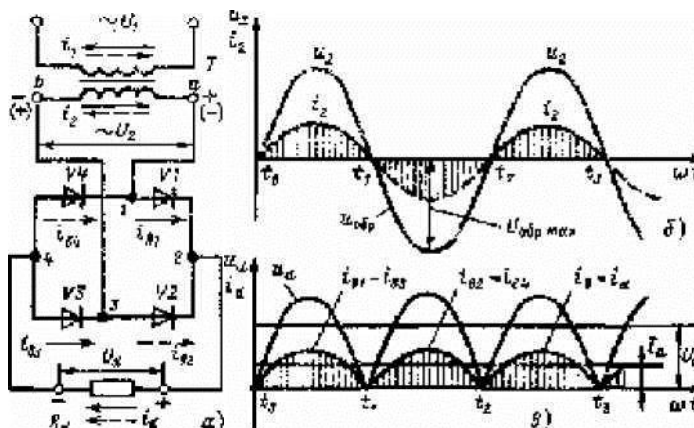


Рисунок 5.3 - Однофазный мостовой выпрямитель: а - схема включения; б, в — временные диаграммы напряжений и токов на элементах схемы

Вентили в этой схеме работают парами поочередно. В положительный полупериод напряжения U_2 соответствующая полярность которого обозначена без скобок, проводят ток вентили $V1$ и $V3$, а к вентилям $V2$ и $V4$ прикладывается обратное напряжение, и они закрыты. В отрицательный полупериод напряжения U_2 будут проводить ток вентили $V2$ и $V4$, а вентили $V1$ и $V3$ закрыты и

выдерживают обратное напряжение $u_{обр} = U_2$.

Далее указанные процессы периодически повторяются. Диаграммы токов и напряжений на элементах схемы (рисунок 5.3, в) будут такими же, как для однофазного двухполупериодного выпрямителя со средней точкой.

Ток i_d в нагрузке проходит все время в одном направлении — от соединенных катодов диодов V1 и V2 к анодам диодов V3 и V4. Ток I_2 во вторичной обмотке трансформатора (рисунок 5.3, б) меняет свое направление каждые полпериода и будет синусоидальным. Постоянной составляющей тока во вторичной обмотке нет. Следовательно, не будет подмагничивания сердечника трансформатора постоянным магнитным потоком. Ток i в первичной обмотке трансформатора также синусоидальный.

Средние значения выпрямленного напряжения U_d и тока $I_{в.ср}$ через вентиль в этой схеме получаются такими же, как и в двухполупериодной схеме с нулевой точкой.

Обратное напряжение, приложенное к закрытым вентилям, определяется напряжением U_2 вторичной обмотки трансформатора, так как не работающие в данный полупериод вентиля оказываются присоединенными ко вторичной обмотке трансформатора T через два других работающих вентиля, падением напряжения в которых можно пренебречь. Следовательно,

$$U_{обр.макс} = \sqrt{2}U_2 = 1,57U_d$$

Токи во вторичной и первичной обмотках трансформатора определяются по формулам

$$I_2 = U_2/R_d \quad I_1 = I_2/n$$

Типовая мощность трансформатора

$$S_T = 1,23P_d$$

Сравним достоинства двухполупериодных однофазных схем выпрямления.

Однофазная нулевая схема:

- 1) Число вентилях в 2 раза меньше, чем в однофазной мостовой.
- 2) Потери мощности в выпрямителе будут меньше, так как в нулевой схеме ток проходит через один вентиль, а в мостовой - последовательно через два.

Однофазная мостовая схема:

- 1) Амплитуда обратного напряжения на вентилях в 2 раза меньше, чем в нулевой схеме.
- 2) Вдвое меньше напряжение (число витков) вторичной обмотки трансформатора при одинаковых значениях напряжения U_d
- 3) Трансформатор имеет обычное исполнение, так как нет вывода средней точки на вторичной обмотке.
- 4) Расчетная мощность трансформатора на 25% меньше, чем в нулевой схеме, следовательно, меньше расходуется меди и железа, меньше будут размеры и масса.
- 5) Данная схема выпрямителя может работать и без трансформатора, если напряжение сети U_1 подходит по значению для получения необходимого напряжения U_d и не требуется изоляции цепи выпрямленного тока от питающей сети.

Выпрямители трехфазного тока

Питание постоянным током потребителей средней и большой мощности производится от трехфазных выпрямителей, применение которых снижает загрузку вентилях по току, уменьшает коэффициент пульсаций и повышает частоту пульсации выпрямленного напряжения, что облегчает задачу его сглаживания.

Трехфазная схема выпрямления с нулевым выводом

К сети трехфазного тока подключен трансформатор Т три первичные обмотки которого могут быть соединены в звезду или треугольник, вторичные обмотки - только в звезду (рисунок 5.4, а). Свободные концы a, b, c каждой из фаз вторичной обмотки присоединяются к анодам вентилях V1, V2, V3. Катоды вентилях соединяются вместе и служат положительным полюсом для цепи нагрузки R_d , а нулевая точка 0 вторичной обмотки трансформатора — отрицательным полюсом.

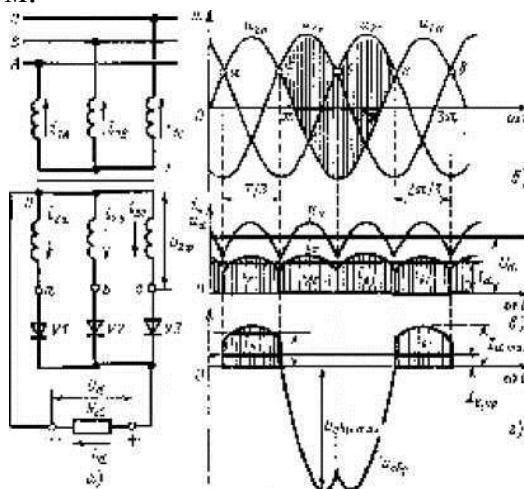


Рисунок 5.4 - Трехфазный выпрямитель с нулевой точкой: а - схема соединения обмоток трансформатора и вентилях; б - г - диаграммы напряжений и токов на элементах

Из временной диаграммы на рисунок 5.4 видно, что напряжения U_{2a}, U_{2b}, U_{2c} сдвинуты по фазе на одну треть периода ($T/3$ или 120°) и в течение этого интервала напряжение одной фазы выше напряжения двух других фаз относительно нулевой точки трансформатора. Ток через вентиль, связанную с ним вторичную обмотку и нагрузку будет протекать в течение той трети периода, когда напряжения в данной фазе больше, чем в двух других. Работающий вентиль прекращает проводить ток тогда, когда потенциал его анода становится ниже общего потенциала катодов.

Переход тока от одного вентиля к другому (коммутация тока) происходит в момент пересечения кривых фазных напряжений (точки а, б, в и г на рисунке 5.4, б). Выпрямленный ток i_d проходит через нагрузку непрерывно (рисунок 5.4, в).

Напряжение u_d на выходе выпрямителя в любой момент времени равно мгновенному значению напряжения той вторичной обмотки, в которой вентиль открыт, и выпрямленное напряжение представляет собой огибающую верхушек синусоид фазных напряжений $U_{2ф}$ трансформатора Т.

Следовательно, анодный ток будет иметь форму прямоугольника с основанием $T/3$, ограниченного сверху отрезком синусоиды. На рисунке 5.4, г изображен ток фазы а, токи фаз бис изображаются подобными кривыми, сдвинутыми на 120° относительно друг друга.

Среднее значение выпрямленного напряжения

$$U_d = 1,17U_{2\phi},$$

где $U_{2\phi}$ — действующее значение фазного напряжения на вторичной обмотке трансформатора.

Выпрямленное напряжение u_d содержит постоянную составляющую U_d и наложенную на нее переменную составляющую, имеющую трехкратную частоту по отношению к частоте сети. Коэффициент пульсаций напряжения на выходе выпрямителя

$$q = 2/(m^2 - 1) = 2/(3^2 - 1) = 0,25$$

Обратное напряжение $U_{обр}$ приложенное к неработающему вентилю, равно междуфазному (линейному) напряжению вторичных обмоток трансформатора, так как анод закрытого вентиля присоединен к одной из фаз, а катод через работающий вентиль присоединен к другой фазе вторичной обмотки Т. На рисунок 5.4, г показана кривая обратного напряжения $U_{обр}$ между анодом и катодом вентиля VI.

Максимальное значение $U_{обр}$ равно амплитуде линейного напряжения на вторичных обмотках трансформатора, т.е.

$$U_{обр.max} = \sqrt{3} - \sqrt{2} U_{2\phi} = 2,09U_d$$

Каждый вентиль в данной схеме работает 1 раз за период в течение $T/3$. Следовательно, среднее значение тока через вентиль в 3 раза меньше тока нагрузки, т.е.

$$I_{в.ср} = (1/3)I_d$$

Действующее значение токов во вторичной обмотке I_2 и вентиля $I_{в.д}$ определяется формулой

$$I_2 = I_{в.д} = \sqrt{3}I_{в.ср} = 0,585 I_d$$

Таким образом, в данной схеме токи вторичных обмоток имеют пульсирующий характер и содержат постоянные составляющие.

Среднее значение тока через каждый вентиль в 3 раза меньше тока I_d

$$I_{в.ср} = 0,33I_d$$

При одинаковом числе фаз первичной и вторичной обмоток трансформатора и одинаковых схемах соединения обмоток (звезда-звезда) действующее значение первичного фазного тока I_1 меньше приведенного значения вторичного фазного тока I_2 , так как в кривой тока первичной обмотки отсутствует постоянная составляющая, которая не трансформируется, т.е.

$$I_1 \approx 1/n 0,47I_d$$

Поочередное прохождение однонаправленных токов по вторичным обмоткам трансформатора, которые не полностью компенсируются токами первичной обмотки, создает в стержнях сердечника поток Φ_0 одного направления, значение которого составляет 20—25% основного магнитного потока $\Phi_{в}$ трансформатора и который изменяется с тройной частотой в соответствии с пульсацией анодного тока. Наличие потока однонаправленного или вынужденного подмагничивания Φ_0 в сердечнике приводит к увеличению

тока холостого хода, в результате чего сердечник трансформатора насыщается, а в стальной armатуре возникают дополнительные тепловые потери. Помимо насыщения сердечника трансформатора такой поток приводит к значительному возрастанию падения напряжения в обмотках, что вызывает резкое уменьшение среднего значения выпрямленного напряжения.

Устранить эти нежелательные явления можно либо увеличением сечения сердечника трансформатора, а следовательно, и типовой мощности трансформатора, либо уменьшением амплитуды основного потока Фв. При заданной мощности трансформатора это приводит к увеличению размеров магнитной системы и влечет за собой повышение не только массы стали, но и массы обмоток трансформатора, поскольку с повышением периметра сечения сердечника растет и средняя длина витка у обмоток.

Типовая мощность трансформатора при соединении вторичных обмоток в звезду

$$S_T = (S_1 + S_2) / 2 = 1,35P_d$$

Трехфазная мостовая схема выпрямления

Выпрямитель в данной схеме состоит из трансформатора, первичные и вторичные обмотки которого соединяются в звезду или треугольник, и шести диодов, которые разделены на две группы (рисунок 5.5, а):

1) катодную, или нечетную (диоды V1, V3 и V5), в которой электрически связаны катоды вентиля и общий вывод их является положительным полюсом для внешней цепи, а аноды присоединены к выводам вторичных обмоток трансформатора;

2) анодную, или четную (диоды V2, V4 и V6), в которой электрически связаны между собой аноды вентиля, а катоды соединяются с анодами первой группы.

Общая точка связи анодов является отрицательным полюсом для внешней цепи. Нагрузка подключается между точками соединения катодов и анодов вентиля, т.е. к диагонали выпрямленного моста.

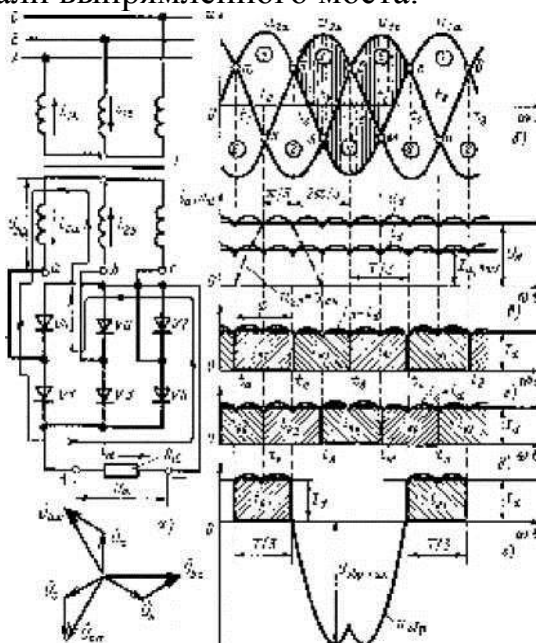


Рисунок 5.5 - Трехфазная мостовая схема выпрямителя:

а - схема соединения элементов; б - в - временные диаграммы напряжений и

ТОКОВ

Катодная группа вентиля повторяет режим работы трехфазной нулевой схемы. В этой группе вентиля в течение каждой трети периода работает вентиль с наиболее высоким потенциалом анода (рисунок 5.5, б). В анодной группе в данную часть периода работает тот вентиль, у которого катод имеет наиболее отрицательный потенциал по отношению к общей точке анодов.

Вентили катодной группы открываются в момент пересечения положительных участков синусоид (точки а, б, в и г на рисунок 5.5,б), а вентили анодной группы - в момент пересечения отрицательных участков синусоид (точки к, л, м и н). Каждый из вентиля работает в течение одной трети периода ($T/3$, или $2n/3$).

При мгновенной коммутации тока в трехфазной мостовой схеме в любой момент времени проводят ток два вентиля — один из катодной, другой из анодной группы, при этом любой вентиль одной группы работает поочередно с двумя вентилями другой группы, соединенными с разными фазами вторичной обмотки (рисунок 5.5, г и д). Иными словами, проводить ток будут те два накрест лежащих вентиля выпрямительного моста, между которыми действует в проводящем направлении наибольшее линейное напряжение $U_{2л}$. Например, на интервале времени $t_1 - t_2$ ток проводят вентили V1, V6, на интервале $t_2 - t_3$ — вентили V1, V2, на интервале $t_3 - t_4$ - вентили V3, V2 и т.д. Таким образом, интервал проводимости каждого вентиля составляет $2n/3$, или 120° (рисунок 5.5, е), а интервал совместной работы двух вентиля равен $n/3$, или 60° . За период напряжения питания $T = 2n$ происходит шесть переключений вентиля (шесть тактов), в связи с чем такую схему выпрямления часто называют шестипульсной.

Следует отметить, что нумерация вентиля в данной схеме не носит случайный характер, а соответствует порядку их вступления в работу при условии соблюдения фазировки трансформатора, указанной на рисунке 5.5, а. Через каждую фазу трансформатора ток i_2 будет проходить в течение $2/3$ периода: $1/3$ периода — положительный и $1/3$ — отрицательный. Ток i_d в нагрузке все время проходит в одном направлении. Контур тока нагрузки при открытых вентилях V1 и V6 показан на схеме рисунке 5.5, а тонкой черной линией.

Выпрямленное напряжение u_d в этой схеме описывается верхней частью кривых междуфазных (линейных) напряжений (рисунок 5.5, е). Частота пульсаций кривой u_d равна $6f_1$, коэффициент пульсаций напряжения на выходе выпрямителя

$$q = 2/(m^2 - 1) = 2/(6^2 - 1) = 0,25 = 0,057$$

Обратное напряжение на закрытом вентиле определяется разностью потенциалов его катода и анода. Максимальное значение обратного напряжения на вентиле в трехфазной мостовой схеме равно амплитуде линейного напряжения вторичной обмотки трансформатора, т.е. $U_{обр.макс} = \sqrt{2} U_{2л} = 1,05 U_d$. При открытом состоянии двух вентиля выпрямительного моста другие четыре вентиля закрыты приложенным к ним обратным напряжением. Выпрямленный ток i_d при работе на чисто активную нагрузку полностью повторяет кривую напряжения u_d .

Напряжение на нагрузке по сравнению с трехфазной схемой с нулевым выводом получается вдвое большим. Это объясняется тем, что трехфазная

мостовая схема выпрямителя представляет собой как бы две трехфазные схемы с нулевым выводом, выходы которых включены последовательно. Это сокращает число витков вторичных обмоток трансформатора и снижает требования к изоляции.

$$U_2 = n/3\sqrt{6} = 0,425U_d$$

Среднее значение тока через каждый вентиль в 3 раза меньше тока

$$I_d I_{в.ср} = 0,33I_d$$

Токи во вторичной и первичной обмотках трансформатора определяются по формулам

$$I_2 = I_{в.д} = \sqrt{2/3} = 0,585I_d \quad (5.32) \quad I_{\pm} = I_2/n$$

Типовая мощность трансформатора

$$S_T = \pi/3 P_d = 1,045P_d$$

В соответствии с вариантом (таблица 5.2) выполните следующие задания:

- 1) Начертите схему выпрямления заданного варианта;
- 2) Рассчитайте значения напряжений, токов и мощностей на элементах схемы выпрямления, указанных в таблице 5.1 и заполните эту таблицу;
- 3) Постройте временные диаграммы напряжения вторичной обмотки трансформатора и тока, напряжения в нагрузке. Временные диаграммы строятся в масштабе по осям напряжения, тока и синхронно во времени, т.е. друг под другом;
- 4) В соответствии с полученными данными выберите по справочнику тип выпрямительного диода и занесите его параметры в таблицу 5.1.

Таблица 5.1 - Расчёт выпрямительных устройств

| Исходные данные | | | Рассчитать | | | | | | | | |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|---------------------------|-----------------------|-----------------------------|--------------------------|---------------------------|---------|---------------|------------------------|-------------------------|
| U _d , В | I _d , А | U _i , В | R _d , Ом | и ₂ , в | U _{обр.max} / В | I _{в.ср} / А | I ₂ , А | Π, А | π | P _d , Вт | S _T , В-А |
| | | | | | | | | | | | |
| Тип диода | | | I _{np.cр} / А | | U _{обр.max} / В | | U _{np.cр} / В | | ^обр.cр/ А | | |
| | | | | | | | | | | | |

Таблица 5.2 - Варианты заданий - выпрямительные устройства

| № вариант | Исходные данные | | | |
|-----------|--|-------|-------|-------|
| | Схема выпрямления | ud, В | Id, А | Ui, В |
| 1 | Трехфазная схема выпрямления с нулевым выводом | 220 | 10 | 380 |
| 2 | Трехфазная мостовая схема выпрямления | 127 | 8 | 220 |
| 3 | Однофазная мостовая схема | 42 | 2 | 127 |
| 4 | Двухполупериодная однофазная схема со средней точкой | 220 | 0,5 | 42 |
| 5 | Однофазная одноконтурная схема выпрямления | 12 | 0,3 | 24 |
| 6 | Трехфазная схема выпрямления с нулевым выводом | 380 | 5 | 660 |
| 7 | Трехфазная мостовая схема выпрямления | 220 | 15 | 380 |
| 8 | Однофазная мостовая схема | 5 | 4 | 24 |
| 9 | Двухполупериодная однофазная схема со средней точкой | 220 | 1,5 | 127 |
| 10 | Однофазная одноконтурная схема выпрямления | 127 | 0,1 | 42 |
| 11 | Трехфазная схема выпрямления с нулевым выводом | 1000 | 1 | 500 |
| 12 | Трехфазная мостовая схема выпрямления | 380 | 7 | 220 |
| 13 | Однофазная мостовая схема | 36 | 2 | 42 |
| 14 | Двухполупериодная однофазная схема со средней точкой | 5 | 4 | 36 |
| 15 | Однофазная одноконтурная схема выпрямления | 12 | 3 | 127 |
| 16 | Трехфазная схема выпрямления с нулевым выводом | 660 | 2 | 380 |
| 17 | Трехфазная мостовая схема выпрямления | 127 | 20 | 660 |
| 18 | Однофазная мостовая схема | 12 | 1 | 220 |
| 19 | Двухполупериодная однофазная схема со средней точкой | 220 | 0,2 | 12 |
| 20 | Однофазная одноконтурная схема выпрямления | 12 | 5 | 36 |
| 21 | Трехфазная схема выпрямления с нулевым выводом | 42 | 25 | 220 |
| 22 | Трехфазная мостовая схема выпрямления | 1000 | 3 | 500 |
| 23 | Однофазная мостовая схема | 24 | 10 | 36 |
| 24 | Двухполупериодная однофазная схема со средней точкой | 5 | 15 | 220 |
| 25 | Однофазная одноконтурная схема выпрямления | 3 | 7 | 12 |
| 26 | Трехфазная схема выпрямления с нулевым выводом | 220 | 4 | 660 |
| 27 | Трехфазная мостовая схема выпрямления | 380 | 10 | 380 |
| 28 | Однофазная мостовая схема | 220 | 0,4 | 12 |
| 29 | Двухполупериодная однофазная схема со средней точкой | 3 | 8 | 24 |
| 30 | Однофазная одноконтурная схема выпрямления | 12 | 0,9 | 220 |

Экзаменационные вопросы

1. Резисторы
2. Конденсаторы
3. Катушки индуктивности
4. Коммутационные устройства
5. Свойства полупроводников. Беспереходные полупроводниковые приборы
6. Электронно-дырочный переход
7. Полупроводниковые диоды
8. Выпрямительные диоды
9. Биполярные транзисторы
10. Характеристики биполярного транзистора. Определение h -параметров.
11. Полевые транзисторы. Полевой транзистор с затвором в виде р-п-перехода.
12. МДП - транзисторы со встроенным каналом
13. МДП - транзисторы со индуцированным каналом
14. Тиристоры
15. Полупроводниковые фотоэлектронные приборы
16. Оптоэлектронные приборы
17. Интегральные микросхемы. Гибридные ИМС
18. Полупроводниковые ИМС
19. Общая характеристика приборов и устройств индикации
20. Электронно-лучевая трубка
21. Полупроводниковые и жидкокристаллические индикаторы
22. Общая характеристика электронных усилителей
23. Построение усилительного каскада
24. Усилители синусоидальных сигналов
25. Обратные связи в усилителях
26. Общая характеристика усилителей мощности
27. Схемы усилителей мощности
28. Усилители постоянного тока
29. Дифференциальный усилитель
30. Общая характеристика операционных усилителей
31. Схемы операционных усилителей
32. Общая характеристика электронных генераторов
33. LC - и RC - автогенератора
34. Генераторы с внешним возбуждением (избирательные усилители)
35. Общая характеристика импульсных устройств
36. Электронные ключи и формирователи импульсных сигналов
37. Алгебра логики. Логические функции
38. Базовые логические элементы
39. Мультивибраторы
40. Одновибраторы
41. Генераторы линейно-изменяющегося напряжения
42. Компараторы напряжения

43. RS-, D-триггеры
44. Т-, Ж- триггеры
45. Регистры
46. Счётчики импульсов
47. Шифраторы и дешифраторы
48. Аналого-цифровые преобразователи
49. Цифро-аналоговые преобразователи
50. Неуправляемые выпрямители. Структура источника питания
51. Однофазный однополупериодный выпрямитель
52. Однофазный двухполупериодный выпрямитель с нулевым выводом
53. Однофазная мостовая схема выпрямления
54. Трёхфазная схема выпрямления с нейтральным выводом
55. Трёхфазная мостовая схема выпрямления
56. Сглаживающие фильтры
57. Управляемые выпрямители
58. Инверторы
59. Стабилизаторы
60. Преобразователи напряжения

Перечень рекомендуемых учебных изданий, дополнительной литературы

Основная:

- 1 Лачин, В.И. Электроника: Учебное пособие / В.И. Лачин, Н.С. Савелов. - Рн/Д: Феникс, 2010. - 703 с.
- 2 Манаев, Е.И. Основы радиоэлектроники / Е.И. Манаев. - М.: ЛИБРОКОМ, 2013. - 512 с.
- 3 Марченко, А.Л. Основы электроники: Учебное пособие для вузов / А.Л. Марченко. - М.: ДМК Пресс, 2013. - 296 с.
- 4 Миловзоров, О.В. Электроника: Учебник для бакалавров / О.В. Миловзоров, И.Г. Панков. - М.: Юрайт, 2013. - 407 с.
- 5 Морозова, Н.Ю. Электротехника и электроника: Учебник для студентов учреждений среднего профессионального образования / Н.Ю. Морозова. - М.: ИЦ Академия, 2013. - 288 с.
- 6 Москатов, Е.А. Силовая электроника. Теория и конструирование / Е.А. Москатов. - М.: Корона-Век, МК-Пресс, 2013. - 256 с.
- 7 Шишкин, Г.Г. Наноэлектроника. Элементы, приборы, устройства: Учебное пособие / Г.Г. Шишкин, И.М. Агеев. - М.: БИНОМ. ЛЗ, 2012. - 408 с.